果 树 学 报 2021,38(10):1748-1759
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20210084

基于全球文献计量对苹果响应气候变化研究的热点分析

刘 园[1],刘布春[1*],程存刚[2],邱美娟[1],王珂依[1],毛留喜[3],何延波[3]

([1]中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所·作物高效用水与抗灾减损国家工程实验室·农业部农业环境重点实验室,北京 100081;[2]中国农业科学院果树研究所·农业部园艺作物种质资源利用重点实验室,辽宁兴城 125100;[3]国家气象中心,北京 100081)

摘 要:【目的】随着气候变化的影响,苹果生产的响应和适应机制也成为全球关注的热点和焦点问题之一,为了更加深入地了解其热点动态变化,在未来研究中更加科学地从未解决问题、热点趋势、交叉学科中选题立项。**【方法】**基于Web of Science和中国知网两大核心数据库以"气候"和"苹果"为主题,对1995/1998—2020年已公开发表的相关主题文献进行可视化分析。**【结果】**研究时段内,从公开发表论文的数量上看,"气候"与"苹果"为主题的发文量最多,达到5693篇,与"洪涝"相关的论文研究相对较少,仅有206篇;气候与苹果相关主题的中英文发文量均呈上升趋势,但中英文发文量的比例过低,仅为0.23;从发文内容来看,英文发文多集中于采用富士品种,侧重于应对气候变化的相关栽培技术、病虫害影响(苹果蠹蛾)及干旱等方面;除此之外更多地关注不同区域的基因表达、措施等方面。中文发文的内容更倾向于苹果气候资源高效利用、气候敏感因子、灾害防控等方面,如气候资源区划、苹果小气候等。**【结论】**基于气候变化的苹果相关研究越来越丰富,英文研究热点仍集中在富士品种开展集成栽培技术、病虫害防治等方面;中文研究热点则更倾向于苹果气候资源高效利用、气候敏感因子、农业灾害防控等方面,且由于数据有限尚未细化至苹果品种。

关键词:苹果;气候变化;文献计量;Citespace 软件

中图分类号:S661.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2021)10-1748-12

Bibliometric analysis on the effect of climate change to apple based on Citespace

LIU Yuan[1], LIU Buchun[1*], CHENG Cungang[2], QIU Meijuan[1], WANG Keyi[1], MAO Liuxi[3], HE Yanbo[3]

([1]Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS/National Engineering Laboratory of Efficient Crop Water Use and Disaster Reduction/Key Laboratory of Agricultural Environment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China; [2]Research Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Horticultural Crop Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xingcheng 125100, Liaoning, China; [3]National Meteorological Center, Beijing 100081, China)

Abstract:【Objective】Climate change, especially characterized by climate warming and frequent occurrence of extreme weather and climatic events, and effect on agricultural production, have been a global hot issue. Apple is a worldwide fruit product. The impact of climate change is becoming more and more intense, and the risk of agro-meteorological disasters is increasing. CiteSpace is a literature analysis visualization software, which can show the evolution process of a certain field in a network map. Using the CiteSpace software, the map can be drawn to comprehensively discuss and visually analyze the scientific research progress process and discipline development frontier in the field from multiple angles and dimensions. As the effects by climate change, the response and adaptation mechanisms of apple production has become one of the hot spots and focus problems in the world. The study aimed

收稿日期:2021-03-18 **接受日期:**2021-06-22

基金项目:国家重点研发计划"重大自然灾害监测预警与防范"重点专项(2017YFC1502803);中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-2014-IEDA)

作者简介:刘园,女,副研究员,研究方向为灾害风险评估与转移。E-mail:liuyuan@caas.cn

*通信作者 Author for correspondence. E-mail:liubuchun@caas.cn

to better understand the change of hot spot and avoid repetition and waste of research resources.【Methods】Based on two core databases of the Web of Science and CNKI, the study visually analysed the published literatures with related subjects about “climate” and “apple”.【Results】The results showed that, for the number of published papers, “climate” and “apple” were the most published papers (5693), and there were relatively few papers related to “flood”, only 206. The number of Chinese and English published articles showed an increasing trend, but the proportion of articles was too low, only 0.23. For the content, most of the English articles focused on the relevant cultivation techniques of “Fuji”, plant diseases, insect pests effect (codling moth), and drought, etc. In addition, more attention was paid to gene expression, cultural measures and other aspects. The contents published in Chinese was more inclined to efficient use of climate resources, climate sensitive factors, disaster prevention and control in apple, such as climate resource zoning, microclimate, etc.【Conclusion】The literatures published both in Chinese and English on the effects of climate changes to apple have been incresing. The focuses of attention of the Chinese literatures and English literatures seems to be different.

Key words: Apple; Climate change; Bibliometrics; Citespace

以气候变暖、极端天气气候事件频发重发等为主要特征的气候变化及其对农业生产的影响一直是全球热点和焦点问题[1]，同时，农业可持续生产也面临挑战和机遇。苹果是世界性果品，在中国乃至全球，苹果种植面积和产量均居首位，受气候变化影响也愈加强烈[2-5]，农业气象灾害风险加大[6-7]。近年来，国内外专家学者围绕气候变化与苹果的交叉领域研究取得了诸多重要成果，主要从气候资源利用[8]、栽培技术[9]、品种选育[10-13]、气象灾害[14]等方面开展了相关田间试验和综合性分析，研究方向、研究方法各有侧重。随着科技进步，相关领域的专家学者从理论方法[15-16]、技术改进[17-18]、不确定性分析[19]等方面进一步开展深入研究，虽归纳总结了气候变化对苹果的影响，但缺少直观的整体概述及热点研究演变趋势分析。

文献计量学（Bibliometrics）是基于已发表文献为研究对象，定量分析文献计量特征，客观反映某一领域的科研发展历史和态势[20]。Web of Science（WOS）和中国知网（CNKI）核心数据库是两个涵盖国内外各个领域的学术信息检索跨库平台[21]。Citespace是一款文献分析可视化软件，它可以将某一领域的演进历程集中显示在一幅网络图谱中，借助Citespace软件绘制图谱，可多角度、多维度综合探讨并直观分析领域内科研进展过程和学科发展前沿[22-23]。自20世纪80年代开始，气候变化就一直是世界性焦点问题，为了更加深入地了解气候变化带来的影响，国内外不同领域专家学者，基于文献计量学分别以森林、猕猴桃、橙子、蓝莓、油橄榄等[24-28]，及作物模型、农业干旱等[29-30]为主题，从时间、机构、作者、期刊、主题等角度综合分析了目前各领域应对气候变化的技术发展和研究热点演变，并从脱贫、提质等政策配套的视角探讨问题，助推中国农业供给侧结构性改革。如汪航等[31]通过研究1988—2018年气候变化的发文机构、主题等方面，明确了近30年全球应对气候变化的总体状况以及研究进展。赵海莉等[32]、张艳等[33]分析了气候变化背景下水旱灾害、灾害经济等现状特征及发展趋势，为未来开展应对极端天气气候事件的措施提供了参考依据[31]。

改革开放40多年来，中国果树发展取得了巨大成就[3]。苹果栽培历史悠久、品种丰富多样、经济产值较高，在保障食物安全、生态安全、人民健康、农民增收和农业可持续发展中的作用日益凸显，是全面打赢脱贫攻坚战和促进乡村振兴的重要支柱产业之一[3]。随着学科理论知识的不断完善，科研水平不断提高，科研经费投入加大，气候变化与苹果响应机制、果实品质、学科科技创新关系等方面发表的文献日益增多[34-36]。为了更加深入地了解气候变化对苹果领域的影响，直观描述研究方向与热点的历史演变特征，笔者在本研究中以国内/外核心数据库1998/1995—2020年气候变化对苹果影响领域内已发表文献为研究对象，从气候变化与苹果领域的交叉热点中，阐明气候变化对苹果影响及应对措施的科技创新趋势，了解研究热点动态变化过程，以期为苹果栽培领域的研究人员和机构提供基本参考，为

苹果种植布局和产业发展动态提供理论参考。同时，为了避免重复研究导致资源浪费，为相关管理部门的项目立项及政策制定提供决策支持。

1 资料和方法

1.1 资料来源及筛选

基于Web of Science和中国知网两大核心数据库中已公开发表的学术论文，包括期刊论文、学位论文及会议论文，以“气候”和“苹果”为主题，全方位交叉组合24次，并按“高级检索”方式进行检索，中英文具体组合方式如图1所示。为提高分析效率和精确度，对检索后的基础数据源进行筛选、去重，删除征稿、卷首语、个人学术成果介绍、书评及署名为课题组或无作者、不相关的数据。清洗后的中英文基础数据源如表1所示，含文献题录、作者、机构、摘要、关键词、发表年份、发表期刊等。英文文献数据检索时间范围是1995年1月1日至2020年6月25日，中文文献数据检索时间范围是1998年1月1日—2020年6月25日。

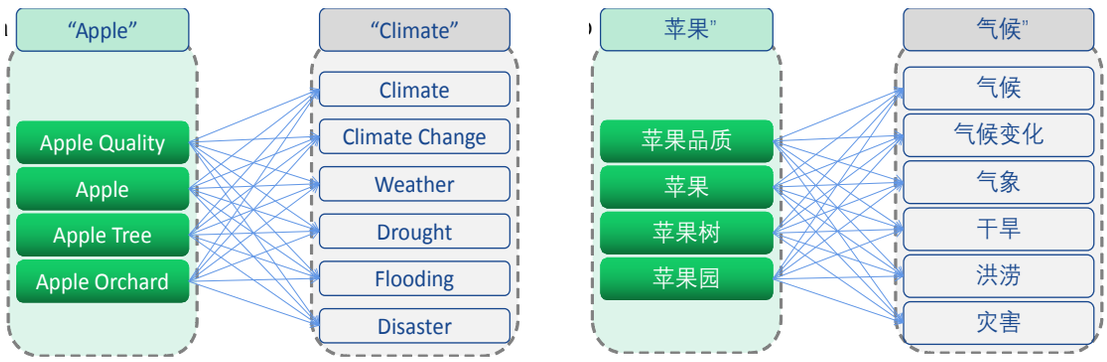


图1 “气候”和“苹果”主题组合检索方式

Fig. 1 Theme combination retrieval method of “Climate” and “Apple”

表1 检索时段内清洗后基础发文数

Table 1 Retrieval period and the number of selected literature

文献来源 Literature sources	检索时段 Retrieval period	检索文献数 Number of retrieved documents	清洗后文献数 Number of literature after cleaning
英文文献 English literature Web of Science	1995—2020	8879	2862
中文文献 Chinese literature CNKI	1998—2020	1348	742

1.2 研究方法

CiteSpace（Version 5.7.R1）[21-22]软件是由美国德雷克塞尔大学计算与信息学院陈超美博士开发的一款文献可视化软件。该软件基于文献计量学、信息可视化与统计分析等方法，对获取文献数据进行定量研究与定性分析，是进行文献计量分析的有效工具。利用Citespace软件，基于Web of Science和中国知网核心数据库，对获取的有关苹果响应气候变化的文献数据进行定量研究与定性分析，探明气候变化下旱涝灾害对苹果影响的热点特征。

2 结果与分析

2.1 文献检索基本情况

基于国外WOS和国内CNKI两大核心数据库，检索“气候”与“苹果”交叉主题后，得到未清洗的刊出文献环状分布（图2）。1995—2020年6月WOS核心数据库，6个“Climate”与4个“Apple”为主题的24种交叉组合汇总刊出英文文献8879篇。“Climate”与“Apple”的4个主题词的英文发文量最多，共4345篇；与“Apple quality”共主题的发文量最少，仅1069篇。另一方面，“Apple”与“Climate”的6个主题词的英文发文量最多，共4358篇；与“Flooding”共主题的发文量最少，仅205篇。“Apple quality”与“Flooding”共主题的英文刊出量仅16篇，表明洪涝并非苹果的主要灾害（图2-A）。

由图2-B可知，1998—2020年6月CNKI核心数据库，“气候”与“苹果”24种交叉组合的检索，共刊出未去重文献1348篇，仅为英文文献的15%。中、英文文献主题分布较为相似，“气候”与“苹果”的4个主题词交叉发文比例最高，共1001篇；与“苹果品质”共主题发文量最少，仅236篇。“苹果”与“气候”

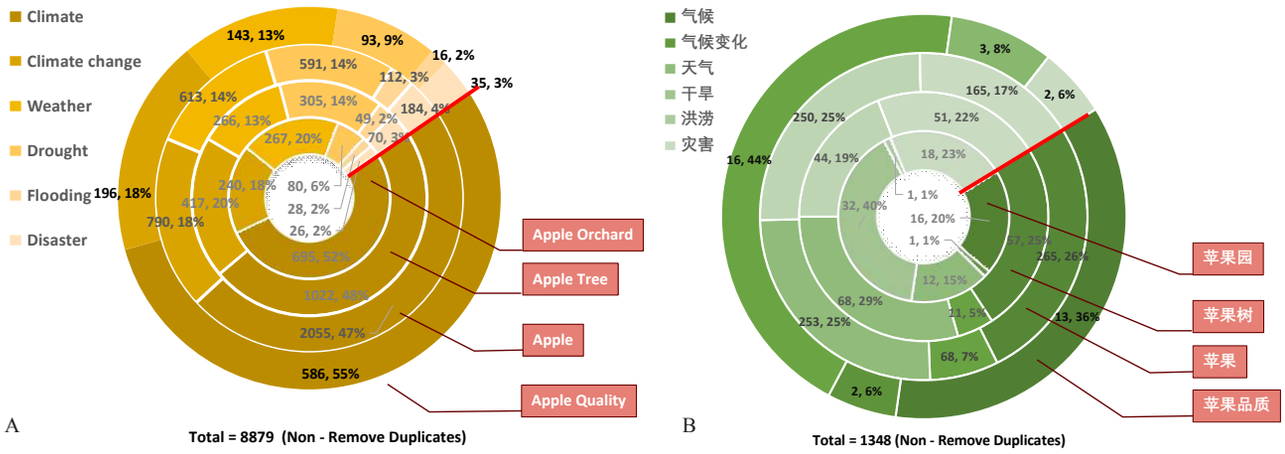


图2　“气候”与“苹果”共主题的未去重刊出文献分布

Fig. 2　Distribution of undeweight literature under the themes of "Climate" and "Apple"

的6个主题词发文量与英文发文分布相似，其中“苹果”与“气候”“天气”“干旱”交叉主题发文量分别为351、349和329篇，与“洪涝”交叉主题仅发表1篇。气候变化对苹果影响共发表中文265篇，但是“苹果树”“苹果”“苹果品质”与“洪涝”的交叉主题发文量为0，该领域尚未检索到有项目或基金的支持。

2.2　发文年变化趋势

单位时间内文献刊出量是衡量该领域学术活跃度和科技创新的重要指标之一[37]。上述基础数据源经去重和筛选后，共得到中英文刊出文献3604篇（图3），其中英文文献2862篇，中文文献742篇。1995—2020年，“气候”与“苹果”共主题的发文量增长显著，英文和中文刊出文献分别以76.8篇/10 a和34.6篇/10 a的速率增加；但是中文文献发文量一直低于英文发文量，中英文文献的比例平均为0.23。“气候”与“苹果”共主题的中文文献虽增加明显，但一直未突破100篇•a^{-1}。1995—2007年，英文文献发文量小幅增长后稳定在每年100篇以内，增加趋势不显著（$p > 0.05$）；2007年以后，发文量突破100篇•a^{-1}，平均为170篇•a^{-1}，即气候变化对苹果影响的研究领域不断受到关注，且相关研究成果逐步被发表。1988年，IPCC成立后气候变化问题迅速成为国际经济发展、环境与资源、科技研发等领域内举世瞩目的重大战略性和全球性的热点问题。随着气候变化影响评估、气候资源高效利用、极端天气防范等的深入研究和广泛应用，对苹果栽培和产业发展起到了巨大推动作用[34-35]。近年来，我国各地抓住农业产业结构调整的机遇，立足当地特色和资源优势，大力发展

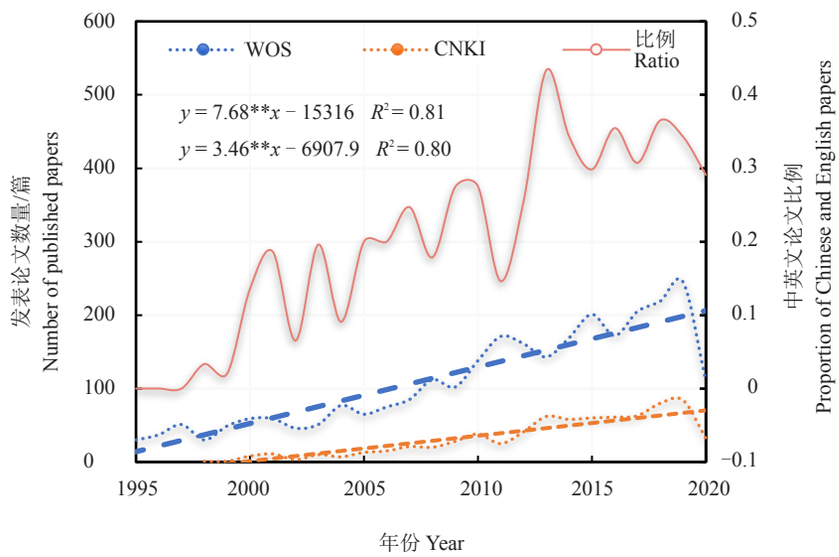


图3　1995—2020年“气候”与“苹果”共主题去重后文献的年际变化

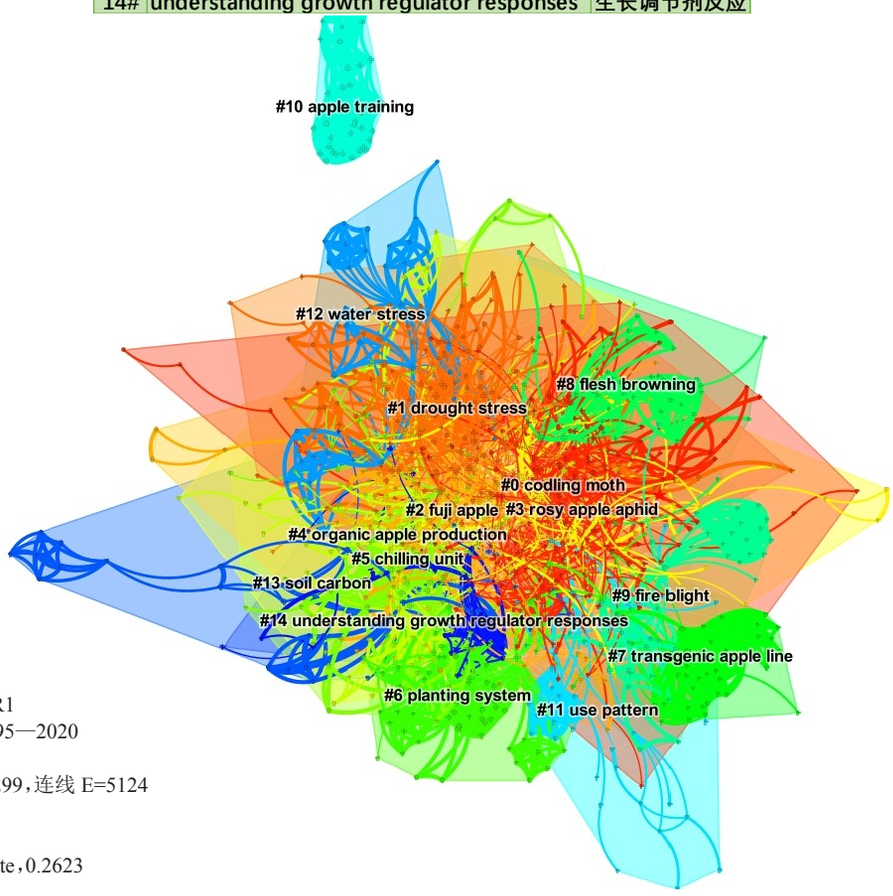
Fig. 3　Annual change of references between the cross field of “climate” and “apple” in 1995—2020

苹果产业，取得了巨大的成效，但同国外发达国家果树产业总体发展水平比较，我国果树产业发表论文数量相对较少。在为数相对较少的已发表论文中，认为我国果树产业亟待提高产业的标准化程度、提高果实品质、增强市场竞争力[3]。

2.3 英文文献主题聚类和突变分析

基于WOS英文核心数据库检索、去重后共计2862篇气候变化与苹果相关英文文献，在Citespace软件中，使用修剪切片，得到气候变化与苹果相关共主题的英文文献聚类关系图（图4）。如图所示，“Climate”与“Apple”共主题的2862篇文献中，共性节点1299个和连线5124条，有效引用率为86%。Modularity Q为聚类模块化的度量值，是目前常用的一种衡量网络社区结构强度的方法，最早由Mark NewMan提出[22]；Silhouette为平均轮廓线，一般认为这两个指标分别大于0.5和0.3，聚类分析结

NO.	Cluster topics	聚类主题
0#	codling moth	苹果蠹蛾
1#	drought stress	干旱胁迫
2#	fuji apple	富士苹果
3#	rosy apple aphid	苹果红蚜虫
4#	organic apple production	有机苹果生产
5#	chilling unit	冷冻装置
6#	planting system	种植系统
7#	transgenic apple line	转基因苹果
8#	flesh browning	果肉褐变
9#	fire blight	火疫病
10#	apple training	苹果培训
11#	use pattern	栽培模式
12#	water stress	水分胁迫
13#	soil carbon	土壤碳
14#	understanding growth regulator responses	生长调节剂反应



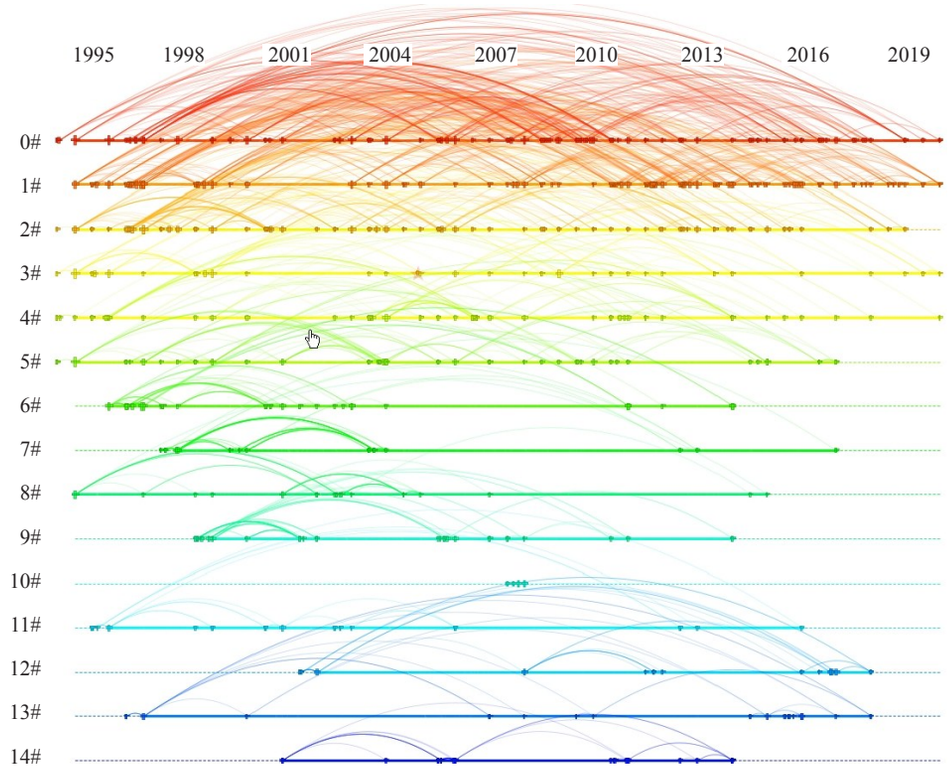
软件版本 CiteSpace V5.7R1
数据时段 Timespan, in 1995—2020
数据步长 Slice length，1
逻辑关系：共性节点 N=1299，连线 E=5124
有效引用率：1123（86%）
模块度 Modularity，0.723
平均轮廓线 Mean silhouette，0.2623

图4 基于WOS的气候与苹果研究主题的聚类分布（不同聚类分布以不同颜色加以区分）

Fig. 4 Cluster distribution of climate and apple research topics based on WOS (Different cluster distributions are distinguished by different colors)

构显著。由图4可知，本文聚类分析得到模块度为0.723，平均轮廓线为0.262 3，表征聚类相关合理，达到软件可靠性的临界值，因此可视化聚类图谱结果合理。由可视化聚类图可知，1995—2020年，“Climate”与“Apple”共主题聚成145类，本研究仅选择前15个聚类值显示，顺序编号自0#至14#且用不同背景颜色加以区分，聚类由多个紧密相关的词组成的，数字越小说明该聚类分区包含的关键词越多比例越高。“Climate”与“Apple”的共主题中，有4个聚类分区与病虫害相关，分别是0#codling moth、3#rosy apple aphid、8#flesh browning和9#fire blight；6个聚类分区与栽培和品种相关，分别是2#fuji apple、4#organic apple production、6#planting system、7#transgenic apple、11#use pattern和14#understanding growth regulator responses；而与气候、干旱有关的聚类仅有3个，即1#drought stress、12#water stress和13#soil carbon。从聚类结果看，大多数已发表的文献更倾向于在气候变化背景下研究苹果的相关栽培技术或者病虫害影响等，如苹果蠹蛾、干旱胁迫等方面。通过文献检索可知，Witzgall等[36]研究了适应气候变化需要采取加强苹果昆虫管理的技术解决方案（该文献被引频次高达479次）；Chmielewski等[38]和Ahas等[39]在气候变化背景下分别讨论了果树物候期变化及可能的影响（被引频次分别达到333次和179次）。高被引的研究论文与本文的研究结论相符。

通过Citespace软件，进行突发性检测（Burst Term），用于反映不同年份文献刊出量的时间演变趋势。图5为1995—2020年间“Climate”与“Apple”共主题英文文献随时间的变化趋势。由图5可知，自1995年至2020年，0#codling moth、1#drought stress、2#fuji apple、3#rosy apple aphid和4#organic apple production的聚类分布贯穿整个研究时段，尤其是苹果虫害（0#和3#）、苹果品种（2#和4#）以及干旱胁迫（1#）。5#chilling unit、8#flesh browning和11#use pattern，这三类聚类分类的研究热点时段是从1995年开始至2015年，之后相关内容不再是国内外专家学者发文关注的热点问题。随着研究的深



聚类编号同图4.

The cluster number is the same as Fig. 4.

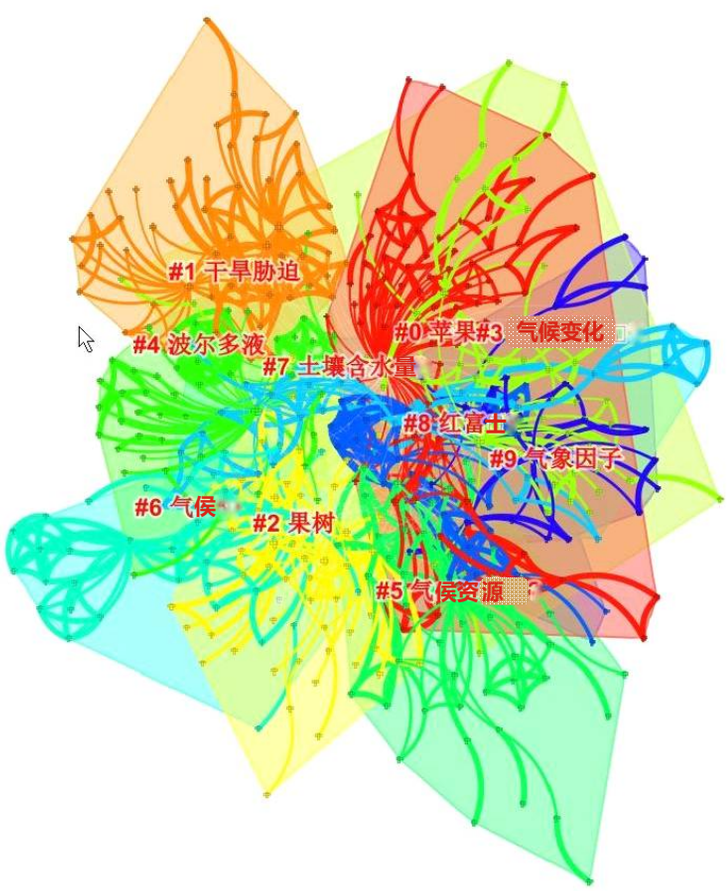
图5　苹果与气候聚类分布的时间突变图（不同聚类分布以不同颜色加以区分）

Fig. 5　Temporal mutation map of clustering distribution of apples and climate(Different cluster distributions are distinguished by different colors)

入，关于6#planting system、13#soil carbon、7# transgenic apple、9#fire blight、14#understanding growth regulator responses和12#water stress方面也开展了大量的研究，但近些年不再是研究的重点领域。就世界范围而言，这样的聚类分布是符合时代发展需求的，随着世界苹果生产技术日臻成熟和完善，全球苹果总量持续增加，总体价格不断下降。世界苹果生产向集约化、机械化、标准化、优质化方向发展，以新品种和新产品带动产业发展，以安全化、营养化为目标刺激消费，提高市场竞争力。因此，国内外专家学者重点关注了该领域的技术发展以及主产区的病虫害发展。

2.4 中文文献主题聚类和突变分析

基于CNKI中文核心数据，检索并去重后的相关中文文献共计742篇，利用Citespace软件绘制文献共引网络聚类图，辨析气候与苹果交叉领域的中文文献的结构联系。节点类型选择被引文献，使用修剪切片，得到气候变化与苹果相关共主题的中文文献聚类关系（图6）。由图可知，1998—2020年，“气候”与“苹果”交叉共主题中，共性节点600个和连线1340条，有效引用率为76%。经检索结果的聚类分析，模块度Q为0.7，平均轮廓线为0.472 8，结果表明自1998年气候变化与苹果相关领域的共主题的中文文献聚类结果合理可靠。由图6可知，1998—2020年气候变化与苹果相关共主题的中文文献共主题聚成91类，本文仅选择前10个聚类显示（底色为不同颜色加以区分），编号自0#至9#，数字越小聚类包含的关键词越多。聚类结果中3个聚类与苹果相关，分别是0#苹果、2#果树和8#红富士；5类与气候条件有关，分别是1#干旱胁迫、3#气候变化、5#气候资源、6#气象条件和9#气象因子；另外，4#波尔多液、7#土壤含水量相关主题的研究，也同样引起大量专家学者的关注。20世纪80—90年代，由于我国的冷库贮藏能力不足，缺乏苹果保鲜技术，因此，晚熟、耐贮的红富士苹果品种从日本引种到我国后，得到了快速发展。由聚类结果可以看出，随着苹



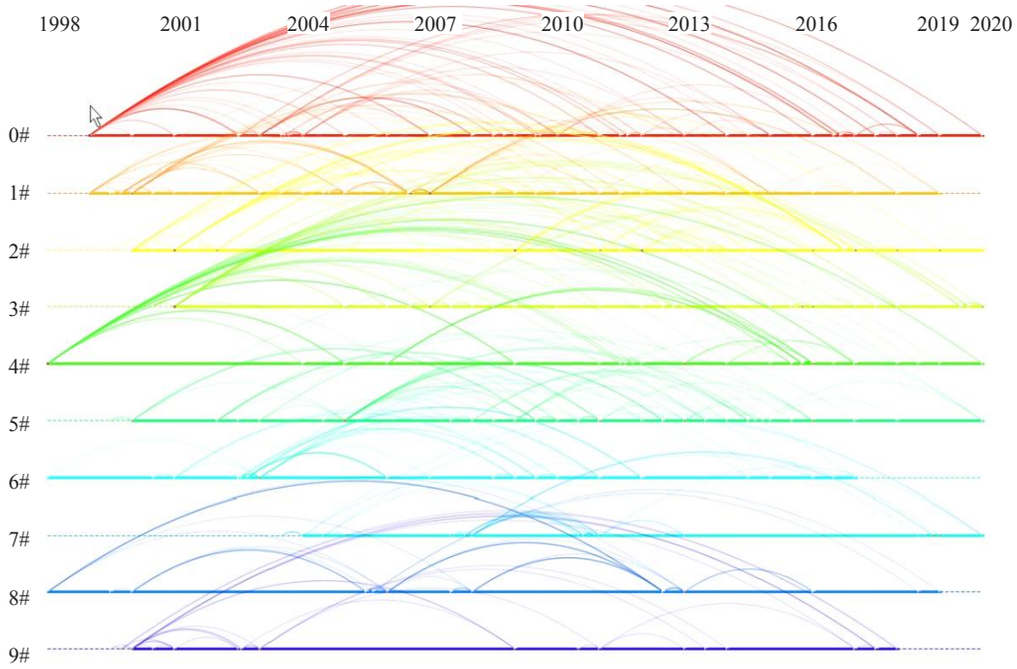
NO.	聚类主题
0#	苹果
1#	干旱胁迫
2#	果树
3#	气候变化
4#	波尔多液
5#	气候资源
6#	气象条件
7#	土壤含水量
8#	红富士
9#	气象因子

软件版本 CiteSpace V5.7R1
数据时段 Timespan,in 1998—2020
数据步长 Slice length，1
逻辑关系：共性节点 N=600，连线 E=1340
有效引用率：459（76%）
模块度 Modularity，0.700 2
平均轮廓线 Mean silhouette，0.472 8

图6 基于CNKI气候与苹果研究主题聚类分布不同聚类分布以不同颜色加以区分）

Fig. 6 Cluster distribution based on CNKI climate and apple research topics (Different cluster distributions are distinguished by different colors)

果产业的飞速发展和气候变化的日趋强烈，国内大多数专家学者更倾向于气候条件、气候因子、农业气象灾害等方面，开展相关的田间试验或者定量关系研究。其中，2011年潘根兴等[40]从农业科学角度讨论了气候变化对中国农业生产涉及的气象、土地、生物环境和生态系统等的影响并指出干旱将成为我国未来农业生产中严重的挑战之一；该文献被引频次高达276次。2003年魏钦平等[41]通过对我国不同生态气候区苹果调查分析，提出了影响不同苹果品质因素的主要气象因子及最适气象因子的取值和优化方案，同时，阐明了不同气候区苹果优质生产的有利条件和限制因子，被引147次。蒲金涌等[10]2008年发表在《中国农业气象》上的文章指出，在全球气候变暖的背景下，甘肃黄土高原苹果发育期提前，成熟期后延，致使苹果的坐果率及品质等有所下降，同样被引频次超过100次。利用Citespace软件对“气候”和“苹果”共主题的中文文献进行高频检测，图7为1998—2020年“气候”和“苹果”共主题中文文献随时间的变化趋势。由图7可知，自1998年至今，4#波尔多液的聚类贯穿整个研究时段，虽聚类关键词与气候变化无直接关系，但受气候变化影响，苹果园喷施农药是防治病虫害的重要手段之一[42-44]；随后，其他聚类主题陆续得到了研究，并持续至今。就全国范围而言，随着苹果现代化生产技术的引进、优良品种的选育以及国家扶贫政策的支持，苹果栽培面积和产量有了质的飞跃[45]。国内学者针对宏观区域气候资源的高效利用、气候敏感因子、灾害防控等方面，开展了大量的研究[41, 46-47]。



聚类编号同图6。

The cluster number is the same as Fig. 6.

图7　苹果与气候聚类分布的时间突变图（不同聚类分布以不同颜色加以区分）

Fig. 7　Temporal mutation map of clustering distribution of apples and climate (Different cluster distributions are distinguished by different colors)

3　讨　论

已公开发表的文献主题是衡量该研究领域科技发展的重要指标之一[37]。以气候变暖、极端天气气候事件频发为主要特征的全球气候变化已成为世界各国普遍关注的热点问题[1]。自20世纪90年代以来，国内外学者围绕气候变化对农业生产（含苹果）相关领域开展了大量科学研究，并在基础理论、技术方法和成果应用等方面取得了显著进展[2-4]。国家从富民政策、产业结构调整等方给予了大力支持[48-49]，依靠科学，大力发展苹果产业脱贫致富，苹果产业已经成为这些地区农业种植结构调整的主要树种、农民增收致富的主要经济来源，对当地的生态环境建设、可持续发展起到重要作用。苹果是多年生木本

经济植物，种植品种、产量、品质与当地气候条件等有密切关系[8-10]。因此，明晰、掌握气候变化对苹果生产的影响及对策，是促进苹果产业稳定与可持续发展的理论基础。

3.1 “气候”与“苹果”为主题的交叉领域越来越受专家学者的关注

笔者基于WOS英文核心数据库和CNKI中文核心数据库，检索了1995—2020年气候与苹果交叉领域的文献。从发文量来看，在未去重的情况下，英文发文量8879篇，中文发文量1348篇，英文、中文发文量比例为20:3。从气候与苹果交叉领域的发文量来看，与小麦、玉米等主粮研究成果相比，苹果产业相关研究起步较晚。从共性主题来看，无论是中文还是英文发文量，苹果与涝害的交叉领域相对发文量最少。从时间发展趋势来看，气候与苹果共主题研究伊始阶段与其他学科的发展的时间比较一致，这与全球、国家在基础科学方面的大力支持分不开。自20世纪90年代开始，发表论文的数量快速上升，此阶段奠定了气候与苹果共主题的理论基础和研究方向，同时学科趋向了多元化、交叉化、综合化的发展。对已检索到的刊文量过滤、去重后，单位时间内英文和中文文献的发文量分别增加了76.8篇/10 a和34.6篇/10 a。1995—2020年，苹果与气候相关领域的中文文献发文量虽有增加趋势，但一直未突破100篇•a^{-1}。该研究时段正值气候变化相关领域从平稳发展阶段过渡至快速发展阶段，此时气候变化评估、气候资源利用、极端天气认知等研究方向逐渐走向成熟，并应用于各行各业，同时对苹果产业的发展起到了巨大推动作用。“气候变化”与“苹果”为主题的交叉领域的年发文量显著增加[37]，说明气候变化对苹果影响的研究越来越受专家学者的关注，具有较好的研究前景。

3.2 “气候”与“苹果”为主题的交叉领域基础知识和研究前沿的演变特征

自CiteSpace软件发布以来，众多国内外学者利用该可视化软件，对猕猴桃[25]、柑橘[26]、蓝莓[27]等进行研究热点及发展历程的分析和总结。笔者在本研究中利用该软件重点分析了“气候”与“苹果”为主题的交叉领域发文量的关系，从英文文献主题分析来看，1995—2020年“Climate”与“Apple”共主题的英文研究中，共得到145个聚类关键词，从主题词的共线分析来看，交叉领域的研究热点主要集中在与病虫害、栽培技术和品种选育以及气候、干旱相关的方面。其中，drought和chilling等相关内容包含在1#drought stress、12#water stress关键词中，是苹果农业气象灾害中发生频率较高的灾害；2#fuji apple、4#organic apple production、6#planting system、7#transgenic apple、11#use pattern和14#understanding growth regulator responses聚类关键词频率较高，这表明果实品质和栽培技术等是目前苹果产业现代化、集约化、品质化研究的主要方向。从学科发展角度来看，专家学者更倾向于在气候变化背景下深入开展各类与苹果相关的栽培技术或者病虫害影响等方面的研究。从中文文献主题分析来看，1998—2020年苹果与气候变化领域交叉领域的中文研究主要集中在苹果品种、小气候等方面，气候资源区划的研究相对较少；另外，4#波尔多液、7#土壤含水量相关主题的研究，也同样引起大量专家学者的关注。总体而言，围绕气候条件、气候因子、农业气象灾害等方面重点开展科学研究，总体研究方向较为集中在苹果栽培技术改进和品种培育方面。自1998年，受气候变化研究的迅猛发展的影响，以上文章代表了该领域基础知识和研究前沿的演变特征，取得阶段性进展，同时在此阶段建立了相关的环境监测技术。

3.3 “气候”与“苹果”为主题的交叉领域发展趋势与展望

学科知识图谱分析是文献计量学结合大数据理念新分析方法和技术的阶段性进展，可视化图谱的创建为知识图谱分析提供了新的角度和维度[21-22]。从本研究来看，通过网络可视化分析全面了解1995—2020年该领域研究热点演变特征，相关结论将为该领域进一步明确研究方向、创新研究方法、提高未来研究结果精度等方面提供借鉴。从学科分析的视角，分析了苹果受气候变化影响的研究热点和趋势，反映出该领域研究内容趋于多样化、学科交叉化的特点。苹果研究与生产实践密切相关，在自身理论不断深入和创新下，同时与其他学科交叉化发展，形成相互促进的局势。就世界范围而言，苹果发展历史悠久和栽培技术复杂多样，随着苹果生产技术日臻成熟和完善，全球苹果总量持续增加，总体价格不断下降。世界苹果生产正逐渐向集约化、机械化、标准化、优质化方向发展，以新品种和新产品带动产业发展，以安全化、营养化为目标刺激消费，提

高市场竞争力。今后的学科发展应重点借助其他学科（如气象学、分子生物学、基因组学、遥感学、植物表型组学等）的基础理论研究和先进技术手段对基因调控、遗传育种、监测预警、风险评估等方面开展深入研究，实现苹果领域研究的良性循环；利用已有平台基础，高效聚拢各研究成果，加强交叉学科之间的交流，促进共同发展。

4 结　论

研究时段内气候与苹果相关的文献量在全球尺度上呈上升趋势；研究热点演变方面，英文文献多集中于采用富士品种，开展苹果栽培技术、病虫害影响和防控等方面的研究；近20年国内大多数专家学者更倾向于气候资源高效利用、气候敏感因子、灾害防控等方面的研究。

参考文献 References:

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability[M]//Intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 689.

[2] 闫宪启 . 我国果树业的发展现状、存在问题及对策研究[J]. 现代农业研究，2019(3)：73-74.
YAN Xianqi. Status，existing problems and countermeasures of fruit industry[J]. Modern Agriculture Research，2019(3)：73-74.

[3] 程存刚，赵德英 . 新形势下我国苹果产业的发展定位与趋势[J]. 中国果树，2019(1)：1-7.
CHENG Cungang，ZHAO Deying. Development orientation and trend of the apple industry under the new situation[J]. China Fruits，2019(1)：1-7.

[4] 白秀广，李纪生，霍学喜 . 气候变化与中国苹果主产区空间变迁[J]. 经济地理，2015，35(6)：130-137.
BAI Xiuguang，LI Jisheng，HUO Xuexi. Empirical studies on the climate change and variation of regional apple production strcuture in China[J]. Economic Geography，2015，35(6)：130-137.

[5] 张玥滢，刘布春，邱美娟，刘园，吴昕悦，肖楠舒 . 气候变化背景下中国苹果适宜种植区北移西扩:基于高分辨率格点气象数据的区划分析[J]. 中国农业气象，2019，40(11)：678-691.
ZHANG Yueying，LIU Buchun，QIU Meijuan，LIU Yuan，WU Xinyue，XIAO Nanshu. Areas suitable for growing apples moved northward and westward in China under the background of climate change:climatic degionalization of apple based on high-resolution meteorological grid data[J]. Chinese Journal of Agrometeorology，2019，40(11):678-691.

[6] 李海成 . 水旱灾害对粮食生产的影响及风险管理研究[D]. 哈尔滨：东北农业大学，2016.
LI Haicheng. Research on the influence of flood and drought disasters on food production and risk management[D]. Haerbin：Northeast Agricultural University，2016.

[7] 刘丹妮，亢霞 . 水旱灾害对我国粮食产能影响的时间变化特征分析[J]. 粮食问题研究，2015(4)：38-43.
LIU Danni，KANG Xia. The evolution of flood and drought in China and their impact on grain production[J]. Grain Issues Research，2015(4)：38-43.

[8] 张天峰，姜惠峰，王位泰，何树州，张秉政 . 庆阳苹果的气候资源利用分析[J]. 甘肃农业，2018(19)：15-19.
ZHANG Tianfeng，JIANG Huifeng，WANG Weitai，HE Shuzhou，ZHANG Bingzheng. Analysis on utilization of climate resources of apple in Qingyang[J]. Gansu Nongye，2018(19)：15-19.

[9] 原永兵，刘成连，王永章，马德功，李晓东 . 现代苹果矮化密植栽培技术研究[J]. 落叶果树，2011，43(6)：1-6.
YUAN Yongbing，LIU Chenglian，WANG Yongzhang，MA Degong，LI Xiaodong. Study on dwarfing and close planting cultivation techniques of modern apple[J]. Deciduous Fruits，2011，43(6)：1-6.

[10] 蒲金涌，姚小英，姚晓红，许彦平，王位泰 . 气候变暖对甘肃黄土高原苹果物候期及生长的影响[J]. 中国农业气象，2008，29(2)：181-183.
PU Jinyong，YAO Xiaoying，YAO Xiaohong，XU Yanping，WANG Weitai. Impacts of climate warming on phonological period and growth of apple tree in loess plateau of gansu province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology，2008，29(2)：181-183.

[11] 段晓凤，张磊，金飞，卫建国，杜红娟 . 气象因子对苹果产量、品质的影响研究进展[J]. 中国农学通报，2014，30(7)：33-37.
DUAN Xiaofeng，ZHANG Lei，JIN Fei，WEI Jianguo，DU Hongjuan. Research progress of effects of meteorological factors on apple yield and quality[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin，2014，30(7)：33-37.

[12] 邱美娟，刘布春，刘园，王珂依，庞静漪，张晓男，贺金娜 . 中国北方主产地苹果始花期模拟及晚霜冻风险评估[J]. 农业工程学报，2020，36(21)：154-163.
QIU Meijuan，LIU Buchun，LIU Yuan，WANG Keyi，PANG Jingyi，ZHANG Xiaonan，HE Jinna. Simulation of first flowering date for apple and risk assessment of late frost in main producing areas of northern China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2020，36(21)：154-163.

[13] 王明昌，刘布春，刘园，杨晓娟，韩帅，邱美娟，李琼 . 陕西苹果主产县花期冻害风险评估[J]. 中国农业气象，2020，41(6)：381-392.
WANG Mingchang，LIU Buchun，LIU Yuan，YANG Xiaojuan，HAN Shuai，QIU Meijuan，LI Qiong. Assessment on the freezing injury risk during apple flowering in Liquan and Xunyi[J]. Chinese Journal of Agrometeorology，2020，41(6)：381-392.

[14] 刘映宁，贺文丽，李艳莉，柏秦凤，梁轶，张涛 . 陕西果区苹果花期冻害农业保险风险指数的设计[J]. 中国农业气象，2010，

31(1)：125-129.
LIU Yingning，HE Wenli，LI Yanli，BO Qinfeng，LIANG Yi，ZHANG Tao. A study on the risk index design of agricultural insurance on apple florescence freezing injury in Shaanxi fruit zone[J]. Chinese Journal of Agrometeorology，2010，31(1)：125-129.

[15] 王静 . 苹果种植户技术选择行为研究[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2013.
WANG Jing. Technology choice behaviors of apple farmer household[D]. Yangling：Northwest A & F University，2013.

[16] 程存刚，赵德英，宣景宏 . 对我国苹果品种发展的几点建议[J]. 北方果树，2015(3)：52-53.
CHENG Cungang，ZHAO Deying，XUAN Jinghong. Suggestions on the development of apple varieties in China[J]. Northern Fruits，2015(3)：52-53.

[17] 马宝煜，徐继忠，孙建设 . 关于我国苹果矮砧密植栽培的思考[J]. 果树学报，2010，27(1)：105-109.
MA Baokun，XU Jizhong，SUN Jianshe. Consideration for high density planting with dwarf rootstocks in apple in China[J]. Journal of Fruit Science，2010，27(1)：105-109.

[18] 沈阳农业大学科技管理处 . 寒富苹果优质高效生产技术集成研究与应用[J]. 沈阳农业大学学报，2015，46(6)：756.
Science and Technology Management Office of Shenyang Agricultural University. Integrated research and application of high quality and efficient production technology of Hanfu apple[J]. Journal of Shenyang Agricultural University，2015，46(6)：756.

[19] 路亚川 . 招远市苹果保险需求影响因素灰色关联分析[D]. 烟台：烟台大学，2019.
LU Yachuan. Grey correlation analysis of influencing factors of apple insurance demand in Zhaoyuan city[D].Yantai：Yantai University，2019.

[20] COLEMAN D C，WHITMAN W B. Linking species richness，biodiversity and ecosystem function in soil systems[J]. Cheminform，2007，49(6)：479-497.

[21] FALAGAS M，PITSOUNI E，MALIETZIS G，PAPPAS G. Comparison of PubMed，Scopus，Web of Science，and Google Scholar：strengths and weaknesses[J]. Faseb Journal Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology，2008，22(2)：338-342.

[22] CHEN C M. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology，2006，57(3): 359-377.

[23] CHEN C M，IBEKWE-SANJUAN F，HOU J H. The structure and dynamics of co-citation clusters: a multiple-perspective co-citation analysis[J]. Journal of the American Society for Information Science & Technology，2014，61(7)：1386-1409.

[24] 刘清泉，江华 . 森林应对气候变化研究热点和前沿分析：基于CitespaceⅤ的计量研究[J]. 干旱区资源与环境，2018，32(1)：70-76.
LIU Qingquan，JIANG Hua. Research hotspots and frontiers as regard to forest in response to climate change-quantitative research based on CitespaceⅤ[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment. 2018，32(1)：70-76.

[25] 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 Zhangju，LU Mingfang. Bibliometric and hot topic analysis of literatures related to kiwifruit in China[J]. Food Science，2015，36(21)：316-322.

[26] 龙承鹏，戴小华，何荔英，钟八莲 . 基于CNKI的赣南脐橙研究文献计量分析[J]. 赣南师范大学学报，2018，39(3)：137-140.
LONG Chengpeng，DAI Xiaohua，HE Liying，ZHONG Balian. Bibliometric analysis on gannan navel orange research based on CNKI[J]. Journal of Gannan Teachers' College，2018，39(3)：137-140.

[27] 安秀敏，吴林 . 2005—2014年中国蓝莓研究文献计量分析[J]. 农业图书情报学刊，2015，27(9)：57-60.
AN Xiumin，WU Lin. Bibliometric analysis of literature on blueberry during 2005—2014 in China[J]. Journal of Library and Information Sciences in Agriculture，2015，27(9)：57-60.

[28] 韦莉，吴开志，王红莉 . 1997-2016年我国油橄榄研究文献计量分析[J]. 中国林副特产，2017(5)：92-94.
WEI Li，WU Kaizhi，WANG Hongli. Bibliometric analysis of literature on olea europaea during 1997-2016 in China[J]. Forest By-product and Speciality in China，2017(5)：92-94.

[29] 郭婷，任妮，贵淑婷，马剑凤，曹静 . 基于气候变化的作物模型研究态势分析[J]. 江苏农业科学，2017，45(24)：17-25.
GUO Ting，REN Ni，GUI Shuting，MA Jianfeng，CAO Jing. Trend analysis of crop model research based on climate change[J]. Jiangsu Agricultural Sciences，2017，45(24)：17-25.

[30] 程静，杜震 . 2000-2016年农业旱灾脆弱性研究动态及展望：基于文献计量方法[J]. 世界农业，2017(6)：47-52.
CHENG Jing，DU Zhen. Research trends and prospects of agricultural drought vulnerability from 2000 to 2016：based on bibliometric method[J]. World Agriculture，2017(6)：47-52.

[31] 汪航，曾膑，仲平，张贤，刘家琰，杨扬 . 应对气候变化技术的文献计量分析[J]. 中国人口资源与环境，2018，28(12)：1-8.
WANG Hang，ZENG Bin，ZHONG Ping，ZHANG Xian，LIU Jiayan，YANG Yang. Bibliometric analysis of the technologies for tackling climate change[J]. China Polulation Resources and Environment，2018，28(12)：1-8.

[32] 赵海莉，张婧 . 基于Citespace和Vosviewer的中国水旱灾害研究进展与热点分析[J]. 生态学报，2020，40(12)：4219-4228.
ZHAO Haili，ZHANG Jing. Research progress and hotspot analysis of flood and drought disasters in China based on Citespace and vosviewer[J]. Acta Ecologica Sinica，2020，40(12)：4219-4228.

[33] 张艳，何爱平，赵仁杰 . 我国灾害经济研究现状特征与发展趋势的文献计量分析[J]. 灾害学，2016，31(4)：150-156.
ZHANG Yan，HE Aiping，ZHAO Renjie. Biliometric analysis

on the status and trends disaster economy research in China[J]. Journal of Catastrophology，2016，31(4)：150-156.

[34] 彭颖姝，高捍东，苑兆和 . 全球气候变化对温带果树的影响[J]. 中国农业科技导报，2018，20(7)：1-10.
PENG Yingshu，GAO Handong，YUAN Zhaohe. Impact of global climate change on temperate fruit tree[J]. Journal of Agricultural Science and Technology，2018，20(7)：1-10.

[35] 董月兰，宋家清 . 我国苹果品种网络科技文献的计量学分析[J]. 现代农业科技，2015(14)：341-343.
DONG Yuelan，SONG Jiaqing. Bibliometric analysis of internet science and technology literature of apple varieties in China[J]. Modern Agricultural Science and Technology，2015(14)：341-343.

[36] WITZGALL P，KIRSCH P，CORK A. Sex pheromones and their impact on pest management[J]. Journal of Chemical Ecology，2010，36(1)：80-100.

[37] 黄承芳，李宁，刘丽，刘远，张正涛，陈曦 . 气候变化下农业领域的国际文献特征与热点演变：基于 CiteSpace V 的文献计量分析[J]. 中国农业气象，2019，40(8)：477-488.
HUANG Chengfang，LI Ning，LIU Li，LIU Yuan，ZHANG Zhengtao，CHEN Xi. International literature characteristics and hotspots evolution of agricultural under climate change:bibliometrics analysis based on CiteSpace V[J]. Chinese Journal of Agrometeorology，2019，40(8)：477-488.

[38] CHMIELEWSKI F M，MÜLLER A，BRUNS E. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany，1961 – 2000[J]. Agricultural and Forest Meteorology，2004.

[39] AHAS R，AASA A，MENZEL A，FEDOTOVA V G，SCHEIFINGER H. Changes in European spring phenology[J]. International Journal of Climatology，2002，22(14)：1727-1738.

[40] 潘根兴，高民，胡国华，魏钦平，杨晓光，张文忠，周广胜，邹建文 . 气候变化对中国农业生产的影响[J]. 农业环境科学学报，2011，30(9)：1698-1706.
PAN Genxing，GAO Min，HU Guohua，WEI Qinping，YANG Xiaoguang，ZHANG Wenzhong，ZHOU Guangsheng，ZOU Jianwen. Impacts of climate change on agricultural production of China[J]. Journal of Agro- Environment Science，2011，30(9)：1698-1706.

[41] 魏钦平，张继祥，毛志泉，李嘉瑞 . 苹果优质生产的最适气象因子和气候区划[J]. 应用生态学报，2003，14(5)：713-716.
WEI Qinping，ZHANG Jixiang，MAO Zhiquan，LI Jiarui. Optimum meteorological factors and climate divisions of apple for good quality[J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2003，14(5)：713-716.

[42] 单正军，王连生，蔡道基，朱忠林，石利利 . 果园土壤铜污染状况及其对作物生长的影响[J]. 农业环境保护，2002，21(2)：119-121.
SHAN Zhengjun，WANG Liansheng，CAI Daoji，ZHU Zhonglin，SHI Lili. Pollution of copper in orchard soil and it' s effects on plant growth[J]. Agro- Environmental Protection，2002，21(2)：119-121.

[43] 卜元卿，石利利，单正军 . 波尔多液在苹果和土壤中残留动态及环境风险评价[J]. 农业环境科学学报，2013，32(5)：972-978.
BU Yuanqing，SHI Lili，SHAN Zhengjun. Residue dynamic and environmental risk assessment of Bordeaux mixture in apple and soil[J]. Journal of Agro-Environment Science，2013，32(5)：972-978.

[44] 冷翔鹏，孙欣，房经贵，宋长年 . 波尔多液作用机理及其在果树生产上的应用与相应药害研究进展[J]. 江苏农业科学，2012，40(2)：97-99.
LENG Xiangpeng，SUN Xin，FANG Jinggui，SONG Zhangnian. Mechanism of Bordeaux solution and its application in fruit production[J]. Jiangsu Agricultural Sciences，2012，40(2)：97-99.

[45] 周江涛，赵德英，陈艳辉，康国栋，程存刚 . 中国苹果产区变动分析[J]. 果树学报，2021，38(3)：372-384.
ZHOU Jiangtao，ZHAO Deying，CHEN Yanhui，KANG Guodong，CHENG Cungang. Analysis on the changes of apple producing areas in China[J]. Journal of Fruit Science，2021，38(3)：372-384.

[46] 魏钦平，李嘉瑞，束怀瑞 . 苹果品质与生态因子关系的研究[J]. 山东农业大学学报，1998(4)：116-120.
WEI Qinping，LI Jiarui，SHU Huairui. Study on the relationship between apple quality and ecological factors[J]. Journal of Shandong Agricultural University，1998(4)：116-120.

[47] 孙志鸿 . 苹果树冠微气候与果实品质关系研究[D]. 北京：中国农业科学院，2005.
SUN Zhihong. Studies on the relationship bewteen the fruit qualiy and the microelimate in apple tree canopies[D]. Beijing：Chinese Academy of Agricultural Sciences，2005.

[48] 席恒，王凯，詹大荣，王翼成 . 依靠科学，因地制宜，脱贫致富：礼泉县东庄乡发展苹果生产的调查[J]. 西北大学学报（哲学社会科学版），1988(4)：64-68.
XI Heng，WANG Kai，ZHAN Darong，WANG Yicheng. Relying on science，adjusting measures to local conditions，getting rid of poverty and becoming rich[J]. Journal of Northwest University (Philosophy and Social Sciences Edition)，1988(4)：64-68.

[49] 董天良 . 以果脱贫奔小康[J]. 山西农业科学，1992(2)：25-27.
DONG Tianliang. Get rid of poverty and strive for a better off life[J]. Shanxi Agricultural Science，1992(2)：25-27.