

基于计量分析的国际非充分灌溉技术发展趋势分析

郑健^{1,3}, 马彪^{1,3}, 冯正江^{1,3}, 齐兴赞^{1,3}, 王燕^{1,2}, 王健⁴

(1.兰州理工大学 能源与动力工程学院, 兰州 730050; 2.兰州理工大学 西部能源与环境研究中心, 兰州 730050; 3.甘肃省生物质能与太阳能互补供能系统重点实验室, 兰州 730050; 4.西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:【目的】掌握非充分灌溉技术的研究现状和发展趋势。【方法】采用文献计量的方法, 以 2005—2018 年 Web of Science 核心合集数据库收录的在非充分灌溉领域发表的 3 322 篇文献为研究对象, 从文献发表年份、文献类型与语种、学科领域和来源期刊、核心研究机构、国家或地区分布、作者以及关键词等方面的检索结果进行统计分析。【结果】①2005—2018 年非充分灌溉研究文献呈逐步增长趋势; ②研究文献主要以期刊文献、英语文献为主; 西班牙是发表非充分灌溉技术文献最多的国家; 根据 2 个国家最少合作次数为 15 次, 并且国家至少与 3 个国家有合作关系的标准, 西班牙、美国、中国和意大利是在非充分灌溉领域与其他国家合作最为密切的国家; 载文量最多的期刊是《Agricultural Water Management》; 发文量最多的作者是伊朗的 Sepaskhah 教授; 最具影响力的作者是西班牙的 Elias Fereres 教授; ③非充分灌溉的研究区域主要集中在干旱和半干旱地区, 橄榄、玉米、小麦和番茄是非充分灌溉最主要的研究对象。【结论】本文研究所获信息可为从事非充分灌溉研究的科研人员确立研究方向、开展科学研究和学术交流提供信息和帮助。

关键词: 非充分灌溉; 文献计量学; 发展态势; Web of Science

中图分类号: S275.9

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2019303

郑健, 马彪, 冯正江, 等. 基于计量分析的国际非充分灌溉技术发展趋势分析[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(4): 1-8.
ZHENG Jian, MA Biao, FENG Zhengjiang, et al. International Development of Deficit Irrigation Based on Bibliometric Analysis [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(4): 1-8.

0 引言

水是农作物生产中最重要资源之一, 而农业被认为是主要的用水部门, 其用水量占总用水量的 70%^[1]。在一些干旱和半干旱地区, 农业用水量甚至占到总用水量的 85%^[2]。同时, 随着社会经济的发展 and 产业结构的调整, 淡水供应的 8%~15%还将从农业转向满足日益增长的家庭用水和工业用水需求^[3]。因此, 减少农业用水量, 提高农业水资源利用效率, 就成为缓解水资源短缺与保持农业高产稳产之间取得平衡的关键因素^[4]。

非充分灌溉, 也称“限水灌溉”或“腾发量亏缺灌溉”, 最早提出于 20 世纪 60 年代^[5], 在 20 世纪 80 年代中期中国开始进行专门的试验探索^[6]。它是基于

作物生理特性, 在不完全满足作物需水的基础上而保持产量不减少甚至增产, 是一种可充分挖掘作物对水分高效利用潜力的灌溉技术^[7], 在干旱、半干旱和水资源短缺地区已经得到广泛应用。全世界 100 多个国家的学术科研机构针对该技术开展了研究工作, 近年来随着全球水资源问题的加剧, 非充分灌溉技术的相关研究得到了快速的发展, 大量研究成果发表在国际学术期刊上, 但对该技术的研究进展和发展趋势的分析还显欠缺。文献计量学是用数学和统计学的方法, 以文献体系和文献计量特征为研究对象, 定量分析文献的分布结构、数量关系和变化规律, 掌握科学知识体系结构及其演化规律^[8], 监测研究领域的演化路径和变化趋势。近年来, 文献计量学已经广泛应用于会计学^[9]、经济学^[10]、管理学^[11]、控制科学^[12]、可再生能源^[13]和食品科学^[14]等领域, 但在灌溉科学领域的应用还鲜见报道。

基于此, 以科学引文索引网络数据库 Web of Science 网络数据库之下的 Web of ScienceTM 核心合集作为数据来源, 采用文献计量学的方法对非充分灌溉技术 2005—2018 年相关文献的年份分布、类型、

收稿日期: 2019-10-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51969012); 甘肃省高等学校科技成果转化项目 (2018D-04); 甘肃省自然科学基金项目 (18JR3RA154); 杨凌示范区产学研用协同创新重大项目计划 (2018CX-14); 兰州理工大学红柳一流学科建设项目; 甘肃省高等学校产业支撑引导项目 (2019C-13)
作者简介: 郑健 (1981-), 男, 甘肃会宁人。副教授, 硕士生导师, 博士, 主要从事农业水土工程方面的研究。E-mail: zhj16822@126.com

语言分布、被引次数分布、研究国家、研究机构和关键词出现频次等信息进行定量分析,以期能够系统全面揭示非充分灌溉技术的研究动态和研究热点,为从事相关研究的科研人员确立研究方向、开展科学研究和学术交流提供信息和帮助。

1 数据来源与方法

科研文献是科学研究过程中的重要产出之一,是衡量科研活动和科研产出的最有效的指标之一^[15]。而科技文献在国际权威检索系统中的收录情况是该国学术地位的综合体现,对于推进科学研究和技术进步具有重要的意义^[16]。本文以美国科学信息研究所(Institute for Scientific Information, ISI)出版的 Web of Science 网络数据库之下的 Web of ScienceTM 核心合集作为数据来源。采用的引文数据库包括科学引文索引扩展(Science Citation Index Expanded, SCI-E)、科学会议引文索引(Conference Proceedings Citation Index-Science, CPCI-S)、化学反应数据库(Current Chemical Reactions, CCR-Expanded)和化合物索引数据库(Index Chemicus, IC)。检索词选择国内外非充分灌溉科技文献中通用的专业英文词语“deficit irrigation”或“unsufficient irrigation”或“limited irrigation”或“regulated deficit irrigation”作为检索词,在标题、摘要和关键词(中检索 2005—2018 年的文献。其中来自英格兰、苏格兰、北爱尔兰和威尔士的文献统一划分为英国。期刊的影响因子来自 2018 年期刊引用报告(Journal Citation Report, JCR)。利用 Web of Science 数据库自带的统计分析工具和 Origin9.0 数据处理软件进行文献计量分析,WordArt 软件绘制关键词词云并进行分析。

2 结果与分析

2.1 研究文献的年份分布

2005—2018 年 Web of ScienceTM 核心合集数据库中,标题、摘要和关键词包含“deficit irrigation”或“unsufficient irrigation”或“limited irrigation”或

“regulated deficit irrigation”的文献共 3 322 篇。从年发文量可以看出(图 1),2005—2007 年收录非充分灌溉的文献量较少,2006 年最少,仅为 16 篇,2008 年收录文献量迅速增加至 160 篇,至 2018 年收录文献量已经达到 428 篇,并且还有继续增长的趋势。这主要是因为随着世界经济的发展和人口的增加,人类对水资源的需求不断增加,而对水资源的不合理开采和利用,导致很多国家和地区出现越来越严重的缺水问题,尤其是高度依赖灌溉农业的国家和地区^[17]。因此,非充分灌溉技术在农业中的应用得到了越来越多的国家和地区的重视,成为农业节水的重要技术手段。

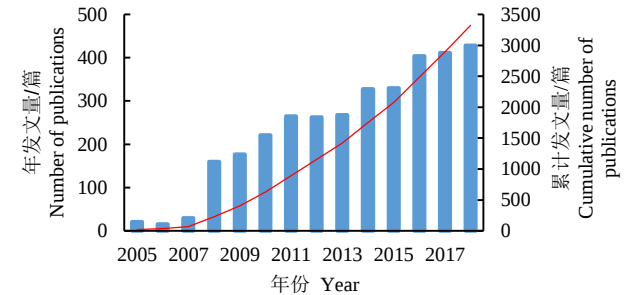


图 1 2005—2018 年非充分灌溉文献年份分布
Fig.1 Publication quantity on deficit irrigation from 2005 to 2018

2.2 研究文献类型与语言分布

从表 1 可以看出,包含非充分灌溉的文献涉及 8 种文献类型,其中论文 2 694 篇,占总文献数的 81.10%;会议文献 505 篇,占 15.20%;综述 80 篇,占 2.41%;会议摘要 27 篇,占 0.81%;编辑材料 10 篇,占 0.30%;书籍章节 3 篇,占 0.09%;补充修正 2 篇,占 0.06%;书信 1 篇,占 0.03%,表明对于非充分灌溉的研究文献主要以论文和会议文献为主,其文献质量相对较高。同时,收录文献的语种涉及英语、西班牙语、葡萄牙语等 7 个语种,英语文献占到绝大多数,比例为 98.50%。这是因为英语是科技文献发表的主要语言,也是大多数国际会议的官方语言,并且 Web of Science 网络数据库收录的大多数期刊为英文期刊。

表 1 2005—2018 年收录文献类型及语种分布

Table 1 Language and type of scientific publications on deficit irrigation from 2005 to 2018					
文献类型	文献量/篇	占比%	语言	文献量/篇	百分比%
Document type	Literature quantity/article	Percentage	Language	Literature quantity/article	Percentage
论文	2 694	81.10	英语	3 273	98.50
会议文献	505	15.20	西班牙语	28	0.80
综述	80	2.41	葡萄牙语	12	0.40
会议摘要	27	0.81	中文	5	0.20
编辑材料	10	0.30	韩国语	2	0.10
书籍章节	3	0.09	法语	1	0.00
补充修正	2	0.06	德语	1	0.00
书信	1	0.03			

2.3 国家发文及国家间合作情况

2.3.1 国家发文情况

基于作者和通讯作者信息可知, 3 322 篇文献涉及国家 109 个。发文前 20 位的国家中, 9 个来自欧洲, 4 个来自亚洲, 3 个来自南美洲, 2 个来自北美洲, 1 个来自非洲, 1 个来自大洋洲。表明世界各国对非充分灌溉技术均较为重视。从 2005—2018 年的总发文量来看, 西班牙、美国和中国的总发文量(TP)显著高于其他国家, 共发表论文 1 814 篇, 占总数的 54.60%, 但从篇均被引频次(TC/TP)排序情况来看, 总发文量排在第 9 位的葡萄牙排名第 1, 而总发文量

排在第 2 和第 3 的美国、中国仅排在第 10 位和第 14 位。美国对于非充分灌溉的研究开始较早, 开始于 20 世纪 60 年代, 经历了实践-理论-实践的过程, 近年来发表的文献主要集中于应用。中国对非充分灌溉的研究起始于 20 世纪 80 年代中期, 但发展迅速, 发表的文献也注重于非充分灌溉理论的应用。因此, 美国和中国在非充分灌溉方面发文量较多, 但篇均被引频次较低。而葡萄牙、丹麦和意大利注重非充分灌溉的理论研究, 相比于应用研究, 理论研究发展较慢^[8], 发文量低, 但篇均被引频次较高。

表 2 2005—2018 年发表非充分灌溉文献前 20 的国家/地区及其文献被引用情况

Table 2 The top 20 countries/regions on deficit irrigation research publications and their citations in 2005—2018

国家 Country	篇 TP	ATP/%	TCF	ACF	H 指数 H-index	篇均被引频次排名 TC/TP ranking
西班牙	699	21.0	11 483	16.4	46	5
美国	660	19.9	8 362	12.7	40	10
中国	455	13.7	4 735	10.4	35	14
意大利	262	7.9	4 791	18.3	32	3
伊朗	245	7.4	2 428	9.9	25	15
土耳其	181	5.4	1 193	6.6	19	18
澳大利亚	176	5.3	2 949	16.8	27	4
英国	113	3.4	1 742	15.4	25	7
葡萄牙	101	3.0	2 260	22.4	28	1
印度	100	3.0	1 085	10.9	18	13
巴西	94	2.8	501	5.3	12	20
法国	80	2.4	1 087	13.6	16	8
德国	76	2.3	1 175	15.5	19	6
丹麦	72	2.2	1 374	19.1	22	2
加拿大	67	2.0	425	6.3	10	19
埃及	55	1.7	499	9.1	11	16
希腊	52	1.6	605	11.6	13	12
以色列	52	1.6	699	13.4	15	9
智利	50	1.5	421	8.4	11	17
阿根廷	48	1.4	572	11.9	13	11

注 表头中英文对照部分英文简写的全称为: ATP: 占总发文量比例, TCF: 总被引频次, ACF: 平均被引频次, 下同。

Note The English abbreviation for the head of the watch is called: account for the proportion of total publications/(ATP). total citation frequency(TCF). average citation frequency(ACF). ranking of citation frequency per article(RCFPA), the same as below.

2.3.2 国家间合作关系

根据某 2 个国家最少合作次数为 15 次, 并且某个国家至少与 3 个国家有合作关系的标准, 筛选后共得到 41 个国家和地区的合作网络关系(图 2)。图 2 连接不同国家的连线宽度代表国家间合作作者的数量, 连线宽度值越大表明国家间合作越密切。例如, 与中国合作最为密切的国家依次为美国、丹麦、澳大利亚、加拿大和巴基斯坦。从图 2 可以看出, 西班牙、美国、中国 and 意大利在非充分灌溉领域与其他国家合作最为密切, 但除了这些国家以外其他国家相互之间也进行着紧密的合作。说明非充分灌溉的研究引起了世界上各个国家的广泛关注, 并致力于相互合作旨在共同解决非充分灌溉在农业中的问题以及对人类生

产生活的影响。

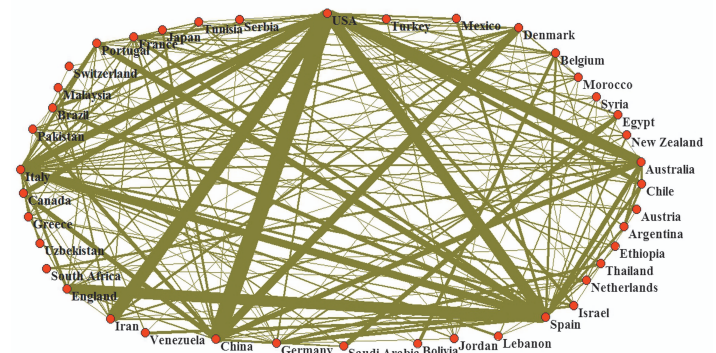


图 2 国家/地区合作网络分布图

Fig.2 Cooperation full network between countries region

2.4 研究机构分布

统计结果表明,2005—2018 年全世界总共有 2 226 个研究机构发表了关于非充分灌溉的文献。从表 3 可以看出,发文量位居前 20 名的机构中,中国占了 3 席,分别是中国农业大学、中国科学院和西北农林科技大学。从机构类别中可以看出,大学是主要的研究力量,占到了 17 席。2005—2018 年发文量前 3 位的机构分别为西班牙国家研究委员会、美国农业部农业研究所

和中国农业大学,其发文量均在 100 篇以上。从篇均被引频次来看,排在前 3 名的分别是阿根廷的科尔多瓦大学、西班牙的西班牙国家研究委员会和丹麦的哥本哈根大学,其篇均被引频次达到了 37.3、22.6 和 20.2。表明西班牙国家研究委员会在非充分灌溉领域发表的成果在数量和质量均较好,而中国研究机构发表的文献质量优势明显不如数量,在质量上竞争优势略显不足,需进一步提升。

表 3 2005—2018 年非充分灌溉发文前 20 的机构及其文献被引用情况

Table 3 The top 20 institutions on deficit irrigation research publications and their citations in 2005—2018

排名 Ranking	机构 Organizations	国家 Country	总发文量/篇 TP	总被引频次 TCF	篇均被引频次 ACF	H 指数 H-index
1	西班牙国家研究委员会	西班牙	188	4 245	22.6	31
2	美国农业部农业研究所	美国	157	2 464	15.7	22
3	中国农业大学	中国	112	1 618	14.4	23
4	中国科学院	中国	76	1 286	16.9	19
5	加利福尼亚大学戴维斯分校	美国	71	1 211	17.1	15
6	设拉子大学	伊朗	70	848	12.1	15
8	科尔多瓦大学	阿根廷	69	2 571	37.3	25
9	哥本哈根大学	丹麦	63	1 273	20.2	21
10	塞维利亚大学	西班牙	55	728	13.2	15
11	华盛顿州立大学	美国	51	718	14.1	13
12	卡塔赫纳大学	哥伦比亚	49	770	15.7	17
13	西北农林科技大学	中国	45	272	6.0	8
14	内布拉斯加大学	美国	45	799	17.8	17
15	德克萨斯农工大学	美国	43	445	10.3	13
16	科罗拉多州立大学	美国	42	553	13.2	14
17	西班牙国家农业改革研究所	西班牙	42	591	14.1	12
18	堪萨斯州立大学	美国	42	375	8.9	14
19	德黑兰大学	伊朗	41	450	11.0	12
20	卡斯蒂利亚-拉曼恰大学	西班牙	37	410	6.3	11
21	伊斯兰阿萨德大学	伊朗	37	197	5.3	7

2.5 期刊分布及论文引用情况

2.5.1 期刊及学科类别

2005—2018 年,3 322 篇非充分灌溉相关文献发表在 568 个学术期刊上,表 4 列出了发表非充分灌溉相关文献前 10 种期刊的情况,包括发文量、篇均被引频次、影响因子(2018)以及期刊所属的学科类别和期刊分区。这 10 种期刊总共刊发非充分灌溉相关文献 1 168 篇,占总发文量的 35.16%,其中《Agricultural Water Management》是刊载有关非充分灌溉研究最多的期刊,发文量达到了 554 篇,占总发文量的 16.68%。从期刊影响因子(2018)来看,这

10 种期刊的影响因子并不是很高,最高的仅为 3.868,平均影响因子为 2.091,这主要是受到学科热度和研究内容的影响。但从 JCR 分区看,这 10 种期刊主要分布在一区和二区,说明发表非充分灌溉相关研究成果最多的 10 本期刊影响力较大,是研究人员进行非充分灌溉学术成果展示和探讨的主流期刊。按照 ISI 数据库对期刊的学科分类可知,2005—2018 年非充分灌溉的研究主要集中在农学、农林科学、农业与生物科学、园艺学、农业工程、农学和作物科学、土壤科学、水资源以及食品科学中。

表 4 2005—2018 年发表非充分灌溉文献前 10 的期刊及学科分类和被引用情况

Table 4 The top 10 Journals with publication on deficit irrigation and their citation and discipline classification in 2005—2018

排名 Ranking	期刊 Journal	篇 TP	ATP %	TCF	ACF	IFI2018	国家 Country	DC	JCRP
1	Agricultural Water Management	554	16.68	10 750	19.4	3.542	荷兰	水资源、农学	Q1
2	Scientia Horticulturae	145	4.36	1 861	12.8	1.961	荷兰	农林科学	Q1
3	Irrigation Science	122	3.67	2 421	19.8	2.440	美国	农林科学	Q2
4	Hortscience	60	1.81	508	8.5	0.906	美国	农业与生物科学	Q2
5	Agronomy Journal	59	1.78	1 146	19.4	1.805	美国	农业与生物科学	Q2
6	Irrigation and Drainage	53	1.60	291	5.5	1.027	英国	农林科学	Q3
7	American Journal of Enology and Viticulture	49	1.48	582	11.9	1.783	美国	园艺学、食品科学	Q1
8	Transactions of the Asabe	45	1.35	428	9.5	1.153	美国	农业工程	Q3
9	Field Crops Research	43	1.29	894	20.8	3.868	荷兰	农学和作物科学、土壤科学	Q1
10	Journal of the Science of Food and Agriculture	38	1.14	607	16.0	2.422	英国	农学	Q1

注 (1) 表中期刊属多个学科领域的, 期刊分区选取最靠前的。(2) 表头中英文对照部分英文简写的全文为: ATP: 占总发文量比例, TCF: 总被引频次, ACF: 平均被引频次。influencing factors in 2018(IFI2018).(6) discipline classification(DC).JCR partition(JCRP)。

Note (1) The journals in the table belong to multiple subject areas, and the journals in the first section are selected. (2) The English abbreviation for the head of the watch is called: account for the proportion of total publications/(ATP).influencing factors in 2018(IFI2018).(6) discipline classification(DC).JCR partition(JCRP)。

表 5 2005—2018 年非充分灌溉文献被引用情况

Table 5 Citations of publications on deficit irrigation in 2005—2018

被引次数 <i>N</i> citation time <i>N</i>	占文 NR/篇	ATP/%
<i>N</i> =0	602	18.12
1≤ <i>N</i> ≤50	2 593	78.06
51≤ <i>N</i> ≤100	90	2.71
101≤ <i>N</i> ≤200	30	0.90
<i>N</i> > 200	7	0.21

注 表头中英文对照部分英文简写的全文为: number of references/article(NR)。

Note The English abbreviation for the head of the watch is called: number of references/article (NR)。

2.5.2 文献被引次数分析

由表 5 可知, 2005—2018 年非充分灌溉相关文献中, 从未被引用过的文献有 602 篇, 占 18.12%; 被引次数在 1~50 的文献最多, 有 2 593 篇, 占 78.06%; 被引次数在 51~100 的文献有 90 篇, 101~200 的文献有 30 篇, 在 200 次以上的文献有 7 篇。西班牙学者 Fereres 和 Soriano 于 2007 年发表在《Journal of Experimental Botany》的综述性论文“Deficit irrigation for reducing agricultural water use”^[18]被引次数最高, 达到了 721 次。文章主要对非充分灌溉对于一年生和多年生作物的应用方面进行了综述, 说明非充分灌溉是减少灌溉用水最有效的方法之一。最近 1 篇引用次数在 200 次以上的论文是西班牙学者 ZARCO-TEJADA 等 2012 年发表在《Remote Sensing of Environment》的研究论文“Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a

micro-hyperspectral imager and a thermal camera”^[19], 总引用次数为 351 次, 该文利用无人机获取高分辨率图像, 采用热光谱和多光谱分析方法, 研究非充分灌溉对作物产生的水分胁迫情况。从期刊上看, 2 篇文献所发表的期刊均位于植物科学和农业与生物科学一区, 文章质量较好。从发表的内容上看, 随着现代农业的高速发展, 农业逐渐成为遥感的重要领域^[20], 非充分灌溉的研究尺度和内容也随着无人机技术、遥感技术、成像科学及照相技术的发展向定量化和精细化迈入^[21-23]。

2.6 文献作者分析

通过对 2005—2018 年非充分灌溉领域发文作者的统计分析(表 6), 有 7 895 名研究人员作为作者发文。发文量最多的是来自伊朗设拉子大学的 Sepaskhah 教授, 发文量 50 篇。前 20 位作者总共发文 646 篇, 占总发文量的 19.45%。一般认为文献的被引用次数越多, 其文献的学术价值越大, 同时也从侧面可以反映该作者的学术地位^[14]。西班牙的 ELIAS FERERES 教授在总被引次数、篇均被引次数和单篇最高被引次数(HCP)均为最高, 分别是 1 833、47.0 和 721 次。*H* 指数最高的是来自西班牙的 Fernandez 教授, 为 17。发文量前 20 位的作者中有 13 位来自西班牙, Fernandez 教授表明了西班牙在非充分灌溉领域的研究实力很强。中国有 2 所大学的 3 位学者在非充分灌溉领域的发文量进入了世界前 20 位, 分别是来自西北农林科技大学的刘福来教授、中国农业大学的康绍忠教授和杜太生教授。

表 6 2005—2018 年非充分灌溉研究发文量前 20 的作者及论文被引用情况

Table 6 The top 20 authors on deficit irrigation research publications and their citations in 2005—2018

排名 Ranking	作者 Author	国家 Country	AP/篇	TNC	HCP	CPP	H 指数 H-index
1	Sepaskhah A R	伊朗	50	631	59	12.6	15
2	Intrigliolo D S	西班牙	44	647	99	14.7	15
3	Fernandez J E	西班牙	41	762	132	18.6	17
4	Elias Fereres	西班牙	39	1 833	721	47.0	16
5	Torrecillas A	西班牙	34	606	99	17.8	16
6	Liu Fu Lai	中国	32	673	97	21.0	16
7	Kang Shao Zhong	中国	31	681	92	22.0	14
8	Moriana A	西班牙	31	511	99	16.5	13
9	Nicolas E	西班牙	31	442	81	14.3	13
10	Perez-Pastor A	西班牙	31	403	99	13.0	11
11	Andersen M N	丹麦	29	708	86	24.4	15
12	Dodd I C	英国	29	503	91	17.3	11
13	Du Tai Sheng	中国	29	595	82	20.5	13
14	Girona J	西班牙	29	437	50	15.1	14
15	Marsal J	西班牙	29	438	50	15.1	15
16	Domingo R	西班牙	28	570	99	20.4	13
17	Pereira L S	葡萄牙	28	806	132	28.8	16
18	Alarcon J J	西班牙	27	433	81	16.0	13
19	Conejero W	西班牙	27	580	99	21.5	15
20	Diaz-Espejo A	西班牙	27	409	69	15.1	13

注 表头中英文对照部分英文简写的名称为: number of references/article (NR), amount of posts/articles(AP), total number of citations(TNC), The highest number of citations per article(HCP), citations Per Papercy(CPP).

Note The English abbreviation for the head of the watch is called: number of references/article (NR);amount of posts/articles(AP);total number of citations(TNC); the highest number of citations per article(HCP), citations Per Papercy(CPP).

2.7 论文献关键词分析

一篇研究成果的研究主题可以通过作者选取的关键词来确定。因此如果将多篇文献所总结的所有关键词进行分析评价可以得出某一特定领域的研究趋势^[24]。本文收集了 2005—2018 年非充分灌溉领域中作者发文所采用的所有关键词进行分析,共收集到 4 239 个关键词,出现次数在 10 次及以上的有 618 个,本文选取了出现次数排在前 50 名关键词进行整理和分析,合并了如“Growth”和“Grown”、“Crop”和“Plant”等同义词,去除了“Deficit”和“Irrigation”等数据库检索用词,共得到 35 个高频关键词。图 3 中以不同颜色对关键词进行分类,以字号来表示关键词出现的频次。通过关键词词云可以看出第 1 类出现较多的关键词为“Arid”、“Drought”、“Drying”、“Semiarid”、“China”和“Climate”(图 3 中红色字体),这些词反映了非充分灌溉的研究区域主要集中在干旱和半干旱地区或者是气候干燥区域,中国近年来在非充分灌溉领域发文量增加迅速,使得“China”出现在了高频关键词中。第 2 类出现次数较多的关键词是非充分灌溉涉及的控制因素(图 3 中蓝色字体),出现最

多的是“Crop”、“Soil”和“Stress”,表明非充分灌溉主要的关注对象是作物、土壤类型和胁迫水平。而“Drip”、“Partial”、“Nitrogen”和“Field”分别反映了非充分灌溉中采用的灌溉方式以滴灌居多,局部灌溉正在成为研究非充分灌溉的主要方式,氮素的利用率一直是非充分灌溉领域的主要研究关注点,而非充分灌溉试验研究方式主要采用大田试验。第 3 类出现较多的关键词主要包含植物的生理活动(图 3 中紫色字体),包括“Yield”、“Quality”、“Growth”、“Production”、“Fruit”、“Root”、“Leaf”和“Physiological”,表明在非充分灌溉试验和研究中观测的指标主要包含果实、根系、叶片、生理指标、生长、产量和品质。第 4 类出现次数较多的关键词是研究的植物种类(图 3 中绿色字体),出现次数最多的是“Olive”、“Maize”、“Wheat”和“Tomato”,其中橄榄是西班牙最主要的经济作物,而西班牙也是在非充分灌溉领域发表文献最多的国家,小麦和玉米作为世界主要的粮食作物,其种植区域主要集中在干旱和半干旱地区,而番茄是全世界种植面积最大和最受欢迎的蔬菜之一,使得这 4 种作物出现频次较高。第 5

类出现次数较多的关键词是非充分灌溉研究采用的试验分析方式和最终成果（图 3 中的黄色字体），比如“Different”和“Efficiency”分别表示差异和效率，是非充分灌溉研究中最常采用的数据分析方法，而“Management”（管理）和“Strategies”（策略）的提出一定是基于数据分析的结果。

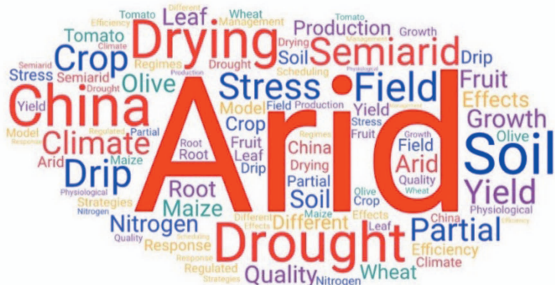


图 3 2005—2018 年非充分灌溉关键词词云

Fig.3 Keywords cloud in the research of deficit irrigation

3 结论

1) 非充分灌溉的研究文献呈稳步增长趋势，研究文献以期刊文献、英语文献为主。西班牙、美国和中国是非充分灌溉研究文献发文量最多的 3 个国家，西班牙、美国、中国和意大利在非充分灌溉领域与其他国家合作最为密切。

2) 大学是非充分灌溉研究的主要研究机构；西班牙国家研究委员会、美国农业部农业研究所和中国农业大学是发文量最多的 3 个研究机构；阿根廷的科尔多瓦大学、西班牙的西班牙国家研究委员会和丹麦的哥本哈根大学是所发表文献篇均被引频次最高的 3 个研究机构；西班牙在世界非充分灌溉领域的研究实力最强，西北农林科技大学和中国农业大学是目前中国在非充分灌溉领域研究实力最强的研究机构。

3) 《Agricultural Water Management》是刊载有关非充分灌溉研究最多的期刊，达到了 554 篇，占总发文量的 16.68%；西班牙的 ELIAS FERERES 教授在非充分灌溉领域发表文献的总被引次数、篇均被引次数和单篇最高被引次数均为最高；非充分灌溉的研究主要分布在农学、农林科学、农业与生物科学、园艺学、农业工程、农学和作物科学、土壤科学、水资源以及食品科学中。

4) 非充分灌溉的研究区域主要集中在干旱和半干旱地区，且主要采用大田试验方式；橄榄、玉米、小麦和番茄是最主要的研究对象；研究内容主要集中在通过对作物生理生态指标、产量、品质指标的测定分析，获得最优的灌溉策略和模式。

参考文献：

[1] FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and

Agriculture (SOLAW)-Managing Systems at Risk[R]. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earth scan, London, 2011.

[2] RAGAB R, PRUDHOMME C. Soil and water: Climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: Prospective and challenges for the 21st century[J]. Biosystems Engineering, 2002, 81(1): 3-34.

[3] CHARTZOULAKIS K, BERTAKI M. Sustainable water management in agriculture under climate change[J]. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 2015, 4: 88-98.

[4] KANG S Z, HAO X M, DU T S, et al. Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice[J]. Agricultural Water Management, 2017, 179: 5-17.

[5] 杜发兴. 东风灌区水资源管理信息系统及优化配置的模式研究[D]. 成都: 西华大学, 2004.

DU Faxing. Study on water resource management information system and optimal allocation model in dongfeng irrigation area [D]. Chengdu: Xihua University, 2004.

[6] 陈亚新, 康绍忠. 非充分灌溉原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995. CHEN Yaxin, KANG Shaozhong. Principle of inadequate irrigation [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1995.

[7] 曹正鹏, 刘玉汇, 张小静, 等. 亏缺灌溉对马铃薯生长产量及水分利用的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(4): 114-123.

CAO Zhengpeng, LIU Yuhui, ZHANG Xiaojing, et al. Effects of deficit irrigation on growth, yield and water use of potato plants[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(4): 114-123.

[8] 赵焱, 李龙, 秦伟. 基于 SCI 的分子印迹技术文献计量学研究[J]. 材料导报, 2015, 29(5): 105-109.

ZHAO Yan, LI Long, QIN Wei. An SCI-based bibliometric study on molecular imprinting technique[J]. Materials Review, 2015, 29(5): 105-109.

[9] MERIGÓ J M, YANG J B. Accounting research: A bibliometric analysis[J]. Australian Accounting Review, 2017, 27(1): 71-100.

[10] BONILLA C A, MERIGO J M, TORRES-ABAD C. Economics in Latin America: A bibliometric analysis[J]. Scientometrics, 2015, 105(2): 1 239-1 252.

[11] PODSAKOFF P M, MACKENZIE S B, PODSAKOFF N P, et al. Scholarly influence in the field of management: A bibliometric analysis of the determinants of university and author impact in the management literature in the past quarter century[J]. Journal of Management, 2008, 34(4): 641-720.

[12] AHMED S, HUANG B. Control engineering practice in 25 years: A bibliometric overview[J]. Control Engineering Practice, 2019, 88: 16-20.

[13] AZEVEDO S G, SANTOS M, ANTON J R. Supply chain of renewable energy: A bibliometric review approach[J]. Biomass & Bioenergy, 2019, 126: 70-83.

[14] 朱长菊, 彭凤兰, 卢明芳. 基于 SCI-E 的猕猴桃研究文献的计量分析[J]. 食品科学, 2016, 37(13): 287-292.

- ZHU Changju, PENG Fenglan, LU Mingfang. Bibliometric analysis of the literature concerning research on kiwi fruits based on SCI-E[J]. Food Science, 2016, 37(13): 287-292.
- [15] 郑江平, 程焕, 傅天珍, 等. 从文献计量看中外食品科学研究[J]. 中国食品学报, 2018, 18(11): 253-267.
- ZHENG Jiangping, CHENG Huan, FU Tianzhen, et al. Studies on food science from Chinese and foreign using bibliometrics method[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(11): 253-267.
- [16] 朱长菊, 卢明芳. 我国猕猴桃研究文献计量及研究热点分析[J]. 食品科学, 2015, 36(21): 316-322.
- ZHU Changju, LU Mingfang. Bibliometric and hot topic analysis of literatures related to kiwifruit in China[J]. Food Science, 2015, 36(21): 316-322.
- [17] KHAPTE P S, KUMAR P, BURMAN U, et al. Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 248: 256-264.
- [18] FERERES E, SORIANO M A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use[J]. Journal of Experimental Botany, 2006, 58(2): 147-159.
- [19] ZARCO-TEJADA, GONZÁLEZ-DUGO, BERNI. Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera [J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 117: 322-337.
- [20] 陈鹏, 冯海宽, 李长春, 等. 无人机影像光谱和纹理融合信息估算马铃薯叶片叶绿素含量[J]. 农业工程学报, 2019, 35(11): 63-74.
- CHEN Peng, FENG Haikuan, LI Changchun, et al. Estimation of chlorophyll content in potato using fusion of texture and spectral features derived from UAV multispectral image[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(11): 63-74.
- [21] 赵春江. 农业遥感研究与应用进展[J]. 农业机械学报, 2014, 45(12): 277-293.
- ZHAO Chunjiang. Advances of research and application in remote sensing for agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(12): 277-293.
- [22] ZHANG C H, KOVACS J M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review[J]. Precision Agriculture, 2012, 13(6): 693-712.
- [23] SHI YUN, JI SHUNPING, SHAO XIAOWEI, et al. Framework of SAGI agriculture remote sensing and its perspectives in supporting national food security[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(7): 1 443-1 450.
- [24] GIMENEZ ESTELA, MANZANO-AGUGLIARO FRANCISCO. DNA Damage Repair System in Plants: A Worldwide Research Update[J]. Genes, 2017, 8(11): 1-17.

International Development of Deficit Irrigation Based on Bibliometric Analysis

ZHENG Jian^{1, 2}, MA Biao^{1, 3}, FENG Zhengjiang^{1, 3}, QI Xingyun^{1, 3}, WANG Yan^{1, 3}, WANG Jian⁴

(1. College of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050 China;

2. Key Laboratory of Complementary Energy System of Biomass and Solar Energy, Gansu Province, Lanzhou 730050, China;

3. Western energy and Environment Research Center, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

4. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: To better understand the current research status and trends of deficit irrigation, a bibliometric analysis on deficit irrigation was conducted in this study using the related 3 322 documents from 2005 to 2018 in the Web of Science Core Collection database. Retrieved literatures were statistically analyzed by many aspects, including publication year, literature type, language, subject area, source journal, research institute, country or regional distribution, author and key words, et al. Results showed that there had been a gradual growth on deficit irrigation research in the period of 2005—2018, and the research outputs were mostly published as journal articles written in English. Spain ranks first in scientific production on the research of deficit irrigation. We sifted the countries with the criterion of cooperation between two countries at least 15 times and the country has partnerships with at least three countries, and came to the conclusion that Spain, the United States, China and Italy are the top 4 countries with the closest cooperation with other countries in this field. In addition, 《Agricultural Water Management》 is the journal published the most articles on deficit irrigation. Professor Sepaskhah A R is the most productive researcher, but Professor Elias Fereres from Spain is the most influential author in this field. Deficit irrigation research was concentrated in arid and semi-arid regions, and the main subject crops are olive, corn, wheat and tomato. The results of this study can provide information and help for scientific researchers when they choose research direction, conduct scientific research and academic exchanges in the field of deficit irrigation.

Key words: deficit irrigation; bibliometrics; development trend; web of science

责任编辑: 白芳芳