



李红军,孟晨霞,张红伟,宋伟彬,刘兴旺. 基于多源数据的中美作物种质资源管理的比较及启示[J]. 中国农业大学学报,2024,29(10):161-171.
LI Hongjun, MENG Chenxia, ZHANG Hongwei, SONG Weibin, LIU Xingwang. Comparison and implication of crop germplasm resource management in China and the United States based on multi-source data[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(10): 161-171.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.10.14

基于多源数据的中美作物种质资源管理的比较及启示

李红军¹ 孟晨霞¹ 张红伟¹ 宋伟彬² 刘兴旺³

(1. 中国农业大学 图书馆, 北京 100083;

2. 中国农业大学 农学院, 北京 100193;

3. 中国农业大学 园艺学院, 北京 100193)

摘要 为剖析我国作物种质资源管理存在的问题、提出其利用率提升的可行性路径,查询和分析2014—2023年Web of Science数据库的相关论文以及中美两国政府和官方机构网站中的制度政策、规划方案等文献。结果表明:1)我国(不包括台湾省数据)和美国的作物种质资源管理分别采取垂直化和扁平化的管理方式,各有优缺点;2)我国作物种质资源保存数量接近美国,但在表型鉴定、基因型鉴定和利用率方面差距较大;3)我国作物种质资源规划中存在的滞后国际形势和科技态势之处,未能及时更新;4)我国作物种质资源管理的信息化程度低于美国,不利于材料的查询和获取;5)我国作物种质资源的研究对新兴技术的响应不如美国积极;6)我国作物种质资源的国际合作广度低于美国。因此,建议我国的作物种质资源管理做以下调整:1)积极应对国际形势和科技发展的变化,及时调整规划目标;2)提高信息化程度,方便查询和使用资源;3)提高知识产权保护意识,防止种质资源境外流失;4)扩大国际合作渠道,提升我国作物种质资源利用的国际合作影响力和主导力。

关键词 作物种质资源; 中国; 美国; 多源数据; 文献计量

中图分类号 S5

文章编号 1007-4333(2024)10-0161-11

文献标志码 A

Comparison and implication of crop germplasm resource management in China and the United States based on multi-source data

LI Hongjun¹, MENG Chenxia¹, ZHANG Hongwei¹, SONG Weibin², LIU Xingwang³

(1. China Agricultural University Library, Beijing 100083, China;

2. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. College of Horticulture, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract To analyze the problems existing in the management of crop germplasm resources in China and propose feasible paths to improve their utilization rate, this study queries and analyzes the relevant papers in the Web of Science database during 2014 and 2023, as well as the institutional policies, planning schemes, etc. on the websites of the governments and competent departments of China and the United States. The results indicate that: 1) China (Data of Taiwan Province is excluded) adopts vertical management approaches for crop germplasm resource, while the United States adopts flat management, but each has its own advantages and disadvantages; 2) China's crop germplasm resource conservation quantity is close to that of the United States, but there is a significant gap in phenotypic identification,

收稿日期: 2024-03-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(L2224027); 中国农业大学研究生教改项目(JG202236)

第一作者: 李红军(ORCID0000-0002-9048-1420), 副研究馆员, 主要从事科技前沿和科技人才研究, E-mail: lihj@cau.edu.cn

genotypic identification and utilization efficiency; 3) China's planning for crop germplasm resources lags behind the international situation and technological trends and has not been updated in a timely manner; 4) the informatization level of China's crop germplasm resource management is lower than that of the United States, which is not conducive to material retrieval and distribution; 5) the response of research on crop germplasm resources in China to emerging technologies is not as proactive as that in the United States; 6) the breadth of international cooperation on China's crop germplasm resources is lower than that of the United States. Therefore, the management of China's crop germplasm resources needs to make the following changes: 1) Actively respond to challenges and adjust planning goals in a timely manner; 2) improve the level of informatization in management to facilitate resource retrieval and utilization; 3) enhance awareness of intellectual property protection to prevent the overseas loss of germplasm resources; 4) expand international cooperation channels and enhance cooperative influence and leadership.

Keywords crop germplasm resource; China; the United States; multi-source; bibliometric

“国以农为本,农以种为先”。种业是农业发展的基础,是国家战略性、基础性核心产业,一直受到全球主要大国政府的重视。种质资源是农业核心生产资料,在保障粮食安全、支撑农业可持续发展方面有着不可替代的作用^[1]。我国对作物种质资源的利用取得了举世瞩目的成果,例如山东农业大学李晴祺教授等利用小麦‘矮孟牛’作为亲本育成13个小麦品种,1983—1996年累计推广206万hm²;李振声院士将小麦野生近缘种偃麦草中的优良基因转移到小麦中,育成了一系列小麦新品种^[2]。20世纪中期在美国爆发的大豆孢囊线虫病以及20世纪80年代传入美国的俄罗斯麦蚜极大危害美国大豆和小麦的生产。美国科学家通过对保存的我国“北京小黑豆”和前苏联小麦种质材料的分析,找到了相关抗性基因,从而培育具有抗病的大豆品种^[3]和抗蚜虫的小麦品种^[4],拯救了美国大豆和小麦产业。鉴于种质资源的重要性,农业大国的政府都会组织大型国际性项目开展国际合作,以获得广泛优异的种质资源,例如美国农业部玉米种质创新项目(GEM)有50家美国机构和15家国际机构参加,而美国和加拿大大豆改良合作项目则要求每份创新种质至少含有25%的外来遗传物质^[5]。

我国政府一直重视种质资源的管理,先后开展了3次全国农业种质资源普查,为作物种质资源的保护和利用奠定了基础,也极大地促进了我国种业自主发展^[6]。截至“十三五”末,我国主要农作物自主选育品种种植面积达到95%,但经济作物品种国产化比例较低。党的二十大提出要建设农业强国,2024年中央一号文件强调要实施种业振兴行动,这是针对农业自主高质量发展制定的高瞻远瞩目标。我国虽然是种质资源大国,但对其利用还不充分,

与作物种质资源保存最多、利用较好的美国相比还存在一定差距。学习和借鉴美国在作物种质资源管理的先进做法,努力将我国从种质资源大国转变为种质资源强国,对推动种业振兴、建设农业强国有着重要现实意义。当前,基于文献和政策的国内外种质资源管理的比较研究鲜见报道,本研究从论文、政策、规划等多角度比较我国和美国的作物种质资源管理,旨在探索加强我国作物种质资源保护和利用的可行性路径,以期为我国从种质资源大国转变为种质资源强国提供参考。

1 数据来源与处理方法

中美两国有关作物种质资源的数据资料包括但不限于制度、规划、项目、论文等。其中,法律、制度、规划和项目来自两国的政府部门网站;中国网站有中国政府网以及农业农村部、科技部、国家自然科学基金委(NSFC)的网站;美国网站有白宫以及农业部(USDA)、农业部农业研究署(USDA-ARS)、国家自然科学基金会(NSF)的网站。

文章的检索策略是以“germplasm”为主题词在Web of Science数据库核心合集中检索2014—2023年发表的论文,共计19 556篇;根据Web of Science的WC分类号和期刊属性选取作物种质资源相关的研究性论文17 102篇用于本研究。

2 现状分析

2.1 保存利用现状

作为全球粮食生产大国,中美两国都很重视对作物种质资源的保护和利用。为妥善保存作物种质资源,中美两国都建立了规模庞大的种质资源库。截止到2024年2月,我国(不包括台湾省数据,

下同)共有 73 个国家级农作物种质资源库(圃),保存 350 多种作物的约 55 万份种质材料^[7-9];美国 22 个基因库保存 200 多种作物的约 60 万份的种质材料^[10](表 1)。2006—2015 年,中国年均分发用于研究、教育和育种的种质材料为 3.5 万份,2016—2020 年大幅提升至 12 万份/年^[3],但仍明显低于美国 20 万份/年的分分量^[10]。表型和基因型鉴定是种质资源高效利用的重要前提,种质资源强国开始加大对种质资源的精准表型鉴定和深度基因型分析。目前,美国 68% 的种质材料开展了表型鉴定、14% 的种质材料开展了基因型鉴定^[10];而中国仅有 2% 的种质材料开展过基因型鉴定,并且主要集中在水稻、小麦和玉米等物种上^[9]。另外,为方便申请者遴选材料,美国 46% 的种质材料均配有电子照片。可见,当前我国在种质资源保存方面已与美国看齐,但利用方面还存在较大差距。

表 1 中、美作物种质资源保护和利用基本情况
Table 1 General data of crop germplasm resources protection and utilization of China and US

国家 Country	种质库 (圃)数/ Germplasm bank	品种数 Variety	物种数/ ($\times 10^3$) Species	种质材 料数/ ($\times 10^3$) Sample	年均分发 数/($\times 10^3$) Annual distribution	国外材料 占比/% Oversea material	表型鉴定 占比/% Phenotypic evaluation	基因型鉴定 占比/% Genotypic characterization	电子照片 占比/% Electronic photo
中国 China	73	>350		≈ 55	$\approx 120^{\text{①}}$			2 ^②	
美国 USA	22	>200	≈ 13	≈ 60	≈ 200	72	68	14	46

注:中国的数据不包括台湾省的数据。下同。①中国的分发数量为 2016—2020 年平均值;②2% 的比例来自 2020 年的“十四五”现代种业提升工程建设规划。其他数据来自文献[7-9,11]。
Note: Data of Taiwan Province is not included in data of China. The same below. ①is the average number of 2016-2020; ② data comes from “14th Five Year Plan” for the construction of modern seed industry improvement projects. Other data is from reference [7-9,11].

2.2 发展规划

中美两国政府都从国家层面制定相关规划来保证作物种质资源的保护和利用。中国在 2015 年发布了《全国农作物种质资源保护与利用中长期发展规划(2015—2030 年)》^[9],提出要通过完善农作物种质资源的保护体系、精准鉴定评价体系、共享利用体系的三大体系来完成农作物种质资源收集保存、深度发掘、基础研究、保护与管理的四大任务。该规划制定了 2030 年部分指标的目标值,即保存材料 78 万份,其中长期库保存 70 万份,引进材料占 30%,完成 20% 材料的基因型鉴定(表 2)。中国于 2015—2020 年实施的全国第三次农作物种质资源普查与收集行动是中长期规划的重要组成部分,预计收集种质资源 10 万份,入库保存 7 万份。该工作虽延后至 2023 年结束,但新收集的 11.3 万份种质资源已超预期目标^[11]。

表 2 2030 年中、美作物种质资源保护和利用的预期目标
Table 2 Crop germplasm resources goals in 2030 of China and US

国家 Country	种质材 料数量/($\times 10^3$) Number of germplasm material	国外材料 数量/($\times 10^3$) Number of oversea germplasm material	基因型鉴定 数量/($\times 10^3$) Genotypic characterization	基因型鉴定 占比/% Genotypic characterization	有育种价值新种质 数量/($\times 10^3$) Number of new high-valued germplasm material	前育种品种 数量 Pre-breeding variety
中国 China	780	130	160	20.5	1.50	
美国 USA	640		450	70.3		100

注:数据来自参考文献[9-10]。
Note: Data is available at reference [9-10].

《植物遗传资源、基因组学和遗传改良》(“301号国家项目”)是美国植物种质资源管理基础性的战略规划,其目的是利用植物的遗传潜力改造美国农业^[3]。“301号国家项目”始于2013年,每5年发布新一期计划,最新一期是“2023—2027行动计划”^[12]。该期计划延续了前两期计划的四大主要研究内容,即作物遗传改良、植物和微生物资源及其信息管理、作物生物学和分子生物学以及作物遗传学、基因组学和遗传改良的信息资源和工具,同时新增植物-微生物互作、基因组编辑、人工智能和机器学习等方面的内容。根据2018年农业法案制定的《国家战略性种质和品种收集评估和利用计划》^[10](以下简称“NPGS计划”)则是2021—2030年美国作物种质资源管理的实施方案。美国计划在2030年将保存材料的数量增加7万份,达到64万份(表2)。在基因型鉴定方面,美国计划利用SNP基因标记对45万份材料进行鉴定,其中进行全基因分析的数量为15万份。从中、美两国规划可以看出,未来5~10年我国保存的种质材料的数量将追平甚至超过美国,但是短期内在种质资源的多样性和利用方面难以与美国看齐。

3 政府支持与管理

3.1 法律制度

20世纪初,美国就出台了与植物种质资源管理相关的法律,例如《植物检疫法》^[3](1912年)、《种子进口法》^[3](1912年)、《联邦种子法》^[3](1939年)、《植物品种保护法》^[3](1970年)、《濒危物种法》^[3](1970年)。尤其是1990年美国国会将《国家遗传资源计划》^[3](简称NGRP)纳入国家公法,包括作物种质资源在内的各种遗传资源收集、鉴定、保存、分发都得以规范运行,得到联邦政府经费资助、并需向政府汇报工作成果。

我国在1960年代开始对作物种质开展保护和研究,但直到1990年代才立法对作物种质资源的管理,相关法律法规包括《进出口农作物种子(苗)管理暂行办法》^[13](1997年)、《中华人民共和国种子法》^[13](2000年)等,而2003年出台的《农作物种质资源管理办法》^[13]标志中国作物种质资源管理进入依法管理阶段,2023年农业农村部农作物种质资源保护与利用中心颁布的《农作物种质资源共享利用办法(试行)》^[14]目的是规范我国作物种质资源规

范利用和共享。

3.2 运行体系

美国国家植物种质资源系统(简称NPGS)的主管部门是美国农业部农业研究服务署(USDA-ARS)。NPGS的运行受到多个委员会的管理和指导:1)国家遗传资源咨询委员会由美国农业部、能源部、国立卫生研究院等跨部门人员组成,是作物、林木、畜禽、水产动物、微生物等各领域种质资源管理的最高官方机构;2)作物种质资源管理专门机构包括国家植物种质资源协调委员会和地区性技术咨询委员会,前者从全国层面来协调植物种质资源方面的政策和活动,后者则主要关注区域内的相关事务;3)作物种质资源委员会是NPGS的重要咨询机构,从种质资源收集、保存、鉴定、利用等具体业务环节上指导NPGS的工作,目前共设立44个委员会,涵盖了玉米、小麦、大豆、棉花、苹果、牧草等美国的重要作物。美国植物种质资源保存和利用的实体机构由分布在全国的22个种质基因库组成。其中位于科罗拉多州科林斯堡的国家种子保存实验室保存着所有种质的复份材料,该站点拥有 $\geq 5\,000\text{ m}^3$ 的庞大冷库空间,占NPGS系统冷库空间的1/2;该站点的另一重要任务是开发种质资源的保存方法。位于马里兰州贝尔茨维尔的国家种质资源实验室并不保存种质材料,主要负责种质资源的考察收集、管理系统和国际交换等方面的技术开发。

我国作物种质资源保护和管理的主管部门是农业农村部种业管理司,而农业生物物种资源产地环境保护、外来物种管理则由科技教育司负责。作物种质资源保护和利用的具体业务由农业农村部农作物种质资源保护与利用中心负责,该中心设立在中国农科院作物科学研究所,成员单位以农科院系统为主,也包括部分高校。目前该体系由分布在29个省份的73个站点组成,包括1个长期库、1个备份库、16个中期库、53个资源圃和2个试管苗库^[7-8]。中国国家农作物种质资源委员会成立于2013年,其职责包括:1)协调全国农作物种质资源的管理工作,负责研究提出国家农作物种质资源发展战略和方针政策;2)指导编制农作物种质资源中长期发展规划;3)审定可供利用和可对外交换的农作物种质资源目录;4)对制定农作物种质资源鉴定和保护国家标准、国家种质库圃职能定位等提出建议,拟定

国家种质圃管理。对比两国运行体系可以发现,我国和美国的种质资源资源管理分别采用垂直化和扁平化的管理方式。

3.3 管理平台

高度信息化的种质资源管理不但能有序保管好资源,更能提升资源的使用率。美国种质资源信息网(GRIN, <https://www.ars-grin.gov/>)存储着国家遗传资源计划内植物、动物、微生物的种质资源信息,该网络不仅是内部工作人员录入和维护数据的重要途径,也是合作者和需求者查询和申请种质资源的主要途径。该平台具有类似文献数据库

的基本检索、表单检索和高级检索的功能,结果页面不仅展示详细文字信息,还提供大部分样品的实物照片(图1),以便需求者准确、快捷地查样品。该网站采用购物网站的设计,对选中的种质资源材料直接添加到购物车进行提交申请,无需再次填写材料自身信息,节省申请时间。为加强国际合作,技术人员拓展开发了全球种质资源信息网络(GRIN-Global),使得美国作物种质资源能在全球范围内进行交换和使用,进一步提升了种质资源的使用率。平台数据显示,2019年平台的浏览量为330万次,超过21万的客户对40.5万的材料提出了使用需求。

The screenshot shows the 'Simple Search' tab selected. Below the tabs, a message reads: 'The more information you provide, the better the search will be.' There is a search bar with the placeholder text 'e.g., PI 651649' and a 'Search' button. To the right of the search bar is a 'Clear All' button. Below the search bar, there are several input fields: 'Scientific name (any part, no hybrid symbols)' with a placeholder 'e.g., Zea or mays (also searches synonym)', 'Plant name' with a placeholder 'e.g., Rufa', 'Genebank', and 'Country of Origin' with a dropdown menu showing 'Afghanistan', 'Albania', and 'Algeria'.

(a) 检索页面 Search page

The screenshot shows the 'Summary Data' tab selected. It displays a table with two columns: 'Summary Data' and 'Availability'. The 'Summary Data' column contains the following information: Taxonomy: *Oryza sativa* L., Top Name: Bowman, Origin: Developed - Mississippi, United States, Maintained: National Small Grains Collection, Received by NPGS: 18 Aug 2011, Improvement Status: Cultivar, Reproductive: Uniformity: Pureline, Form Received: Seed, Life Form: Annual, Life Cycle: Annual, Backup Location: National Laboratory for Genetic Resources Preservation. The 'Availability' column contains a table with two columns: 'Form' and 'Quantity'. It shows 'Seed' and '5 gram'. Below the table, it says 'Showing 1 to 1 of 1 entries'. At the bottom, there is a section titled 'Images (2 total. Click on image for more.)' with a small image of a plant.

(b) 申请页面 Application page

The screenshot shows the 'Results' tab selected. It displays a table with columns: 'ACCESSION', 'PLANT NAME', 'TAXONOMY', 'ORIGIN', 'GENEBANK', 'IMAGE', and 'AVAIL'. The table contains three rows of data. The first row is for accession PI 648430, plant name High Methionine Mo17, taxonomy Zea mays L. subsp. mays, origin Minnesota, United States, genebank NCT, and image of a plant. The second row is for accession PI 648432, plant name S8803 Mo17 (Meth) BCS3, taxonomy Zea mays L. subsp. mays, origin Minnesota, United States, genebank NCT, and image of a plant. The third row is for accession PI 690582, plant name 'CML 77', taxonomy Zea mays L. subsp. mays, origin Ciudad de México, Mexico, genebank NCT, and image of a plant. Each row has a checkbox and a shopping cart icon.

(c) 结果页面 Result page

图1 美国种质资源信息网检索示例

Fig. 1 Examples of searching in US crop germplasm resources information website

当前,我国种质管理平台是依托中国农科院作物科学研究所的中国作物种质信息网(<https://www.cgris.net/>)。该平台呈现了粮食、纤维、油料、蔬菜、果树等160多种作物的种质信息,其中60个种类的材料是开放获取的。该平台以列表的形式开展种质信息的检索和样品信息的展示,字段包括品种名、科种名、来源、生育期等各种信息(图2)。但对于检索结果的展示限于1个品种/页面,无法进行快速的对多个品种进行浏览和比较;对于材料的

申请则需要手动输入相关信息而不是链接到数据库的信息。该网站目前总访问量为1400多万次,按照网站发布信息较早的2015年为起始年测算,每年网站的访问数量是160万次,约为美国网站的1/2。2023年《农作物种质资源共享利用办法(试行)》^[13]提到了即将运行的国家农作物种质登记系统,但从公开的信息来看该系统主要面向种质资源的登记环节。与美国的管理平台相比,我国现有的管理系统不便于使用者查询和申请,亟需更新。



图2 中国作物种质信息网检索示例

Fig. 2 Examples of searching in Chinese crop germplasm resources information website

3.4 经费及项目

作为公益性质的种质资源管理,充足且稳定的经费和项目支持是不可缺少的。美国NPGS系统的主要经费来自于年度经常性拨款,2020年的拨款为3 810万美元,平均到每个作物和每份材料的年均拨款数约为21万和181美元。另外,NPGS系统还与大学、育种单位保持密切合作,由这些单位提供研究经费、分担设备和人员费用,以便减轻系统运营的经费压力。自2013年“301号国家项目”实施以来,美国NPGS系统承担了2 145个项目,尽管2013年只有5项,但到2018年(即该项目的第二个五年行动计划)已经陡增至350项,此后都稳定在220项/年以上(表3)。这些项目以合作居多,前后五年的合作比例分别为83.7%和76.9%,而有经费

资助的项目比例达到56.9%。项目经费来源较为广泛,其中来自农业部以外的项目为787项,占比为64.5%,其他35.5%的项目来自农业部内部,包括部内其他局的131个项目和NPGS系统自设的303个项目。美国国家科学基金(NSF)是美国主要的科研资助联邦机构,NSF在1964年设立种质资源相关最早的项目—“世界水稻种质资源的描述与保存”。截止2023年,NSF资助的植物种质资源相关项目共199项,2004年前,每年平均资助3项,2005—2023年资助7项/年;项目的平均资助强度为150万美元/项,其中标准项目为57万美元/项,而连续项目达到240万美元/项。自“301号国家项目”实施以来的11年中,NSF共资助了77个相关项目,经费达1.2亿美元,平均每年1 100万美元。

表3 2013—2023年美国NPGS系统承担的作物种质资源项目

Table 3 Crop germplasm resources projects undertaken by the US NPGS System during 2013—2023

年份 Year	项目数 Number of projects	占比/% Percentage		项目经费来源占比/% Percentage of sources		
		合作 Cooperation	经费支持 Budget	农业部外 Out of USDA	农业部内其他局 Other bureaus in USDA	NPGS
2013—2017	444	83.7	51.6	72.5	22.3	5.2
2018—2023	1 701	76.9	58.3	62.6	8.1	29.3
2013—2023	2 145	78.3	56.9	64.5	10.7	25.1

注:数据来自美国农业部-农业研究服务署网站(<https://www.ars.usda.gov/research/projects/>)。

Note: Date from USDA-ARS website(<https://www.ars.usda.gov/research/projects/>)。

我国没有作物种质资源年度拨款情况的公开渠道,但国家对相关工作的支持也包括日常运营和项目研究。通过检索农业农村部最新公布的73个国家级农作物种质资源库(圃)所在各单位网站的查

询,按照每个作物种质库配备10位和每个资源圃配备4位工作人员测算,则我国专职从事种质资源的工作人员为394人,与美国的303人(其中含55个临时人员)相当。自2015年中共中央深化体制机制改

革以来,国家重大科技专项、国家重点研发计划和国家自然科学基金成为支持中国科研的主要科技计划。国家重点研发计划的七大农作物育种专项和农业生物种质资源挖掘与创新利用专项设立了农作物种质资源方面的研究项目,前者“十三五”期间共安排 22.0 亿元经费,后者在 2021—2023 年已经安排 9.5 亿元经费。这些经费主要投向四大主粮作物开展基因鉴定和品种创制,其中“十三五”和“十四五”期间与农作物种质资源保护直接相关的项目经费分别为 3.27 亿和 3.25 亿元。2018—2023 年结题的国家自然科学基金(NSFC)项目中与农作物种质资源相关的项目有 103 个,总经费 2 600 万元,平均 54 万元/项;这些项目主要是围绕基因挖掘、抗性机理、遗传关联性开展研究,研究对象除四大主粮作物外,更多的是蔬菜、水果等经济作物和地区特色作物。

综上,中、美两国在人员工资上都有较多支出,也都设立了少量公开的国家级项目,但美国还针对

种质资源管理人员设立了专门项目,为种质资源研究工作的开展提供更大便利。

4 学科与研究方向

政府政策和项目的倾向性会在学术论文中有所体现,论文的研究方向也在一定程度上反映政策的导向性。2014—2023 年全球发表的 SCI/SSCI 收录的作物种质资源研究性论文 17 102 篇,中国和美国分别以 3 646 篇和 3 347 篇论文位居第 1 和第 2 位。从全球范围来看,种质资源最主要的研究集中在作物学,论文占比达到 56.5%,遥遥领先于第二位的系统发育学/基因组学的 6.1%;我国作物学的论文占比更是超过 60%,但美国作物学的论文占比相对偏低,为 57.2%(表 4)。我国与美国的第 2 和第 3 大学科完全不同,我国偏重于系统发育学/基因组学和植物化学物质的研究,而美国关注植物病理学和植物病毒学。

表 4 中、美两国作物种质资源研究 TOP 3 学科
Table 4 TOP 3 disciplines on crop germplasm resources from China and US

国家 Country	TOP 1		TOP 2		TOP 3	
	名称 Name	占比/% Percentage	名称 Name	占比/% Percentage	名称 Name	占比/% Percentage
中国 China	作物学 Crop science	60.7	系统发育学/基因组学 Phylogenetics & Genomics	10.4	植物化学物质 Phytochemicals	3.7
美国 USA	作物学 Crop science	57.2	植物病理学 Plant pathology	11.6	植物病毒学 Virology - Plant	3.5

注:数据来自 Web of Science 数据库 (www. webofscience. com)。
Note: Date comes from Web of Science Database (www. webofscience. com).

文献统计结果显示,QTL (quantitative trait locus)是近 10 年作物种质资源的主要研究方向,其论文占全球、中国、美国作物种质资源论文的比例分别为 31.9%、32.0% 和 32.9%(表 5)。与高比例的 QTL 相比,中美两国第 2 到第 5 位研究方向的占比都较低,并且两国的关注点也完全不同:我国第 2—5 位的研究方向是盐胁迫 (5.9%)、微卫星 (5.4%)、拟南芥 (4.2%)、线粒体基因组 (3.3%),美国第 2—5 位的研究方向则是粮食产量 (5.2%)、棉酚 (5.1%)、根结线虫 (3.6%)、包被蛋白 (2.9%)。从年度分布来看,早期部分研究方向的集中度更大,2014 年 QTL 分别占我国和美国的

92.0% 和 60.9%,2017 年分别降至 47.3% 和 54.7%,2023 年仅占 14.2% 和 8.3%。可见,我国对作物种质资源的理论研究较多,而美国对种质资源应用的研究较多;另外,我国主要研究方向论文各年度占比的较大波动性在一定程度上反映出相关研究的稳定性较低。

SSR 标记、SNP 标记和 GWAS 全基因组关联研究是生物信息学研究中具有代表性的 3 种技术,分别出现在 1980 年代、1990 年代和 2000 年前后。在全球范围种质资源相关论文中出现这三种技术的最早时间分别是 1994、2001 和 2006 年;美国发表相关论文的最早时间分别是 1994、2001 和 2009 年,

表5 全球以及中美两国作物种质资源研究TOP 5方向

Table 5 TOP 5 research directions on crop germplasm resources all over the world and from China and US

排序 Rank	全球 Global	中国 China	美国 US
TOP 1	QTL (31.9%)	QTL (32.0%)	QTL (32.9%)
TOP 2	粮食产量 (5.5%) Grain yield	盐胁迫 (5.9%) Salt stress	粮食产量 (5.2%) Grain yield
TOP 3	盐胁迫 (3.7%) Salt stress	微卫星 (5.4%) Microsatellites	棉酚 (5.1%) Gossypol
TOP 4	微繁殖 (3.6%) Micropropagation	拟南芥 (4.2%) <i>Arabidopsis</i>	根结线虫 (3.6%) Root-knot nematode
TOP 5	微卫星 (3.4%) Microsatellites	线粒体基因组 (3.3%) Mitochondrial genome	包被蛋白 (2.9%) Coat protein

注:括号中为占比。
Note: Numbers in parentheses are proportion of papers.

论文数量分别为1 037、1 166、581篇;我国发表相关论文的最早时间分别是1994、2003和2009年,论文数量分别为3 079、1 273、664篇。以经历时长来看,我国经过23、20和15年达到SSR、SNP和GWAS论文的高峰,而美国到达论文高峰分别经历了18、16、11年(图3)。对于早期的SSR分子标记技术,中美两国论文的数量相差悬殊,比例是3:1,并且美国

论文在2012年达到高峰后就逐年下降,而我国的论文在2017年之后仍有较高产出;对于新兴的SNP和GWAS技术,中美两国论文的数量非常接近,比例约为10:9,并且我国对SNP的研究还处于稳定上升期。可见,我国将新兴技术应用到种质资源的研究比全球和美国略晚,要经历更长的时间才达到新技术的研究高峰。

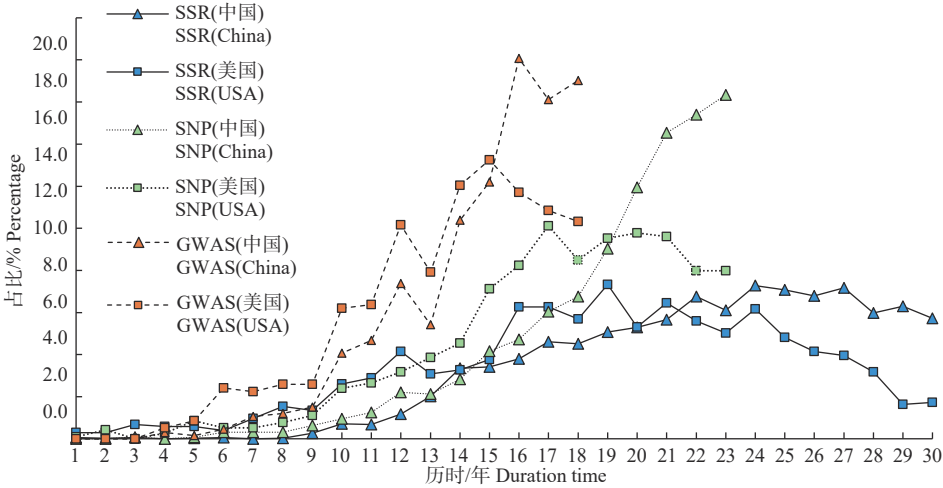


图3 中、美两国含有SSR、SNP和GWAS主题的种质资源论文的年度占比

Fig. 3 Annual distribution of papers with topic of SSR, SNP and GWAS from China and US

5 国际合作

2014—2023年,中美两国分别发表相关论文

3 646和3 347篇,其国际合作论文的占比分别是25.6%和25.5%,合作国家的数量分别为932和853,篇均合作国家的数量为2.6和2.5个(表

6)。第一作者国家为中国的论文有 3 300 篇,合作国家为 69 个,国际合作论文的占比为 17.8%;第一作者国家为美国的论文仅有 2 377 篇,但合作国家多达 94 个,并且国际合作论文的占比为 24.8%,高于中国 7 个百分点。我国合作最多的 5 个国家是美国、巴基斯坦、澳大利亚、加拿大和墨西哥,合作论文占中国为第一作者国家论文的 13.0%,除了巴基斯坦是中国的友好近邻,其他 4 个国家都有着丰富的种质资源。美国合作最多

的 5 个国家是中国、巴西、加拿大、墨西哥和法国,合作论文占美国为第一作者国家论文的 12.5%。印度和巴西是农业大国,也有着丰富的作物种质资源^[14],但这 2 个国家分别排在中国合作国家的第 9 和第 29 位,而它们分别是美国第 6 和第 2 位的合作国家。可见,中美两国在作物种质资源研究方面均开展了广泛的国际合作,但是中国的国际合作广度与美国相比还有一定差距,与部分种质资源较为丰富的国家的合作略显不足。

表 6 中、美两国作物种质资源论文国际合作的比较				
Table 6 Comparison of international cooperation on crop germplasm resources papers between China and US				
比较项目 Comparison item	全部论文 All papers		第一作者论文 Papers with 1 st authorship	
	中国 China	美国 USA	中国 China	美国 US
论文数量 Number of paper	3 646	3 347	3 300	2 377
国际合作论文占比/% Percentage of paper with international cooperation	25. 6	25. 5	17. 8	24. 8
国际合作论文参与国家数 Country number in international cooperative paper	103	129	70	95
国际合作论文篇均参与国家数 Country number per paper with international cooperation	2. 6	2. 5	2. 3	2. 5
TOP 5 合作国家的论文占比/% Paper percentage with TOP 5 cooperative countries	20. 3	25. 7	13. 0	12. 5
TOP 10 合作国家的论文占比/% Paper percentage with TOP 10 cooperative countries	25. 2	37. 6	15. 8	18. 5

6 启 示

我国是种质资源的大国,有着丰富的作物种质资源,在研究和推广中均取得了可喜成绩,但还存在以下问题:1)作物种质资源作用的发挥还需进一步提升;2)管理信息化手段不足,不利于种质材料的检索、分发和使用;3)种质资源研究创新力度不够,对新兴技术缺少足够的敏感性和预见性;4)种质资源研究专项资金偏低,不利于专职人员的稳定工作;5)国际合作仍需加强,尤其与某些种质资源丰富国家的合作太少。

基于上述分析,我国应从以下方面加强对作物

种质资源的管理,以便使我国早日从种质资源大国走向种质资源强国。

1)积极应对国际形势挑战,及时调整规划目标,加强共享制度建设。应对国际新形势和新兴技术,制定阶段性规划,调整相关目标。将资源利用和资源保存放到同等重要位置,重视表型鉴定和基因型鉴定的重要作用,确定需优先开展评估和鉴定的品种,分阶段明确鉴定比例。完善相关制度和政策,加强野生近缘种和特有品种的保护和利用。鼓励国内具有优势的高校、育种科研单位参与种质资源的鉴定,明确资源提供者和育种者的权益分配方式,促进种质资源共享共用。

2)改革项目立项机制和人员考核机制,稳定人员队伍。统筹安排种质资源研究的项目经费,通过设立专项项目或者定向合作的方式保证专职人员有相应的经费开展种质资源保存和利用的研究。改变专职人员的考核机制,变考核论文为考核服务,将种质资源的利用情况作为重要考核指标之一。赋予农业农村部农作物种质资源保护与利用中心更多的管理职能,使得全国种质资源管理统一化。

3)提高管理的信息化程度,方便查询和使用资源。建立和完善全国统一的种质资源管理平台,将全国所有国家级种质库(圃)的种质资源纳入管理,同时鼓励高校、科研院所和公司将自有种质资源提交平台。要实现所有种质材料的电子化管理,尽可能录入材料的电子照片,并且要将关联照片等资料向使用者开放。进一步优化种质资源的使用流程,提升种质材料的分发数量。

4)继续加强国际合作,同时注重知识产权保护。利用“一带一路”倡议拓展科技合作,强化与南亚、西亚和非洲等传统友好国家的合作,拓展与南美洲和大洋洲等资源丰富国家之间的合作。在合作中可以通过设立研究基金、提供技术支持、开展材料交换、分享品种收益等方式来掌握合作中的主动权。在合作中要贯彻对等、互利、共赢的原则,加大我国特有作物种质资源的知识产权保护,禁止优质资源流失海外,杜绝“种中国豆、侵美国权”现象的再次发生。

参考文献 References

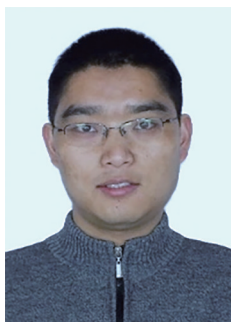
- [1] 李自超, 张洪亮, 孙传清, 王象坤. 植物遗传资源核心种质研究现状与展望[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(5): 51-62
Li Z C, Zhang H L, Sun C Q, Wang X K. Status and prospects of core collection in plant germplasm resource[J]. *Journal of China Agricultural University*, 1999, 4(5): 51-62 (in Chinese)
- [2] 刘旭, 李立会, 黎裕, 方渤. 作物种质资源研究回顾与发展趋势[J]. 农学报, 2018, 8(1): 10-15
Liu X, Li L H, Li Y, Fang W. Crop germplasm resources: Advances and trends[J]. *Journal of Agriculture*, 2018, 8(1): 10-15 (in Chinese)
- [3] 卢新雄, 辛霞, 尹广鹏, 张金梅, 何娟娟. 作物种质资源库、保护体系与种业振兴[J]. 中国种业, 2021(11): 1-5
Lu X X, Xin X, Yin G K, Zhang J M, He J J. Crop germplasm resource bank, protection system and seed industry revitalization[J]. *China Seed Industry*, 2021(11): 1-5 (in Chinese)
- [4] Quick J S, Nkongolo K K, Meyer W, Peairs F B, Weaver B. Russian wheat aphid reaction and agronomic and quality traits of a resistant wheat [J]. *Crop Science*, 1991, 31(1): 50-53
- [5] 黎裕, 王天宇. 美国植物种质资源保护与研究利用[J]. 作物杂志, 2018(6): 1-9
Li Y, Wang T Y. Preservation and researches on plant germplasm resources in the USA[J]. *Crops*, 2018(6): 1-9 (in Chinese)
- [6] 刘旭. 四十年改革开放 几代人梦想成真: 记中国作物种质资源 40 年发展巨变[J]. 中国种业, 2019(1): 1-7
Liu X. Forty years of reform and opening-up and the dream of generations coming true: Recording the great changes in the development of crop germplasm resources in China in the past 40 years[J]. *China Seed Industry*, 2019 (1): 1-7 (in Chinese)
- [7] 农业农村部. 关于第一批拟确定国家级农作物、农业微生物种质资源库的公示[EB/OL]. (2022-08-10) [2024-03-01]. http://www.zzj.moa.gov.cn/gsgg/202208/t20220810_6406720.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Announcement on the first proposed national banks of crop and agricultural microbial germplasm resource [EB/OL]. (2022-08-10) [2024-03-01]. http://www.zzj.moa.gov.cn/gsgg/202208/t20220810_6406720.htm (in Chinese)
- [8] 农业农村部. 中华人民共和国农业农村部公告第 745 号[EB/OL]. (2024-02-28) [2024-03-01]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2024/202402/202402/t20240228_6449192.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Announcement No 745 of the ministry of agriculture and rural affairs of the People's Republic of China [EB/OL]. (2024-02-28) [2024-03-01]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2024/202402/202402/t20240228_6449192.htm (in Chinese)
- [9] 农业农村部, 国家发展改革委, 科技部. 全国农作物种质资源保护与利用中长期发展规划(2015—2030 年) [EB/OL]. (2015-04-29) [2024-03-01]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/si/201711/t20171129_6134098.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Development and Reform Commission, Ministry of Science and Technology. National medium and long-term plan for the conservation and utilization of crop germplasm resources (2015-2030) [EB/OL]. (2015-04-29) [2024-03-01]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/si/201711/t20171129_6134098.htm (in Chinese)
- [10] United States Department of Agriculture- Agricultural Research Service. The national strategic germplasm and cultivar collection assessment and utilization plan[EB/OL]. (2023-11-20) [2024-03-01]. <https://www.ars.usda.gov/news-events/news/research-news/2023/usda-introduces-a-multi-year-plan-to-strengthen-us-genebank-management-of-plant-germplasm/>
- [11] 中国新闻网. 全国农作物种质资源普查已收集超 11 万份资源[EB/OL]. (2022-07-29) [2024-03-01]. <https://www.chinanews.com.cn/cj/2022/07-29/9815444.shtml>
Chinanews. The national survey of crop germplasm resources has collected over 110,000 resources [EB/OL]. (2022-07-29) [2024-03-01]. <https://www.chinanews.com.cn/cj/2022/07-29/9815444.shtml> (in Chinese)
- [12] United States Department of Agriculture- Agricultural Research Service. National Program 301: Plant genetic resources, genomics and genetic improvement: Action plan 2023-2027 [EB/OL]. (2022-1-31) [2024-03-01]. <https://www.ars.usda.gov/crop-production-and-protection/plant-genetic-resources-genomics-and-genetic-improvement/docs/action-plan-2023-2027/>
- [13] 武晶, 郭刚刚, 张宗文, 王述民. 作物种质资源管理: 现状与展望[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(3): 627-635
Wu J, Guo G G, Zhang C W, Wang S M. Management of crop germplasm resource: Advances and perspectives [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, 23(3): 627-635 (in Chinese)
- [14] 农业农村部农作物种质资源保护与利用中心. 关于印发《农作物种质资源共享利用办法(试行)》的通知[EB/OL]. (2023-03-03) [2024-03-01].

<https://ics.caas.cn/xwdt/tzgg/502a5643a16e4ca89d09fd61ef70cfdd.htm>
The Crop Germplasm Resources Conservation and Utilization Center of
the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Issuance of the Measures
for the sharing and utilization of crop germplasm resources (trial) [EB/
OL]. (2023-03-03) [2024-03-01]. [https://ics.caas.cn/xwdt/tzgg/](https://ics.caas.cn/xwdt/tzgg/502a5643a16e4ca89d09fd61ef70cfdd.htm)
502a5643a16e4ca89d09fd61ef70cfdd.htm (in Chinese)

[15] 陶梅, 胡小荣. 巴西植物遗传资源保护与对外交流管理[J]. 植物遗传资源
学报, 2007, 8(4): 494-497

Tao M, Hu X R. Plant genetic resources conservation and international
exchange management in Brazil[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*,
2007, 8(4): 494-497 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅



第一作者简介: 李红军, 博士, 中国农业大学图书馆副研究馆员, 硕士生导师, 主要从事科技情报、科技前沿挖掘、科技人才评价、智慧图书馆方面的研究。主持和参与国家自然科学基金项目、CALIS项目、BALIS项目、中央高校基本科研业务费项目、中国工程院咨询项目、农业农村部、科技部等部门委托项目等 14 项, 在《中国农业大学学报》、*Journal of Librarianship and Information Science*、*SN Social Sciences* 等期刊发表学术论文 16 篇。