

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201706068



# 1998—2016 年全球 LUCC 研究 进展与热点分析

郑荣宝, 卢润开, 唐晓莲, 李爽, 张雅琪, 黄婷

(广东工业大学 管理学院, 广东 广州 510520)

**摘要:** 以 Web of Science 为数据源,运用文献计量方法与可视化分析工具,从文献时间分布、研究机构、科学领域分布、文献作者和研究热点等维度,对 1998—2016 年全球土地利用/覆盖变化(LUCC)研究进展进行数据挖掘.研究表明:目前 LUCC 研究日益成熟,文献逐年稳定增长,发展前景依然广阔;机构和作者合作网络还相对松散,LUCC 全球合作有待进一步加强;LUCC 研究学科交叉性强,综合集成了环境科学、生态学、地理学等多个自然与社会学科;LUCC 研究热点众多,气候变化、生态系统、地表景观、城镇化、森林砍伐等热点受到高度关注;综合性研究是未来 LUCC 的发展趋势,体现在多学科、多时空、多尺度、多方法的交叉.未来 LUCC 要在数据标准化、大尺度遥感图像融合、历史地图资料不准确性与当代资料整合,以及 LUCC 全球分类体系和 LUCC 成果应用等方面加强研究.

**关键词:** 土地利用/覆盖变化;文献计量;可视化分析;数据挖掘

**中图分类号:** P 208; F 311.24      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-5013(2017)05-0591-11

## Researches Progress and Hotspots Analysis of Global LUCC Research During 1998 to 2016

ZHENG Rongbao, LU Runkai, TANG Xiaolian,  
LI Shuang, ZHANG Yaqi, HUANG Ting

(College of Management, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510520, China)

**Abstract:** Using the Web of Science database as data source, the literature measurement method and visual analysis tool have been used to analyze the research situation of LUCC (land-use and land-cover change) during 1998 to 2016 in the literature time distribution, research institutes, scientific field distribution, literature authors and research hot-spots, etc.. The results show that: at present, the LUCC research is becoming more and more mature, but the literature is still growing steadily and the prospect is broad; the cooperative network of institutions and authors is relatively loose, suggesting that the global cooperation of LUCC needs to be further strengthened; the study of LUCC is a highly interdisciplinary research, covering environmental science, ecology, geography and many other disciplines. LUCC has many research hot-spots, including climate change, ecosystem, surface landscape, urbanization, deforestation and so on; synthesis is the future development trend of LUCC, embodied in multidisciplinary, multi-temporal scale, multi-level, theory and methods and so on.

**收稿日期:** 2017-06-23

**通信作者:** 郑荣宝(1975-),教授,博士,主要从事土地利用规划、土地整理与复垦、3S 技术在土地中应用的研究. E-mail: zhengrongbao@gdut.edu.cn.

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(41001054);教育部人文社会科学基金资助项目(13YJCZH016, 13YJA840009, 14YJA630053)

Next, data standardization, large-scale remote sensing image pixel mixing, inaccurate processing and integration of historical map data, establishment of LUCC global classification system and results application should be strengthened in LUCC.

**Keywords:** land-use and land-cover change; bibliometrics; visual analysis; data mining

土地利用/覆盖变化(land-use and land-cover change, LUCC)由国际地圈生物圈计划(IGBP)和全球变化人文因素计划(IHDP)联合于 1998 年正式提出<sup>[1-2]</sup>. 土地利用是指人类依据一定的技术和手段对土地实施开发利用以实现社会经济目的的过程和活动. 土地覆盖被 IGBP 和 IHDP 官方定义为在自然社会双因素共同作用下近地面表层的自然状态<sup>[2]</sup>. 工业革命以来, 人类经济社会的快速发展和人口的急剧膨胀对地球环境产生了深刻影响, 气候异常、温室效应、生态破坏、环境污染、资源消耗和生物性锐减等环境问题不断凸显, 对人类的生存和发展产生了直接威胁. 在此背景下, 全球变化科学诞生并成为研究焦点<sup>[3-5]</sup>. 自 1998 年 IGBP 和 IHDP 提出了 LUCC 研究计划以来, LUCC 在国内外的研究成果日益丰硕<sup>[6]</sup>, 我国许多学者对 LUCC 国内外不同时期的研究现状和进展进行探究<sup>[7-11]</sup>, 为国内 LUCC 发展奠定基础. LUCC 研究涉及范围较大和研究成果很多, 使用传统综述手段难以对所有的内容和材料进行完整、直观的描述, 而新兴的文献计量和可视化分析方法则可以有效地克服这一困难. 鉴于此, 本文使用文献计量和可视化分析工具, 以定量、客观、多元和动态的视角和方法对全球 LUCC 研究进行文献信息数据挖掘与分析, 从中梳理发展概况, 剖析研究热点.

1 方法与数据

1.1 研究方法

CiteSpace 是一款在科学计量学背景下逐渐发展起来的引文可视化分析软件<sup>[12]</sup>, 通过知识单元之间的共现分析和引文空间挖掘可以将某一科学领域的知识特征和信息以美化直观的网络知识图谱展现出来. 通过可视化分析, 可以从海量的文献信息中找到最为关键和重要的有效信息, 识别出其中的研究前沿、演变历程和发展趋势.

此外, 文中还将运用普莱斯定律及系列评价指标, 对 LUCC 研究领域内的研究概况进行文献定量计量与评价分析. 指标评价主要来源于美国科技信息所(ISI)推出的基本科学指标数据库(ESI), 包括频次、被引频次、IF 影响因子、H 指数和 ESI 排名等系列评价因子. 普莱斯定律可以判断某一主题研究领域的核心作者群是否已经形成<sup>[13-15]</sup>, 其计算公式为

$$\frac{1}{2}x(1, n_{\max}) = x(m, n_{\max}) = x(1, m).$$

上式中:  $n_{\max}$  为最高产作者论文数;  $x(1, n_{\max})$  为论文总数.

1.2 数据来源

以 Web of Science 为数据源, 使用文献计量方法和可视化分析工具对 1998—2016 年全球 LUCC 科学研究领域的样本文献进行数据挖掘和计量分析. 具体来说, 以科学性、全面性和合理性为导向, 在 Web of Science 以 SCI-EXPANDED 和 SSCI 索引为数据来源, 对 1998—2016 年期间的 LUCC 文献进行检索, 检索条件为“主题: (“land-use \$” and “land-cover \$”) OR 主题: (“LUCC”) OR 主题: (“LULC”) AND 文献类型: (Article)”.

从文献信息的完整性和参考价值出发, 仅保留 ARTICLE, PROCEEDINGS PAPER 和 REVIEW 三种文献类型, 最终命中文献 8 239 篇, 经筛选剔除剩余 8 208 篇样本文献. 同时, 为了对 LUCC 国际学术圈中国内研究进展做出研究, 以国家/地区为 PEOPLE R CHINA 为条件筛选出 WOS 数据库样本文献中源于中国的文献, 共计 1 250 篇.

提取样本数据关键信息绘制网络合作及网络共现科学知识图谱, 对全球 LUCC 研究进行系统梳理. 将数据导入 CiteSpace 软件后, 主要操作步骤及参数设置如下: 1) 时间切片为 1 a; 2) 数据分析阈值为 TOP30; 3) 图谱裁剪方式为 Minimum Spanning Tree, 可得到各节点网络图谱.

## 2 研究维度分析

### 2.1 时间维度

从时间维度出发,发文量与被引频次等指标可以很大程度上反映该研究领域的发展阶段、趋势与受关注程度。样本文献数量年度分布,如图 1 所示。由图 1 可知:在 1998—2016 年期间,LUCC 主题研究文献基本呈现稳定增长态势,年平均发表论文 410 篇,平均增长率为 19%,2016 年达到顶峰的 1 006 篇,占文献总数的 12.3%。由此可知,在当前全球环境严峻的大背景下,LUCC 研究热度持续升温,研究成果逐年增多,可以预见未来 LUCC 研究文献成果将保持稳定发展态势。

文献引文数量年度分布,如图 2 所示。由图 2 可知:在文献引文频次分布状况方面,样本文献总被引频次 170 834 次,除去自引的引文次数共计 145 420 次,文献平均被引用次数 20.81。同时,被引次数呈现稳定增长态势,并在 2016 年达到了顶峰 30 552 次,表明该领域的论文质量和传播范围不断提高扩大。 $H$ -index 指数为 153,同样验证了 LUCC 在国际研究的高关注度,未来研究具有广阔的空间。

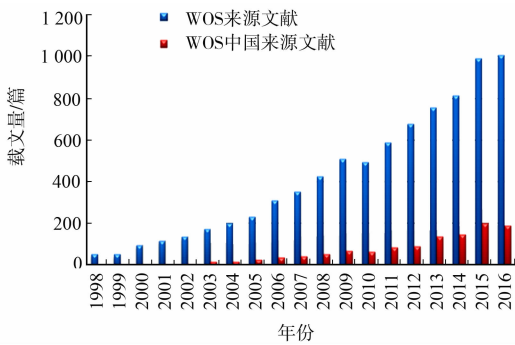


图 1 样本文献数量年度分布

Fig. 1 Published items distribution in each year

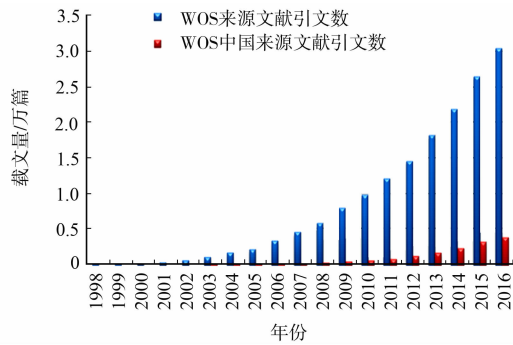


图 2 文献引文数量年度分布

Fig. 2 Citations distribution in each year

由图 1 可知:和国外的研究相比,来源于中国的文献晚出现了 1 a,此后发文量逐年稳步上升,年递增率接近 35%,文献年均发表 66 篇,并在 2015 年达到了 202 篇的顶峰。文献被引方面,1 250 篇样本文献在 1998—2016 年期间引文次数共计 16 855 次,除去自引频次后余计 15 162 次。但需要注意的是,数据显示 2003 年之前被引频次处于空白状态,这也与我国 LUCC 研究起步晚于西方国家的事实相符合;2003 年之后呈现平稳增加,并于 2016 年达到最高值的 3 908 次,年均递增率为 43%,每项平均被引 13.48 次,与文献国际总体平均被引水平—20.81 次具有一定的距离。

此外, $H$ -index 指数为 54,远小于国际水平总体值的 153。这表明尽管我国 LUCC 研究在国际上已经开始崭露头角,研究成果和影响力不断提升,但受限于起步晚等原因,我国 LUCC 研究的学术影响力在国际上仍然有较大的提升空间。

### 2.2 研究机构维度

研究机构是推动某一科学领域进步和发展的重要力量,利用 CiteSpace 可以快速辨识出某一研究领域的研究机构主要力量分布及其合作状况。选择节点“insitution”进行研究机构信息挖掘与分析,如图 3 所示。各研究机构统计一览表,如表 1 所示。

由表 1 的计量结果可知:中国科学院在 WOS 数据库中发表了 816 篇相关论文,位居全球众多研究机构榜首;由 ESI 指标可知,中国科学院在学科领域全球机构排名中位列第 3,被引频次达到了 201 821 次,平均引用次数为 11.2 次。中国科学院的科研实力雄厚,包括地理科学与资源研究所、遥感与数字地球研究所、地质与地球物理研究所在内的研究单位在 LUCC 领域具有举足轻重的地位,代表着我国研究机构的最高学术水平。排名 2,3 名的分别是美国地质调查局、威斯康斯大学,

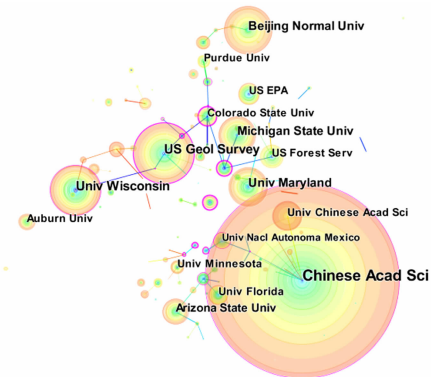


图 3 研究机构共现图谱

Fig. 3 Map of institution cooperation network

美国地质调查局、威斯康斯大学,

总被引频次分别为 120 459 和 71 904 次,平均被引次数为 17.81 和 25.05 次,ESI 学科排名分别位列第 8 和 18 名.

表 1 研究机构统计一览表  
Tab.1 Frequency of institutions

序号	机构	频数	中心性	ESI 学科排名	引用总频数	引用次/论文	国家
1	Chinese AcadSci	816	0.14	3	201 821	11.20	中国
2	US Geol Survey	307	0.31	8	120 459	17.81	美国
3	Univ Wisconsin	239	0.18	18	71 904	25.05	美国
4	Michigan State Univ	201	0.01	64	44 216	22.77	美国
5	Beijing Normal Univ	198	0.03	192	20 363	9.36	中国
6	Univ Maryland	151	0.04	48	32 878	25.79	美国
7	Arizona State Univ	143	0.05	68	42 647	26.54	美国
8	US EPA	109	0.04	23	69 094	19.16	美国
9	Univ Florida	100	0.03	40	57 407	18.82	美国
10	Univ Chinese Acad Sci	95	0.01	144	25 065	6.53	中国
11	US Forest Serv	90	0.10	29	64 296	20.90	美国
12	Colorado State Univ	83	0.52	50	52 032	23.59	美国
13	Purdue Univ	81	0.10	238	17 356	14.96	美国
14	Univ Minnesota	81	0.07	31	63 159	26.53	美国
15	Univ Nacl Autonoma Mexico	78	0.19	260	16 203	23.31	墨西哥
16	Indian Inst Technol	70	0.09	200	19 652	21.96	印度
17	Penn State Univ	68	0.42	78	39 485	23.76	美国
18	Univ Calif system	60	0.15	1	359 493	26.45	美国
19	NASA	59	0.51	575	20 869	22.11	美国
20	Univ Sao Paulo	53	0.10	115	32 623	12.08	巴西

值得注意的是,排名前 20 名的研究机构中,美国占 14 个,占比为 70%,论文平均被引用次数为 21 次,类型涵盖政府机构、研究所和高校等.相比之下,中国只占据 3 个席位,论文平均被引用次数仅 9.03 次.这表明:以中国科学院、北京师范大学等为代表的中国研究机构在 WOS 数据库发文量不断增多,影响力凸显.与美国研究机构相比,文献质量和影响力仍然有待提升.此外,美国作为 LUCC 领域研究的主要国家,研究机构具有数量多、实力强、学术影响力大的特征.与中国机构力量集中态势不同,美国研究机构在分布上呈现多层次化、体系化、均衡化的格局.

由图 3 可知:LUCC 研究领域合作网络的核心链条初步形成.其中,国内以中国科学院为核心形成“中国科学院-中国科学院大学-中国地质大学-墨西哥自治大学-美国俄勒冈州立大学”合作链条;国际以 NASA 和美国地质调查局为核心形成“美国地质调查局-NASA-威斯康斯大学-密歇根州立大学-科罗拉多州立大学”合作链条,组成 LUCC 研究领域的两大核心体系.

值得注意的是,根据节点中心性定理分析发现,合作网络图谱中出现 4 个中心性值较高的节点(表 1),依次为科罗拉多州立大学(0.52),NASA(0.51),美国地质调查局(0.31)和威斯康斯大学(0.19).由此可见,4 所研究机构在整个合作网络中处于关键地位,对于整个网络的相互联结起着重要作用.从全球范围来看,LUCC 领域研究机构合作网络仍处于完善阶段,与当前 LUCC 研究发展阶段相吻合,国际间的机构合作有待加强.

2.3 研究领域维度

利用 CiteSpace 对样本文献数据信息进行提取分析,可以辨识出某一主题领域所涉及的科学领域状况.选择节点“catalog”进行研究领域信息挖掘与分析,如图 4 所示.由图 4 的分析结果可知:LUCC 研究在科学领域方面表现出以下两个主要特征.

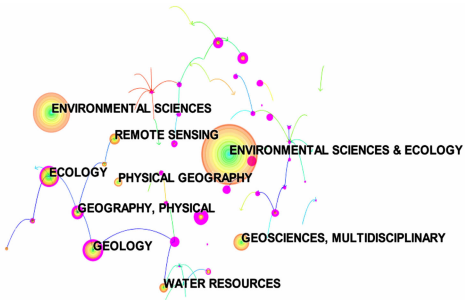


图 4 科学领域共现图谱  
Fig.4 Map of science field network

1) 研究内容上,LUCC 研究领域以 Environment Science(环境科学),Ecology(生态学),Geoscience(地球科学)等学科为主导方向,涵盖 Geography Chemistry(地球化学),Geography Physical(地球物理),Geography(地质学),Water Resources(水资源),Remote Sensing(遥感技术)和 Soil(土壤研究)等诸多领域。

2) 研究性质上,LUCC 研究是一门跨越社会科学和自然科学的综合性研究. 也恰恰验证了 LUCC 的本质——这是一门围绕“人类-环境”耦合关系研究而展开的科学,具有集成综合特征,也是未来 LUCC 进一步发展的方向和必经途径。

2.4 作者维度

作者是科学研究发展进步的根本推动力量,通过科学计量和数据挖掘可以快速识别某一研究领域的核心作者分布与作者合作状况,辨识出该研究领域具有重要影响的学者. 选择节点“cited author”进行研究作者信息挖掘与分析,结果如图 5 所示. 相应的被引作者统计结果,如表 2 所示。

由表 2 可知:在样本文献数据集中,被引频次最高的是 Lambin E F 的 880 次,紧随其后的是 Foley J A 和 Congalton R G 的 567 和 517 次. 此外,中心性较高的学者包括 Houghton R A(0. 97),FAO(0. 79),Loveland T R(0. 76)和 Turner B L(0. 71),均超过 0. 5,根据中心性定理,以上几位学者在 LUCC 研究进程中发挥了重要作用。

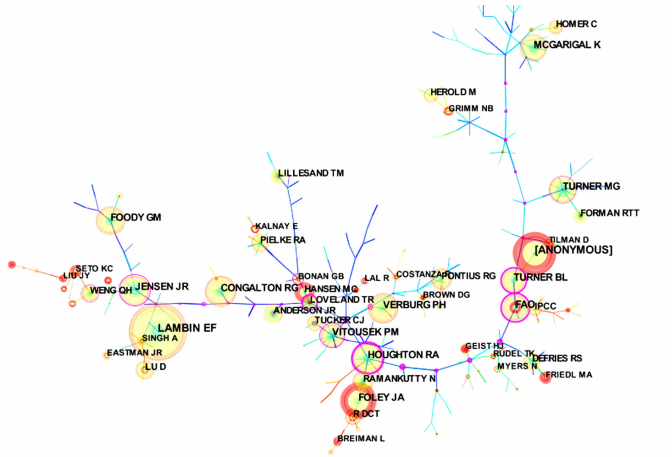


图 5 作者共被引图谱  
Fig. 5 Map of co-cited authors

表 2 被引作者统计一览表  
Tab. 2 Frequency of cited-authors

序号	作者	频数	中心性	机构
1	Lambin E F	880	0. 12	University of Louvain
2	Foley J A	567	0. 06	University of Wisconsin
3	Congalton R G	517	0. 08	University of New Hampshire
4	Jensen J R	490	0. 32	University of South Carolina
5	Verburg P H	469	0. 12	Wageningen University and Res Ctr
6	Foody G M	469	0. 09	University of Southampton
7	Houghton R A	466	0. 97	Woods Hole Research Center
8	Mcgarigal K	455	0. 07	University of Massachusetts
9	FAO	437	0. 79	FAO
10	Turner M G	428	0. 15	University of Wisconsin
11	Vitousek P M	392	0. 23	Stanford University
12	Turner B L	380	0. 71	United States Department of Agriculture
13	Ramankutty N	371	0. 09	University of Wisconsin
14	Pontius R G	352	0. 02	Clark University
15	Loveland T R	234	0. 76	US Geol Survey

此外,发表论文最多的是 Verburg 的 47 篇,依据普莱斯定律(47 的平方根再乘以 0. 749,取整就是 5 篇),发文量达到 5 篇以上的作者共计 79 位,论文合计 749 篇,总量占比不到 10%,这也进一步从文献计量角度证明了 LUCC 研究领域的核心作者群体没有形成。

3 研究热点分析

关键词是一篇文献的集中概况,是论文研究主题的集中体现和精髓所在. 利用 CiteSpace 对某研究



由表 3 可知: 频次最高的关键词是 land use change, 达到 2 886 次; 位列 2, 3 位的分别是 2 316 次的 land cover change 和 1 366 次的 climate change; 频次在 500 以上的有 21 个, 在 100~499 之间的有 59 个, 小于 100 次有 330 个。根据图谱生成结果显示: land cover change 和 climate change 处于关键词网络中心位置, 其他频次较高的词汇涵盖了该研究领域的内容、区域、对象和方法。结合文献分析, 表明过去近 20 年期间 LUCC 研究主要以土地利用和土地覆盖变化两个主题为核心, 以中国、美国、亚马 landscape, ecosystem, urbanization, model, impact, relation, pattern, biodiversity, management, scale, water driving force, sustainability, boundary layer 等众多研究社会经济、理论和应用、原因和影响等诸多维度, 内容

Tab. 3 High frequency of key-words

序号	关键词	频数	中心性	序号	关键词	频数	中心性
1	land use change	2 886	0.30	21	water quality	293	0.87
2	land cover change	2 316	0.22	22	simulation	284	0.16
3	climate change	1 366	0.05	23	brazilian amazon	378	0.06
4	landscape	1225	0.04	24	scale	382	0.16
5	ecosystem	940	0.01	25	rainfall	374	0.15
6	urbanization	910	0.02	26	carbon	340	0.64
7	united states	837	1.02	27	catchment	296	1.16
8	model	830	0.01	28	agriculture	293	1.07
9	impact	801	0.02	29	soil	194	0.12
10	remote sensing	751	0.03	30	driving force	146	0.01
11	region	731	0.09	31	phosphorus	130	0.86
12	deforestation	728	0.03	32	index	105	1.02
13	classification	652	0.17	33	sustainability	97	0.40
14	vegetation	630	0.20	34	bioma	93	0.47
15	dynamics	613	0.08	35	sediment	69	0.18
16	pattern	607	0.07	36	metrics	25	0.10
17	forest	604	0.01	37	balance	8	0.11
18	biodiversity	587	0.28	38	boundary layer	7	1.19
19	management	586	0.03	39	surface parameterization sib2	2	0.77
20	china	489	0.02	40	heterogeneity	2	0.15

此外,在节点中心性方面,排名较高的关键词包括:boundary layer(1.19),catchment(1.16),agriculture(1.07),united states(1.02),index(1.02),water quality(0.87),phosphorus(0.86),surface parameterization sib2(0.77),carbon(0.64),bioma(0.47),sustainability(0.4),land use change(0.3),land cover change(0.22),biodiversity(0.28).以上节点在关键词共现网络结构中处于关键位置,根据节点中心性原理,在 LUCC 研究热点演化过程中扮演着关键的转驳和枢纽角色.

此外,依据关键词内涵和属性可以进一步对 LUCC 研究领域的知识结构进行剖析,归纳现有的知

识模块. 通过抽取部分具有代表性的关键词信息, 结合实际研究现状, 将 LUCC 研究领域分成数据与工具、研究方法、研究区域、现状研究、驱动力分析、效应及机制研究、研究与应用等 7 个模块, 如表 4 所示.

表 4 关键词属性分类表  
Tab. 4 Attribute classification of keywords

序号	模块	关键词
1	数据与工具	remotely sensed data; thematic mapper data; satellite data; satellite imagery; radar; avhrr; landsat; ndvi; resolution; geographical information system
2	研究方法	general circulation model; simulation; cellular automata; logistic regression; neural network; model; swat; surface parameterization sib2; scenario; canonical correspondence analysis
3	研究区域	africa; southeast asia; europe; amazon; united states; china; india; malaysia; nepal; australia; new zealand; kenya; costa rica; mexico; brazil; puertorico; spain
4	状况研究	change detection; spatial pattern; scale; dynamics; classification accuracy; trend; forest; grassland; wetland; mapping; acreage estimation; vegetation; deforestation; soil erosion; expansion; land degradation; desertification
5	驱动力分析	economic development; urbanization; cultivation; population; emission; metropolitan area; agricultural expansion
6	效应及机制研究	climate change; ecosystem; ecosystem service; biogeochemical cycle; biodiversity; soil erosion; rainfall; carbon; carbon dioxide; water quality; nitrate; nitrogen; eutrophication; phosphorus; sediment; temperature; evapotranspiration
7	研究与应用	economic development; environmental policy; prediction; future; decision making; food security; development strategy

1) 数据与工具. 工具方面, LUCC 研究前期主要通过高空航拍或者卫星遥感来获取监测影像, 而后期则通过地理信息系统 (GIS) 进行数据储存、处理与输出<sup>[16-18]</sup>; 数据方面, 按时间可以分为历史来源数据和当代监测统计数据. 历史统计数据为历史土地利用和土地覆盖变化研究提供了可能, 而当代遥感数据则具有即时性、大面积、连续性、高分辨率等诸多优势. 由于 LUCC 研究具有很强的时间和空间依赖性, 因而遥感技术的不断进步和高精度遥感图像的出现为更深入的研究提供了数据基础, 比如, 精确记录土地覆盖类型的变化、土地覆盖类型边界的识别, 以及土地利用变化的定量估算等研究.

2) 研究方法. 以某一研究区域为研究背景, 使用定量的数理研究方法对其进行描述、解释、预测和决策是当前 LUCC 研究的主流方向<sup>[19]</sup>. 由表 4 可知: 回归、仿真、神经网络、情景分析、系统动力学、元胞自动机、支持向量机、代理模型、循环模型、SWAT 水文评价、生物群落及 sib2 生物圈模型等都是应用比较广泛的研究框架和研究模型<sup>[20-25]</sup>. 模型使用的最终目的是为了提高人类对于“人-环境”耦合系统的认识, 掌握变化的规律, 为人类更好地做出决策和实现可持续发展提供可能.

3) 研究区域. LUCC 研究必须从区域研究出发, 以区域研究为基本单元, 在“全球-区域-全球”的研究过程中, 实现不同尺度、不同层次研究成果的嵌套和归整. 放眼全球, 自然和经济发展上具有典型和独特特征的区域成为关注的热点. 森林覆盖方面, 热带雨林因其在生态服务和生物地球化学过程中的显著作用而备受关注, 如非洲中部刚果盆地和东南部的马达加斯加区域、亚洲的东南亚、南美洲的亚马逊等热带雨林区域都成为 LUCC 研究的热点区域, 研究成果众多<sup>[26-28]</sup>. 草原研究主要分为热带稀树草原和畜牧草地两种, 典型研究区域主要包括非洲大部、亚洲中部、澳大利亚的北部与东部、南美洲等区域<sup>[29-30]</sup>. 农用地分为密集型和粗放型农用地, 中国、印度和东南亚等发展中国家和地区成为粗放型农业用地的典型区域<sup>[31-33]</sup>, 而欧洲、美国和澳大利亚等经济发达区域则成为密集型农业用地研究的理性区域<sup>[34-35]</sup>.

4) LUCC 现状研究. 主要针对土地利用变化和土地覆盖变化的数量、质量、空间分布、分类、变化速率和过程进行描述、评估、解释和预测分析<sup>[30, 36-39]</sup>. 科学、合理、正确的 LUCC 分类方法是开展 LUCC 现状研究的前提之一, 也是 LUCC 从全球视角实现统一和整合的重要保障<sup>[25]</sup>. 当然, 随着技术的进步和研究方法的不断创新, 也可能反过来使得研究者重新去审视和修正原来的分类方法. 在未来, 尺度规模的协同、质量的精确评估、动态变化过程的描述、分类标准的统一都是 LUCC 现状研究领域的重点.

5) 驱动力分析. 驱动力分析是 LUCC 研究较为成熟的方向之一, 特别是在自然驱动因素, 包括水

文、地形地貌、气候等因子<sup>[40-42]</sup>。经济社会方面的研究也日益成熟,主要包括经济、人口、科技、制度、政治、价值观念等因子。在未来的研究中,首先,要进一步加深自然维度和社会经济维度影响因子的统一融合,同时,解决部分社会影响因子难以量化的难题;其次,是要在驱动机制研究中充分考虑反馈机制和关联机制,系统、完整、科学地对 LUCC 驱动力进行描述解释分析。

6) 效应及机制研究。效应研究可以说是 LUCC 未来研究的重点方向之一,特别区域土地利用变化对生态系统及服务功能、生物地球化学及气候的影响。生态系统服务包括食品供应、水资源、大气、森林资源,乃至生物多样性、污染防治、土地荒漠化防治等,与人类的生存息息相关。生物地球化学则针对地球表层各个圈层之中的元素及其循环运动的关系进行研究,包括水循环、能量循环和大气循环等,具体可以深入到 carbon(碳),phosphor(磷),nitrogen(氮),methane(甲烷)等微观通量的研究评估<sup>[35,43-45]</sup>。气候则是针对气温、降雨、湿度等指标或者厄尔尼诺和拉尼娜现象等特殊气候变化做出研究<sup>[44,46]</sup>。可以预见,未来的研究会针对 LUCC 效应的过程、机制及反作用做出更加深入微观的研究。

7) 研究与应用。LUCC 研究的最终目的是为了提高人类对于“人类-环境”耦合系统的认识。通过数理化范式加深对土地利用与覆盖的现状、驱动力与驱动过程、影响与作用过程等各方面的认识和了解,提高预测能力,为经济社会决策提供参考依据,最终实现人类-环境协调发展和可持续发展<sup>[47-49]</sup>。

## 4 总结与展望

文中运用文献计量和可视化分析工具,对全球自 1998 年以来的 LUCC 研究科学进行文献信息挖掘与可视化分析。首先,通过指标评价分析,得出国内外 LUCC 研究领域重要研究机构;其次,通过科学领域共现分析发现,LUCC 研究领域一门跨越社会科学和自然科学的综合性研究,覆盖多个科学领域;再次,通过作者共被引分析,辨析出 LUCC 研究领域内具有重大影响力的学者;最后,绘制关键词共现分析图谱,解译出 1998 年以来 LUCC 研究热点所在,同时进一步解译关键词,将 LUCC 研究分为 7 大知识模块。

在全球环境问题凸显和可持续发展思想指导的背景下,LUCC 科学研究价值突出,目前处于稳定发展的阶段,未来仍有巨大的发展空间,可以预见走向综合必定是 LUCC 的未来研究方向。1) 研究学科上,自然科学和社会科学的交叉融合不断加深。LUCC 处于自然环境系统和人类经济社会系统的交汇面,任何单一的科学研究方法或者理论都难以对其进行完整的阐述与解释。2) 空间尺度上,LUCC 研究须以区域为基础单元,实现不同尺度下的研究成果有效整合与嵌套,特别是加强洲际或者全球大区域尺度的研究,形成完整的 LUCC 成果体系。3) 研究层面上,宏观层面和微观层面的研究结合更加紧密,更加注重机制、过程及单因子等微观层面的研究。4) 时间尺度上,静态研究与动态研究相结合、历史研究与当代研究相结合,更加动态地展现过去、现在和未来;5) 研究理论上,将逐步建立普适性的理论框架用于指导 LUCC 研究的开展。

目前,全球环境问题依然严峻,而 LUCC 研究依然存在着诸多难点和重点有待去进一步的解决,主要体现以下 5 个主要方面。

1) 数据与工具。目前,数据处理与转化仍然缺乏统一的标准和规范,这既不利于全球范围内的数据库的建立,也一定程度上阻碍了区域研究成果的推广。遥感影像监测面积与分辨率之间的矛盾是另一个需要解决的挑战。随着遥感技术的进步,超高分辨率的遥感图像已经得到应用,并且为许多微观层面的研究提供了可能,不过这类遥感图像存在监测空间范围有限的弊端;而大空间尺度遥感影响虽然克服了上述弊端,却存在分辨率低、像素混合等问题,容易导致信息失真、土地覆盖边界混合模糊等问题,对研究造成了很大的影响。此外,随着时间推移,学术界对于历史土地利用与土地覆盖还原研究的成果不断增多,但与当代对于卫星图像准确性改进的大量努力不同,检验 LUCC 研究中历史地图等资料的不确定性的尝试并不多。历史地图与目前卫星遥感影像的整合问题,如两个数据集之间土地覆盖类别的位置误差或语义操作性,都是今后 LUCC 研究的重要问题。

2) 分类准确性与统一问题。在 LUCC 土地利用/覆盖研究中,科学、合理、正确的分类是开展 LUCC 现状研究的前提之一,也是 LUCC 可以从全球视角实现统一和整合的重要保障。然而,在实际操作中各区域的自然环境和经济社会实际发展状况不同而导致 LUCC 分类各异,统一整合面存在一定的难题。



如何在保留各个区域特征的前提下建立全球统一的LUCC分类体系,既实行统一标准又保留区域空间异质性是值得研究的。当然,另一方面,技术的进步和研究方法的改进,也可能反过来使得研究者重新去审视和修正原有的分类方法,这是一个动态发展的过程。

3) 继续加强土地覆盖内部变化的研究。土地覆盖的变化分为两种,一种是土地覆盖类型的转变,例如,从森林用地转化为耕地。这种变化通常以离散属性呈现,一般只需要对不同时间点的遥感图像进行对比即可;还有一种是土地覆盖类型内部属性的变化,这种变化通常是连续的、微妙的,比如,生物量、森林密度、植被群落结构、表层水分等属性的变化。由于通常短时间内不明显,因而必须使用高精度的遥感对其相关属性进行时间、空间上不间断的监测。在未来的研究中,需要继续加强土地覆盖类型内部变化研究,一些更微妙的变化仍然需要在全球范围内更好地量化。

4) 效应及机制研究。未来LUCC将继续以实现人类可持续发展为目标,以“人类-环境”耦合系统为研究框架,深入了解土地利用、土地覆盖、生态系统、生物地球化学过程,乃至整个人类经济社会系统及地球环境中各个因子相互作用关系、影响过程、机制与原理。未来的研究中要加强对于LUCC影响反馈作用及其机制的研究,继而进行完整的描述与解释。

5) 预测决策指导应用。如前文所述,LUCC研究是为人类实现可持续发展的远景而服务的。通过遥感实时掌握LUCC的现状和变化趋势,通过驱动力分析剖析LUCC变化的动因以实施对策,通过模型模拟仿真预测LUCC未来的变化,通过优化决策模型辅助规划制定及政策实施,这是全球特别是矛盾突出的热点地区下一步研究的重点。我国由于其特殊的自然区位和独特的社会经济发展轨迹,成为了全球众多LUCC研究典型区域代表之一。对于我国来说,一方面,自然环境具有复杂、多样、敏感、脆弱、变化速率高等特征;另一方面,经济社会上处于高速发展和转型阶段,面临人口、环境污染、资源消耗、耕地减少、水土流失、土地荒漠化等诸多环境问题,进一步加强LUCC研究用于指导环境保护和经济协调发展显得更为重要。

## 参考文献:

- [1] 陈佑启,杨鹏.国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展[J].经济地理,2001,21(1):95-100. DOI:10.3969/j.issn.1000-8462.2001.01.022.
- [2] TURNER II B L,SKOLE D L,SANDERSON S,*et al.* Land-use and land-cover change: Science/research plan[J]. Global Change Report,1995,43(1995):669-679.
- [3] ABELSON P H. The international geosphere-biosphere program[J]. Science,1986,234(4777):657. DOI:10.1126/science.234.4777.657.
- [4] WEAVER C P,MOONEY S,ALLEN D,*et al.* From global change science to action with social sciences[J]. Nature Climate Change,2014,4(8):659. DOI:10.1038/nclimate2319.
- [5] CASTREE N. Geography and global change science: Relationships necessary, absent, and possible[J]. Geographical Research,2015,53(1):1-15. DOI:10.1111/1745-5871.12100.
- [6] 李秀彬.全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J].地理学报,1996,51(6):553-558.
- [7] 蔡运龙.土地利用/土地覆被变化研究:寻求新的综合途径[J].地理研究,2001,20(6):645-652. DOI:10.3321/j.issn:1000-0585.2001.06.001.
- [8] 刘彦随,陈百明.中国可持续发展问题与土地利用/覆被变化研究[J].地理研究,2002,21(3):324-330. DOI:10.3321/j.issn:1000-0585.2002.03.007.
- [9] 何英彬,陈佑启.土地利用/覆盖变化研究综述[J].中国农业资源与区划,2004,25(2):61-65. DOI:10.3969/j.issn.1005-9121.2004.02.015.
- [10] 唐华俊,吴文斌,杨鹏,等.土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J].地理学报,2009,64(4):456-468. DOI:10.3321/j.issn:0375-5444.2009.04.008.
- [11] CHEN Chaomei. Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2004,101(s1):5303. DOI:10.1073/pnas.0307513100.
- [12] 陈悦,陈超美,刘则渊,等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究,2015,33(2):242-253. DOI:10.3969/

- j. issn. 1003-2053. 2015. 02. 009.
- [13] 普赖斯 D. 小科学·大科学[M]. 宋剑耕, 等译. 北京: 世界科学社, 1982.
- [14] 丁学东. 文献计量学基础[M]. 北京: 北京大学出版社, 1993.
- [15] 邱均平. 信息计量学(四)[J]. 情报理论与实践, 2000, 23(4): 315-320. DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-7490. 2000. 04. 028.
- [16] OSBORNE P E, ALONSO J C, BRYANT R G. Modelling landscape-scale habitat use using GIS and remote sensing: A case study with great bustards[J]. Journal of Applied Ecology, 2001, 38(2): 458-471. DOI: 10. 1046/j. 1365-2664. 2001. 00604. X.
- [17] VOOGT J A, OKE T R. Thermal remote sensing of urban climates[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86(3): 370-384. DOI: 10. 1016/S0034-4257(03)00079-8.
- [18] LUNETTA R S, KNIGHT J F, EDIRIWICKREMA J, *et al.* Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 105(2): 142-154. DOI: 10. 1016/j. rse. 2006. 06. 018.
- [19] STÉPHENNE N, LAMBIN E F. A dynamic simulation model of land-use changes in Sudano-Sahelian Countries of Africa (SALU). [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2001, 85(1/2/3): 145-161. DOI: 10. 1016/S0167-8809(01)00181-5.
- [20] PONTIUS J R G, SCHNEIDER L C. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich Watershed, Massachusetts, USA[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2001, 85(1/2/3): 239-248. DOI: 10. 1016/S0167-8809(01)00187-6.
- [21] FOODY G M, CUTLER M E J, MCMORROW J, *et al.* Mapping the biomass of Bornean tropical rain forest from remotely sensed data[J]. Global Ecology and Biogeography, 2001, 10(4): 379-387. DOI: 10. 1046/j. 1466-822X. 2001. 00248. X.
- [22] BONDEAU A, SMITH P C, ZAEHLE S, *et al.* Modelling the role of agriculture for the 20th century global terrestrial carbon balance[J]. Global Change Biology, 2007, 13(3): 679-706. DOI: 10. 1111/j. 1365-2486. 2006. 01305. X.
- [23] STERLING S M, DUCHARNE A, POLCHER J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle[J]. Ntuure Climate Chance, 2013, 3(4): 385-390. DOI: 10. 1038/ncclimate1690.
- [24] LAMBIN E F, TURNER B L, GEIST H J, *et al.* The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths[J]. Global Environmental Change, 2001, 11(4): 261-269. DOI: 10. 1016/S0959-3780(01)00007-3.
- [25] 王林, 陈兴伟. SWAT 模型流域径流模拟研究进展[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2008, 29(1): 6-10. DOI: 10. 11830/ISSN. 1000-5013. 2008. 01. 0006.
- [26] LAMBIN E F, GEIST H J, LEPEERS E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions[J]. Annual Review of Environment and Resources, 2003, 28: 205-241.
- [27] BRUIJNZEEL L A. Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2004, 104(1): 185-228. DOI: 10. 1016/j. agee. 2004. 01. 015.
- [28] YIRAN G, KUSIMI J M, KUFOGBE S K. A synthesis of remote sensing and local knowledge approaches in land degradation assessment in the Bawku East District, Ghana[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2012, 14(1): 204-213. DOI: 10. 1016/j. jag. 2011. 09. 016.
- [29] SCANLON B R, KEESE K E, FLINT A L, *et al.* Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions[J]. Hydrological Processes, 2006, 20(15): 3335-3370. DOI: 10. 1002/hyp. 6335.
- [30] FU Guobin, CHEN Shulin, LIU Changming, *et al.* Hydro-climatic trends of the Yellow River basin for the last 50 years[J]. Climatic Change, 2004, 65(1/2): 149-178. DOI: 10. 1023/B: CLIM. 0000037491. 95395. bb.
- [31] RAO K S, PANT R. Land use dynamics and landscape change pattern in a typical micro watershed in the mid elevation zone of central Himalaya, India[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 86(2): 113-123. DOI: 10. 1016/S0167-8809(00)00274-7.
- [32] FOX J, VOGLER J B. Land-use and land-cover change in montane mainland southeast Asia[J]. Environ Manage, 2005, 36(3): 394-403. DOI: 10. 1007/s00267-003-0288-7.
- [33] ROY A H, ROSEMOND A D, PAUL M J, *et al.* Stream macroinvertebrate response to catchment urbanisation (Georgia, USA)[J]. Freshwater Biology, 2003, 48(2): 329-346. DOI: 10. 1046/j. 1365-2427. 2003. 00979. X.
- [34] KAPLAN J O, KRUMHARDT K M, ZIMMERMANN N. The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe[J]. Quaternary Science Reviews, 2009, 28(27/28): 3016-3034. DOI: 10. 1016/j. quascirev. 2009. 09. 028.

- [35] RAMANKUTTY N, FOLEY J A. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992 [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, 13(4): 997-1027. DOI: 10. 1029/1999GB900046.
- [36] KERR J T, OSTROVSKY M. From space to species: Ecological applications for remote sensing[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2003, 18(6): 299-305. DOI: 10. 1016/S0169-5347(03)00071-5.
- [37] SONG Conghe. Spectral mixture analysis for subpixel vegetation fractions in the urban environment: How to incorporate endmember variability? [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 95(2): 248-263. DOI: 10. 1016/j. rse. 2005. 01. 002.
- [38] DEWAN A M, YAMAGUCHI Y. Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization[J]. *Applied Geography*, 2009, 29(3): 390-401. DOI: 10. 1016/j. apgeog. 2008. 12. 005.
- [39] LU D, MAUSEL P, BRONDIZIO E, *et al.* Change detection techniques[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(12): 2365-2407. DOI: 10. 1080/0143116031000139863.
- [40] GEIST H J, LAMBIN E F. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation[J]. *Bioscience*, 2002, 52(2): 143-150. DOI: 10. 1641/0006-3568(2002)052[0143: PCAUDF]2. 0. CO; 2.
- [41] ROST S, GERTEN D, BONDEAU A, *et al.* Agricultural green and blue water consumption and its influence on the global water system[J]. *Water Resources Research*, 2008, 44(9): 137-148. DOI: 10. 1029/2007WR006331.
- [42] JOBBAGY E G, JACKSON R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation[J]. *Ecological Applications*, 2000, 10(2): 423-436. DOI: 10. 1890/1051-0761(2000)010[0423: TVDO-SO]2. 0. CO; 2.
- [43] INUBUSHI K, FURUKAWA Y, HADI A, *et al.* Seasonal changes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes in relation to land-use change in tropical peatlands located in coastal area of South Kalimantan[J]. *Chemosphere*, 2003, 52(3): 603-608. DOI: 10. 1016/S0045-6535(03)00242-X.
- [44] STURM M, SCHIMEL J, MICHAELSON G, *et al.* Winter biological processes could help convert arctic tundra to shrubland[J]. *Bioscience*, 2005, 55(1): 17-26. DOI: 10. 1641/0006-3568(2005)055[0017: WBPCHC]2. 0. CO; 2.
- [45] BONAN G B. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests[J]. *Science*, 2008, 320(5882): 1444-1449. DOI: 10. 1126/science. 1155121.
- [46] LAMBIN E F, ROUNSEVELL M, GEIST H J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? [J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2000, 82(1/2/3): 321-331. DOI: 10. 1016/S0167-8809(00)00235-8.
- [47] VELDKAMP A, LAMBIN E F. Predicting land-use change[J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2001, 85(1/2/3): 1-6. DOI: 10. 1016/S0167-8809(01)00199-2.
- [48] EVANS T P, SUN W J, KELLEY H. Spatially explicit experiments for the exploration of land-use decision-making dynamics[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2006, 20(9): 1013-1037. DOI: 10. 1080/13658810600830764.
- [49] LEYK S, ZIMMERMANN N E. Improving land change detection based on uncertain survey maps using fuzzy sets [J]. *Landscape Ecology*, 2007, 22(2): 257-272. DOI: 10. 1007/s10980-006-9021-2.

(责任编辑: 黄仲一      英文审校: 吴逢铁)