

杂交水稻制种机械授粉研究现状及发展对策

汤楚宙^{1,2}, 王慧敏^{1*}, 李明^{1,2}, 李中秋¹, 黄震¹,
罗海峰^{1,2}, 简敏³, 张海清¹

(1. 湖南农业大学工学院, 长沙 410128; 2. 湖南省现代农业装备工程技术研究中心, 长沙 410128;
3. 袁隆平农业高科技股份有限公司, 长沙 410000)

摘要: 制种是杂交水稻生产过程的重要组成部分, 授粉是制种的关键环节, 对杂交水稻制种的产量和效益有明显影响。研究国内外杂交水稻授粉技术与装备的现状表明目前所采用的授粉机械依据工作原理的不同有碰撞式和气力式二种。通过分析二种授粉装备的工作原理, 总结出它们的特点和存在的不足。现用的授粉装备存在授粉不匀、损伤植株等问题, 对授粉效果带有一定的盲目性和随机性。杂交水稻授粉应向机械化、多用途化综合发展, 提出了探索不同机械授粉方式的科学性、研究不同机械授粉方式的适应性、寻求合理的工作参数、确保安全隔离防止生物学混杂和开发适用的授粉机械的对策和建议。

关键词: 机械; 综述; 作物; 杂交水稻; 制种; 授粉; 机械授粉

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.04.001

中图分类号: S22

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-04-0001-07

汤楚宙, 王慧敏, 李明, 等. 杂交水稻制种机械授粉研究现状及发展对策[J]. 农业工程学报, 2011, 28(4): 1-7.

Thang Chuzhou, Wang Huimin, LiMing, et al. Study status and developmental strategies of mechanical pollination for hybrid rice breeding[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 1-7. (in Chinese with English abstract)

0 引言

水稻是世界主要的粮食作物, 在全球广泛种植。我国是水稻的原产国, 更是杂交水稻的发源地, 杂交水稻的研制成功为解决世界粮食安全做出了巨大贡献^[1]。杂交水稻生产过程主要包括育种、制种、育苗、插秧、田间管理、收割等, 制种是杂交水稻生产的重要组成部分, 而授粉是保证制种成功的关键。充分、均匀的授粉能保证种子结实率, 提高制种质量和产量, 并进一步提高杂交水稻的产量^[2-3]。

为了实现这一目标, 各国科研工作者进行了大量的研究和尝试。从传统的人力式辅助授粉到上世纪 90 年代兴起的采粉-贮藏-喷粉模式的授粉, 再到近几年一些国家实施的养蜂授粉^[4]、风机授粉以及美国采用的小型直升机授粉等, 但由于授粉生产技术性高、质量要求高, 授粉效果并不理想, 制种产量不高。本文首先介绍杂交水稻授粉概况, 通过研究国内外杂交水稻授粉技术与装备, 总结出各种技术的特点, 并对促进制种机械化进一步发展提出参考对策和建议。

1 杂交水稻授粉概况

授粉是被子植物结实的必经过程, 根据植物授粉方式的不同, 可分为自然授粉和人工辅助授粉。自然授粉主要包括风媒、水媒、虫媒、鸟媒等, 利用风力、水力和生物的活动使雄蕊上的花粉落到雌蕊柱头上受精结实。人工辅助授粉是农业生产上的常用方法, 人为地借助一定的工具、设备来克服自然授粉花粉量不足的缺陷, 增加落在雌蕊柱头上花粉的粒数, 提高受精率, 以达到预期产量。水稻是非严格的自花授粉作物, 天然杂交率一般在 0.2%~4%之间, 最高达 5%^[5], 要实现杂交制种, 必须进行异花授粉, 使父本雄蕊上的花粉粒落到母本雌蕊柱头上, 这样结实出的种子才有可能保持父母本的优良性状, 生长发育成优质、高产的杂交水稻种子^[6-7]。因此, 仅依赖自然授粉无法满足杂交水稻制种的生产要求, 必须进行辅助授粉, 才能达到每个雌蕊柱头上至少 3 粒花粉的要求^[8], 确保杂交种子正常结实。

杂交水稻授粉是一项技术要求强、精度要求高、时间要求紧的作业, 授粉效果受各种因素影响明显。其中作物性状因素包括父母本的高度差、花絮密度、花穗数量、柱头外露度、父母本花期重合度; 环境因素包括温度、湿度、光照强度和风力; 管理因素包括施肥、排水灌溉以及病虫害防治等。水稻花粉花期较短, 盛花期 7~10 d, 一般一天内只有 1.5~2 h 的开花时间, 且花粉寿命很短, 只有 4~5 min, 因此, 必须在有限的时间内完成授粉作业^[9-12]。现行的人工辅助授粉包括人力式和机械

收稿日期: 2011-10-27 修订日期: 2011-12-23

基金项目: 湖南省科技厅产业联盟项目 (2010xk6001)

作者简介: 汤楚宙 (1949-), 男, 湖南益阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械设计与试验研究。长沙 湖南农业大学工学院, 410128。

Email: chzhtang2002@sina.com

*通信作者: 王慧敏 (1986-), 女, 黑龙江富锦人, 主要从事农业机械设计与试验研究。长沙 湖南农业大学, 410128。

Email: whm19860603wyhj@yahoo.com.cn

式。人力式授粉作为传统的授粉方式,在中国、印度等人力资源丰富、机械化水平较低的制种地区得到了广泛的应用。这种授粉方式收获的种子质量较高,单位产量较高^[13],但劳动强度大、生产效率低,不能满足现代制种技术的发展要求。目前美国等少数进行杂交水稻制种的发达国家和地区已经开始实施机械授粉,机械式授粉主要包括碰撞式和气力式两种,碰撞式对植株易造成损伤,实际生产中气力式应用较多,如美国采用小型直升飞机进行杂交制种授粉。机械式授粉生产效率高、操作简便、适应于现代制种规模化生产的发展,但研制授粉机械的技术要求高、实际应用的授粉机型较少、授粉效果不够理想,适用于我国实际生产情况的杂交水稻制种授粉机还有待进一步研究和开发。

2 国内外研究动态

2.1 美国

美国从 1979 年开始试验种植杂交水稻,短短 30 年间,建立了一套完备的生产经营体制。目前杂交水稻的种植面积已超过水稻种植总面积的 50%,产区主要集中在密西西比河南部流域,从东南部的密苏里州向南贯穿阿肯色州、密西西比州和路易斯安那州,一直到延伸到德克萨斯州的海湾平原,以及中北部的加利福尼亚和佛罗里达州中南部地区^[14]。

美国是除亚洲外少数自行制种的国家之一,由于农业人口仅占 3%,每个农户拥有几百到几千 hm^2 的土地,劳动力价格昂贵,不可能以人工操作的生产方式来生产杂交种子,全机械化作业是必然选择^[15]。为满足规模化授粉作业需求,现在采用小型直升飞机进行辅助授粉。水稻按 8:24 的父母本行比种植,小型飞机以 37 km/h (原文为 20 海里)左右的速度飞行,距离地面 2~3 m ^[16],螺旋桨搅动的气流将花粉从父本柱头上吹散,随风力散落到母本柱头上,往复 2~3 次以完成授粉作业,如图 1 所示。当地制种研究所通过多种方法对花粉扩散的影响因素和范围进行了细致研究,如采用紫色水稻标记法、专有父本线标记法等。Rice Tec 有限公司认为为实现异花授粉,父本花粉需扩散 6~12 m ;当扩散距离超过 12 m ,但在 20 m 范围之内时,减产影响并不明显^[17]。飞机授粉的重点和难点就是要保持飞机低空飞行的高度,授粉效果的好坏直接影响着制种产量。为此,需要专业培训飞行员进行授粉作业,经过特殊的培训掌握这一技术。如某公司的负责人 Floyd Vuncannon 指挥公司的 16 架 Robinson R22 直升飞机组成的飞行舰队为 Rice Tec 公司进行水稻授粉。在授粉季节,飞机舰队划分作业区域,早上 9 点钟出发,每天工作四、五个小时为 6 个州的制种田进行授粉作业^[18],如图 2 所示。

这种授粉方式生产效率高,但制种质量和单位面积产量都低于人力式授粉。近年来,美国大规模饲养蜜蜂为水稻授粉。来自美国农业部的数据显示,美国 200 多万群蜜蜂中,有 100 多万群用于为农作物授粉,给美国人提供了 1/3 的膳食^[15]。蜜蜂授粉具有更及时、更完全、更充分的特点,对提高坐果率、结实率效果突出。



图 1 小型直升飞机辅助授粉

Fig.1 Auxiliary pollination by small helicopter



图 2 直升飞机授粉

Fig.2 Helicopter assisted pollination

2.2 日本

日本是以种植水稻为主的国家,大米自给率超过 90%^[19]。但该国主要种植粳稻品种,杂交粳稻优势组合不多,杂交水稻制种处于探索试验阶段^[20]。凭借农业机械化程度高的优势,日本很早就开始了授粉技术与机械的研究,主要应用在果树、苗木上。如对苹果树和柿子树授粉,一般多使用小型手持式喷粉机,将花粉和红色的石松子粉混合,对准花序喷出花粉。喷出的花粉落在花上显出红色,区别未授粉的花^[21]。

2.3 其他亚洲国家

亚洲是水稻主产区,种植面积约占世界水稻总面积的 90%。1995 年,联合国粮农组织为了支持解决低收入、粮食短缺国家的粮食安全问题,由国际水稻研究所牵头,成立了中国、印度、越南、印尼、缅甸、泰国、孟加拉、菲律宾、斯里兰卡、柬埔寨等 10 国杂交水稻推广协作网。

作为世界水稻种植面积第一大国,印度于 1987 年从中国引进杂交水稻进行研究,长期以来十分重视杂交水稻的发展。2010 年 8 月发布的国家粮食安全规划(NFSM)将强化水稻栽培体系和推广杂交水稻种植面积作为解决粮食安全的重要途径^[22]。印度的杂交水稻制种基本上实现自给,授粉方式以人力式为主,近年来也开始机械授粉的研究,处于试制试验阶段^[23]。

越南是除中国以外最早推广杂交水稻的国家,但由于技术条件有限,杂交稻种自给率仅达到 20%,其余多从中国进口^[24]。

菲律宾本国也很少进行杂交水稻制种，所需的水稻种子主要从中国和印度进口。近年来，菲律宾政府大力扶植杂交水稻制种产业，通过派遣科研人员到制种大国进行考察学习、建设规模化的制种基地、政策支持等一系列措施，制种技术在本国得到一定发展，授粉采用人力方式辅助授粉为主^[25]。

杂交水稻在亚洲得到了广泛种植推广，但由于制种技术落后、产量低、成本高，即使印度这样杂交水稻发展较快的国家，一般制种单产也仅为 $1.5\sim 2.5\text{ t/hm}^2$ 。

2.4 中国

中国在 1973 年首先实现三系籼型杂交水稻，1976 年大面积推广种植，1981 年杂交水稻开始走向世界^[26]，时至今日杂交水稻已经取得了瞩目成绩。制种对促进杂交水稻生产的发展、提高水稻质量和产量起着先导作用，经过 30 多年的发展，制种理论和技术都取得巨大进步^[27]，产业化模式基本形成。我国制种基地主要集中在海南以及中南部山区。冬春季节，海南气候条件适宜，收获季节气候稳定、高温无雨，且距内地播种季节近，当年制种当年用，种子活性强、发芽率高^[28-29]。夏秋季节，中部山区隔离条件好、气温低、昼夜温差大、相对湿度高以及风速小，可延长亲本播始历期，有利于种子产量和质量的提高^[30]。全国每年制种面积约 10 万 hm^2 ，国内需要杂交水稻种子约 2.3 亿 kg ，剩余的用于出口。

2.4.1 人力式

我国是杂交水稻制种的主要国家，由于制种技术过于严格复杂^[31]，现多沿用传统的人力式授粉。人力式授粉分为单长竿赶粉法、双短竿推粉法和绳索拉粉法 3 种，如图 3 所示。



a. 单长竿赶粉



b. 双短竿推粉



c. 绳索“拉花”

图 3 三种人力辅助授粉方式

Fig.3 Three kinds of artificial pollination method by manpower

通常的做法是：在中午的太阳下，人下到稻田里，左右手各拿一根细竹棍，将雄株推向雌株，雄株上的花粉在外力作用下随空气飞扬起来，然后散落到雌株的花上，俗称“赶粉”。“赶粉”时，动作要快，才能保证花粉弹得高，散得宽。另一种称为“拉花”，两人分别站在对面田埂各拉住绳索的一端，将雄株拉向雌株，使雄株上的花粉散落到雌株柱头上。“拉花”，行走要快，以保证足够的授粉幅宽，一次授粉结束后要等待花蕊继续开放，直到柱头上花粉密度达到一定程度，再重复进行“拉花”，这种人力完成水稻授粉的方法，不但劳动强度大、效率低，且授粉不均现象较明显，降低了制种的产量。

2.4.2 机械式

20 世纪 90 年代起，我国就开始着手水稻机械授粉装置的研究^[32-34]，但由于设计结构不理想、田间情况复杂及成本较高等因素，研究成果没有得到推广使用。

研究早期，水稻父本母本花期不重合，授粉多借鉴国外的采粉-贮存-喷粉模式，用喷雾机或喷粉机进行喷粉，如 1992 年黄崇德等发明了“杂交水稻机械采授粉制种实用新技术”，并获得了国家技术发明四等奖。其主要利用花粉采集机收集花粉，将花粉送入低温下贮存 $10\sim 20\text{ d}$ ，花粉离体培养萌发率达 40% 以上，在母本花期，将花粉取出回醒 $8\sim 12\text{ h}$ ，然后加水稀释喷雾进行田间授粉。此项技术在长江中下游流域推广示范 78 hm^2 ，平均增产 412.5 kg/hm^2 ^[35]。1998 年邵阳市科学技术委员会、湖南省邵阳县种子分公司以及邵阳市农业科学研究所联合设计发明了“一种适于机械化采授粉的籼型杂交水稻制种技术”^[36]，在花期运用机械采粉、授粉以及与此相配套的花粉贮藏技术与活力检测方法，完成水稻授粉作业。近年来，经过科研人员的研究，已经可以通过计算父母本播差期、施洒化学药剂及进行相应的田间管理等措施，使父母本花期重合，人们开始研制新一代田间直接授粉机械，如湖北农学院从 1992 年开始进行这方面的研究，并在 1995 年发明了“一种杂交水稻繁殖制种授粉方法及实现该方法的授粉器”^[37]，授粉器由风机、导粉膜、撼粉绳、授粉管、固膜板、卷膜筒和左右手柄构成，人们可携带授粉器在田间行走完成授粉作业，经过不断改进，

于2002年设计研制了“杂交水稻制种授粉机”，发动机额定功率2.1 kW、转速7 500 r/min，授粉管长20 m，生产率2.33 hm²/h，机组工作人员2人，异交结实率达15%，在一定程度上提高了产量和效率。2010年侯国强设计发明了“一种杂交水稻制种授粉工具及授粉方法”^[38]，这种授粉工具主要包括荡禾器，橇式座和卷扬机。荡禾器设于橇式座上端，卷扬机的线绳连接于橇式座上，以3根并置式平行长竿作荡禾器，平行长竿的延伸方向与橇式座的滑行方向相垂直，授粉时先将橇式座置于田间，卷扬机固定于田埂上，启动卷扬机来回往复拖动橇式座，荡禾器即震荡父本行植株实现授粉。近年来，科技工作者又将研究重点放在气力式授粉机械上面，并进行了大量的试验，为研究新一代授粉机提供了理论依据和技术支持^[39]。

3 机械授粉的原理及发展趋势

3.1 机械授粉原理及分类

机械化是现代农业的重要内容，在抗御自然灾害，推广现代农业技术，降低农产品成本和劳动强度，提高农业生产率、资源利用率以及农民收入等诸多方面都发挥着重大作用。授粉机械化是推进杂交水稻制种产业不断向前发展的必要保证。

现行的授粉机械依据不同的工作原理，可分为碰撞式和气力式二种。碰撞式主要模拟人力竹竿“赶粉”，通过与水稻茎秆接触时的震荡作用，将花粉扬起，在自然风及碰撞所产生的气流的作用下飞散出去，落在雌蕊柱头上。震荡部位一般作用在水稻茎秆上部，通常要重复震荡抖动，增大散落花粉的密度。这种授粉方式的特点是：机械制造简单、操作方便，但花粉分布不均匀现象明显。花粉传播的距离随震荡作用力的增大而加大，对植株的损伤也随之增大。

气力式授粉依据自然风媒授粉原理，弥补自然风力、风量的多变和不确定，通过风机产生持续、稳定的气流，完成定向、定量授粉。水稻属禾本科植物，花粉粒小而干燥、表面光滑、质量较轻，适合进行气力授粉^[39]。实际应用的机械授粉一般多基于气力式原理，如采粉-贮存-喷粉模式的授粉以及便携风机授粉等。采粉-贮存-喷粉是杂交水稻制种技术研究早期采用的授粉方式。当时还无法解决“父母本花期不遇、花时不遇”的难题，设计机械采集恢复系花粉，低温贮藏，在不育系花期的最佳授粉时间将贮藏的花粉连同培养基溶液，稀释雾化后，喷洒出去，花粉粒落在母本雌蕊柱头上实现授粉。整个过程工序复杂、处理不当容易损伤花粉细胞、长时间贮藏降低花粉活性，制种产量不高。后经科技工作者不断努力，通过预测父母本花期、偏施肥料、水浆调节、喷洒九二〇(赤霉素)等措施调节父母本花期使花期相遇^[40-43]，将便携式风机装在行走装置上，利用风机产生的气流将花粉吹散到母本雌蕊柱头上。相比于采-贮-喷模式，这种方式更具实时性，操作简单、花粉活性强，制种质量、产量较高。气力式授粉是风机或风管产生基本与植株垂直的气流，具有风速可调、气流方向可调、流量和气压

稳定、花粉空间散布均匀等特点。但通过试验验证，实现风机授粉的最佳风速 <4 m/s（花粉粒悬浮的自然风在3.5 m/s以内），4 m/s的风速产生的作用力很难将花粉从柱头上吹落，花粉粒总量的减少将严重影响制种产量；而风速过大，花粉传播的距离将远远大于需要授粉的作用范围，试验测得，当风速为10 m/s时，花粉传播的最远距离可达110 m^[44]。风力作用效果的局限性影响制种产量的进一步提高。

直升飞机授粉是利用螺旋桨产生的基本与植株平行的气流，如果该气流垂直向下，从理论分析不能使花粉飞扬。实际上螺旋桨的气流是“旋风”，经分解后可得到垂直向下和水平作用2个分量，水平分量是保证授粉的有效部分。因此，直升飞机授粉时螺旋桨的气流要尽量旋转。

3.2 机械授粉的意义及发展趋势

2011年9月，袁隆平院士指导的超级杂交水稻单产已突破1.35万 kg/hm²的大关，小规模试验田最高单产可达1.8万 kg/hm²，与此相比，制种产量单产只有0.3万 kg/hm²左右^[45]。影响制种产量的主要问题并不是花粉量不足，据调查，“南优2号”制种田，按父本单产0.225万 kg/hm²计算，每亩约有花粉300亿粒，以花期10 d、每天开花2~3 h计算，在散粉均匀的情况下，每10 cm²面积上可散落花粉5000粒左右，花粉密度相当大，完全可以满足异花传粉的需要。关键在于如何使如此多的花粉散布均匀并能落在母本柱头上。杂交水稻制种产业蕴涵巨大的提升空间，落后的授粉技术是阻碍产量提高的主要原因。授粉机械化是杂交水稻制种发展的必然选择，实现机械授粉对促进规模化生产、农业结构调整、农村劳动力转移、新农村建设和全面实现农业机械现代化都具有重要意义。

由于授粉方式自身的特性，单单依靠碰撞式或气力式授粉很难达到制种要求，如能结合碰撞式与气力式授粉的优点，通过微小震荡力的作用使花粉脱离花蕊，借助风力稳定可调、分布均匀的特点将花粉传播出去，既减小对植株的损害又能达到制种要求的花粉密度和分布，得到更好的授粉效果。授粉机械还要充分考虑到授粉作业的时空环境和技术特性等，如山区制种，地势崎岖，种田规模较小，这就要求授粉机械小巧灵活、便于操控；而海南地区地势平坦、种田规模大，授粉机械要求生产效率高。另外，授粉作业仅在制种时父母本花期相遇的几天内进行，而正常的水稻生长不需要进行辅助授粉，如果授粉机械仅适用于杂交水稻的授粉作业，将造成严重的资源浪费，因此，综合型多用途的授粉机械是今后研究的重点，其推广应用将为推进农业生产机械化持续稳定发展提供有力的保障。

4 机械授粉发展的对策和建议

4.1 探索不同机械授粉方式的科学性

不同机械授粉方式不仅影响生产效率和操作者的劳动强度，还明显地影响制种产量。由于水稻花粉颗粒很

小, 直径仅 50~60 μm , 肉眼无法辨别授粉后花粉分布的真实情况, 因此目前所采用的机械授粉方式带有一定的盲目性和随机性。还没有研究哪一种方法授粉的产量高, 什么方法能获得理想的产量, 以至于造成了制种低产的不良后果。建议加强不同机械授粉方式的科学性的研究, 比较单长竿赶粉、双短竿推粉、绳索“拉花”、直升飞机授粉、风机授粉及其它方式的效果, 探索出较理想的方法。另一方面是研究 2 种或 2 种以上单作用装置的组合效应, 比如碰撞与气力的组合是否能达到更满意的效果。

4.2 研究不同机械授粉方式的适应性

多年来围绕机械授粉装置适应性问题主要体现在下田作业还是不下田作业, 二者各有利弊。下田作业的授粉效果好, 但田中的禾高且密度大, 机械和人行走困难、生产率低, 且存在机械压禾的可能性。

在田埂上作业效率高、劳动强度低, 但可能造成授粉不匀。而且目前大部分制种田还没修机耕道, 机器难以在窄田埂上行走。

直升飞机授粉的效果尚无定论, 而且购置直升飞机和作业的成本都较高, 在我国普遍推广的难度较大。

机械授粉的适应性是一个系统工程, 牵涉到农业、农机、水利、国土等行业。急待解决的问题是整理制种田和加修机耕道, 制种基地要建设高标准农田, 保证土地平整、田块规则、田间道路硬化畅通以方便授粉机械田间操作^[46-47]。农艺要尽可能与农机结合, 以适应机械授粉的要求, 插植父母本时, 要充分考虑适于机械授粉的栽插密度、栽插方式、父母本种植比例, 要为机械授粉预留工作空间等。

4.3 寻求合理的工作参数

影响授粉效果的因素很多, 以碰撞原理为主的授粉方法要着重考虑工作部件的碰撞速度、碰撞部位和作用方向; 以气力为主的授粉方法要着重考虑气流作用部位、气流的压力和流量、气流的作用时间和作用方向; 对碰撞与气力综合作用授粉, 除了要研究以上各因素外, 还要考虑二者的相互配合。这些都须要科技人员进行试验、计算和分析去完成。

4.4 确保安全隔离, 防止生物学混杂

人工辅助授粉增大了花粉漂移概率, 要充分做好防治工作, 加强安全隔离, 确保种子的纯度和质量。解决隔离方式主要有空间隔离、自然屏障隔离和时间隔离等 3 种隔离方式, 其中空间隔离应用最为普通, 也最安全可靠, 要求杂交水稻制种田与附近田块有 200m 的距离。时间隔离是错开制种田与大田种植品种的花期, 防止它们花期相遇。对于海南大规模制种基地可通过增大间距、错开花期以及基因调控等方法, 对于内陆山区制种基地可充分利用地形和风势的特点, 降低基因漂移可能给自然生态环境带来的危害^[48]。

4.5 协同攻关、开发适用的授粉机械

迄今为止, 我国还没有一种性能良好、适应性强并推广应用的杂交水稻授粉机械, 大多停留在专利阶段,

严重阻碍了杂交水稻制种规模化和产业化的进程, 也影响了制种的产量和经济效益。农业工程科研人员要密切与农学专家合作, 充分了解和熟习杂交水稻制种的农艺规范以及授粉对农业机械的要求, 因地制宜地开发出父母本花期和花时相遇的直接授粉机械。

5 结 论

1) 我国是杂交水稻的发源地, 也是杂交水稻种子的最大生产国。为了提高杂交水稻制种的产量和经济效益、减轻劳动强度, 开发和推广应用授粉机械具有十分重要的意义。

2) 与发达国家相比我国的授粉装备还很落后, 目前所用的授粉装备存在效率低、劳动强度大、授粉不匀、损伤植株等问题, 对授粉效果带有一定的盲目性和随机性, 应从理论研究和设备研发方面加强攻关。

3) 提高杂交水稻制种授粉效果的主要途径应从探索不同机械授粉方式的科学性、研究不同机械授粉方式的适应性、寻求合理的工作参数、确保安全隔离防止生物学混杂和开发适用的授粉机械几方面考虑。

[参 考 文 献]

- [1] 崔涵. 中国杂交水稻贡献世界[J]. 农产品市场周刊, 2010, (23): 28-29.
- [2] 胡建平. 浅析杂交水稻制种的产量构成与高产制种技术[J]. 种子, 2010, 29(12): 119-121.
Hu Jianping. Probation on yield component and seed production technology of hybrid rice[J]. Seed, 2010, 29(12): 119-121. (in Chinese with English abstract)
- [3] 张绍安, 余保生, 谢保忠. 杂交水稻制种高产的影响因素与对策[J]. 现代农业科技, 2010, (24): 86, 89.
- [4] 房宇, 陈健, 白润成, 等. 美国蜜蜂授粉情况[J]. 中国蜂业, 2008, 59(5): 49.
- [5] 百度百科. 水稻[EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/25785.htm>, 2011-07-28.
- [6] 全圣. 杂交水稻不结实的原因分析[J]. 实用技术, 2007, (1): 38-39.
Quan Sheng. The cause analysis of barrenness of hybrid rice[J]. Applications, 2007, (1): 38-39. (in Chinese with English abstract)
- [7] 胡达明. 不同授粉方式的花粉密度分布与结实效应研究[J]. 制种繁殖, 1996, (6): 19-21.
Hu Daming. Distribution of pollen density and seed setting efficacy under different pollinating methods[J]. Multiplication and Seed Production, 1996, (6): 19-21. (in Chinese with English abstract)
- [8] 易著虎, 吴升高, 肖层林. 杂交水稻父本制种特性研究进展[J]. 湖南农业科学, 2009, (7): 17-19, 21.
- [9] 周宗岳, 曹孟飞. 人工辅助授粉的理论和技术研究 II. 振动对开花的影响[J]. 杂交水稻, 1996, (5): 14-16.
Zhou Zongyue, Cao Mengfei. Theory and technique of supplementary pollination II. Influence of vibration on flowering[J]. Hybrid Rice, 1996, (5): 14-16. (in Chinese with English abstract)

- [10] 周宗岳, 何增明, 曹孟飞. 人工辅助授粉的理论与技术研究 III. 不同时间赶粉花粉的空间分布[J]. 杂交水稻, 1996, (6): 22—23.
Zhou Zongyue, He Zengming, Cao Mengfei. Theory and technique of supplementary pollination III. Space distribution of pollen at different pollinating time[J]. Hybrid Rice, 1996, (6): 22—23. (in Chinese with English abstract)
- [11] 兰陆涛, 黄一飞, 胡峰, 等. 杂交水稻繁殖制种赶粉新方法: 垂直行向赶粉法[J]. 杂交水稻, 2003, 18(3): 30—31.
Lan Lutao, Huang Yifei, Hu Feng, et al. The row-vertical pollinating method: A new supplement pollinating method in hybrid rice seed production[J]. Hybrid Rice, 2003, 18(3): 30—31. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张彬, 芮雯奕, 郑建初, 等. 水稻开花期花粉活力和结实率对高温的响应特征[J]. 作物学报, 2007, 33(7): 1177—1181.
Zhang Bin, Rui Wenyi, Zheng Jianchu, et al. Response of pollen activity and seed setting of rice to high temperature of heading period[J]. ACTA Agronomica Sinica. 2007, 33(7): 1177—1181. (in Chinese with English abstract)
- [13] Kempe K, Gils M. Pollination control technologies for hybrid breeding[J]. Gils Mol Breeding, 2011, 27(4): 417—437.
- [14] Gealy D R, Mitten D H, Rutger J N. Gene flow between red rice (*Oryza sativa*) and herbicide-resistant rice (*O. sativa*): Implications for weed management[J]. Weed Technology, 2003, 17: 627—645.
- [15] 邓小林. 杂交水稻在美国的研究现状和应用前景[J]. 杂交水稻, 1998, 13(4): 29—30.
Deng Xiaolin. Research on hybrid rice and its prospects in U S A[J]. Hybrid Rice, 1998, 13(4): 29—30. (in Chinese with English abstract)
- [16] Google. Aviation: Accident database and synopses[EB/OL]. http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief2.aspx?ev_id=20110703X00318&ntsbno=CEN11CA442&akey=1. 2011-07-03.
- [17] Google: Rice Tec is a hybrid rice seed company [EB/OL]. www.aphis.usda.gov/brs/confine.../nelson_present.pdf. 2001.
- [18] Nancy cole. Helicopters nurse hybrid -rice seeds wind from blades pollinates plants[N]. Arkansas democrat-gazette. 2005-08-21.
- [19] 马雷. 透过“大米自给”看日本的稻米政策[EB/OL]. http://e-nw.shac.gov.cn/wmfw/hwzc/hwzc/200502/t20050223_119947.htm, 2005-02-23.
- [20] Wang Mingjin, Yang Ling, Li Qingdong. Agricultural mechanization system of rice production of Japan and proposal for China[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(5): 77—82.
- [21] 提高日本甜柿坐果率的关键技术[EB/OL]. <http://nc.mofcom.gov.cn/news/2821287.html>, 2007-09-28.
- [22] Government of India, Ministry of Agriculture, Department of Agriculture and Cooperation. Guidelines for Seed Production of Hybrid Rice[M]. Krishi Bhawan, New Delhi-110001. 2010.
- [23] 胡继银, 蒋艾青. 印度杂交水稻现状及发展对策[J]. 杂交水稻, 2010, (3): 82—87.
Hu Jiying, Jiang Aiqing. Current status and developing strategy of hybrid in india[J]. Hybrid Rice, 2010, (3): 82—87. (in Chinese with English abstract)
- [24] 胡继银, 蒋艾青. 越南杂交水稻现状及发展对策[J]. 杂交水稻, 2010, (5): 84—88.
Hu Jiying, Jiang Aiqing. Current status and developing strategy of hybrid in vietnam[J]. Hybrid Rice, 2010, (5): 84—88. (in Chinese with English abstract)
- [25] David C C. The Philippine hybrid rice program: A case for redesign and scaling down[R]. Surian sa mga pag-aaral pangkaularan ng pilipinas. 2006.
- [26] 许世觉. 中国杂交水稻制种技术的发展[J]. 杂交水稻, 1994, (3/4): 50—51, 57.
- [27] 沈平, 刘孙旺, 管庆荣. 杂交水稻制种技术研究[J]. 现代农业科学, 2009, 16(7): 46—47.
- [28] 陈世建, 尹秀兰, 黄泽智, 等. 两系杂交水稻在三亚春季制种的意义及技术措施[J]. 作物杂志, 2011, (1): 107—108.
- [29] 张宏玉, 易全华, 钟平安, 等. 杂交水稻海南冬季大规模制种中平衡高产的规范化技术体系[J]. 中国农业学报, 2007, 23(8): 490—494.
Zhang Hongyu, Yi Quanhua, Zhong Pingan, et al. The standardized technical system of balanced high-yield of largescale producing seed in hainan winter of hybrid rice[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(8): 490—494. (in Chinese with English abstract)
- [30] 周维佳, 罗德强, 江学海, 等. 杂交水稻强化栽培技术规范[J]. 贵州农业科学, 2008, 36(5): 45—46.
Zhou Weijia, Luo Deqiang, Jiang Xuehai, et al. The intensive cultivation technological standard for hybrid rice[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2008, 36(5): 45—46. (in Chinese with English abstract)
- [31] 杨俊涛. 人工赶粉技术的改进及配套措施[J]. 种子, 1989, (5): 62—63.
- [32] 黄育忠. 杂交水稻机械化制种技术初探[J]. 种子, 1995, (6): 41—43.
- [33] 李训贞, 周广洽, 徐孟亮, 等. 机械采粉、授粉对水稻花粉活力和异交结实的影响[J]. 作物学报, 1996, 22(3): 353—357.
Li Xunzhen, Zhou Guangqia, Xu Mengliang, et al. Effects of mechanical collection and pollination of rice pollen on the vigor and seed set in hybridization[J]. ACTA Agronomica Sinica, 1996, 22(3): 353—357. (in Chinese with English abstract)
- [34] 袁振兴. 杂交水稻制种授粉基本原理及其应用技术的研究[J]. 湖南农业科学, 1992, (1): 23—25.
- [35] 黄德明, 季申清, 黄河清, 等. 杂交水稻机械采粉制种实用新技术[Z]. 国家技术发明四等奖, 1992.
- [36] 邵阳市科学技术委员会. 一种适于机械化采授粉的籼型杂交水稻制种技术[P]. 中国专利: CN1169237, 1998-01-07.
- [37] 湖北农学院. 一种杂交水稻繁殖制种授粉方法及实现该方法的授粉器[P]. 中国专利: 92102720, 1995-12-27.
- [38] 侯国强. 一种杂交水稻制种授粉工具及授粉方法[P]. 中国专利: 201010161248, 12010-08-18.
- [39] 徐庆国, 黄丰. 杂交水稻机械化种子生产技术的研究进展[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 37—41.

- Xu Qingguo, Huang Feng. Studies and progress on seed production mechanization technology in hybrid rice[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 37–41. (in Chinese with English abstract)
- [40] 胡凝, 陈万隆, 刘寿东, 等. 水稻花粉扩散的模拟研究[J]. 生态学报, 2010, 30(14): 3665–3671.
- Hu Ning, Chen Wanlong, Liu Shoudong, et al. A model for simulating rice pollen dispersal[J]. ACTA Ecologica Sinica, 2010, 30(14): 3665–3671. (in Chinese with English abstract)
- [41] 梁一柱, 陈红光, 张耀忠, 等. 杂交水稻制种父母本花期调节技术依据与方法[J]. 杂交水稻, 2008, 23(1): 29–30.
- Liang Yizhu, Chen Hongguang, Zhang Yaozhong, et al. Techniques of adjusting flowering in hybrid rice seedproduction[J]. Hybrid Rice, 2008, 23(1): 29–30. (in Chinese with English abstract)
- [42] 蒋宏政, 林佩佩, 胡昌雷. 九二0在两优培九水稻制种生产上的应用研究[J]. 现代农业科技, 2010, (9): 83.
- [43] 覃皓, 全庆丰, 易稳凯. 杂交水稻制种花期预测与调节技术[J]. 湖南农业科技, 2010, (9): 11–13.
- [44] Song Zhiping, Lu Baorong, Chen Jiakuan. Pollen flow of cultivated rice measured under experimental conditions[J]. Biodiversity and Conservation, 2004, 13(3): 579–590.
- [45] 中国新闻网. 袁隆平: 中国超级杂交水稻最高亩产达1200kg[N]. <http://finance.ifeng.com/news/special/lianghui2010/20100307/1896645.shtml>, 2010-03-07.
- [46] 黎用朝, 刘三雄, 曾翔, 等. 湖南水稻生产概况、发展趋势及对策探讨[J]. 湖南农业科学, 2008, (2): 129–133.
- [47] 尹设飞, 郑建初, 雷云娟. 浙西南杂交水稻制种基地现状与发展对策[J]. 种子科技, 2010, 59(5): 9–10.
- [48] Hudson L C, Chamberlain D, Stewart C N Jr. GFP-tagged pollen to monitor pollen flow of transgenic plants[J]. Molecular Ecology Notes. 2001, (1): 321–324.

Study status and developmental strategies of mechanical pollination for hybrid rice breeding

Tang Chuzhou^{1,2}, Wang Huimin^{1*}, Li Ming^{1,2}, Li Zhongqiu¹, Huang Zhen¹, Luo Haifeng^{1,2}, Jan Min³, Zhang Haiqing¹

(1. College of Engineering Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Hunan Provincial Engineering Technology Research Center for Modern Agricultural Equipment, Changsha 410128, China; 3. Long Ping High-tech Co.Ltd, Changsha 410000)

Abstract: Breeding is an important process of hybrid rice production. Pollination is the key link of breeding, which effect the production and economical efficiency obviously. The status of pollination equipments and technologies at home and abroad were reviewed. There were two types of pollination techniques with collision type and slipstream type based on the working principle, the features and the shortcomings of which were summarized. The problems of pollination equipment, such as pollination nonuniformity, plant scathing, resulted into pollinating blindly and randomly. Hybrid rice production should be oriented toward mechanization and multifunction. The strategies of different kinds of pollinating scientifically and applicatively, and the methods of obtaining reasonable working parameters and avoiding interbreeding and developing applicable pollination machines were explored.

Key words: machinery, reviews, crops, Hybrid rice, breeding, pollination, mechanical pollination