

# 水稻育种发展趋势及直播耐淹水萌发研究进展

汪 杰<sup>1,2</sup> 李世明<sup>2</sup> 王楚桃<sup>3</sup> 王 婧<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>重庆大学生命科学学院,重庆 401331; <sup>2</sup>华控种业科创服务(武汉)有限公司,武汉 430090;

<sup>3</sup>重庆市农业科学院水稻研究所,重庆 400000; <sup>4</sup>湖北省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所,武汉 430064)

**摘要:**水稻(*Oryza sativa* L.)是我国最主要的粮食作物,中国水稻育种技术先进,为高产、多抗、广适、优质水稻新品种选育和推广提供了有力的支撑。水稻的产量增加、品质改善和抗性提高对解决粮食问题、减轻环境污染等具有举足轻重的作用。随着社会经济发展和产业要素变革,轻简化的绿色栽培成为水稻产业可持续发展的重要方式。淹水直播栽培模式能节省劳力、节约资源、有效降低杂草危害,从而降低水稻生产成本,近年来推广面积不断扩大。淹水直播环境相对低氧,需有具备耐淹水低氧萌发性能的水稻品种作为配套,以保证出苗率。对水稻育种发展趋势进行了分析,综述了水稻耐淹水萌发表型的遗传研究、基因鉴定、连锁分子标记开发等工作,并指出了该领域应用研究的关键问题。

**关键词:**水稻育种;轻简化栽培;耐淹水萌发;分子标记辅助育种

我国稻作栽培有着悠久的历史,育秧移栽具备有效控制草荒、缓解农时矛盾、高产稳产等特点,在

基金项目:湖北省农业科学院青年基金项目(2018NKYJJ18)

通信作者:王婧

宋代就已发展成熟并延续至今。我国水稻领域科研实力世界领先,半矮化育种、杂种优势的利用,以及基因组测序研究等水稻发展史上的里程碑事件,均出自我国科学家的贡献。社会经济发展、消费需求

道和联合体试验审定品种将在生产上推广应用。但由于绿色通道和联合体试验开展试验时间还不长,试验牵头人员组织管理经验不足,缺乏对试点人员进行全面系统技术培训,个别试验存在管理和操作不规范现象。出现问题是发展中的问题,应通过加强对人员培训、组织对试验进行监督检查、加大对不符合要求试验处罚等措施,提高绿色通道和联合体试验水平。

**5.4 关于没有出现大品种问题** 这次品种审定制度改革之后,审定品种数量大幅度增加,绿色优质和适应种植业结构调整的品种大幅度增加。但也有人提出,品种数量虽然增加了,而广适的突破性品种不多,也有人认为品种多不好管,总希望能有更多像汕优63和郑单958一样的大品种。对于广适性品种少的问题,应有一个全面客观认识。杂交水稻品种汕优63是20世纪80年代审定,1990年推广面积达到顶峰超过1亿亩,玉米品种郑单958于21世纪初审定,2012年推广面积达到顶峰接近7000万亩。这些品种的出现与其历史背景密切相关,一是这些品种是在计划经济时期,市场对品种需求突出高产性状,当前虽然有一批在产量、抗性、品质等综合农艺性状

方面超过汕优63的品种,但由于市场对产量、品质等需求的多样化不可能再“一支独秀”;二是目前品种市场发育更加成熟,企业按细化的市场推广品种更能发挥品种潜力,靠个别品种包打天下的营销理念发生了变化;三是目前品种推广主体是种子企业,控制生产风险是企业经营的策略,一般而言品种推广面积越大区域越广,生产风险会越大。

品种审定制度改革不能停步,这几年品种审定制度改革解决的主要矛盾是品种参加试验难、通过审定难、品种审定标准单一的问题。随着这些矛盾的解决,品种审定中存在的其他问题又将会成为主要矛盾,仍需要通过继续深化改革予以解决。

## 参考文献

- [1] 胡小军,张丽.我国农作物品种审定制度沿革与现状分析.中国种业,2014(7):1-3
- [2] 郭利磊,张笑晴.我国农作物品种区试审定制度的改革与发展.中国种业,2019(2):12-14
- [3] 吴海彬,卢兵友,刘江,姜涛,王振忠.深化科企合作,加快小麦商业化育种步伐.中国种业,2019(1):28-29

(收稿日期:2020-06-23)

的改变及产业要素变革,使得轻简化的绿色栽培成为水稻产业可持续发展的重要方式,近年来推广面积不断扩大,与之配套的耐淹水萌发水稻品种尤为关键,受到了行业的普遍重视。

## 1 水稻育种发展趋势

**1.1 育成品种的生产应用情况** 1974–2018年全国共审定11066个水稻品种(根据国家水稻中心数据统计, <http://www.ricedata.cn>),真正大面积用于生产的品种极为有限。最高每年种植面积大于6667hm<sup>2</sup>的品种只有800多个,最大年种植面积40万hm<sup>2</sup>的品种仅55个,其中常规稻品种23个、杂交稻品种32个。由此可见,育种家花费大量精力和资金投入选育成的新品种,大部分在通过审定时实际上已退出市场<sup>[1-3]</sup>。

### 1.2 产业环境变化及育种对策

**1.2.1 消费需求层面** 自20世纪60年代至今,日本人均大米年消费量从120多kg降到了60多kg。同期在中国台湾,大米需求更是从160多kg跌到了50kg。2018–2019年度(10月至次年9月)我国稻谷产量2.12亿t,供给量为2.16亿t,其中进口400万t左右,年度稻谷总消费量1.97亿t,供大于求1933万t<sup>[4]</sup>。在人均消费量减少的同时,部分消费者更多关注稻米食味品质,以及农药残留、重金属等是否超标,生产过程是否绿色等安全性问题,有的细分群体对稻米功能性提出了要求,如低GI值、维生素含量等。深加工方面,如米线、婴幼儿米粉等,对品质(对应专用品种)和一致性有较高要求。在未来水稻育种中要充分考虑供需结构变化,在高产、多抗、广适的基础上,将稻米食味品质作为重要目标,兼顾香味、拒重金属等特性,以及营养和功能需求<sup>[5]</sup>。

**1.2.2 生产过程层面** 随着城镇化加快和环境急剧变化,保障耕种的土地资源和淡水资源都在不断地减少,加之近年来极端天气频繁出现,病虫害时有发生<sup>[6]</sup>。同时,中国人口步入老龄化阶段,劳动力资源逐渐萎缩,人工成本急剧攀升。这些都对稻谷的生产提出了新的命题,也需要科研人员从育种层面作出调整,如培育高抗病虫、抗逆性强的品种,以及适合轻简化(如直播)栽培的品种。有效降低病虫害发生和逆境胁迫对生产的影响,能实现全程机械化,降低生产成本投入,促进产业可持续发展<sup>[7-8]</sup>。

**1.2.3 生态保护层面** 水稻是耗水喜肥作物。每生产1t水稻需要耗费2000t水资源,是小麦的2~3倍<sup>[9]</sup>。水稻种植过程还需使用肥料、农药、除草剂

等物质,过量肥药的投入使用,极易造成面源污染。这与当下环境大保护、绿色发展和美丽乡村建设时代主题不相符。需培育出营养(氮)高效、节水节肥、稻鱼(虾)共作的配套品种,保障水稻生产过程中实现资源节约和环境友好。

**1.2.4 产业形态层面** 水稻种植本是农业生产,属第一产业,随着人们生活水平的不断提高,乡村旅游不断升温,同时,田园综合体或农旅小镇建设逐步推开,给水稻的生产赋予了更多的产业属性。由红色、紫色、黄色、白色等叶片和彩色米组成的稻田画具备一定的观赏性,可为三产融合发展提供更多的题材和选择。

## 2 水稻直播轻简化栽培概况

**2.1 水稻栽培技术发展** 水稻是我国最主要的粮食作物,我国水稻种植方式由原始的直播旱种到现在经历了7000多年的历史,直到汉代才发明了育秧移栽<sup>[10]</sup>,直播和育苗移栽在我国的稻作史上曾长期并存。由于育苗移栽具有有效控制草荒、缓解农时矛盾、高产稳产等优点,从宋元代开始在水稻栽培方式中就占据了主导地位<sup>[11]</sup>,经明清至今。我国人多地少,粮食安全显得尤为重要,由于育秧及小规模的精耕细作种植方式能保证相对高产稳产,成为我国到目前仍采用的最主要水稻栽培模式。但该栽培模式中育秧需额外占用耕地,并消耗大量的农业用水,耗费巨大的人力、物力,成本较高。近年来,随着我国农村经济的发展、市场供需结构的变化和产业结构的调整,二、三产业的快速发展,农村青壮年大量转移到城市,农村劳动力大幅减少且逐步老龄化,传统的水稻生产模式已不再适合我国农业发展的要求。能节水节肥节地、减少用工量、减轻劳动强度、低成本、优质高效的轻简化水稻栽培模式成为现代稻作的迫切需求。

**2.2 水稻直播轻简化栽培的优势** 水稻直播轻简化栽培是指直接将水稻种子播种到大田,无需育秧和移栽环节,仅需耕整地和直播两个环节就可以完成水稻种植过程。该栽培方法能减轻劳动强度、提高劳动生产率,在当前具有很大的推广应用价值<sup>[12]</sup>。

其主要优点包括以下两方面。一是省工、省力、省田、省资源、省成本。常规移栽需要有育秧和插秧环节,包括耕整地、播种、秧苗管理、拔秧等工序,陈俊<sup>[13]</sup>统计发现,采用直播水稻每hm<sup>2</sup>可以省工52个,相当于节省1050元;郭九林等<sup>[14]</sup>统计得出,采用直播的水稻每hm<sup>2</sup>人本费比常规移栽

稻节省了1248元。育秧过程不仅需要消耗大量的人工,同时还需要消耗架材、农膜、农药、水等资源,综合成本较高。秧田和大田按1:10比例计算,按800元/667m<sup>2</sup>土地流转费折算,种植水稻每hm<sup>2</sup>节省土地成本1200元<sup>[15]</sup>。二是生长好、成熟期早、产量高。直播水稻从幼苗开始就直接在大田中,没有拔秧环节,不伤根系,无育秧移栽后的返青过程,生长单株营养面积大、光照足,有利于根系发育,抗倒伏能力更强、发育快、分蘖早、有效穗多。有研究通过4年对比发现,直播稻一般可提前7~10d成熟,每667m<sup>2</sup>产量平均增幅达6.82%<sup>[16-18]</sup>。

综上所述,水稻作为我国主要的粮食作物,为了节约资源、提高产量和控制生产成本,可通过直播轻简化栽培,提高水稻种植的经济效益。

### 2.3 水稻直播轻简化栽培应用情况及面临的问题

随着灌溉设施的改善、除草剂的应用、育种技术的进步以及用工成本的升高,许多国家的水稻生产都逐步采用直播栽培。美国和澳大利亚的水稻生产已全部采用机械直播栽培,斯里兰卡水稻80%的播种面积采用直播栽培、菲律宾的早稻30%的灌溉面积采用直播栽培<sup>[19]</sup>。由于我国幅员辽阔,地理气候状况、土地集中程度和经济条件差别较大,目前正从育秧移栽为主向直播轻简化栽培发展。水稻直播轻简化栽培技术越来越受到重视,如何在稳产的同时,大幅度降低生产成本、提高生产效益,目前仍有以下问题亟待解决。

(1)产量不稳。包括品种生育期和成苗率两方面问题。由于直播栽培省去了育秧环节,部分地区因积温原因播期推迟,如选用晚熟品种,安全齐穗受到影响;选用早熟品种,则影响产量潜力。同时,出苗率受土地平整条件和天气状况影响较大。若土地平整度不好,部分种子播种后淹水过深,如遇低温阴雨天气容易烂种死苗,造成减产。有研究表明,同一品种水旱直播年际单产波动达9%以上,而机械插秧在5%左右。因此,迫切需要选育出成熟期适中、耐淹水萌发率高的合适品种,保证播种后一次性成苗<sup>[20-23]</sup>。

(2)杂草难控。早在1950-1960年我国就出现了杂草稻,但由于劳动力充足,采用精耕细作的生产方式,杂草稻没有造成大的危害。近年来,随着直播轻简化栽培技术的推广应用,以杂草稻为首的草害逐年加重,对水稻生产影响越来越大。草害不仅会降低水稻产量、增加种植成本,还会影响稻米的商品价值。现有杂草防治手段主要是通过深翻等农艺处理,以及多次喷施除草剂的防治方法,不仅增加了种

植成本,还加大了除草剂残留风险。

试验表明,大田播种后处以5cm左右淹水能有效杀灭杂草,从而减少除草剂的使用量,降低生产成本和除草剂残留风险,该方法具备经济性好、实用性强等优点。因此,迫切需要选育出具备良好耐淹水萌发特性的配套品种<sup>[24-27]</sup>。

## 3 水稻耐淹水萌发研究

**3.1 水稻耐淹水萌发研究进展** 水稻直播栽培作为一项轻简种植技术,能大幅提升规模化种植水平和经济效益。耐淹水萌发水稻品种的选育和应用,可降低对直播田面平整度的要求、提高出苗率和秧苗一致性、减少用种量,淹水出苗能有效防控杂草、减少除草剂使用,意义重大。耐淹水萌发品种水稻相关资源的收集评价、基因的研究和挖掘等越来越受到业界的重视<sup>[28-29]</sup>。

曹微等<sup>[30]</sup>考察15个种子活力相关的指标,通过多重比较分析、变异分析、主成分分析和相关性分析等对23个供试品种进行了综合评价,得到6个低氧抗性低温抗性型品种,其中一个品种在低温和低氧条件下综合表现优良。王洋<sup>[31]</sup>从94个太湖流域水稻核心种质构成的自然群体中筛选出了42个携带种子活力(根长、苗高、干重)优异等位变异的载体材料和6个携带幼苗耐缺氧能力优异等位变异的载体材料。章孟臣<sup>[32]</sup>用432份籼稻品种构建自然群体,通过GWAS分析进行水稻耐淹发芽性状的遗传研究,从3971个SNP分子标记中关联到了2个SNP标记位点携带强优势等位基因,聚合效应分析表明,品种耐淹性随携带优势等位基因数量的增加而增加,并认为这些优势等位基因可直接用于分子标记辅助选择育种。姜旋等<sup>[33]</sup>构建了198个DNA标记的连锁图谱,用复合区间作图法共检测到7个主效应QTL,位于3号和8号染色体上,并发现了2个主效QTL。侯名语等<sup>[34]</sup>利用81个重组自交系群体进行了水稻低氧发芽力QTL分析,在第1、2、5、7染色体上检测到5个低氧发芽力QTL,其中位于第3、5号染色体上的2个位点互作贡献率高达48.78%,为主效QTL。陈振挺等<sup>[35]</sup>利用淹水萌发过程中胚芽鞘长度作为水稻淹水萌发相关性状的表型鉴定指标,从一套包含268个品种的水稻自然变异群体中鉴定出了8个在淹水条件下具有较高发芽率和胚芽鞘延长能力的品种,发现籼粳稻品种间存在萌发耐淹性的显著差异,粳稻品种具有较强的淹水萌发能力,并在第1、2、7、9、11、12号染色体上

定位到7个显著关联位点。

**3.2 水稻耐淹水萌发育种应用相关问题** 近年来已有不少关于耐淹水萌发水稻资源收集与评估、表型关联基因的定位等工作成果发表,但少见以这些成果为基础而选育的品种进行推广应用<sup>[36]</sup>。主要原因是水稻耐淹水萌发性状本身由分布在不同染色体上的多基因控制,是数量性状控制基因,增添了研究的难度,在传统的分子标记手段和标记覆盖密度条件下,很难开发出与该表型紧密连锁的育种应用级分子标记。而采用传统的回交转育、表型鉴定的育种方式,很难将控制性状的多个基因都导入到目标材料,并排除非目标DNA片段(性状)的干扰。因此,需用耐淹水萌发性能高的种质材料,通过基于全基因组高密度分子标记技术,开发出与控制水稻耐淹水萌发的主效基因位点紧密连锁的分子标记,在全基因组高密度分子标记的指导下,将相关主效基因精准导入目标材料,育成高耐淹水萌发品种,从而解决目前水稻直播轻简化栽培面临的紧迫问题。

#### 参考文献

- [1] 胡小军,张丽.我国农作物品种审定制度沿革与现状分析.中国种业,2014(7):1-3
- [2] 汤圣祥,王秀东,刘旭.中国常规水稻品种的更替趋势和核心骨干亲本研究.中国农业科学,2012,5(8):1455-1464
- [3] 魏兴华,汤圣祥.中国常规稻品种图志.杭州:浙江科学技术出版社,2011
- [4] 朱祖平,骆江英.我国稻米生产贸易现状与进出口影响因素分析.现代农业科技,2019(12):265-266
- [5] 廖江林,肖国樱,李阳生,李达模.我国功能营养稻研究进展及发展对策.农业现代化研究,2003,24(3):170-173
- [6] Liu Y Q, Wu H, Chen H, Liu Y L, He J, Kang H Y, Sun Z G, Pan G, Wang Q, Hu J L, Zhou F, Zhou K N, Zheng X M, Ren Y L, Chen L M, Wang Y H, Zhao Z G, Lin Q B, Wu F Q, Zhang X, Guo X P, Cheng X N, Jiang L, Wu C Y, Wang H Y, Wan J M. A gene cluster encoding lectin receptor kinases confers broad-spectrum and durable insect resistance in rice. *Nature Biotechnology*, 2015, 33(3): 301-305
- [7] Brookes G, Barfoot P. Global income and production impacts of using GM crop technology 1996-2013. *GM Crops & Food*, 2015, 6(1): 13-46
- [8] Li Y H, Peng Y F, Hallerman E M, Wu K M. Biosafety management and commercial use of genetically modified crops in China. *Plant Cell Reports*, 2014, 33(4): 565-573
- [9] 汝晨,魏永霞,刘慧,杨军明,侯景翔,张奕.水稻产量及其构成要素对耗水过程的响应综述.节水灌溉,2017(12):97-103
- [10] 游修龄.中国稻作史.北京:中国农业出版社,1995
- [11] 陈伟明.宋代水稻栽培技术的发展与定型.中国农史,1988(3):31-35
- [12] 王云华,平建芬,谭艳丽,郭肖艳,黄吉美.水稻轻简化高效栽培技术模式试验研究.安徽农业科学,2016,44(28):39-41
- [13] 陈俊.水稻直播优势及天优81直播生产技术.安徽农学通报,2009,15(7):218
- [14] 郭九林,戴振福,顾春健,陈廷顺.大面积机械直播水稻技术经济效益分析.农业技术经济,2000(1):38-39
- [15] 宿桂红,傅新红.中国粮食主产区水稻生产技术效率分析.中国农学通报,2011,27(2):439-445
- [16] 骆诗勇,刘垚,周应友.水稻不同栽培方式效果初报.耕作与栽培,2009(2):42-53
- [17] 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.核农学报,2013,27(4):487-494
- [18] Wang Y H, Zhou H P, Pan T P, Mei G H, Wen G N, Huang J M. Simplified high-yielding cultivation technology of rice. *Agricultural Science & Technology*, 2016, 17(9): 2048-2050
- [19] 王洋,张祖立,张亚双,崔红光.国内外水稻直播种植发展概况.农机化研究,2007(1):48-50
- [20] 李忠正,朱忠清.我国水稻轻简化栽培的研究进展.农业科技通讯,2015(3):15-18
- [21] 胡宗兵.水稻轻简化栽培技术探讨.中国农业信息,2016(7):71
- [22] 陈健.水稻栽培方式的演变与发展研究.沈阳农业大学学报,2003,34(5):389-393
- [23] 陈雪飞,唐艳萍,谢英杰,李尚,楚建波,敖方源,彭维钦,李海山,万玉华.我国机械化直播水稻生产技术研究进展.中国稻米,2018,24(4):9-15
- [24] 余柳青,张建萍,张宏军.稻田杂草防控技术手册.北京:金盾出版社,2013
- [25] 王渭霞,朱廷恒,邵国胜.杂草稻的分类、起源及利用研究进展.杂草学报,2005(2):1-5
- [26] 王蓓,何雨,吴蓉,沈亚芳,王洋,赵光武.杂草稻生物学特性、发生与防控研究进展.浙江农林大学学报,2019,36(5):1028-1036
- [27] 吴文革,季雅岚,习敏,许有尊,孙雪原.杂草稻的生物学特性及利用研究进展.安徽农业科学,2018,46(17):30-33
- [28] Lee K W, Chen P W, Lu C A, Chen S, Ho T H, Yu S M. Coordinated responses to oxygen and sugar deficiency allow rice seedlings to tolerate flooding. *Science signaling*, 2009, 2(91): 61
- [29] Nishiuchi S, Yamauchi T, Takahashi H, Kotula L, Nakazono M. Mechanisms for coping with submergence and waterlogging in rice. *Rice*, 2012, 5: 2-14
- [30] 曹微,王燕,谭斌,刘伟,储莉,潘招远,赵光苗,曹桂元,周玉亮.水稻品种直播相关的种子低温和低氧萌发活力评价.分子植物育种,2018,16(10):3259-3268
- [31] 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.南京:南京农业大学,2009
- [32] 章孟臣.水稻耐淹发芽相关性状的全基因组关联分析.北京:中国农业科学院,2016
- [33] 姜旋,李辰昱,毛婷.水稻低温发芽性QTL的分子标记定位.武汉植物学研究,2005,23(3):216-220
- [34] 侯名语,江玲,王春明,万建民.水稻种子低氧发芽力的QTL定位和上位性分析.中国水稻科学,2004,18(6):483-488
- [35] 陈振挺,冯芳君,严明,范佩清,马孝松,吴金红,梅捍卫.水稻自然变异群体淹水发芽相关特性鉴定和全基因组关联定位研究//上海市植物生理与植物分子生物学学会.第七届长三角植物科学研讨会暨青年学术报告会摘要集.2018
- [36] 王楚桃,李贤勇,何永歆,蒋刚,朱子超,欧阳杰,黄乾龙,管玉圣,郭爽,熊英.耐低温淹水发芽的水稻不育系神9A选育与应用.杂交水稻,2019,34(1):22-24

(收稿日期:2020-05-21)