

DOI: 10.5846/stxb201504060688

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. 生态学报, 2016, 36(18): - .

Zhang L L, Gong J, Zhang Y. A review of ecosystem services: a bibliometric analysis based on web of science. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(18): - .

基于文献计量分析的生态系统服务研究现状及热点

张玲玲, 巩 杰*, 张 影

兰州大学 资源环境学院, 西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000

摘要: 生态系统服务是生态学研究的核心和热点议题。近年来, 各国和各相关机构对生态系统服务的研究力度不断加大。本文基于 SCI—E 和 CNKI 数据库, 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和变化趋势。研究结果表明: (1) 国内外生态系统服务研究的发文量不断增加, 发展态势良好。 (2) 发达国家是生态系统服务领域的主要研究力量, 美国占据绝对领先地位; 美国的加利福尼亚大学是主要研究机构; 总体来看, 国家和机构间的合作正在不断增强。 (3) 当前该领域的 8 类研究热点分别是生态系统服务机理研究, 保护管理及可持续性、生物多样性、脆弱性、土地利用及景观变化、评估与模型、气候变化、政策与决策分析。从各个时期国内外研究热点整体分布情况来看, 国际更侧重于生态系统服务及生态系统服务与人类福祉的依存关系的研究, 国内则更加关注生态系统服务评估。 (4) 近年来中国在生态系统服务研究领域的国际地位有所提升, 科研产出量显著增加, 累积发文量居世界第 5 位, 中国科学院是全球主要研究机构之一, 但论文被引频次相对偏低, 国际合作亟待加强和提升。

关键词: 生态系统服务; 文献计量; 研究热点

A review of ecosystem services: a bibliometric analysis based on web of science

ZHANG Lingling, GONG Jie*, ZHANG Ying

Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education), College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: Ecosystem service is the core and the highlight of ecology, and recently, the study on ecosystem services has been intensified. The status quo of ecosystem service research was assessed by critically reviewing current publication, which was collected from both China Academic Journals Full-text Database and Science Citation Index Expanded Database. The search key words used were ecosystem services or ecosystem service, and literature both in Chinese and English were included in the analyses. The information collected was analyzed using bibliometrics: number of related papers per year, major research themes of the top 10 countries and institutions, international cooperation, major journals on ecosystem service in both English and Chinese, the most cited authors in international and domestic papers, and major research themes and highlights of ecosystem service subject of the research from 1991 to 2014. Our findings showed that: (1) the scientific outcomes of ecosystem services are increasing with a good developmental trend. (2) USA is the leading country in this field, and University of California System is the dominant institution. Overall, cooperation between countries and institutions is increasing. (3) Eight research highlights of ecosystem service research were identified by keyword analysis and they included: the mechanism of ecosystems services (ecosystem structure, processes, functions, and services), conservation and sustainability, biodiversity, vulnerability, land use and landscape change, valuation and modeling, climate (or environment) change, and decision-making process. The analysis of the overall distribution of domestic and foreign focus in research in each period showed that the international research focuses primarily on the mechanisms of ecosystem services and human well-being. In contrast, chinese researchers are more concerned about the assessment of

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271199); 中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky-2014-265, lzujbky-2014-117)资助

收稿日期: 2015-04-06; **网络出版日期:** 2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jgong@lzu.edu.cn

ecosystem services. (4) In recent years, China's international status has improved significantly in the field of ecosystem services. According to the number of published scientific papers, China ranks 5th in the world, and Chinese Academy of Sciences is one of the world's major research institutions. However, the number of citations of its publications is low. In conclusion, the quality of chinese research papers should be improved, and international cooperation needs to be strengthened in the future.

Key Words: ecosystem services; bibliometric analysis; research highlights

生态系统服务是指人类从生态系统获得的惠益^[1]。随着人类改造自然能力的不断提高,人类活动对生态系统长期的压力和破坏导致生态系统服务能力受到严重削弱。人类当前面临的多种生态问题的本质是生态系统服务功能遭到破坏和退化^[2-3]。尽管人类一直依赖于生态系统服务而得以生存和发展,但其作为科学问题开展相关研究仅始于 20 世纪 70 年代。自此,国际上开展了一系列项目和科学计划等研究工作,并取得了显著成效。如,美国生态学会对生态系统服务进行了较为系统的研究^[3-4];联合国千年生态系统评估(MA)对全球生态系统的过去、现在以及未来状况进行评估,并据此提出相应的管理对策^[1]等,特别是 2012 年生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台(IPBES)的建立^[5],把生态系统服务研究推向了新的高度,生态系统服务现已成为当前国际上生态学及相关学科研究的前沿和热点领域,其文献量不断增加。

文献计量是一种成熟的文献分析和信息挖掘方法,近年来已被运用于生态系统及生态系统服务研究领域。如,吕明权等^[6]以 CNKI 和 Web of Science 数据库为数据源,通过文献计量学方法,从多个角度分析了三峡消落带研究现状、进展及发展趋势;Costanza R 等^[7]把 ISI Web of Science 数据库作为数据来源,运用文献计量法研究了国际生态系统服务研究领域的作者结构体系及合作关系;Tancoigne E 等^[8]采用文献计量方法分析了农业科学中生态系统服务方面的研究进展等。

本文以生态系统服务为主题,运用文献计量方法分析了国内外生态系统服务研究领域的发展现状,并从国家、机构和期刊等层面介绍了主要研究力量的相关信息,剖析了主要研究国家和知名机构的热点研究主题,讨论了该研究领域的国内外研究热点及前沿。这有助于掌握生态系统服务研究的最新发展动态,为生态系统服务后续研究提供文献参考。

1 数据来源与分析方法

本文以 SCI—E(Science Citation Index Expanded)数据库为数据源分析国际生态系统服务领域的发展态势及研究热点,用 SCI—E 数据库中检索到的来自中国的英文文献和 CNKI 数据库中的中文文献分析国内生态系统服务领域的发展态势及研究热点。在 SCI—E 数据库中,检索式为:主题词=(“ecosystem services” or “ecosystem service”),文献类型为“article”;在 CNKI 数据库中以“生态系统服务”为主题词进行检索,两个数据库的检索时间段为 1980—2014 年(截止日期为 2014.12.31)。按照不同年份国家、机构、期刊、作者等统计分类信息筛选后(同时对来自中国的中英文文献做了合并去重),在 Excel 中进行数据整理计算,以论文数、总被引频次、篇均被引频次及研究主题等指标分别分析国际和国内生态系统服务的发展态势。运用 CiteSpace 软件挖掘文献信息,通过分析高频关键词总结国际上生态系统服务研究热点,并对比分析国际和国内在不同研究时段内的研究热点情况。由于生态系统服务研究领域的专业期刊 *Ecosystem Services* 是 2012 年开始出版发行,尚未被 SCI—E 数据库收录,故在期刊分析中专门对其进行相关信息的分析与讨论。

2 结果分析与讨论

2.1 文献总体分析

1991—2014 年国内外生态系统服务研究领域的发文情况如图 1 所示。(1)国际上从 1991 年开始陆续有相关文献出版。从整个时间段来看,2005 年以前有关生态系统服务的研究发文较少,2005 年后文献量增长迅

猛,尤其是在 UNEP 于 2008 年提议建立 IPBES 以后,受到了更加广泛的关注,文献量大幅度增长,2009—2014 年间的发文量约占研究期内总量的 78.23%。(2)国内最早的文献发表于 1992 年,中间经历了约 4 年的空白期,从 1997 年开始经历了缓慢增长—快速增长—稳定增长的过程。总体来说,近年来社会需求的推动作用巨大,加之科技进步和社会发展的推动,以及科学家的自由探索,使得生态系统服务研究的发文量大幅度增长,学科发展势头迅猛。

2.2 主要研究力量分析

2.2.1 国际主要研究国家分析

检索发现有 123 个国家(地区)参与了生态系统服务研究。发文量居前 10 位的国家相关信息及前 5 位的国家历年发文情况分别见表 1 和图 2。由表 1 可见,(1)发达国家在生态系统服务领域的研究实力明显强于发展中国家。美国的论文量居世界第一,在该研究领域处于主导地位。(2)综合论文量及被引频次来看,美国、英国、荷兰和加拿大的论文综合影响力较高,而中国的论文篇均质量相对不高,科学影响力较低。(3)从各国关注的研究主题来看,全球气候变化背景下的生态系统服务机理、生物多样性与生态系统服务、生态系统的保护与管理、生态系统服务评估、土地利用与生态系统服务、生态修复、生态可持续性、政策等普遍受到各国的关注,但关注程度有所不同。相比之下,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。各国关注点的不同,在一定程度上反映了生态系统服务研究的地域差异性。

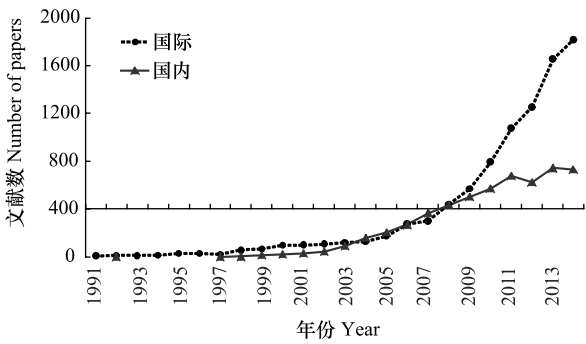


图 1 1991—2014 年生态系统服务领域发文数
Fig.1 Number change of papers on ecosystem services during 1991 to 2014

表 1 1991—2014 年国际上前 10 个国家的发文情况及研究主题

Table 1 Paper number and research themes of the top 10 countries during 1991 to 2014				
国家 Countries	论文数 Number of papers	总被引频次 Total cited frequency	篇均被引频次 Average cited frequency per paper	研究主题 Research themes
美国 USA	3854	78610	20.40	生态系统服务,生物多样性,保护管理及可持续性,土地利用与景观动态,生态系统理论,生态恢复,植被,森林,脆弱性,评估
英国 England	1148	23177	20.19	生态系统服务,生物多样性,保护管理及可持续性,气候变化,土地利用,评估,碳,政策,农业,生态系统结构框架
德国 Germany	854	13084	15.32	生态系统服务,生物多样性,保护管理及可持续性,土地利用动态,气候变化,农业(景观),评估(指标),理论框架,森林,污染
澳大利亚 Australia	738	14428	19.55	生态系统服务,保护管理及可持续性,生物多样性,气候变化,土地利用,生态恢复,脆弱性,价值评估,植被,生态系统服务理论框架
中国 China	660	6599	10.00	生态系统服务,保护管理及可持续性,生物多样性,评估与模型,土地利用与景观,生态系统结构框架,城市化,遥感,水体,政策
加拿大 Canada	550	14501	26.37	生物多样性,生态系统服务,保护管理及可持续性,气候变化,农业,植被,脆弱性,碳,土地利用,模型
法国 France	537	9670	18.01	生态系统服务,生物多样性,保护管理及可持续性,气候变化,土地利用与景观,森林动态,农业,评估,脆弱性,生态系统功能
荷兰 Netherlands	510	14569	28.57	生态系统服务,生物多样性,保护管理及可持续性,气候变化,评估与模型,生态系统服务理论框架,土地利用,政策,农业,脆弱性
西班牙 Spain	471	7646	16.23	生态系统服务,生物多样性,保护管理及可持续性,气候变化,土地利用与景观格局,评估,理论框架,环境服务,植被,农业
瑞典 Sweden	402	11214	27.90	生态系统服务,生物多样性,保护管理及可持续性,脆弱性,气候变化,生态系统服务研究尺度,农业,土地利用,政策,森林

表 1 中研究主题经统计整理后以词频降序排列,列出了最受各国关注的前 10 个研究主题。以下表 2 中国际机构和表 3 中国内机构的研究主题也按此方法排列

由图 2 可知,美国、英国和德国在生态系统服务方面的研究起步较早,美国自 1991 年起就一直处于绝对领先地位。中国在早期发展阶段,人们为了满足基本的生活需求对生态系统进行无节制的开发利用,加之巨大的人口压力使我国生态系统服务功能严重退化,生态环境问题日益突出,随着我国综合国力提高,政府日趋重视,科研投入加大,使得我国虽然在生态系统服务研究方面起步较晚,但发展迅猛,短短十几年就跻身世界前列,累积发文量居世界第 5 位。

2.2.2 国际主要研究机构分析

检索发现来自全世界 1973 个机构参与了生态系统服务研究,主要研究机构的相关信息如表 2 所示。(1)这些机构多来自发达国家,有 5 个机构来自美国,只有中国科学院来自发展中国家。(2)美国和荷兰的机构在论文数量及篇均被引频次方面均远超于其他机构,显示了这两个国家的科研机构在生态系统服务研究方面的强大实力和影响力。中国科学院虽论文数位居第四,但篇均被引频次相对最低。(3)各个机构所关注的研究主题不尽相同。概括来讲,生态系统服务机理研究、生物多样性与生态系统服务、生态系统保护与管理、土地利用变化对生态系统服务的影响、生态系统服务评估(授粉、固碳和生物多样性等是评估热点)、植被动态、生态系统脆弱性、政策等受到各个研究机构的优先关注。

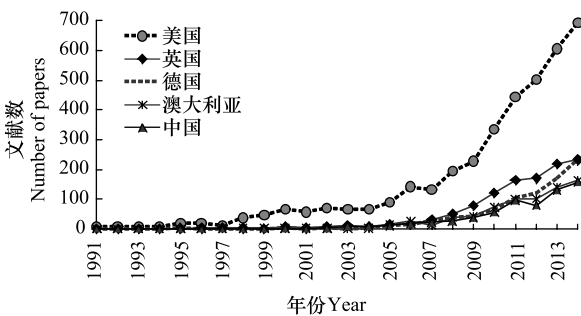


图 2 1991—2014 年国际前 5 个主要国家历年发文情况

Fig.2 Paper number of the top 5 countries during 1991 to 2014

表 2 国际前 10 个机构的研究主题

Table 2 The research themes of the top 10 international institutions

机构 Institutions	研究主题 Research themes
美国加利福尼亚大学 University of California System	生态系统服务,生物多样性,保护管理及可持续性,气候变化,土地利用与景观,农业,生态修复,农作物授粉,森林,脆弱性
美国农业部 United States Department of Agriculture (USDA)	生态系统服务,保护管理及可持续性,气候变化,生物多样性,固碳,农作物产量,农业生态系统,生物控制,生态恢复,干扰
美国林务局 United States Forest Service	生态系统服务,保护管理及可持续性,气候变化,森林生态系统,植被动态,林火,土地利用与景观生态,干扰,生态修复,脆弱性
中国科学院 Chinese Academy of Sciences	生态系统服务,保护管理及可持续性,生物多样性,价值评估,气候变化,生态系统,土地利用,植被动态,遥感,黄土高原
英国自然环境研究理事会 Natural Environment Research Council (NERC)	生态系统服务,保护管理及可持续性,气候变化,固碳,氮,植被,生态系统服务理论框架,评估与模型,有机物,政策
荷兰瓦格宁根大学研究中心 Wageningen University Research Center	生态系统服务,生物多样性,保护管理及可持续性,气候变化,土地利用,生态系统服务价值评估,农业景观,评估指标,脆弱性,政策
法国国家科研中心 Center National de la Recherche Scientifique (CNRS)	生物多样性,生态系统服务,保护管理及可持续性,气候变化,土地利用与景观动态,生态系统功能,食物链,生态修复,评估与模型,植被
美国地质调查局 United States Geological Survey	生态系统服务,保护管理及可持续性,气候变化,湿地,植被动态,生态恢复,土地利用与景观格局,脆弱性,氮,干扰监测
澳大利亚联邦科学工业研究组织 Commonwealth Scientific Industrial Research Organization (CSIRO)	生态系统服务,生物多样性,保护管理及可持续性,气候变化,评估与模型,生态系统结构,土地利用,政策,生态恢复,脆弱性
美国佛罗里达州立大学 Florida State University System	生态系统服务,生物多样性,保护管理及可持续性,气候变化,氮,湿地,土地利用与景观动态,固碳,生态恢复,脆弱性,土壤

2.2.3 国内主要研究机构分析

由表 3 可知,(1)中国科学院在生态系统服务研究方面处于领先地位,其体系下的地理科学与资源研究所及生态环境研究中心的论文量相对最多。其次,北京师范大学、北京林业大学、北京大学等的研究实力较强。(2)各个机构的主要研究区域不同,关注的主题也不尽相同。总体来说,生态系统服务功能研究、价值评估、土地利用变化对生态系统服务的影响、生态补偿、生态修复、遥感技术的运用、景观格局与生态过程、生态

效应、区域可持续发展等方面是各机构关注的热点主题,也是国内的研究热点。

表 3 国内前 5 个研究机构的研究主题
Table 3 The research themes of the top 5 domestic institutions

机构 Institutions	研究主题 Research themes
中国科学院 Chinese Academy of Sciences	生态系统服务,保护管理及可持续性,价值评估与模型,土地利用变化,生态补偿,生物多样性,生态恢复,遥感,生态系统服务消费,城市化
北京师范大学 Beijing Normal University	生态系统服务机制,价值评估与模型,遥感,可持续发展,土地利用,天山北坡,农牧交错带,人类福祉,城市生态系统,湿地
北京林业大学 Beijing Forestry University	森林生态系统,生态系统服务,价值评估,生态服务功能,生物多样性,土地利用变化,生态效益,遥感,生态补偿,自然保护区
北京大学 Peking University	生态系统服务,价值评估,土地利用变化,湿地,生物多样性,自然生态系统,景观格局优化,城市生态系统,生态修复,深圳
中国农业大学 China Agricultural University	生态系统服务,生态补偿,农牧交错带,价值评估,土地利用,黄土高原,景观规划,绿色基础实施,生态足迹,生物多样性

2.2.4 国际合作分析

运用 CiteSpace 软件对 SCI—E 数据库中检索到的英文文献进行文献共被引分析,得到生态系统服务领域国际合作网络图谱(图 3),节点年轮环厚度与相应时间分区内的引文数量成正比,节点越大表示在整个时间跨度内被引用次数越多,节点间连线表示两者存在共同被引关系,节点及连线颜色表示被引年份,连线的长短和粗细表示了两个节点之间连结的强度,图谱中节点间的连线意为两个国家或机构共同出现在一篇文献里,即视为两个国家或机构有合作关系^[9]。从图谱中可看到,(1)从合作连线来看,美国、荷兰、德国、澳大利亚、法国与其他国家之间的合作较为密切。其中美国节点的中心性最大(为 0.47),荷兰次之(为 0.23),这表明绝大多数国家都与他们有着直接或间接的合作关系。中国仅为 0.05,说明中国和其他国家在生态系统服务方面的合作相对较弱。(2)美国的主要合作国家(合作频次≥50)有英国、中国、澳大利亚、加拿大和德国等,合作频次在 10 以上的国家有 25 个。美国有相对较多的机构在生态系统服务研究领域贡献突出,合作频次在 10 以上的有 86 个。(3)中国的主要合作国家是美国,合作频次在 10 以上的国家有 5 个。(4)从连线的粗细程

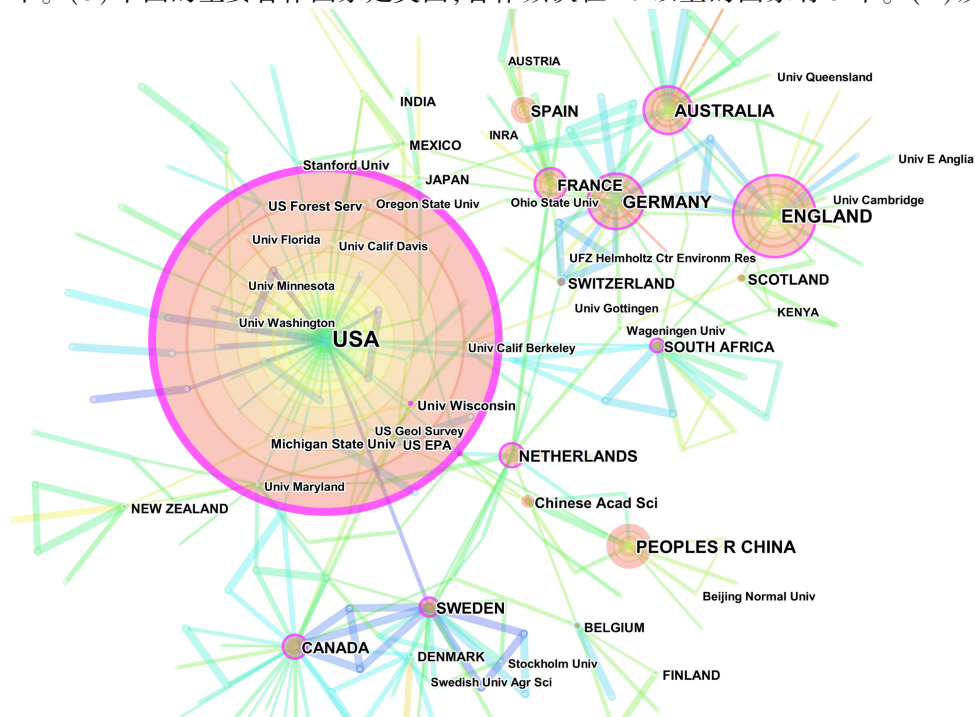


图 3 生态系统服务领域国家和机构的合作情况

Fig.3 The international cooperation on ecosystem services of the main countries and institutions during 1991 to 2014

度来看,近年来国家和机构层面上的合作正在不断加强。

2.3 学科、来源期刊和高产作者分析

从学科角度来看,检索到的生态系统服务文献涉及 112 个相关学科,已有的研究主要集中在自然科学领域,而社会科学内容较为缺乏。主要学科类别是环境科学、生态学、环境研究、生物多样性保护、林学等。

生态系统服务研究领域的主要国内外载文期刊和高产作者见表 4。(1)这些国际性期刊主办国主要为荷兰、美国、瑞典、德国等研究实力强的发达国家。*Ecological Economics* 是出版生态系统服务研究最多的期刊。国内的主要载文期刊有生态学报、应用生态学报和资源科学等。(2)高产作者多来自美国、德国、英国和瑞典,Tscharntke T、Costanza R 和 Folke C 在生态系统服务研究领域有较高的影响力。国内高产作者基本来自中国科学院,其中傅伯杰和吕一河发表的英文文献最多。(3)通过分析这 15 位高产作者的高被引频次的论文后发现,涉及的主题主要有生态系统服务机理研究、价值评估、生物多样性、社会—自然生态系统耦合机制,生态系统管理、生态系统服务与人类福祉等方面。

表 4 生态系统服务领域主要载文期刊和高产作者
Table 4 The main journals and authors in the field of ecosystem services

刊物名称 Journals	载文数比例/% Percent	影响因子(2013 年) Impact factor	作者 Authors	论文数 Number of papers	H 指数 H—index
<i>Ecological Economics</i>	3.85	2.517	Tscharntke T	50	27
<i>PLoS One</i>	2.50	3.534	Gaston K J	38	14
<i>Ecology and Society</i>	2.12	2.669	Folke C	37	25
<i>Ecological Indicators</i>	1.76	3.23	Costanza R	37	21
<i>Ecological Applications</i>	1.64	4.126	Kremen C	36	18
<i>Agriculture Ecosystems Environment</i>	1.64	3.203	Steffan-Dewenter I	34	18
<i>Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PANS)</i>	1.62	9.809	Klein A M	32	17
<i>Forest Ecology and Management</i>	1.55	2.667	Polasky S	31	14
<i>Landscape and Urban Planning</i>	1.53	2.606	Daily G C	31	18
<i>Environmental Management</i>	1.51	1.648	Verburg P H	30	10
生态学报 (<i>Acta Ecologica Sinica</i>)	3.75	2.351	欧阳志云	66	8/23
安徽农业科学 (<i>Journal of Anhui Agricultural Sciences</i>)	1.85	0.694	谢高地	48	4/22
水土保持研究 (<i>Research of Soil and Water Conservation</i>)	1.61	0.754	傅伯杰	45	9/8
应用生态学报 (<i>Chinese Journal of Applied Ecology</i>)	1.54	2.464	郑华	36	4/16
资源科学 (<i>Resources Science</i>)	1.46	1.727	吕一河	29	8/4

H 指数表示一个作者有 h 篇论文至少被引用了 h 次。国内作者的 H 指数表示为 SCI—E 数据库统计结果/CNKI 数据库统计结果

Ecosystem Services 于 2012 年开始出版发行,与生态系统服务伙伴联盟(ESP)关系紧密,是一个国际性跨学科的生态系统服务专业期刊。2012—2014 年共刊发 183 篇相关文献,研究热点有生态系统服务机制、生物多样性保护、生态系统管理与政策响应、生态系统服务评估、模型开发与运用、土地利用与生态系统服务、生态系统对全球气候变化的响应等。

2.4 研究热点分析

关键词是对文章核心的高度概括和精炼,对文章中关键词进行分析,频次较高的关键词在一定程度上可以看作是该领域的研究热点^[9]。借助 CiteSpace 软件对高频关键词进行挖掘和提取,并对频次≥100 的关键词分类整理出国际生态系统服务研究热点(表 5),并简要概述如下。

生态系统机构—过程—服务的相互作用机理,以及不同生态系统服务之间的关系是生态系统服务评估的科学基础和研究前沿,尺度关联和尺度转换是生态系统服务研究的重点和难点^[2]。在深刻理解生态系统的

生态学机制的基础上,把握生态系统服务的精确内涵,了解相应尺度生态系统服务的动力学机制,科学合理的进行假设和理论分析以及实验观测,以减少或避免生态系统服务概念本身存在的风险以及分类和选择的主观性带来的评估风险,对实现生态系统服务的科学和准确研究意义重大而深远^[1,4,10-14]

表 5 生态系统服务领域热点关键词
Table 5 Hot key words on ecosystem services

研究主题 Research themes	代表关键词 Key words	词频合计 Total frequency number
生态系统服务机制 mechanism of ecosystems services (ecosystem structure, processes, functions, and services)	ecology, ecosystem(s) , system(s) , ecosystem function framework , scale , classification vegetation , forest (s) , agriculture , wetlands , grassland , water , soil , river , fisheries productivity , nitrogen , pollination , water-quality , carbon , carbon sequestration ecosystem services , services , benefits , environmental services	9901
保护管理及可持续性 conservation and sustainability	management , conversation , protected-areas , ecosystem management sustainability , sustainable development	3579
生物多样性 biodiversity	(bio) diversity , communities , biodiversity conservation , species richness , habitat , growth , biomass , species-diversity , plant diversity	4365
脆弱性 vulnerability	impacts , resilience , deforestation , disturbance , fire , consequences , restoration , stability , adaption	1889
土地利用及景观 land use and landscape change	land use , land-use change , patterns , dynamics , urbanization , land landscape(s) , agriculture landscape ,	2460
评估与模型 evaluation and modeling	valuation , values , continent valuation , economic valuation , indicators model(s)	1298
气候变化 climate (or environmental) change	climate-change , climate , environment	1076
政策与决策分析 policy and decision-making	policy , governance decision-making , perspective , future	829

如何保育和管理生态系统,改善生态系统服务,保障区域生态安全,是生态学家和管理者面临的又一大难题^[15-17]。虽然科学家们已进行了一系列研究,但由于对生态系统的大部分服务的研究尚未深入开展,所以对于如何确定生态系统管理的关键组分,确定管理的边界和范围、不同管理方式下生态系统服务的变化,以及这种变化与人类活动的相互关系等尚没有明晰的结论^[2]。

生物多样性对生态系统服务的影响一直是国际上生态研究的焦点之一。尽管国内外学者围绕生物多样性和生态系统服务功能开展了大量研究,但由于生物多样性与生态系统服务的关系非常复杂,明确生物多样性和生态系统服务之间的依存关系,进一步理解生态系统服务的生态学机制,为有效开展生物资源的保护和持续利用提供管理和决策支持是急需回答的关键问题^[2,18-20]。因此,理解生物多样性-生态系统服务-人类福祉之间的关系,阐明生物多样性和生态系统服务丧失引起的经济价值损失及其对人类福祉的影响,揭示生物多样性、生态系统功能及其稳定性对全球变化和人类活动干扰的敏感性和适应机制是今后研究的重点。

土地利用与生态系统服务有着密切的关系,土地利用策略影响着生态系统和景观生态过程,进而影响到生态系统服务的供给。近年来,土地利用结构、景观动态与土壤水分、养分、水土流失等研究逐渐成为土地利用与生态系统过程研究的核心内容^[21-24]。已有的大尺度土地利用变化背景下生态系统服务评价研究多是依赖于遥感解译数据和社会经济数据等,缺乏可靠的实地观测数据、统一的评价方法及对结果的验证等。因此,在实际评价过程中,应充分明确评价精度与评价目的之间的关系,合理选择可靠的数据源及评价指标,并对最终的评估结果与实际调查观测数据进行对比验证,这样既能节省成本又可确保评价过程的准确性,使得生态系统服务评估能真正辅助决策^[25]。另外,土地利用变化驱动下生态系统过程与服务的相互关系、生态系统服务之间的相互关系以及生态系统服务的区域集成与优化研究是区域生态系统管理的基础,也是生态系统服务

研究的前沿科学问题,对于深刻理解和把握生态系统服务的形成过程与响应机理,合理配置与利用土地资源,实现区域可持续发展具有重要的理论和现实意义^[25-26]。

气候变化、人类活动及其他干扰影响着生态系统服务的脆弱性变化。针对生态系统服务脆弱性的研究主要集中在脆弱性评价、不同土地利用方式下的脆弱性响应等方面^[27-29],而对于贫困地区和生态脆弱区的生态系统服务评价及实验观测研究相对较少。亟待开展生态系统脆弱性变化研究,深刻理解人类活动和气候变化等胁迫下生态系统服务功能的响应与反馈机制,寻求减缓应对措施和途径,增强生态系统的自我修复能力及适应性。同时,加强关注生态系统服务在生态脆弱地区的波动,量化生态系统服务在气候变化、经济发展和人类活动等干扰下的变化和对人类福利的影响,消除贫困,保障区域生态安全^[14]。

生态系统服务价值评估理论、评估指标和模型研究是生态系统研究的核心和重点。当前评估热点集中在授粉和粮食生产、土地退化与恢复、外来物种入侵、生物多样性等方面。由于评估方法的差异,以及评估指标选取不同,导致同一区域的同种生态系统服务功能的评估结果差异很大;另外,未充分考虑穷困人群对生态系统的依赖性和需求,难以实现在动态评估的基础上进行空间转换和异质性功能的量化,因此导致生态系统服务评估存在诸多不合理和不精确^[14];当前已有的生态系统服务评估多数采用经济价值评估法开展,该方法具有一定的主观性,且有可能掩盖生态系统服务的生态学意义,不足以说明生态系统过程和形成机理;此外,目前关于生态系统服务评估方面的研究对决策者的信息需求关注的较少,为促进生态系统服务在实践中的应用,研究者需要将注意力转移到政策选择和生态系统数据需求上^[13,29-32]。随着全球范围内研究尺度的加大,基于 3S 构建的生态模型具有大尺度下生态系统服务计算的优势,基于机理和过程的模型也逐渐发展起来,但目前基于 3S 技术的生态系统服务价值评估集成研究仍存在一些不尽人意之处,如生态系统服务价值评估的方法体系仍需不断完善,3S 技术本身的一些不足,以及生态系统服务价值评估在集成研究中存在的各类耦合问题等^[30-32]。生态系统服务模型的未来发展在致力于生态系统结构、过程与服务的机理研究的同时,需要更好的整合决策过程,注重耦合景观格局、生态系统服务与决策的区域集成模型的开发利用^[2,30,33]。

生态系统服务可能因气候或环境变化而改变,如生物多样性、水供应和碳储存等是受气候变化影响最为直接的生态系统服务。目前,在全球气候变化研究的热潮下,学者们非常关注气候变化给包括生物多样性在内的生态系统服务功能乃至整个社会环境带来的影响^[34-38]。气候变化对区域生态系统服务的可能影响及其阈值,区域生态系统服务对全球气候变化的响应,农业、水资源、人体健康、食物安全等对全球和区域气候变化脆弱性和风险评估,气候变化背景下自然资源的保护管理及可持续利用等方面是当前及未来的重点研究议题。

科学研究与政策间的互动至关重要,尤其是对于生态修复、生态补偿及维持区域生态安全等方面具有重大影响。政策通过改变土地利用方式、支配自然资源利用等直接或间接地对生态系统结构和过程施加影响,从而改变生态系统服务。开展生态系统服务对政策的响应及反馈机制研究,揭示政策变化对生态系统维持和保育的效应,更有助于提出生态系统服务保育、可持续利用的决策方案和管理策略^[12,17,31],更好地服务于人类福祉。

为了进一步揭示研究热点时期变化特征,以 2001 年 MA 项目启动和 2012 年 IPBES 建立两大事件为时间节点,分别开展国际和国内研究热点的时序变化分析(图 4)。结果表明:(1)1991—2000 年间,国际上关于生态系统服务机理、保护管理及可持续性发展、生物多样性与生态系统服务的研究占据一定的比例,其他方面的研究相对较少;国内只有少量的关于生态系统服务机理以及保护管理的研究报道。(2)2001—2011 年间,生态系统服务机理,保护管理及可持续性发展,生物多样性这三类关键词出现的频次最高,是这个时期国际上的研究热点及焦点;国内关注较多的是生态系统服务机理,评估和模型,其次是土地利用与景观方面。(3)2012—2014 年间,国际在各个方面的研究都有所加强,生态系统服务机理,保护管理及可持续性发展,生物多样性依然是研究焦点;国内最关注的是生态系统服务评估,其次是生态系统服务机理研究。(4)从各个时期研究热点的整体变化情况来看,国际侧重于生态系统服务机制及生态系统服务与人类福祉的依存关系的研究,

国内更加关注生态系统服务评估。

总体来看,近年来生态系统服务研究趋势主要表现为以下几个方面:理论研究从系统变化的驱动力及过程向机理与机制深化;研究途径从简单综合向系统综合与区域集成转变,在要素集成上不仅包括自然要素的集成,还包括经济与社会要素的集成,在过程集成上除了物理、化学、生物过程的集成之外,还囊括了社会与文化过程,在区域集成上更强调尺度转换及其产生的效应;通过生态系统要素综合、生态过程综合与区域集成,综合性不断得到加强;生态环境保护与管理、生态经济、土地利用变化与规划、遥感、地理信息系统、区域可持续发展等学科交叉融合研究更加明显;政府间科学与政策互动正在加强。

3 结论

生态系统服务研究是当前国际科学界和政府部门关注的热点,涉及多个学科领域。本文基于 SCI—E 和 CNKI 数据库检索生态系统服务领域的中英文文献,利用文献计量方法分析了其发展变化特征、趋势及研究热点。

(1)国内外生态系统服务研究发展态势良好。发达国家是生态系统服务领域的主要研究力量,绝大多数研究机构来自发达国家,其中美国加利福尼亚大学是主要研究机构。从机构的合作情况来看,发达国家之间的合作较为密切,尤其是美国、荷兰、德国、澳大利亚、法国和其他国家之间。中国在生态系统服务研究方面起步较晚,但发展迅猛,短短十几年就跻身世界前列,累积发文量居世界第 5 位。中国科学院是全球主要的研究机构之一,但论文的被引频次较低。

(2)生态系统服务研究主要载文期刊分布在研究实力强的发达国家,*Ecological Economics* 的刊文最多。国内高影响因子的期刊有生态学报和应用生态学报等。生态系统服务领域的高产作者主要来自美国和德国。国内高产作者主要来自中国科学院。

(3)生态系统服务研究领域内的 8 大研究热点包括:生态系统机理研究,保护管理及可持续性、生物多样性、脆弱性、土地利用及景观、评估与模型、气候变化、政策与决策分析。从各个时期研究热点的整体变化情况来看,国际侧重于生态系统服务机理及生态系统服务与人类福祉的依存关系的研究,国内更加关注生态系统服务评估。

(4)近年来中国在生态系统服务研究领域的科研实力增强,国际地位有所提升,科研文章数量显著增加,但国内的发展相比于国外的相关研究还存在一定差距,论文质量有待提高,国际合作亟待加强和提升。这些研究成果将有助于掌握生态系统服务研究的最新发展动态,对未来科研工作提供必要支撑。

参考文献 (References):

- [1] MA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and Human Well-Being: Desertification Synthesis. Washington D C: Island Press, 2005: 1-10.
- [2] 傅伯杰. 生态系统服务与生态安全. 北京: 高等教育出版社, 2013: 1-6.
- [3] Palmer M, Bernhardt E, Chornesky E, Collins S, Dobson A, Duke C, Gold B, Jacobson R, Kingsland S, Kranz R, Mappin M, Martinez M L, Micheli F, Morse J, Pace M, Pascual M, Palumbi S, Reichman O J, Simons A, Townsend A, Turner M. Ecology for a crowded planet. *Science*, 2004, 304(5675): 1251-1252.
- [4] Daily G C. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Washington D C: Island Press, 1997: 1-8.

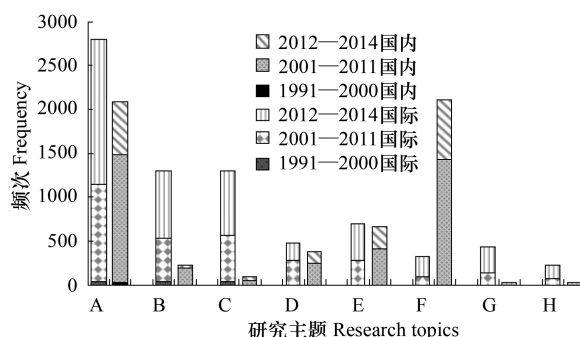


图 4 各类热点关键词的时期分布

Fig.4 Distribution of the hottest keywords of different periods

图中横坐标的字母依次对应表 6 中研究热点分类

- [5] About IPBES. [2014-01-18]. <http://www.ipbes.net/about-ipbes.html>.
- [6] 吕明权, 吴胜军, 陈春娣, 姜毅, 温兆飞, 陈吉龙, 王雨, 王小晓, 黄平. 三峡消落带生态系统研究文献计量分析. 生态学报, 2015, 35(11): 3504-3518.
- [7] Costanza R, Kubiszewski I. The authorship structure of "ecosystem services" as a transdisciplinary field of scholarship. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 16-25.
- [8] Tancoigne E, Barbier M, Cointet J P, Richard G. The place of agricultural sciences in the literature on ecosystem services. *Ecosystem Services*, 2014, 10: 35-48.
- [9] 赵建保. CiteSpace 可视化流程与分析范式研究. 知识经济, 2014, (16): 105-107.
- [10] MA (Millennium Ecosystem Assessment). *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. 2nd ed. Washington DC: Island Press, 2003: 72-84.
- [11] Kremen C, Ostfeld R S. A call to ecologists: measuring, analyzing, and managing ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2005, 3(10): 540-548.
- [12] Fisher B, Turner R K, Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 2009, 68(3): 643-653.
- [13] Fu B J, Wang S, S C H, Forsius M. Linking ecosystem processes and ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(1): 4-10.
- [14] 李惠梅, 张安录. 生态系统服务研究的问题与展望. 生态环境学报, 2011, 20(10): 1562-1568.
- [15] Armsworth P R, Chan K M A, Daily G C, Ehrlich P R, Kremen C, Richkette T H, Sanjayan M A. Ecosystem-service science and the Way Forward for Conservation. *Conservation Biology*, 2007, 21(6): 1383-1384.
- [16] Braat L C, de Groot R. The ecosystem services agenda: Bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 4-15.
- [17] Wang S, Fu B J, Wei Y P, Lyle C. Ecosystem services management: an integrated approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(1): 11-15.
- [18] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron D R, Chan K M A, Daily G C, Goldstein J, Kareiva P M, Lonsdorf E, Naidoo R, Ricketts T H, Shaw M R. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 4-11.
- [19] Christie M, Rayment M. An economic assessment of the ecosystem service benefits derived from the SSSI biodiversity conservation policy in England and Wales. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 70-84.
- [20] Kremen C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology?. *Ecology Letters*, 2005, 8(5): 468-479.
- [21] Luo D, Zhang W T. A comparison of Markov model-based methods for predicting the ecosystem service value of land use in Wuhan, central China. *Ecosystem Services*, 2013, 7: 57-65.
- [22] Li J C, Wang W L, Hu G Y, Wei Z H. Changes in ecosystem service values in Zoige Plateau, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010, 139(4): 766-770.
- [23] Lavelle P, Rodríguez N, Arguello O, Bernal J, Botero C, Chaparro P, Gómez Y, Gutiérrez A, del Pilar Hurtado M, Loaiza S, Pullido S X, Rodríguez E, Sanabria C, Velásquez E, Fonte S J. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2014, 185: 106-117.
- [24] Dorji T, Odeh I O A, Field D J, Baille I C. Digital soil mapping of soil organic carbon stocks under different land use and land cover types in montane ecosystems, Eastern Himalayas. *Forest Ecology and Management*, 2014, 318: 91-102.
- [25] 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. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446.
- [26] Viglizzo E F, Paruelo J M, Laterra P, Jobbágy E G. Ecosystem service evaluation to support land-use policy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, 154: 78-84.
- [27] Smith A M S, Kolden C A, Tinkham W T, Talhelm A F, Marshall J D, Hudak A T, Boschetti L, Falkowski M J, Greenberg J A, Anderson J W, Kliskey A, Alessa L, Keefe R F, Gosz J R. Remote sensing the vulnerability of vegetation in natural terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 154: 322-337.
- [28] Depietri Y, Welle T, Renaud F G. Social vulnerability assessment of the Cologne urban area (Germany) to heat waves: links to ecosystem services. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2013, 6: 98-117.
- [29] Metzger M J, Rounsevell M D A, Acosta-Michlik L, Leemans R, Schröter D. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, 114(1): 69-85.
- [30] Bagstad K T, Semmens D J, Waage S, Winthrop R. A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. *Ecosystem Services*, 2014, 5: 27-49.

- [31] Maes J, Egoh B, Willemen L, Lique C, Vihervaara P, Schägner J P, Grizzetti B, Drakou E G, la Notte A, Zulian G, Bouraoui F, Paracchini M L, Braat L, Bidoglio G. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 31-39.
- [32] 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. *生态学报*, 2013, 33(20): 6736-6740.
- [33] Daily G C, Polasky S, Goldstein J, Kareiva P M, Mooney H A, Pejchar L, Ricketts T H, Salzman J, Shallenberger R. Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 21-28.
- [34] Schröter D, Cramer W, Leemans R, Prentice I C, Araújo M B, Arnell N W, Bondeau A, Bugmann H, Carter T R, Gracia C A, de la Vega-Leinert A C, Erhard M, Ewert F, Glendining M, House J I, Kankaanpää S, Klein R J, Lavorel S, Lindner M, Metzger M J, Meyer J, Mitchell T D, Reginster I, Rounsevell M, Sabaté S, Sitch S, Smith B, Smith J, Smith P, Sykes M T, Thonicke K, Thuiller W, Tuck G, Zaehle S, Zierl B. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, 2004, 310(5752): 1333-1337.
- [35] Metzger M J, Schröter D, Leemans R, Cramer W. A spatially explicit and quantitative vulnerability assessment of ecosystem service change in Europe. *Regional Environmental Change*, 2008, 8(3): 91-107.
- [36] Winfree R. Global change, biodiversity, and ecosystem services: What can we learn from studies of pollination?. *Basic and Applied Ecology*, 2013, 14(6): 453-460.
- [37] Vihervaara P, D'Amato D, Forsius M, Angelstam P, Baessler C, Balvanera P, Boldgiv B, Bourgeron P, Dick J, Kanka R, Klotz S, Maass M, Meleci V, Petřík P, Shibata H, Tang J W, Thompson J, Zacharias S. Using long-term ecosystem service and biodiversity data to study the impacts and adaptation options in response to climate change: insights from the global ILTER sites network. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(1): 53-66.
- [38] Hannah L. *Climate Change Biology*. Burlington, MA: Academic Press, 2011: 281-300.