

中国生态系统服务研究发展过程解析

谭清月¹, 许明祥^{1,2}, 李彬彬², 巩晨²

(1.西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100;

2.中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要:探究近 30 年来中国生态系统服务研究态势,把握学科发展前沿,推动我国生态系统服务领域发展。以 CNKI 数据库为数据源,借助 Citespace 软件,利用科学计量学与信息可视化方法定量分析了近 30 年来中国生态系统服务研究不同时段的主题演进及发展趋势。近 30 年来,生态系统服务价值评估与方法研究始终是处于高度关注水平的研究热点,当前评估热点主要集中在土地利用方式、粮食生产和生物多样性等方面;研究对象由早期的全球性的大尺度的单一自然生态系统向森林、草地、湿地、城市等中小尺度的复合型生态系统过渡;研究方法更加趋向于评估模型的构建及大数据可视化分析;在生态环境可持续发展的大背景下,有关生态保护、生态恢复、生态补偿以及生态安全等研究方向的融合逐渐增多。近 30 年来,中国生态系统服务领域已完成了基础理论和研究体系的架构,研究主题及内容系统性不断增强,研究方法趋于多样化,研究热点和特色日益鲜明;生态系统服务在气候变化、土地利用变化、景观格局变化和人类活动干扰下的变化和反馈机理研究成为近年来关注的热点,我国应根据自身国情开展生态系统服务评价、监测和恢复研究。

关键词:生态系统服务;过程解析;研究趋势;Citespace;可视化分析

中图分类号:X171

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)04-0330-08

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2018.04.048

Historical Venation of Ecosystem Services Research in China

TAN Qingyue¹, XU Mingxiang^{1,2}, LI Binbin², GONG Chen²

(1.College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS&MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: We explored the research trends of ecosystem services in China in order to provide academic guidance for further promoting development. Based on the CNKI (China National Knowledge Infrastructure) database, bibliometrics was used to quantitatively analyze the historical advances of ecosystem services in the past 30 years. We documented the association of a keyword co-occurrence network by Citespace software. The results showed that, in the past 30 years, the evaluation indices and methods of ecosystem services research were increasingly concerned by a lot of researchers; the current assessment focus is mainly on land use, grain production, biodiversity and so on; the study was carried out by global scale, single, natural ecosystems to small scale, complex ecosystems such as forest, grass, wetland and city; what's more, the research contents become more abundant, and the research methods tend to the establishment of models and big data visualization analysis; under the background of sustainable development, the integration of ecological protection, ecological restoration, ecological compensation and ecological security has gradually increased. To sum up, the field of ecosystem services, currently, has formed a complete framework of basic theories and research systems. The systematization of the research theme and content is gradually increasing, and the research hotspots and features are increasingly distinctive and prominent in ecosystem services. In addition, the research methods and techniques increasingly diversify. The feedback mechanism of ecosystem services under the climate change, land use change, landscape pattern changes and human activities attracted more at-

收稿日期:2017-09-07

修回日期:2017-09-27

资助项目:科技基础性工作专项(2014FY210100);中国科学院重点部署项目(KJZD-EW-TZ-G10)

第一作者:谭清月(1993—),女,山东莱阳人,硕士研究生,研究方向为生态系统服务功能评价。E-mail:tanqingyue1314@163.com

通信作者:许明祥(1972—),男,陕西吴旗人,研究员,博士生导师,主要从事土壤质量演变与调控研究。E-mail:xumx@nwsuaf.edu.cn

tention in the last decade. China should carry out the evaluation, monitoring and restoration of ecosystem services according to its own national conditions.

Keywords: ecosystem services; process analysis; research trends; Citespace; visualization analysis

生态系统服务(Ecosystem Services)是人类赖以生存与发展的基础,对生态系统可持续发展具有重要意义^[1-3],并且在维持地球的生命支持系统和环境的动态平衡等方面发挥着不可替代的作用^[4-8]。近30年来,在人口增长与工业化影响下,全球变暖、酸雨、土地荒漠化、水土流失、生物多样性锐减等生态与环境问题日益加剧^[9-10]。千年生态系统评估(MA)结果表明,全球范围内的60%以上的生态系统服务功能均出现不同程度的退化,严重威胁人类安全与健康^[11],已成为影响人类可持续发展的主要问题之一,受到世界范围内的广泛关注。

进入21世纪以来,国内关于生态系统服务研究的文献数量大幅增长,主要集中在生态系统服务的内涵^[12]、类型划分^[13]、价值评估方法^[14]以及可持续发展^[15]等方面,这些文献从不同程度上推动了国内生态系统服务研究的阶段性发展。然而,面对规模庞大的文献群,传统的归纳总结、定性探讨的文献分析方法存在明显的局限性,如赵金龙^[16]、桓曼曼^[17]等仅就生态系统服务的森林生态价值、价值评价方法进行了文献综述,无法全面客观地反映该领域的演化路径以及研究趋势。因此,客观、定量地描述中国生态系统服务研究领域的演化路径和发展趋势成为值得研究和探讨的问题。

近年来,科学计量学和信息计量学技术的结合弥补了传统文献数据分析的不足,也为大数据的可视化研究提供了发展契机。由美国德雷赛尔大学陈超美教授开发的基于Java环境的计量分析和知识图谱可视化软件Citespace^[18-22],能够定量显示该研究领域的前沿热点、发展趋势等信息。在生态系统服务研究领域,已有部分学者采用该方法进行了分析,如张玲玲等^[23]以SCI-E和CNKI数据库为数据源,利用文献计量方法分析了国内外生态系统服务研究的发展特征,但其主要从国家、机构和期刊等层面加以介绍,无法识别该领域的发展脉络。基于此,本研究以文献计量学方法为手段,选取Citespace V作为主要分析软件,将国内生态系统服务研究分为1992—2000年、2001—2009年、2010—2017年3个阶段,通过分析不同阶段图谱特征梳理中国生态系统服务研究的演化特征及发展趋势,以期为国内生态系统服务研究提供一定借鉴。

1 数据来源与研究方法

本研究以中国知网核心期刊数据库(CNKI)为数据源,以“生态系统服务”为主题词进行检索,检索时长为1992—2017年,检索时间为2017年5月2日,共检索到中文文献4408篇。在本研究中,Citespace V参数设置具体如下:研究时段分别为1992—2000年、2001—2009年、2010—2017年3个时段,以1a为时间切片,节点类型为关键词,文献选取标准为每个时间切片内词频为前50的关键词,选择最小生成树作为图谱剪枝方式。采用信息可视化软件Citespace V准确挖掘文献信息,绘制科学知识图谱,以可视化方式直观展现国内生态系统服务研究不同发展阶段。

2 国内外生态系统服务研究概况

生态系统服务的概念于20世纪70年代初提出,进入20世纪90年代以来,国际上对生态系统服务的研究热度不断升高,相关文献呈井喷式出现(图1)。国际生态系统服务研究年发文总量在1992—2005年左右呈缓慢增长趋势,2005年之后开始进入快速增长时期。对比典型国家间的发文数量可看出,美国、加拿大等发达国家研究起步较早,前期开展了大量研究,后期速度逐渐放缓;中国、巴西等发展中国家研究起步较晚,但后期发展态势良好。从20世纪90年代中期至今,生态系统服务研究在国内逐渐发展起来,从整个时间段来看,2000年以前相关文献呈零星分布状态,2000年后文献量增长迅猛,尤其是2001年千年生态系统评估项目启动以来,相关文献逐年增多,此后十多年间的文献数量占据了全部文献量的80%以上,且中文和英文文献量基本保持同步增长。总体来说,中国文献数量整体呈现出稳步上升的趋势,大致经历了缓慢增长—迅速增长—稳定增长的过程,呈现良好的发展态势。国内生态系统服务研究虽然起步较晚,发展进程相对滞后,但是近年来国家对科研的支持力度以及对生态与环境领域的重视程度都不断加大,极大促进了当前生态系统服务研究的发展。

3 中国生态系统服务研究发展过程及热点分析

文献中关键词是对文献核心内容的提炼,本研究

采用中介中心性来衡量关键词的重要性,中心性较高的关键词可体现其在关键词共现网络中的重要程度,在一定程度上可以代表该领域在一定时期内的研究热点(表 1)。利用 Citespace V 对 4 408 篇文献分时段(1992—2000 年、2001—2009 年、2010—2017 年)进行关键词共现分析,获得不同时段生态系统服务关键词共现图谱。图谱中的年轮大小表示关键词出现的频率,年轮越大代表关键词出现的次数越多;年轮颜色表示时间,粗细表示频率;关键词间距离表示共现频率的高低,距离越远说明共现频率越低。生态系统服务研究 3 个时段的图谱脉络差别较大,随着研究年限的增加,图谱脉络由树枝状向网状发展,图谱中年轮圈越来越大,圈内所包含的内容也愈加复杂多样(图 2—4)。

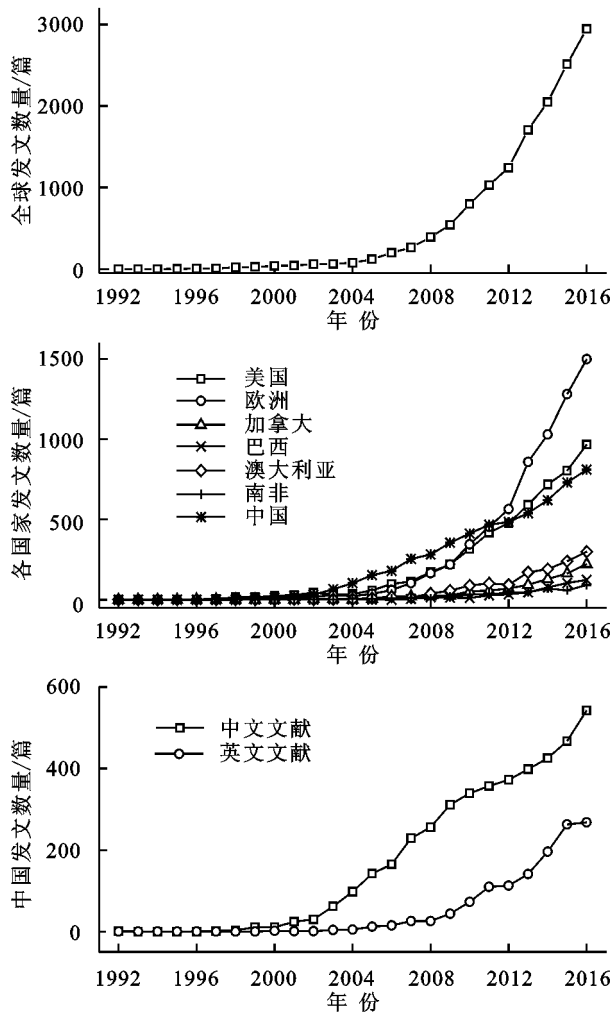


图 1 生态系统服务研究发文数量特征

3.1 1992—2000 年以生态系统服务基本理论为研究对象的基础研究时期

我国关于生态系统服务的研究起步较晚,20 世纪 90 年代初,国外关于生态系统服务的概念、分类、价值评估等相关内容逐步推广到中国,我国才开始真

正的开展生态系统服务的相关研究。生态系统服务研究作为一个新的研究体系,在 1992—2000 年尚处于基础研究时期,相关研究还不够完善,最初的研究主要是集中在对国外生态系统服务概念、内涵、评估方法、研究成果的介绍以及对生态系统服务理论的探讨。该阶段图谱年轮圈较小,图谱脉络呈树枝状,各个研究聚类的交叉合作性较小,学科的关联度也较小(图 2)。在此研究阶段,中心性较高的关键词有野生生物(0.21)、物种多样性(0.19)、温带雨林(0.14)、生物物种(0.12)、现代文明(0.11)、生物多样性(0.09)、市场力(0.08)、自然生态系统(0.06)。该阶段的研究主题主要集中在生态系统服务理念的介绍,从物种多样性、现代文明、生物多样性等研究领域逐步演化出生态系统服务的基础概念。国内欧阳志云^[15]、辛琨^[24]、刘晓荻^[25]等多位学者在国外定义的基础上对生态系统服务的定义及内涵等进行了较为系统的研究,指出生态系统服务即生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用。虽然目前国内关于生态系统服务定义的表述有所不同,但大多涵盖 3 方面内容,即生态系统服务是人类从生态系统获得的利益;生态系统服务的主体为自然生态系统,人类生存与发展所需的资源归根结底来源于自然生态系统;生态系统服务通过其自身的状况和过程加以体现^[26]。由于我国生态系统类型复杂多样,各项服务功能的提供有所差异,且随着生态经济学和自然资源经济学的发展,20 世纪末中国的一些生态学家和经济学家对生态系统服务功能及其评价理论、方法和实践应用等方面进行了初步探索^[27]。在该研究阶段较为前沿的研究内容是利用价值评估方法对生态系统服务功能价值进行核算,并针对评价对象的不同发展了市场价值法、替代市场法、假想市场法以及费用支出法等评价方法^[28-30]。该阶段在深刻理解生态系统的生态学机制的基础上,较为系统地研究了生态系统服务的基本理念,为今后生态系统服务较深层次的研究奠定了基础,但该阶段对生态系统服务功能评价的研究还相对缺乏,研究方法零散,尚处于起步阶段。

3.2 2001—2009 年以生态系统服务价值化方法与应用为重点的实践应用研究时期

生态系统服务研究在 2001—2009 年得到了迅速的发展,研究进入繁盛时期。在该阶段,图谱脉络随时间推移由树枝状向网状发展,生态系统服务研究较前一阶段更为集中,与各研究方向的融合交叉更加密切,由此产生了多样化的研究主题及复合、发散的研究网络(图 3)。

表 1 中国生态系统服务研究不同时段前 20 位高频关键词

1992—2000 年			2001—2009 年			2010—2017 年		
关键词	频次	中心性	关键词	频次	中心性	关键词	频次	中心性
生态系统服务	16	0	生态系统服务	296	0.25	生态系统服务	644	0.82
可持续发展	4	0	生态系统服务功能	182	0.17	生态系统服务价值	416	0.45
生态系统服务功能	4	0	生态系统服务价值	133	0.09	价值评估	258	0.26
生物多样性	3	0.09	价值评估	129	0.09	生态系统服务功能	210	0.03
生态系统功能	3	0.01	生态系统	121	0.82	生态服务价值	200	0.11
野生生物	2	0.21	服务功能	85	0.85	土地利用	188	0.18
物种多样性	2	0.19	森林生态系统	77	0.23	土地利用变化	177	0.13
生物物种	2	0.12	土地利用变化	66	0.16	生态补偿	173	0.08
热带森林	2	0.05	生态服务价值	65	0.09	生态系统	169	0
生态价值	2	0.01	土地利用	63	0.36	服务功能	133	1.08
环境服务	2	0	生态价值	51	0.06	森林生态系统	123	1.03
生态经济价值评价	2	0	可持续发展	42	0.68	生态服务功能	86	0.05
孟山都	2	0	服务价值	40	0.62	生物多样性	78	0.35
生态系统产品	2	0	生态补偿	38	0.03	服务价值	55	0.13
温带雨林	1	0.14	生态服务功能	35	0.07	可持续发展	46	1.05
现代文明	1	0.11	经济价值	30	0.09	生态效益	42	1.14
市场力	1	0.08	生态服务	27	0.01	价值评价	38	0.9
自然生态系统	1	0.06	生态环境	24	0.05	气候变化	37	0.03
费用支出法	1	0.05	生物多样性	23	0.11	景观格局	36	0.49
经济回报	1	0.03	生态安全	20	0.01	生态安全	36	0.5

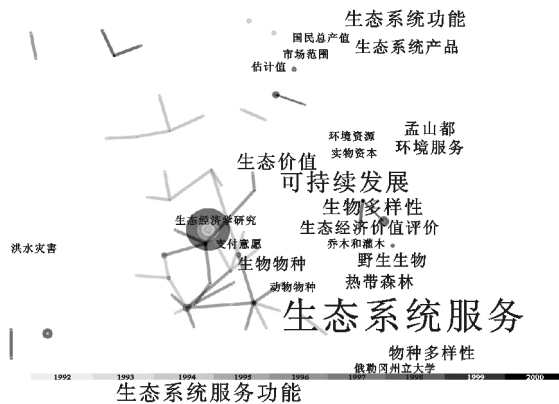


图 2 1992—2000 年中国生态系统服务关键词文献计量网络图谱

尤其是 2001 年《千年生态系统评估》项目的启动, 多达 95 个国家在流域、区域^[31]、国家以及全球^[32-33]等不同尺度上同时开展生态系统服务功能评估工作, 对推动生态系统服务的评价与应用具有重要意义^[34]。此外, 2008 年“中美生态系统服务国际会议”的召开以及“中美生态系统服务研究中心”的成立, 极大提高了我国在生态系统服务研究方面的能力, 为国际相关的交流合作奠定了基础^[35]。该阶段中心性较大的关键词有服务功能(0.85)、生态系统(0.82)、可持续发展(0.68)、服务价值(0.62)、土地利用(0.36)、生态系统服务(0.25)、森林生态系统(0.23)、价值评估(0.09)、经济价值(0.09)等。生态系统服务功能的不同决定

了其具有多样性的价值, 国内外诸多学者从价值的角度研究生态系统服务, 因而生态系统服务价值评价指标与方法研究始终是处于高度关注水平的研究热点。当前生态系统服务价值评价热点主要集中在土地利用方式、粮食生产、外来物种入侵、生物多样性等方面, 评价对象由早期的大尺度的单一自然生态系统向森林、城市等中小尺度的复合型生态系统过渡, 评价方法逐渐扩展为能值分析法、物质量评价法和价值量评价法等^[27]。傅伯杰等^[36]在介绍土地利用变化与生态系统服务的研究背景的基础上, 归纳了生态系统服务评估方法的特点并对今后的研究趋势进行了展望。张志强等^[37]详细介绍了价值量评估法, 将其分为实际市场评估技术、替代市场评估技术和假想市场评估技术 3 类, 并对方法做了具体的分析。宗文君等^[38]结合具体研究案例, 提出生态系统服务价值评估方法的改进意见。随着研究的发展, 研究主题逐渐细化为“森林生态系统”、“草地生态系统”、“农田生态系统”、“湿地生态系统”等分支, 赵同谦^[39]、谢高地^[40]、王效科^[41]、辛琨^[42]等学者分别评估了森林、草地、农田、湿地等不同生态系统的服务价值, 引领生态系统服务研究向具体、微观的方向发展。今后应深入剖析生态系统服务的时空尺度特征, 发展针对森林、草地、湿地、荒漠、海洋与农田等不同生态系统、不同

经济社会发展特征的服务功能及经济价值的评价方法,为确保生态系统服务孕育、传递和表达的完整性提供科学借鉴,促进生态系统服务研究成果的有效利用。与生态系统服务的基础研究阶段相比,该阶段涌现出较多新的关键词,具有较高中心性的关键词有“生态脆弱区”、“生态环境保护”、“生态补偿机制”,此外该阶段带有突现性特征的关键词为“可持续发展”和“生态安全”。这表明 20 世纪末,由于中国经济的快速发展、人口增长的巨大压力以及人类对生态系统的过度开发,生态退化、环境恶化等问题日益加剧,生态环境问题在这一阶段中得到凸显,生态系统的可持续健康发展开始受到关注^[43-44],而生态安全作为国家安全的热点课题也具有重大战略意义^[45]。今后应注重生态系统的长期监测工作,掌握生态系统服务的时空演替规律,加大政府科研投入力度,为制定更为科学的生态环境管理政策提供理论支撑。

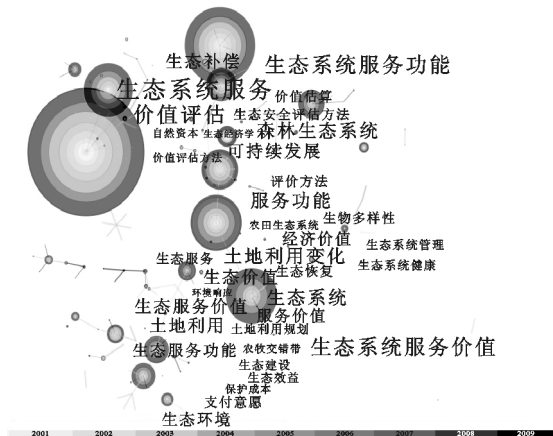


图 3 2001—2009 年中国生态系统服务关键词文献计量网络图谱

3.3 2010—2017 年围绕生态系统服务价值评估,以生态恢复、可持续发展为目标的系统化研究时期

与前面几个阶段的生态系统服务研究网络相比,2010—2017 年阶段的最大的特征是研究节点数量变少,关键词更加集中,高频关键词年轮的交叉性明显增强。2012 年 IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) 的建立是生态学发展历程的一件大事,对我国而言,IPBES 的建立会带来更多积极影响,中国更侧重于生态系统服务的评估、土地利用与生态系统服务及可持续性研究^[46]。2013 年第 11 届国际生态大会 (INTECOL congress) 强调不同国家、不同领域的交流与合作,并介绍了生态系统服务研究的最新成果以及面临的挑战,激发了国内对生态系统服务与人类福祉的关系以及生态系统服务价值评估等领域的研究热情^[47]。近几年来文献数量持续增加,与之前

相比研究内容更加集中,这体现出国内生态系统服务的研究内容更加深入,学科系统性更强。

该阶段图谱中生态系统服务的年轮圈仍最大,与生态系统服务价值、土地利用变化、气候变化、人类福祉等交织在一起,学科交叉融合研究更加明显(图 4)。这体现出,在全球气候变化的大背景下,土地利用变化、气候变化、人类活动及其他干扰因素极大影响着生态系统服务的敏感性变化和响应机制,进而直接影响到人类福祉^[48]。当前国内外关于土地利用变化、气候变化等因素对生态系统服务影响研究的重视程度逐渐加大,二者始终是生态系统服务领域的研究热点。欧阳志云等^[49]认为土地利用变化对生态系统服务的影响主要是通过改变生物多样性、改变生态系统过程、改变生境来实现的,当前影响较大的领域是农业开发。近年来,土地利用变化影响下的生态系统过程与服务的相互关系、景观动态格局变化、土壤养分特征、水土流失等研究逐渐成为该领域研究的核心内容。今后应在土地利用和覆盖变化的基础上,选择合理、有依据的数据源及评价指标,加大对土地利用变化的生态系统服务估值研究^[50]。气候变化背景下维持生态系统服务功能是实现可持续发展的基础,主要通过改变土地利用面积和地上生物量对生态系统服务价值产生影响^[51]。在 2010—2017 年时间段内,年轮圈较大的有生态系统服务价值评估、生物多样性、土地利用变化、景观格局、生态补偿、生态效益、人类福祉等,而且已经形成较为系统的网络,例如围绕生物多样性开展了生物多样性—生态系统服务—人类福祉关系的相关研究^[16]。与之前注重评估不同生态系统的服务价值相比,该阶段更加注重生态系统服务评估方法的改进及模型的建立,基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法^[52]得以改进,InVEST,ARIES,SolVES 等估算模型以及 GIS 技术的应用也极为广泛^[53-54]。该阶段研究的热点为生态系统服务在气候变化、土地利用变化、景观格局变化^[55]和人类活动干扰下的反馈机理,同时环境方面的研究仍较为突出,生态保护、生态恢复方面的相关研究不断增多。这表明在可持续发展的大背景下,政府对生态环境的重视程度仍在加大,也从侧面体现出政府间科学与政策的相互融合与促进,特别是在生态恢复、生态补偿、生态保护以及生态安全等方面发挥着重要作用^[56]。今后应根据社会经济发展现状,建立起干扰—反馈—修复的生态系统动态模型,为实现经济社会协调发展提供依据。



图 4 2010—2017 年中国生态系统服务关键词文献计量网络图谱

4 国内外生态系统服务研究热点迁移

关键词突现表示一定时间阶段内该关键词大量涌现,在一定程度上体现了研究人员对该领域的关注,而突现强度则体现了该领域受关注的强度,开始年份和结束年份间隔的时间越长,说明受关注越久。关键词突现分析可以定量显示出不同研究热点的热度以及变迁规律。

由表 2—3 可以看出,2000 年之前,国际生态系统服

务研究热点主要是生态系统服务管理、物种多样性、生态承载力、生态足迹等,着重关注生态环境的可持续健康发展。而国内的研究热点主要是生态系统服务价值评估方法,侧重于通过具体的评估方法对研究区进行规划,该阶段对生态环境方面的关注较少。2000 年之后,国际生态系统服务研究侧重于生态系统服务功能评估方法与框架的构建,尤为关注人类福祉,研究对象扩展到热带雨林、湿地、海洋保护区等不同的生态系统。而国内在 2000 年以后一直到 2011 年,生态系统服务的研究经历了快速的过渡阶段,这表明国内关于生态系统服务研究近几年所关注的范围越来越广,在明确了其定义、评价指标、评价方法以及评估模型法之后进入了一个快速发展阶段。国内生态系统服务早期的研究对象主要为大尺度的单一自然生态系统,随着研究的深入,研究主题逐渐细化为森林、草地、湿地、城市等不同类型的中小尺度的生态系统价值评估,侧重于结合数学模型模拟对生态系统服务的时空动态分析。由国内外的突现关键词可以看出,生态系统服务功能价值评估一直是该领域经久不衰的研究热点。当前,国内生态系统服务领域涌现出生态文明、生态补偿、土地利用变化、气候变化、生态安全等研究热点,这也体现出该领域的研究开始倾向于生态环境保护与生态系统可持续管理方面。

表 2 国际生态系统服务研究热点变迁

关键词	突现强度	开始年份	结束年份	关键词	突现强度	开始年份	结束年份
生态系统价值	5.2004	1995	2011	保护策略	9.4099	2003	2010
生态系统	11.9071	1996	2006	渔业	3.7787	2003	2011
生态系统服务管理	11.5738	1996	2010	河流	4.1495	2003	2007
环境经济	4.7343	1996	2011	果实性状	4.5425	2004	2008
灭绝	3.9625	1996	2008	生态经济	5.3526	2004	2007
可持续发展	3.8575	1997	2008	谷物授粉	7.0257	2005	2009
物种多样性	5.8802	1997	2008	经济价值	7.1897	2005	2010
生产力	3.3992	1997	2003	湿地	3.8302	2005	2006
生态承载力	4.0664	1997	2008	千年生态系统服务评估	4.6977	2005	2011
生态足迹	4.5702	1998	2006	价格	6.909	2006	2011
流域	3.4934	1999	2009	水文学	4.3023	2006	2011
稳定性	9.7583	1999	2010	授粉	5.3103	2006	2008
海角植物区系	3.9974	1999	2010	机构	4.2558	2007	2010
价值评估法	4.4954	1999	2008	当前认知	4.6102	2007	2008
总经济价值	4.0242	2000	2008	后果	3.8011	2007	2009
生态学	15.8798	2001	2009	氮	4.3521	2007	2010
演替序列	3.9372	2001	2011	农业环境	4.6903	2007	2009
生态系统	12.0546	2001	2010	海岸带保护	4.0464	2008	2012
食物网	3.4553	2002	2010	生物多样性	4.9272	2008	2009
群落	4.3219	2002	2003	干扰	3.7376	2009	2011
分散度	3.3101	2002	2008	加利福尼亚	7.5446	2009	2011
环境价值	3.8232	2002	2009	贫困	8.2562	2010	2012
生态系统产品与服务	3.8728	2002	2009	问题	4.4036	2010	2012
膜翅目	3.3545	2002	2009	优先保护	4.9509	2010	2011
恢复力	3.4091	2003	2008	经济价值	3.6917	2010	2011
成本	5.3877	2003	2010	生态系统服务支付	5.304	2012	2013

表 3 中国生态系统服务研究热点变迁

关键词	年份	突现强度	开始年份	结束年份	关键词	年份	突现强度	开始年份	结束年份
价值评估方法	1992	3.7686	1999	2007	生态系统服务功能价值	1992	4.6571	2010	2014
可持续发展	1992	10.9951	1999	2005	土地利用总体规划	1992	3.3098	2011	2013
生态系统健康	1992	3.8489	2000	2006	研究进展	1992	3.5608	2011	2012
农牧交错带	1992	3.3045	2002	2008	生态补偿标准	1992	3.62889	2011	2014
经济价值	1992	6.1357	2002	2009	invest 模型	1992	7.4034	2013	2017
青藏高原	1992	3.8217	2002	2007	绿色基础设施	1992	3.9668	2013	2017
价值估算	1992	4.1884	2003	2006	时空变化	1992	3.7823	2014	2017
生态安全	1992	3.3618	2003	2005	生态文明	1992	5.0379	2014	2017
生态价值	1992	10.1061	2004	2008	城镇化	1992	3.356	2015	2017
生态系统服务功能	1992	8.6749	2004	2005	生态承载力	1992	3.563	2015	2017
生态建设	1992	4.252	2004	2009	时空格局	1992	4.2575	2015	2017
服务价值	1992	3.3461	2008	2009	生态安全格局	1992	4.4287	2015	2017

5 结语

(1) 1992—2017 年,生态系统服务领域的研究主题及内容系统性不断增强,图谱脉络由最初阶段的内容主题衔接交叉性弱、聚类简单的分散研究逐步发展到后期的主题鲜明、关联紧密、学科交叉性强的系统研究。今后应促进自然科学与社会科学领域的有机结合,增强生态系统服务领域的基础理论研究,完善相关学科体系。

(2) 生态系统服务领域研究热点和特色日益鲜明和突出,研究热点主要包括:生态系统服务价值评价、土地利用变化、气候变化、生物多样性、可持续发展、评估与模型、生态保护、生态恢复。总体上看,生态系统服务价值评价指标与模型研究一直处于高度关注水平,当前评估热点主要集中在土地利用方式、粮食生产、外来物种入侵、生物多样性等方面。目前在价值评估方面还存在一些亟待解决的问题,评价参数与方法大多照搬国外的研究成果,脱离我国的社会经济现状,评价结果缺乏可靠性。今后应充分考虑国内外生态环境和社会经济条件的差异,综合生态学领域与经济学领域的研究,以便为国家的生态环境建设提供理论依据。

(3) 由于全球气候变化以及人类活动对生态系统的强烈干扰,生态系统服务功能退化的问题在中国各地区普遍存在,因此有关生态保护、生态恢复、生态补偿、生态安全以及可持续发展等研究方向的结合逐渐增多,尤其是对生态恢复的研究,是中国未来一段时间内生态系统服务研究的前沿与热点。今后应着力构建基于生态系统服务机制的模拟模型,分析和预测生态系统在面对气候变化、土地利用变化、环境恶化以及人类活动干扰时的反馈机制,为制定更为科学的生态系统保护管理政策提供决策依据,实现生态—经济—社会的协调发展。

参考文献:

[1] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural

Ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997.

- [2] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997,387(1):253-260.
- [3] Salzman J, Thompson Jr, Barton H, et al. Protecting ecosystem services: Science, economics and law [J]. Stanford Environ. Law J., 2001,20:309-332.
- [4] Holdren J P, Ehrlich P R. Human population and the global environment[J]. American Scientist, 1974, 62: 282-292.
- [5] Ehrlich P R, Ehrlich A H, Holdren J P. Ecoscience: Population, Resources, Environment [M]. San Francisco: Freeman and Col. 1977.
- [6] Ewel K. Water Quality Improvement: Evaluation of An Ecosystem Service[C]//Daily G. Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystem, Washington DC: Island Press, 1997.
- [7] SCEP, Man's Impact on the global Environment[M]. Cambridge Mass: MIT Press,1970.
- [8] 欧阳志云,王效科,苗鸿.中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J].生态学报,1999,19(5): 19-25.
- [9] Hester R E, Harrison R M. Global Environmental Change [M]. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2002.
- [10] 郑华,欧阳志云,赵同谦,等.人类活动对生态系统服务功能的影响[J].自然资源学报,2003,18(1):118-126.
- [11] Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends[R]. Washington D C: Island Press, 2005.
- [12] 欧阳志云,王如松,赵景柱.生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J].应用生态学报,1999,10(5):635-640.
- [13] 孙刚,盛连喜,冯江.生态系统服务的功能分类与价值分类[J].环境科学动态,2000(1):19-22.
- [14] 刘玉龙,马俊杰,金学林,等.生态系统服务功能价值评估方法综述[J].中国人口·资源与环境,2005,15(1): 91-95.
- [15] 欧阳志云,王如松.生态系统服务功能、生态价值与可

- 持续发展(专论:可持续发展与生态学研究新进展)[J]. 世界科技研究与发展, 2000, 22(5): 45-50.
- [16] 赵金龙, 王冻鑫, 韩海荣, 等. 森林生态系统服务功能价值评估研究进展与趋势[J]. 生态学杂志, 2013, 32(8): 2229-2237.
- [17] 桓曼曼. 生态系统服务功能及其价值综述[J]. 生态经济, 2001(12): 41-43.
- [18] Chen C. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature [J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 57(3): 359-377.
- [19] Zhou J X. Document visualization analysis of information visualization based on the CiteSpace II [J]. Journal of Information Science, 2011, 29(1): 98-112.
- [20] 赵建保. CiteSpace 可视化流程与分析范式研究[J]. 当代地方科技, 2014(16): 105-107.
- [21] Chen C, Hu Z, Liu S, et al. Emerging trends in regenerative medicine: a scientometric analysis in CiteSpace [J]. Expert Opinion on Biological Therapy, 2012, 12(5): 593-608.
- [22] Chen C M, Song I Y, Yuan X J, et al. The thematic and citation landscape of Data and Knowledge Engineering(1985—2007) [J]. Data Knowl Eng, 2008, 67(2): 234-259.
- [23] 张玲玲, 巩杰, 张影. 基于文献计量分析的生态系统服务研究现状及热点[J]. 生态学报, 2016, 36(18): 5967-5977.
- [24] 辛琨, 肖笃宁. 生态系统服务功能研究综述[J]. 中国人口·资源与环境, 2000, 10(3): 20-22.
- [25] 刘晓荻. 生态系统服务[J]. 环境导报, 1998(1): 44-45.
- [26] 文一惠, 刘桂环, 田至美. 生态系统服务研究综述[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2010, 31(3): 64-69.
- [27] 赵景柱, 肖寒, 吴刚. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 290-292.
- [28] 孙刚. 生态系统服务的划价[J]. 环境保护, 2000(6): 41-43.
- [29] 刘霞, 张光灿, 江廷水, 等. 国内外公益林效益计量评价研究进展[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 95-100.
- [30] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探: 以海南岛尖峰岭热带森林为例[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 481-484.
- [31] 余新晓, 秦永胜, 陈丽华, 等. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 783-786.
- [32] 张永民, 赵士洞. 全球生态系统服务的状况与趋势[J]. 地球科学进展, 2007, 22(5): 515-520.
- [33] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展[J]. 资源科学, 2001, 23(6): 5-9.
- [34] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment [R]. Washington DC: Island Press, 2003.
- [35] 李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望[J]. 自然资源学报, 2009, 24(1): 1-10.
- [36] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展[J]. 地理科学进展, 2014(4): 441-446.
- [37] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态系统服务与自然资本价值评估[J]. 生态学报, 2001, 21(11): 1918-1926.
- [38] 宗文君, 蒋德明, 阿拉木萨. 生态系统服务价值评估的研究进展[J]. 生态学杂志, 2006, 25(2): 212-217.
- [39] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491.
- [40] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.
- [41] 王效科, 欧阳志云, 苗鸿. DNDC 模型在长江三角洲农田生态系统的 CH₄ 和 N₂O 排放量估算中的应用[J]. 环境科学, 2001, 22(3): 15-19.
- [42] 辛琨, 肖笃宁. 盘锦地区湿地生态系统服务价值估算[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1345-1349.
- [43] 张雪英, 黎颖治. 生态系统服务功能与可持续发展[J]. 生态科学, 2004, 23(3): 286-288.
- [44] 王松霖. 生态经济学为可持续发展提供理论基础[J]. 中国人口·资源与环境, 2003, 13(2): 14-19.
- [45] 秦晓楠, 卢小丽, 武春友. 国内生态安全研究知识图谱: 基于 Citespace 的计量分析[J]. 生态学报, 2014, 34(13): 3693-3703.
- [46] 吴军, 徐海根, 丁晖. IPBES 的建立、前景及应对策略[J]. 生态学报, 2011, 31(22): 6973-6977.
- [47] 房学宁, 赵文武. 生态系统服务研究进展: 2013 年第 11 届国际生态学大会 (INTECOL Congress) 会议述评[J]. 生态学报, 2013, 33(20): 6736-6740.
- [48] 傅伯杰. 我国生态系统研究的发展趋势与优先领域[J]. 地理研究, 2010, 29(3): 383-396.
- [49] 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务的生态学机制研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 6183-6188.
- [50] 李惠梅, 张安录. 生态系统服务研究的问题与展望[J]. 生态环境学报, 2011, 20(10): 1562-1568.
- [51] 王敏, 冯相昭, 吴良, 等. 气候变化背景下典型草原自然保护区生态系统服务价值评估[J]. 中国沙漠, 2015, 35(6): 1700-1707.
- [52] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015(8): 1243-1254.
- [53] 黄从红, 杨军, 张文娟. 生态系统服务功能评估模型研究进展[J]. 生态学杂志, 2013, 32(12): 3360-3367.
- [54] 李晶, 任志远. 基于 GIS 的陕北黄土高原土地生态系统固碳释氧价值评价[J]. 中国农业科学, 2011, 44(14): 2943-2950.
- [55] 吕一河, 马志敏, 傅伯杰, 等. 生态系统服务多样性与景观多功能性: 从科学理念到综合评估[J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1153-1159.
- [56] 曹永强, 郭明, 刘思然. 基于文献计量分析的生态修复现状研究[J]. 生态学报, 2016, 36(8): 2442-2450.