

浙江省实施国家西兰花育种联合攻关的成效与经验

冯 玥¹ 何卫军¹ 顾宏辉² 吴早贵¹

(¹浙江省种子管理总站,杭州 310020;²浙江省农业科学院,杭州 310021)

摘要:围绕浙江省牵头实施的国家西兰花育种联合攻关,系统梳理了攻关组织体系建设、技术创新突破、品种示范推广及产业化推进等工作。攻关组建立“产学研用推”一体化组织体系和合作共享机制,突破小孢子培养、营养快速检测、抗性鉴定及高产制种等关键技术,建设全国性联合测试与示范推广平台,2024年自主培育西兰花品种全国推广占比提升至37.5%,浙江省内达82.0%。通过总结浙江省在机制保障、协同创新及成果转化方面的实践成效,形成可复制推广的“浙江经验”。展望未来,攻关组将推进专用型与功能性新品种创制、品种保护机制优化及绿色生产技术集成,为我国特色作物种业高质量发展提供借鉴与参考。

关键词:西兰花;联合攻关;进口替代;种业振兴;浙江经验

Achievements and Lessons from the National Joint Research Program on Broccoli Variety Improvement in Zhejiang Province

FENG Yue¹, HE Weijun¹, GU Honghui², WU Zaogui¹

(¹Zhejiang Provincial Seed Management Station, Hangzhou 310020; ²Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021)

西兰花又称青花菜,是十字花科芸薹属甘蓝的一个变种,原产于地中海地区^[1]。其主要可食用部分为花蕾与花茎组成的花球,富含蛋白质、萝卜硫素和吲哚-3-甲醇等生物活性化合物,被誉为“蔬菜皇冠”^[1-2]。截至2024年,我国西兰花栽培面积已发展至近11万hm²(160万亩),约占全球总面积的1/3,是出口创汇和居民膳食的重要蔬菜品类。然而,与我国作为全球重要生产国的地位形成鲜明对比的是,我国西兰花种业长期受制于国外。2018年以前,进口品种占据国内市场份额的95%以上^[3],导致“产业虽大、种业却弱”的被动局面。

种子是实现农业农村现代化的根本,党中央、国务院一直高度重视种业发展。“十三五”期间的全国农业现代化规划,明确提出要“推进现代种业创新发展”“推进联合育种”^[4]。2018年农业农村部在聚焦产业需求和问题导向和已开展的四大作物

良种重大科研联合攻关基础上,选择西兰花等11种特色作物实施开展国家良种重大科研联合攻关。随着农业科技的进步、农业现代化的加速发展以及内外部环境的深刻变化,2021年中央全面深化改革委员会第二十次会议审议通过《种业振兴行动方案》,紧紧围绕种业科技自立自强、种源自主可控的目标,在重点农作物开展育种创新攻关、种业联合攻关。从2022年开始,在全国逐渐形成以十大优势企业自主攻关为塔尖、十大主要粮食和重要畜禽联合攻关为塔身、64个重要特色物种联合攻关为塔基的“金字塔”式国家育种攻关阵型^[5]。西兰花作为64个重要特色物种之一继续开展联合攻关工作。

依托在西兰花育种及产业领域长期积累的优势^[6],浙江省牵头实施国家西兰花育种联合攻关(以下简称联合攻关)^[7]。本文围绕联合攻关的整体实施情况,通过梳理联合攻关组织体系建设、技术创新突破、品种示范推广及产业化推进等工作内容,总结了浙江省在机制保障、协同创新方面的实践经验。

基金项目:农业农村部国家西兰花育种联合攻关(2018–2026)

通信作者:吴早贵

本文重点提炼了可复制推广的“浙江经验”,并在此基础上展望下一步联合攻关重点,为我国特色作物种业高质量发展提供参考和借鉴。

1 主要工作与成效

1.1 建立联合攻关组织体系 联合攻关组构建了“产学研用推”一体化的组织体系,形成了目标明确、分工合理、协同紧密的创新格局。联合全国 28 家具有研发实力和市场影响力的种业企业、高校、科研机构及推广应用单位力量,围绕“替代进口、引领全国、带动产业”总体目标,实行统筹攻关、分工合作,构建了资源共享、技术共建、成果共赢的协同机制。高校和科研机构承担优异种质资源的鉴定与发掘、育种关键技术研究及基础材料创制等公益性、基础性任务,为新品种培育提供技术支撑和创新源头;科研单位与种业企业协同开展优良亲本选育与新组合配制,推动科研成果向应用转化;种业企业和推广应用单位负责新组合的筛选、苗头品种测试及区域示范推广,确保成果快速落地与产业化应用;同时依托农业技术推广体系,开展示范展示、技术培训和品种推介,实现科研、生产、应用与推广的全链条贯通,构建起高效协同的西兰花育种联合攻关体系。

1.2 建立合作共享体系 为协同利用联合攻关组各成员单位的优势资源,联合攻关启动之初就积极探索和创新建立合作共享机制,形成了切实协同创新模式。针对西兰花种质资源匮乏问题,联合攻关组全体成员单位共同签署了《人才资源信息共享协议》,制定了《西兰花育种资源成果共享与收益分配管理办法》,明晰了西兰花育种资源产权归属与收益权分配比例,以此促进种质材料共享共用。联合攻关组基于西兰花基因组重测序信息,开发了 100 个 KASP 分子标记,建立了种质材料亲缘关系分子鉴定技术,完成了联合攻关组 415 份种质材料间的遗传多样性分析,实现了从基因型鉴定到材料流通的实质性共享。截至目前,联合攻关组内 7 对单位间共 56 份不育系材料实现了共享共用,通过种质资源的共享利用配制出的新组合已陆续进入联合测试平台开展测试评价。

1.3 建立技术攻坚体系

1.3.1 小孢子培养技术 单倍体诱导技术是加速亲本创制、缩短育种周期、提高育种效率的重要手段。西兰花具有显著杂种优势,但利用 F_1 杂交种进行自交纯

化及获取稳定不育系需 6~7 代,且作为典型绿体春化型作物,自交 1 代通常需要 1 年,导致育种周期长、效率低下^[1]。联合攻关组首席单位浙江省农业科学院蔬菜研究所团队率先建立了高效小孢子培养技术体系。联合攻关组进一步完善了以出胚、胚发育、成苗培养、成苗移栽与炼苗、大田生长、倍性检测等为核心环节的工厂化生产体系,实现双单倍体纯系的工厂化生产,种质纯化所需时间从 5~6 年缩短至 1 年,显著提高了育种效率,成为种质创制的重要技术手段,并在攻关组内共享共用,对丰富育种材料具有重要意义。

1.3.2 营养品质快速检测技术 联合攻关组建立了西兰花营养品质和次生代谢物快速检测的高通量表型获取技术体系。针对种子,开发了芥子油苷的高效液相色谱检测方法,明确了脂肪族与吲哚族芥子油苷的组分分布及遗传多样性,并结合气相色谱—火焰离子化检测方法,实现了包括萝卜硫素在内的 16 种代谢产物的检测,为高萝卜硫素新种质与品种创制提供技术支撑。针对花球,创建了西兰花主要营养品质成分的近红外快速测定方法,构建了可溶性蛋白质、总糖、类胡萝卜素、维生素 C 等 7 种成分的分析模型,实现样品无需化学处理即可快速、绿色、无损、高精度分析。该技术体系为西兰花品质育种及大规模表型数据获取提供了高效可靠的工具。

1.3.3 抗性鉴定技术 为提高西兰花抗病育种的效率和精准性,联合攻关组建立了系统化、标准化的西兰花根肿病、黑腐病和枯萎病抗性精准接种鉴定技术体系。该体系首先明确了各病害的病原菌生理小种及其致病特性,规范了接种菌液的制备流程,统一了接种方法和培养环境,同时制定了科学的抗性分级标准及评价方法,并提出了接种后菌土处理、残苗清理及实验室安全操作规范。不仅显著提高了抗性鉴定结果的重复性和精准度,还为西兰花抗病种质材料筛选、抗病基因挖掘、抗病品种选育和抗病机制研究提供了全面可靠的技术支撑,促进了抗病育种的规范化和高效化发展。

1.3.4 高产制种技术 尽管我国自主育成品种已初步实现“进口替代”,但制种产量偏低、种子质量不稳定等问题仍在很大程度上制约了新品种推广。联合攻关组组织 6 家单位开展高产攻关,探明了 SRK 基因两个亲和位点 K4K7 和 P1P4 同时出现在同一材料中将显著降低结实率^[8],继而通过分子标记技

术结合杂交测试指导双亲选择,从而提高杂交结实率,这是前期对核心种质开展重测序和分子标记开发成果的重要应用之一。

此外,联合攻关组还建立了以父母本播期、种植比例、种植密度、割球时间、留花枝数及授粉方式为核心的杂交高产制种关键技术。针对南方春季高湿环境及设施内病害频发的特点,提出了“三控一补高产制种技术”。通过制种攻关,联合攻关组提出了西兰花制种技术规范,在全国建立了10余个稳定的制繁种基地,制种面积超100hm²(1500亩),制种大棚2000余个,部分主推品种每667m²攻关制种产量已超过30kg,最高可达40kg以上,相较5年前提升约30%;同时种子饱满度和发芽整齐度也显著提高,成功补齐了品种进口替代的最后短板,为我国西兰花种子自给提供了重要保障。

1.4 建立品种测试体系 联合攻关组逐步在天津、河北、云南、福建等13个省(市)完善搭建全国性联合测试平台,即在不同生态区动态调整建立3个一级测试点、13个二级测试点和1个新品种核心示范点,分3个梯度开展替代国外品种,或适合国内消费需求且综合性状优良的苗头组合联合测试、展示、示范工作。近年来,累计开展了超4890个(次)品种的联合测试,分级筛选出50多个优异品种(组合),综合评价新品种(组合)的生产利用价值和适宜种植区域。通过全国联合测试平台能显著提升品种选育的效率,推动不同生态区筛选出适合当地的国产新品种,如台州市农业科学研究院选育的“台绿”系列、浙江美之奥种业股份有限公司选育的“美青”系列、中国农业科学院选育的“中青”系列、浙江省农业科学院选育的“浙青”系列、天津市农业科学院选育的“领秀”系列等品种得到大力推广和宣传。截至2024年,联合攻关组新选育品种推广面积已近4.0万hm²(达58.5万亩),在全国推广占比提升至37.5%,标志着国产化品种推广应用取得了阶段性突破。

此外,浙江省台州市作为全国西兰花新品种核心示范点,每年举办浙江西兰花新品种大会,全方位展示西兰花种业科技创新成果,有效促进成员单位间的交流与协作。台州市西兰花新品种核心示范点累计种植展示超200hm²(3000亩),集中展示优势组合(潜力品种)超1000个,累计推介发布优秀新品种75个。浙江西兰花新品种大会已成为西兰花领域中新

品种与新技术的全国性发布平台,树立了全国育种协同创新的省级示范样板。截至2024年,全省自主育成品种推广面积达到2.4万hm²(35.5万亩),推广占比高达82.0%,较2018年攻关实施前提升60余个百分点,较“十三五”收官阶段提升40个百分点,充分彰显了浙江省在西兰花种业振兴中的引领地位。

1.5 建立成果转化体系 联合攻关组积极推动企业和科研单位的合作,促进最新成果的转化应用。目前,已形成浙江美之奥种业股份有限公司与浙江省农业科学院、浙江勿忘农种业股份有限公司与台州市农业科学研究院、温州肇丰种苗有限公司与中国农业科学院蔬菜花卉研究所、浙江神良种业有限公司与上海市农业科学院、天津惠尔稼种业科技有限公司与天津市农业科学院等多个科企合作的典型案例,创新采用品种权使用、共同育种等方式,大幅提升了科研单位育成品种的成果转化效率和市场竞争力。在机制创新的驱动下,科企合作效益显著。截至2023年,浙江美之奥种业股份有限公司与浙江省农业科学院合作的西兰花种子销售额已突破1亿元,浙江勿忘农种业股份有限公司与台州市农业科学研究院合作销售额超过1.5亿元。总体上,由联合攻关组合作企业销售的西兰花种子已占国产品种市场的90%以上,成为我国蔬菜种业科企合作的成功典范,为自主品种产业化推广提供了有力支撑。

2 经验与启示

浙江省自牵头实施国家西兰花育种联合攻关以来,实现了关键育种技术研究、突破性品种选育、联合测试推广等环节的多点突破,明显成功扭转了进口品种垄断局面,探索形成了卓有成效的“浙江经验”。核心在于构建了政府主导、科研支撑、企业主体、多方协同的协同生态体系。通过多级联动、多元投入与多方共享,不仅有效破解了西兰花种业“受制于人”的局面,还实现了自主品种快速推广、产业生态构建与良种品牌提升。未来,这一经验模式可在更多特色作物育种联合攻关中复制推广,为我国种业振兴和产业高质量发展提供可操作的路径参考。

2.1 多级联动机制 浙江省探索建立了多级联动机制,实现政府、科研机构与企业的高效协同。组建了国家西兰花育种联合攻关领导小组,成员涉及浙江省农业农村厅以及浙江省农业科学院的多个部门,负责整体领导、协调与监督,并对联合攻关工作

进行跟踪考核和成果验收,确保各项任务顺利实施。还成立了以浙江省农业科学院为首席专家单位的西兰花联合攻关专家组,成员涵盖中国农业科学院蔬菜花卉研究所、北京市农林科学院、浙江美之奥种业股份有限公司、浙江省台州市农业科学研究院及天津科润农业科技股份有限公司等单位的专家,负责攻关方案制定、全程技术指导及服务。办公室设在浙江省种子管理总站,承担联合攻关日常管理工作,保障项目规范运行和有序实施,为各成员单位提供全方位服务支持。

2.2 多元投入机制 浙江省完善了国家和省级财政及企业等多层次、多渠道的资金投入机制,为西兰花联合攻关顺利开展提供了有力保障。在国家首次给予启动资金的基础上,浙江省设立省级“农业双强”种业创新平台与基地建设财政专项、省级农作物新品种选育重大科技专项,统筹省级“三农九方”等其他农业科研攻关项目资金,确保西兰花育种联合攻关每年科研经费保持在500万元左右,江苏、湖北、湖南、天津等省(市)设立种子种苗创新专项,为高水平协同创新提供稳定支撑。此外,积极强化企业创新主体地位,激发市场化投入动力,浙江美之奥种业股份有限公司、浙江勿忘农种业股份有限公司等企业以项目配套方式完善制繁种与育种基地建设等,每年自有资金投入育种研究均超千万元。截至目前,联合攻关带动各方累计投入资金约9000万元,为项目实施提供了坚实的财力支撑。

2.3 多方共享机制 浙江省通过多方共享机制,集中联合攻关组科研机构和企业优势力量,攻克关键共性技术难题,包括小孢子培养技术、西兰花40K液态芯片、基因编辑技术体系以及品质和抗性快速鉴定技术等,这些技术体系在攻关组内实现共享共用,有效避免重复研究,并显著提升了整体育种水平。在制繁种方面,联合攻关组攻克了制种环境选择、播种期安排、父母本搭配、病虫害防治、肥水调控及种子质量管控等关键技术,形成了稳定的制繁种技术规程并实现集成推广。在新品种示范推广方面,浙江省在台州建立了全国示范推广基地,通过田间观摩和年度西兰花品种大会展示良种攻关新成果,交流育种新技术与推广经验,推动新品种成果在全国范围共享应用,同时有效提升自主育成品种的社会影响力与良种品牌知名度。

3 下一步攻关重点

展望“十五五”,联合攻关组将进一步围绕“替代进口、引领全国、带动产业”总体目标,探索在西兰花专用型与功能性品种创制、品种保护与管理机制优化以及绿色防控技术突破等方面开展协同攻关,努力推动我国从“西兰花生产大国”向“西兰花种业强国”转型。

3.1 专用型、功能性品种创制 聚焦加工型和特色功能型品种创新,提升自主品种的商品性、适应性及国际竞争力。目前,我国自主选育西兰花品种类型还比较单一,缺乏专用或新型加工型品种,下一阶段可以探索开发综合性状达到(甚至超过)同类进口品种的保鲜速冻加工专用型国产西兰花新品种。同时,针对功能性品种短缺问题,可进一步筛选高胡萝卜素、高萝卜硫苷、高花青苷等的功能性新品种,并优化其配套栽培管理措施,进行开发应用,进一步丰富国产西兰花品种类型并提升产业发展潜力。

3.2 品种保护与管理机制优化 当前,国产西兰花品种仍面临品种保护通道不畅、育种投入及制种基地建设不足、自主育成品种亲本流失严重以及追责和维权困难等问题。为强化原始品种创新及保护,提高近似品种间的鉴别能力,“十五五”期间联合攻关组内部积极促进品种保护、制种基地建设以及实质性派生品种(EDV)制度的实施。充分利用联合攻关组基于靶向测序基因型检测技术开发的西兰花40K液态芯片以及DNA指纹图谱,为种质材料共享共用及品种权保护提供技术支撑。探索建立西兰花自主品种保护体系,重点针对实质性派生品种的阈值界定、鉴定方法与收益分享比例管理等,实现每份派生品种在品种权保护和知识产权管理上的可追溯性与可鉴定性,加强种业知识产权保护^[9]。

3.3 良种良法技术集成 新阶段将进一步推进绿色生产技术体系的集成应用,形成覆盖育种和栽培的全链条高效可持续发展模式。在良种方面,积极引入全基因组选择、高通量表型、人工智能等前沿技术,实现广适、耐逆、优质品种快速筛选与创制。在良法方面,推广普及水肥一体化管理、生理性病害综合防控体系,并结合环境监测、生物传感和模拟模型等智慧农作技术,实现花球品质与产量同步优化提升、病虫害早期预测与精准调控等,为管理决策提供

(下转第43页)

状复合种植面积均保持在 3334hm² 以上,但多数为大春种植,烟后种植较少,建议可将烟后大豆玉米带状复合种植比例提升 50%,其中腾冲市尽量将种植面积稳定在 1000hm² 以上,至少不低于 667hm²,关键是稳面提质,重点在提单产、提品质上下功夫。尝试在腾冲市界头镇、固东镇等旅游乡镇,探索“高标准复合种植示范区+农业观光”的农旅融合新模式,拓展农业多元化功能。

5 结语

大豆玉米带状复合种植技术基于传统间套作创新发展而来,模式的示范和推广极大地提高了农户的种植积极性,扩大了良种覆盖面,带动了养殖业及其他相关产业发展,对保障粮油安全、加快山区经济发展、巩固脱贫攻坚、助力乡村振兴具有重要意义。烟后玉米是烟叶采收至上二棚烟叶时套种或烤烟收获完后再种一茬玉米的种植模式,是近年来随着农业产业结构调整兴起的一种新模式,是科技增粮的重要举措,也是稳粮优经、提质增效的农业发展路径^[4]。通过结合保山本地生产实际,保山市农业科学研究院创新集成了烟后大豆玉米带状复合种植技术,集合了大豆玉米带状复合种植模式和烟后玉米种植模式的技术优势,将二者良好融合,成功将传统的“烟—油”一年两茬两熟制创新为“烟—玉、豆—油”一年三茬四熟四收模式,将烟地的“空闲期”转化为“增收期”,使大豆玉米带状复合种植更因地制宜,更具特色,使烟后玉米种植更丰富、更

(上接第 39 页)

科学依据。在良田方面,积极通过土壤改良、微生物调控等措施提升土壤健康水平,降低病害发生风险。通过标准化作业流程、田间示范推广及技术培训,在主产区全面推广“良种良法良田”协同模式,推动西兰花产业绿色升级、品质提升与高附加值发展,为打造国内领先、具国际竞争力的西兰花产业提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1] 王建升,沈钰森,虞慧芳,盛小光,宋蒙飞,顾宏辉. 中国西兰花育种研究进展. 浙江农业学报, 2024, 36 (8): 1934-1944
- [2] 李兆雨,丁轲,王亚钦,刘光敏,何洪巨. 西兰花营养活性物质的健康功能及富集调控机制. 农产品加工. <https://link.cnki.net/urlid/14.1310.S.20250918.0950.020>

优越,既能保留玉豆复合种植“稳粮增豆”的技术优势,还能发挥烟后玉米种植以复种为核心的技术优势,充分利用烤烟收获后闲置土地、余热、余肥及降水,最大限度增加复种指数,优化种植结构,达到间套作最优解,提升单位资源综合利用率。

烟后大豆玉米带状复合种植模式在保山市实现了从“成功示范”到“高效推广”的跨越,切实促进区域烟粮油协同发展,实现农业综合效益最大化,是促进农民增收、农村发展、农业增效的战略性举措,为保山市在新时代背景下保障粮油安全和推动农业绿色转型提供了强有力的支撑,成为保山现代农业发展进程中一项具有里程碑意义的成功实践。未来,将在总结经验、克服挑战的基础上,进一步扩大推广规模,优化种植模式,推动该项技术惠及更多农户,为保山农业高质量发展贡献更大的力量。

参考文献

- [1] 杨和团,杨家贵,牛文武,许金波,杜新雄,蒋劲松,张建军. 保山市玉米间作大豆生产中存在的主要问题及技术对策. 农业科技通讯, 2013 (2): 176, 197
- [2] 李琰聪,吴绍柱,杨素梅,梁永保. 腾冲县界头镇“烤烟—玉米(大豆)—油菜”间作套种高产栽培技术. 种子科技, 2015, 33 (11): 53-54
- [3] 刘婷婷,谢志坚,孟静娇,李琰聪. 保山市烟后大豆玉米带状复合种植技术. 中国农技推广, 2024, 40 (7): 48-50
- [4] 孟静娇,李琰聪,谢志坚,刘婷婷,陈国斌. 云南保山烟后玉米发展思考与探讨. 中国种业, 2022 (4): 45-47

(收稿日期:2025-11-27)

- [3] 李占省,刘玉梅,韩风庆,方智远,张扬勇,杨丽梅,庄木,吕红豪,王勇,季家磊. “十三五”我国青花菜遗传育种研究进展. 中国蔬菜, 2021 (1): 33-40
- [4] 国务院. 国务院关于印发全国农业现代化规划(2016-2020年)的通知. (2016-10-20) [2025-10-27]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2016-10/20/content_5122217.htm?ivk_sa=1023197a
- [5] 乔金亮. 国家育种联合攻关全面推开. 经济日报, 2022-12-06 (06)
- [6] 李占省,戚如诗,刘玉梅,韩风庆. 我国青花菜生产布局、价格变化及趋势. 长江蔬菜, 2021 (4): 1-5
- [7] 施俊生. 国家西兰花良种重大科研联合攻关进展及对策建议. 浙江农业科学, 2019, 60 (12): 2223-2225
- [8] 李维欢,吴小媚,武志健,陈芳珍,王军伟,黄科. 青花菜自交不亲和相关内参基因筛选与应用. 江苏农业科学, 2025, 53 (2): 34-43
- [9] 冯玥,吴早贵. 浙江省非主要农作物品种登记工作实践及制度优化建议. 中国种业, 2025 (6): 12-15, 20

(收稿日期:2025-10-27)