



缓控释肥组配对长江上游早熟杂交籼稻再生稻 产量和物质积累的影响

张巫军¹,段秀建¹,杭晓宁¹,唐明瑜²,姚 雄¹,唐永群¹,
刘强明¹,文 明¹,肖人鹏¹,张现伟¹,李经勇¹

(1.重庆市农业科学院/重庆再生稻研究中心,重庆 400000;2.四川台沃种业有限责任公司,四川绵阳 621000)

摘 要 旨在研究长江上游再生稻区头季稻缓控释肥优化方案对早熟杂交籼稻头季稻和再生稻物质积累及产量的调控效应。以早熟杂交籼稻‘广8优粤禾丝苗’为材料,头季稻机插开展试验,设置6个施肥处理,分别为4个月树脂包膜尿素一次性基施处理(B-PCU)、缓释掺混肥一次性基施处理(B-SRFB)、4个月树脂包膜尿素一基一蘖处理(BT-PCU)、缓释掺混肥一基一蘖处理(BT-SRFB)、当地常规施氮处理(CF)和全生育期不施氮肥对照处理(CK)。结果表明,较CF处理,4个月树脂包膜尿素头季稻产量降低,再生稻产量增加,差异不显著;缓释掺混肥增加头季稻和再生稻产量,再生季产量差异达显著水平,主要归因于有效穗明显增加,提高库容水平,一基一蘖处理>一次性基施处理。较CF处理,不同缓控释肥处理均降低头季稻花前的物质积累,但不同缓控释肥一基一蘖处理明显增加成熟期物质积累,归因于花后作物生长速率显著增加;再生季,不同施肥处理再生力相当,缓释掺混肥处理叶面积指数显著高于CF和4个月树脂尿素,再生季作物生长速率明显增加,进而提高成熟期物质积累,其中,缓释掺混肥一基一蘖处理最高。说明长江上游早熟杂交籼稻‘广8优粤禾丝苗’在中稻-再生稻种植模式中,头季稻采用缓释掺混肥组配尿素的施肥方式有利于中稻-再生稻群体光合产物积累和产量增加。

关键词 再生稻;缓控释肥;产量;物质积累

中图分类号 S511

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2021)01-0074-09

再生稻是头季水稻收获后,通过一定的栽培管理措施使稻桩上的休眠芽萌发,并生长成穗,形成一季可收获的水稻。再生稻主要分布在中国单季稻热量有余而双季稻热量不足的南方稻区,是一种提高水稻复种指数,增加水稻单产和提高种植效益的重要技术措施^[1-3]。根据测算,中国南方可蓄留再生稻的稻田面积达330万hm²,主要包括华南、华东、苏皖、华中和西南地区^[2]。随着农业生产水平的发展,再生稻在中国南方稻区粮食安全方面发挥着越来越重要的作用,近年来,随着湖北和湖南再生稻的大面积推广,全国再生稻总产水平不断增加^[4-5]。

再生稻产量形成与头季稻的生长发育特征密切相关。从库、源的角度分析,再生稻产量与头季稻分蘖力、有效穗、穗粒数和叶粒比有显著的相关

关系^[6-7]。头季稻生育后期冠层绿叶面积、成熟期单茎鞘干质量和有效穗数是衡量杂交中稻再生力的重要指标^[8]。徐富贤等^[2]认为,头季稻齐穗期施用粒芽肥可有效延长头季稻生育后期叶片功能期,增加成熟期单茎鞘干物质质量和再生芽萌发数,从而增加再生稻产量。前人还从播种期^[9]、留桩高度^[10]、栽培方式^[11]等方面揭示再生稻高产形成的栽培途径。研究表明,在头季稻齐穗期施用促芽肥(尿素)0~225.0 kg/hm²,促芽肥用量与头季稻刈割时期活芽率、再生稻有效穗、每穗粒数、结实率及产量呈显著或极显著正相关关系,促芽肥最佳用量为112.5~225.0 kg/hm²^[3,12]。也有学者指出,须将杂交中稻-再生稻作为一个整体,采用统筹的栽培管理方案,特别是在肥料管理方面,进一步挖掘再生稻生产潜力^[9]。选择强再

收稿日期:2020-03-10 修回日期:2020-08-31

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0300105,2016YFD0300508,2016YFD0300907)。

第一作者:张巫军,男,博士,助理研究员,主要从事水稻生理生态及轻简栽培技术研究。E-mail:zhangwj881125@163.com

通信作者:李经勇,男,研究员,主要从事水稻栽培与遗传育种研究。E-mail:869515984@qq.com

生力的水稻品种是再生稻高产的重要前提。中国南方稻区,经育种家多年努力,育成的早熟型杂交水稻组合,其生育期短,千粒质量在 20~23 g,稻米垩白度和整精米率显著提高,表现出较高的耐高温特性^[13]。前人研究已分析了这类品种作为单季稻的栽培方案,然而,早熟型杂交水稻蓄留再生稻种植,其产量形成及物质积累特性仍鲜见报道^[14]。

地处长江上游的重庆地区,是中国传统的再生稻种植区。农民习惯的“一道清”施氮方式往往因头季稻生育前期的需氮量不高,造成氮素资源的淋溶损失和环境面源污染。缓控释肥组配的施肥方式满足水稻群体的需氮规律,显著提升群体光合物质生成和产量水平,目前,缓控组配施肥方式主要集中在单季稻方面^[15],关于缓控组配施肥对再生稻物质生产和产量的报道仍然较少。本研究以早熟水稻品种‘广8优粤禾丝苗’为材料,探讨在机插种植条件下不同种类缓控释肥及组配方式对早熟杂交水稻中稻一再再生稻物质生产及产量形成的影响,为长江上游再生稻安全生产提供理论和实践依据。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

试验于重庆市永川区卫星湖街道华南村(东经 105.71°、北纬 29.75°、海拔 297 m)进行,供试品种为早熟型杂交水稻品种‘广8优粤禾丝苗’(G8YYHSM)。参试土壤为紫色土,耕层土壤理化性状如下:pH 5.6,有机质 22.3 g/kg,全氮 1.31 g/kg,碱解氮 119.0 mg/kg,速效磷 25 mg/kg,速效钾 74.7 mg/kg。

2018年3月至10月,试验于头季稻设置6

个肥料处理,包括缓释掺混肥一次性基施处理(B-SRFB)、4个月树脂包膜尿素一次性基施处理(B-PCU)、缓释掺混肥一基一药处理(BT-SRFB)、4个月树脂包膜尿素一基一药处理(BT-PCU)、当地常规施氮处理(CF)和全生育期不施氮肥对照处理(CK)。头季稻各施氮处理施纯氮量均为 135 kg/hm²,氮(N):磷(P₂O₅):钾(K₂O)=1:0.5:0.8,头季稻各处理施用磷肥(P₂O₅)均为 67.5 kg/hm²,施用钾肥(K₂O)均为 108 kg/hm²,磷肥和钾肥作基肥于移栽前1天一次性施入土壤,其中,CF处理、B-SRFB处理和BT-SRFB处理中磷、钾不足的部分用过磷酸钙和氯化钾定量施足。再生季施氮处理纯氮量均为 135 kg/hm²,分头季稻齐穗期作粒芽肥和头季稻收获后3d作发苗肥施用。供试肥料为4个月树脂尿素[PCU,ω(N)=46%]、缓释掺混肥(SRFB,N:P:K=24:8:10)、复合肥(N:P:K=24:12:12)、过磷酸钙、2个月树脂钾肥、尿素,试验处理见表1。

试验小区面积 5 m×9 m=45 m²,栽插行株距为 30 cm×18 cm,每穴栽插 2 棵种子苗,3 次田间重复,共计 18 个小区,移栽方式为机插。采用塑料硬盘稀泥育秧方法培育机插秧苗,播种量为每盘 70 g 干谷,用种量为 15.75 kg/hm²,每公顷用秧盘数为 225。3 月 15 日播种,4 月 18 日移栽,秧龄 34 d,叶龄为 4 叶 1 心时移栽。头季稻基肥于移栽前 1 d 施入,分蘖肥于移栽后 7 d 施入,再生稻促芽肥于头季稻齐穗期施入,发苗肥于头季稻收获后 3 d 施入。8 月 3 日,收获头季稻;10 月 5 日收获再生稻。小区采用塑膜包埂以防串肥,水浆管理及病虫草害防除措施统一按照当地高产栽培要求实施,以防止产量损失。

表 1 ‘广8优粤和丝苗’头季稻和再生稻不同施肥处理

Table 1 Different nitrogen application treatments for G8YYHSM in first season and ratoon season kg/hm²

处理 Treatment	头季稻 First season		再生稻 Ratoon season		总氮 Total N
	基肥 Basal N	分蘖肥 Tiller N	促芽肥 Promoting bud N	发苗肥 Promoting seedling N	
CK	0	0	0	0	0
CF	94.5(复合肥 24-12-12)(Compound fertilizer)	40.5	105	30	270
BT-PCU	94.5(4个月树脂尿素)(Polymer-coated urea)	40.5	105	30	270
BT-SRFB	94.5(缓释掺混肥)(Slow-release fertilizer blend)	40.5	105	30	270
B-PCU	135(4个月树脂尿素)(Polymer-coated urea)	0	105	30	270
B-SRFB	135(缓释掺混肥)(Slow-release fertilizer blend)	0	105	30	270

1.2 测定指标及方法

1.2.1 产量及其构成要素 分别于头季稻和再生稻成熟期,普查有效穗数,每小区普查有效穗 80 穴,按照每穴平均有效穗数取代表性植株 5 穴,剪下穗子装入信封,以备考种。考种的主要指标包括每穗粒数、空瘪粒数和千粒质量。头季稻和再生稻各小区实收计产,按 13.5% 的籽粒含水量折算单产^[16]。

1.2.2 干物质积累 分别在头季稻抽穗期和成熟期,再生季抽穗期和成熟期,按每小区茎蘖数的平均数取代表性植株 3 穴,头季稻按茎、叶和穗器官分样,再生稻按稻桩、茎、叶和穗器官分样,并装袋。将分好的植株样品于 105 °C 杀青 30 min, 80 °C 烘干至恒量,分别测定头季稻抽穗期和成熟期以及再生稻抽穗期和成熟期的干物质积累。并计算作物生长速率 $[CGR, g/(m^2 \cdot d)]$,即单位时间内单位土地面积上作物群体干物质的积累量,计算公式为: $CGR = (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)$,其中 T_1 和 T_2 分别为前后 2 次测定的生育进程(d), W_1 和 W_2 分别为前后 2 次测定的干物质质量^[16]。

1.2.3 叶面积指数 分别于头季稻和再生稻抽穗期,取样品绿色叶片,用 LI-3000 自动叶面积仪测量叶面积,采用比叶重法^[17]测定水稻群体叶面积指数。

1.2.4 再生力 头季稻收获后 15 d,每小区定点调查 10 穴再生季的最高苗数^[7],同时调查该 10 穴的母茎数(是指头季稻收获后,每穴稻桩的单茎称之为母茎),从而计算单茎再生苗数。

再生力 = 再生季最高苗数(头季稻收获后 15 d)总再生苗数/母茎总数。

1.3 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件和 Excel 2010 软件分析和整理数据。不同处理间产量及其构成要素、干物质积累、作物生长速率和再生力指标的方差分析采用 Duncan's 法,显著性水平设定为 $P = 0.05$ 水平。

2 结果与分析

2.1 头季稻产量

由表 2 可知,较 CK 处理,不同施肥处理显著增加‘广 8 优粤禾丝苗’头季稻有效穗和穗粒数,使产量增加。不同施肥处理间,头季稻产量差异均未达到显著水平。较 CF 处理,4 个月树脂尿素(B-PCU、BT-PCU)降低头季稻产量,而缓释掺混肥(B-SRFB、BT-SRFB)增加头季稻产量。“一基一蘖”施肥处理头季稻产量均大于对应的“一次性基施”处理。其中,BT-SRFB 处理头季稻产量最高为 8.9 t/hm²,较 B-SRFB 处理提高 8.5%,这主要归因于每穗粒数、颖花数和结实率的增加。

表 2 不同施肥处理‘广 8 优粤禾丝苗’头季稻产量和产量构成

Table 2 Grain yield and yield components in first season for G8YYHSM under different nitrogen application treatments

处理 Treatment	有效穗 ($\times 10^4$)/hm ⁻² Panicles	穗粒数 Spikelets per panicle	颖花数 ($\times 10^7$)/hm ⁻² Spikelets	结实率/% Seed- steering	千粒质量/g 1 000-grain mass	产量/ (t/hm ²) Yield
CK	225.9 c	173.8 c	39.3 b	82.9 a	20.8 a	6.8 b
CF	268.6 ab	183.0 abc	49.1 a	79.9 a	20.6 a	8.1 ab
B-PCU	260.3 b	197.4 a	51.4 a	76.9 a	19.8 a	7.8 ab
B-SRFB	281.9 a	180.3 ab	50.7 a	80.1 a	20.3 a	8.2 a
BT-PCU	273.2 ab	180.1 ab	49.2 a	80.2 a	20.1 a	7.9 ab
BT-SRFB	276.0 ab	196.1 ab	54.2 a	82.2 a	20.1 a	8.9 a

注:同列后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters within the same columns indicate significant difference at the 0.05 level.

2.2 再生稻产量

由表 3 可知,较 CK 处理,不同施肥处理显著增加‘广 8 优粤禾丝苗’再生稻有效穗,使得库容水平显著提高,进而导致产量显著增加。不同施肥处理间,再生稻产量差异达显著水平。较 CF 处理,4 个月树脂尿素(B-PCU、BT-PCU)和缓释掺混肥(B-SRFB、BT-SRFB)提高再生稻产量,其

中,缓释掺混肥(B-SRFB、BT-SRFB)产量平均增加 28.9%,差异达到显著水平。“一基一蘖”施肥处理再生稻产量均大于对应的“一次性基施”处理。BT-SRFB 处理再生稻产量较 B-SRFB 处理增加 4.0%,BT-PCU 处理再生稻产量较 B-PCU 处理增加 4.5%,差异不显著。

表 3 不同施肥处理‘广 8 优粤禾丝苗’再生稻产量和产量构成
Table 3 Grain yield and yield components in ratoon season for G8YYHSM
under different nitrogen application treatments

处理 Treatment	有效穗 ($\times 10^4$)/ hm^{-2} Panicles	穗粒数 Spikelets per panicle	颖花数 ($\times 10^7$)/ hm^{-2} Spikelets	结实率/% Seed- steering	千粒质量/g 1 000-grain mass	产量/(t/hm^2) Yield
CK	244.2 c	64.7 a	15.7 c	55.0 a	17.8 a	1.5 c
CF	343.8 b	69.5 a	23.9 b	47.3 a	17.2 ab	1.9 b
B-PCU	347.2 b	68.7 a	23.8 b	53.4 a	17.3 ab	2.2 ab
B-SRFB	436.2 a	70.9 a	30.9 a	47.5 a	16.9 b	2.5 a
BT-PCU	367.4 b	69.0 a	25.3 b	52.6 a	17.4 ab	2.3 ab
BT-SRFB	410.0 a	73.7 a	30.2 a	49.3 a	17.2 ab	2.6 a

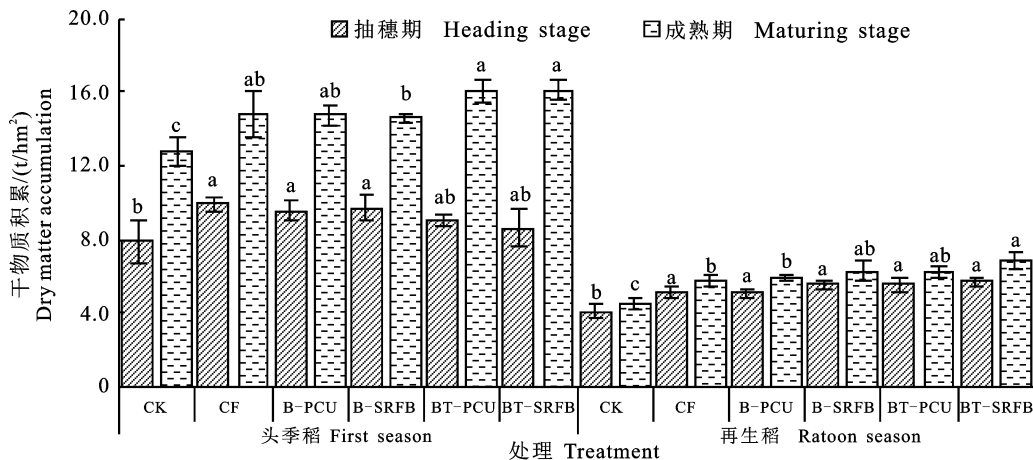
注:同一列后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters within the same columns indicate significant difference at the 0.05 level.

2.3 干物质积累

由图 1 可知,较 CK 处理,不同施肥处理显著增加‘广 8 优粤禾丝苗’头季稻和再生稻不同生育期的物质积累。不同施肥处理间,头季稻中,CF 处理与 4 个月树脂尿素(B-PCU、BT-PCU)和缓释掺混肥(B-SRFB、BT-SRFB)抽穗期和成熟期干物质积累差异均未达显著水平。“一基一蘖”施肥处理头季稻成熟期干物质积累均大于对应的“一次性基施”处理,其中,BT-SRFB 处理与

B-SRFB 处理差异达到显著水平。再生季,较 CF 处理,4 个月树脂尿素(B-PCU、BT-PCU)和缓释掺混肥(B-SRFB、BT-SRFB)增加了抽穗期和成熟期的物质积累,均以缓释掺混肥增幅较大,且成熟期 BT-SRFB 处理增加达到显著水平。“一基一蘖”施肥处理再生稻抽穗期和成熟期干物质积累均大于对应的“一次性基施”处理,差异未达到显著水平。



不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,下同

Different lowercase indicate significant difference at the 0.05 level, the same below

图 1 不同施肥处理‘广 8 优粤禾丝苗’头季稻和再生稻干物质积累
Fig. 1 Dry matter accumulation in first season and ratoon season for
G8YYHSM under different nitrogen application treatments

由表 4 可知,较 CK 处理,不同施肥处理显著增加‘广 8 优粤禾丝苗’头季稻和再生稻全生育期的作物生长速率(表 4)。不同施肥处理间,头季稻,较 CF 处理,4 个月树脂尿素(B-PCU、BT-PCU)和缓释掺混肥(B-SRFB、BT-SRFB)降低播种—抽穗期作物生长速率,仅 4 个月树脂尿素和

缓释掺混肥“一基一蘖”处理显著增加抽穗期—成熟期的作物生长速率,差异达显著水平。“一基一蘖”施肥处理头季稻抽穗期—成熟期作物生长速率均显著大于对应的“一次性基施”处理,这是“一基一蘖”施肥处理播种—成熟期作物生长速率较“一次性基施”处理有所增加的原因。再生季,较

CF 处理,4 个月树脂尿素(B-PCU)降低头季收获期—抽穗期的作物生长速率,差异不显著,缓释掺混肥(B-SRFB、BT-SRFB)却表现为增加趋势。较 CF 处理,4 个月树脂尿素(B-PCU、BT-PCU)和缓释掺混肥(B-SRFB、BT-SRFB)均增加抽穗—成熟的作物生长速率,其中 B-SRFB 处理增

加幅度达到显著水平。“一基一蘖”施肥处理再生稻抽穗期—成熟期作物生长速率均小于对应的“一次性基施”处理。头季收获—成熟期的作物生长速率,以 B-SRFB 处理最高,显著高于 CF 处理,其他施肥处理之间无显著差异。

表 4 不同施肥处理‘广 8 优粤禾丝苗’头季稻和再生稻作物生长速率

Table 4 Crop growth rate in first season and ratoon season for G8YHSM under different nitrogen application treatments

处理 Treatment	头季稻 First season			再生稻 Ratoon season		
	播种—抽穗 SS-HS	抽穗—成熟 HS-MS	播种—成熟 SS-MS	头季收获—抽穗 HSF-HS	抽穗—成熟 HS-MS	头季收获—成熟 HSF-MS
CK	7.08 b	17.05 b	9.15 c	8.28 c	1.09 c	3.88 c
CF	8.93 a	18.91 b	11.00 ab	12.96 ab	1.47 bc	5.93 b
B-PCU	8.62 a	17.91 b	10.54 ab	11.79 b	2.13 ab	5.88 b
B-SRFB	8.73 a	16.91 b	10.42 b	13.99 a	3.01 a	7.27 a
BT-PCU	8.12 ab	24.30 a	11.46 a	12.98 ab	1.74 bc	6.11 b
BT-SRFB	7.77 ab	25.84 a	11.51 a	14.02 a	1.72 bc	6.49 ab

注 Note:SS. Sowing stage; HS. Heading stage; MS. Maturing stage; HSF. Harvesting stage in first season.

2.4 叶面积指数

由图 2 可知,较 CK 处理,不同施肥处理显著增加‘广 8 优粤禾丝苗’头季稻和再生稻抽穗期的 LAI。不同施肥处理间,头季稻,较 CF 处理,4 个月树脂尿素(B-PCU、BT-PCU)和缓释掺混肥(BT-SRFB)降低 LAI,其中 4 个月树脂尿素处理降低幅度较大,以 BT-PCU 处理差异达到显著水

平。“一基一蘖”施肥处理 LAI 均小于对应的“一次性基施”处理,处理间均未达到显著水平。再生季,较 CF 处理,4 个月树脂尿素(B-PCU、BT-PCU)降低 LAI,差异不显著;而缓释掺混肥(B-SRFB、BT-SRFB)增加 LAI,差异达到显著水平。“一基一蘖”施肥处理 LAI 与对应的“一次性基施”相当,处理间无显著差异。

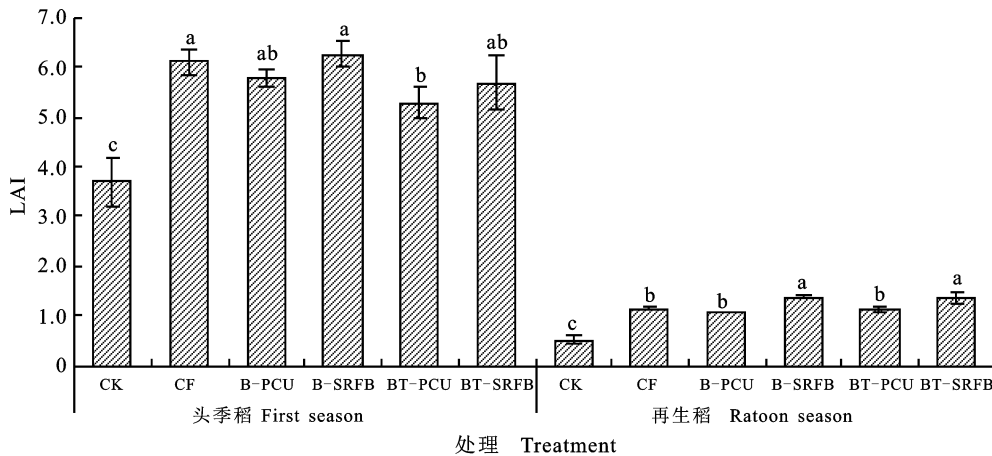


图 2 不同施肥处理‘广 8 优粤禾丝苗’头季稻和再生稻抽穗期叶面积指数

Fig. 2 Leaf area index in first season and ratoon season at heading stage in G8YHSM under different nitrogen application treatments

2.5 再生力

由图 3 可知,较 CK 处理,不同施肥处理显著增加‘广 8 优粤禾丝苗’再生季的再生力。较 CF 处理,4 个月树脂尿素(B-PCU、BT-PCU)和缓释

掺混肥(B-SRFB、BT-SRFB)增加再生力,其中 B-SRFB 处理增加达到显著水平。“一基一蘖”施肥处理再生力小于对应的“一次性基施”处理,B-SRFB 和 BT-SRFB 处理间差异达到显著水平。

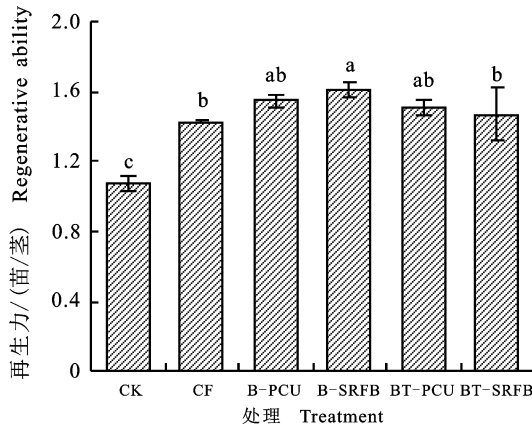


图3 不同施肥处理‘广8优粤禾丝苗’再生力

Fig. 3 Ratoon regenerative ability for G8YYHSM under different nitrogen application treatments

3 讨论

施肥是再生稻获得高产稳产的一项关键措施。有研究认为,齐穗后0~5 d 重施促芽肥有利于增加再生芽萌发数,提高再生力进而提高再生稻产量水平^[3]。林文雄等^[4]根据再生稻稻谷产量与吸氮量的关系构建再生季促芽促苗氮肥施用量的回归方程,实现了再生稻施肥的精准定量。徐富贤等^[2]指出将头季稻和再生稻看作一个整体,通过优化肥料管理方案协调头季稻个体发育和群体质量,进而获得再生稻高产,这是再生稻高产栽培的一个新思路。施用普通尿素氮肥,头季稻前氮后移处理,提高头季稻每穗粒数和库容量,进而显著增加头季稻产量,而对再生稻产量无显著影响^[18]。近年来,不同缓控释肥及组配方式在机插稻^[15,19]、钵育摆栽水稻^[20-21]、直播水稻^[22]广泛施用,获得显著的增产效应和环境效益,然而,缓控释肥及其组配在再生稻的研究中鲜有报道。本研究中,较CF处理,4个月树脂包膜尿素处理(B-PCU、BT-PCU)降低头季稻产量,但增加再生稻产量,尽管差异未达显著水平。这可能由于树脂包膜尿素肥效释放较慢,导致头季稻前期生长需肥不足,甚至对头季稻产生一定的负效应,进而影响再生稻生长;此外,本试验条件下土壤有机质含量达22.3 g/kg,一定程度上缩小了二者的差距。缓释掺混肥处理(B-SRFB、BT-SRFB)增加头季稻和再生稻产量水平,其中以BT-SRFB处理增产幅度最大,再生季增产效应达到显著水平(表1和表2)。从产量构成要素来看,缓释掺混肥处理

不同程度增加头季稻有效穗和穗粒数,再生季的有效穗和颖花数,分别是两季产量增加的原因,特别是缓释掺混肥的“一基一蘖”施肥处理(BT-SRFB)协调有效穗和穗粒数,扩大群体库容水平,进而有利于两季产量增加。说明在不同的缓控释肥处理中,头季稻缓释掺混肥“一基一蘖”施肥方式是利于早熟杂交籼稻‘广8优粤禾丝苗’头季稻和再生稻两季增产的最佳施肥方案。

本研究发现,较CF处理,缓释掺混肥处理(BT-SRFB)和4个月树脂尿素(B-PCU、BT-PCU)均降低头季稻LAI,但4个月树脂尿素对LAI的降低幅度较大,而缓释掺混肥的降低幅度较小,尽管缓释掺混肥“一基一蘖”(BT-SRFB)处理较“一次性基施”(B-SRFB)处理稻头季稻LAI有所降低(图2)。此外,缓释掺混肥处理较CF处理显著增加再生季的LAI(图2)。这说明缓释掺混肥施用有利于增加早熟杂交籼稻‘广8优粤禾丝苗’再生季的LAI,有利于再生稻的光合产物积累。另一方面,较CF处理,4个月树脂尿素的“一次性基施”处理(B-PCU),因树脂包膜尿素肥力释放效率较慢,肥效明显滞后^[22],头季稻生育前期肥力供应不足,降低了分蘖发生和有效穗,间接导致再生季母茎群体基数减小(图3),再生稻有效穗降低,不利于再生稻产量增加。缓释掺混肥肥力释放均匀,更加符合水稻生长发育规律需求^[15,23]。较CF处理,早熟杂交籼稻‘广8优粤禾丝苗’头季稻有效穗明显增加,使得库容水平明显增加,还一定程度上增加再生季母茎群体基数和再生稻有效穗,特别是在缓释掺混肥“一基一蘖”处理下,头季稻花后生长速率和再生稻花前作物生长速率显著提升,促进了光合产物积累和光合产物向穗部籽粒转运,提高了早熟杂交籼稻‘广8优粤禾丝苗’中稻—再生稻产量水平。

4 结论

增加‘广8优粤禾丝苗’中稻—再生稻抽穗期的LAI,并分别提高头季稻抽穗—成熟和再生稻头季收获—再生季抽穗的作物生长速率,增加光合产物积累并向穗部转运,是提高两季产量的主要途径。长江上游早熟杂交籼稻‘广8优粤禾丝苗’在中稻—再生稻种植模式中,头季稻采用缓释掺混肥组配尿素的“一基一蘖”施肥方式有利于中稻—再生稻群体光合产物积累和产量增加。

参考文献 Reference:

- [1] 姚 雄,唐永群,文 明,等.西南生态区再生稻研究进展及发展建议[J].南方农业学报,2013,44(6):1059-1064.
YAO X,TANG Y Q,WEN M,*et al.* Research progress and developing strategies of ratoon rice in southwest ecotope [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2013, 44(6): 1059-1064.
- [2] 徐富贤,熊 洪,张 林,等.再生稻产量形成特点与关键调控技术研究进展[J].中国农业科学,2015,48(9):1702-1717.
XU F X,XIONG H,ZHANG L,*et al.* Progress in research of yield formation of ratooning rice and its high-yielding key regulation technologies [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(9): 1702-1717.
- [3] 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(5):268-304.
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(5): 268-304.
- [4] 林文雄,陈鸿飞,张志兴,等.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[J].中国生态农业学报,2015,23(4):392-401.
LIN W X,CHEN H F,ZHANG ZH X,*et al.* Research and prospect on physio-ecological properties of ratoon rice yield formation and its key cultivation technology [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23(4): 392-401.
- [5] LIN W X. Developmental status and problems of rice ratooning [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18(1): 246-247.
- [6] 徐富贤,熊 洪.杂交中稻粒叶比与再生力的关系[J].中国水稻科学,2000,14(4):249-252.
XU F X,XIONG H. Relationship between ratio of grain to leaf area and rationing ability in middle-season hybrid rice [J]. *Chinese journal of Rice Science*, 2000, 14(4): 249-252.
- [7] 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 ZH CH,WANG P H,*et al.* Correlation of ratooning ability with its main crop agronomic traits in mid-season hybrid rice [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(4): 613-617.
- [8] 任天举,张晓春,王培华,等.杂交中稻、再生稻两季高产组合的主要特征特性及配合力效应[J].西南农业学报,2005,18(4):382-386.
REN T J,ZHANG X CH,WANG P H,*et al.* Analysis of combining ability effect and the dominant characteristics of crosses with high yields in twice of hybrid mid-season and ratooning rice [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2005, 18(4): 382-386.
- [9] 吴芸紫,段门俊,刘章勇,等.播种期对3个再生稻品种产量及产量构成因子的影响[J].作物杂志,2017,177(2):151-156.
WU Y Z,DUAN M J,LIU ZH Y,*et al.* Effects of sowing date on yield and yield components of three varieties of ratooning rice [J]. *Crops*, 2017, 177(2): 151-156.
- [10] 易镇邪,周文新,屠乃美.留桩高度对再生稻源库性状与物质运转的影响[J].中国水稻科学,2009,23(5):509-516.
YI ZH X,ZHOU W X,TU N M. Effects of stubble height of the main crop on source-sink characteristics and assimilates transportation in rationing rice [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2009, 23(5): 509-516.
- [11] 张现伟,李经勇,唐永群,等.不同栽培处理下杂交水稻渝香203的再生性分析[J].西南农业学报,2012,25(1):59-62.
ZHANG X W,LI J Y,TANG Y Q,*et al.* Analysis of regeneration of hybrid rice in different planting treatments [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 25(1): 59-62.
- [12] 徐富贤,方 文,熊 洪.施氮与杂交中稻再生力关系[J].杂交水稻,1993(4):25-28.
XU F X,FANG W,XIONG H. The study on relationship between nitrogen application and ratoon ability in hybrid middle rice [J]. *Hybrid Rice*, 1993(4): 25-28.
- [13] 陈彩虹,粟学位,梁曼玲,等.小粒型优质杂交水稻新组合的选育实践[J].作物研究,2003,17(2):63-65.
CHEN C H,LI X W,LIANG M L,*et al.* Breeding practice of small grain and high quality of new hybrid rice combinations [J]. *Crops*, 2003, 17(2): 63-65.
- [14] 肖 捷,林建强,付爱民,等.高产优质稻粤禾丝苗种性表现及高产栽培技术[J].现代农业科技 2018,9:31-32.
XIAO J,LIN J Q,FU A M,*et al.* Varieties characteristics and high-yield cultivation techniques for high yield-yielding and quality rice Yuehesimiao [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2018, 9: 31-32.
- [15] 邢晓鸣,李小春,丁艳锋,等.缓控释肥组配对机插常规粳稻群体物质生产和产量的影响[J].中国农业科学,2015,48(24):4892-4902.
XING X M,LI X CH,DING Y F,*et al.* Effects of types of controlled released nitrogen and fertilization modes on yield and dry mass production [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(24): 4892-4902.
- [16] 张巫军,段秀建,姚 雄,等.氮素后移对长江上游机插杂交籼稻源库性状、干物质积累及产量的影响[J].云南农业大学学报(自然科学),2018,33(6):1003-1010.

- ZHANG W J, DUAN X J, YAO X, *et al.* Effects of delayed nitrogen fertilizer application on sink source characteristics, dry matter accumulation and grain yield of machine-transplanted hybrid indica rice in upper reaches of the Yangtze River [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2018, 33(6): 1003-1010.
- [17] 罗德强, 王绍华, 江学海, 等. 精确定量施肥对贵州高原山区杂交籼稻产量与群体质量的影响[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(11): 2099-2108.
- LUO D Q, WANG SH H, JIANG X H, *et al.* Effects of accurate fertilizer model (AF) on yield and population quality of hybrid indica rice cultivars in Guizhou highland area [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(11): 2099-2108.
- [18] 陈鸿飞, 杨 东, 梁义元, 等. 头季稻氮肥运筹对再生稻干物质积累、产量及氮素利用率的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(1): 50-56.
- CHEN H F, YANG D, LIANG Y Y, *et al.* Effect of nitrogen application strategy in the first cropping rice on dry matter accumulation, grain yield and nitrogen utilization efficiency of the first cropping rice and its ratoon rice crop [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(1): 50-56.
- [19] KE J, HE R C, HOU P F, *et al.* Combined controlled-released nitrogen fertilizers and deep placement effects of N leaching, rice yield and N recovery in machine-transplanted rice[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2018, 265: 402-412.
- [20] MIAO X K, XING X M, DING Y F, *et al.* Yield and nitrogen uptake of bowl-seedling machine-transplanted rice with slow-release nitrogen fertilizer [J]. *Agronomy Journal*, 2016, 108: 1-8.
- [21] 吴正贵, 柯 健, 何荣川, 等. 太湖地区水稻控释肥机插侧条施肥技术[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(23): 69-71.
- WU ZH G, KE J, HE R CH, *et al.* Side-strip application fertilization technology of controlled release fertilizer of machine transplanting rice in Taihu area [J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2017, 45(23): 69-71.
- [22] HOU P F, XUE L X, ZHOU Y L, *et al.* Yield and N utilization of transplanted and direct-seeded rice with controlled or slow-release fertilizer [J]. *Agronomy Journal*, 2019, 111(3): 1208-1217.
- [23] KE J, XING X M, LI G H, *et al.* Effects of different controlled-release nitrogen fertilisers on ammonia volatilisation, nitrogen use efficiency and yield of blanket-seedling machine-transplanted rice [J]. *Field Crops Research*, 2017, 205: 147-156.

Effect of Combined Controlled Released Nitrogen Fertilization on Yield and Dry Matter Accumulation in Early-maturing Ratoon Rice and Indica Rice in Upper Reaches of Yangtze River

ZHANG Wujun¹, DUAN Xiujian¹, HANG Xiaoning¹, TANG Mingyu²,
YAO Xiong¹, TANG Yongqun¹, LIU Qiangming¹, WEN Ming¹,
XIAO Renpeng¹, ZHANG Xianwei¹ and LI Jingyong¹

(1. Chongqing Academy of Agricultural Sciences/Chongqing Ratooning Rice Research Center, Chongqing 400000, China; 2. Sichuan Taiwo Seed Industry Co., Ltd, Mianyang Sichuan 621000, China)

Abstract This experiment aims to investigate the effect of combined controlled released nitrogen fertilizer on ratoon rice yield, dry matter accumulation and crop growth rate on early-maturing indica rice variety in upper reaches of the Yangtze River. With early-maturing indica rice ‘Guang 8 youyuehesimiao’ (G8YYHSM) as material, an experiment was conducted with machine rice-transplanting, six nitrogen fertilizer treatments were done in the first season, which included single fertilization of polymer-coated urea (B-PCU), single fertilization of slow-release fertilizer blend (B-SRFB), base-tiller nitrogen fertilizer of polymer-coated urea (BT-PCU), base-tiller nitrogen fertilizer of slow-release fertilizer blend (BT-SRFB), conventional split fertilization (CF) and no nitrogen application in the first season and ratoon season (CK). Compared with CF, polymer-coated urea treatment decreased the yield in first season, but it increased yield and showed no significant difference in ratoon season; slow-release fertilizer blend treatment increased panicle and spikelets per m² and thereby, increased yield in both first season and ratoon season, and had significant difference in ratoon crop, and base-tiller nitrogen fertilizer treatment > single fertilization treatment. Compared with CF, in the first season, all controlled released nitrogen treatments lowered dry matter production at heading stage, but base-tiller nitrogen fertilizer treatment increased dry matter production at maturity stage due to higher crop growth rate. In ratoon season, the ratoon ability varied little among different fertilizer treatments, compared with CF, the slow-release fertilizer blend treatments significantly increased LAI, which resulted in higher crop growth rate and dry matter accumulation, thus, increased yield of ratoon season. The BT-SRFB treatment showed highest yield in both first season and ratoon season among different N treatments. These results suggested that base-tiller N fertilizer of combined slow-release fertilizer application could increase crop growth rate, dry matter accumulation for G8YYHSM in first season and improve grain yield across first season and ratoon season in upper reaches of the Yangtze River.

Key words Ratooning rice; Controlled released nitrogen; Yield; Dry matter production

Received 2020-03-10

Returned 2020-08-31

Foundation item The National Key Research and Development Program (No. 2017YFD0300105, No. 2016YFD0300508, No. 2016YFD0300907).

First author ZHANG Wujun, male, Ph. D, assistant research fellow. Research area: rice physiology and ecology, high yield cultivation. E-mail: zhangwj881125@163.com

Corresponding author LI Jingyong, male, research fellow. Research area: rice cultivation and genetic breeding. E-mail: 869515984@qq.com

(责任编辑: 史亚歌 Responsible editor: SHI Yage)