

基于 CiteSpace 的农业节水研究进展与发展趋势

代锋刚^{1,2}, 蔡焕杰¹

(1. 西北农林科技大学 旱区节水农业研究院/旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 石家庄经济学院 河北省水资源可持续开发利用重点实验室, 河北 石家庄 050031)

摘要: 借助 CiteSpace 可视化软件, 对无形的科学知识进行了可视化计量研究。利用共引共词分析、多元统计分析、社会网络分析等方法, 绘制了农业节水研究领域的科技文献共引网络图谱、高被引文献的热点词图谱以及前沿进展时区图谱。分析可知国内外有关农业节水的高被引文献多数是关于实验方法和技术应用, 目前国内比较侧重于节水灌溉、水资源、节水型社会、农业节水技术方面的研究; 国外有关农业节水研究热点主要集中在灌溉水利用效率、灌溉水资源、虚拟水、农业产量及种植结构等。国内在基于作物水分高效利用的遗传育种学及分子生物学方面研究相对薄弱, 作物抗旱及水分高效利用机理、水分养分耦合及高产协调机理等生物节水方面有待进一步研究; 在多种农业节水技术联合运用方面研究有待加强; 农业节水的生态环境效应评价方面研究是未来农业节水研究的发展趋势。

关键词: 节水农业; 研究进展; 科学知识图谱; CiteSpace; 信息可视化

中图分类号: S271

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)01-0212-07

Research progress and development trend of water saving agriculture based on CiteSpace

DAI Fenggang^{1,2}, CAI Huanjie¹

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas of Ministry of Education/Water-saving Agricultural Research Institute in Arid Areas, Northwest A & F University, Yangling, 712100, China; 2. Key Laboratory of Water Resources Sustainable Use and Development of Hebei, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: By use of the critical documents and frontier knowledge, the paper used CiteSpace information visualization software to carry out visualization qualitative research for invisible scientific knowledge. Using cocitation analysis, multiple statistical analysis and social network analysis, it drawn the citation network map, the highly cited references map and the advanced progress hot word time zone map in water saving agriculture research. The results show that most of the literature of agricultural water saving at home and abroad highly cited are about the experimental method and the technology application. In recent years, China more focuses on the research of water-saving irrigation, water resources, water-saving society, agricultural water saving technology. The relevant agricultural water-saving in foreign country early focuses on intense research in irrigation water use efficiency and irrigation water resources, virtual water, agricultural production and planting structure. The domestic research on the efficient use of crop water-based genetic breeding and molecular biology is relatively weak. The biological water-saving mechanism of crop resistance to drought and high water use efficiency, water nutrient coupling and high yield coordination mechanism need to study further. The joint utilization of agricultural water saving technology needs to be strengthened; the effects evaluation of agricultural water-saving agricultural water-saving on eco-environmental is the research trends in the future. the analysis tools of mapping knowledge domains based on CiteSpace visualization, which make up for the subjectivity shortcoming of scientists traditional methods, and has important academic reference value for the exploration and discovery of the evolution law of disciplines hotspots and the latest development trend.

Key words: water saving agriculture; research progress; scientific knowledge map; CiteSpace; information visualization

收稿日期: 2014-10-27; 修回日期: 2014-12-02

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题(2011BAD29B01); 国家自然科学基金项目(51179162); 河北省高等学校科学研究项目(ZD2014023); 石家庄经济学院博士基金项目(BQ201321/SYY201314)

作者简介: 代锋刚(1980-), 男, 陕西蓝田人, 博士, 副教授, 主要从事水文学及水资源研究。

通讯作者: 蔡焕杰(1962-), 男, 河北藁城人, 博士, 教授, 主要从事农业节水与水资源高效利用研究。

随着全球经济、社会的迅速发展,水资源短缺态势将会更加严峻,第一用水大户仍是农业,而农业节水潜力最大,农业节水引起全社会的高度关注^[1-2],开展农业节水来缓解水资源危机的战略选择已成为世界各国的共识^[3]。国内外关于农业节水方面研究的科技文献日益丰富,如何有目的地追踪农业节水研究领域的科技文献知识,有效获取同行们在做什么?哪些科技工作者最具影响力?哪些课题处于国际前沿?目前研究热点问题是什么?这些信息是农业科技工作者跟踪科技前沿、选择研究方向、辅助科技决策、学习和更新知识的关键。悄然兴起的科学知识图谱是以学科为基础涉及应用数学、信息科学及计算机科学等方面一门交叉学科^[4],它提供了一种文献分析和判断的新视觉,利用可视化的知识图形和序列化的知识谱系,可以直观显示研究学科的不同时期热点前沿的演变历程,通过文献引证分析,可以揭示科技文献数据背后可以意会难以言传的隐性知识^[5]。

传统的科学计量学图谱通常以简单的二维、三维图形(如:柱形图、线性图、点布图、扇形图、平面图等)表示科学统计结果。而 CiteSpace 可视化文献信息分析软件利用统计分析、网络分析、聚类分析等数学工具,定量地研究学科研究热点及趋势,将枯燥的文献统计数据,利用可视化图像知识图谱生动而明快地展现出来,它已成为广大科技工作者了解各自研究领域学科专业的生长点和制高点的利器。然而目前国内运用科学知识图谱方法分析学科专业前沿热点的研究还很少^[6-9]。本文利用 CiteSpace 对国内外有关农业节水研究高频被引文献及研究热点分别进行分析,以知识网络图谱形式展示了国内外不同时期有关农业节水研究的热点问题及研究进展。

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

本文利用 ISI web of Knowledge 学术信息资源检索平台,选择其中的 Web of Science 数据库,以主题 = (agricultural water saving), 时间跨度 = (1995 - 2014), 数据库 = (SCI - EXPANDED, SSCI, CPCI - S, CPCI - SSH, CCR - EXPANDED, IC) 进行国外文献检索,共检索出与 agricultural water saving 相关文献 500 条,总共被引频次 16 112,数据更新时间为 2014-04-27。

国内有关农业节水研究的数据来源于中国知网(CNKI),选择其中的中国学术期刊网络出版总库,以主题 = (农业节水), 时间跨度 = (1995 - 2014), 范围 = (核心期刊) 进行检索,得到 622 条文献数据,数据更新时间为 2014-04-25。

1.2 研究方法

本文运用科学计量学方法原理,结合引文分析、共被引分析、多元统计分析、词频分析、聚类分析等知识图谱基本方法^[10],通过 CiteSpace 可视化文献信息分析软件,绘制了农业节水研究的引文及主题知识图谱,对其进行分析并界定国内外农业节水研究的前沿和热点领域。

2 国外有关农业节水研究分析

2.1 高被引文献分析

2.1.1 国外农业节水研究共引文献网络图谱 科学文献的引用和被引用说明了对科学知识的继承和利用,文献作者估计不会无缘无故引用与其论述的主题毫无关系的论文,学科专业引文分析计量指标有引文率、影响因子、自引证率、自被引率等^[11]。文献被引用体现了对开拓者表示的尊重,对自己研究提供了背景阅读资料,故引文分析可以定性和定量评估科研工作者贡献及学科专业的发展历程。文献作者共被引频次越多,他们之间的关系相对越密切,“距离”相对也就越近,通过聚类分析、多维尺度分析等方法加以分类,可以找到学科领域的科学共同体,共被引分析基于大量数据文献,分类方法比较客观,弥补了科研工作者传统的个人归纳分类方法主观性较大的不足^[12]。通过 CiteSpace 绘制共引文献网络图谱可以找出农业节水研究领域科技文献共被引的频次较高的文章。CiteSpace 提供了绘制共引文献网络图谱的平台,在节点类型中选择共引文献(Cited Reference)选项,时区分割设为 1995 - 2014 年,时间片断设为 1,阈值(Thresholds)中参数引文数量、共被引频次和共被引系数(c, cc, ccv)分别设为:(2, 3, 10);(3, 1, 0);(3, 2, 10),通过处理得出国外农业节水研究的共引网络图谱(图 1)。由图 1 可知 1995 年以后农业节水研究相关文献增长迅速,其中影响比较大的重要文献主要集中在 2002 - 2006 年。根据 Cite Space 进行统计分析 & 学术 goog le 进行搜索,得到农业节水研究共被引频次大于 7 的科技文献共 10 篇,其频次、中心度、发表时间、作者及题目见表 1。

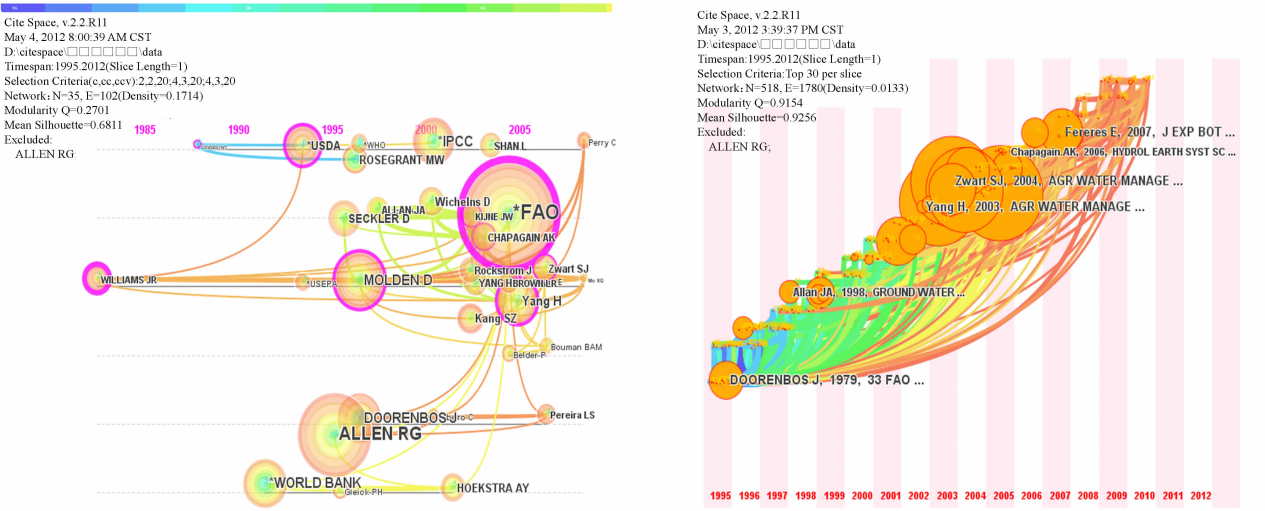


图1 国外农业节水研究文献共引作者时间图谱和时区图谱

2.1.2 共被引频次排名前10位的文献分析 根据表1共被引频次较高的10篇文章得知,第1篇由Zwart S J等2004年发布于Agricultural Water Management综述性文章,Web of Science中被引频次共127次,文中指出作物水分生产率变化可以归因于气候、农业水管理及土壤养分管理等,减少灌溉水量及水分亏缺诱导可以显著提高作物水分生产率^[15]。第2篇是Doorenbos J等1979年著《Yield response to water》系统阐述了最大蒸发蒸腾量、实际蒸发蒸腾量及水与作物产量的关系等,国际有关农业节水研究对此书引用相对较多,表明作物水分生产率方面

是农业节水研究重点之一。第3篇由Yang H等2003发表于Aquatic Sciences的论文,文中指出由于各个用水部门相互作用的复杂性,需要明确的制度体系来实现高效的决策^[14]。第4篇是Fereses E等2007年发表于Journal of Experimental Botany,文中指出在大多数调亏灌溉情况下的灌溉水供应程度比较高,允许充分蒸散量达到60%~100%,调亏灌溉(RDI)在果树和葡萄的成功使用显示RDI不仅提高了水分生产率,而且提高了农民的利润,RDI这些反应植物生理基础研究将对水资源紧缺的地区具有重大的影响^[13]。

表1 国外农业节水文献共被引网络中被引频次排名前10位的文献

序号	频次	中心度	年份	作者	题名
1	13	0.04	2004	Zwart S J	Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize
2	13	0.01	1979	Doorenbos J	Yield response to water
3	11	0.03	2003	Yang H	Water issues: the need for action at different levels
4	11	0.02	2007	Fereses E	Deficit irrigation for reducing agricultural water use
5	10	0.01	1998	Allan J A	Virtual water: A strategic resource global solutions to regional deficits
6	9	0.02	2006	Chapagain A K	Water saving through international trade of agricultural products
7	8	0.02	2001	Wichelns D	The role of 'virtual water' in efforts to achieve food security and other national goals, with an example from Egypt
8	8	0.01	2004	Wichelns D	The policy relevance of virtual water can be enhanced by considering comparative advantages
9	8	0.02	2004	Kendy E	Groundwater recharge from irrigated cropland in the North China Plain: case study of Luancheng County, Hebei Province, 1949-2000
10	7	0.03	1999	Zhang H P	Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region

第5篇是Allan J A 1998年发表于Ground Water 论文,文中指出虚拟水理论是解决区域水短缺的资源策略之一^[16]。第6篇是Chapagain A K 2006年

发表于Hydrology and Earth System Sciences,文中分析了在全球和国家水预算中的虚拟水流量,指出进口产品绿水和蓝水虚拟水量之比相对较高,可以保

护通常比绿水有较高的机会成本的全球蓝水资源^[17]。第 7、8 篇是 Wichelns D 阐述了经济维度的“虚拟水”的概念,特别强调水是生产的关键因素^[18, 19]。第 9 篇是 Kendy E2004 发表于 Hydrological Processes,文中使用简单水土平衡模型计算了地下水补给量和实际蒸散量,指出华北平原地下水补给取决于降水量和灌溉入渗量^[20]。第 10 篇是 Zhang Heping 1999 年发表于 Agricultural Water Management,通过在叙利亚北部的 10 年补充实验,提出了不同降水条件下小麦的最优灌溉制度^[21]。通过共引国别网络图谱进行分析可以看出中国在世界农业节水研究中的学术地位,从国家论文共引频次看,我国占据明显优势,已超越美国位居第一。选取被引频次较高的科学家为研究对象,高被引频次代表着科学家在农业节水研究领域的深远影响,他们关注的研究领域代表着农业节水研究的重点方向,他们的研究成果也会对农业节水的未来发展产生较大的影响,通过共引作者网络图谱进行分析可知,1995 – 2014 年间被引频次在 7 次以上的科学家共 10 位,被引频次最高的是荷兰的 Zwart SJ。图 1 中引文年环代表这篇文章的引文历史,引文年轮的颜色代表相应的引文时间,每个年轮的厚度与某个时间分区内引文数量成比例,网络中各节点代表高频词和爆炸词,节点大小代表该词达到最大爆炸水平,节点中心旁的数字代表整个时间跨度内的被引次数^[22]。同时可以得出,1995 – 2014 年间有关农业节水研究在 Agricultural Water Management 期刊发表论

文数量最多,占总数 9.2%,Irrigation and Drainage 期刊论文数量次之,占总数 2.2%;其中期刊论文数量最多,占总数 75.0%,会议论文次之,占总数 26.4%;2009 年发表该领域论文最多,占总数 15.0%,2011 年数量次之,占总数 14.8%。

2.2 国外研究前沿热点分析

2.2.1 研究前沿热点的界定 研究前沿代表了一个研究领域的思想现状,越是频繁被引用的文章越有可能是研究前沿的关注焦点。与研究前沿相关的主要问题有:它是怎么开始的?现状如何?其演化的重要路径是什么?因此需要识别和分析出现的新趋势和导致研究前沿演变的重要知识转折点。而共被引文章聚类表征了当前活跃的研究领域,其本质决定于选择的词集。分析频次较高的主题词,通过询问该领域专家关键文章的意义和通过查阅文献来验证,确定农业节水领域研究的前沿热点问题。

2.2.2 国外农业节水研究的热点词汇图谱 选择 Web of Science 数据库中与 agricultural water saving 相关 500 条文献作为输入数据,在 CiteSpace 中的节点类型控制面板中选主题词和关键词,分析时间跨度设为 1995 – 2014 年,时间间隔为 1 年,得到农业节水领域高被引文献的关键词和主题词共现时间图谱。

2.2.3 国外农业节水的研究热点 由表 2 看出,国外不同时期农业节水研究的热点演变过程,根据 CiteSpace 统计工具分析,得出不同时期农业节水研究热点频次及时间(见表 2)。

表 2 1995 – 2012 年国外农业节水研究高频热点词

序号	频次	年份	热点词	序号	频次	年份	热点词
1	49	1999	irrigation	16	15	2002	deficit irrigation
2	42	2005	management	17	14	2006	groundwater
3	35	2003	water	18	14	2005	evapotranspiration
4	33	2006	yield	19	13	2006	growth
5	29	1998	agriculture	20	13	2002	system
6	28	2000	soil	21	12	2010	runoff
7	21	2002	use efficiency	22	12	2007	virtual water
8	21	2002	model	23	11	2007	policy
9	20	2005	water productivity	24	11	2004	water-saving irrigation
10	20	2001	china	25	11	2002	environment
11	18	2007	water saving	26	10	2011	performance
12	18	2005	nitrogen	27	10	2010	climate-change
13	18	2003	wheat	28	10	2002	temperature
14	16	2011	systems	29	10	1998	drip irrigation
15	15	2005	cotton	30	9	2011	biomass

(1) 1995 - 2000 年期间,从 irrigation(灌溉)、agriculture(农业)、water soil environment(水土环境)、drip irrigation(滴灌)、cropping systems(耕作制度)等高频出现词汇可以看出国外农业节水研究侧重于灌溉和农业水资源方面研究,除了中美以外,西班牙、印度、法国、日本等国家这个时期对农业节水研究较多。表 2 的另一对关系较密切的词汇 adsorbing surface(表面吸附)和 cropping systems(耕作制度),表明国外有关农业节水研究中保水剂和耕作制度的研究也较多,例如化学节水抗旱新技术研究。

(2) 2001 - 2005 年期间,网络图谱出现频率较高的词汇有 soil(土壤)、yield(产量)、wheat(小麦)、nitrogen(氮)、evapotranspiration(蒸发蒸腾)、water-saving irrigation(节水灌溉)等,可见该时期国外农业节水主要是针对作物产量及土壤蒸发等方面,同时在节水灌溉中开展了水肥耦合技术研究。

(3) 2006 - 2012 年期间,国外有关农业节水研究的热点词汇有 management(管理)、agriculture water saving(农业节水)、deficit irrigation(调亏灌溉)、virtual water(虚拟水)、climate-change(气候变化)、model(模型)、systems(制度)等,从表 2 可知该时期国外农业节水侧重于农业水管理、模型及制度方面,同时气候变化对作物产量影响、调亏灌溉技术应用、虚拟水理论方面研究相对较多,中国在这一期间有关农业节水方面的研究相对活跃。

从 1995 - 2012 年全时间段分析,有关灌溉管理、产量、模型、虚拟水等词汇大量涌现,说明国外农业节水领域研究热点是灌溉管理及模型应用方面,这将是农业工程学科新的生长点之一。

3 国内有关农业节水研究分析

3.1 高频次被引文献分析

根据中国知网(CNKI)中的中国学术期刊网络出版总库数据,通过 CiteSpace 进行统计分析得到农业节水研究共被引频次较高的前 10 篇科技文献,其频次、年份、刊名、发表时间、作者及题目见表 3。由被引频次较高的 10 篇文章可以得知,农业节水高新技术的发展在我国具有重要的战略地位,农业节水是涉及多个学科交叉的综合技术体系,需要水利、农艺、生物、化工、材料、环保等多方面的技术支撑,其核心是提高作物水分利用率^[23-24]。

(1) 1995 - 2014 年期间,国内有关农业节水研究在核心期刊发表论文时间分布情况用年份(数

量)来表示:2014(11);2013(10);2012(13);2011(58);2010(69);2009(62);2008(61);2007(57);2006(50);2005(44);2004(45);2003(33);2002(41);2001(37);2000(25);1999(21);1998(17);1997(19);1996(14);1995(14)。可以看出由于农业节水被党中央从前所未有的战略高度加以关注和投入^[25],国内关于农业节水研究处迅速发展期。

(2) 从研究层次看,其中以基础及应用基础研究数量最多,行业技术指导及政策法规研究数量较多,高级科普、经济信息等研究数量较少。

(3) 论文涉及主要学科情况用学科名称(数量)来表示:农业工程(344);农业经济(119);水利水电工程(110);农业基础科学(73);资源科学(53);农作物(30);农艺学(25);宏观经济管理与可持续发展(17);环境科学与资源利用(12);工业经济(9);地质学(8);植物保护(6);气象学(6);数学(5);园艺(5)。可看出农业节水研究与水利水电工程、资源科学、农作物学、农艺学、农业经济、环境科学、植物保护等学科联系密切,农业节水是一项复杂的系统工程,需要加强各学科之间的交流和合作,使农业节水持续快速发展。

3.2 国内农业节水研究热点分析

关键词是作者对文章主题的高度精炼,是论文的精髓和核心,具有很强的代表性,故出现频次较高的关键词通常被用来考证一个学科领域的研究热点。将农业节水相关文献数据导入 CiteSpace 中,节点类型设为关键词(keyword),时间分割(time slicing)设为 1,阈值(Thresholds)中参数引文数量、共被引频次和共被引系数(c, cc, ccv)分别设为:(2, , 2, 20);(4, 3, 20);(4, 3, 20),可得到国内农业节水文献的热点词频次时间图谱,结合 CiteSpace 的统计数据得到不同时期高频关键词见表 3。

通过表 3 可知,国内农业节水研究热点:

(1) 1995 - 2000 年农业节水、节水灌溉及水资源研究相对较多。热点词有节水技术、节水措施、可持续发展、黄河流域、北京市、粮食安全、喷灌、微灌、土壤水资源、华北平原、水分利用效率等,说明这一时期国内农业节水研究地域分布主要在华北地区和黄河流域,侧重于农业节水技术及水分利用效率研究。

(2) 2001 - 2005 年灌区农业用水及节水潜力研究较多。热点词有灌区、农业用水、节水潜力、引黄灌区、工程节水、农艺节水、农业工程、建议水价、农业水资源等,表明这一时期由于国家对大型灌区节

水改造及续建配套工程实施,国内农业节水研究侧重于大型灌区工程节水及农艺节水。

(3)2006-2014 年节水型社会及灌溉制度研究较多。热点词有节水型社会、灌溉制度、可持续利

用、农业节水项目、农艺节水技术、新疆、发展模式等,说明节水型社会建设得到国家及地方政府的高度重视,国内农业节水研究热点之一即构建节水型社会及示范。

表 3 1995-2014 年国内农业节水研究高频热点词

序号	频次	年份	热点词	序号	频次	年份	热点词
1	84	1996	农业节水	16	5	2006	现状
2	48	1997	节水灌溉	17	5	1996	发展
3	44	1998	水资源	18	5	1996	措施
4	28	1997	节水农业	19	5	1998	农业节水技术
5	15	1998	节水	20	5	2001	引黄灌区
6	14	1998	农业	21	5	1999	黄河流域
7	10	2000	对策	22	5	1996	灌溉
8	10	2004	灌区	23	5	2000	北京市
9	9	2000	节水技术	24	4	2011	灌溉制度
10	8	2004	节水型社会	25	4	2003	工程节水
11	7	1997	技术	26	4	2006	可持续利用
12	7	2003	农业用水	27	4	2003	农艺节水
13	7	1998	可持续发展	28	4	2000	井灌区
14	7	2004	节水潜力	29	4	2004	农业工程
15	6	1997	节水措施	30	4	2002	建议

4 结论及展望

利用 CiteSpace 分析结果需要咨询学科专家验证,输入数据尽可能全面,可以获得较为满意的结果,本文对 Web of Science 和 CNKI 数据库中有关农业节水经典文献前沿热点、演化趋势、高被引文献及作者进行知识图谱分析,得出如下结论,为了解农业节水前沿进展和发展趋势提供科学量化的参考依据。

(1) 从 1995-2014 年期间 Web of Science 有关农业节水的科技文献看,国内农业节水研究显示出一定的优势,是国际农业节水研究领域不容忽视的重要力量,国外有关农业节水早期的研究热点主要集中在灌溉水利用效率、灌溉水资源、虚拟水、农业产量及种植结构等方面,近年来农业节水研究热点是灌溉管理及模型应用。从 1995-2014 年期间国内 CNKI 有关农业节水的科技文献看,国内农业节水研究处于快速发展期,国内早期比较侧重于节水灌溉及水资源方面的研究,目前对灌区农业节水技术、节水型社会、灌溉制度研究相对较多。

(2)国内在基于作物水分高效利用的遗传育种学及分子生物学方面研究相对薄弱,作物抗旱及水分高效利用机理、水分养分耦合及高产协调机理等生物

节水方面有待进一步研究;在多种农业节水技术联合运用方面研究有待加强;农业节水的生态环境效应评价方面研究是未来农业节水研究的发展趋势。

(3) 基于 CiteSpace 可视化文献信息分析工具的科学知识图谱,其数据来源可靠有效、分类分析方法客观科学,弥补了科研工作者传统的个人归纳分类分析方法主观性较大的不足,对探索和发现学科热点前沿演变规律和最新的发展态势具有重要的学术参考价值。

参考文献:

[1] 康绍忠,蔡焕杰,冯绍元. 现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点[J]. 农业工程学报,2004,20(1):1-6.

[2] 康绍忠,许迪. 我国现代农业节水高新技术发展战略的思考[J]. 中国农村水利水电,2001(10):25-29.

[3] 吴普特,冯浩. 中国节水农业发展战略初探[J]. 农业工程学报,2005,21(6):152-157.

[4] 陈悦,刘则渊. 悄然兴起的科学知识图谱[J]. 科学学研究,2005,23(2):149-154.

[5] 刘则渊,胡志刚,王贤文. 30 年中国科学学历程的知识图谱展现——为《科学与科学技术管理》杂志创刊 30 周年而作[J]. 科学与科学技术管理,2010,31(5):17-23.

- [6] 侯海燕,刘则渊,陈悦,等.当代国际科学学研究热点演进趋势知识图谱[J].科研管理,2006,27(3):90-96.
- [7] 侯海燕,刘则渊,栾春娟.基于知识图谱的国际科学计量学研究前沿计量分析[J].科研管理,2009,30(1):164-170.
- [8] 高雪,薛晓芳,郑俊杰,等.基于知识图谱的蛋白质组学发展研究[J].军事医学,2011,35(11):837-841.
- [9] 邱均平,张晓培.基于CSSCI的国内知识管理领域作者共被引分析[J].情报科学,2011,29(10):1441-1445.
- [10] 党占海,赵蓉英,陈瑞,等.油料作物研究的知识图谱分析[J].中国农业大学学报,2011,16(3):178-186.
- [11] 邱均平.信息计量学(五)第五讲文献信息词频分布规律——齐普夫定律[J].情报理论与实践,2000,23(5):396-400.
- [12] 刘林青.作品共被引分析与科学地图的绘制[J].科学学研究,2005,23(2):155-159.
- [13] Fereres E, Soriano M A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use [J]. Journal Experiment Botany, 2007,58(2):147-159.
- [14] Zehnder A J B, Yang H, Schertenleib R. Water issues: the need for action at different levels [J]. Aquatic Sciences, 2003,65(1):1-20.
- [15] Zwart S J, Bastiaanssen W G M. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize [J]. Agricultural Water Management, 2004,69(2):115-133.
- [16] Allan J A. Virtual water: A strategic resource global solutions to regional deficits [J]. Ground Water, 1998,36(4):545-546.
- [17] Chapagain A K, Hoekstra A Y, Savenije H H G. Water saving through international trade of agricultural products [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2006,10(3):455-468.
- [18] Wichelns D. The policy relevance of virtual water can be enhanced by considering comparative advantages [J]. Agricultural Water Management, 2004,66(1):49-63.
- [19] Wichelns D. The role of virtual water in efforts to achieve food security and other national goals, with an example from Egypt [J]. Agricultural Water Management, 2001,49(2):131-151.
- [20] Kendy E, Zhang Yongqiang, Liu Changming, et al. Groundwater recharge from irrigated cropland in the North China Plain: case study of Luancheng County, Hebei Province, 1949-2000 [J]. Hydrological Processes, 2004,18(12):2289-2302.
- [21] Zhang Heping, Oweis T. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region [J]. Agricultural Water Management, 1999,38(3):195-211.
- [22] 姜春林.科学知识图谱:别样视角扫描《编辑学报》[J].编辑学报,2011,23(5):460-462.
- [23] 唐登银,罗毅,于强.农业节水的科学基础[J].灌溉排水,2000,19(2):1-9.
- [24] 贾大林.21世纪初期农业节水的目标和任务[J].节水灌溉,2002(1):9-10.
- [25] 冯广志.“九五”节水灌溉工作综述[J].中国农村水利水电,2001(7):5-8.

(上接第211页)

- [7] 张镜剑,傅冰俊.岩爆及其判据及防治[J].岩石力学与工程学报,2008,27(10):2034-2042.
- [8] Martin C D. The strength of massive Lac du Bonnet granite around underground openings [D]. Manitoba: University of Manitoba, 1993.
- [9] Martin C D. Seventeenth Canadian geotechnical Colloquium: the effect of cohesion loss and stress path on brittle rock strength [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1997,34(5):698-725.
- [10] Hajiabdolmajid V, Kaiser P K, Martin C D. Modeling brittle failure of rock [J]. International Journal of rock Mechanics and Mining Sciences, 2002,39(6):731-741.
- [11] Hajiabdolmajid V, Kaiser P. Brittleness of rock and stability assessment in hard rock tunneling [J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2003,18(1):35-48.
- [12] 江权,冯夏庭,陈国庆.考虑高地应力下围岩劣化的硬岩本构模型研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(1):144-152.
- [13] 张传庆,冯夏庭,周辉,等.深部试验隧洞围岩脆性破坏及数值模拟[J].岩石力学与工程学报,2010,29(10):2063-2068.