

我国机械化直播水稻生产技术研究进展

陈雪飞¹ 唐艳萍² 谢英杰^{1*} 李尚¹ 楚建波³ 敖方源¹ 彭维钦¹ 李海山¹ 万玉华¹

(¹重庆市农业机械化技术推广总站, 重庆 401147; ²达州市农业技术推广站, 四川 达州 635000; ³罗甸县农村工作局, 贵州 罗甸 550100; 第一作者: takemetoxfchen@163.com; * 通讯作者: eqnjxieyingjie@163.com)

摘要:水稻直播具有省工、省力、高效的特点, 并有利于机械化操作, 为水稻种植提供了新的方向。近年来, 水稻机械化直播在全国多个省份迅速发展, 试验示范了多个水稻品种及多种不同农机农艺融合配套技术。本文综述了我国机械化直播水稻栽培过程中的品种选育、播种机械、产量性状、栽培技术等多方面的研究情况, 探讨了水稻机械化直播面临的挑战及今后的发展方向, 以期在水稻机械化直播的进一步推广和应用提供理论指导。

关键词:直播水稻; 机械化种植技术; 栽培技术

中图分类号: S511.48 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2018)04-0009-07

水稻是全球最重要的粮食作物之一, 也是中国的三大主粮之一, 2008 年以来, 水稻种植面积和总产量分别占粮食作物面积和总产的 27.0% 和 34.7%, 养活了超过 60% 以上的中国人口, 对中国粮食安全、生态安全和稻农增收有重要作用。我国水稻种植多采用育苗移栽的方式^[1], 生产工序多, 生产成本低, 随着我国国民经济的快速发展和产业结构的调整, 农村优质劳力不断流失, 导致了水稻种植粗放化管理及水、肥、药盲目投入, 制约了水稻增产增效和可持续发展。

水稻直播是一种通过直接播种建立大田水稻植株群体的栽培方式, 近年来, 在上海、安徽、江苏等地推广迅速。与育苗移栽相比, 水稻直播栽培免除了育秧和移栽环节, 具有显著的省工、省力、高效的优点, 并有利于机械化操作^[2], 在农村劳动力不断减少、劳动力成本不断上涨的形势下, 受到越来越多农民的青睐。此外, 水稻直播在节约水资源、降低稻田温室气体排放等方面也具有显著的优势^[3], 是一项环境友好型栽培技术, 对解决水稻生产过程中农村劳动力资源不足及促进水稻可持续生产, 实现农业增效、农民增收具有重要作用。但直播水稻仍面临生育期缩短、温光资源利用不足、个体与群体生长矛盾突出、根系下扎浅容易倒伏、高产稳产性差等问题, 技术体系还不完备。

目前我国正处于从传统农业向现代农业转变的关键阶段, 规模化经营将作为中国今后一段时期农业生产的必然趋势, 而在水稻规模化生产中, 机械化直播以作业速度快、成本低、标准化程度高等优点成为首要需求, 水稻直播机的研制及机直播种植面积均呈加快发展趋势, 但因地制宜的机械化直播技术仍需完善及正确引导。本文综述了我国适合机械化生产的水稻品种、

农艺配套技术试验示范等方面的研究进展, 以期在水稻机械化直播技术的推广和应用提供借鉴。

1 品种选育

理想的直播稻品种, 应当具备生育期较短、分蘖能力不强、株高低、根长茎粗等生长特性, 此外, 芽期耐寒性、光敏感性、速生早发和抗病抗逆能力也很重要。由于以前直播稻推广面积小, 其品种培育未受到重视, 但仍有一些研究结果可为直播稻生产提供参考。黄成志等^[4]在重庆市万州区筛选出适宜丘陵山区直播的高产中籼水稻品种万优 481, 其株型适中、抗病抗倒性强, 全生育期较短; 钱银飞等^[5]以江苏近年育成的 10 个中熟中梗水稻品种为直播材料, 发现中穗型水稻品种 H01023、武运梗 21 号和盐梗 30192 在光能利用上有明显的优势, 生育期内更高的单茎绿叶数和叶面积指数、更大的茎鞘物质输出转化率为高产提供了保证; 苏昌龙等^[6]在贵州筛选出适宜直播的中熟水稻品种准两优 527 和黔优 88, 这 2 个品种早生快发能力强, 群体有效穗数多, 成穗率高, 抗叶瘟、穗颈瘟、纹枯病和抗折倒能力均较好; 何勇等^[7]通过试验筛选到适合四川当地直播的中稻品种辐优 838、F 优 498、川作优 619、内 5 优 979, 这些品种全生育期为 125~126 d, 株高较矮, 且连续 4 年增产稳产性表现较好。

在适宜基因遗传位点的探索中, 王洋^[8]选取了 297 个太湖流域水稻品种资源对种子活力和幼苗耐缺氧能力进行遗传变异研究, 从早熟晚梗中筛选到薄稻 3、硬头茎、三百粒头、大稻头、乌金香糯、荒三石 4 和晚八哥

收稿日期: 2018-03-28

头这 7 个高活力和耐缺氧能力的品种资源, 可供直播稻新品种选育利用, 并检测到 42 个控制根长、苗高、幼苗干质量的有利等位变异; 杨志涛等^[9]在 13℃ 低温下对 377 份来自 56 个国家和地区的多样性水稻种质的发芽力进行测试, 鉴定出 21 份低温发芽率超过 90% 的优良种质, 为直播水稻低温发芽力改良和分子遗传研究挖掘了优良材料; 鲁清^[10]利用 469 份籼稻品种进行与直播出苗性状相关的全基因组关联分析, 在海南陵水和浙江杭州各检测到与水稻中胚轴长和芽长相关的 8 个显著性位点, 其中有 2 个共同显著性位点; 姚玉莹^[11]对 533 份水稻核心种质资源进行盆栽试验, 经全基因组关联分析连续 2 年找到与水稻核心种质资源抗倒农艺性状相关的多个显著位点在不同染色体上的定位; 陈孙禄^[12]通过对 256 份水稻核心种质的萌发耐淹性进行评估, 筛选出具有强耐缺氧萌发力的品种肥东塘稻, 与 IR26 构建染色体片段置换系, 为进一步研究低氧萌发力和选育优秀直播稻奠定基础。

2 机械直播

水稻直播主要包括三种直播方式: 旱直播、湿润直播和水直播。我国水稻直播方式仍以湿润直播和旱直播为主, 其中旱直播适用于直播时缺水打浆的区域^[3]。与人工撒播相比, 机械直播方式在干物质积累、叶面积指数、光合速率、保护酶及根系活力、抗倒伏指数等多个方面均有显著提高, 最终促进了结实率、千粒重及产量的提高^[13]。程建平等^[14-15]研究发现, 机械精量穴直播分蘖势较强, 单位面积有效穗数多, 实际产量较人工撒播极显著提高, 甚至高于手插处理。不同机械直播方式间水稻茎蘖成穗与分蘖产量存在显著差异, 机械湿润穴播方式在叶面积指数、干物质积累等方面具有优势, 产量显著高于机械湿润条播方式, 有利于水稻稳产增产^[16]。有研究证实, 穴直播方式水稻根系质量体积指数更大, 具有更强的抗倒伏能力^[17]。

选择适宜的播种量, 有利于直播稻建立合理的群体, 控制无效分蘖, 获得足够的有效分蘖, 提高营养物质的吸收利用率。随着播种量的增加, 产量增加, 但达到最高产量后继续增加播种量, 将影响直播稻的每穗实粒数、结实率和有效穗数等产量性状, 导致减产^[18]。直播用种量以杂交稻 15.0~22.5 kg/hm²、常规稻 30.0~45.0 kg/hm² 较为适宜^[19]。但随着播期推迟, 直播水稻每穗颖花数和结实率逐渐下降, 无效分蘖增加, 叶面积指数、氮素积累等指标也呈下降趋势, 最终影响水稻产量

^[20], 各地应根据气候生态条件, 在春寒度过、气温稳定、轮作换茬后适时抢早播种。

播种量低, 人工撒播很难保证播种均匀度, 但高播量会导致田间大群体, 限制产量的提高。因此, 直播稻发展的根本出路是研制精量直播机。直播稻的收获机械完全可以使用移栽稻的收获机械, 我国水稻机械化耕作及收获水平分别超过 98.9% 和 86.2%, 但机械化播种水平却不足 42.3%, 这主要是因为育苗移栽操作的复杂性所致^[3]。水稻直播轻简方便, 更有利于实现全程机械化, 与育苗移栽相比, 水稻机械化直播更加省工节本^[21]。

我国水稻机械直播存在的技术难点在于: 人力式轻型直播机、独轮式简易型直播机结构简单, 但作业效率较低, 不适用于大规模生产作业; 与轮式拖拉机配套的水稻直播机作业效率较高, 但需要消除轮辙, 结构较为复杂, 制造成本也较高; 与高速插秧机头配套使用的水稻直播机, 无仿形装置, 对播前田块的平整度和沉实要求较高, 容易出现壅泥和播后田面不平整^[22]。

针对以上难题, 华南农业大学罗锡文团队提出同步开沟起垄精量穴播技术, 并研制成功同步开沟起垄水稻精量穴直播机。近年来, 通过持续开展田间试验, 设计不断完善优化。该类水稻精量穴直播机与高速插秧机头配套使用, 研究改进滑板角度、设计加入高程仿形和水平仿形系统^[23], 在平田、埋茬的同时, 保证播种深度一致并防止壅泥, 现已能实现同步开沟起垄、压茬(草)播种; 行距可选、穴距可调, 播量可精确至每穴 1~3 粒^[23], 研究发明了气力式或组合型孔轮式排种器^[24-25], 使用经过引发露白的稻种播种, 种子破损率小于 0.2%, 能满足常规稻、杂交稻与超级稻的种植要求。此外, 罗锡文团队还通过试验研究开沟器形状与尺寸、改进锥齿轮箱、设计独立机架等^[22, 26], 大大改善了水稻精量穴直播机的通用性和作业可靠性, 使其具有更高的工作效率和更好的播种质量。在以上湿润直播机械以外, 罗锡文团队成功研发的一次性集成平地、起垄、播种、覆土、镇压等多道工序的 2BDH-20 旱地水稻精量穴直播机械, 与轮式拖拉机配套使用, 在新疆生产建设兵团经过连续 2 年试验, 各项作业指标均远远超过农业部标准要求^[27], 亦具有广阔的推广应用前景。

3 产量和产量性状

水稻直播既节本又省工, 尽管不少研究^[28-29]表明, 直播较育苗移栽产量有所降低, 但在田间管理得当时,

也能获得和育苗移栽相当或者更高的产量^[2,21,30],且直播更易获得更高的收支比例。直播水稻分蘖节位低,分蘖早而多,很容易达到足量穗数,其中第2~4叶位是分蘖发生的优势叶位,分蘖发生频率较高,穗部性状较好,对最终产量贡献最多^[16,31]。与移栽水稻相比,直播水稻在产量性状组成上主要表现为有效穗数增加,每穗粒数减少,千粒重或籽粒不育率降低等。

在我国东北、西南、华南等多个地区大田试验发现,以旱直播、湿润直播方式获得大致相当插秧栽培产量,穗粒数虽显著降低,但旱直播和湿润直播的结实率、穗数或千粒重较插秧栽培显著增加,要实现直播水稻的稳产和高产,应发挥小穗、多穗的产量构成优势^[6,21,32]。但也有试验得出不一致结论,邓安凤等^[33]研究结果表明,单位面积颖花量和实际产量之间呈极显著正相关关系,在形成适宜穗数的基础上提高每穗颖花量,从而增加每穗粒数是提高直播稻产量的主要途径。蒋明金等^[34]发现,杂交籼稻的增产原因在于有效穗数、每穗粒数和结实率均相对较大,在获得适宜穗数的基础上协调出更多的穗粒数,获得较多的群体颖花量,同时保持较高的结实率和千粒重。陈明等^[35]对不同品种粳稻在直播栽培条件下的适应性及其表现的研究表明,在适宜穗数的基础上取得相对较大的穗型应该是直播稻获得高产的主攻方向。因此,钱银飞等^[9]指出,不同穗型的水稻品种产量构成因素对产量的贡献不同,大穗型品种产量与结实率的相关程度最高,中穗型品种产量与每穗粒数的相关程度最高,小穗型品种产量与穗数的相关程度最高。这就要求在栽培措施上要因品种不同而采取不同的栽培策略,使群体的各个因素达到最佳优化,从而提高产量。

4 栽培技术

4.1 种子引发

群体全苗建立是水稻直播面临的最直接问题,它将影响到生长发育及产量。

种子引发是一项预处理的水合技术,通过前期的水合作用,种子发芽速率加快,发芽率提高,抗氧化、耐旱等多种抗逆能力显著提升,秧苗素质得到极大改善,是前期全苗群体建立的有效解决方法,更有益于提高稻米产量和品质。水稻种子引发的方式多种多样,通常是采用渗调引发,以溶质为引发剂,将种子置于用溶液湿润的滤纸上或浸于溶液中,通过控制溶液的水势调节种子吸水量,从而达到引发目的。不同研究发现,不

同品种种子对不同引发剂的响应存在差异,但是与水引发相比,多个生长势指标仍然能够显著上升。

郑曼曼^[36]研究发现,与水引发相比, KNO_3 、PEG、Spd引发处理均能够显著提高旱直播条件下水稻的早发能力,促进单位面积穗数或颖花数的增加,提高旱直播水稻的产量;引发处理的响应存在品种间差异,黄华占对0.5 mmol/L Spd响应最好,而扬两优6号对10% PEG的响应最好。此外,还有多个不同溶剂^[37-38]不同逆境下引发试验的研究。Saddam^[39]在低温、缺肥、高盐、缺水、重金属等多种胁迫条件下进行水稻种子引发试验,发现不同胁迫会导致水稻出苗缓慢且不整齐,水稻幼苗生长衰弱,水稻体内生理代谢、淀粉代谢和呼吸速率降低,脂质过氧化反应增强,水稻秧苗 H_2O_2 的积累量增加,但种子引发处理均能提高淀粉代谢和呼吸速率,维持膜结构完整性,促进代谢合成以及增强抗氧化物活性,提升养分吸收能力,促进水稻种子发芽和幼苗生长。樊帆等^[40]质谱分析鉴定出57个引发相关蛋白,绝大多数的逆境防御蛋白类、能量相关蛋白类以及蛋白质合成和目标类蛋白丰度在引发处理中显著增加,推测引发提高种子发芽率的原因与逆境记忆、能量代谢活动和蛋白质合成能力增强等密切相关。

4.2 肥料运筹

直播水稻在不同地区、不同田块间生长,需要的施肥量差异很大。如何科学合理地施用肥料是直播稻获得高产的关键农艺措施之一。在施足底肥的基础上,少施分蘖肥,后期施好促花肥和保花肥,总体把握平衡施肥,肥力释放均匀,能满足直播稻各时期生长需求。

氮肥是对水稻产量影响最大的肥料,确定合理用量、合理分次施用,可以提高氮肥利用率,降低水稻对土壤氮的依存率^[41]。直播水稻分蘖早、分蘖多、中期生长旺盛,如果氮肥使用不合理,会造成前期生长过旺,易倒伏,导致严重减产;氮肥后移可以明显增加单位面积穗数、穗粒数和千粒重,从而提高产量,但后期氮肥比例过高,结实率、千粒重均明显降低,成穗数减少,也易引起倒伏减产。罗胜国等^[42]在五常市常规粳稻直播试验中发现,抽穗期施入粒肥能够提高直播稻生育后期叶片含氮量和氮积累量,增强光合生产能力。邓安凤等^[33]在昆明市直播常规粳稻,以30%基肥、10%“断奶肥”(1叶1心)、10%分蘖肥(2叶1心)、50%穗肥(倒4叶、倒2叶各施一半)分段施肥,群体茎蘖消长动态最平稳,抽穗期至成熟期的总干物质积累量、单位面积颖花数、产量均最高。在江西南昌市的两季稻早稻直播试

验中,基肥:蘖肥:穗肥=4:3:3 的处理产量最高,虽然增施蘖肥对干物质总积累量的影响差异不大,但是重施苗肥、不施分蘖肥、少施穗肥的处理,其干物质总积累量显著减少^[43-44]。蒋明金等^[34]研究认为,在播种量低于 22.5 kg/hm² 时,穗肥比例占总氮 50% 左右能获得足够有效穗数,增加每穗实粒数、提高结实率和千粒重,而播种量增加到 30.0 kg/hm² 时,穗肥比例占总氮 40% 时产量及其构成因素相对较好。

钾是水稻不可缺少的重要营养元素之一,增施钾肥可促进水稻叶面积增大、叶绿素含量增加、抗病能力增强,有利于中后期籽粒灌浆结实,同时还可提高水稻抗倒伏能力。王丽娟等^[45]在黑龙江省五常市研究了常规粳稻钾素吸收与分配规律,发现整个生育期,直播水稻各器官中钾的分配规律与手工移栽稻相同,但从幼穗分化期到抽穗期,直播水稻地上部分及各器官钾积累量总体上均远低于手工移栽稻,须在始穗期补充钾肥。李木英等^[46]在江西省的杂交籼稻直播试验中发现,钾肥增产效应是通过提高有效穗数和每穗粒数来实现的,合理增施钾肥可提高茎、鞘干物质分配比率,有利植株抗倒,且有明显的降低垩白粒率和垩白度的效果,但随着施钾量增加,钾肥的稻谷生产效益降低。张洋洋等^[47]研究指出,直播水稻钾肥一次性基施增加的纯收益、钾元素积累量和钾元素表观利用率略高于钾肥分次施用,但差异不显著。

此外,肥料定位深施 5~8 cm 有利于减少田间水层中溶解的氮、钾含量,进而减少田间漫流、渗漏、挥发造成的肥料损失,显著增加 N、P、K 的肥料利用率和农学利用率,磷肥由于移动性差,渗漏损失不明显,可作为基肥一次性施入^[48-49]。注重生育后期的养分供应,特别是氮素与钾素的供应,提高抽穗至成熟期磷素积累量与氮、钾素积累量的相关性,促进抽穗至成熟各养分向籽粒转运,发挥氮素和钾素协同吸收与利用的耦合效应,达到水稻各养分间的协同吸收。在水稻直播中也应配合硅、锌等肥料的施用^[50-51],以增加结实率、提升抗病能力、降低倒伏几率。

4.3 水分管理

水稻移栽需要消耗大量的水,且水分利用率低。有研究指出,传统灌溉使地下水水位下降,到 2025 年 20% 的亚洲移栽水稻会面临严重水危机,对移栽水稻有摧毁性的威胁。与水稻移栽相比,水稻直播省去了育秧和移栽环节的用水量,更加省水,是解决水资源危机的较佳选择。

水是对作物生长影响最直接也是最明显的因素,缺水限制作物的生长发育,影响光合作用,减少同化物质的积累。直播水稻前期生长采取湿润灌溉,在不影响产量的前提下,尽可能减少灌溉次数和灌溉水量,以促进水稻根系下扎,提高水分利用效率。蒋庆伟等^[52]研究认为,籼稻播种后 60 d 内的降雨量若达到 321 mm,早直播水稻的初始淹灌时间推迟至播种后 45 d 左右,不会影响产量。水分胁迫对水稻产量影响很大,在生殖生长的孕穗期、穗分化期和开花期缺水,水稻产量可下降 30%~50%^[53]。庄德续等^[54]通过 Jensen 模型得出,各需水关键期水分亏缺造成的减产损失由大到小依次为:抽穗期>拔节期>乳熟期>分蘖中期。在分蘖后期,应排水搁田以控制无效分蘖;水稻枝梗分化期以后,采用干湿交替的水分管理方式,既能满足水稻需水,又能促进根系生长、提高根系活力和叶片光合能力,有益于增加结实率和产量。

4.4 杂草防治

草害是影响直播水稻产量的主要限制因素之一。在直播过程中,水稻和杂草在田间同时萌发生长,杂草环境适应性强、普遍生长速率快,加之田间又没有水的镇压,杂草在与水稻的竞争中往往占优,影响水稻的生长潜力。据研究,直播稻田杂草发生量比秧田杂草增加 10 倍以上,杂草的生长可使直播水稻的产量下降 10% 左右,严重时甚至可以导致绝收^[55]。稻田杂草种类约有 100 种,不同地理区域、不同种植方式下,杂草的发生种类也存在差异,但仍以一年生及多年生禾本科、莎草科杂草及阔叶杂草为主。

直播后超过 15 d 的草害可能会导致水稻籽粒产量的显著下降。控制杂草,尤其是直播后 40~60 d 是杂草防治的关键时期^[1],及时进行芽前除草,使直播水稻能够吸收足够苗期养分、保持其高产能力。化学除草是最有效最强力的防治方法,近年来随着水稻除草剂的发展,直播水稻的产量不断提高。有条件的区域,可以在水稻直播以前浅耕、浅灌,或使用灭生性除草剂草甘膦 1 kg/hm²,在适合温度下可以除去田间杂草种子,尤其对消灭碎米莎草、异型莎草、水虱草、千金子、杂草稻等萌发性低以及超过 1 cm 难以发芽的杂草种子很有效^[1]。在直播后 5 d 内喷施土壤处理除草剂进行芽前除草是水稻直播稻田的常见除草方法,它将提供田间直播后 30 d 左右无杂草的水稻生长环境^[1]。李金兵等^[56]在淮南市车桥镇的研究证明,直播后施用 40% 苄嘧·丙草胺可湿性粉剂 1 200 g/hm²,30 d 内直播稻田杂草总

草防效为 91.14%, 较未用药区增产 49.18%, 较人工除草区增产 21.37%; 朱懿^[57]在成都市试验不同除草剂芽前除草效果时发现, 直播后 2 d 内施用 1 次丁草胺可以显著防治 4 叶前的田间杂草, 丁草胺对直播稻幼苗根系生长的抑制作用随着生育期的推移逐渐减弱, 水稻后期根系生长良好, 氮素吸收及干物质积累与转运均较快, 分蘖成穗率和产量相应提高; 邓权权等^[58]在广州天河区进行早直播“一封二杀”除草效果试验时发现, 播种前 10 d 喷施草甘膦 1 107 g/hm² 或通杀 1 号 1 350 g/hm², 播种后使用稻草闭 450 g/hm², 杂草防治效果达 85.63%~91.42%, 成秧率显著提高且在茎基宽、地上部干鲜质量和苗高等多个重要指标上显著优于对照。

在直播稻初始淹灌后直至收获, 应根据田间杂草的发生情况进行选择性除草。不少除草剂均有良好的除草效果^[1], 但单一除草剂长期使用会导致杂草产生抗药性^[59], 因此在使用除草剂时提倡轮换或者混合施用, 以防止和减缓抗药性发展。张宏军等^[59]研究表明, 在苗后茎叶施用 90~180 g/hm² 五氟磺草胺+氰氟草酯复配剂, 对田间杂草的综合防效可达 95% 以上, 显著优于对照药剂氰氟草酯, 与丙草胺+苄嘧磺隆混合除草效果相当, 且对后茬作物无不良影响。李静波^[60]比较了双草醚与吡嘧磺隆、灭草松、醚磺隆 3 种复配剂对湖南省沅江市直播水稻田一年生杂草的防除效果, 发现 230 g/hm² 20% 双草醚·吡嘧磺隆可湿性粉剂防除不同杂草效果均达到 87% 以上, 见效快, 持效期长, 且对单茬水稻安全。夏贤格^[61]在湖北武汉施用 70% 苯噻酰草胺·乙氧磺隆水分散粒剂 52.5~210.0 g/hm², 发现药后 40 d 内杂草防治效果仍可达 90.4%~97.3%, 田间光照和水肥条件显著改善, 每 hm² 增收可达 6 000 元。

化学除草更应当与其他除草手段集成使用。Sheeja 等^[1]综述了土地校平、轮作、晒土、布朗施肥、水分管理、机械除草、稻鸭(鱼)共养等多种物理、机械、生物控草技术, 不同学者均^[1, 62]指出, 除草应当以消耗土壤杂草种子库为目标, 使得直播水稻群体更具备田间养分竞争能力。

5 水稻机械化直播发展面临的挑战

5.1 品种

直播水稻没有秧苗移栽损伤后的大田返青缓苗阶段, 整个生育期会加快 7~10 d, 但直播稻播期与秧苗移栽期时间大致一致, 导致直播水稻整个生育期会缩短 20 d 左右, 主要表现为营养生长期缩短, 生殖生长期相

对稳定^[63]。因此, 短中生育期的水稻品种, 面对播期多变的气候及我国复杂的种植环境时仍然具备早生快发能力非常必要。此外, 针对机械化直播栽培的特点, 水稻品种还应具备除草剂耐受性、病虫害抗性和抗倒伏能力。

5.2 产量

虽然众多研究证明直播稻与移栽稻产量大致相当, 但也有产量出现下滑^[59]。播期多变的气候往往造成直播稻烂种、烂芽和死苗, 鸟害、鼠害也十分严重, 极易造成种子及人工管理成本上升; 直播水田前期无持水层, 水稻前期群体小, 对杂草镇压能力弱, 大田杂草往往表现为种类多、数量多、生长频繁, 防治难度大; 直播水稻根系分布浅^[64], 分蘖早而多, 如若分蘖控制不当, 将造成田间群体过大, 通风透光条件变差, 水稻基部节间拉长, 在不利的天气下很容易发生根倒和茎倒, 造成严重的产量损失。能否解决全苗、草害、倒伏这些一直以来水稻机械化直播面临的重要问题, 关系到直播水稻能否取得成功。此外, 能适应国内更多大田土质和稻种类型, 播种均匀度高、能有力构建高质量群体起点的水稻精量直播机械依然需要。

5.3 茬口

在我国南方资源制约型农业生产区, 无论是一年两熟还是一年三熟制度, 茬口衔接都十分紧张。全国种类繁多的水稻品种、参差不齐的基础设施、不同程度的规模化生产水平, 均加大了直播机械的适用难度。机械化直播压缩了水稻生育期, 较长生育期的高产优质水稻品种不能应用, 且降低了个体生长量和群体质量, 加大了获取足穗大穗的难度, 尤其是轮作种植的稻区, 耕作整地时秸秆全量还田困难, 影响直播机作业质量, 秸秆腐烂过程中释放的植物毒素还可能造成僵苗不发^[55]。

6 水稻机械化直播研究展望

面对未来全球水资源不足以及越来越高的劳力成本, 水稻机械化直播为水稻种植提供了更具吸引力的选择。种植方式从育苗移栽向直播过渡时, 更需要特殊水稻品种的选育和更适合的机械化直播生产农艺技术。目前, 恰当管理的直播水稻已经能达到和移栽水稻相同甚至更多的单产, 但从近年来各省的生产实践来看, 直播水稻在稳产、全苗、杂草防控、倒伏等方面仍然存在一定的问题, 如果在农艺技术上难以把握, 生产上则必定有重大风险。因此, 更合理地确定直播种植区

域,更充分地利用温光资源条件,研制更高作业质量、更广泛适应性的精量穴直播机械,探索更科学的高产栽培农艺配套技术,集成更多创新栽培技术体系,是水稻机械化直播技术示范推广的前提和必然发展趋势。

参考文献

- [1] Sheeja K R, Elizabeth K S. Weed management in direct seeded rice: a review[J]. *Agri Rev*, 2017, 38(1): 41-50.
- [2] Mazher F I, Muzzammil H, Abdul R. Direct seeded rice: purely a site specific technology[J]. *Int J Adv Res Biol Sci*, 2017, 4(1): 53-57.
- [3] Ye T, Qian C, Shaobing P, et al. Lower global warming potential and higher yield of wet direct-seeded rice in Central China [J]. *Agron Sustain Dev*, 2016(36): 24.
- [4] 黄成志, 黄文章, 雷树凡, 等. 丘陵山区水稻直播研究[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(23): 20-23.
- [5] 钱银飞, 张洪程, 李杰, 等. 不同穗型水稻品种直播产量及其群体质量特征的研究 [J]. *江西农业大学学报*, 2008, 30 (5): 766-772.
- [6] 苏昌龙, 钱晓刚, 冯跃华, 等. 不同水稻品种直播比较试验[J]. *贵州农业科学*, 2012, 40(9): 87-89.
- [7] 何勇, 李斌, 林承勇, 等. 水稻直播关键技术研究[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(35): 51-53.
- [8] 王洋. 适于直播的水稻种质资源筛选及种子活力和幼苗耐缺氧能力优异等位变异的发掘[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [9] 杨志涛, 李媛, 张少红, 等. 377 份多样性国际稻种低温发芽力评价[J]. *广东农业科学*, 2017, 44(4): 1-6.
- [10] 鲁清. 水稻种质资源重要农艺性状的全基因组关联分析 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [11] 姚玉莹. 水稻核心种质抗倒特性及其主要农艺性状的全基因组关联分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [12] 陈孙禄. 水稻几个重要农艺性状 QTL 的完备区间作图[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [13] 孙永健, 郑洪幛, 徐徽, 等. 机械旱直播方式促进水稻生长发育提高产量[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(20): 10-17.
- [14] 程建平, 赵锋, 吴波, 等. 不同直播种植模式对水稻根系特征和产量形成的影响[J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(24): 5 989-5 983.
- [15] 张耗, 余超, 陈可伟, 等. 直播方式对水稻生理性状和产量的影响及其成本分析[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(13): 58-64.
- [16] 许轲, 唐磊, 张洪程, 等. 不同机械直播方式对水稻分蘖特性及产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(13): 43-52.
- [17] 王在满, 郑乐, 张明华, 等. 不同播种方式对直播水稻倒伏指数和根系生长的影响[J]. *江苏农业学报*, 2016, 32(4): 725-728.
- [18] 梅少华, 陈兴国, 田剑, 等. 不同播种量和施氮量对黄华占直播产量及其构成因素的影响[J]. *中国稻米*, 2011, 17(3): 39-42.
- [19] 张洪程, 龚金龙. 中国水稻种植机械化高产农艺研究现状及发展探讨[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(7): 1 273-1 289.
- [20] 董洋阳. 太湖地区直播播期对不同生育类型水稻品种产量形成及品质的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2012.
- [21] 辛明金, 任文涛, 宋玉秋, 等. 旱直播对水稻生长及产量的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2014, 45(2): 175-179.
- [22] 张明华, 罗锡文, 王在满, 等. 水稻精量穴直播机仿形与滑板机构的优化设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(6): 18-26.
- [23] Xing H, Wang Z M, Luo X W, et al. General structure design and field experiment of pneumatic rice direct-seeder [J]. *Int J Agric Biol Eng*, 2017, 10(6): 31-42.
- [24] 戴亿政, 罗锡文, 王在满, 等. 气力集排式水稻分种器设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(24): 36-42.
- [25] 张明华, 罗锡文, 王在满, 等. 水稻直播机组合型孔排种器设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2016, 47(9): 29-36.
- [26] 张明华, 王在满, 罗锡文, 等. 水稻精量穴直播机开沟装置的设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(5): 10-15.
- [27] Fu W, Zhang Z Y, Zang Y, et al. Development and experiment of rice hill-drop drilling machine for dry land based on proportional speed regulation[J]. *Int J Agric Biol Eng*, 2017, 10(4): 77-86.
- [28] 邢志鹏, 吴培, 朱明, 等. 机械化种植方式对不同品种水稻株型及抗倒伏能力的影响[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(1): 52-62.
- [29] 雷小龙, 刘利, 刘波, 等. 机械化种植对杂交籼稻 F 优 498 产量构成与株型特征的影响[J]. *作物学报*, 2014, 40(4): 719-730.
- [30] 倪玉琼, 曹芳琴, 钟芳芳. 不同播种方式对黔东南水稻产量和经济效益的影响[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(3): 348-353.
- [31] 王美娥, 钟宗石, 陈明, 等. 机直播稻不同播期分蘖特性及其与产量构成的关系[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(27): 55-57.
- [32] 张喜娟, 来永才, 孟英, 等. 种植方式对寒地粳稻生育期、产量和温度利用的影响[J]. *作物杂志*, 2017(5): 124-128.
- [33] 邓安凤, 杨从党, 陈清华, 等. 不同施肥方式对不同密度下直播稻的产量及群体光合物质生产的影响 [J]. *中国稻米*, 2017, 23(4): 123-129.
- [34] 蒋明金, 孙永健, 徐徽, 等. 播种量与氮肥运筹对直播杂交籼稻抗倒伏潜力及产量的影响[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2014, 40(6): 627-637.
- [35] 陈明. 直播水稻群体生产力的形成特点及其品种类型差异研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2012.
- [36] 郑曼曼. 种子引发对旱直播水稻萌发、生长及产量的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [37] 张言芳. 水稻幼苗耐温度逆境种子引发剂的筛选与生理作用研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [38] 周小梅, 赵运林, 文彤, 等. 亚精胺引发对水分胁迫下水稻种子活力及幼苗生理特性的影响[J]. *核农学报*, 2013, 27(2): 247-252.
- [39] Saddam Hussain. 种子引发对养分缺乏与非生物胁迫下水稻幼苗生长、离子平衡及氧化代谢的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [40] 樊帆, 郭述近, 高家东, 等. 引发提高水稻劣变种子发芽率的蛋白质组学分析[J]. *热带作物学报*, 2017, 38(5): 829-837.
- [41] 侯文峰, 李小坤, 李云春, 等. 氮肥运筹对鄂南直播稻生长、产量及氮素吸收的影响[J]. *中国稻米*, 2014, 20(5): 22-26.
- [42] 罗盛国, 周婷, 尹宇龙, 等. 寒地直播稻氮素积累与转运特征[J]. *东北农业大学学报*, 2015, 46(9): 6-22.
- [43] 张祖建, 谢成林, 谢仁康, 等. 苏中地区直播水稻的群体生产力及

- 氮肥运筹的效应[J]. 作物学报, 2011, 37(4): 677-685.
- [44] 谭雪明, 贾维强, 李木英, 等. 氮肥运筹对机械穴直播早稻产量的影响[J]. 江西农业大学学报, 2016, 38(5): 805-812.
- [45] 王丽娟, 罗盛国, 刘元英, 等. 寒地直播水稻钾素吸收与分配规律研究[J]. 河南农业科学, 2016, 45(8): 12-17.
- [46] 李木英, 陈志攀, 石庆华, 等. 不同氮钾配比对直播稻钾素吸收和利用效益的影响[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(1): 1-7.
- [47] 张洋洋, 鲁剑巍, 王友珠, 等. 钾肥施用方式对直播和移栽水稻产量和钾肥利用效率的影响[J]. 作物杂志, 2016(1): 110-114.
- [48] 龙继锐, 宋春芳, 马国辉, 等. 机械精量穴直播和定位施肥对水稻生长与养分迁移的影响[J]. 杂交水稻, 2014, 29(3): 60-64.
- [49] Pan S G, Wen X C, Wang Z M, et al. Benefits of mechanized deep placement of nitrogen fertilizer in direct-seeded rice in South China [J]. *Field Crop Res*, 2017, 203: 139-149.
- [50] 瞿廷广, 施正连, 丁江妹. 硅肥对直播水稻的抗逆性和产量的影响[J]. 土地肥料, 2003(5): 26-28.
- [51] 宋科, 姚政, 徐四新, 等. 锌肥对崇明水稻的增产效果研究[J]. 上海农业学报, 2011, 27(2): 63-66.
- [52] 蒋庆伟. 初始淹灌时间对旱直播水稻产量和水分利用效率的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [53] 张玉屏, 朱德峰, 林贤青, 等. 不同时期水分胁迫对水稻生长特性和产量形成的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 48-53.
- [54] 庄德续, 司振江, 李芳花. 不同灌溉模式水稻需水规律研究[J]. 节水灌溉, 2014(8): 1-3.
- [55] Farooq M, Kadamot H M S, Rehman H, et al. Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities[J]. *Soil Tillage Res*, 2011: 87-98.
- [56] 李金兵, 刘伟中, 汪立新, 等. 不同药剂封闭防除直播稻田杂草效果试验[J]. 现代农业科技, 2016(3): 143-144.
- [57] 朱懿. 不同除草剂对机直播稻田杂草控制及水稻生长和产量的影响[D]. 成都: 四川农业大学, 2015.
- [58] 邓权权, 潘圣刚, 段美洋, 等. 除草剂对旱直播稻田杂草防除和水稻幼苗的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 20(1): 131-135.
- [59] 张宏军, 崔海兰, 朱文达, 等. 五氟磺草胺和氟氟草酯复配剂对水稻直播田杂草的防除效果及安全性评价 [J]. 植物保护, 2011, 37(2): 177-181.
- [60] 李静波, 欧阳石先, 郑伟, 等. 双草醚与吡嘧磺隆、灭草松、醚磺隆复配对早稻直播田一年生杂草的防效 [J]. 杂草科学, 2015, 33(1): 53-56.
- [61] 夏贤格, 朱文达, 李林. 苯噻酰草胺·乙氧磺隆防除水稻直播田杂草的效果及对光照和养分的影响 [J]. 山西农业大学学报, 2016, 36(4): 229-234.
- [62] Adusumilli N R, Daniel C B, Virender K, et al. Chapter two—preventive weed management in direct-seeded rice: targeting the weed seedbank[J]. *Adv Agron*, 2017, 44: 45-142.
- [63] 姚义. 江淮下游地区直播稻播期与品种综合生产力及其利用的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2012.
- [64] 刘红江, 蒋银涛, 陈留根, 等. 不同播栽方式对水稻根系生长及产量形成的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 310-316.

Research Advances of Rice Mechanical Direct-seeding Technology in China

CHEN Xuefei¹, TANG Yanping², XIE Yingjie^{1*}, LI Shang¹, CHU Jianbo³, AO Fangyuan¹, PENG Weiqin¹, LI Haishan¹, WAN Yuhua¹

(¹ Chongqing Agricultural Machinery Technology Extension Station, Chongqing 401147, China; ² Dazhou Agrotechnical Extension Station, Dazhou, Sichuan 635000, China; ³ Rural Work Bureau of Luodian County, Luodian, Guizhou 550100, China; 1st author: takemetoxfchen@163.com; *Corresponding author: cqnjxieyingjie@163.com)

Abstract: Rice direct seeding has the characteristics of cost-saving, labor-saving and efficient, and it's conducive to mechanized operation. It provides a new direction for rice planting. In recent years, rice mechanized direct-seeding has developed rapidly in many provinces in China. Several rice varieties integrated with kinds of agricultural machinery and technology have been tested and demonstrated. This paper has reviewed the research status of rice variety selection, seeding machinery, yield traits, cultivation techniques and many other aspects, probed into challenges and future research directions of rice mechanized direct-seeding production in China. It provides some theoretical guidance for further promotion and application of rice mechanized direct-seeding.

Key words: direct-seeding rice; mechanized planting technology; cultivation techniques

·综合信息·

陕西省 2017 年审定通过的水稻新品种(2)

审定编号 (陕审稻)	品种名称	类型	选育单位	品种来源	全生育期 (d)	区试产量 (kg/667 m ²)
2017005 号	糯优 748	籼型三系杂交糯稻	四川达丰种业科技有限责任公司、成都南方杂交水稻研究所	香糯 518×糯恢 748	153.8	526.7
2017006 号	泰优 037	籼型三系杂交稻	陕西汉中现代农业科技有限公司	泰香 22A×R037	151.0	643.3
2017007 号	陕农优 206	籼型三系杂交稻	陕西省汉中市农业科学研究所	陕农 1A×陕恢 206	153.5	661.2
2017008 号	泰丰优 2098	籼型三系杂交稻	福建省农业科学院水稻研究所、广东省农业科学院水稻研究所	泰丰 A×福恢 2098	153.7	604.3

(中稻宣)