

# 粮食生产系统适应气候变化研究态势分析\*

梁社芳, 陆 苗<sup>※</sup>, 范玲玲, 吴文斌, 杨 鹏

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 / 农业农村部农业遥感重点实验室, 北京 100081)

**摘要:**【目的】利用文献计量方法,对粮食生产系统适应气候变化研究领域 1995—2016 年研究态势进行定量分析,并探究其发展趋势,为该领域未来研究提供参考。【方法】基于 Web of Science 数据库,利用 Thomson Data Analyzer (TDA) 分析工具,采用计量分析方法,分析了 1995—2016 年粮食生产系统适应气候变化研究领域的总体发展趋势、国际主要研究力量、研究热点及关联性。【结果】(1) 1995—2016 年,全球发文量呈现整体上升趋势,2012 年之后处于较高发展水平。其中,美国在该领域发文量、平均引证指数等都远高于其他国家,位列第一。中国在 2012 年后发展速度较快,发文量及文献相对产出率跃居全球第二位,但平均引证指数与美国之间仍有较大的差距。(2) 该领域排名前十的研究机构中,中国、美国各有 3 个,澳大利亚、法国、英国、荷兰各 1 个,其中最活跃的机构是中国科学院。(3) 从研究机构间的合作关联性看,中国科学院与中国农业科学院之间的研究相似度最高达 0.67,且中国国内研究机构之间的合作相似度远大于国际研究机构。(4) 气候变化、农业及作物模型一直是研究的热点,近年来研究热点外延至作物物候、产量、土壤、生物碳及温室气体等研究方向。【结论】目前,美国在该领域具有较强的竞争力和创新性,中国虽然后期有较快发展,但竞争力和创新性有待提高。气候变化对粮食生产系统的影响分析是当前研究的热点,未来可进一步研究气候变化、品种、社会经济要素等对粮食生产系统的影响机理及其贡献份额,针对不同粮食生产区制定适应气候变化的应对体系,建立综合评价体系,确保粮食生产安全和可持续发展。

**关键词:** 文献计量; 粮食生产; 气候变化

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20180304

## 0 引言

2013 年 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第五次评估报告指出,近 100 年来,人类活动使得大气中 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等温室气体不断增加,平均地表温度上

收稿日期: 2018-06-18

第一作者简介: 梁社芳 (1993—), 女, 汉族, 河南濮阳人, 博士研究生。研究方向: 农业遥感和全球变化。Email: liangshefang@163.com

※ 通信作者简介: 陆苗 (1984—), 女, 汉族, 河南南阳人, 博士、副研究员。研究方向: 农业遥感。Email: lumiao@caas.cn

\* 基金项目: 中国工程科技中长期发展战略研究领域战略研究“面向 2035 的我国粮食生产适应气候变化战略研究”(2016-ZCQ-08); 国家自然科学基金面上项目“基于信息熵模型和空间面板分析的东北水稻时空格局及其演变机理研究”(41871358); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1610132018017)

升 0.85℃，而 1951—2012 年全球平均地表温度的升温速率为 0.12℃/10a，几乎是 1880 年以来升温速率的两倍<sup>[1]</sup>。我国平均地表温度比同期全球增温平均值略高，近 50 年来增加了 1.10℃。气温升高和温室气体浓度的增加，明显地促使粮食生产区光、温、水等气候资源要素的时空分布格局发生变化<sup>[2]</sup>，导致土壤有机质、微生物及土壤肥力变化<sup>[3]</sup>，加剧了局部地区生物灾害的爆发及气象灾害（主要是旱涝灾害）的频发，并通过环境要素的变化诱导粮食作物品种生理生态特征发生变化<sup>[4]</sup>。此外，温度上升会使作物的生育期缩短，生物量发生变化，进而影响作物产量，对粮食产量、种植制度、生产方式、结构布局等产生较为深远的影响<sup>[5]</sup>。粮食生产系统如何有效地应对气候变化带来的影响，人类活动如何有效地帮助粮食生产系统应对气候变化带来的巨大影响，是目前粮食生产系统研究亟须解决的关键科学问题之一。

目前已有不少学者对粮食生产系统适应气候变化的相关研究进行了梳理，主要是通过查阅文献归纳了气候变化对农业水热土资源要素时空变化、农作物品种改良、农作物种植制度与生产布局、农业病虫害及主要农作物产量的影响<sup>[6-10]</sup>，分析了气候变化对主要农产品价格、贸易及农户收入的影响<sup>[11]</sup>，探究了气候变化与粮食生产系统之间的相互关系，揭示其内在影响机理和适应机制<sup>[4]</sup>，梳理了目前政府和农户应对气候变化采取的适应措施<sup>[11]</sup>。而现有研究多是利用传统的综述方法，定性地从研究内容上分析该领域的现状，且文献数量相对较少，难以全面地反映本领域的发展状况和趋势。针对上述问题，本文利用文献计量的方法，对该领域已有研究进行梳理。文献计量学作为图书情报学的分支学科，以各种文献的外部特征作为研究对象，采用数学与统计学方法来定量地描述、评价和预测科学技术的现状与发展趋势<sup>[12]</sup>。随着其理论方法的创新和发展，文献计量学方法已被广泛应用到各个学科。如吴建等<sup>[13]</sup>以 Web of Science 核心合集及 CNKI 为数据源，对湿地生态价值评估研究的总体趋势、主要国家、研究热点等进行了统计分析；高懋芳等<sup>[14]</sup>基于 Web of Science 和 CNKI 数据库，根据发文量、发文期刊、被引频次等指标，分析了近 30 年来农业面源污染研究的发展态势、前沿领域及国际合作状况等；何紫娟等<sup>[15]</sup>以 CNKI 数据库为数据源，对《中国土地科学》的 2 284 篇学术性文章进行文献计量统计，通过研究文献基本统计量、作者、发文单位、研究重点与热点，分析了中国土地科学研究的特点。但基于文献计量的粮食生产系统适应气候变化研究发展态势分析还未见报道。因此本研究以 Web of Science 核心合集数据库为数据源，采用文献计量学方法，从全球总体发展趋势、国际主要研究力量、研究热点分析及研究关联性分析等 4 个方面论述粮食生产系统适应气候变化研究的发展态势，探究其发展趋势，为本领域的未来研究发展提供参考。

## 1 数据与方法

本研究数据源是美国信息科学研究所（ISI）的 Web of Science（WOS）网络版数据库，该数据库是 ISI 建设的 SCI、SSCI、A&HCI、CPSI-S 和 ISSHP 五大引文数据库的网络版，涵盖了自然科学、工程技术、社会科学、艺术与人文等领域，是全球最大、涵盖

2018年6月

学科最多的综合性学术信息资源数据库,该数据库收录了世界各个学科领域内最优秀的科技期刊,其收录的论文能在一定程度上及时反映学科前沿的发展动态<sup>[16-17]</sup>。通过大量阅读本领域的相关文献,归纳总结粮食生产系统适应气候变化研究中的子技术及其同义词,如子技术 climate change,其同义词有 climate warming, global change 等。根据 Web of Science 中 Journal Citation Report (JCR) 选择本研究领域涉及的农业、环境、地理、遥感、气象等研究方向中的主要权威期刊,建立包括关键词、同义词、变形词、主要权威期刊等综合性检索策略,在 Web of Science 数据库中进行文献检索,文献发表时间设定为 1995—2016 年,最终筛选出 SCI 论文 3 105 篇。

利用 TDA (Thomson Data Analyzer, TDA) 工具对粮食生产系统适应气候变化研究中的文献进行文献计量分析。首先对检索到的文献数据分别针对国家 (countries)、作者机构 (author affiliation)、关键词 (keyword) 等进行数据清理,去除重复要素,其中包括将国家及作者机构字段中有包含关系的进行合并,如将 Taiwan 并入 China,将关键词等字段中的变形词和同义词合并,如 maize 并入 corn, land use changes 与 land use change 合并。然后,分别以文章发表年份、第一作者国家、第一作者机构等字段来统计不同年份、不同国家及机构的发文量、被引用量及关键词词频,并利用文章发表年份与被引用量、关键词词频等字段生成共现矩阵,计算主要国家相对产出率、平均引证指数及研究相似度矩阵,分析该领域的发展状况及主要研究力量间的关联性。其中研究相似度矩阵是基于研究机构或作者使用的关键词来计算任意两家研究单位或作者间的研究相似度,用来反映关键研究机构或个人在该领域研究中的相关性。相似度取值在 0~1 之间,其中 0 表示无相关,1 表示完全相关。相对产出率指标判断某国家的竞争位置,产出率越高,则竞争力越大。

$$P = \frac{N_A}{N_{Total}} \quad (1)$$

式中,  $P$  为相对产出率,  $N_A$  是指某国家在某一领域的发文量,  $N_{Total}$  是该领域全部竞争者的发文量。

平均引证指数表示某国的研究是否属于基础性或领先性,引证指数越高,表示该国处于核心地位。

$$C_{Ave} = \frac{C_{Nt}}{NN_{Tot}} \quad (2)$$

式中,  $C_{Ave}$  为平均引证指数,  $C_{Nt}$  是指某国某年的文献被引总量,  $NN_{Tot}$  是某国某年的发文量。

## 2 结果与分析

### 2.1 总体发展趋势

在粮食生产系统适应气候变化研究中,1995—2016 年该领域核心期刊的论文发表量共计 3 105 篇,总体处于上升趋势(图 1)。过去 20 年,全球粮食生产系统适应气候变化

研究发展趋势大致可分为两个阶段：(1) 1995—2007 年，全球论文发表量处于缓慢上升阶段，年均增长率约为 10%；(2) 2008—2016 年，全球论文发表量处于快速增长阶段，年均增长率约为 19%。主要原因是 2007 年 IPCC 发布了第四次评估报告，报告指出全球地表温度呈现更为显著的上升趋势，气候变暖成为热议话题。2015—2016 年的发文量呈现较高的水平，反映了该领域仍然是目前研究的热点。

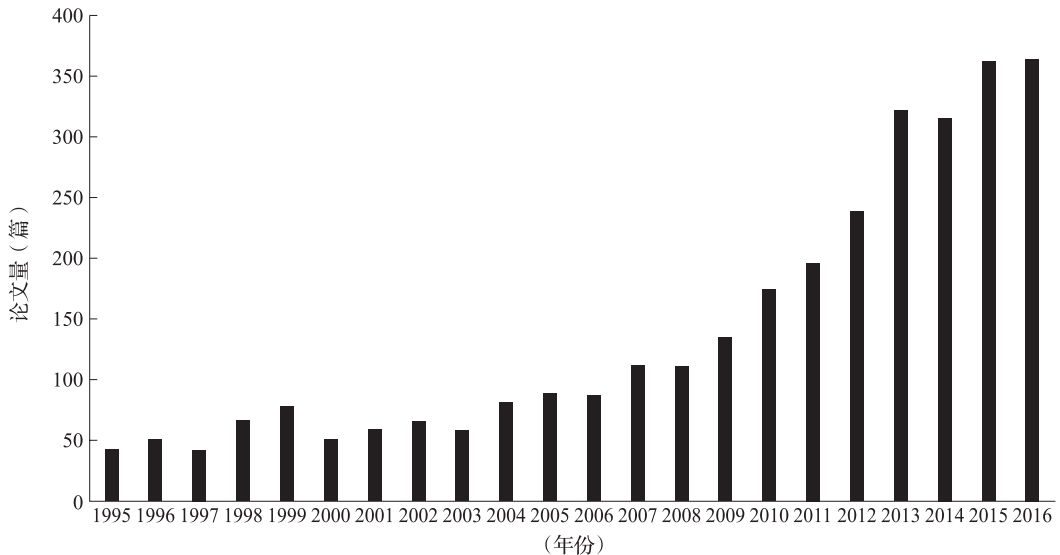


图 1 1995—2016 年粮食生产系统适应气候变化研究的全球研究趋势

Fig.1 Publication volume of international researches on food production system adapting to climate change from 1995 to 2016

中国在粮食生产系统适应气候变化研究中的发展趋势基本与全球发展保持一致，整体处于上升趋势，但起步较晚（图 2）。1996 年中国在该领域核心期刊发表了最早的文章后，一直保持上升态势，在 1996—2016 年间共发表文章 383 篇，其中 1995—2007 年处于小幅增长阶段，2008—2012 年处于稳定增长阶段，而 2013—2016 年间则处于快速增长阶段，年均发文量 60 多篇，这在一定程度上反映了中国对气候变化研究日愈加强。

## 2.2 主要国家研究力量分析

通过统计粮食生产系统适应气候变化研究中各个国家的发文量，分析主要国家科研力量（图 3）。论文数量最多的前 10 个国家发表的论文总量为 2 256 篇，占总发文量的 72.66%，其他国家的发文量占 27.34%。其中美国在该领域的发文量占主导地位，发表文章 737 篇，占总发文量的 23.74%，约是中国的 2 倍，这在一定程度上显示了美国在粮食生产系统适应变化研究中的积极性和实力。其次是中国，发文量为 383 篇，占总发文量的 12.33%。英国发表文章 269 篇位居第三，澳大利亚以 257 篇位居第四，德国 160 篇位居第五，加拿大、西班牙、法国、荷兰、西班牙分别发表文章 118、94、85、84、69 篇分别位居第六至第十位。

2018年6月

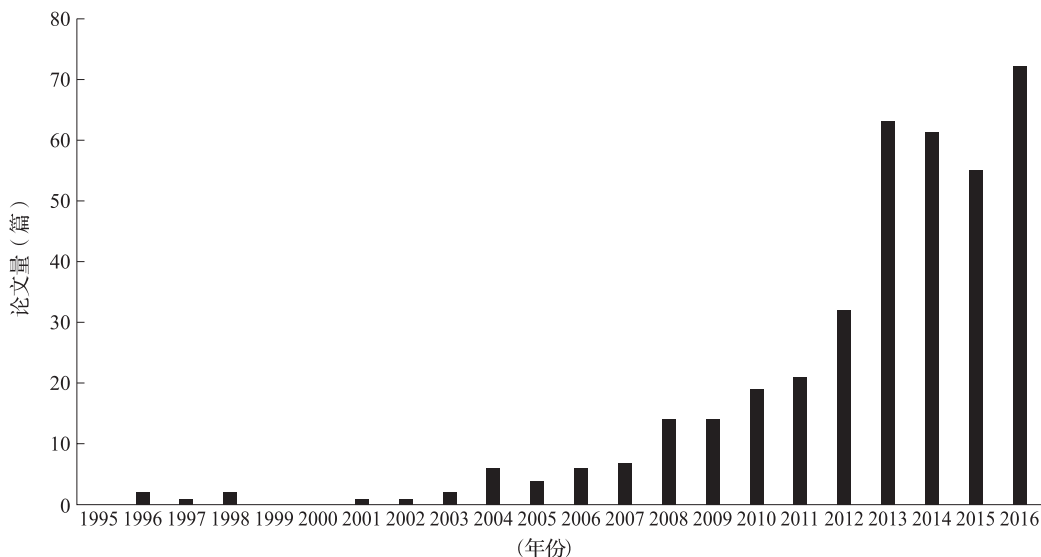


图2 1995—2016年中国粮食生产系统适应气候变化研究趋势

Fig.2 Publication volume of domestic researches on food production system adapting to climate change from 1995 to 2016

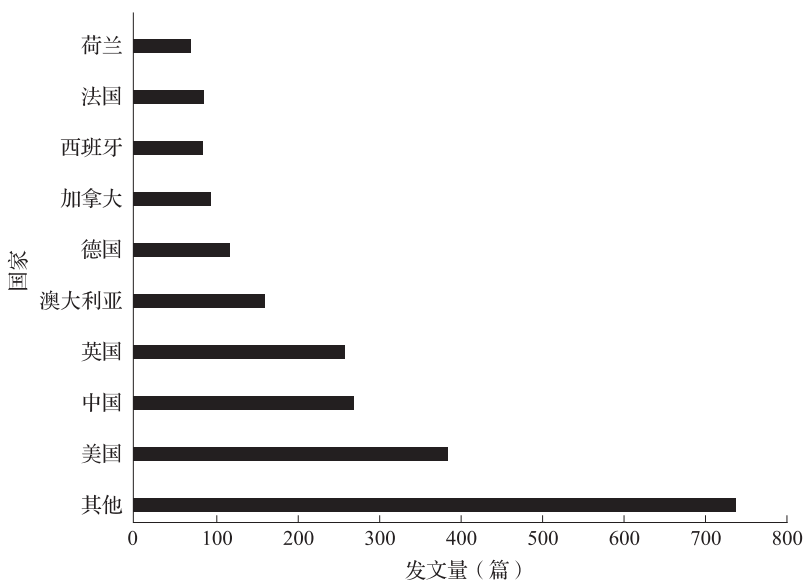


图3 1995—2016年粮食生产系统适应气候变化研究主要国家比较

Fig.3 Publication volume of researches on food production system adapting to climate change in major countries from 1995 to 2016

针对发文章占据主要地位的前5个国家，对比其在粮食生产系统适应气候变化研究中的文献相对产出率，分析各国在该领域中的竞争力（图4）。结果表明，美国在该研究领域文献相对产出率一直在19%以上，远高于其他国家。2006年后随着其他国家在该研究领域的兴起，美国文献相对产出率呈现下降趋势，但仍具有较强竞争力。我国在该研究领域竞争力呈现不断增强趋势，文献相对产出率在2006年之前一直低于5%，竞争力



较低；2016 年后文献相对产出率达到 19.73%，仅次于美国成为新生力量。澳大利亚和英国情况较为相似，呈高走低开，2002 年之前其文献相对产出率均值分别为 14.54% 和 13.99%，仅次于美国，但 2002 年之后竞争力不断下降。德国的文献相对产出率虽然呈上升态势，但一直处于相对较低的水平，竞争力较低。

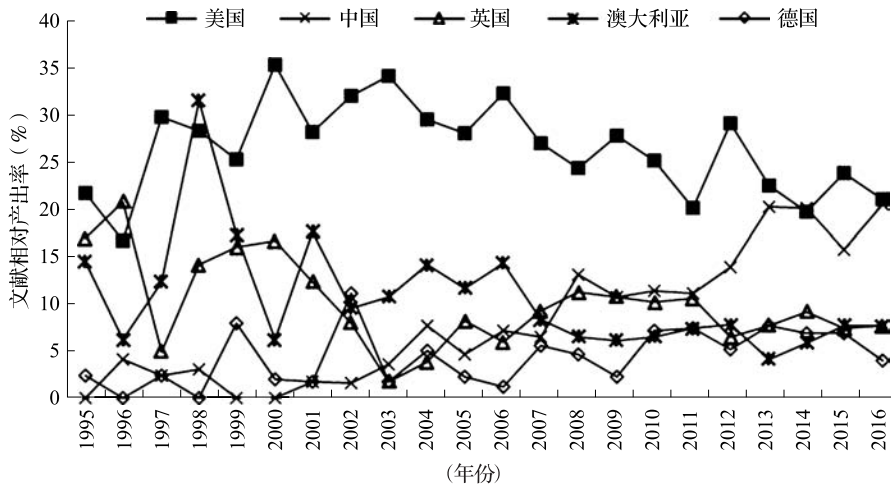


图 4 1995—2016 年粮食生产系统适应气候变化研究的主要国家文献相对产出率

Fig.4 The relative output rate of paper on food production system adapting to climate change in major countries from 1995 to 2016

针对发文量占据主要地位的前 5 个国家，进一步对比其在粮食生产系统适应气候变化研究中的平均文献引证指数（图 5），分析主要国家的创新性。结果表明，各国波动性较强，但整体平均水平美国最高为 46.86，其次是德国为 34.92，英国均值为 41.57，澳大利亚是 29.93，中国相对较弱为 19.07。美国在该领域的平均文献引证指数相对较为平稳，整体处于领先地位，英国、澳大利亚及德国在该领域的平均文献引证指数起伏较大，英国平均引证指数在 1995 年、2004 年及 2005 年处于领先地位，平均引证指数最高达到 208；德国在 1995 年及 2001 年处于较高的水平，平均引证指数分别为 216 和 137；澳大利亚则在 2009 年以 110.70 位居第一。

### 2.3 主要机构研究力量对比

表 1 是 1995—2016 年粮食生产系统适应气候变化研究主要机构的发文情况，发文量排名前 10 的研究机构中有 3 个来自中国，3 个来自美国，澳大利亚、法国、英国、荷兰各 1 个，这 10 个研究机构的发文量占全球总发文量的 11.85%。其中，中国科学院是该领域发文量最多的研究机构，占总发文量的 3.32%，该机构在本领域核心期刊发文始于 1997 年，其近 3 年（2014—2016 年）的发文量占 1995—2016 年总发文量的 40.78%。中国农业大学总发文量 42 篇位居第二，其最近 3 年发文量占比 54.76%。中国农业科学院发文量 40 篇位居第三，其第一篇核心文献发表于 2004 年，但近 3 年发文量占总发文量比重最高为 67.50%。起步很早（1995 年甚至之前）的英国雷丁大学总发文量 25 篇，但近 3 年的发文量占比最低，仅占 4%。

2018年6月

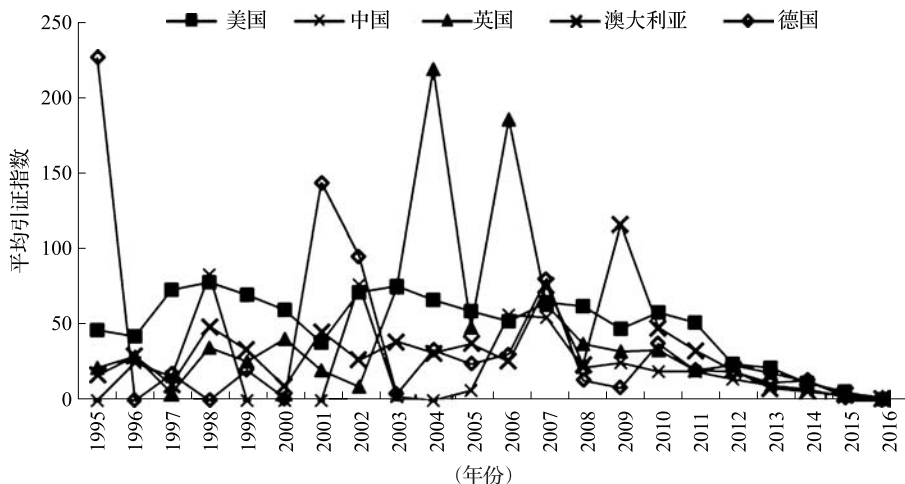


图5 1995—2016年粮食生产系统适应气候变化研究的主要国家平均文献引证指数

Fig.5 The average citation index of published paper on food production system adapting to climate change in major countries from 1995 to 2016

表1 粮食生产系统适应气候变化研究论文发表排名前10的机构

Table 1 The number of published papers of top 10 institutions on food production system adapting to climate change

| 主要研究机构      | 国家   | 发文量(篇) | 发文时间      | 2014—2016年发文量占总发文量比(%) |
|-------------|------|--------|-----------|------------------------|
| 中国科学院       | 中国   | 103    | 1997—2016 | 40.78                  |
| 中国农业大学      | 中国   | 42     | 2008—2016 | 54.76                  |
| 中国农业科学院     | 中国   | 40     | 2004—2016 | 67.50                  |
| 美国农业部农业研究所  | 美国   | 32     | 1995—2016 | 9.38                   |
| 伊利诺伊大学      | 美国   | 28     | 2002—2016 | 35.71                  |
| 联邦科学与工业研究组织 | 澳大利亚 | 26     | 1995—2016 | 30.77                  |
| 法国国家农业研究院   | 法国   | 25     | 1995—2016 | 32.00                  |
| 雷丁大学        | 英国   | 25     | 1995—2016 | 4.00                   |
| 瓦赫宁根大学      | 荷兰   | 24     | 2000—2016 | 37.50                  |
| 加州大学戴维斯分校   | 美国   | 23     | 2000—2016 | 30.43                  |

## 2.4 研究热点及演变趋势

关键词能大致反映文章的研究内容，通过对文献中关键词的分析，可以大致反映出该领域的总体特征、研究热点及重点方向。通过对粮食生产系统适应气候变化研究中主要研究机构文献的关键词进行词频分析，提炼出该领域主要的技术主题词和近期技术主题词(表2)。图6可以看出，1995—2016年间，粮食生产适应气候变化研究领域中出现频次较高的关键词有气候变化(climate change)、作物产量(crop yield)、玉米(maize)、农业(agriculture)、粮食安全(food security)、适应(adaptation)、土地利用(land use)、作物模型(crop model)、温度(temperature)、二氧化碳(carbon dioxide)、小麦(wheat)、生物能(bioenergy)、中国(China)、蒸散发(evapotranspiration)、干旱(drought)、水稻(rice)、物候(phenology)等。其中气候变化出现频次最高，出现

了 655 次；其次为作物产量，出现了 150 次；玉米、农业、适应分别出现了 147 次、145 次、115 次。整体而言，目前粮食生产系统适应气候变化研究中侧重于对主要粮食作物产量的适应性研究。

表 2 粮食生产系统适应气候变化研究主要机构研究热点分析

| 组织名称     | 主要技术主题词                                                                          | 近期技术主题词                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 中国科学院    | Climate change (28);<br>China (26); Agriculture (15)                             | Phenology (7); Crops (4); Soil moisture (3); AgMIP (2); Biochar (2);<br>Elevated CO <sub>2</sub> (2); ET (2); Meta-analysis (2);<br>Model intercomparison (2); Nitrogen (2);<br>Nitrogen fertilizer (2); Paddy rice (2); Soybean (2); Yield gap (2);<br>Vegetation Photosynthesis Model (VPM) (2)                                      |
| 中国农业科学院  | Climate change (21);<br>China (16);<br>Food security (7);<br>Agriculture (7)     | North China Plain (4); Wheat (3);<br>Climate warming (2); Drought (2);<br>Nitrous oxide (2); Regional response (2)                                                                                                                                                                                                                     |
| 荷兰瓦赫宁根大学 | Climate change (15);<br>Food security (7);<br>Agriculture (5);<br>Crop model (5) | Crop model (5); Climate (3); Scale (3);<br>AgMIP (2); Ammonia (2);<br>Crop simulation model (2);<br>Farming systems (2);<br>Greenhouse gases (2);<br>Model comparison (2); N <sub>2</sub> O (2);<br>Nitrogen use efficiency (2);<br>Scenarios (2); SIMPLACE (2);<br>Slurry management (2);<br>System analysis (2); Yield potential (2) |

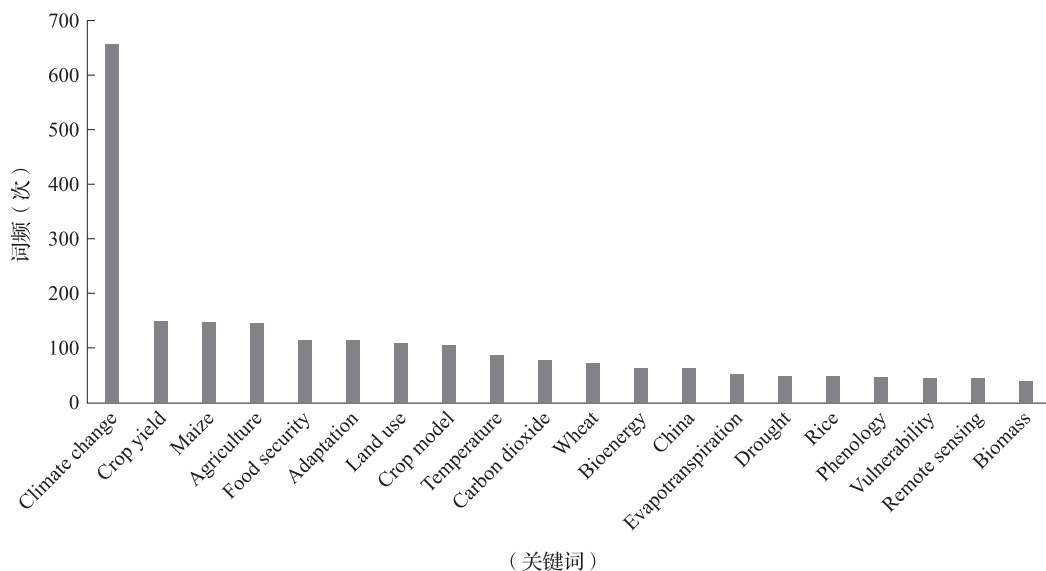


图 6 1995—2016 年粮食生产系统适应气候变化研究文献关键词词频分布

Fig.6 The frequency of keywords of published paper on food production system adapting to climate change from 1995 to 2016



2018年6月

通过前期的对比分析,选取了中国科学院、中国农业科学院及荷兰瓦赫宁根大学等主要研究机构对研究热点进行分析(表2)。从主要技术主题词看,中国科学院的研究中出现较多的高频词是气候变化(climate change)出现28次,其次是中国(China)、农业(agriculture),说明中国科学院研究主要关注中国农业适应气候变化的相关研究。中国农业科学院主要技术主题词与中国科学院相比,除气候变化、中国及农业外,还比较关注粮食安全(food security),而荷兰瓦赫宁根大学的主要技术主题词除气候变化、粮食安全、农业之外,还重点研究作物模型(crop model)。从近期技术主题词看,中国科学院研究中出现频率最高的是物候(phenology),出现7次,其次是作物(crops)、土壤湿度(soil moisture)、水稻(paddy rice)、大豆(soybean)、产量差(yield gap)、氮肥(nitrogen fertilizer)、植物光合模型(VPM)等。而中国农业科学院词频较高的是东北平原(North China Plain),出现4次,其次是小麦(wheat)、干旱(drought)、区域响应(regional response)等。荷兰瓦赫宁根大学近期热点词主要是作物模型(crop model)、场景模拟(scenarios)、系统分析(system analysis)、估产(yield potential)、氮元素有效利用(nitrogen use efficiency)及温室气体(greenhouse gases)。综上所述,“粮食安全”及“作物模型”是一直以来的研究核心,研究热点从核心主题词外延到作物物候、农田系统、区域响应、作物产量、产量差、生产潜力、温室气体、土壤湿度、生物碳及氮利用效率等。

## 2.5 研究机构的关联性分析

从表3可以看出粮食生产系统适应气候变化研究领域主要研究机构间均有不同程度的合作研究,研究内容上也不尽相同。该领域中中国科学院与中国农业科学院的合作研究最多,主要集中在适应(adaptation)、气候变暖(climate warming)、影响(impact)、物候(phenology)、碳汇(carbon sequestration)、华南地区(South China)等热点研究,其中“适应”出现的次数最多为9次,其次为气候变化、影响。中国科学院与美国伊利诺伊大学也有较多的合作交流,主要是生物能(bioenergy)、生物量(biomass)、土地利用变化(land use change)、氮肥(nitrogen fertilizer)、全球变暖(global warming)、作物(crop)、热量胁迫(heat stress)等方面,其中关键词词频较高的是生物能(8次),其次是生物量和土地利用变化。中国科学院与美国农业部农业研究所的合作较多地集中在温室气体(greenhouse gas)、作物生长模型(crop growth model)、土壤侵蚀(soil erosion)、水分胁迫(water stress)、蒸腾作用(transpiration)及碳足迹(carbon footprint)研究方向,其中词频最高的为温室气体(4次)和作物生长模型。相比较而言,其他研究机构之间的相互合作较少,中国科学院与中国农业大学在本领域的合作主要是农业生产系统模型(APSIM)及土壤湿度(soil moisture),中国农业大学与美国农业部农业研究所之间的合作研究多是马铃薯(potato)、土壤温度(soil temperature)及气体交换(gas exchange)的相关研究,美国农业部农业研究所与伊利诺伊大学的合作研究主要有光合作用(photosynthesis)、CO<sub>2</sub>浓度及亚洲稻(oryza sativa)等。

表 3 粮食生产系统适应气候变化研究主要机构合作研究矩阵

Table 3 The cooperation matrix of major institutions on food production system adapting to climate change

|                | 中国科学院                                                                                                                                                                                                               | 中国农业大学                                                   | 中国农业科学院                          | 美国农业部<br>农业研究所                                                           |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 中国农业大学         | APSIM (4);<br>Soil moisture (2);<br>Life cycle assessment (2);<br>Biochar (2)                                                                                                                                       |                                                          |                                  |                                                                          |
| 中国农业科学院        | Adaptation (9);<br>Climate warming (8);<br>Impacts (7);<br>Phenology (5);<br>Carbon Sequestration (3)<br>Simulation (2);<br>N <sub>2</sub> O (2);<br>Photoperiod (2);<br>Water availability (2);<br>South China (2) | Spring maize (4)                                         |                                  |                                                                          |
| 美国农业部<br>农业研究所 | Greenhouse gas (4);<br>Crop growth model (4);<br>Soil erosion (3);<br>Water stress (2);<br>Transpiration (2);<br>Carbon footprint (2)                                                                               | Potato (3);<br>Soil temperature (2);<br>Gas exchange (2) | Carbon dioxide (2);<br>DSSAT (2) |                                                                          |
| 美国伊利诺<br>伊大学   | Bioenergy (8);<br>Biomass (6);<br>Land use change (6);<br>Nitrogen fertilizer (5);<br>Global warming (3);<br>Biofuel (3); Crop (3);<br>Heat stress (2);<br>Elevated CO <sub>2</sub> (2);<br>Teleconnections (2)     | Meta-analysis (2)                                        | Global change (7)                | Photosynthesis (7);<br>Elevated CO <sub>2</sub> (3);<br>Oryza sativa (2) |

表 4 是粮食生产系统适应气候变化研究中主要研究机构研究相似度矩阵，其中相似度取值越小表示研究重叠越少，取值越大表示相关性越强。发文量排名前 5 的研究机构中，中国国内研究机构之间的研究相似度比与国际研究机构的研究相似度整体偏高，其中中国科学院与中国农业科学院的研究相似度最高为 0.67，其次是中国农业科学院与中国农业大学，研究相似度为 0.45，中国科学院与中国农业大学研究相似度为 0.43。美国农业部农业研究所与我国各研究机构之间的研究相似度比伊利诺伊大学高，与中国农业科学院研究相似度最高为 0.29，其次为中国科学院是 0.27，与中国农业大学研究相似度为 0.27。伊利诺伊大学与其他各研究机构的研究相似度都偏低，在 0.15~0.13 之间。综上所述，中国国内各研究机构间的研究相似度比其他国外机构要高。

2018年6月

表4 粮食生产系统适应气候变化研究中主要研究机构研究相似度矩阵

Table 4 The similarity matrix of major institutions on food production system adapting to climate change

|            | 中国农业大学 | 中国农业科学院 | 中国科学院 | 美国伊利诺伊大学 |
|------------|--------|---------|-------|----------|
| 美国农业部农业研究所 | 0.26   | 0.29    | 0.27  | 0.16     |
| 美国伊利诺伊大学   | 0.15   | 0.15    | 0.18  |          |
| 中国科学院      | 0.43   | 0.67    |       |          |
| 中国农业科学院    | 0.50   |         |       |          |

注：取值越小表示重叠较少，取值越大表示相关性越强

### 3 结论与展望

粮食生产是人类生存发展的重要基础，由于受到气候变化的影响，近年来粮食生产系统适应气候变化研究成为农业领域的热点话题，有关气候变化对粮食生产系统的影响研究也取得了许多重要成果。通过对粮食生产系统适应气候变化领域研究论文的定量分析，得出以下结论：（1）从发文量、文献相对产出率、平均引证指数来看，1995—2016年全球发文量呈现整体上升趋势，2012年之后处于较高发展水平。美国是该领域的产出大国，具有较强的竞争力和领先地位。中国后期发展速度较快，发文量及文献相对产出率跃居全球第二位，但平均引证指数与美国之间仍有较大的差距，创新性有待增强。（2）从发文量来看，中国科学院、中国农业大学、中国农业科学院、美国农业部农业研究所、伊利诺伊大学等机构的粮食生产系统适应气候变化研究论文综合发文量较高。（3）从研究热点分析，研究的热点从气候变化、农业、粮食安全等较为宏观的层面转向作物物候、土壤、生物碳、植物光合作用等较为微观的研究。（4）从机构间研究合作看，各个研究机构之间均存在不同程度的合作研究，研究内容不一。相比较而言，中国国内研究机构之间的研究相似度要高于与国际研究机构之间的合作，其中中国科学院与中国农业科学院之间的研究相似度高达0.67，而中国科学院与伊利诺伊大学之间的研究相似度仅0.18。

粮食生产系统适应气候变化研究由于其复杂性、系统性和综合性，也面临很多理论、技术方法和集成分析的问题，未来还需要综合多学科、多方法、多模型进行集成研究，可重点在以下几个方面进行深入研究：（1）研究气候变化（温度、降水、极端气候等）、品种、社会经济要素等对粮食生产系统的影响机理及其影响份额。通过对研究热点分析发现，虽然目前已开展了许多相关研究，但多是分析气候变化因素对粮食生产系统的影响分析，缺少综合各类因素的影响机理及影响份额研究。通过定量解析气候变化与品种、社会经济等因素对粮食生产系统影响的贡献份额，为粮食生产系统应对气候变化的适应调控途径和技术优化模式提供有力支撑。（2）针对不同粮食生产区制定粮食生产系统适应气候变化的应对体系。中国幅员辽阔，气候类型多样，对气候变化的敏感程度、响应和适应能力有所不同。虽然从研究热点分析看，目前研究热点区域从“全国”区域研究深入到“东北”等粮食主产区，但并未形成完整的适应体系，因此需要针对不同区域的特点从作物种植结构、种植制度、作物品种、农业技术、田间管理等方面综合制定适应体系，确保粮食安全。（3）建立综合评价体系。粮食生产系统在适应环境变化的过程中

对生态环境带来一定的影响, 如气候变化对东北地区水稻生产具有促进作用, 生长期积温增高, 生育期延长, 播种面积增加<sup>[18]</sup>, 但在水稻扩张中侵占了大量湿地, 对东北地区生态环境造成破坏<sup>[19]</sup>。气候变化使得华北地区干旱加重<sup>[20]</sup>, 同时温度增高会使得华北地区复种指数升高, 一年两熟制北界在华北平原北部北移<sup>[21-22]</sup>, 灌溉用水需求在不断增加, 一方面造成华北地区水资源危机, 另一方面可能使华北平原的致命热浪加重, 影响人类生活<sup>[23]</sup>。因此应该研究如何合理地建立综合评价体系, 对粮食生产系统适应气候变化过程进行多方面综合评估, 避免在保证粮食安全过程中造成的生态破坏, 实现气候变化背景下农业生产系统的可持续发展。

### 参考文献

- [1] 秦大河, Thomas S. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论. 气候变化研究进展, 2014, 10(1): 1~6.
- [2] 刘洋, 王占海, 姜文来, 等. 1956~2009 年东北地区热量资源时空变化特征分析. 中国农业资源与区划, 2013, 34(2): 13~20.
- [3] 肖辉林, 郑习健. 土壤变暖对土壤微生物活性的影响. 土壤与环境, 2001, 10(2): 138~142.
- [4] 覃志豪, 唐华俊, 李文娟. 气候变化对我国粮食生产系统影响的研究前沿. 中国农业资源与区划, 2015, 36(1): 1~8.
- [5] 李祎君, 王春乙. 气候变化对我国农作物种植结构的影响. 气候变化研究进展, 2010, 6(2): 123~129.
- [6] 覃志豪, 唐华俊, 李文娟, 等. 气候变化对农业和粮食生产影响的研究进展与发展方向. 中国农业资源与区划, 2013, 34(5): 1~7.
- [7] 彭俊杰. 气候变化对全球粮食产量的影响综述. 世界农业, 2017(5): 19~24.
- [8] 邓振镛, 张强, 徐金芳, 等. 全球气候变暖对甘肃农作物生长影响的研究进展. 地球科学进展, 2008, 23(10): 1070~1078.
- [9] 邓振镛, 张强, 王润元, 等. 农作物主要病虫害对甘肃气候暖干化的响应及应对技术的研究进展. 地球科学进展, 2012, 27(11): 1281~1287.
- [10] Zinyengere N, Crespo O, Hachigonta S. Crop response to climate change in southern Africa: A comprehensive review. *Global and Planet Change*, 2013, 111: 118~126.
- [11] Wang J, Huang J, Yang J. Overview of impacts of climate change and adaptation in China's agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13(1): 1~17.
- [12] 郑文晖. 文献计量法与内容分析法的比较研究. 情报杂志, 2006(5): 31~33.
- [13] 吴健, 何霁文, 周景博. 基于文献计量和知识图谱的湿地生态价值评估研究进展. 湿地科学与管理, 2018, 14(1): 50~55.
- [14] 高懋芳, 邱建军, 刘三超, 等. 基于文献计量的农业面源污染研究发展态势分析. 中国农业科学, 2014, 47(6): 1140~1150.
- [15] 何紫娟, 涂丹, 张金亭. 基于文献计量分析的中国土地科学研究特点与趋势. 测绘与空间地理信息, 2016, 39(9): 214~217.
- [16] 马瀚青, 高峰, 黄新宇, 等. 基于文献计量的水遥感研究发展态势. 遥感技术与应用, 2014, 29(6): 1089~1094.
- [17] 张静辉, 罗亚勇, 常宗强. 基于文献计量的生态系统碳交换研究发展态势分析. 生态环境学报, 2015, 24(12): 2082~2088.
- [18] Dong J, Xiao X, Zhang G, et al. Northward expansion of paddy rice in northeastern Asia during 2000—2014. *Geophysical Research Letters*, 2016, 43(8): 3754~3761.
- [19] Li Z, Long Y, Tang P, et al. Spatio-temporal changes in rice area at the northern limits of the rice cropping system in China from 1984 to 2013. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16(2): 360~367.
- [20] 邹旭恺, 张强. 近半个世纪我国干旱变化的初步研究. 应用气象学报, 2008, 19(6): 679~687.
- [21] Yang X, Liu Z, Chen F. The possible effect of climate warming on northern limits of cropping system and crop yield in China. *Agricultural Sciences in China*, 2011, 10(4): 585~594.
- [22] 韩荣青, 潘韬, 刘玉洁, 等. 华北平原农业适应气候变化技术集成创新体系. 地理科学进展, 2012, 31(11): 1537~1545.
- [23] Kang S, Eltahir E A B. North China Plain threatened by deadly heatwaves due to climate change and irrigation. *Nature Communications*, 2018, 9(1): 1~9.

## Status and trends analysis of research on food production system adaptation to climate change

Liang Shefang, Lu Miao<sup>\*</sup>, Fan Lingling, Wu Wenbin, Yang Peng

(Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Science/Key Laboratory of Agricultural Remote Sensing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs Beijing 100081, China)

**Abstract:** [ **Purpose** ] Based on bibliometrics, this paper aims to quantitatively analyze the status of researches on food production adaptation to climate change and explore the development trend. [ **Methods** ] Based on the Web of Science database, the TDA analysis tool and bibliometric methods were used to analyze the overall development trend, major international research forces, research hotspot analysis and research relevance of the field that food production system adapts to climate change from 1995 to 2016. [ **Results** ] In the field of food production system adaptation to climate change, 1) the number of published papers showed an increasing trend from 1995 to 2016, and such a trend is more obvious after 2012. The United States ranks first in terms of the number of published papers and average citation index. These numbers for China increased a lot in the recent years. Although China's relative output rate of paper has been ranked at the second place globally, there is still a large gap in average citation index between China and the United States. 2) Regarding the top 10 institutes in this field, there are three from China and the United States respectively, one from Australia, France, Britain and Netherlands respectively. The Chinese Academy of Sciences has published the largest number of papers. 3) The research similarity between the Chinese Academy of Sciences and the Chinese Academy of Agricultural Sciences is as high as 0.67, and the cooperation between domestic research institutions is far greater than that between international research institutions. 4) Regarding the research hotspots, climate change agriculture and crop models have always been the core of this field, and the recent research focus extends to phenology, crop yield, soil, biological carbon and greenhouse gas. [ **Conclusion** ] At present, the United States has relatively strong competitiveness and innovation in this field, whereas China has a rapid development in the later stage, but its competitiveness is relatively weak, and innovation needs to be improved. The analysis of the impact of climate change on food production system is a hot topic, and in the future, more attention should pay on the influencing mechanism and share of climate change, variety and socio-economic factors on food production system, developing adapting systems for climate change in different food production areas and building a comprehensive assessment system.

**Key words:** bibliometric methods; food production; climate change