

钟旭华, 潘俊峰, 李康活, 黄庆, 张彬, 李梦兴, 刘彦卓. 广东省农业科学院水稻耕作栽培研究 60 年: 成就与展望 [J]. 广东农业科学, 2020, 47(11): 9-17.

## 广东省农业科学院水稻耕作栽培 研究 60 年: 成就与展望

钟旭华, 潘俊峰, 李康活, 黄庆, 张彬, 李梦兴, 刘彦卓

(广东省农业科学院水稻研究所 / 广东省水稻育种新技术重点实验室, 广东 广州 510640)

**摘要:** 过去60年广东省农业科学院水稻耕作与栽培研究取得了显著的成就。在理论研究方面, 对广东水稻种植区划、水稻分蘖与幼穗发育、光温反应特性、高产栽培叶色变化、光能利用、抗倒伏机理等开展了比较系统的研究, 丰富了水稻耕作栽培科学理论。在耕作栽培技术方面, 1950—1970年代在广泛调研总结群众经验的基础上, 形成了全国著名的“潮汕经验”, 大幅提升了广东水稻单产, 并对我国水稻栽培学科发展产生了深远影响; 1980—1990年代先后研发建立了水稻高产稳产栽培技术规程和水稻抛秧及配套技术, 实现了水稻栽培技术的规范化; 进入21世纪, 研发出水稻“三控”施肥技术、超级稻强化栽培技术和多熟高效农作制模式及配套技术, 实现了水稻产量和资源利用效率的协同提高。这些研究成果及其大面积应用, 为广东水稻产业发展、保障粮食安全、增加农民收入做出了重大贡献, 对今后工作具有重要的启示和指导作用。近年来, 广东省农业科学院水稻耕作栽培研究朝着资源节约型、环境友好型、机械化、轻简化、标准化和高效化(即“两型四化”)方向发展, 在机械化育插秧、直播稻、再生稻栽培等方面取得了显著进展。今后广东水稻耕作栽培研究要继续围绕产业科技问题, 加强理论创新和关键技术攻关, 促进水稻产业转型升级, 服务乡村振兴。

**关键词:** 水稻; 耕作栽培; 高产高效; 光能利用率; 轻简化栽培

**中图分类号:** S511.04

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1004-874X(2020)11-0009-09

## Sixty Years' Research on Rice Tillage and Cultivation by Guangdong Academy of Agricultural Sciences: Achievements and Prospects

ZHONG Xuhua, PAN Junfeng, LI Kanghuo, HUANG Qing, ZHANG Bin, LI Mengxing, LIU Yanzhuo

(*Rice Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/*

*Guangdong Key Laboratory of New Technology for Rice Breeding, Guangzhou 510640, China*)

**Abstract:** In the past 60 years, remarkable achievements have been made in rice tillage and cultivation by Guangdong Academy of Agricultural Sciences. Theoretical studies have been conducted extensively in rice planting regionalization in Guangdong, rice tillering and young panicle development, light-temperature characteristics, leaf color changes in high-yielding cultivation, light utilization, and mechanism of lodging resistance etc. to enrich the scientific principles of rice cultivation. In rice farming practices, several major technologies have been developed and adopted in Guangdong as well as other provinces. Based on extensive surveys on farmers' experience, the "Chaoshan Experience" was formed and promoted from 1950s to 1970s, which greatly increased rice yield in Guangdong and had profound effect on the development of rice cultivation disciplines in China. In 1980s and 1990s, technical regulations on high- and stable-yielding cultivation

收稿日期: 2020-10-06

基金项目: 广东省农业农村厅乡村振兴战略专项(粤农农计[2019]5号); 广东省农业科学院国家级科技成果奖励培育专项(粤农科研[2018]45号); 广东省农业科学院科技创新战略专项资金(高水平农科院建设)——“十三五”学科团队建设项目(201617TD); 广东省现代农业产业技术体系创新团队项目(2020KJ105); 水稻低碳高产技术国际合作示范基地项目(2019A050505006)

作者简介: 钟旭华(1963—), 男, 博士, 研究员, 研究方向为水稻生理生态与栽培, E-mail: xzhong8@163.com  
在文稿撰写过程中, 参考了毛壁君、潘玉榮等“水稻栽培技术”一文(收录于《广东科学技术三十二年(1949—1981)》, 1985年广东省科委计划处发行), 以及《广东省农业科学院科研成果汇编(1986—2001)》, 谨此致谢。

of rice and rice seedling throwing and the matching technology were developed and extended for standardized cultivation of rice. Since the beginning of the twenty-first century, the "three controls" nutrient management technology, super rice intensification cultivation and high-efficient multi-ripening farming system have been developed and extended widely for synergistic improvements in rice grain yield and resource utilization. Those achievements and their wide application have made great contributions to the development of rice industry, food security and increased farmers' income in Guangdong Province, and provided significant guidance to future research. In recent years, "two orientations" of resource conservation and environment-friendly farming and "four transformations" of mechanization, simplification, standardization and efficient production have been emphasized in the researches on rice cultivation. Major progresses have been made in mechanical seedling raising and transplanting, direct seeding and ratooning rice cultivation. In the future research of rice cultivation, we should focus on key sci-tech problems of rice industry, and strengthen theoretical innovation and technological breakthrough for the transformation and upgrading of rice industry and rural revitalization.

**Key words:** rice; tillage and cultivation; high yield and high efficiency; radiation use efficiency; simplified cultivation

水稻是广东最大的粮食作物, 2018年水稻播种面积 178.74 万  $\text{hm}^2$ , 占全省粮食播种面积的 83.1%<sup>[1]</sup>。优良品种和先进的耕作栽培技术, 是提高水稻产量、品质和效益的两条基本途径。广东水稻耕作栽培研究历史悠久, 声名远播。广东省农业科学院建院 60 年来, 水稻耕作栽培研究经历了 3 个阶段: 第一阶段为群众经验总结与推广阶段, 形成了著名的水稻高产栽培“潮汕经验”, 大幅提高了广东水稻单产, 对我国水稻栽培学科产生了深远影响; 第二阶段为规范化栽培技术研究阶段, 研发建立了水稻高产稳产栽培技术规程和水稻抛秧及配套技术, 实现了栽培技术由经验栽培向数量化、指标化栽培的转变; 第三阶段为高产高效栽培技术研究阶段, 研发出水稻“三控”施肥技术、超级稻强化栽培技术和多熟高效农作制模式及配套技术, 实现了水稻产量和资源利用效率的协同提高。在耕作栽培理论方面, 对广东水稻种植区划、水稻分蘖与幼穗发育、光温反应特性、高产栽培叶色变化、

光能利用、抗倒伏机理等开展了比较系统的研究, 丰富了水稻耕作栽培科学理论。60 年来, 广东省农业科学院水稻耕作栽培学科紧紧围绕广东水稻产业, 开展理论研究和技术创新, 取得了一系列重要成就, 创造了巨大的社会效益和生态效益, 为广东水稻产业发展、保障粮食安全、增加农民收入做出了重大贡献。主要成就见表 1。

## 1 水稻耕作栽培技术创新成果

### 1.1 调查总结农民高产经验, 形成著名的“潮汕经验”

新中国成立之初, 广东水稻栽培研究基础薄弱, 总结和推广群众高产经验成为提高产量的重要途径。1950 年代, 以广东省农业试验场为主, 华南农学院及各地农业部门参加, 先后到潮汕平原、珠江三角洲、粤西鉴江平原、粤北山区等地进行调查, 总结群众高产经验, 初步形成我国水稻栽培史上著名的“潮汕经验”。1960—1970 年代, 潮汕

表 1 广东省农业科学院建院 60 年来水稻耕作栽培研究主要成就  
Table 1 Major achievements of rice cultivation research of Guangdong Academy of Agricultural Sciences in the past 60 years

序号 No.	成果名称 Achievements	社会影响或获奖情况 Impact or award	年份 Year
1	潮汕经验	全国著名的水稻高产栽培技术之一, 对我国水稻栽培学科的发展产生了重要而深远的影响	1950—1970 年代
2	水稻分蘖、幼穗发育研究	全国科学大会奖	1978
3	中国水稻品种对光温条件反应特性研究	全国科学大会奖	1978
4	水稻矮秆品种叶色变化与高产栽培	广东省科学大会奖	1979
5	叶面积、开张角与光能利用	广东省科学大会奖	1979
6	广东水稻区划研究	被政府部门采用, 一直作为广东省水稻品种布局 and 分区指导水稻生产的重要依据	1984
7	水稻高产稳产栽培技术规程	广东省科技进步二等奖 (1990), 国家科技进步三等奖 (1991)	1990、1991
8	水稻抛秧及其配套技术	广东省科技进步一等奖	1997
9	水稻“三控”施肥技术体系的建立与应用	广东省科技进步一等奖	2013
10	华南双季超级稻强化栽培技术	国家科技进步二等奖成果部分内容 (参加单位)	2014
11	华南地区多熟高效农作制模式及配套技术	神农中华农业科技奖一等奖成果部分内容 (参加单位)	2019

经验进一步发展,并迅速在全省推广。潮汕经验的主要内容包括:(1)疏播培育壮秧;(2)看苗施肥,头重、尾轻、中补足;(3)水分管理上,深水回青,浅水分蘖,够苗晒田,浅水抽穗,干湿灌浆。1965年,广东省农业科学院与省科技图片社合作编印了“潮汕水稻高产栽培经验”彩色挂图。潮汕经验是在精耕细作条件下,夺取水稻高产的重要栽培方法。采用这一栽培方法,相继创造了一批大面积高产记录,并出现了21.1 hm<sup>2</sup>连片平均每667 m<sup>2</sup>产量504 kg(澄海)、69.1 hm<sup>2</sup>连片平均每667 m<sup>2</sup>产量483 kg(潮安)等高产典型。潮汕经验与江苏的“三黄三黑”高产栽培经验,是我国当时最先进的两大水稻高产栽培技术,对我国水稻栽培学科的发展产生了重要而深远的影响。

### 1.2 水稻高产稳产栽培技术规程

自1982年起,广东省农业科学院水稻研究所与广州市农业局等单位协作,开展水稻高产稳产栽培技术规程研究。该规程以每667 m<sup>2</sup>产量500 kg为目标,将多年研究成果配套成综合性高产稳产规范化栽培技术程序。明确了中迟熟品种高产栽培“三青二赤”的叶色变化生育模式,即分蘖盛期、幼穗发育二期末至六期和齐穗期显“青”,幼穗第一苞分化前后和孕穗中期显“赤”。采取“低群体、高成穗、争大穗”的高产技术路线,以移植期、回青期、始蘖期、够苗期、幼穗发育一至五期、剑叶全出后6 d或齐穗期为栽培关键时期。该规程包括与目标产量相一致的数量化生育指标、综合性规范化控制技术和保障技术措施实施的简易诊断方法3个部分<sup>[2-4]</sup>。实施过程简便,在选用中迟熟品种、合理安排栽培时期、培育适龄壮秧、“低群体”栽培的基础上,前期根据土壤肥力与目标产量定量施肥(包括基肥、回青肥、始蘖肥);中后期根据生长状况诊断施肥。采用一把米尺和一张水稻叶色比色卡(图1),在田间调查出株高 $\geq$ 科高70%的茎数和叶色数值后,直接查表确定施氮量。应用该技术,一般每667 m<sup>2</sup>增产稻谷40~100 kg,成为1990年代广东水稻高产栽培的主要技术,也为广东水稻高产栽培的标准化、指标化研究奠定了基础。该成果获1990年广东省科技进步二等奖和1991年国家科技进步三等奖。

### 1.3 水稻抛秧及其配套技术

传统的移栽稻以手插秧为主,劳动强度大,劳动成本高。随着改革开放和社会经济的发展,农村劳动力大量向城市转移,迫切需要水稻轻简化栽培技术。水稻抛秧是用预制的纸筒或塑料盘装载营养土育秧,利用营养土块的重力作用,把育成的秧苗



图1 水稻叶片比色卡

Fig. 1 Leaf color chart of rice

抛栽到大田的一种新的种稻方式<sup>[5]</sup>。1985年广东省农业科学院从日本引进水稻纸筒抛秧技术,研究了抛秧水稻生育特点和抛秧技术的可行性。1992年起,在国内水稻塑盘育苗抛秧技术的基础上,吸收广东水稻纸筒育苗抛秧经验,以重点突破抛秧高产栽培技术为主攻方向,进行了塑盘抛秧栽培的生育特性、增产潜力和栽培技术对策等研究,改进了抛秧栽培肥水管理调控策略,综合配套出适合多种类型地区应用的抛秧稻规范化高产栽培技术规程<sup>[6-8]</sup>。其技术要点包括:(1)培育相互易于分散的足量适龄秧苗。每667 m<sup>2</sup>大田用502孔塑料软盘40~42个,每667 m<sup>2</sup>用种量常规稻2 kg、杂交稻1.2 kg,播种时塑盘孔与孔之间泥浆要刮清,育秧全过程以半旱式水分管理为主。(2)适龄抛植。早造抛植叶龄4~5片、晚造叶龄3~4片。(3)抛足抛匀基本苗。瘦田每667 m<sup>2</sup>抛2万~2.2万穴、中等田1.8万~1.9万穴、肥田1.6万~1.7万穴,均匀抛植。(4)合理施肥,提高肥料利用率。(5)水分管理。浅水抛秧、薄水促蘖、苗数达到计划穗数的80%时露晒田、中后期干干湿湿,不过早断水。抛秧改变了“脸朝黄土背朝天,弯腰屈背种稻田”的几千年传统种稻方式,是水稻栽培技术上的一项重大改革,具有省工高效增产的优点,深受农户欢迎。2000年应用面积占全省水稻播种面积的63%。目前抛秧仍然是广东移栽稻的主要种植方式之一。“水稻抛秧及其配套技术”获1997年广东省科技进步一等奖。

继水稻抛秧技术之后,又将抛秧技术与免耕技术结合起来,1996年率先开展水稻免耕抛秧栽培试验并取得成功<sup>[9]</sup>,先后对免耕抛秧栽培的杂草防除、稻田条件、品种选用、土壤理化性状的变化、免耕稻的生育特性以及除草剂的残留等方面进行了

研究,并配套了相应的栽培技术措施。该技术被列入农业部主推技术,除了在广东应用外,还辐射到广西、海南、江西和湖南等省(自治区),取得显著的社会经济效益。

#### 1.4 水稻“三控”施肥技术

进入21世纪,我国水稻生产中化肥农药过量施用、肥料利用率低、环境污染等问题日益突出。从2001年起,广东省农业科学院水稻研究所与国际水稻研究所(IRRI)合作,开展了水稻高效施肥及其配套技术的研究,研发出以控肥、控苗、控病虫害(简称“三控”)为主要内容的高效安全施肥及配套技术体系<sup>[10-11]</sup>,2007年通过广东省科技成果鉴定,达到国际先进水平。该技术通过控制总施氮量和基肥施氮量,提高氮肥利用率,减少环境污染;通过控制无效分蘖和最高苗数,提高成穗率和群体质量,实现高产稳产;通过优化群体结构,增加群体通透性,控制病虫害和倒伏的发生,减少农药用量,提高产量稳定性。该技术的最大特点是大幅削减分蘖肥用量,增加穗肥用量,在稳定高产所需穗数的基础上,通过培育大穗夺取高产,同时提高氮肥利用率,减少病虫害。在提高水稻抗倒性的策略上,有别于以往降低株高的传统做法,改用前期控肥缩短基部节间的技术路线(图2),在不降低甚至增加株高的情况下提高抗倒性,从而协调了高产与抗倒的矛盾。与传统技术相比,水稻“三控”施肥技术一般节省氮肥20%左右,增产10%左右,病虫害和倒伏大幅减轻,稳产性好,每667 m<sup>2</sup>增收节支180元左右。氮肥利用率提高10个百分点(相对提高30%),面源污染大幅减轻,纹枯病、稻飞虱和稻纵卷叶螟等主要病虫害减少30%~50%,可

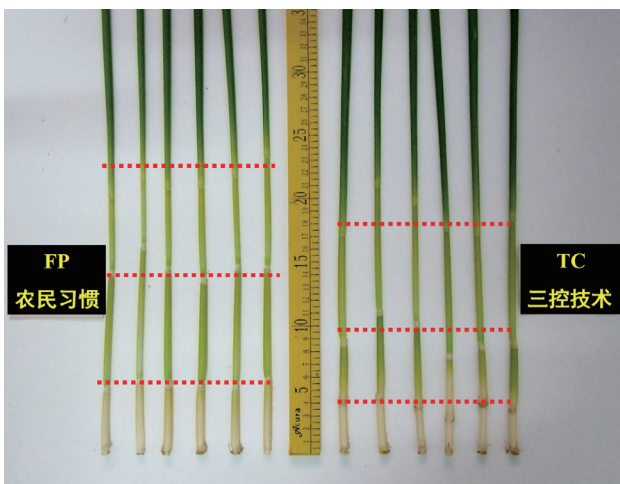


图2 应用水稻“三控”施肥技术缩短基部节间长度

Fig. 2 Shorter basal internodes of rice under “three controls technology (TC)” in comparison to farmers’ practice (FP)

少打农药1~3次。该技术操作简单,适应性广,先后入选农业部主推技术、广东省农业主推技术、广东省农业面源污染治理重点推广技术等。目前已在广东各稻作区应用多年,并辐射到江西、广西、海南、浙江等多个省(自治区),深受农民欢迎,取得了显著的经济、生态和社会效益。“水稻三控施肥技术体系的建立与应用”成果获2012年广东省科学技术一等奖。

#### 1.5 华南双季超级稻强化栽培技术

我国人多地少,高产是永恒的主题,而培育和推广超级稻是粮食增产的重要途径。广东省农业科学院水稻研究所从2006年开始华南双季超级稻强化栽培技术研究。揭示了华南双季超级稻高产的生物学特点为前期物质生长稳定,中期个体生育质量良好,后期干物质积累大,形成了超级稻“前期早发够苗、中期壮秆扩库、后期强根保源”的强化栽培技术体系。其技术要点是:根据超级稻品种株型好、穗大、粒多、抗性好和产量潜力大的种性特点和华南双季稻区的气候、土壤等条件,前期通过培育壮秧、移植适龄合理基本苗、确定合理施肥量并定期定量施用,薄水促分蘖,使超级稻按时够苗;中期通过适时露晒田、控制无效分蘖、促使叶色退淡,根据叶色变化、禾苗生势、天气状况巧施促花肥和保花肥争大穗;后期通过补施壮粒肥,孕穗和扬花期保持浅水层、灌浆期干湿交替的水管理措施使土壤水气协调,增强根系活力,从而提高结实率和千粒重;前、中、后期落实病虫害综合防治措施,最后实现超级稻穗大、粒多、结实率高和谷粒饱满,达到高产高效的目的。该技术作为广东水稻高产创建和超级稻推广的主推技术在广东推广应用,比传统栽培技术每667 m<sup>2</sup>增产稻谷60多kg。以该技术为部分内容参与申报的“超级稻高产栽培关键技术及区域化集成应用”成果获2014年国家科技进步二等奖。

#### 1.6 华南地区多熟高效农作制模式及配套技术

广东等经济发达地区自20世纪80年代以来,因调整农业生产布局,大力发展蔬菜、水果等经济作物,在有力地促进农业农村经济发展的同时,也伴随着水稻等粮食播种面积的急剧下降。而长期连作蔬菜田土壤生态环境恶化,带来了粮食安全与稻田效益增长不协调、菜田用地与养地不协调的矛盾。特别是广东5—9月持续高温、强光、多湿天气不利于蔬菜生长,夏闲田越来越多。为解决这一问题,从2004年开始,广东省农业科学院水稻研究所的耕作栽培专家,在科学分析和总结广东历史上耕作制度改革的经验教训的基础上,率先提出广东一季中晚稻配套的“菜-稻-菜”轮作高效耕作制模式,

并联合相关单位开展探索研究和试验示范。采用“蔬菜-中晚稻-蔬菜”、“蔬菜-中晚稻-马铃薯”、“蔬菜-中晚稻-甜玉米”、“甜玉米-中晚稻-马铃薯”等模式,充分发挥气候和自然资源优势<sup>[12]</sup>。该模式针对华南地区5—9月高温、强光、多台风雨不适宜种植叶菜类的生育时段,在传统模式“菜-夏闲-菜”中插种一季中晚稻,筛选出耐热、抗倒伏的黄华占等水稻新品种,创立了早直播、水直播和毯苗机插三套高产优质省工栽培技术新模式,构建了相应的栽培技术体系。在广东省多地的应用表明,与传统“菜-夏闲-菜”模式相比,该模式每667 m<sup>2</sup>增收稻谷348.0 kg,周年增加纯效益1380元,减少了夏闲菜田。以该技术为部分内容参与申报的“多熟农作制丰产增效关键技术与集成应用”成果获2019年神农中华农业科技奖一等奖。

## 2 水稻耕作栽培理论创新成果

### 2.1 水稻分蘖与幼穗发育规律

1955—1956年,广东省农业科学院原粮食作物研究所与华南农学院合作,开展了水稻分蘖与幼穗发育研究。研究发现,在小科密植栽培条件下,水稻有效分蘖期短(早季为6~8 d,晚季8~12 d),茎数和穗数的组成以第一次分蘖为主,第一次分蘖穗在决定产量上起主要作用。分蘖的生育日数与穗大小有密切关系。从最低分蘖位至最高分蘖位间的节数称为“分蘖节位范围”,此范围的大小受移植的苗龄、主茎叶数和伸长节间数3个因子所左右。据此提出了早中耕、早追肥促进分蘖早生快发的技术对策。在前人研究基础上,将水稻幼穗发育过程划分为第一苞分化期、第一次枝梗分化期、第二次枝梗和颖花原基分化期、雌雄蕊形成期、花粉母细胞形成期、花粉母细胞减数分裂期、花粉内容物充实期和花粉发育完成期共8个时期,并确定了各个时期的鉴定方法。这一成果阐明了水稻穗数和粒数形成的基本规律,为水稻高产栽培中穗数和粒数的调控奠定了理论基础。水稻幼穗发育时期的划分方法,被我国广大水稻科技工作者沿用至今。该成果对我国水稻科技产生了重大影响,获1978年全国科学大会奖。

### 2.2 水稻叶色变化与高产栽培

1950年代末至1960年代初,广东育成的矮秆品种相继在生产上大面积推广。为了充分发挥矮秆品种的丰产特性,达到良种良法稳产高产,广东省农业科学院原粮作所水稻栽培组在总结潮汕平原、鉴江流域等地区的群众水稻高产栽培经验的基础上,开展了水稻矮秆品种叶色变化与高产栽培理论

研究,发现水稻矮秆品种的高产生理变化与各个时期的叶色变化是紧密相关的。在总结群众经验基础上,将叶色标准划分为大乌、浅乌、绿青、淡青、绿豆青、青黄等6级,制作成水稻叶色比色卡,发行5万份以上,在生产上普及应用。通过肥水的促控,使水稻前、中、后期叶色变化为“乌”、“赤(黄)”、“青”,可以实现水稻矮秆品种一般每667 m<sup>2</sup>产量400~500 kg。该成果不仅适应于早稻,而且也适应于晚稻,为发展广东粮食生产发挥了重要作用。“水稻矮秆品种叶色变化与高产栽培”成果获1979年广东省科学大会奖。

### 2.3 广东水稻区划

1981—1984年,广东省农业科学院水稻研究所主持,从广东水稻生产实际出发,在对40个代表县的124个区系统调查和统计的基础上,提出五点划区原则,稻作区以水稻安全生育期的异同为主要依据,亚区以地貌和田类的异同为主要依据,将广东分为粤北、中北、中南和琼雷4个稻作区,以及西北单季稻、粤北双季稻、韩江丘陵、东北江丘陵、西江丘陵、潮汕平原、东南沿海丘陵、珠江三角洲、西南沿海丘陵、鉴江丘陵、雷州台地、琼东北台地、琼中山地、琼西北台地和琼南南繁等15个亚区。对广东省各稻作区和亚区的生产条件、生产现状及其存在问题,提出以下建议:(1)提高低产、较低产区的单产,作为挖潜的重点;(2)协调肥料结构,增施钾肥和秸秆回田;(3)调整品种布局;(4)调整季节布局,选择适宜的齐穗期及播植期;(5)稳步发展稻田轮作,扩大稻田冬种面积;(6)逐步推广高效益、高效率的稻作技术;(7)继续搞好水利,扩大旱涝保收面积。该成果为广东省因地制宜分区指导水稻生产提供了重要依据,得到政府部门和各方面的广泛接受和应用。广东以该区划为依据,重新调整了水稻品种区域化试验的设点布局和晚稻品种布局,决定对低产、较低产区增加投入以加速挖掘其增产潜力。该成果一直被政府部门采用,作为广东省水稻品种布局 and 分区指导水稻生产的重要依据,对广东水稻产业发展产生了深远影响。

### 2.4 中国水稻品种的光温特性

1961—1964年,广东省农业科学院作为主要参加单位之一,参加了由中国农业科学院等10个单位开展的中国水稻品种对光温条件反应特性研究。该研究用生态学观点,研究了我国不同纬度、不同海拔和不同季节分布的籼、粳稻,早、中、迟熟品种和冬稻品种中,有代表性的品种157个(包括34个地区类型)在8个试验点(崖县、广州、昆明、长沙、南京、天津、公主岭、米泉)和2个

附点(云南的元江、蒙自)的不同生态条件下的表现,分析它们的感光性、感温性和高温短日生育期,初步阐明了各地品种的光温反应特性的形成同当地生态条件的关系。在此基础上,进行了全国水稻品种的熟期性分类与气候生态型的划分,并联系到各地的生产情况,就引种、品种资源改造利用、耕作改制,以及品种南繁等问题进行了研究。该成果为水稻引种、南繁播期确定、新品种选育及杂交亲本选择等提供了理论依据,也为我国水稻品种生态研究奠定了基础,该成果获1978年全国科学大会奖。

## 2.5 提高水稻光能利用率

1974—1975年,广东省农业科学院根据广东省气象局1958—1974年太阳辐射能的资料,结合广东耕作改制和中稻生产实际,研究分析了广州、汕头、海口、韶关各月各旬太阳辐射能的分布、变异情况和分组出现的频率,划出四个地区太阳能分布的共同性和差异性,从改革耕作制度、改进栽培技术、合理调整作物布局、季节布局、选育优良品种等方面,提出了提高太阳能利用的方法和措施。

1974—1976年,广东省农业科学院原水稻生态室对早稻中熟品种的叶面积、叶片开张角和太阳能等因素和光能利用及产量的关系进行了研究分析,并用“循环预报”的方法进行检验,证明水稻产量及其光能利用率与叶面积指数三期(幼穗分化期、齐穗期、齐穗后20d)相加值在一定范围内成正相关<sup>[13]</sup>。每667m<sup>2</sup>产量450kg以上的水稻,齐穗期叶面积指数多在5以上。广东每667m<sup>2</sup>产量250kg左右田块,齐穗期叶面积指数只有3左右。在低产地区通过多施肥等措施增大叶面积指数值,可使产量提高。在肥水条件较好,叶面积指数较大的情况下,以叶片开张角小的品种产量较高。据此提出广东早稻中熟品种每667m<sup>2</sup>产量450~500kg的叶面积发展值及叶片开张角的控制指标,并指出可以运用栽培、育种等手段去创造、控制和利用叶面积、叶片开张角及太阳能三大因素,使之达到一个适当的指标,以充分发挥水稻的增产潜力。“水稻叶面积、开张角与光能利用”成果获1979年广东省科学大会奖。

## 3 近期重要研究进展

### 3.1 水稻抗倒伏机理

倒伏是影响水稻产量、品质和效益的重要限制因素。近10多年来,广东省农业科学院水稻研究所从植株形态、力学、生理和分子基础等方面,对水稻抗倒伏机理进行了研究。结果表明,株高、重心高度、基部节间长度和基部节间充实度等形态生理性状,以及弯曲力矩、抗折力等力学性状,是影

响水稻茎秆抗倒伏能力的主要因素<sup>[14]</sup>。对正在伸长的基部第一、第二节间进行了全基因组表达芯片检测,发现优化施肥使基部节间的细胞壁松弛因子相关基因(膨胀素、木葡聚糖内转糖苷酶/水解酶等)明显下调,而淀粉合成酶和木质素合成相关基因明显上调。切片观察发现,基部第一、第二节间皮层与维管束组织中厚壁细胞明显增多<sup>[15]</sup>。遮光试验<sup>[16]</sup>和人工气候箱控光试验<sup>[17]</sup>都表明,水稻基部节间伸长受到群体基部光强的显著影响,提高群体基部光强,可缩短基部节间,提高抗倒伏能力。通过田间氮肥与密度试验,研究建立了水稻基部第二节间长度(y)随该节间伸长期间的自然光强(L)和叶面积指数(LAI)而变化的定量关系:

$$y = c - a L e^{-k LAI} + b LAI$$

式中,a、b、c为模型参数,k为群体消光系数。基部节间伸长期间(拔节期)光照条件越好,群体叶面积越小,则基部节间越短,水稻抗倒伏能力越强<sup>[18]</sup>。研究结果对水稻抗倒高产栽培具有指导意义。

### 3.2 水稻低碳高产栽培关键技术

气候变化是人类面临的重大挑战,而甲烷等温室气体是造成气候变化的重要原因。水稻是最重要的粮食作物之一,而稻田也是重要的温室气体排放源。如何协调高产和温室气体减排的关系,对粮食安全和环境安全十分重要。广东省农业科学院水稻研究所于2011年起开展稻田温室气体减排和低碳高产栽培技术研究,通过选用低碳排放品种、优化施肥、干湿交替灌溉等技术措施的集成,形成了水稻低碳高产栽培技术<sup>[19-22]</sup>。与习惯栽培相比,该技术节省氮肥22.9%~25.0%,节水20%左右,减少温室气体排放31.4%,氮肥利用率提高10个百分点以上,稻谷产量提高12.1%~18.5%,每667m<sup>2</sup>增收节支148.6~247.4元。该技术2017年入选国家发改委重点推广节能低碳技术目录<sup>[23]</sup>。

### 3.3 机插水稻育插秧关键技术与集成应用

机插秧是广东水稻生产机械化的短板。广东省农业科学院水稻研究所从2012年起,从适宜品种筛选、机插育秧、养分运筹、蘖位生产力及高产群体形成等方面,开展了机插水稻育插秧关键技术研究<sup>[24-26]</sup>。揭示了机插水稻适宜品种的农艺性状及产量形成特征,明确了机插水稻适宜的播种用量、插植秧龄、插植规格、不同蘖位生产力贡献及其调控途径,构建了大田泥浆育秧和节约化育秧关键技术,配套集成了育壮秧、少植伤、早返青、促分蘖保穗数、成大穗的机插水稻丰产高效栽培技术。示

范应用表明,该技术减少化肥用量 10%,降低用工成本约 10%,产量提高 8% 以上。

### 3.4 水稻轻简高效栽培技术

种稻效益低和劳动力短缺是当前广东水稻生产的突出问题。为降低种稻成本(特别是用工成本),提高经济效益,近年来广东省农业科学院水稻研究所开展了水稻轻简化栽培技术研究,在直播稻和再生稻栽培方面取得了显著进展。

在直播稻栽培方面,2012 年开始开展了菜田一季中晚稻旱直播栽培技术探索研究。该技术在前一季蔬菜收获后,尽快用拖拉机翻耕菜地,将已浸种催芽至露白的稻种均匀撒播于畦面上,开动喷灌设施将耕作层喷至湿透,然后喷施或撒施除草剂,利用自然降雨或喷灌达到田间湿润使稻种发芽,出苗后按常规管理。该技术具有省工、省力、节水、操作简便等优点,适宜于华南稻区的水稻与旱植经济作物轮作田或季节性缺水的稻田。2014 年以来,开展了适宜直播水稻品种筛选、播种量、水肥管理、杂草防控等方面研究。筛选出适宜旱季直播种植的品种(组合)15WHZ、培杂泰丰和粤杂 889,适宜晚季直播种植的品种(组合)聚两优 751、天优 122 和天优华占,以及早、晚兼用的品种五优 308 等。明确了直播高产品种具有总生物量大、收获指数和氮素利用效率高的特征<sup>[27]</sup>。初步制定了直播稻高产高效栽培技术规程,在阳江和廉江等地示范应用,比习惯栽培法节肥 21.8%~23.7%,减少灌溉 2~3 次,增产 8.4%~18.4%。此外,还开展了淹水直播、基于稻草种子膜的智能化精准直播和无人机直播技术的研究探索。

在再生稻栽培方面,2008 年广东省农业科学院水稻研究所开展了一季中晚稻-再生稻栽培技术探索研究,再生稻每 667 m<sup>2</sup> 产量 200~300 kg,试验取得初步成效。2016 年以来与梅州等地合作,开展了机收再生稻栽培技术研究探索。筛选出黄华占、美香占 2 号、黄科香 1 号、隆两优华占等一批适宜做机收再生稻的品种。开展了头季稻和再生稻水分管理、优化施肥等研究,再生稻每 667 m<sup>2</sup> 产量突破了 400 kg<sup>[28]</sup>。

## 4 启示与展望

### 4.1 水稻耕作栽培学科发展的启示

广东省农业科学院建院 60 年来,水稻耕作栽培学科得到了很大发展,取得了一系列重要的理论和技术成果,为广东水稻产业发展、保障粮食安全和增加农民收入,做出了重大贡献。纵观水稻耕作栽培学科发展历程,可以得到如下启示:

**4.1.1 面向需求,解决生产上的重大问题** 水稻耕作栽培是一个应用性极强的学科。不同历史时期所面对的生产问题是不同的。在 1980 年代以前,主要是产量不高不稳的问题,如何提高产量是研究重点,“水稻高产稳产栽培技术规程”应运而生。到了 1990 年代,大量劳动力进城务工,农村劳动力短缺成为重要问题,抛秧就是在这种形势下研发的。到了 21 世纪,化肥农药污染成为突出问题,研发减肥减药的“三控”施肥技术成为重大需求。同时我国经济发达地区农业结构调整,水稻等粮食播种面积急剧下降,长期连作蔬菜田土壤生态环境恶化,研创出以一季中晚稻栽培技术为核心的夏闲田“菜-稻-菜”水旱轮作高效耕作制模式与技术也就顺理成章了。

**4.1.2 深入生产实际,从生产实际中发现问题,总结提炼科学问题** 从生产问题中提炼科学问题,然后通过系统研究,找出解决问题的方法和措施。如著名的潮汕经验,针对如何高产这一迫切问题,开展连续数年的广泛系统的调查研究,总结群众经验,并不断总结提高,形成技术体系,对当时广东的水稻增产发挥了巨大作用。这一研究方法对我国水稻栽培学科的发展产生了深远影响。

**4.1.3 紧盯科技前沿,注意吸收国内外最新研究成果** 科技发展日新月异,要与时俱进,紧盯科技前沿,充分吸收国内外最新成果,提高效率,少走弯路。如抛秧技术,最早是从日本引进纸筒育秧,经过几年的研究,证明了抛秧的可行性。但是,纸筒育秧也存在成本偏高等问题,限制了其大面积推广。后采用塑料软盘育秧,并系统研究其配套技术,成本大幅下降,使该技术得以迅速推广,至今仍是广东水稻生产应用的重要技术之一。

### 4.2 新时期广东水稻耕作栽培研究展望

当前,广东水稻生产存在 4 个突出问题:一是种稻成本高、效益低,严重影响了农民的种粮积极性,有的地方甚至出现抛荒现象;二是劳动力短缺,农资、地租和用工成本上涨;三是机械化水平低,特别是机种(包括机插秧、机直播)水平低;四是生产标准化程度低,影响产品质量稳定性和品牌建设。针对这些产业问题,广东水稻耕作栽培研究要围绕“两型四化、转型升级”(即资源节约型、环境友好型、机械化、轻简化、标准化、高效化)的目标,加强以下研究:(1)加强机械化配套栽培技术研究。“机器替人”是解决劳动力短缺问题、提高种稻效益的重要途径。目前广东水稻机耕、机收已基本实现机械化,但机种(特别是机插秧)水平仍然偏低,是全程机械化的短板。要从广东水稻种植规模化水平不高、丘陵山区多等实际情

况出发,研究切实可行的农机农艺融合技术模式,加强技术集成配套。加快机插秧同步侧深施肥、无人施肥施药等技术的熟化和示范推广。(2)加强轻简化栽培技术的研发。减少或合并作业环节,是降低成本、提高效益的另一重要途径。当前重点要加强直播稻、机收再生稻栽培关键技术攻关与集成。(3)加强绿色优质化栽培技术研发,重点开展广东丝苗米优质高效栽培、稻田高效生态种养等技术研发。(4)推进栽培技术标准化,优化从农田到餐桌的整个产业链,建立覆盖各个环节的技术规程(标准)体系,稳定产品质量,做好产品溯源,为品牌建设保驾护航。

近年来,广东省委、省政府对广东水稻产业高度重视,已建成一批广东丝苗米现代农业产业园,社会各界也积极参与到水稻产业中来,为广东水稻产业发展注入了新的动力,也对水稻耕作栽培研究提出了新的更高的要求。要加强水稻耕作栽培理论和技术创新与集成应用,以技术升级推动产业升级,在提高水稻产量和产品质量的同时,降低生产成本,保护生态环境,实现粮食增产、农民增收和生态环境的协调发展,推动广东水稻产业由资源消耗型向资源节约、环境友好型转变,提升广东水稻产业现代化水平和国内外影响力。

#### 参考文献 (References):

- [1] 广东农村统计年鉴编辑委员会. 广东农村统计年鉴 2019 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2019:185-186.  
Guangdong Rural Statistical Yearbook Editorial Committee. Guangdong Rural Statistical Yearbook 2019 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2019:185-186.
- [2] 广东省农科院水稻所“技术规程”研究组. 水稻高产稳产栽培技术规程(上) [J]. 农业科技通讯, 1989(11):8-9.  
"Technical regulation" research group in Rice Research Institute of Guangdong Academy of Agricultural Sciences. Technical regulations for high and stable yield cultivation of rice (1) [J]. *Agricultural Science and Technology Communication*, 1989(11):8-9.
- [3] 广东省农科院水稻所“技术规程”研究组. 水稻高产稳产栽培技术规程(中) [J]. 农业科技通讯, 1989(12):5-7.  
"Technical regulation" research group in Rice Research Institute of Guangdong Academy of Agricultural Sciences. Technical regulations for high and stable yield cultivation of rice (2) [J]. *Agricultural Science and Technology Communication*, 1989(12):5-7.
- [4] 广东省农科院水稻所“技术规程”研究组. 水稻高产稳产栽培技术规程(下) [J]. 农业科技通讯, 1990(1):6-9.  
"Technical regulation" research group in Rice Research Institute of Guangdong Academy of Agricultural Sciences. Technical regulations for high and stable yield cultivation of rice (3) [J]. *Agricultural Science and Technology Communication*, 1990(1):6-9.
- [5] 毛璧君, 潘玉燊, 罗家镛, 刘怀珍, 卢德成, 张万巧, 杨江. 水稻纸筒育苗抛秧移植技术规程 [J]. 广东农业科学, 1994(2):1-2.  
MAO B J, PAN Y S, LUO J L, LIU H Z, LU D C, ZHANG W Q, YANG J. Specification for raising, broadcasting and establishment of rice seedlings grown in paper-pots [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 1994(2):1-2.
- [6] 李康活, 黄庆, 陆秀明, 刘怀珍, 郑海波, 杨观宋, 梁友强, 蔡汉雄, 梁权, 梁成英. 水稻塑盘育苗抛秧栽培群体生物量增长动态与增产潜力分析 [J]. 广东农业科学, 1996(3):8-12. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.1996.03.003.  
LI K H, HUANG Q, LU X M, LIU H Z, ZHENG H B, YANG G S, LIANG Y Q, CAI H X, LIANG Q, LIANG C Y. Biomass growth dynamics and yield increasing potential of rice cultivation with plastic-tray-raised seedlings [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 1996(3):8-12. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.1996.03.003.
- [7] 李康活, 黄庆, 蔡汉雄, 梁友强. 发挥抛秧生育优势与增产潜力的栽培技术对策 [J]. 广东农业科学, 1996(3):13-14. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.1996.03.004.  
LI K H, HUANG Q, CAI H X, LIANG Y Q. Technical measures in seedling casting cultivation for better growth and higher yield of rice [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 1996(3):13-14. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.1996.03.004.
- [8] 梁友强, 蔡汉雄, 李康活, 黄庆. 广东水稻塑料软盘育苗抛秧高产栽培技术规程 [J]. 广东农业科学, 1996(3):15-18. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.1996.03.004.  
LIANG Y Q, CAI H X, LI K H, HUANG Q. Technical regulations for high yielding cultivation of rice using plastic-tray-raised seedlings in Guangdong Province [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 1996(3):15-18. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.1996.03.004.
- [9] 李康活, 黄庆, 陆秀明, 刘怀珍, 郑海波, 潘玉燊, 杨观宋, 罗家镛. 双季稻免耕抛秧栽培技术试验初报 [J]. 广东农业科学, 1997(3):2-5. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.1997.03.001.  
LI K H, HUANG Q, LU X M, LIU H Z, ZHENG H B, PAN Y S, YANG G S, LUO J L. A preliminary report of the application of the cultivation technology of zero tillage-seedling throwing of double cropping rice [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 1997(3):2-5. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.1997.03.001.
- [10] 广东省质量技术监督局. DB44/T 969-2011 水稻“三控”施肥技术规程 [S]. 广东省地方标准, 2011-12-21.  
Guangdong Administration of Quality and Technical Supervision. DB44/T 969-2011: "three controls" nutrient management technology specification [S]. Guangdong provincial local standards, 2011-12-21.
- [11] 钟旭华, 黄农荣, 郑海波, 彭少兵, Roland J Buresh. 水稻“三控”施肥技术规程 [J]. 广东农业科学, 2007(5):13-15,43. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2007.05.003.  
ZHONG X H, HUANG N R, ZHENG H B, PENG S B, ROLAND J B. Specification for the "Three Controls" nutrient management technology for irrigated rice [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2007(5):13-15,43. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2007.05.003.
- [12] 李康活, 周少川. 广东稻、菜田耕作制度改革策略与初步成效 [J]. 广东农业科学, 2006(2):11-14. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2006.02.003.  
LI K H, ZHOU S C. Reform strategy and preliminary achievements of farming system in cropland for rice and vegetable in Guangdong [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2006(2):11-14. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2006.02.003.
- [13] 广东省农业科学院水稻生态研究室. 水稻叶面积、叶开张角与光能利用的研究 [J]. 植物学报, 1977, 19(1):34-40.  
Rice Ecology Section in Rice Research Institute of Guangdong Academy of Agricultural Sciences. Study on leaf area, leaf-orientating angle and utilization of light radiation in rice [J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 1977, 19(1):34-40.
- [14] 李国辉, 钟旭华, 田卡, 黄农荣, 潘俊峰, 何庭蕙. 施氮对水稻茎秆抗倒伏能力的影响及其形态和力学机理 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(7):1323-1334. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2013.07.003.  
LI G H, ZHONG X H, TIAN K, HUANG N R, PAN J F, HE T H. Effect of nitrogen application on stem lodging resistance of rice and its morphological and mechanical mechanisms [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(7):1323-1334. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2013.07.003.

- [15] PAN J F, ZHAO J L, LIU Y Z, HUANG N R, TIAN K, FAROOQ S, LIANG K M, ZHONG X H, LIU B. Optimized nitrogen management enhances lodging resistance of rice and its morpho-anatomical, mechanical, and molecular mechanisms [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9:20274. DOI:10.1038/s41598-019-56620-7.
- [16] 梁开明, 李晓娟, 钟旭华, 田卡, 彭少兵, 黄农荣, 潘俊峰, 刘彦卓. 拔节期光强对水稻基部节间长度的影响 [J]. 中国稻米, 2017, 23 (2): 32-37. DOI:10.3969/j.issn.1006-8082.2017.02.008. LIANG K M, LI X J, ZHONG X H, TIAN K, PENG S B, HUANG N R, PAN J F, LIU Y Z. Effects of light intensity during jointing stage on basal internode length of rice [J]. *China Rice*, 2017, 23 (2): 32-37. DOI:10.3969/j.issn.1006-8082.2017.02.008.
- [17] 李晓娟, 梁开明, 钟旭华, 田卡, 彭少兵, 黄农荣, 潘俊峰, 刘彦卓. 拔节期光强对水稻抗倒伏能力的影响及机理 [J]. 华南农业大学学报, 2017, 38 (6): 34-43. DOI: 10.7671/j.issn.1001-411X.2017.06.006. LI X J, LIANG K M, ZHONG X H, TIAN K, PENG S B, HUANG N R, PAN J F, LIU Y Z. Effects of light intensity during internode elongation on rice lodging resistance and its mechanism [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2017, 38 (6): 34-43. DOI: 10.7671/j.issn.1001-411X.2017.06.006.
- [18] ZHONG X H, LIANG K M, PENG B L, TIAN K, LI X J, HUANG N R, LIU Y Z, PAN J F. Basal internode elongation of rice as affected by light intensity and leaf area [J]. *The Crop Journal*, 2020, 8:62-70. DOI: 10.1016/j.cj.2019.05.005.
- [19] 黄农荣, 梁开明, 钟旭华, 潘俊峰, 刘彦卓, 彭碧琳, 傅友强, 胡香玉, 田卡, 孔清霓. 南方低甲烷排放的高产水稻品种筛选与评价 [J]. 农业环境科学学报, 2018, 37 (12): 2854-2863. DOI:10.11654/jaes.2018-0125. HUANG N R, LIANG K M, ZHONG X H, PAN J F, LIU Y Z, PENG B L, FU Y Q, HU X Y, TIAN K, KONG Q N. Screening for and evaluation of rice (*Oryza sativa*) varieties with low methane emission and high yield in South China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37 (12): 2854-2863. DOI:10.11654/jaes.2018-0125.
- [20] LIANG K M, ZHONG X H, HUANG N R, LAMPAYAN R M, PAN J F, TIAN K, LIU Y Z. Grain yield, water productivity and CH<sub>4</sub> emission of irrigated rice in response to water management in south China [J]. *Agricultural Water Management*, 2016, 163: 319-331. DOI:10.1016/j.agwat.2015.10.015.
- [21] PAN J F, LIU Y Z, ZHONG X H, LAMPAYAN R M, SINGLETON G R, HUANG N R, LIANG K M, PENG B L, TIAN K. Grain yield, water productivity and nitrogen use efficiency of rice under different water management and fertilizer-N inputs in South China [J]. *Agricultural Water Management*, 2017, 184:191-200. DOI: 10.1016/j.agwat.2017.01.013.
- [22] LIANG K M, ZHONG X H, HUANG N R, LAMPAYAN R M, LIU Y Z, PAN J F, PENG B L, HU X Y, FU Y Q. Nitrogen losses and greenhouse gas emissions under different N and water management in a subtropical double-season rice cropping system [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 609:46-57. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.118.
- [23] 水稻节水减肥低碳高产栽培技术. 国家重点节能低碳技术推广目录(2017年本低碳部分) [R]. 国家发展与改革委员会公告(2017年第3号), 2017-03-17. [http://www.gov.cn/xinwen/2017-04/01/content\\_5182743.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2017-04/01/content_5182743.htm). Water-saving, fertilizer-reducing and low-carbon cultivation of rice. National key energy-saving and low-carbon technology promotion catalogue (2017 low carbon part) [R]. National Development and Reform Commission Gazette (No. 3, 2017), 2017-03-17. [http://www.gov.cn/xinwen/2017-04/01/content\\_5182743.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2017-04/01/content_5182743.htm).
- [24] 刘怀珍, 黄庆, 李康活, 熊元芳, 陆秀明, 张洪, 李惠芬, 张彬, 姚俊豪. 超级稻机械插秧高产配套技术研究 [J]. 现代农业装备, 2011 (1/2): 99-101. LIU H Z, HUANG Q, LI K H, XIONG Y F, LU X M, ZHANG H, LI H F, ZHANG B, YAO J H. Study on high-yield supporting technologies for mechanical transplanting of super rice [J]. *Mondem Agricultural Equipments*, 2011 (1/2): 99-101.
- [25] 陆秀明, 黄庆, 刘怀珍, 张彬, 李惠芬, 邹积祥. 超级稻金农丝苗机械化插秧示范及高产栽培技术 [J]. 耕作与栽培, 2013 (3): 43-44. LU X M, HUANG Q, LIU H Z, ZHANG B, LI H F, ZOU J X. Super rice Jinnongsimiao mechanization planting demonstration and high yield cultivation techniques [J]. *Tillage and Cultivation*, 2013 (3): 43-44.
- [26] 陆秀明, 黄庆, 刘怀珍, 张彬, 李惠芬, 邹积祥. 机插超级稻在不同施肥水平和不同插植密度下的生育特性及产量表现 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (21): 152-157. DOI:10.11924/j.issn.1000-6850.2013-3331. LU X M, HUANG Q, LIU H Z, ZHANG B, LI H F, ZOU J X. The performance of yield and growth characteristics in different fertilizer levels and different transplanting densities of super mechanical transplanting rice [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30 (21): 152-157. DOI: 10.11924/j.issn.1000-6850.2013-3331.
- [27] 彭碧琳, 胡香玉, 钟旭华, 田卡, 黄农荣, 潘俊峰, 梁开明, 刘彦卓, 傅友强. 华南双季直播稻品种筛选及其产量形成特征研究 [J]. 中国稻米, 2019, 25 (5): 47-52. DOI:10.3969/j.issn.1006-8082.2019.05.010. PENG B L, HU X Y, ZHONG X H, TIAN K, HUANG N R, PAN J F, LIANG K M, LIU Y Z, FU Y Q. Selection and yield formation characteristics of double-cropping and direct seeding rice in South China [J]. *China Rice*, 2019, 25 (5): 47-52. DOI:10.3969/j.issn.1006-8082.2019.05.010.
- [28] 胡香玉, 钟旭华, 彭碧琳, 刘彦卓, 黄农荣, 梁开明, 潘俊峰, 傅友强. 不同氮肥运筹下低桩机收再生稻的产量和经济效益 [J]. 中国稻米, 2019, 25 (4): 16-21. DOI:10.3969/j.issn.1006-8082.2019.04.004. HU X Y, ZHONG X H, PENG B L, LIU Y Z, HUANG N R, LIANG K M, PAN J F, FU Y Q. Grain yield and profit of machine-harvested low stubble ratoon rice under different nitrogen management [J]. *China Rice*, 2019, 25 (4): 16-21. DOI:10.3969/j.issn.1006-8082.2019.04.004.

(责任编辑 杨贤智)



钟旭华, 博士, 二级研究员, 广东省农业科学院水稻研究所副所长, 广东省现代农业产业技术体系水稻产业创新团队首席专家, 中国作物学会栽培专业委员会委员, 国家科学技术奖评审专家。

从事水稻生理生态与栽培与可持续高产高效理论研究。主持国家自然科学基金、国家 863 计划、国家公益性行业科研专项等项目 30 多项, 发表学术论文 120 余篇。获国际发明专利 (PCT) 1 项, 软件著作权 1 项。获得省部级科研成果奖 8 项, 其中一等奖 1 项, 二等奖 3 项。2014 年获国际肥料行业协会 (IFA) Norman Borlaug 奖。主持研制的水稻“三控”施肥技术先后入选农业部主推技术和超级稻“双增一百”技术, 连续多年入选广东省农业主推技术和广东省农业面源污染治理重点推广技术, 应用范围涵盖广东、广西、江西等 11 省 (自治区)。主持研发的水稻低碳高产栽培技术, 具有节水节肥、稳产高产、面源污染和温室气体排放少等优势, 被国家发改委列入重点推广技术目录。