

再生稻产量形成的生理生态特性与关键栽培技术的研究与展望*

林文雄¹ 陈鸿飞¹ 张志兴¹ 徐倩华² 屠乃美³ 方长旬¹ 任万军⁴

(1. 福建农林大学生命科学学院 福州 350002; 2. 福建省农业技术推广总站 福州 350001;
3. 湖南农业大学农学院 长沙 410128; 4. 四川农业大学农学院 雅安 611130)

摘要 本文介绍了目前我国再生稻的发展现状,从发育遗传和生理生态角度综述了近年来再生稻产量形成的研究进展,提出采用人工收割高留桩栽培再生稻时,选择头季分蘖力相对较弱、再生季再生力强的重穗型杂交籼稻品种(组合)易获高产;而采用机械化收割低留桩栽培再生稻时,选择具强低位芽再生力的杂交籼稻品种或感光性弱的重穗型杂交粳稻品种(组合)、粳粳交水稻品种(组合)易获高产。头季成熟期至再生季齐穗期根系活力的强弱,直接影响再生季产量的高低,再生季稻高产的前提是健壮的头季根系和一定数量新生根系的有效结合,这有利于促进腋芽的萌发成苗、增加每平方米穗数,是再生稻高产增产的关键。在此基础上,提出适时早播、畦栽沟灌、二次烤田、重施促芽肥、适高留桩的人工收割高留桩再生稻栽培技术,并从品种选择、再生季施肥、留桩高度等方面探讨了机械化收割低留桩蓄留再生稻的关键栽培技术及生理生态机制。最后提出了我国再生稻发展亟待解决的几个问题,认为当前轻简化的机收低留桩再生稻是我国再生稻发展的方向,并对机收低留桩再生稻的进一步研究作了展望。

关键词 再生稻 产量形成 发育遗传特性 人工收割 机械化收割 栽培技术

中图分类号: S511.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2015)04-0392-10

Research and prospect on physio-ecological properties of ratoon rice yield formation and its key cultivation technology

LIN Wenxiong¹, CHEN Hongfei¹, ZHANG Zhixing¹, XU Qianhua²,
TU Naimei³, FANG Changxun¹, REN Wanjun⁴

(1. College of Life Sciences, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Agro-technique Extension Station of Fujian Province, Fuzhou 350001, China; 3. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 4. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Ya'an 611130, China)

Abstract This article reviewed the current situations of ratoon rice in China and summarized the research progresses on the ratoon rice yield formation from the perspectives of the developmental genetics and physiological ecology. The key cultivation technology and eco-physiological mechanisms of the ratooning plants from low and high rice stubbles were comprehensively reviewed also. The ratoon rice technique gives two yields from one seeding, with significant yield advantages over single cropping rice and double cropping rice. Appropriate rice cultivars and cultivation methods are decisive factors of high yield of ratoon rice. For the ratoon rice from the high stubble of the hand-harvested first-season rice, to get high yield, the hybrid indica rice cultivars with heavy panicles were the best choices, which were relative weak in tillering ability for the first-season, and high regeneration capacity from lower nodes for the ratoon season. For the ratoon rice from the lower stubble of the mechanically harvested first-season rice, to get high yield, the hybrid indica rice with high regeneration capacity from lower nodes, or hybrid indica and japonica/indica rice crosses with the heavy panicle but weak photosensitivity were the best choices. Previous

* 国家自然科学基金项目(31271670)、福建省粮食科技重大专题(2004NZ01-4)、福建省科技重大项目(2008NZ0201)和福建省自然科学基金项目(2009J01060)资助

林文雄, 主要从事植物生理与分子生态学研究。E-mail: wenxiong181@163.com

收稿日期: 2015-02-10 接受日期: 2015-03-02

studies also suggested that roots adjustment was crucial to realize yield potential of ratoon rice. The ratoon rice root system was composed of the roots of the first-season rice and new roots of the ratoon season rice. The higher root activity from the mature stage of the first-season rice to the heading stage of the ratoon rice improved germination of axillary bud in rice stubbles and increased the panicles number of ratoon rice, which was favorable for high yield of ratoon rice. According to our study results and previous reports, we summarize the high-yielding cultural techniques of ratoon rice from hand-harvested first-season rice, such as early sowing in optimal time, ridge transplanting and furrow irrigation, two-time soil drying (heavy drought at tillering stage and moderate drought at 25 days after full heading stage in the first season), increased N application for bud development, and higher stubbles of 40–50 cm. In addition, the key cultivation technology and eco-physiological mechanisms of the ratoon rice from the low stubbles of machine-harvested first-season rice were comprehensively discussed from variety selection, fertilizer application, and the height of the remained stubbles. At last, the problems and future trends of ratoon rice were discussed. It was suggested that ratoon rice from low stubbles of mechanically harvested rice were the direction of ratoon rice development. The corresponding researches were therefore prospected.

Keywords Ratoon rice; Yield formation; Developmental genetic characteristics; Hand-harvesting; Mechanics-harvesting; Cultivation technology

(Received Feb. 10, 2015; accepted Mar. 2, 2015)

水稻是我国的三大主要粮食作物之一, 稳定和 提高稻谷总产对维护我国的粮食安全至关重要。提高作物总产的途径有 3 条: (1)提高单位面积的单季产量, 也就是单产; (2)增加耕地面积; (3)提高复种指数^[1]。但我国水稻生产依然面临着一些现实问题: 人均稻米消费需求刚性增长, 水稻的单产虽然仍在增加, 但是增产幅度越来越小, 难有大的突破; 农业生产成本不断上升, 种粮比较效益偏低, 导致农业劳动力结构发生改变, 农村劳动力短缺, 水稻播种面积呈现下降趋势, 尤其在我国南方部分稻区出现了“双改单”甚至抛荒的现象, 水稻种植面积增加的可能性极小。因而通过提高复种指数来增加收获面积成为提高稻谷总产的一条主要途径。

再生稻是采用一定的栽培管理措施, 使头季水稻收割后稻桩上的休眠芽萌发生成穗而再收获一季的水稻种植模式, 我国 1700 多年前就已开始种植, 但历史上只是将其作为一种灾年减灾的措施。近年来, 由于强再生力水稻品种的育成和再生稻栽培技术的发展, 使再生稻经济效益显著优于单季稻和双季稻。此外, 再生稻还具有米质优^[2-3]、低污染、低能耗的特点, 是一种省工省肥、高产高效的资源节约型水稻种植模式, 已成为了我国南方光温资源一季有余两季不足稻区及“双改单”稻区提高复种指数、增加收获面积、稳定稻谷总产的一种种植制度。再生稻栽培技术的发展也经历了两个阶段, 先发展形成了高留桩蓄留再生稻栽培技术, 但高留桩也带来了一个生产难题, 即头季收割只能采取人工收割的方式, 导致了生产成本的增加, 成为了制约高留桩蓄留再生稻大面积推广的瓶颈; 近年来, 又发展形成了机械化收割低留桩蓄留再生稻栽培技术。伴

随着再生稻栽培技术的发展, 我国南方许多省份出现了不少的高产典型, 特别是福建省, 其高留桩蓄留再生稻栽培技术的再生季示范片单产超 $7.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 机械化收割低留桩蓄留再生稻栽培技术的再生季示范片单产达 $4.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 再生稻大面积单产水平全国领先, 并通过合作攻关和技术交流等推动了江西、四川、广西、云南等南方 9 省再生稻栽培技术的发展和产量水平的提高。本文就近年来我国再生稻的研究现状作系统综述, 并对存在的问题和发展前景作进一步的分析与展望, 希望能引起国内同行的重视与共鸣。

1 再生稻产量形成的遗传生态特性

1.1 再生稻腋芽的发育遗传特性

再生稻产量高低与头季收割后稻桩上休眠的腋芽萌发成穗数密切相关, 不同类型水稻腋芽再生率存在着差异, 总体趋势是杂交稻再生率高于常规稻^[4]。品种的再生力是决定再生率的基础, 关于水稻再生力的遗传特性, 蒋彭炎^[5]研究认为水稻再生力主要受单基因控制的; 但多数研究认为水稻再生力是受多基因控制的^[6]。我们利用籼稻品种‘明恢 86’和‘佳辐占’为亲本构建的 F_2 群体, 在第 7 号染色体的 RM18~RN234 区间分别定位到控制再生力(再生穗数)、再生季结实率和单株产量的 3 个 QTL, 但其贡献率和加性效应均较小, 属微效基因^[7]; 谭震波等^[8]利用 ZYQ8/JX17 的 DH 群体, 定位了分布于第 3、第 4、第 5、第 6、第 7 染色体上影响单株再生苗数的 6 个 QTL, 贡献率与加性效应值也较小; 杨川航等^[9]利用‘糯 89-1’/‘蜀恢 527’的籼粳交 RIL 群体中检测到控制水稻再生力的 QTL 2 个, 贡献率与加

性效应值也较小。表明水稻再生力的遗传受微效多基因控制,是一个受遗传和环境因素影响的复合性状^[10],存在显著的基因与环境的互作效应,为栽培调控提供了可能;同时,研究还表明水稻再生力存在强大的杂种优势,且与头季稻有效穗呈极显著负相关,头季稻有效穗数是影响再生力的主要因素^[8,11-12]。因此,筛选和选育头季分蘖力相对较弱、再生季再生力强的重穗型杂交稻品种(组合)是保障头季稻和再生稻产量的前提。

不同类型的杂交稻优势再生节位不同,籼稻优势再生节位为倒 2、3 节,在母体留高桩的情况下,各节位腋芽的再生力顺序为倒 2 节>倒 3 节>倒 5 节>倒 4 节^[13],倒 2、3 节对总产量贡献率占 70%以上,高节位的腋芽对低节位腋芽萌发和生长有抑制作用,属于高节位再生型。相反,粳稻的优势再生节位为基节,对总产量的贡献率占 75%以上,高节位腋芽的这种抑制作用不明显,属于低节位再生型^[14-16]。因而,采用人工收割高留桩栽培再生稻时,选择头季分蘖力相对较弱、再生季再生力强的重穗型杂交籼稻品种(组合)易获高产;而采用机械化收割低留桩栽培再生稻时,选择感光性弱的重穗型杂交粳稻品种(组合)或籼粳交水稻品种(组合)易获高产。

1.2 高产再生稻的源库特征

库容量与库藏物质积累量决定了水稻产量高低,所以再生稻必须具备“库大源足”才能达到高产目的。

1.2.1 高产再生稻的库结构

水稻产量由单位面积内有效穗效、每穗粒数、结实率和千粒重构成决定,这 4 个因素对再生稻产量的形成都具有重要作用,但作用程度存在明显差异^[17]。我们通过研究再生稻单株产量与产量因子性状——每穗实粒数、每穗总粒数、有效穗数、千粒重、结实率的相关性,发现在以上因子中,头季稻产量与每穗粒数的相关性最密切,其次为穗数,显示头季高产主要是在稳定穗数的基础上主攻大穗,形成巨大的库容量;再生季产量与每平方米穗数的相关性最密切,其次为每穗粒数,显示再生季高产应培育更多的穗数,形成巨大的库容量^[18]。这与多数的研究结果一致^[19-25],也与再生力和头季稻有效穗呈极显著负相关的遗传分析相一致^[8,11-12],这是由再生稻穗发育的特点决定的。李义珍等^[26]研究指出,头季稻穗的灌浆期也是再生季穗的一、二次枝梗分化和颖花分化期,从而导致其养分供求矛盾紧张,不可避免地使其穗小、粒少。这一特点也就限

制了再生季靠大穗增产的可能。因而,再生季最具潜力的增产因素也是最明显的增产因素是每平方米穗数,促进腋芽的萌发成苗是再生稻高产增产的关键。

1.2.2 高产再生稻的源结构

再生季稻的源主要包括叶源、茎鞘源和根源,不同生长时期再生稻利用的源不同。我们的研究发现,头季稻收割后,稻桩中储积的氮素即运转到再生分蘖,其中以头季成熟—再生季齐穗期的氮输出量最多,输出率高达 37%~49%,表观转变率达 29%~54%(表 1)。稻桩的转化氮对腋芽的萌发成苗至关重要^[27],是再生苗萌发和生长的物质基础^[28]。但不同节位腋芽对头季收割后稻桩茎鞘储存物质的依赖性有所不同,高节位腋芽对稻桩茎鞘储存物质的依赖性较低节位腋芽大^[29],这预示着高留桩和低留桩蓄留再生稻时促芽肥的施用应有所不同。再生稻齐穗后,稻桩的氮素输出量减少,输出率为 15%~20%,表观转变率降为 14%~20%^[27](表 1),再生季后期主要靠再生稻新生叶片提供生长所需。易镇邪^[29]研究认为再生季各时期叶片净同化率一般高于头季稻,尤以孕穗至抽穗期、乳熟至成熟期差异明显,再生稻的净同化率是头季稻的 1.5~2.0 倍。可见,再生稻新生叶片的光合积累,是再生稻籽粒灌浆的主要物质基础^[30]。

再生稻根系由两部分组成:一是母茎上存活的老根与其在再生季产生的新根,二是稻桩母茎节休眠芽上根原基萌发而成的新根。我们观察了 6 个杂交稻组合各生育期的伤流量与再生季产量的关系(表 2),发现反映根系整体机能的伤流量,高峰期在头季齐穗期,随后下降,头季收割后随着再生分蘖的萌发生长又有所回升,再生季齐穗以后再度降低,呈现“M”型变化趋势;再生季产量与各个时期的伤流量都呈极显著正相关,但以头季成熟期的伤流量与再生季产量的相关度最高,再生季齐穗期的伤流量与再生季产量的相关度次高。显示头季成熟期至再生季齐穗期根系活力的强弱,直接影响再生季产量的高低^[31],可作为诊断再生力、筛选再生稻品种的重要指标。

头季成熟期至再生季齐穗期根系活力由稻桩上存活的老根和休眠芽上根原基萌发而成的新根组成。一般认为:头季根系对再生稻的生长发育起主导作用,再生根只起辅助作用^[32-33],但也有研究认为再生根与头季根系同等重要^[5]。这与留桩高度有

表 1 再生稻器官各时期氮素的积累运转
Table 1 Accumulation and translocation of nitrogen in ratoon rice at different growth stages

生育期 Growth stage	器官 Organ	指标 Indicator	再生季施氮量 N application rate (kg·hm ⁻²)					
			0	57.5	115.0	172.5	230.0	287.5
头季成熟-再生季齐穗期 Maturity stage of the first season to full heading stage of the ratoon season	新器官 New organs	积氮量 N accumulation (g·m ⁻²)	2.77	3.09	4.16	4.79	5.70	6.40
	稻桩 Stubbles	输氮量 N output (g·m ⁻²)	1.19	1.33	1.73	2.57	2.03	1.87
		输出率 Output rate (%)	37.2	37.3	41.6	49.1	37.7	38.2
		表观转变率 Apparent conversion rate (%)	43.0	43.0	41.6	53.7	35.6	29.2
再生季齐穗-成熟期 Full heading stage to maturity stage of the ratoon season	穗 Panicles	积氮量 N accumulation (g·m ⁻²)	3.08	3.54	4.07	4.53	5.49	5.14
	稻桩 Stubbles	输氮量 N output (g·m ⁻²)	0.53	0.70	0.62	0.72	1.11	0.74
		输出率 Output rate (%)	16.6	19.8	15.2	13.8	20.6	15.1
		表观转变率 Apparent conversion rate (%)	17.2	19.8	15.2	15.9	20.2	14.1
	叶片 Leaves	输氮量 N output (g·m ⁻²)	0.82	1.06	1.36	1.46	2.36	2.67
		输出率 Output rate (%)	63.1	66.3	65.1	65.2	72.8	72.6
		表观转变率 Apparent conversion rate (%)	26.6	29.9	33.4	32.2	43.0	51.9
	茎鞘 Stems and sheaths	输氮量 N output (g·m ⁻²)	0.53	0.33	0.37	0.52	0.35	0.47
		输出率 Output rate (%)	42.1	24.8	23.1	26.9	17.0	20.5
表观转变率 Apparent conversion rate (%)		71.2	9.3	9.1	11.5	6.4	9.1	

表 2 再生稻不同品种各生育时期伤流量与产量及其构成的相关性

Table 2 Correlation between the bleeding capacity at different growth stages and grain yield as well as its component of six ratoon rice cultivars

生育期 Growth stage	头季稻谷产量		再生季 Ratoon season				
	Yield of the first season	稻谷产量 Yield	每平方米穗数 Spike number per m ²	每穗粒数 Grain number per panicle	每平方米粒数 Total grain number per m ²	结实率 Seed setting rate	千粒重 1000-grain weight
头季齐穗期 Full heading stage of the first season	0.885 7*	0.933 4**	0.686 4	0.821 1*	0.921 5**	0.564 9	0.666 7
头季成熟期 Maturity stage of the first season	0.963 8**	0.985 1**	0.716 7	0.860 4*	0.941 1**	0.122 1	0.754 7
再生季齐穗期 Full heading stage of the ratoon season	—	0.950 4**	0.622 1	0.923 3**	0.958 4**	0.093 5	0.619 4
再生季成熟期 Maturity stage of the ratoon season	—	0.927 5**	0.873 9*	0.650 2	0.926 4**	0.185 2	0.547 8

关, 高留桩有利于头季根系活力的恢复与维持, 再生季根系机能主要以头季根系为主; 低留桩有利于再生根的发生, 留桩 10 cm 时, 再生根可占到总根量的 34.38%^[29], 再生根主要由低位再生苗产生; 随留桩高度的降低, 再生根根量及其占总根量的百分比增大, 而头季根根量减小, 说明新、老根系存在一定的互补和制约关系, 再生稻高产的前提是健壮的头季根系和一定数量新生根系的有效结合^[34]。

2 高留桩再生稻关键栽培技术及其生理生态特性研究

2.1 适时早播

头季稻适时早播、早栽, 才能保证再生稻的安全齐穗, 也是再生稻获得高产的措施之一。我们研究发现(表 3), 适当提早播种(调整到 3 月上旬), 一是能延长头季本田营养生长期, 增加头季和再生季

的积温、日照时数和太阳总辐射量, 从而增加干物质积累, 大幅度提高再生稻产量和光能利用率; 二可以避过“稻瘠蚊”(头季)^[35]和“秋寒”(再生季)的危害。由于我国各个地区海拔、纬度的不同导致各地光温差别较大, 因而, 播种时期也有所不同, 但总体上都采取头季稻尽量早播。关于播种日期的确定, 孙晓辉^[36]认为应以多年中有 50% 保证率的 10 d 平均气温稳定通过 23 °C 的终日作为再生稻安全齐穗期, 按头季收割至再生稻齐穗所需日数倒推, 确定头季稻收割期, 再按头季稻生育日数倒推确定头季稻播种适期, 播种适期内, 在保证头季安全播种期的情况下尽量早播, 才能达到头季和再生季高产稳产的目的。

2.2 畦栽沟灌, 二次烤田

头季稻根系的活性对再生稻休眠芽的萌发及再生苗的生长有重要影响。我们的研究表明(表 4):

表 3 头季稻不同播期对再生稻光能利用率的影响

Table 3 Light energy utilization rate of ratoon rice at different sowing dates of the first season

杂交组合 Hybridized combination	播期(月-日) Sowing date (month-day)	头季 First season					再生季 Ratoon season				
		太阳总辐射 Total solar radiation (MJ·m ⁻²)	稻谷产量 Rice yield (g·m ⁻²)	干物质 Dry matter accumulation (g·m ⁻²)	氧化热量 Combustion heat (MJ·m ⁻²)	光能利用率 Light utility efficiency [Eu(%)]	太阳总辐射 Total solar radiation (MJ·m ⁻²)	稻谷产量 Rice yield (g·m ⁻²)	干物质 Dry matter accumulation (g·m ⁻²)	氧化热量 Combustion heat (MJ·m ⁻²)	光能利用率 Light utility efficiency [Eu(%)]
汕优 63 Shanyou 63	03-05	2 008.6	783.0	1 474.3	23.11	1.15	921.2	416.3	630.8	9.89	1.07
	03-20	1 861.1	692.1	1 356.7	21.27	1.14	951.7	386.4	576.7	9.04	0.95
	04-05	1 754.4	639.6	1 211.0	18.98	1.08	944.7	374.8	559.4	8.77	0.93
	04-20	1 792.0	521.3	1 016.5	15.93	0.80	822.3	231.9	351.4	5.51	0.67
汕优明 86 Shanyou- ouming 86	03-05	2 008.6	842.8	1 611.0	25.25	1.26	921.2	429.0	650.0	10.19	1.07
	03-20	1 861.1	720.3	1 443.4	22.63	1.22	951.7	368.6	558.5	8.75	0.92
	04-05	1 754.4	667.2	1 337.5	20.97	1.20	944.7	351.9	525.2	8.23	0.87
	04-20	1 792.0	601.6	1 201.4	18.83	1.05	822.3	208.6	316.1	4.95	0.60

Eu(%)=干物质总量×干物质氧化热系数(0.015 675 MJ·g⁻¹)/太阳总辐射量×100。Eu(%) = dry matter accumulation × combustion heat coefficient of dry matter / total solar radiation × 100.

表 4 不同灌溉方式稻株的根部性状

Table 4 Root characters of plant rice under different irrigation method

生育期 Growth period	灌溉方式 Irrigation method	根系活力 Root activity (μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	伤流量 Wound flow (g·h ⁻¹)	单株发根数 Root number	单株发根力 Root growth ability (mm)
乳熟期 Milk stage	TSD+RTFI	83.333	0.509	110	9.54
	FI	69.097	0.463	99	8.00
	变化 Change (%)	20.60	9.94	11.11	19.25
成熟期 Maturity stage	TSD+RTFI	111.112	0.701	139	8.76
	FI	90.632	0.622	108	7.35
	变化 Change (%)	22.59	12.70	28.70	19.18

TSD: 二次烤田; RTFI: 畦栽沟灌; FI: 淹水灌溉; “变化”指 TSD+RTFI 相对于 FI 的变化。TSD: two soil drying (heavy drying at tillering stage and moderate drying at 25 days after full heading stage in the first season); RTFI: ridge transplanting and furrow irrigation; FI: flooding irrigation. “Change” is the change of TSD+RTFI compared to FI.

采用畦厢式栽培, 畦宽 1.8 m, 沟宽 30 cm, 深 15~20 cm, 头季稻进入灌浆期进行间歇式沟灌, 在头季稻茎蘖数达到预期穗数的 80% 时进行第 1 次烤田(晒至田边开 5 mm 细裂), 施完促芽肥至头季稻乳熟中期进行 2 次轻烤田(以脚踩不陷为宜), 通过这种畦栽沟灌、二次烤田的水管理, 达到以水调气, 增加土壤氧气含量, 土壤氧化还原电位相对提高了 45.2%, 减轻了土壤中还原性物质对根系的生理毒害, 保证头季稻后期根系不早衰, 使其活力提高了 20.6%~22.6%。可见, 畦栽沟灌、二次烤田是再生稻改善土壤通气性, 培育形态发达、机能高而持久的根系的有效途径^[37], 董小辉^[38]、范可珍^[39]也得出相似结果。

2.3 重施促芽肥

促芽肥是再生稻高产的关键措施之一, 促芽肥施用时间及用量对腋芽的萌发再生有直接的影响, 施用时间及用量恰当, 其再生力表现强, 再生率高, 反之就低^[40]。孙晓辉等^[41]认为, 在头季稻齐穗后 15~20 d 施促芽肥, 头季稻收割当天施用促芽肥, 可促进潜伏芽出苗, 提高再生稻的每穗粒数和粒重;

徐富贤等^[42-43]认为, 促芽肥对再生芽生长的作用从头季稻齐穗后 10 d 左右开始显现, 从头季稻齐穗至成熟, 促芽肥施用时期越早越有利于提高再生力, 以头季稻齐穗期施肥为佳; 但促芽肥过早施用可能会造成头季稻的贪青晚熟, 进而影响再生腋芽的萌发。关于促芽肥的施用量, 我们的研究表明: 再生季稻的氮素吸收积累动态呈 Logistic 曲线, 稻株吸氮量、干物质积累量和稻谷产量均与施氮量呈抛物线形相关; 在再生季产量构成因素中, 受促芽肥和促苗肥影响最大的因素是单位面积有效穗数, 并建立了再生季的干物质总积累量与促芽促苗氮肥施用量的回归方程($y=647.48+28.373 7x-0.493 9x^2$, $R=0.981 9^{**}$)和再生季稻谷产量与促芽促苗氮肥施用量的回归方程($y=465.26+12.396 0x-0.257 6x^2$, $R=0.956 6^{**}$)。促芽促苗氮肥有两方面作用, 一是增加稻桩干物质在头季成熟前的积累, 并在头季收割后源源输到再生分蘖; 二是扩大再生分蘖的叶面积, 提高净光合生产能力, 从而增加再生分蘖的干物质积累^[44]。因而, 在一定施氮量范围内, 促芽促苗肥施

用量与再生稻再生力呈极显著正相关^[45-46]。

2.4 适高留桩

留桩高度与休眠芽伸长萌发多少和生育期关系密切^[47]。蒋廷杰等^[48]观察了不同留桩高度下再生季产量表现, 得出如下结论: 高留桩蓄留再生稻时, 再生稻产量随留桩高度的降低而显著降低, 在再生季产量构成因素中, 千粒重与结实率随留桩高度的降低变化较小, 每穗总粒数与每穗实粒数随留桩高度的降低而增加, 有效穗数随留桩高度的降低而显著减少。这主要是由于当前高留桩再生稻的主栽品种均为籼稻, 而籼稻是高节位再生型水稻, 其优势再生节位为倒2、3节, 是构成再生稻有效穗的主体部分, 倒2、倒3节对有效穗和产量的平均贡献率在70%以上。适当的高留稻桩有3个好处: 一是再生稻容易再生, 不易受田间环境影响, 能保住全部可再生的节位, 促进再生芽多发和争取高位芽; 二是利用稻桩残茬营养; 三是能利用留下较多的叶片, 使其成为再生稻的功能叶^[49]。因而, 高留桩蓄留再生稻要高产, 必须根据各品种(组合)的特征, 适当提高留桩高度, 一般遵循“留二, 保三, 争四、五, 再加5~6 cm保护段”的原则进行适高留桩, 这样可完全留下倒2节腋芽, 对夺取再生稻高产极为有利。但高留桩也带来了一个生产难题, 即头季收割只能采取人工收割的方式, 导致生产成本增加, 成为制约高留桩蓄留再生稻大面积推广的瓶颈。

3 机收低留桩再生稻关键栽培技术及其生理生态特性研究

3.1 品种选择

机收头季稻通常采用低留桩来减少收割机对稻桩的碾压, 因而, 人工收割方式下的再生稻主栽品种就不适合于机收低留桩再生稻, 开展适合于机收再生稻品种的筛选, 是发展机收再生稻的关键。近年来, 育种家和农业科技工作者选育和筛选了多个具强低位芽再生力的杂交稻品种(组合)如‘嘉优99’、‘内优航148’、‘天优华占’、‘Y两优1号’等^[50-53], 这些品种(组合)多为早、中熟品种, 由于低留桩再生季生育期比高留桩相对延长15~25 d, 因而, 头季稻选择生育期适中的早、中熟品种才能保证再生季的安全齐穗。对低留桩再生季茎蘖结构的分析发现, 再生季的成穗主体以地上低位伸长节上的芽和地下分蘖节上的休眠芽萌发生长的再生分蘖为主, 其中地下分蘖节上休眠芽萌发生长的分蘖苗具有自生根系, 能发生2次分蘖, 营养供给充足, 在低留桩再生稻产

量构成中起重要作用^[53]。张初长^[53]认为倒5节负节比率与低留桩再生季产量呈正相关, 负节比率的高低由种性决定。因此, 可把负节比率作为低节位强再生力组合的重要筛选指标之一。

3.2 再生季施肥

再生稻由人工收割高桩改为机收低留桩, 再生季主体分蘖也由倒2、3节位分蘖变为倒4、倒5节位分蘖, 不同节位腋芽对头季收割后稻桩茎鞘储存物质的依赖性有所不同, 高节位腋芽对稻桩茎鞘储存物质的依赖性较低节位腋芽大^[29], 这预示着高留桩和低留桩蓄留再生稻时促芽肥的施用应有所不同。我们的研究^[37]认为, 促芽肥的主要作用在于延缓头季稻后期叶片衰老速度, 提高母茎后期净光合能力, 增加叶片当时的光合产物向头季稻穗部输入比例, 减少先前储藏于母茎鞘中光合产物向穗部输入量, 相对地提高了母茎鞘干物重而增强再生力, 徐富贤等^[45]也得出相似结果。因而, 低留桩蓄留再生稻时可不施促芽肥^[54-55]或少施作为保根肥起到恢复与维持头季根系活力的作用^[56]。头季稻机收后再生季氮肥的合理施用对机收低留桩再生稻高产有着重要作用, 而其首先要确定的是适宜施氮量及施氮方式。关于施氮量, 俞道标等^[57]建立了再生季产量与施氮量的回归方程: $Y=5\ 166.8+20.138\ 3X-0.051\ 7X^2$, 得出低留桩再生季平均每生产100 kg稻谷需施纯氮2.5 kg左右; 关于施氮方式, 俞道标等^[57]研究认为机收低留桩再生稻产量与单位面积穗数和每穗粒数均呈显著正相关, 与结实率和千粒重均无显著相关性, 增穗增粒是实现高产的主攻方向。因而, 在头季机收后采用早施促蘖肥(刈后3 d内)、中期分次施用穗肥和粒肥(刈后14 d、28 d)的方法, 能有效促进再生分蘖根芽萌发和穗粒发育, 产量提高显著。

3.3 留桩高度

留桩高度与成熟期有密切的联系, 合理的留桩高度是机收低留桩再生稻能否取得成功和高产的关键技术之一。刘正忠^[56]、刘秀斌等^[58]研究认为早熟品种宜采用10~15 cm的留桩高度, 中熟品种采用15~20 cm的留桩高度, 既能保留部分母茎腋芽, 又能利用基部分蘖芽, 使群体有效穗数、穗粒数、生育期处于较佳范围, 产量最高。留桩高度每降低10 cm, 再生稻齐穗期延长3~5 d, 在同一留桩高度下, 机割碾压区较非碾压区再生稻生育期延长7~20 d。因此, 留桩高度的确定应以确保再生稻安全齐穗为原则。

4 问题与展望

综上所述,再生稻的生产理论经过近几十年的研究积累已较为丰富,并形成了诸多实用性较强的栽培调控技术,并在全国适宜区推广取得较好的成效。总结起来,我们的研究工作主要分两个阶段,2000—2010年,针对高桩腋芽萌发率低、再生稻产量不稳的问题,开展了再生稻高产稳产形成的分子生态学研究,明确了头季后期根系衰老和稻桩营养供给不足是导致高桩腋芽萌发率低、产量不稳的主要原因;以“强根、壮秆”为主攻技术途径,创新集成了早育壮秧、畦栽沟灌、干湿交替、二次烤田技术,使头季稻后期根系活力提高 20.60%~22.59%,达到“强根”防衰老;通过头季前氮后移、再生季前重后轻施芽苗肥,使头季成熟期倒 2 至倒 5 节单茎干重分别提高 21.69%、55.47%、63.49%、91.53%,稻桩物质输出率从 29.1% 提高至 38.0%,增加 30.6%,实现“壮秆”促再生;形成了“四促二防一保”再生稻高产稳产栽培技术体系,创造了百亩示范片再生季最高单产 8.78~8.82 t·hm⁻²,平均单产 7.51~7.63 t·hm⁻²,比对照增产 28.5%,年单产达 18 t·hm⁻²。然而,全国再生稻种植面积波动较大,近年来还有下降趋势,究其原因,主要是目前较为成熟的高留桩蓄留再生稻头季只能采用人工收割,随着农村劳动力的转移,这种劳动强度大、效率低的收割方式,成为制约再生稻推广的主要障碍。因而,在我国目前农村劳动力短缺、农业生产成本不断上升的形势下,轻简化的机收低留桩再生稻是再生稻发展的方向。据此,近几年来,我们针对人力收割成本高、高桩机收碾压严重的共性问题,开展了机插机收再生稻高产高效栽培机理研究,明确了品种再生特性和头季后期根系衰老是机插机收腋芽萌发少、再生稻产量低的主要原因,提出以“品种筛选和保根促发”为主攻技术途径,筛选了具强低位芽再生力杂交稻‘嘉优 99’和常规稻‘佳辐占’等系列高优杂交组合和优良常规品种,通过头季稻后期适时施用“保根肥”,再生分蘖提高 14.19%~15.18%,增加产量 29.83%~44.72%;通过再生季“前促中攻后补”施肥技术,腋芽萌发成穗提高 18.21%,每穗粒数增加 6.87%,产量增加 26.67%,形成了机插机收再生稻“三保两促一攻”高产高效栽培技术体系,实现了常规稻千亩示范片最高单产 3.23 t·hm⁻²,平均单产 2.80 t·hm⁻²,杂交稻 500 亩示范片最高单产 4.65 t·hm⁻²,平均单产 4.48 t·hm⁻²,显著高于报道的全国机收再生稻平均单产。

机收低留桩再生稻一改传统高留桩蓄留再生稻

的弊端,解决了再生稻生产中劳动强度最大的人工收割问题,同时,也顺应了我国目前正在推行的通过农村土地流转开展规模化、集约化、现代化农业生产的发展趋势,有望使再生稻在保障我国粮食安全中的作用得以充分发挥。但目前机收低留桩再生稻还存在着产量水平不够高的问题,究其原因:一是适合机收低留桩再生稻的低位芽再生力强的水稻品种(组合)还不多;二是低位芽萌发机理和再生季根芽促发栽培技术的研究还不够,亟待进一步深化;三是头季稻机械收割对稻桩碾压破坏面积过大,降低了再生季的产量。因此,关于机收低留桩再生稻,应重点开展以下几个方面的研究:一是强低位芽再生力水稻品种的选育和筛选,尤其是具有熟期适宜、低位芽再生力强、感光性弱的重穗型杂交粳稻的选育和筛选;二是机收低留桩再生稻栽培理论与技术的研究,包括低留桩再生稻生育特性、再生根发生机制、头季根系活力恢复机理及水肥耦合调控理论与技术、化控技术等,其中头季收获后根系机能的保持以及总根量中再生根的占比对于机收低留桩再生稻的高产尤其重要,因而,再生稻根际生物学研究及调控技术将是未来机收低留桩再生稻高产栽培的重要研究方向;三是适宜低留桩蓄留再生稻的收割机械研制。

此外,作为颇具南方特色稻作制度的再生稻,在充分利用有限的光温资源提高单位面积稻田复种指数和总产的同时,我们发现:与“早稻+连晚”相比,再生稻可破坏二化螟等虫害和纹枯病等病害的适宜生存环境,从而减少农药用量,大大降低农业面源污染;也可降低稻米中重金属含量,结合我们发现的镉富集植物紫苏^[59]可用于中、轻度镉污染土壤的修复,可见,再生稻还具有降低稻田污染、保障稻米安全的重要生态功能,但目前关于再生稻在降低稻田污染、保障稻米安全方面的生态评价还较少。因此,开展再生稻生态补偿机制和作用的研究,通过大量的科学试验证明其在生态补偿方面的作用,可为再生稻补贴政策的制定提供依据,也有利于促进再生稻的推广,稳定和发展再生稻种植面积,从而充分发挥其在保障我国粮食安全中的重要作用。

参考文献

- [1] Ray D K, Foley J A. Increasing global crop harvest frequency: Recent trends and future directions[J]. *Environmental Research Letters*, 2013, 8(4): 44041-44050
- [2] 刘国华, 邓化冰, 陈立云, 等. 中稻头季稻与再生稻的品质比较研究[J]. *杂交水稻*, 2002, 17(1): 45-47

- Liu G H, Deng H B, Chen L Y, et al. Comparison of grain quality between main and ratooning crops of middle-season rice[J]. *Hybrid Rice*, 2002, 17(1): 45-47
- [3] 向昌国, 卓儒洞, 李文芳, 等. 两系杂交稻培矮 64S/E32 头季稻与再生稻米质比较[J]. *杂交水稻*, 2000, 15(3): 37
Xiang C G, Zhuo R D, Li W F, et al. Comparison of grain quality of two-line hybrid rice Pei'ai 64S/E32 between main and ratoon crop[J]. *Hybrid Rice*, 2000, 15(3): 37
- [4] 周文新. 不同类型再生稻生育特性及源库关系比较研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2006
Zhou W X. Comparative studies on growth characters and source-sink relationships of different types of ratooning rice[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2006
- [5] 蒋彭炎. 再生稻的生育特性与高产栽培要点[J]. *中国稻米*, 1996(6): 30-33
Jiang P Y. Growth characteristics and high yield culture methods of ratoon rice[J]. *China Rice*, 1996(6): 30-33
- [6] 晏月明, 王绪信, 邵启明, 等. 水稻亚种间杂交再生力特性的遗传[J]. *西南农业大学学报*, 1992, 14(6): 517-521
Yan Y M, Wang X X, Shao Q M, et al. Genetics of ratooning ability in inter-subspecies crosses of rice (*Oryza sativa* L.)[J]. *Journal of Southwest Agricultural University*, 1992, 14(6): 517-521
- [7] 郑景生, 李义珍, 林文雄. 应用 SSR 标记定位水稻再生力和再生产量及其构成的 QTL[J]. *分子植物育种*, 2004, 2(3): 342-347
Zheng J S, Li Y Z, Lin W X. Identification of QTL for ratooning ability and grain yield traits in ratoon rice based on SSR marker[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2004, 2(3): 342-347
- [8] 谭震波, 沈利爽, 袁祚廉, 等. 水稻再生能力和头季稻产量性状的 QTL 定位及其遗传效应分析[J]. *作物学报*, 1997, 23(3): 289-295
Tan Z B, Shen L S, Yuan Z L, et al. Identification of QTLs for ratooning ability and grain yield traits of rice and analysis of their genetic effects[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23(3): 289-295
- [9] 杨川航, 王玉平, 涂斌, 等. 利用 RIL 群体对水稻再生力及相关农艺性状的 QTL 分析[J]. *作物学报*, 2012, 38(7): 1240-1246
Yang C H, Wang Y P, Tu B, et al. QTL analysis of rice ratooning ability and related agronomic traits by using RIL populations[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(7): 1240-1246
- [10] HhillerisLambers D. Varietal improvement for rice ratooning: Traits, procedures, collaboxation rice rationing[J]. *Rice Ratooning*, 1988, 8: 247-255
- [11] 任天举, 蒋志成, 王培华, 等. 杂交中稻再生力与头季稻农艺性状的相关性研究[J]. *作物学报*, 2006, 32(4): 613-617
Ren T J, Jiang Z C, Wang P H, et al. Correlation of ratooning ability with its main crop agronomic traits in midseason hybrid rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(4): 613-617
- [12] 刘永胜, 周开达, 曾日勇, 等. 水稻亚种间杂种的再生力及其与头季稻农艺性状的相关性[J]. *中国水稻科学*, 1992, 6(4): 151-154
Liu Y S, Zhou K D, Zeng R Y, et al. Evaluation for rice ratooning ability of intersubspecific hybrid and its relation to agronomic characters of mother plant[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 1992, 6(4): 151-154
- [13] 易镇邪, 王学华, 陈平平, 等. 不同再生类型杂交稻腋芽在母体与离体条件下的再生特性差异[J]. *杂交水稻*, 2008, 23(5): 73-76
Yi Z X, Wang X H, Chen P P, et al. Differences in ratooning characteristics of axillary buds of hybrid rice with different ratooning types between in vivo and in vitro[J]. *Hybrid Rice*, 2008, 23(5): 73-76
- [14] 陈金铨, 刘志兵, 李义珍, 等. 多年生粳稻留桩高度研究[J]. *福建稻麦科技*, 1996, 14(4): 22-24
Chen J Q, Liu Z B, Li Y Z, et al. Analysis on the stubble height of perennial rice[J]. *Fujian Science and Technology of Rice and Wheat*, 1996, 14(4): 22-24
- [15] 蔡亚港, 黄育民, 李义珍. 再生稻产量形成过程稻桩的形态生理学效应[J]. *福建农业学报*, 1998, 13(4): 7-11
Cai Y G, Huang Y M, Li Y Z. Morpho-physiological effect of stubble in grain yield formation course of ratoon rice[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 1998, 13(4): 7-11
- [16] 袁继超, 孙晓辉. 留桩节位与母叶对再生稻生长发育的影响[J]. *四川农业大学学报*, 1996, 14(4): 523-528
Yuan J C, Sun X H. Effect of cutting node and leaves retained on the mother stem on rice ratooning[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 1996, 14(4): 523-528
- [17] 张桂莲, 屠乃美. 再生稻研究现状与展望[J]. *作物研究*, 2001, 15(3): 64-69
Zhang G L, Tu N M. Status and prospects of studies on regenerating rice[J]. *Crop Research*, 2001, 15(3): 64-69
- [18] 郑景生. 再生稻高产栽培特性与相关性状的基因定位研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2004
Zheng J S. The characteristics of high-yielding cultivation and gene mapping for related traits of ratoon rice (*Oryza sativa* L.)[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2004
- [19] 唐文帮, 陈立云, 肖应辉, 等. 再生稻某些性状与产量及产量构成因子的关系[J]. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2002, 28(1): 1-3
Tang W B, Chen L Y, Xiao Y H, et al. Relationships among yield, yield components and some features of ratooning rice[J]. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences*, 2002, 28(1): 1-3
- [20] 施能浦. 福建杂交中稻——再生稻亩产吨粮栽培技术[J]. *再生稻*, 1997(1): 1-6
Shi N P. Fujian hybrid mid rice — The cultivation methods of one-ton-grain-per-Mu in ratoon rice[J]. *Ratooning Rice*, 1997(1): 1-6
- [21] 郑常敏. 再生稻生长发育及产量构成特点初探[J]. *中国稻米*, 1996(4): 11-12
Zheng C M. Preliminary studies on the growth and yield components of ratoon rice[J]. *China Rice*, 1996(4): 11-12
- [22] 胡慧英, 赵式英. 再生稻与主作性状相关性的研究[J]. *江西农业科学*, 1987(7): 3-5
Hu H Y, Zhao S Y. Correlation analysis of main characters of

- ratoon rice[J]. Jiangxi Agricultural Science & Technology, 1987(7): 3-5
- [23] 熊洪. 杂交稻蓄留再生稻的增产技术分析[J]. 杂交水稻, 1996(5): 22-24
Xiong H. Analysis of yield-increasing techniques of ratoon hybrid rice[J]. Hybrid Rice, 1996(5): 22-24
- [24] 任昌福. 杂交稻蓄留再生稻产量构成因素的相关分析[J]. 西南农业大学学报, 1982(2): 10-15
Ren C F. Correlation analysis of yield components of ratoon rice[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 1982(2): 10-15
- [25] 叶春萼, 姜苏民, 黄祖祥, 等. 密植度对再生稻产量的影响[J]. 浙江农业学报, 1999, 11(4): 215-216
Ye C E, Jiang S M, Huang Z X, et al. Effect of plant density on ratooning rice yield[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 1999, 11(4): 215-216
- [26] 李义珍, 黄育民. 再生稻丰产栽培技术研究. 水稻再生穗规律[J]. 福建稻麦科技, 1990(1): 25-28
Li Y Z, Huang Y M. High-yield cultivation technique of ratoon rice. II. The rule of ear bearing of ratoon rice[J]. Fujian Science and Technology of Rice and Wheat, 1990(1): 25-28
- [27] 姜照伟. 再生稻的 N 素吸收特性及增产效应的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2002
Jiang Z W. The characteristics of nitrogen absorption and its effect on grain yield in ratoon rice[J]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2002
- [28] 秦鹏, 屠乃美. 再生稻源库特性研究现状与展望[J]. 作物研究, 2004(5): 329-333
Qin P, Tu N M. Research and prospect of the characteristics of source and sink in ratoon rice[J]. Crop Research, 2004(5): 329-333
- [29] 易镇邪. 杂交稻不同节位再生稻源库关系研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2003
Yi Z X. Studies on source-sink relation of rationing rice from different nodes of hybrid rice[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2003
- [30] 余伟秀, 黄友钦. 头季稻株营养物质与再生稻生育的关系[J]. 杂交水稻, 1994(1): 15-18
Yu W X, Huang Y Q. The relation between the nutritive substances of main crop plants and the growth of ratooning crop in rice[J]. Hybrid Rice, 1994(1): 15-18
- [31] 郑景生, 林文, 卓传营, 等. 再生稻根干物质质量及根系活力与产量的相关性研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(4): 106-109
Zheng J S, Lin W, Zhuo C Y, et al. The correlation of dry biomass and activity of root system with grain yield in ratoon rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2004, 12(4): 106-109
- [32] 苏祖芳, 张洪程, 侯康平, 等. 再生稻的生育特性及高产栽培技术研究[J]. 江苏农学院学报, 1990, 11(1): 15-21
Su Z F, Zhang H C, Hou K P, et al. Studies on development characters and cultural technology for high yield in regeneration rice[J]. Journal of Jiangsu Agricultural College, 1990, 11(1): 15-21
- [33] 刘贵富, 王学栋, 吴跃进. 再生稻根系栽培生理初探[J]. 安徽农业科学, 1990(2): 105-109
Liu G F, Wang X D, Wu Y J. Preliminary studies on the cultivation physiology of ratoon rice root[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 1990(2): 105-109
- [34] 林文, 李义珍, 姜照伟, 等. 再生稻根系形态和机能的品种间差异及与产量的关联性[J]. 福建农业学报, 2001, 16(1): 1-4
Lin W, Li Y Z, Jiang Z W, et al. Morphologic and functional difference of root systems among ratooning rice varieties and its correlation with yield[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2001, 16(1): 1-4
- [35] 赵士熙, 严叔平, 张冬松, 等. 再生稻控制稻瘿蚊机理的研究[J]. 武夷科学, 2002, 18: 178-184
Zhao S X, Yan S P, Zhang D S, et al. Study on the control mechanism of paddy against *Orseolia oryzae*[J]. Wuyi Science Journal, 2002, 18: 178-184
- [36] 孙晓辉. 中国的再生稻研究(综述)[J]. 四川农业大学学报, 1995, 13(4): 506-517
Sun X H. The studies on ratooning rice in China[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 1995, 13(4): 506-517
- [37] 陈鸿飞. 再生稻高产稳产形成的生理生态特性及比较蛋白组学分析[D]. 福州: 福建农林大学, 2009
Chen H F. Analysis of ecophysiological characteristics and its comparative proteomics of high and stable yield formation in ratoon rice[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009
- [38] 童小辉. D297 优明 86 作再生稻高产栽培技术[J]. 福建稻麦科技, 2011, 29(3): 35-36
Tong X H. High-yielding cultivation techniques for hybrid rice combination D297 Youming86 as ratoon rice[J]. Fujian Science and Technology of Rice and Wheat, 2011, 29(3): 35-36
- [39] 范可珍. 天优 3301 作再生稻高产栽培技术[J]. 福建稻麦科技, 2012, 30(2): 30-32
Fan K Z. High yielding cultivation techniques of "Tianyou 3301" as ratoon rice[J]. Fujian Science and Technology of Rice and Wheat, 2012, 30(2): 30-32
- [40] 丁彦, 周清明. 水稻再生力利用研究及展望[J]. 湖南农业科学, 2005(2): 11-14
Ding Y, Zhou Q M. Research on the utilization of regrowth vigour of rice[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2005(2): 11-14
- [41] 孙晓辉, 田彦华, 任天举. 促芽肥对杂交稻培育再生稻效果研究[J]. 四川农业科技, 1982(3): 1-4
Sun X H, Tian Y H, Ren T J. Study on the effect of fertilizer application for bud development on the ratooning ability in hybrid rice[J]. Science and technology of Sichuan Agriculture, 1982(3): 1-4
- [42] 徐富贤, 熊洪, 洪松. 杂交中稻抽穗后再生芽生长与头季稻茎鞘物质积累的关系[J]. 中国水稻科学, 1997, 11(3): 160-164
Xu F X, Xiong H, Hong S. Relation between axillary bud growth and matter accumulation of stem-sheath after heading of main crop in hybrid rice[J]. Chinese Journal of Rice Science, 1997, 11(3): 160-164

- [43] 徐富贤, 熊洪, 洪松. 促芽肥施用时期对杂交中稻再生力的影响[J]. 四川农业大学学报, 2001, 19(1): 21-23
Xu F X, Xiong H, Hong S. Effect of N application for bud development at different days after full heading of main crop on the ratooning ability in hybrid mid-rice[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2001, 19(1): 21-23
- [44] 姜照伟, 林文雄, 李义珍, 等. 不同氮肥施用量对再生稻若干生理特性的影响[J]. 福建农业学报, 2005, 20(3): 168-171
Jiang Z W, Lin W X, Li Y Z, et al. Effects of nitrogen fertilizer rates on some physiological characteristics of ratoon rice[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2005, 20(3): 168-171
- [45] 徐富贤, 洪松, 熊洪. 促芽肥与杂交中稻再生力关系及其作用机理[J]. 作物学报, 1997, 23(3): 311-317
Xu F X, Hong S, Xiong H. Relation between N applying for bud development and ratooning ability and it's mechanism in hybrid rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 1997, 23(3): 311-317
- [46] 徐富贤, 方文, 熊洪, 等. 施氮与杂交中稻再生力关系研究[J]. 杂交水稻, 1993(4): 25-28
Xu F X, Fang W, Xiong H, et al. A study on relationship between N application and ratooning ability of medium hybrid rice[J]. Hybrid Rice, 1993(4): 25-28
- [47] 熊洪, 冉茂林, 徐富贤, 等. 南方稻区再生稻研究进展及发展[J]. 作物学报, 2000, 26(3): 297-304
Xiong H, Ran M L, Xu F X, et al. Achievements and developments of ratooning rice in south of China[J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26(3): 297-304
- [48] 蒋廷杰, 易镇邪, 屠乃美. 留桩高度对培矮 64S/E32 再生特性的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 31(4): 359-363
Jiang T J, Yi Z X, Tu N M. Effect of stubble height on ratooning properties of Pei'ai64S/E32[J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2005, 31(4): 359-363
- [49] 周红英. 再生稻轻简化高产栽培技术及其生理机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012
Zhou H Y. Studies on simplified high-yielding cultivation technology and physiological mechanism of ratoon rice[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012
- [50] 刘正忠, 刘秀斌, 罗美玉. 中稻-再生稻适宜机收品种筛选试验初报[J]. 种子世界, 2014(9): 27-29
Liu Z Z, Liu X B, Luo M Y. Primary trial report on screening suitable varieties of the machinery-harvested middle season rice -ratoon rice[J]. Seed World, 2014(9): 27-29
- [51] 刘秀斌, 刘正忠, 黄玉蕊. 杂交新组合再生稻比较试验初报[J]. 农业科技通讯, 2013(12): 78-81
Liu X B, Liu Z Z, Huang Y R. Primary trial report on the comparison of the new combinations of hybrid ratoon rices[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2013(12): 78-81
- [52] 蔡光璟. 优质稻品种低留桩再生力筛选[J]. 福建农业科技, 2013(8): 1-4
Cai G J. Screening of regenerative capacity of ratoon high-quality rice under low stubble condition[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2013(8): 1-4
- [53] 张初长. 杂交稻组合低留桩再生力筛选试验[J]. 福建农业科技, 2013(5): 1-7
Zhang C C. Screening test to node regeneration capacity of low-stubbles of hybrid rice stalks[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2013(5): 1-7
- [54] 黄水明. 机收低桩再生稻栽培技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010
Huang S M. Study on low pile ratooning rice cultivation techniques[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010
- [55] 刘勇涛. 低桩再生稻促芽肥施用方法及低桩机割对再生季产量的影响[J]. 福建稻麦科技, 2013, 31(2): 7-10
Liu Y T. Study on application method of bud fertilizer and influence on yield for you 5928 as low stubble and machine harvesting[J]. Fujian Science and Technology of Rice and Wheat, 2013, 31(2): 7-10
- [56] 刘正忠. 再生稻头季机收关键技术分析[J]. 农业科技通讯, 2013(4): 118-120
Liu Z Z. Analysis on the machinery-harvested technique of ratoon rice at the first cropping season[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2013(4): 118-120
- [57] 俞道标, 张燕, 赵雅静, 等. 低桩机割再生稻氮肥施用技术研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(36): 210-214
Yu D B, Zhang Y, Zhao Y J, et al. Nitrogen application technique of ratoon rice with machine harvest in low cutting[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(36): 210-214
- [58] 刘秀斌, 刘正忠, 罗美玉. 再生稻头季机收留桩高度试验初报[J]. 福建农业科技, 2014(5): 13-15
Liu X B, Liu Z Z, Luo M Y. Primary trial report on machinery-harvested stubble height of ratoon rice at the first cropping season[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2014(5): 13-15
- [59] 刘杰. 紫苏耐镉胁迫的生理响应及其土壤重金属镉修复潜力评价[D]. 福州: 福建农林大学, 2012
Liu J. Physiological response in *Perilla frutescens* under cadmium stress condition and evaluation of phytoremediation potentials on soil cadmium pollution[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012