

DOI: 10.5846/stxb201402170270

胡秀芳, 赵军, 查书平, 鲁凤, 王晓峰. 生态安全研究的主题漂移与趋势分析. 生态学报, 2015, 35(21): - .

Hu X F, Zhao J, Zha S P, Lu F, Wang X F. An analysis of the evolution of topics and future trends in ecological security research. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(21): - .

生态安全研究的主题漂移与趋势分析

胡秀芳^{1,2}, 赵 军^{1,*}, 查书平², 鲁 凤², 王晓峰^{3,4}

1 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070

2 南通大学地理科学学院, 南通 226007

3 长安大学资源学院, 西安 710054

4 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

摘要:近年来,国际上关于生态安全研究的文献大量涌现。随着全球变化和人类活动影响加剧,生态安全研究正发生着深刻变化,呈现出多目标、多层次、多学科交叉综合的复杂特点,研究主题日益丰富,但模糊性和争议性问题一直存在,对已有文献成果进行系统分析非常有必要。本文利用引文网络分析可视化工具 Citespace II,通过绘制科学知识图谱,以定量与定性相结合的可视化文献综述研究方法,对各国学者发表的生态安全研究成果进行系统分析梳理,展示了研究主题的演进轨迹和发展趋势,总结了其发展变化的内在原因。研究表明:生态安全的研究主题可分为持续性和阶段性两类,主题演化轨迹符合 Gartner 光环曲线理论,人类文明发展阶段、国际政治经济格局、学科研究水平是决定生态安全研究阶段和主题演变的主要因素,该领域经历了问题提出与概念形成期、奠基拓展期、纵深发展期三个阶段,各阶段都有一些关键文献出现,这些引领学科发展的经典文献以自然科学研究为主;全球化、生物多样性、生态农业与农业集约化、恢复力、脆弱性是当前生态安全领域的研究热点;保障人类生存发展基本需要和人对环境变化的适应与响应将是 21 世纪生态安全研究的主要方向。

关键词:生态安全;主题漂移;科学知识图谱;Citespace II

An analysis of the evolution of topics and future trends in ecological security research

HU Xiufang^{1,2}, ZHAO Jun^{1,*}, ZHA Shuping², LU Feng², WANG Xiaofeng^{3,4}

1 College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

2 College of Geography, Nantong University, Nantong 226007, China

3 Chang'an University, Xi'an 710054, China

4 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: In recent years, there has been a surge in international research literature on ecological security. With intensifying global change and human actions, this research field has been profoundly transformed. While research on ecological security is multitargeted, multilevel, and multidisciplinary, revealing integrated and complex characteristics, fuzzy and controversial issues have persisted. The use of traditional and current methods for researching publications is limited when applied to large quantities of literature, because they are qualitative, non-visual, and manual. This paper focuses the application of Citespace II, which is a visualization tool for conducting both quantitative and qualitative citation network analysis of visual literature reviews. We used this tool to analyze classical literature and literature with a research

基金项目:国家自然科学基金(41301646);西安市景观格局动态演变的生态效应研究,陕西省自然科学基金(2014JM5211)

收稿日期:2014-02-17; **网络出版日期:**2015-04-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaojun@nwnu.edu.cn

focus on this field, documenting the association of a co-citation network with a keyword co-appearance network. We applied three methods available in *Citespace II* to examine the evolutionary trajectory of research topics and their development trends. These methods included keyword frequency analysis, document clustering analysis, and the burst detection algorithm. The use of these methods enabled us to identify causative factors in the development of research topics. We conducted scientific knowledge mapping to analyze and locate research and scholarship studies on ecological security globally. These are three factors: (1) different stages of human civilization, (2) patterns of international politics and the global economy, and (3) the level of research on subjects that are formative at different stages of ecological security research and the evolution of research themes. Our results showed that this research field has undergone three procedural phases from the initial stage of asking questions and forming concepts, to the research development stage, and finally in-depth research. Seminal literature has emerged during these different stages of research. Our study revealed two types of ecological security research topics. The first type was relatively stable and endured through all three study phases. The second was characterized as periodic research hot spots in a changing global situation. This type, which is currently less prominent, includes new environmental problems and concepts, in addition to emerging technological applications. The evolution characteristic of themes conformed to the Hype Cycle Theory. Globalization, biodiversity, ecological agriculture and agricultural intensification, resilience, and vulnerability represent research hotspots in the field of ecological security at present. Guaranteeing basic human survival and development needs, as well as human adaptations and responses to environmental change, are important future directions for ecological security research. Whereas research on human survival and development centers on interactions between food security, climate change, and natural resources security, the focus of research on human adaptations and responses to environmental change is on ecological prevention and restoration, policy management and tradeoffs, and technological progress. Visualization of citation analysis through the processing of prolific citation data enables us to observe and understand the literature content more easily, and to discover hidden rules and patterns in the data. Creating knowledge maps is becoming increasingly popular, with information visualization tools providing a useful supplementary method to traditional literature reviews.

Key Words: Ecological security; Evolution of topics; Science knowledge mapping; *Citespace II*

自 20 世纪 80 年代以来,国际上关于生态安全研究的文献大量涌现,涉及的学科和内涵非常广泛^[1-4]。目前,随着全球变化和人类活动影响加剧,生态安全研究正发生着深刻变化,呈现出多目标、多层次、多学科交叉综合的复杂特点;对生态安全内涵认识的不断加深和新的环境问题、环境理念出现,使其研究主题也在不断变化并日益丰富,但是模糊性、争议性问题一直存在。

近年来,针对生态安全相关文献的分析综述已有不少成果。国外多为对生态安全研究领域某一专题的进展评述,比如气候变化对全球粮食安全影响研究的分析总结^[5],对城市生态安全研究进展^[6]、可持续发展评价指标体系进展^[7]等的综述;国内以生态安全整个研究领域的综述为主,比如对国内外生态安全研究^[1, 8]、生态安全评价研究^[3, 9-11]、土地生态安全研究^[12, 13]的进展分析等。这些综述分析对国内学者了解生态安全研究状况和指导开展生态安全研究发挥了重要作用。但是面对成千上万的庞杂文献群,以文献阅读、总结归纳、定性探讨方法为主的传统文献综述方法存在一定的局限性;生态安全研究领域中的许多重要问题,比如发展动力、主题演化轨迹及其规律、前沿趋势等还需采用科学方法进一步分析探讨。

目前,处理分析学术性信息的科学计量学与信息计量学技术发展迅速,弥补了传统文献综述方法的不足。由陈超美博士于 2004 年首次推出的引文网络分析工具 *Citespace*,通过绘制知识图谱,可以量化、可视化的方法,对一定时期相关主题的全部文献进行梳理分析^[14-16]。本文借助 *Citespace II* (3.5.R6),通过定量分析近 30 余年来生态安全领域中的关键文献和研究热点,对全球生态安全研究的主题进行系统梳理,总结其演变规律并进行研究阶段划分;通过对突现词的检测和归纳,发现生态安全研究的前沿趋势,将为未来生态安全研究

提供一些借鉴和启示。

1 思路、方法与数据

1.1 研究思路与方法

主题指文献探讨和解决的中心问题,表征方式有题目、摘要、关键词等。本文所谓主题漂移,是指在生态安全研究领域,文献主题随时间推移而发生的重要变化,这种变化能够揭示生态安全研究的核心问题、研究对象和解决方法等随时间推移发生标志性变化的节点,进而折射出不同阶段所关注的热点和发展的方向。

研究思路 and 主要方法见图 1: 通过文献共被引、关键词共现分析分别发现生态安全研究领域中的经典文献和研究热点,再结合关键词词频分析、文献聚类分析,展现研究主题的演化漂移。通过突变检测算法发现未来的研究趋势^[16]。在每幅图的左上角有图谱绘制的参数信息,阈值选择采用(c, cc, ccv)方式(c 为被引频次, cc 为共被引频次, ccv 为共被引系数),分别设定前、中、后 3 个时间分区的(c, cc, ccv),其他时间分区的阈值由线性插值决定。

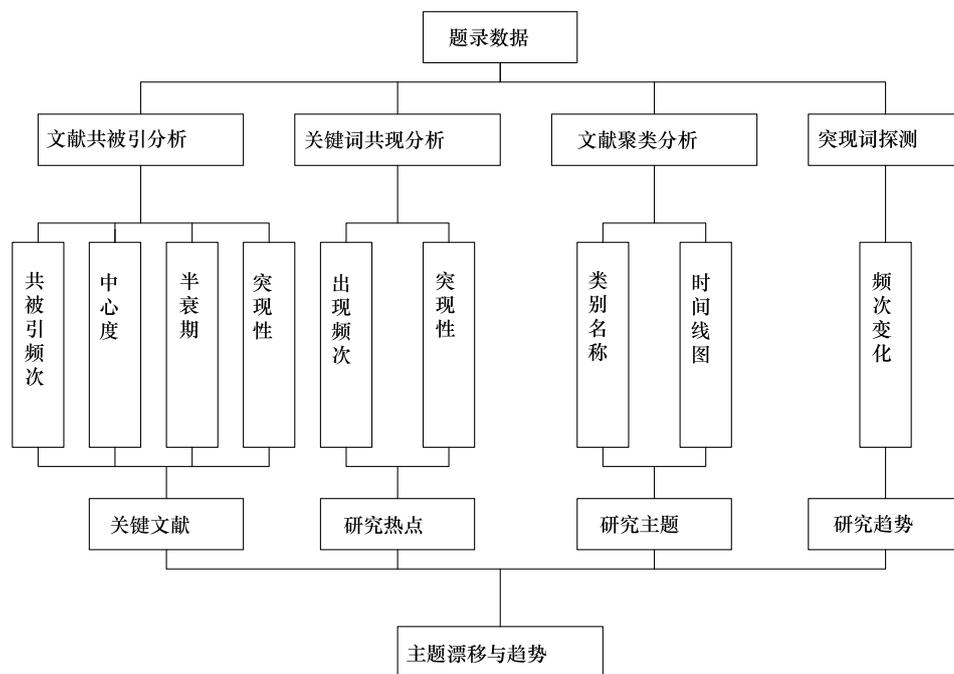


图 1 研究思路 and 主要方法

Fig. 1 Research ideas and methods

1.2 数据来源

本文所使用的数据来源于 Web of Science(WOS)数据库(SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, CCR-EXPANDED, IC)。数据采集时间为 2013 年 11 月 9 日,检索条件是:主题(topical terms) = ecological security,时间段为“1980—2013”。共检索出 1331 条记录,每个记录包括了一篇引文的标题、作者、摘要、关键词、参考文献等题录信息。

2 生态安全研究的主题漂移

经典文献通常是一个研究领域提出重大理论或者具有概念创新的关键文献,反映了该文献发表时期社会关注的焦点主题;而研究热点是在一定时期,一组数量较多的相关文献共同关注的研究主题。所以本文以关键文献和研究热点的计量分析为基础,分析归纳研究主题的主题漂移变化,并根据主题演化的轨迹进行研究阶段的划分。

2.1 关键文献

以 1 年为时间切片,节点类型为参考文献,阈值设置(2,3,15),(3,3,20),(3,2,20)绘制文献共被引时区视图。引文年轮代表着某篇文章的引文历史,年轮颜色代表相应的引文时间,年轮厚度和与相应时间分区内引文数量成正比。中心度在 0.1 以上的节点是图谱中的关键节点,可能成为网络中由一个时间段向另外一个时间段过渡的关键节点,是具有理论和研究创新的文献,很有可能形成某一领域的研究热点前沿^[15]。有 31 篇中心度在 0.1 以上且被引频次和突现性较大的文献(图 2、表 1-2),它们是生态安全研究文献群中起到关键作用或具有转折意义的文献,是不同时期的基础性、奠基性经典文献,对该领域学术演进发挥着重要作用,影响深远。在图 2 中,共被引频次较高、中心度较大的节点年轮较大,且有紫色外圈,是引发大量学者关注或发生研究转向的文献。



图 2 文献共被引时区视图

Fig. 2 The time-zone view of co-cited literature

从表 1—2 可见,首先,从文献半衰期来看,最大的 2 篇文献分别是 WCED(半衰期 22)^[17]首次采纳“可持续发展”概念,定义了“环境安全”;Ostrom(半衰期 20)^[18]引发了人们对稀缺公共资源管理的关注。半衰期反映了文献的老化程度,半衰期越大,影响力越久远。以上文献发表较早,处于环境意识、资源意识、可持续发展等广义生态意识觉醒的时期,提出生态安全中的基本概念与基本问题,所以成为该领域的奠基性文献,在随后的相关研究中被持续不断地引用。

其次,具有红色年轮、突现性较大的文献有 2 篇。突现性反映文献在一定时期被引频次的增长情况,突现性越大,说明被引频次增长越快。Homer-Dixon(突现性 5.22)^[19]研究了环境问题与地区冲突之间的关系。Brown(突现性 5.07)^[20]提出全球粮食问题以及发展中国家粮食安全问题。这两篇文献都发表在第一研究阶段概念形成期,当时国际形势动荡、地区冲突不断,资源环境问题也日益凸显,所以这些主题成为当时的研究热点;进入 21 世纪,高强度的人类活动使地球环境以前所未有的速度发生着变化,对自然资源的利用范围和强度急剧增大;全球气候变化对粮食生产的影响以及新的农业生产理念和生产方式的出现,再次引发人们对“老主题”的新思考,所以这些文献在发表一段时间之后,再次成为关注焦点而使被引频次急剧增加。

最后,从共被引频次来看,有 2 篇文献的共被引频次最高,为 27。Costanza 等(中心度 0.46)^[21]将全球生态系统服务功能划分为 17 种类型,该研究明确了生态系统服务价值计算原理及方法,对生态系统服务功能价

值评估的发展产生了深远影响。肖笃宁等(中心度 0.04)^[22]定义了生态安全的概念和研究内容,提出了区域生态安全研究的特点、评价标准,在中国区域生态安全评价实例研究中被大量引用。这 2 篇文献处于研究内容扩展的第二阶段拓展期,由于提出了创新性理论,引发了新的研究增长点。共被引频率为 26 的文献: Tilman 等(中心度 0.41)^[23]和 Godfray 等(中心度 0.28)^[24]都与粮食安全有关,这是人类关注的永恒主题。

表 1 关键文献基本信息表

Table 1 The basic information table of crucial literature

序号	年份	标题	来源
1	1987	Our common future ^[17]	OUR COMM FUT
2	1990	Governing the commons; the evolution of institutions for collective action ^[18]	GOVERNING COMMONS EV
3	1994	Environmental scarcities and violent conflict; Evidence from cases ^[19]	INT SECURITY
4	1995	Who Will Feed China? Wake-Up Call for a Small Planet (World watch Environmental Alert Series) ^[20]	WHO WILL FEED CHINA
5	1996	Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth ^[25]	OUR ECOLOGICAL FOOTPRINT
6	1997	The value of the world 扭 ecosystem services and natural capital ^[21]	NATURE
7	1997	Agricultural Intensification and Ecosystem Properties ^[26]	SCIENCE
8	1997	Nature's services; societal dependence on natural ecosystems ^[27]	NATURES SERVICES SOC
9	1997	Human Domination of Earth's Ecosystems ^[28]	SCIENCE
10	1998	Linking social and ecological systems; management practices and social mechanisms for building resilience	LINKING SOCIAL ECOLO
11	2001	Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change ^[30]	SCIENCE
12	2001	Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems ^[31]	SCIENCE
13	2002	On the basic concepts and contents of ecological security ^[22]	CHINESE J APPL ECOLO
14	2002	Agricultural sustainability and intensive production practices ^[23]	NATURE
15	2002	study on regional ecological security Assessment index and standard ^[32]	GEOGRAGHY AND TERRITORIAL RESEARCH
16	2002	Towards sustainability in world fisheries ^[33]	NATURE
17	2004	Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management ^[34]	ANNU REV ECOL EVOL S
18	2005	Global Consequences of Land Use ^[35]	SCIENCE
19	2005	Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity ecosystem service management	ECOL LETT
20	2005	The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation	GLOBAL ENVIRON CHANG
21	2005	Assessing the ecological security of the Tibetan plateau; Methodology and a case study for Lhaze County	J ENVIRON MANAGE
22	2006	Vulnerability ^[39]	GLOBAL ENVIRON CHANG
23	2006	Adaptation, adaptive capacity and vulnerability ^[40]	GLOBAL ENVIRON CHANG
24	2006	Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity ^[41]	GLOBAL ENVIRON CHANG
25	2007	Regional ecological security assessment based on long periods of ecological footprint analysis ^[42]	RESOUR CONSERV RECY
26	2008	Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030 ^[43]	SCIENCE
27	2009	A safe operating space for humanity ^[44]	NATURE
28	2009	Not honouring the code ^[45]	NATURE
29	2010	Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People ^[24]	SCIENCE
30	2010	Effects of fisheries closures and gear restrictions on fishing income in a Kenyan coral reef ^[46]	CONSERV BIOL
31	2012	Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification ^[47]	BIOL CONSERV

表 2 关键文献指标信息表

Table 2 The index information table of crucial literature

序号 Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
年份 Year	1987	1990	1994	1995	1996	1997	1997	1997	1997	1998	2001
作者 Author	WCED	Ostrom	HomerDixon	Brown	Wackernagel	Costanza	Matson	Daily	Vitousek	Colding	Tilman
半衰期 Half-life	22	20	5	9	14	12	11	14	13	11	10
中心度 Centrality	0.05	0.33	0	0	0.25	0.46	0.18	0.24	0.37	0.13	0.13
频次 Frequency	10	16	11	14	17	27	16	16	13	13	13
突现性 Burst	4.52		5.22	5.07							
序号 Number	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
年份 Year	2001	2002	2002	2002	2002	2004	2005	2005	2005	2006	2006
作者 Jackson	Xiao D.N.	Tilman	Zuo Wei	Pauly	Folke	Foley	Tscharntke	Brooks	Zhao YZ	Adger	
半衰期 Half-life	9	3	7	3	8	9	5	5	7	4	5
中心度 Centrality	0.1	0.04	0.41	0	0.11	0.13	0.14	0.21	0.12	0.09	0.14
频次 Frequency	10	27	26	16	4	5	18	12	4	15	10
突现性 Burst											
序号 Number	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
年份 Year	2006	2006	2007	2008	2009	2009	2010	2010	2012		
作者 Jackson	Smit	Gallopín	Huang Q	Lobell	Rockstrom	Pitcher	Godfray	McClanahan	Tscharntke		
半衰期 Half-life	6	3	3	3	1	3	1	3	1		
中心度 Centrality	0.13	0.12	0.14	0.17	0.1	0.14	0.28	0.12	0.26		
频次 Frequency	9	6	7	15	11	5	26	5	3		
突现性 Burst											

经典文献都密切关注了文献发表时期社会发展的热点问题,因其较高的社会关注度、创新性和系统性,从而引发了其他学者大量、持续的引用。这些文献都发表在国际权威期刊上,也反映出它们较高的文献质量和学术影响力。从研究内容来看,经典文献以自然科学研究为主,社会科学研究文献较少。近期经典文献与当前学科发展需求的关联更为紧密,2005年之后,研究焦点集中在粮食安全、气候变化、脆弱性、适应性、生物多样性、生态系统服务等方面。从31篇经典文献的关注点来看,人类可持续发展与环境变化是生态安全研究领域永恒的主题。Costanza、Tilman、Godfray和Lobell等都因其重要贡献而成为这一领域最有影响的学者之一。

2.2 研究热点

关键词是论文内容的提示符,是一篇文章的核心和精髓,也是对文章主题的高度概括和集中描述。关键词共现知识图谱(KCA, keyword co-appearance analysis)是用频次高的关键词确定研究领域热点的一种途径^[48]。以1年为时间切片,节点类型为关键词,阈值设置(2,3,15),(3,3,20),(3,3,20)绘制KCA。

从图3可以看出,按时间先后出现的高频热点词有:早期有粮食安全(food security)、(生态)管理(management),中期有气候变化(climate change)、生态安全(ecological security)、可持续性(sustainability)、保护(conservation)、生物多样性(biodiversity)、中国(china)、农业(agriculture)、系统(system),新近涌现生态系统服务(ecosystem services)、恢复力(resilience)、脆弱性(vulnerability)、政策(policy)等。图3中字体越大表示该词出现频率越高,频率最高的3个热点词分别是:粮食安全、生态管理、可持续性。气候变化、保护、生态安全、全球化4个热点词突现性最大,是出现频次急剧增长的热点。当前,对于全球气候变化的成因、表现、影响、趋势、和适应等,科学界一直存在着争议^[2]。另外,研究早期出现的3个热点词粮食安全、气候变化、生物多样性在2005年之后再次出现,说明这是该领域经久不衰的主题。

根据Gartner光环曲线(Hype Cycle)理论^[49],生态安全相关研究在经历萌芽期之后,研究内容逐渐泛化,文献数量激增,进入过热期;随后基于经验借鉴的研究逐渐增多,但是受理论、技术等因素局限,较少出现新的研究热点和突破,文献数量增长平缓,进入瓶颈期;随着研究的细化与深入,一些新理论、新技术出现,使得瓶



图 3 研究热点词汇的时区视图

Fig. 3 The time-zone view of hot words and phrases

颈问题有了突破,这些主题就进入成熟期,研究体系形成并不断完善,研究价值被普遍接受,再次成为热点。生态安全研究的文献数量从 1988 年开始呈增长趋势,在 1993 年达到一个小高峰,此后逐年下降。1997 年之后又开始平稳上升,在 2007 年之后急剧增加,并在 2011 年达到目前的最高峰。从图 5 上能清晰地看到这种规律变化。以“生物多样性”举例说明,该词在 20 世纪 80 年代首次出现,《生物多样性公约》(1992)和《全球生物多样性评估》(1995)对其进行了定义,引发了全球的持续关注 and 探讨。《千年生态系统评估报告》(2005)发表之后,生物多样性变化与生态系统服务的研究成为该领域的重点内容,生物多样性再次成为研究热点。随后信息技术的发展使生物多样性信息学应运而生,全球生物物种名录(Catalogue of Life, COL)、全球生物多样性网络(Global Biodiversity Information Facility, GBIF)等旨在实现生物多样性知识共享的世界性项目出现,成为该领域新的研究热点^[50]。

2.3 研究主题的时间演进

通过对关键文献摘要和关键词的综合归纳整理,并结合标题中出现的专业术语对其研究内容进行概括,在 Visio 中绘制出关键文献的研究主题演变简图(图 4),按照关键文献出现的先后顺序从下到上排列其主题,粗实线表示主题出现的年份。另外,以 2 年为时间切片,以参考文献作为节点类型,阈值设置为(2, 2, 20), (3, 3, 20), (3, 3, 20)做文献共被引分析并进行聚类,以时间线图展示 25 个研究主题聚类,图中每个圆代表一个高被引文献(图 5)。图 4—5 表明,1996 年之后研究主题日渐丰富,研究内容不断深入,从早期关于人类发展(human development)^[17, 44]、环境变化(environmental change)^[17, 30, 44]等宏大战略主题探讨阶段,逐渐细化到对事关人类生存与发展的实质性研究,比如生态系统管理(ecosystem management)^[29, 34]、生态服务(ecosystem service)^[21, 36]、区域生态安全评价(regional ecological security assessment)^[32, 38, 42]、粮食安全(food security)^[20, 43, 24, 47]、社会生态系统(Social-ecological Systems)^[29]等。2005 年以来,分支越来越细,粮食安全中的生态农业(ecological agriculture)、农业集约化(intensified agriculture)^[26, 30, 23, 46],脆弱性

(vulnerability)^[37, 39, 40]与可恢复性问题(resilience)^[34]及生物多样性(biodiversity)^[34, 36, 47],与粮食安全和生态系统都相关的海洋渔业问题(fishery)^[31, 45, 46]、人对环境变化的适应性(adaptive capacity)^[37, 40, 41, 43]、全球变化中气候变化的影响效应(climate change)^[43]等更为具体、实用的内容成为关注的研究主题。

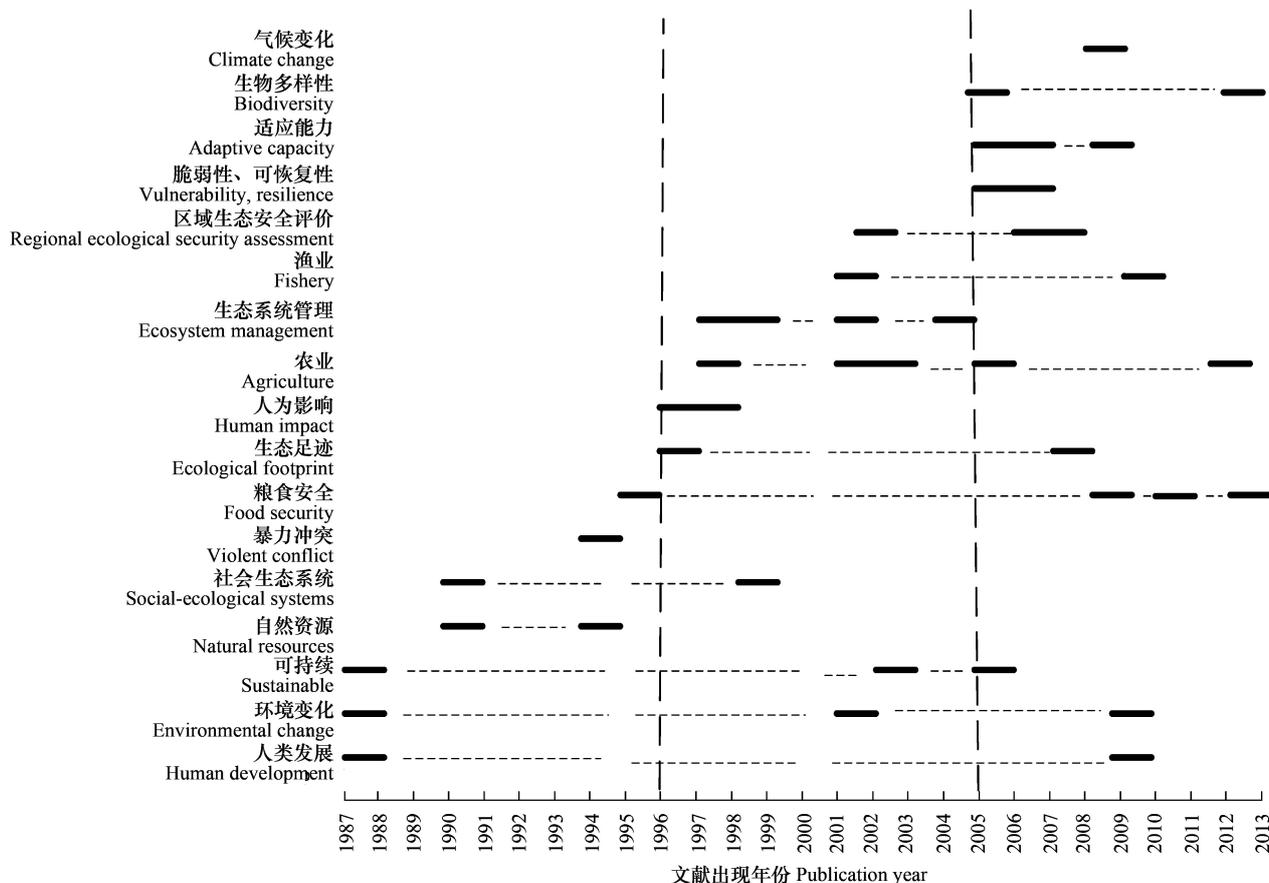


图4 研究主题演变简图

Fig. 4 The evolution sketch of research topics

上述主题演进的原因,一是人类社会的发展具有动态性和阶段性,不同社会文明阶段具有不同的生产力水平,地缘政治和国际形势等对资源、环境的需求不同,所面临的挑战也不尽相同,因而对生态安全的关注程度、方式和内涵理解也有所不同;二是上世纪90年代初,随着全球变化和人类活动影响加剧,可持续发展成为众多学科研究的主题。同时,由于苏联解体、冷战结束,世界政治经济格局发生重大变化,国际关系从以对抗为主转向以合作为主,大国角逐也转向以经济为基础的综合国力竞争,国际社会将关注焦点更多地投向了可持续发展和生态安全;三是经过此后近10年的发展,其他学科的专家^[8],比如政策与管理专家、经济学家等,也从各自的视角来研究生态安全中的相关问题,使得生态安全问题的学科体系不断完善、科学问题不断深入、研究分支不断细化。

2.4 研究阶段的划分

每一阶段的经典文献是对前一阶段研究的科学总结,也指明了下一阶段的重大课题和研究方向,具有里程碑意义。笔者以经典文献为依据,参考表2和图4、5,将生态安全研究划分为3个阶段:

第一阶段,问题提出与概念形成期。报告决议居多,学术性不强。认识到人类生存与发展问题以及所面临的生态危机,环境意识、资源意识、可持续发展等广义生态意识觉醒。生态(环境)安全概念形成并展开了内涵探讨。环境变化与安全之间的关系研究主要集中于环境退化与暴力冲突。

《寂静的春天》^[51]是人类生态意识觉醒的标志。1977年,布朗^[52]提出要重新定义“国家安全”,对“安

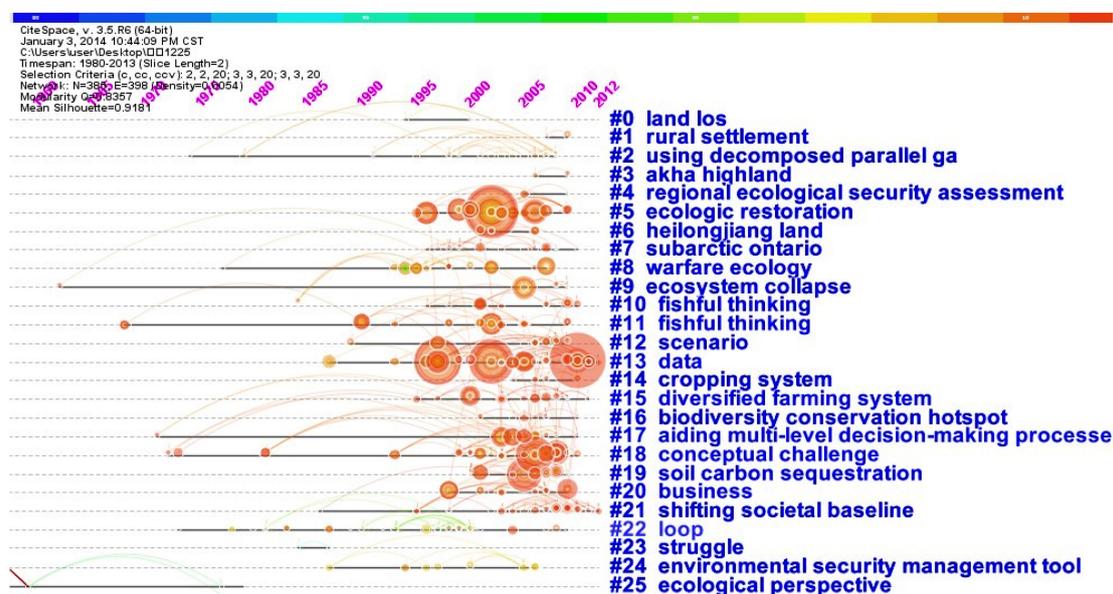


图5 文献共被引聚类时间线图

Fig. 5 The time-line view of co-cited literature cluster

全”内涵进行了扩展^[53]; Westing 将国家主权安全上升到“全球安全”、“全面安全”^[54]。国际应用系统分析研究所给出了广义“生态安全”定义^[22],之后《里约环境与发展宣言》、《21世纪议程》、《联合国气候变化框架公约》、《生物多样性公约》等都较为系统地阐述了对全球环境恶化与人类发展的担忧,激发了对人类发展与生态环境关系的思考,是生态安全研究的重要推动力。Homer Dixon^[19]是环境问题与暴力冲突关系研究的经典文献,该问题以讨论水资源引发冲突可能性的研究居多^[55],项目主要有环境变化和剧烈冲突项目(Environment and Acute Conflict Project, EACP)^[19,56,57]、环境与冲突项目(The Environment and Conflict Project, ENCOP)^[58,59]。由于过分强调环境变化对地区冲突的影响,忽视了制度缺陷、不平等、贫穷等社会原因,这些研究受到一些批评^[8,60-62],该主题渐渐淡出。

第二阶段,奠基与拓展期。在广度上,随着对生态安全概念与内涵的逐渐明晰,生态安全研究领域进一步扩展;在深度上,从宏大战略主题探讨向相关实质性领域发展。研究内容发生了根本性变化,出现了一批代表性研究报告和著述。很多研究主题从这一时期兴起后,一直延续至今。

1996年生态安全最终得到国际认可^[63],生态安全研究日渐增多。大量的研究集中在生态系统自身安全性研究上,可以概括为:健康、完整性、可持续性三个方面^[1]。所涉及的生态系统健康^[64]、生物多样性、生态足迹^[25]等,在这一时期逐渐兴起后一直延续至今。生态系统服务研究也在这一时期日益成熟。Costanza等^[21]引发了生态服务价值评估的热潮,2003年以后进入深入与多元化研究阶段,其理论和方法得到广泛的认识与应用,一些评价模型出现,并开始探讨生态系统服务理论与方法与其他研究方向的融合^[65]。生态安全评价概念模型及指标体系研究也在这一阶段出现。比较有影响的有:压力-状态-响应模型(PSR模型)^[66,67],驱动力-状态-响应框架(DSR模型)^[68],驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR模型)等。评价指标体系有2类^[3],一是生态风险与生态健康评价系统;二是环境、生物与生态综合评价系统。目前尚未出现较完善并被普遍采纳的指标系统^[1,3,69]。

第三阶段:纵深发展期。2005年之后,研究主题日益丰富,环境变化与安全之间的内在关系成为这一时期的研究焦点,开始深入研究影响生态安全的具体因素。对宏大主题的再审视和全新角度的解读也颇受关注。

脆弱性研究是生态安全的核心问题和重要的分析工具。在31篇关键文献中,4篇与脆弱性^[37,39-41]研究相关。脆弱性研究的发展需要建立一个通用概念框架及切实可行的评价方法,《评价全球环境风险的脆弱

性》^[70]、环境监测和评价计划(The Environmental Monitoring and Assessment Program, EMAP)^[71]以及《全球环境变化与脆弱性的国际研讨》^[72]提出了脆弱性评价的框架和指标、方法。研究早期偏重对自然系统的脆弱性评价研究。对耦合系统、多重扰动下的脆弱性评价以及脆弱性评价的不确定性和尺度问题是未来研究的重要内容^[73]。

近年来,气候变化对农作物产量的影响效应问题成为全球讨论的热点,集中于气候变化对农业自然要素时空分布、农作物育种改良适应和种植制度、农业灾害的影响研究上。气候变化与粮食生产之间的相互影响与作用复杂而多样,未来要着重于研究它们之间的影响机理与适应机制。

区域生态安全评价研究主要集中在我国,早期以采用不同模型、不同方法进行不同尺度的区域实例评价为主^[10]。随着研究的不断深入,开始强调生态安全的动态演变研究^[11,74,75]。另外,生态安全涉及的多数因素的量度与研究尺度密切相关。所以,突破过去对生态安全状态的描述与评价,尺度-结构-过程的相互作用研究将是未来的重要趋势。

同时,对生态安全内涵、环境压力与安全关系的再认识,衍生出新问题,如量化评价环境变化对人类安全的威胁?如何平衡生态安全与人类生计安全^[8]?人类对环境变化的适应性能力及策略^[37,40,41]。认识和管理人类活动和全球变化双重作用下生态环境的变化,实现社会-生态系统的协调持续发展,将是未来生态安全研究的重大主题。

3 生态安全的研究趋势

通过突变检测算法,根据词频变化,而不仅仅是频次的高低,从大量主题词中探测到某个时间段内频次变化率高的词,即突现词,可以反映某一领域的研究趋势^[16]。时间切片选择 2 年,节点类型选择 Term(主题词),设置阈值为(2,2,20),(3,3,20),(4,3,20)。检测到的突现词包括:粮食安全、气候变化、自然资源、可持续发展、社会-生态系统、人为驱动力、生态破坏中预防与修复、信息技术的进步与利用、经济发展、政策制定等。将检测到的突现词根据主题归纳,可以发现生态安全的研究趋势主要在以下两个方面:

3.1 保障人类生存与发展基本需要

气候变化、粮食安全、资源安全的相互关系将是未来研究的重要领域。世界正面临着气候变化、粮食安全、能源需求的三难困境^[76]。粮食生产是粮食安全的重要环节,如何提高提高农业产量、实现农业可持续发展是核心问题。与 2005 年相比,2050 年世界能源需求预计将增加 84%^[76]。为了减少对政治不稳定地区进口石油的依赖和化石燃料对气候的影响,生物能源被大量推广。但许多学者认为生物能源作物会与粮食作物及自然界竞争土地、水、养分,扩大生物能源使用会对人类健康、粮食安全、气候变化、自然环境产生不利影响^[76,77],尤其是导致食品价格上涨^[78]和水资源消耗^[79]。

自然资源中,土地资源、水资源和海洋渔业资源是目前关注的热点。土地利用/覆盖变化的驱动力、对生态系统的影响机理及模型建立是研究重点。目前世界上大约有 1/3 的人口处于缺水状态^[80]。随着人口压力和水密集型生物燃料生产的增加,这个问题在未来将更加突出。海洋生态系统具有脆弱性和不可恢复性,若继续过度捕捞,将导致整个海洋生态系统退化,海洋生物多样性降低,全球渔业也会走上灭绝之路,进一步影响全球粮食安全。在目前对自然资源高强度利用的背景下,如何应对生态服务功能的下降和急剧增长的消费需求将是未来人类面临的严峻挑战。

3.2 人对环境变化的适应与响应

2011 年《认识变化的行星:地理科学的战略方向》提出的 4 大主题之一即是“怎样理解和响应环境变化?”^[81]。人类不断地创新、改变以应对全球环境变化,通过政治、文化、经济、技术以及道德准则综合体来应对环境变化造成的影响。经济发展和技术变革提高了社会适应能力。人类对环境变化的反应和改变又会成为其新变化的驱动力。近年来,对生态政策和政策制定者的关注越来越高。政策和法律对生态安全具有很强的导向性。通过制定和实施政策会干预和引导经济活动的发展方向,从而影响生态安全的实现。比如,对全

全球变暖的担忧使生物燃料生产方面的补贴与政策增加,生物能源大量生产又导致全球食品价格飙升;由于全球变暖开支的增加,农业投资有所下降,进而又影响到粮食安全^[2]。生态系统服务的形式与能力受人类活动强烈影响,生态系统服务的变化又影响着相关政策制定。生态系统服务权衡(tradeoffs)与协同(synergies)是未来重要研究方向之一^[82]。

4 结论

生态安全概念的形成与发展有着深刻的时代背景和思想基础。人类文明发展阶段、国际政治经济格局、学科研究水平是决定生态安全研究阶段和主题演变的主要因素。生态安全研究经历了问题提出与概念形成期、奠基与拓展期、纵深发展期三个阶段,各阶段都涌现出一些标志性的经典文献,引发了大量学者关注和新的研究生长点。随着全球变化和人类活动影响加剧,学科交叉融合,冷战结束后国际社会对生态安全的关注程度提升,引发了生态安全研究主题变化和瓶颈突破。

依据 citespace 理论和分析结果,国际组织的环境与发展报告引发了全球对各类环境问题的高度关注,是生态安全研究的重要推动力。欧美等国学者对全球性生态环境问题的探讨与研究奠定了生态安全研究的基础,一直引领全球生态安全研究的趋势,Costanza、Tilman、Godfray 和 Lobell 等是这一领域最有影响的学者之一。生态安全研究经典文献以自然科学研究为主,社会科学领域的文献较少,反映出生态安全研究中注重生态环境变化,而从社会经济角度的研究不足,今后应加强人类适应与管理、政策与消费变化等方面的研究。当前研究热点主要有全球化、生物多样性、生态系统服务、生态农业与农业集约化、恢复力、脆弱性等。研究主题演化轨迹符合 Gartner 光环曲线理论,可以将其分为两类,一类较为稳定,延续到所有研究阶段,如粮食安全、环境变化、可持续发展等;另一类是阶段性热点,如过分强调环境问题引发地区冲突的观点已经淡化,以统计数据 and 指标体系建立为主的区域生态安全评价研究转向采用遥感和监测数据的生态安全格局、过程、尺度研究。

通过上述分析发现,生态安全研究目前呈现出 4 个方面的特征:①合作性,人与生物圈计划(Man and Biosphere, MAB)、全球变化人文因素计划(International Human Dimension Programme on Global Environmental Change, IHDP)等正是这一理念的产物^[75];②过程性,着重于对生态系统变化过程的监控、建立以微观样本数据与宏观监测信息支持的综合模型;③创新性,吸引了社会经济与政策管理等各学科专家,努力实现战略决策、政策法规、发展方式、经济产业的生态创新;④学科性,由于生态安全问题的复杂性,模糊性、争议性问题阻碍了该领域进一步发展,探讨界定学科范围和基本概念、建立学科理论是当前首要问题。从研究趋势看,保障人类生存发展基本需要和人对环境变化的适应与响应将是 21 世纪生态安全研究的方向,前者集中在粮食安全、气候变化、资源安全三者之间的相互关系研究;后者以生态预防与修复、政策管理与权衡、技术发展等为主。

引文分析可视化通过处理海量引文数据,能更容易地观察、浏览和理解文献信息,发现数据中隐藏的规律和模式。目前知识图谱的绘制日益便利,并取得了其他方法难以得到的成果^[83]。

参考文献(References):

- [1] 陈星,周成虎.生态安全:国内外研究综述.地理科学进展,2005,24(6):8-20.
- [2] 伊狄梭 C D,卡特 R M,辛格 S F.气候变化再审视:非政府国际气候变化研究组报告.张志强,曲建升,段晓男,译.北京:科学出版社,2013.
- [3] 王根绪,程国栋,钱鞠.生态安全评价研究中的若干问题.应用生态学报,2003,14(9):1551-1556.
- [4] 任志远,刘焱序.基于价值量的区域生态安全评价方法探索——以陕北能源区为例.地理研究,2013,32(10):1771-1781.
- [5] Schmidhuber J, Tubiello F N. Global food security under climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104(50):19703-19708.
- [6] Hodson M, Marvin S. 'Urban ecological security': a new urban paradigm? International Journal of Urban and Regional Research, 2009, 33(1):193-215.

- [7] Singh P K, Hiremath B N. Sustainable livelihood security index in a developing country: A tool for development planning. *Ecological Indicators*, 2010, 10(2): 442-451.
- [8] 崔胜辉, 洪华生, 黄云凤, 薛雄志. 生态安全研究进展. *生态学报*, 2005, 25(4): 861-868.
- [9] 傅伯杰, 刘世梁, 马克明. 生态系统综合评价的内容与方法. *生态学报*, 2001, 21(11): 1885-1892.
- [10] 和春兰, 饶辉, 赵筱青. 中国生态安全评价研究进展. *云南地理环境研究*, 2010, 22(3): 104-110.
- [11] 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 关文彬. 区域生态安全格局: 概念与理论基础. *生态学报*, 2004, 24(4): 761-768.
- [12] 李智国, 杨子生. 中国土地生态安全研究进展. *中国安全科学学报*, 2007, 17(12): 5-12.
- [13] 谢花林. 土地利用生态安全格局研究进展. *生态学报*, 2008, 28(12): 6305-6311.
- [14] Chen C. Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(S1): 5303-5310.
- [15] Chen C. Top10 unsolved information visualization problems. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2005, 25(4): 12-16.
- [16] 陈超美. CiteSpace II: 科学文献中新趋势与新动态的识别与可视化. 陈悦, 侯剑华, 梁永霞, 译. *情报学报*, 2009, 28(3): 401-421.
- [17] 世界环境与发展委员会. 我们共同的未来. 长春: 吉林人民出版社, 1997.
- [18] Ostrom E, Calvert R, Eggertsson T. *Governing the Commons: the Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge MA: Cambridge University Press, 1990.
- [19] Homer-Dixon T F. Environmental scarcities and violent conflict: Evidence from cases. *International Security*, 1994, 19(1): 5-40.
- [20] Brown L R. *Who Will Feed China? Wake-Up Call for a Small Planet (World watch Environmental Alert Series)*. New York: WW Norton & Company, 1995.
- [21] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [22] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 354-358.
- [23] Tilman D, Cassman K D, Matson P A, Naylor R, Polasky S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 2002, 418(6898): 671-677.
- [24] Godfray H C, Beddington J R, Crute I R, Haddad L, Lawrence D, Muir J F, Pretty J, Robinson S, Thomas S M, Toulmin C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 2010, 327(5967): 812-818.
- [25] Wackernagel M, Rees W. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Canada: Cabriola Island, BC: New Society Publishers, 1996.
- [26] Matson P A, Parton W J, Power A G, Swift M J. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 1997, 277(5325): 504-509.
- [27] Daily G, Myers J P, Reichert J. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, DC: Island Press, 1997.
- [28] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, Melillo J M. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 1997, 277(5325): 494-499.
- [29] Berkes F, Folke C. *Colding, J. Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*, Cambridge University Press, 1998.
- [30] Tilman D, Fargione J, Wolff B, D'Antonio C, Dobson A, Howarth R, Schindler D, Schlesinger W H, Simberloff D, Swackhamer D. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 2001, 292(5515): 281-284.
- [31] Jackson J B C, Kirby M X, Berger W H, Bjorndal K A, Botsford L W, Bourque B J, Bradbury R H, Cooke R, Eerlandson J, Estes J A, Hughes T P, Kidwell K, Lange C B, Lenihan H S, Pandolfi J M, Peterson C H, Warner R R. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 2001, 293(5530): 629-637.
- [32] 左伟, 王桥, 王文杰, 刘建军, 杨一鹏. 区域生态安全评价指标与标准研究. *地理学与国土研究*, 2002, 18(1): 67-71.
- [33] Pauly D, Christensen V, Guénette S, Pitcher T J, Sumaila U R, Walters C J, Watson R, Zeller D. Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 2002, 418(6898): 689-695.
- [34] Folke C, Carpenter S, Walker B, Scheffer M, Elmqvist T, Gunderson L, Holling C S. Regime shifts, resilience and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2004, 35(1): 557-581.
- [35] Foley J A, DeFries R, Asner G P, Barford C, Bonan G, Carpenter S R, Chapin F S, Coe M T, Daily G C, Gibbs H K, Helkowski J H, Holloway T, Howard E A, Kucharik C J, Monfreda C, Patz J A, Prentice I C, Ramankutty N, Snyder P K. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [36] Tschamtk T, Klein A M, Kruess A, Steffan-Dewenter I, Thies C. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. *Ecology Letters*, 2005, 8(8): 857-874.
- [37] Brooks N, Adgera W N, Kelly P M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 2005, 15(2): 151-163.

- [38] Zhao Y Z, Zou X Y, Cheng H, Jia H K, Wu Y Q, Wang G Y, Zhang C L, Gao S Y. Assessing the ecological security of the Tibetan plateau: Methodology and a case study for Lhaze County. *Journal of Environmental Management*, 2006, 80(2): 120-131.
- [39] Adger W N. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 268-281.
- [40] Smit B, Wandel J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 282-292.
- [41] Gallopín G C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 293-303.
- [42] Huang Q, Wang R H, Ren Z Y, Li J, Zhuang H Z. Regional ecological security assessment based on long periods of ecological footprint analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 2007, 51(1): 24-41.
- [43] Lobell D B, Burke M B, Tebaldi C, Mastrandrea M D, Falcon W P, Naylor R L. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 2008, 319(5863): 607-610.
- [44] Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson Å, Chapin F S, Lambin E F, Lenton T M, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber H J, Nykvist B, de Wit C A, Hughes T, van der Leeuw S, Rodhe H, Sörlin S, Snyder P K, Costanza R, Svedin U, Falkenmark M, Karlberg L, Corell R W, Fabry V J, Hansen J, Walker B, Liverman D, Richardson K, Crutzen P, Foley J A. A safe operating space for humanity. *Nature*, 2009, 461(7263): 472-475.
- [45] Pitcher T, Kalikoski D, Pramod G, Short K. Not honouring the code. *Nature*, 2009, 457(7230): 658-659.
- [46] McClanahan T R. Effects of fisheries closures and gear restrictions on fishing income in a Kenyan coral reef. *Conservation Biology*, 2010, 24(6): 1519-1528.
- [47] Tschamtké T, Clough Y, Wanger T C, Jackson L, Motzke I, Perfecto I, Vandermeer J, Whitbread A. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 2012, 151(1): 53-59.
- [48] 张昭. 基于 Citespace 的商务智能研究热点与前沿可视化分析. *情报探索*, 2012, (12): 6-9.
- [49] <http://baike.baidu.com/view/9878589.htm?fr=aladdin>. (2014-08-10) [2014-11-3].
- [50] 黎燕琼, 郑绍伟, 龚固堂, 陈俊华, 朱志芳, 吴雪仙, 慕长龙. 生物多样性研究进展. *四川林业科技*, 2011, 32(4): 12-19.
- [51] 蕾切尔·卡逊. 寂静的春天. 上海: 上海译文出版社, 2011.
- [52] Brown L R. Redefining National Security. *Worldwatch Paper*, 1997, 14: 40-41.
- [53] Brown L R. Building a Society of Sustainable Development. Beijing: Scientific and Technological Literature Press, 1984.
- [54] Westing A H. The environmental component of comprehensive security. *Bulletin of Peace Proposals*, 1989, 20(2): 129-134.
- [55] 薄燕. 环境安全研究的美国学派: 对文献的述评. *国际观察*, 2003, 8(4): 73-79.
- [56] Homer-Dixon T F. On the threshold: Environmental changes as causes of acute conflict. *International Security*, 1991, 16(2): 76-116.
- [57] Homer-Dixon T F, Boutwell J H, Rathjens G W. Environmental change and violent conflict. *Scientific American*, 1993, 268(2): 38-45.
- [58] Libiszewski S. What is an Environmental Conflict? Environment and Conflicts Project (ENCOP), Occasional Paper NO. 6. Zurich: Center for Security Studies and Conflict Research, 1992.
- [59] Spillmann K R, Bächler G. Environmental Crisis: Regional Conflicts and Ways of Cooperation. Environment and Conflicts Project. Occasional Paper NO. 14. Zurich: Center for Security Studies and Conflict Research, 1995.
- [60] Jervis R. The future of world politics: will it resemble the past? *International Security*, 1991, 16(3): 64-64.
- [61] Deudney D. Environment and security: muddled thinking. *The Bulletin of the Atomic Scientists*, 1991, 47(3): 23-28.
- [62] Levy M A. Time for a third wave of environment and security scholarship? *Environmental Change and Security Project*, 1995, (1): 44-46.
- [63] 邹长新, 沈渭寿. 生态安全研究进展. *农村生态环境*, 2003, 19(1): 56-59.
- [64] Gewin V. Ecosystem health: The state of the planet. *Nature*, 2002, 417(6885): 112-113.
- [65] 张振明, 刘俊国. 生态系统服务价值研究进展. *环境科学*, 2011, 31(9): 1835-1842.
- [66] Simmons P J. Introduction. Environmental Change and Security Program (ECSP) Report I.
- [67] FAO Proceedings. Land Quality Indicators and their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development: Proceedings of the Workshop organized by the Land and water Development Division FAO. Agriculture Department, 1997, 2:(5).
- [68] UNCS. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. New York: United Nations, 2007.
- [69] 王耕, 王利, 吴伟. 区域生态安全概念及评价体系的再认识. *生态学报*, 2007, 27(4): 1627-1637.
- [70] Clark W C, Jaeger J, Corell R, Kaspersen R, McCarthy J J, Cash D, Cohen S J, Desanker P, Dickson N M, Epstein P, Guston D H, Hall J M, Jaeger C, Janetos A, Leary N, Levy M A, Amy. Assessing vulnerability to global environmental risks. Report of the Workshop on Vulnerability to Global Environmental Change: Challenges for Research, Assessment and Decision Making. Airlie House, Warrenton, Virginia.
- [71] The Environmental Monitoring and Assessment Program of U. S. Environmental protection agency. Available on line at <http://www.epa.gov/emap/>.
- [72] Stockholm Environment Institute (SEI). International Workshop on Vulnerability and Global Environmental Change. 2001.
- [73] 李鹤, 张平宇, 程叶青. 脆弱性的概念及其评价方法. *地理科学进展*, 2008, 27(2): 18-25.

- [74] 黎晓亚, 马克明, 傅伯杰, 牛树奎. 区域生态安全格局: 设计原则与方法. 生态学报, 2004, 24(5): 1055-1062.
- [75] 傅伯杰, 赵文武, 陈利顶. 地理—生态过程研究的进展与展望. 地理学报, 2006, 61(11): 1123-1131.
- [76] Lal R. Managing soils for a warming earth in a food-insecure and energy-starved world. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2010, 173(1): 4-15.
- [77] Phalan P. The social and environmental impacts of biofuel in Asia: an overview. *Applied Energy*, 86(S1): S21-S29.
- [78] Johansson D J A, Azar C. A scenario based analysis of land competition between food and bioenergy production in the US. *Climatic Change*, 2007, 82(3-4): 267-291.
- [79] Elcock, D. "Baseline and projected water demand data for energy and competing water use sectors", ANL/EVS/TM/08-8(2008).
- [80] Kummu M, Ward P J, de Moel H, Varis O. Is physical water scarcity a new phenomenon? Global assessment of water shortage over the last two millennia. *Environmental Research Letters*, 2010, 5(3): 1088-1748.
- [81] 中国科学院国家科学图书馆. 科学研究动态监测快报. 2011, 2(4-5): 2-3.
- [82] 李鹏, 姜鲁光, 封志明, 于秀波. 生态系统服务竞争与协同研究进展. 生态学报, 2012, 32(16): 5219-5229.
- [83] 刘则渊, 陈悦, 侯海燕. 科学知识图谱: 方法与应用. 北京: 人民出版社.