

蒋伟勤, 车 阳, 李 可, 等. 江苏省水稻栽培关键技术应用现状及展望[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(2): 567-575.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.02.031

江苏省水稻栽培关键技术应用现状及展望

蒋伟勤, 车 阳, 李 可, 文廷刚, 顾大路, 章安康
(江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所, 江苏 淮安 223001)

摘要: 江苏省正处于打造千亿级优质稻米产业、建成新时代“鱼米之乡”的关键期以及水稻产业转型升级重要阶段,栽培技术是水稻提质增效的有力手段,故对江苏省当下热点水稻栽培关键技术进行梳理与总结,能更全面地了解江苏省水稻栽培现状,为江苏省水稻栽培发展提供参考。为此,本文从水稻轻简化栽培技术、水稻绿色高效生产技术和优良食味粳稻生产技术3个方向出发,阐述了相关关键技术及其应用现状,其中重点介绍了水稻机插技术、直播技术、简化施肥技术和高效植保技术,并展望了江苏省水稻栽培的未来发展方向。

关键词: 水稻; 水稻产业; 栽培技术

中图分类号: S511.048

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2023)02-0567-09

Application status and prospect of key technologies for rice cultivation in Jiangsu province

JIANG Wei-qin, CHE Yang, LI Ke, WEN Ting-gang, GU Da-lu, ZHANG An-kang
(Huaiyin Institute of Agricultural Sciences of Xuhuai Region in Jiangsu Province, Huai'an 223001, China)

Abstract: Jiangsu province is in the critical period of building a 100 billion-level high-quality rice industry and constructing ‘the land of fish and rice’ of the new era, as well as in an important stage of rice industry transformation and upgrading. Cultivation technique is a powerful means to improve the quality and production efficiency of rice, so arranging and summarizing the existing hot key techniques for rice cultivation in Jiangsu province can be useful in making a more comprehensive understanding of the present situation of rice cultivation in Jiangsu province and provide reference for the development of rice cultivation in Jiangsu province. Therefore, key techniques and their application status were expounded in this paper from three aspects, such as rice light and simplified cultivation technique, rice green production technique of high quality and high efficiency, and good-tasting japonica rice production technique. Rice mechanical transplanting technique, direct seeding technique, rice simplified fertilization technique and rice protection technique of high efficiency were mainly introduced. The future development trend of rice cultivation in Jiangsu province was prospected.

Key words: rice; rice industry; cultivation technology

作为中国水稻主产区之一,江苏省水稻种植面积常年维持在 $2.20 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 以上,稻谷总产量约 $1.900 \times$

$10^7 \text{ t}^{[1]}$ 。自20世纪80年代江苏省推广“粳改粳”以来,粳稻种植面积稳步提升,2014年已突破 $2.00 \times 10^6 \text{ hm}^2$,此后略有起伏,目前已是南方粳稻主产区、全国第二大粳稻生产省份^[1-3]。近些年,随着优良食味稻米消费需求快速增长,以及农业供给侧结构改革稳步推进,江苏省水稻品种布局持续优化,2022年优良食味粳稻种植面积已突破 $1.20 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[4],这不仅有力地支撑了江苏省水稻产业转型升级,也为江苏省打造

收稿日期: 2022-04-21

基金项目: 江苏水稻产业技术体系项目[JATS(2022)209-1]

作者简介: 蒋伟勤(1994-),男,江苏徐州人,硕士,研究实习员,研究方向为作物栽培与生理。(E-mail) jwqdyx123@163.com

通讯作者: 顾大路, (E-mail) 1302680742@qq.com; 章安康, (E-mail) 2530326440@qq.com

新时代“鱼米之乡”筑造了坚实的基础^[5-6]。

农业科技人员和水稻产业体系是江苏省水稻产业提质增效发展的 2 大支柱。农业科技人员不仅致力于选育水稻新品种,先后育成一批以优良食味梗稻为代表的新品种,还积极地为不同品种类型和种植区域配套水稻绿色优质丰产高效栽培技术及模式^[7]。江苏省水稻产业体系则架起了各农业科研院所及高校、各地农技推广部门和农业经营主体相互联系的桥梁,在各县、区广泛建立示范基地,集成示范推广了多个新品种、新技术和新模式,辐射带动了大量周边农户^[8]。本文重点关注江苏省当下水稻栽培关键技术,具体介绍相关热点关键技术及其应用现状,以期更全面地认识江苏省水稻栽培发展现状及未来发展动向,为江苏省水稻栽培发展提供参考。

1 水稻轻简化栽培技术

随着中国城镇化水平提高和人民生活水平改

善,愿意从事高强度水稻生产的优质劳动力日益缺乏,水稻生产亟需劳动强度低、人力资源节约和高作业效率的轻简化栽培技术^[9-10]。机插、抛秧、直播和再生等水稻轻简化栽培方式相继出现,相较于手栽稻,它们在生产过程中免除或简化了部分环节,实现了省工节本增效的目标^[10-11]。由于稻作条件的改变,机插现已成为江苏省应用范围最广的栽培方式,直播仅次之,手栽、抛秧已退出主体地位,而再生稻在苏南部分地区仅可见示范种植^[4,12]。此外,部分轻简化栽培管理技术现已形成并臻于成熟,处于小范围示范向大范围推广阶段,如侧深施肥、缓控释肥应用和无人机播种、施肥及植保等技术,这些技术显著提高了劳作效率、减轻了工作强度^[13-15]。上述栽培方式和管理技术的融合,构成了现阶段水稻轻简化栽培技术的主体,是实现水稻全程机械化生产的重要依托(图 1)。

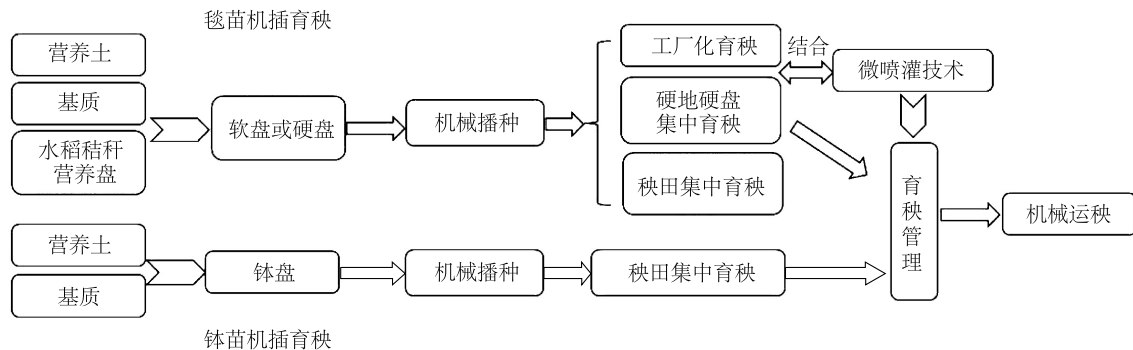


图 1 江苏省水稻全程机械化轻简生产流程

Fig.1 Light and simplified production process of mechanization during whole rice production in Jiangsu province

1.1 水稻机插技术

在江苏省,水稻机插应用面积远超其他栽培方式,2022 年约占水稻总种植面积的 57.5%,占比较 2021 年增加 7.5 个百分点^[4]。其中,毯苗机插是当下应用面积最广的机插方式,但因秧龄短、秧苗素质较差、移栽植伤重、缺棵较多等问题,水稻品种的高产潜力难以完全发挥^[16]。针对毯苗机插秧苗较弱的问题,有 2 种解决途径,一是创新育秧技术,二是采用钵盘育秧的钵苗机插方式(图 2)。从强化集中管理和创新育秧基质着手,工厂化育秧、硬地硬盘集中育秧等技术相继创制并成为主推技术,水稻秸秆营养盘育秧虽创制较晚但获得了较高的认可度^[17-19]。工厂化育秧和硬地硬盘集中育秧均采用

统一供种、统一播种和统一育秧管理等标准化作业方式,并较大程度利用机械作业,如播种、喷灌水和运秧等,使育秧效率和秧苗素质得以提升,育秧成本大大降低^[17-18,20]。工厂化育秧的场地不受限制,秧田、水泥地、塑料大棚和玻璃温室均可作为育秧场地^[17],而硬地硬盘集中育秧选择水泥地等硬质路面为育秧场地,采用硬盘代替软盘、基质代替营养土,并结合微喷灌技术,所育秧苗素质高,栽插后空穴率低,是传统工厂化育秧技术的创新改进,但成本偏高^[20-21]。水稻秸秆营养盘育秧技术将水稻秸秆高效利用,制作成秧盘状基质,其安全性好、安全环保,解决了常规育秧的用工和取土两大难题。其他特点还包括秧盘质量减轻,降低了劳动强度,所育秧苗根

系发达、盘结牢固,移栽后返青快、分蘖发生早,有利于发挥高产优势^[19,22]。

钵苗机插技术利用钵盘培育标准化壮苗,所育秧苗苗龄可较毯苗长 10 d 左右,叶龄大 1~2 叶,同时苗体健壮,移栽后活棵发苗快,利于地上部更多优质分蘖形成,地下部多发根,此外,利于培育适量壮秆大穗,构建高光效群体,提高花后光合物质生产能

力,充分发掘水稻高产潜力,尤其是对于大穗型品种^[23-25]。但钵苗机插也存在明显劣势,如秧盘较贵、育秧成本增加、插秧机具价格较高、维修成本偏高、机插效率偏低等问题,因此江苏省的主流机插方式依然是毯苗机插,钵苗机插推广程度较低且进展较为缓慢^[26-27]。

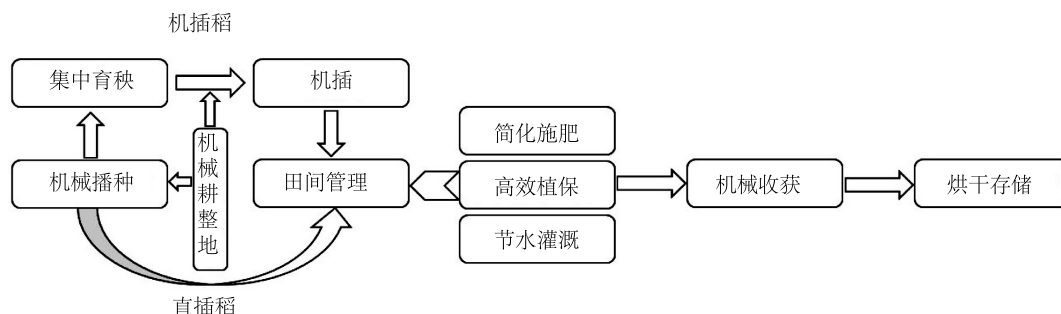


图2 江苏省机插稻轻简化育秧流程

Fig.2 Light and simplified seedling-raising process of mechanical transplanted rice in Jiangsu province

1.2 水稻直播技术

直播是更为轻简的水稻栽培方式,其特征是通过机械或人力将稻种直接播到大田中,省却了育秧、移栽等繁琐环节^[10,28]。与机插移栽相比,水稻直播换茬农耗时间更短,劳动力投入更少,在很多省份不推自广^[9,29-30]。自 2001 年起,江苏省直播稻面积持续增加,2008 年达到高峰 $6.9 \times 10^5 \text{ hm}^2$,之后在政策引领下持续减少,2011~2015 年连续多年占全省水稻种植面积的 20% 以下,而近些年又呈现反弹趋势,2022 年占比已超 25%^[4,30-32]。

稻麦两熟制是江苏省主要的种植制度,小麦收获后一般秸秆全量还田,这增加了高效高质量耕整地作业的难度,易造成水稻苗前和苗期处于逆境生态中,同时由于秸秆腐解产生的毒害,苗不齐不足问题加重,另外,封控不当也易加剧杂草危害,故直播稻群体起点质量往往较差^[8,33-35]。又因播种期推迟,全生育期缩短,温光资源相对不足,直播稻实现稳产或增产难度较大^[36-37]。因此为保证直播稻稳定生产,需尽可能缩短换茬间期以提早播种,并高效地完成耕整地作业和播种任务。水稻机械旱直播技术在前茬作物收获后直接耕整地(旱整地),利用播种机械进行旱作下条播、穴播或撒播,大规模生产农耗时可压缩至 0~3 d^[9,38]。未来农业一切从简,种稻工序、农艺、农机具均需简化,机械旱直播技

术的另一大优势是播种机具可同时集成多道工序,实现一机多用^[28,38]。2017 年扬州大学研制出了稻麦耕种管整体智能机,整合施基肥、双轴旋耕秸秆全量还田、条施种肥、镇压开种行、控深播种、浅旋覆土、二次镇压、开排水沟等工序一次性作业,经连片规模化试验,可实现旱直播稻单产达 10.5 t/hm^2 以上^[28]。采用水稻机械旱直播技术也可大幅压缩农耗时间至 2~3 d^[8],但相比于机械旱直播,整地前需灌水泡田(水整地),多种工序难以整合,可实现的轻简化程度相对有限。

其他水稻直播技术还包括旱整地或水整地下的人工撒播、无人机撒播等^[14],所有技术的共同点是基于农机具耕整好稻田(秸秆全量还田下整地质量达到“早、平、适、畅”较为困难,相关耕作机械仍在持续改进),不同之处是不同播种工具使得播种效率及质量出现差异(图 3)。为此,华南农业大学罗锡文团队首创“精播全苗”、“基肥一次深施”和“播喷同步杂草防除”的“三同步”精量穴直播技术,并成功研制了多种水稻精量水穴和旱穴直播机,不仅提高了作业效率,还可控制播种量、改善播种均匀性,满足不同地区和不同品种的精准化生产需求^[39-40]。此外,不同种植区域具有特殊的田间状况,因此还需建立并完善与之相适应的直播稻栽培管理技术体系。针对江苏省直播稻种植面临的接换

茬时间紧和生育期缩短的问题,扬州大学张洪程团队创新性地提出了“生育约束型直播稻”这一概念,并阐明了该轮作制度下水直播和旱直播稻的生育特

征及稳产关键技术,这对于指导江苏省直播稻生产具有重要意义^[9,28]。

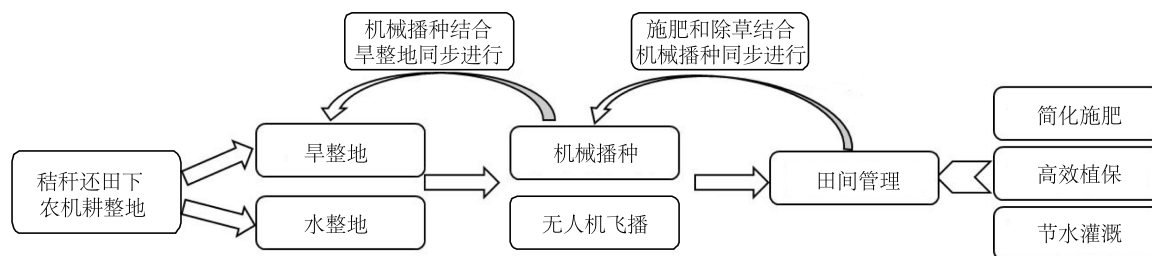


图3 江苏省直播稻机械轻简化栽培流程

Fig.3 Light and simplified cultivation process of mechanical direct-seeded rice in Jiangsu province

1.3 水稻轻简化栽培管理技术

1.3.1 水稻简化施肥技术 水稻精确定量栽培曾被农业农村部列为全国水稻生产主推技术,现今也是指导江苏省水稻高产栽培的重要理论,其深刻揭示了水稻高产优质群体形成规律和栽培调控机制^[41-42]。其中精确定量施肥技术根据水稻养分需求规律,在最适宜的生育期定量施肥,优化了施肥次数,提高了肥料利用率,有力地推动了水稻优质高产高效目标的实现^[42-43]。但多次施肥需耗费较大的人力物力,未来将难以为继,江苏省水稻生产亟需简化施肥技术。缓控释肥应用和侧深施肥是2种较为实用的水稻简化施肥方式。缓控释肥是缓慢释放养分的肥料的统称,包括缓释肥和控释肥2大类,很多研究表明,其应用后养分供应和水稻养分吸收可实现较优程度的匹配,尤其是控释肥^[44-45],因此可较常规肥料显著减少养分损失,提高肥料利用率,进而稳定或提高产量^[46-48]。基于成本及缓控释肥前期养分释放等问题,多种施用方式相继出现,除缓控释肥一次性基施之外,还有缓控释肥+常规肥料掺混后基施、缓控释肥+常规肥料作基肥和常规肥料作穗肥等方式^[49]。因不同种植区域气候、土壤和栽培方式的差异,不同种类的缓控释肥及施用方式所表现的效果可能会出现差异,故需因地制宜地选用缓控释肥及施用方式。在江苏省,市场上销售的“中化”、“华昌”、“新洋丰”、“施可丰”、“汉枫”等品牌缓(控)释肥料均可选用,但需根据实际情况,在较大规模应用前进行应用示范。

水稻侧深施肥技术指在播种(直播稻)或移栽(机插稻)的同时利用施肥装置将肥料颗粒精准施

于水稻种子或秧苗侧边3~5 cm、深度4~5 cm的土壤中^[50-51],可较常规施肥减少20%~30%的氮肥投入量,减少由灌溉和雨水等因素引起的肥料损失,减轻农业面源污染,提高化肥利用率等^[52-54]。侧深施肥所用肥料一般为粒径2~5 mm的圆粒型配方肥(或复合肥)或缓控释肥,采用配方肥(或复合肥)仍需分2次或多次施肥(侧深施基肥加追施穗肥),而缓控释肥结合机插侧深施肥则可实现一次性施肥,其养分释放特征能够满足优质高产水稻全生育期对养分的需求^[50,52]。南京农业大学李刚华团队研究结果表明,将不同释放速率的缓控释肥和常规氮肥进行科学组混,结合水稻侧深施肥技术,可实现机插稻“一次施肥,一生供肥”的效果^[52,55]。同时全省多点多年示范结果表明,该项技术在减少人力投入、提高产量、改善稻米品质和减少氮素损失等方面均取得了较好的效果^[55-57]。但其存在的问题是相较于机械撒肥,插秧和施肥同步作业效率仍偏低,难以应对大规模生产需求,不能及时抢抓农时。关于直播稻结合侧深施肥技术的报道尚较少,还未形成成熟的技术体系,相关研究仍在积极开展。

1.3.2 水稻高效植保技术 受环境条件和栽培管理技术措施的影响,水稻病虫害问题普遍存在且处理难度较大,每年给水稻生产带来巨大的损失^[58-59]。传统人力背负式手动(或电动、机动)喷雾或喷粉机仍是中国水稻植保作业的主流机械,但随着规模化生产范围日益扩大,其作业效率低、农药利用率不高、喷洒效果差、危害人体健康等问题突显,难以满足现代水稻产业发展的要求,更难以应付大面积突发性或暴发性的病虫害^[59-61]。大中型动

力植保机械中,水田自走式喷杆喷雾机因操作便利、作业效率高、适合于适度规模水稻病虫害防治、雾滴分布均匀、喷雾质量好、可有效减少用药用水等优势,受到了政府部门和农业经营主体的重视,应用规模持续扩大,但也存在一定缺点,如田间转弯掉头难度较高、易损伤稻苗,以及部分机型存在设计和使用寿命缺陷等^[59,62-65]。

上述植保机械作业效率依然偏低,并非大面积水稻病虫害防治的最优选项。在中国,水稻航空(飞机)植保作业早在20世纪就已出现于东北稻区的大型农场中,一般以有人驾驶固定翼飞机和直升机为主,其极大地提高了植保作业效率^[59,66-67],但上述方式并不完全适用于生产规模较小、生产单元较多的江苏稻作区。近些年,植保无人机飞防技术在江苏稻区出现并兴起,应用面积逐年扩大,其作为一项绿色轻简高效植保作业技术,具有作业效率高、作业成本低、喷洒均匀、省水省药、减少污染、应对突发病虫害能力强、不受地理区域限制、不损害植株和利于人体健康等诸多优点^[68-70]。

植保无人机类型多样,以电池为动力的多旋翼机型为主要应用产品,相较于单旋翼和固定翼无人机,具有垂直起降、操作简单和机动灵活的优势,代表型号有极飞P30型、汉和金星25型、大疆T20型和大疆T40型等^[67,71]。这些植保无人机多已实现智能化,内置导航定位系统可按规划路线飞行喷药,避免重喷漏喷,部分机型甚至已具备全自主作业、自主避障、仿地飞行等功能^[72-73];也可以结合各类传感器,实现对农业病虫害、水稻生长状况进行实时监控,采集多光谱图像,形成实时农业数据信息,为农业决策系统提供数据支持^[72,74]。但存在喷液量不足、药效不够稳定、设备购置和维修成本较高、飞防作业对专业知识和技能要求颇高等问题,制约着其进一步推广应用^[67]。植保无人机目前仍在快速发展中,产品的一些不足之处在新版本中不断被修正,产品主要性能趋于稳定可靠,附加功能越来越丰富,而价格和维修成本正逐步得到控制。

2 水稻绿色高质高效生产技术

水稻绿色高质高效生产技术指选用绿色高产优质水稻品种,在其生长过程中采用绿色投入品和绿色栽培技术及模式,并利用农机具进行标准化高效率作业,以实现高产优质和质量安全的一项集成技

术模式^[75-76]。在江苏省,以水稻机械化为依托而形成的水稻机插绿色高质高效技术模式是当前主推技术之一,其核心内容包括绿色优质高产品种应用、秸秆全量还田下高质量耕整地、壮秧培育、精确机插、精确肥水管理、病虫害绿色防控等多个方面,可实现化肥减施10%以上,化学农药减用20%左右,节工30%以上^[77-78]。但在新的发展形势下,仍面临着一些亟待解决的问题。其一,绿色优质高产品种相对缺乏。当下,江苏省优良食味粳稻面积不断扩大,新品种不断涌现,但兼具高产、较优食味品质和养分高效利用、多抗病虫害等绿色性状的品种较少^[79],特别是软米品种,综合抗性较差,2019年前审定的软米品种中仅宁粳8号达到中抗稻瘟病的效果。另外相较于东北粳稻和籼稻品种,江苏省现有粳稻品种实现稳产高产往往需消耗更多的氮肥^[80-81]。其二,部分生产环节缺乏优化型机具及其配套标准化农艺,导致作业质量较差,影响水稻高产群体构建。全量秸秆还田、高质量耕整地及播栽对农机具要求较高,目前现有机型作业质量难以完全达成预期目标,机具稳定性较差或作业不规范^[8-9]。其三,应根据当地水稻生产所面临的新形势或针对不同稻区,动态调整现有绿色技术和投入品组成以优化集成配套技术体系。随着农业科技进步,以生物(有机)肥料、高效新型肥料、生物农药和智能农机装备等为代表的绿色投入品^[82-84]和以工厂化育秧、干湿交替灌溉、机插侧深施肥、缓混一次性施肥、无人机飞防等为代表的绿色生产技术相继出现^[75,84-86],这为水稻生产进一步提高生产效率和资源利用率、缓解当下劳动力短缺问题和全面推进全程机械化创造了坚实基础^[8,87]。但每种投入品和技术都有局限性及适用性,因此对于基本情况不一致的不同稻区或地区,需针对性地斟酌选取后再进一步集成示范推广。

构建绿色种植制度也可助力水稻绿色生产,“水稻+N”种植模式和稻田综合种养模式是2种较为常见的模式。“水稻+N”种植模式中,水稻-绿肥轮作可实现前茬作物培肥土壤,后茬水稻减肥但不减产的效果^[87]。水稻-油菜轮作在江苏省最为常见,油菜秸秆还田后亦可实现改良土壤结构、培肥地力的效果,其优势在于能相对实现较好的经济及生态效益^[88-89]。稻田综合种养模式将种植业和养殖业有机融合,不仅有利于提高稻田综合利用率,拓展传统农业发展空间,还可显著增加生态和经济效益,

是实现农业绿色发展的重要措施^[90]。在江苏省,稻渔、稻鸭种养模式在苏北、苏中地区被广泛采用,2022 年仅淮安市稻虾面积就已突破 $7.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[91]。单论稻渔模式中的水稻栽培,机插难是制约水稻产业集约化、规模化高质量发展的关键问题。因长期淹水,土壤黏烂,常规毯苗插秧机作业受阻,作业效率和质量均有所下降,而新型钵苗插秧机可克服深泥陷脚问题,展现出明显优势,但具体配套栽培措施仍在积极探索中^[92]。

3 优良食味水稻生产技术

稻米产业是江苏省第一农业主导产业,江苏省现已将优质稻米产业列为“全省现代农业提质增效工程”八大千亿级农业特色产业之首^[8]。自 21 世纪初以来,江苏省水稻育种目标逐步由一味追求高产向高产优质多抗协同提高转变^[93]。近十几年,优质高产新品种不断涌现,最具代表性的是优良食味粳稻(软米)品种,如南粳 9108,因高产、食味较佳和适应性强等特点,种植面积连续多年稳居全省第一^[94-95]。在品种不断创新和政府大力支持,以及新时代稻米消费需求提档升级、人们对口感较佳的中高档优质稻米需求量增加的现实背景下,江苏省优良食味粳稻种植面积连年增加,据统计 2022 年种植面积已超 $1.20 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占全省水稻总种植面积的 50% 以上^[4]。

为充分发挥优良食味水稻的品种优势,近些年江苏省加快研发和示范优良食味水稻配套调优丰产技术,典型技术包括优质水稻机插丰产精确定量栽培技术、优质稻米全程机械化生产技术、优良食味水稻绿色安全生产技术和优良食味稻米全产业链绿色生产技术等。这些技术的共同特点是选用优良食味水稻品种,遵循绿色稻米生产标准,或配套绿肥轮作、稻田综合种养等绿色种植模式,采用机插稻栽培管理技术开展水稻标准化种植。而除水稻机插丰产精确定量栽培技术之外的其他 3 种技术不仅注重水稻从种到收全过程,也关注收获、烘干、加工、包装和冷储等环节的标准化作业,更重视营销宣传和品牌打造,迈向中高端市场,形成品牌溢价,提高稻米产业产值。当前,各优良食味水稻配套调优丰产技术已渐趋完善并能较好地服务生产实践,保证稳产增产的同时,稻米品质也获得大幅提升,尤其是食味品质,但对于“苏米”品牌消费者满意度仍偏低、市场

占有率徘徊浮动^[8],因此如何做大做强稻米品牌、提升“苏米”竞争力将成为下一步关注的重点。

4 展望

4.1 进一步全面实现水稻轻简化和全程机械化生产

随着经济高速发展、城市化进程加快,越来越多优质农村劳动力向城市转移,此趋势在未来不会发生根本性转变,江苏省水稻生产将面临更为严重的老龄化、高龄化困境,如何以更少的劳动力投入实现大范围规模化生产始终是江苏省水稻栽培的主题。水稻轻简化和全程机械化栽培技术是最有效的实现途径,繁复的农艺措施经有效地简化后,借助现代农业机械装备加以实施,即农机农艺融合配套,可大幅缩减耕作、播栽、肥水管理、病虫草害防治、收获存储各生产环节劳动力参与人数、次数和时长,提高作业效率和质量。目前轻简化的农机农艺配套融合技术研究已广泛开展,并取得了一定成绩,但仍存在一些需长足进步之处。农机具方面,需进一步研发新型农业机械装备,特别是稳定可靠、作业质量高的秸秆全量还田下耕整地机械、用于直播稻兼具多种用途的耕播一体机、更高作业效率的钵苗插秧机和侧深施肥机械等;农艺方面则需进一步加强农艺融合配套与农机技术研究,以加速推动全面实现水稻生产全程机械化。

4.2 逐步向信息化和智能化、“无人化”生产过渡

随着社会发展,通过人工调查获取苗情、肥水状况、病虫草害发生情况等水稻田间信息的传统方式已不可取。基于无人机作业平台监测水稻田间状况的无人机航拍与遥感技术,能够较好地完成田间信息采集与数据分析判断工作,更为先进的机器可实现自主巡航、自主决策和自主作业,大大降低了管理难度和人力需求。在农业大数据时代,以大量农业数据信息为基础的分析能有效提高农业管理决策的准确性、时效性,提升农业生产效率和农业资源利用率。因此,江苏省水稻生产更应重视农业信息技术的应用,进一步创新发展和完善相关技术,让其更广泛和深层次地参与水稻生产管理决策,以推进资源合理高效利用。

水稻智能化生产依托于农业智能化设备,是高水平农业现代化的集中体现,其最理想目标是机器无人驾驶实现完全自主田间行走、高质量完成作业

任务。“无人化”栽培目前在积极探索研究中,其中较为成熟的先行技术是无人机植保和无人机撒肥技术,而耕整地、机插和收获等环节相关无人驾驶智能农机已研制问世,下一步则需加强农艺农机融合配套攻关,以推动全程“无人化”栽培尽早应用于生产实践。

4.3 优良食味水稻绿色优质丰产高效栽培和多元专用稻栽培

不断改善的生活水平使得居民稻米消费结构发生了显著变化,不仅注重吃得饱,更注重吃得好,吃得安全健康^[96-97]。如何以绿色高效的栽培方式在改善稻米品质的同时实现丰产成为江苏省水稻栽培所面临的关键问题之一。经过多年探索,很多优秀技术模式相继出现,优良食味水稻绿色优质丰产高效栽培技术模式作为最新技术成果,集成了当下多种绿色优质生产技术和模式,在不同稻区的示范研究表明,绿色高效生产方式下可协调丰产和优质的矛盾。但尚存一些问题,如优质和丰产协同规律和机制尚未能完全明确,不同稻作区适宜的配套技术体系有待进一步优化,相信随着这些问题日后得到解决,该技术体系将会更有力地助推江苏省稻米产业提质升级。

另外稻米消费需求也呈现出多元化趋势,市场对功能性高直链淀粉米、低醇溶蛋白米、酿酒用糯米、保健用的富锌和富硒稻米等需求不断增加,因此也要加大专用、特种、多用水稻品种和栽培技术研究,以满足生产和生活上的差异化稻米需求。

参考文献:

- [1] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2021.
- [2] 张洪程,张 军,龚金龙,等. “籼改粳”的生产优势及其形成机理[J]. 中国农业科学, 2013, 46(4): 686-704.
- [3] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2021.
- [4] 农技耘. 全省水稻种植基础分析及当前田间管理技术意见[EB/OL]. (2022-07-18) [2022-07-18]. <http://njy.jsnjjy.net.cn/web/share/new.action?newId=19b34332-0725-48de-8006-f4e59938db9e>.
- [5] 杨洪建,管永祥. “多轮驱动”打造新时代鱼米之乡[J]. 江苏农村经济, 2019(3): 22-23.
- [6] 付 婕. 江苏打造千亿级优质稻米产业:建成新时代“鱼米之乡”[EB/OL]. (2019-07-18) [2019-07-18]. <http://www.iic21.com/21cjj/index.php?m=home&c=articles&a=showart&artid=91732&areaid=2&artcid=11>.
- [7] 金 凤,许天颖. 聚焦稻米创新,专家齐探如何端出优质食味梗稻[EB/OL]. (2022-01-25) [2022-01-25]. <http://www.stdaily.com/index/kejixinwen/202201/be1690b8f0c34e279b9d017fa4c4fa47.shtml>.
- [8] 农技耘. 江苏省水稻产业发展报告[EB/OL]. (2021-01-29)
- [9] 张洪程,邢志鹏,翁文安,等. 生育约束型直播水稻生育特征与稳产关键技术[J]. 中国农业科学, 2021, 54(7): 1322-1337.
- [10] 胡小荡,胡雅杰. 水稻轻简栽培研究进展[J]. 杂交水稻, 2013, 28(5): 1-5.
- [11] 凌启鸿. 关于水稻轻简栽培问题的探讨[J]. 中国稻米, 1997(5): 3-9.
- [12] 陈 品. 稻作方式的扩散及影响因素研究[D]. 扬州:扬州大学, 2013.
- [13] 朱从桦,张玉屏,向 镜,等. 侧深施氮对机插水稻产量形成及氮素利用的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(23): 4228-4239.
- [14] 朱海滨,马中涛,徐 栋,等. 无人飞播水稻优质丰产“无人化”栽培技术体系探讨与展望[J]. 中国稻米, 2021, 27(5): 5-11.
- [15] 高志政,彭孝东,林耿纯,等. 无人机撒播技术在农业中的应用综述[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(6): 24-30.
- [16] 胡雅杰,钱海军,曹伟伟,等. 机插方式和密度对不同穗型水稻品种产量及其构成的影响[J]. 中国水稻科学, 2016, 30(5): 493-506.
- [17] 张国良,杨洪建,邓建平,等. 江苏省机插水稻工厂化育秧的现状、存在问题与展望[J]. 北方水稻, 2014, 44(3): 74-76.
- [18] 李 杰,邓建平,杨洪建,等. 江苏省水稻机插集中育秧技术的发展与应用[J]. 中国稻米, 2016, 22(3): 56-59.
- [19] 许传中,吴爱国. 秸秆育秧基质盘水稻育苗应用效果报告[J]. 农业科学, 2021, 11(4): 317-325.
- [20] 钱卫红,秦礼宝. 机插秧硬地硬盘全基质微喷灌育秧技术[J]. 现代农业科技, 2016(11): 22-23.
- [21] 陆 建,涂 莉,吴贵茹,等. 机插水稻旱地微喷灌育秧技术试验[J]. 农机科技推广, 2018(3): 60-61.
- [22] 车 正,彭秀荣,王祚鼎,等. 水稻秸秆基质盘育秧技术试验[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(12): 2390-2392.
- [23] 胡雅杰,曹伟伟,钱海军,等. 钵苗机插密度对不同穗型水稻品种产量、株型和抗倒伏能力的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(5): 743-757.
- [24] 胡雅杰,邢志鹏,龚金龙,等. 钵苗机插水稻群体动态特征及高产形成机制的探讨[J]. 中国农业科学, 2014, 47(5): 865-879.
- [25] 周兴根,张洪程,常 勇,等. 淮北地区麦茬钵苗机插水稻的增产优势及其形成特征[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(3): 564-573.
- [26] 张洪程,朱聪聪,霍中洋,等. 钵苗机插水稻产量形成优势及主要生理生态特点[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 50-59.
- [27] 朱聪聪,杨洪建,管永祥,等. 江苏水稻钵苗机插绿色高效栽培技术研究进展[J]. 中国稻米, 2019, 25(5): 37-41.
- [28] 张洪程,胡雅杰,杨建昌,等. 中国特色水稻栽培学发展与展望[J]. 中国农业科学, 2021, 54(7): 1301-1321.

- [29] 章清杞,蔡来龙,黄荣华,等.直播稻栽培技术研究进展[J].亚热带农业研究,2020,16(1):1-7.
- [30] 罗观长,陈春桦,陈风波,等.中国南方稻作方式选择——基于长江中下游地区稻农的样本分析[J].新疆农垦经济,2019(1):23-30.
- [31] 花劲,郜微微,杨玉萍,等.东台市直播稻高产栽培技术[J].农业科技通讯,2021(8):278-280.
- [32] 卢百关,秦德荣,樊继伟,等.江苏省直播稻生产现状、趋势及存在问题探讨[J].中国稻米,2009(2):45-47.
- [33] 周炜.稻麦两熟制秸秆还田环境效应及全程机械化配套农艺研究[D].南京:南京农业大学,2012.
- [34] 冯延江,王麒,赵宏亮,等.我国水稻直播技术研究现状及展望[J].中国稻米,2020,26(1):23-27.
- [35] 周燕芝,王文霞,陈丽明,等.直播稻田杂草发生与防除研究进展[J].作物杂志,2019(4):1-9.
- [36] 陈品,陆建飞.长江中下游地区直播稻的生理生态特性及其栽培技术的研究进展[J].核农学报,2013,27(4):487-494.
- [37] 姚义,霍中洋,张洪程,等.不同生态区播期对直播稻生育期及温光利用的影响[J].中国农业科学,2012,45(4):633-647.
- [38] 张明华,曾山,罗锡文.水稻机械旱直播技术研究现状及发展[C]//中国农业工程学会.中国农业工程学会2011年学术年会论文集.重庆:中国农业工程学会,2011:506-510.
- [39] 罗锡文,王在满,曾山,等.水稻机械化直播技术研究进展[J].华南农业大学学报,2019,40(5):1-13.
- [40] 罗锡文,王在满.水稻生产全程机械化技术研究进展[J].现代农业装备,2014(1):23-29.
- [41] 佚名.水稻精确定量栽培技术被列为主推核心技术[J].种业导刊,2009(5):43.
- [42] 凌启鸿,张洪程,丁艳锋,等.水稻高产技术的新发展——精确定量栽培[J].中国稻米,2005(1):3-7.
- [43] 凌启鸿.水稻精确定量栽培原理与技术[J].杂交水稻,2010,25(S1):27-34.
- [44] 樊小林,刘芳,廖照源,等.我国控释肥料研究的现状和展望[J].植物营养与肥料学报,2009,15(2):463-473.
- [45] 刘兆辉,吴小宾,谭德水,等.一次性施肥在我国主要粮食作物中的应用与环境效应[J].中国农业科学,2018,51(20):3827-3839.
- [46] YE Y, LIANG X, CHEN Y, et al. Alternate wetting and drying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice. Effects on dry matter accumulation, yield, water and nitrogen use[J]. Field Crops Research, 2013, 144: 212-224.
- [47] 田昌,周旋,彭建伟,等.控释尿素减施对双季稻田氮挥发损失和氮肥利用率的影响[J].中国水稻科学,2018,32(4):387-397.
- [48] 李玥,李应洪,赵建红,等.缓控释氮肥对机插稻氮素利用特征及产量的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2015,41(6):673-684.
- [49] 蒋伟勤,马中涛,胡群,等.缓控释氮肥对水稻生长发育及氮素利用的影响[J].江苏农业学报,2020,36(3):777-784.
- [50] 王晓丹,向镜,张玉屏,等.水稻机插同步侧深施肥技术进展及应用[J].中国稻米,2020,26(5):53-57.
- [51] 刘敢,安淑刚,陆洪川,等.苏北地区水稻直播侧深施肥技术[J].现代农村科技,2019(4):41.
- [52] 丁艳锋,李刚华,李伟玮,等.水稻机插缓混一次施肥技术的研发与示范[J].中国稻米,2020,26(5):11-15.
- [53] 朱从桦,张玉屏,向镜,等.侧深施肥对机插水稻产量形成及氮素利用的影响[J].中国农业科学,2019,52(23):4228-4239.
- [54] 位国建,荐世春,崔荣江,等.水稻机插秧同步侧深施肥技术分析 & 试验[J].农机化研究,2017,39(9):190-194.
- [55] 李刚华,李伟玮,高深,等.水稻机插缓混一次施肥技术[C]//第十九届中国作物学会学术年会论文摘要集.北京:中国作物学会,2020:1.
- [56] 颜士敏,刘林旺,仇美华,等.关于推进江苏水稻机插侧深施肥的思考[J].中国稻米,2019,25(1):26-28.
- [57] 中国农业技术推广.【2020十大引领性技术】水稻机插缓混一次施肥技术[EB/OL].(2021-01-25)[2021-1-25].<http://www.jsnjy.net.cn/newsDetail.html?newId=10963ca0-9c6b-49ce-9eb0-f243dd53d65a>.
- [58] 宋巧凤,谷莉莉,袁玉付.植保无人机在水稻病虫害防治中的应用[J].农业工程技术,2020,40(36):48-50.
- [59] 周志艳,袁旺,陈盛德.中国水稻植保机械现状与发展趋势[J].广东农业科学,2014,41(15):178-183.
- [60] 伏荣桃,陈诚,王剑,等.植保无人机对水稻病虫害防治条件与防效的研究[J].中国农业科技导报,2021,23(4):103-109.
- [61] 庄玲红,李国权,秦维彩.我国植保机械发展现状[J].农业工程,2021,11(9):9-13.
- [62] 杨进,刘学儒,秦玉金,等.自走式喷杆喷雾机的应用探讨[J].中国植保导刊,2014,34(S1):71-73.
- [63] 陈松.关于自走式喷杆喷雾机应用推广的思考[J].江苏农机化,2018(3):21-22.
- [64] 龚艳,于林惠,张晓,等.1种便于水稻病虫害统防统治的自走式喷杆喷雾机应用研究[J].江苏农业科学,2016,44(1):383-385.
- [65] 佚名.昆山市植保无人机助力水稻全程机械化生产[J].农业机械,2021(9):51.
- [66] 龚艳,傅锡敏.现代农业中的航空施药技术[J].农业装备技术,2008,34(6):26-29.
- [67] 陈国奇,宋杰辉,王茂涛,等.稻麦病虫害害飞防技术[M].北京:中国农业出版社,2020.
- [68] 张飞.江苏农用植保无人机发展现状及建议[J].江苏农机化,2016(5):27-30.
- [69] 郭勇,王楠,金保兴.农用无人植保飞机发展现状[J].农业工程,2017,7(2):24-25,28.
- [70] 张海艳,兰玉彬,文晟,等.植保无人机旋翼风场模型与雾滴运动机理研究进展[J].农业工程学报,2020,36(22):1-12.
- [71] 周志艳,明锐,臧禹,等.中国农业航空发展现状及对策建

- 议[J]. 农业工程学报, 2017, 33(20): 1-13.
- [72] 朱校林. 大疆农业发布最新版植保无人机 T20[J]. 当代农机, 2019(12): 24-26.
- [73] 兰玉彬, 陈盛德, 邓继忠, 等. 中国植保无人机发展形势及问题分析[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(5): 217-225.
- [74] 班松涛. 水稻长势无人机遥感监测研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
- [75] 徐春春, 纪 龙, 陈中督, 等. 2019 年我国水稻产业形势分析及 2020 年展望[J]. 中国稻米, 2020, 26(2): 1-4.
- [76] 徐春春, 纪 龙, 陈中督, 等. 基于农户需求的水稻绿色生产发展策略[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(3): 327-331.
- [77] 苏 作. 水稻机插绿色高质高效栽培技术[J]. 农家致富, 2021(3): 22-23.
- [78] 王 健. 淮安市优良食味粳稻绿色高质高效栽培技术[J]. 农家参谋, 2021(19): 47-48.
- [79] 杨建昌, 展明飞, 朱宽宇. 水稻绿色性状形成的生理基础[J]. 生命科学, 2018, 30(10): 1137-1145.
- [80] 新华社. 10 余种大米“比拼选秀”: “宁粳 8 号”大米拔得头筹[EB/OL]. [2019-11-15]. <http://xhpfmapi.zhongguowangshi.com/vh512/share/6624461?channel=weixin&from=singlemessage&isappinstalled=0>.
- [81] 王才林, 张亚东, 赵春芳, 等. 江苏省优良食味粳稻的遗传与育种研究[J]. 遗传, 2021, 43(5): 442-458.
- [82] 徐春春, 纪 龙, 陈中督, 等. 2021 年我国水稻产业形势分析及 2022 年展望[J]. 中国稻米, 2022, 28(2): 16-19.
- [83] 李冬霞. 新形势下绿色农业投入品如何助力农业绿色可持续发展? [J]. 蔬菜, 2019(11): 1-10.
- [84] 徐春春, 纪 龙, 陈中督, 等. 中国水稻生产发展的绿色趋势[J]. 生命科学, 2018, 30(10): 1146-1154.
- [85] 胡雅杰, 张洪程. 长江经济带水稻生产机械化绿色发展战略研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2019, 40(5): 1-8.
- [86] 葛 磊, 陆建飞, 徐春春. 关于推进江苏水稻产业绿色高质量发展的思考[J]. 中国稻米, 2020, 26(6): 71-75.
- [87] 席莹莹. 绿肥种类和种植方式对水稻产量、养分吸收及土壤肥力的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [88] 刘 成, 冯中朝, 肖唐华, 等. 我国油菜产业发展现状、潜力及对策[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(4): 485-489.
- [89] 王丹英, 彭 建, 徐春梅, 等. 油菜作绿肥还田的培肥效应及对水稻生长的影响[J]. 中国水稻科学, 2012, 26(1): 85-91.
- [90] 王强盛, 王晓莹, 杭玉浩, 等. 稻田综合种养结合模式及生态效应[J]. 中国农学通报, 2019, 35(8): 46-51.
- [91] 淮安市人民政府网. 我市小龙虾养殖模式日益多样[EB/OL]. [2022-06-24]. http://www.huaian.gov.cn/col/16657_173466/art/16540128/1656053897575cnv72ajD.html.
- [92] 李阳阳, 江军梁, 陈 泽, 等. 江苏省稻田综合种养产业发展现状与问题探讨[J]. 中国稻米, 2021, 27(2): 11-14.
- [93] 郭志凯. 江苏主栽粳稻品种外观品质、碾米品质的基因型差异与氮素效应研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [94] WANG C L, ZHANG Y D, ZHU Z, et al. Research progress on the breeding of japonica super rice varieties in Jiangsu province, China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(5): 992-999.
- [95] 王才林, 张亚东, 赵春芳, 等. 江苏省优良食味粳稻的遗传与育种研究[J]. 遗传, 2021, 43(5): 442-458.
- [96] 王才林, 张亚东, 朱 镇, 等. 优良食味半糯粳稻品质标准的研制与应用[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(1): 1-8.
- [97] 张 霞, 李 健, 潘孝青, 等. 不同熟化垫料替代比例对稻麦轮作下作物产量、土壤肥力及重金属的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(5): 1175-1182.

(责任编辑: 张震林)