

# 不同灌溉模式和肥料处理对再生稻再生芽生长和再生季产量形成的影响

毛顺鑫 肖无为 张作林 黄家达 王飞 黄见良 彭少兵 崔克辉

(作物遗传改良全国重点实验室/农业农村部长江中游作物生理生态与耕作重点实验室/  
华中农业大学植物科学技术学院, 430070, 湖北武汉)

**摘要** 以水稻品种两优 6326 为材料, 设置淹灌、轻度干湿交替、重度干湿交替 3 种灌溉模式和无促芽肥 (NBF)、施用促芽肥 (BF) 和施用再生稻专用缓释肥 (SRF) 3 种肥料处理, 研究水肥管理对再生芽生长和再生季产量的影响。结果表明, 不同灌溉模式对头季和再生季产量无显著影响。2020 年 BF 和 SRF 处理分别导致再生季产量平均增加 37.9% 和 28.0%; 2019 年 BF 处理增加 28.9%, 而 SRF 处理则无影响, 增产主要归因于有效穗数的增加。再生芽生长主要受肥料处理影响, 灌溉模式与肥料处理间无显著互作效应。与 NBF 相比, BF 处理显著提高了 3 种灌溉处理的再生芽芽长、活芽数、芽干重和再生力, 分别平均增加 32.8%、33.6%、139.8% 和 17.4%, SRF 处理分别平均提高 13.6%、3.7%、54.4% 和 13.5%。BF 和 SRF 处理均显著增加了头季稻桩和再生季氮素含量、再生季当季干物质积累量。这些结果表明 2 种肥料处理均可通过增加稻桩和再生季当季氮素积累, 促进再生芽萌发和生长, 提高再生力, 从而增加产量。因此, 合理施用促芽肥或缓释肥可维持高的再生季产量。

**关键词** 再生稻; 产量; 再生芽; 肥料管理; 氮积累; 缓释肥

再生稻是指头季水稻收获后稻桩上休眠芽萌发生长成穗再收获一季的水稻种植方式。再生稻种植可增加周年产量, 降低单季稻和双季稻增产所面临的压力。随着再生稻栽培技术的持续创新, 再生稻种植面积及比重在中国水稻生产系统中逐渐增加, 已发展成为节本增收效果显著的水稻种植模式之一, 具有广阔的发展前景<sup>[1-3]</sup>。

再生季产量主要来自于由头季休眠芽萌发形成的再生分蘖<sup>[4]</sup>, 因此, 再生芽数和成活率是再生稻高产研究的重点。再生季产量与头季收割后稻桩上休眠腋芽的萌发成穗数密切相关<sup>[5]</sup>, 其萌发和生长除受品种遗传特性、生理特征、生态条件等因素调控外, 还受栽培措施的影响, 如养分管理和灌溉方式等<sup>[2-3, 6-9]</sup>。干湿交替灌溉是水稻生产中大面积推广的节水灌溉技术, 也是机收再生稻生产中重要的水分管理措施<sup>[3, 9-12]</sup>。头季稻后期的干湿交替灌溉可减缓叶片叶绿素含量下降, 改善土壤通气性, 促进发达且活性高的根系和再生芽生长, 也可减少机收碾压损伤, 为再生季高产奠定基础<sup>[9, 13-14]</sup>。

氮肥合理施用是再生稻获得高产的重要措施, 头季齐穗后 15 d 左右施用的促芽肥是再生稻优质

高产的重要保证<sup>[15-18]</sup>。适量的促芽肥可提高头季成熟期稻桩和再生芽氮含量, 促进休眠芽萌发生长, 保持根系活力, 提高再生力<sup>[24, 19]</sup>。陈鸿飞等<sup>[20]</sup>发现施用促芽肥显著提高再生芽的芽长和活芽率, 但也有研究<sup>[7, 15, 21]</sup>表明, 施用促芽肥对再生芽生长以及再生季增产作用不大。林文雄等<sup>[2]</sup>认为在总氮施用量不变的前提下, 将适量氮肥从头季稻生长后期后移作为穗肥和粒肥施用, 可保持头季稻生育后期根系活力和防止早衰来促进腋芽存活。另外, 姜照伟等<sup>[22]</sup>发现再生季产量与促芽肥施氮量呈抛物线型相关关系。这些结果表明优化再生季氮肥管理可提高再生季产量。

促芽肥施用增加了再生稻的施肥次数, 带来了费工费时、生产效率降低等问题<sup>[3]</sup>。缓释肥因其肥效延缓释放等特点成为了新型肥料的研究热点, 施用再生稻缓释肥可减少施肥次数, 提高生产效率<sup>[7, 23-24]</sup>。另外, 水肥耦合效应对不同节位腋芽萌发生长影响的研究也较少。因此, 本试验以华中地区作再生稻种植的主推品种两优 6326 为供试材料, 探讨不同氮肥和灌溉管理模式对再生芽萌发生长、氮素积累的影响及其与再生季产量的关系,

作者简介: 毛顺鑫, 主要从事水稻栽培研究, E-mail: 475173280@qq.com

崔克辉为通信作者, 主要从事作物生理与栽培研究, E-mail: cuikeshui@mail.hzau.edu.cn

基金项目: “十四五”国家重点研发计划 (2022YFD2301000)

收稿日期: 2024-02-29; 修回日期: 2024-03-20; 网络出版日期: 2024-08-05

为再生稻高产优质栽培技术的建立提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2019 和 2020 年再生稻生产季节在湖北省荆州市监利县毛市镇柘木村农民田块进行。供试水稻田土壤基本理化性质为 pH 7.1、全氮 1.8 g/kg、速效磷 12.11 mg/kg、速效钾 122.6 mg/kg、有机质 25.21 g/kg。

### 1.2 试验设计

采用裂区试验设计，以灌溉模式为主区，肥料处理为副区。供试品种为两优 6326 (LY6326, 籼型两系杂交水稻)，该品种由安徽省宣城市农业科学研究所利用 69S×中粳 Wh26 育成，在长江中下游作一季中稻种植，近年来已成为湖北等省市再生稻种植的主要品种<sup>[3,9]</sup>。设置 3 种灌溉模式，包括传统淹灌 (CI)、轻度干湿交替 (WMD)、重度干湿交替 (WSD)；设置 3 种肥料处理，分别为无促芽肥 (NBF)、施用促芽肥 (BF) 和施用再生稻专用缓释肥 (SRF)。每个处理 3 次重复，共 27 个小区，每个小区面积 50 m<sup>2</sup>。

头季稻于 3 月 21 日 (2019 年) 和 3 月 22 日 (2020 年) 播种，4 月 29 日 (2019 年) 和 5 月 3 日 (2020 年) 移栽，2 年移栽密度均为 13.3 cm×30.0 cm，双本移栽。头季采用人工收割，留桩高度保留至倒 2 节 (40 cm 左右)<sup>[3,9]</sup>。小区间用 40 cm 宽田埂隔开，为防止小区间串水串肥，所有田埂均覆盖黑色塑料薄膜并插入田埂两侧 20 cm 深处。头季收获时间分别为 2019 年 8 月 13 日和 2020 年 11 月 17 日，再生季收获时间分别为 2019 年 11 月 8 日和 2020 年 11 月 12 日。全生育期内严格控制病虫害以防止产量损失。

肥料管理：头季氮肥施用量为 180 kg N/hm<sup>2</sup>，施用比例为基肥 (移栽前 2 d)：分蘖肥 (移栽后 7 d)：穗肥 (幼穗分化期)=4:3:3；磷肥施用量为 50 kg/hm<sup>2</sup> (P)，以过磷酸钙 (P 含量 5.2%) 形式作基肥一次性施入；钾肥施用量为 100 kg/hm<sup>2</sup> (K)，以氯化钾 (K 含量 49.8%) 形式按基肥：穗肥=3:2 的比例施入。再生季促芽肥在头季齐穗后 15 d 施用，施用量为 75 kg/hm<sup>2</sup> (N)，加施 40 kg/hm<sup>2</sup> (K)；提苗肥在头季收割后 1 d 施用，施用量为 75 kg/hm<sup>2</sup> (N)。所有氮肥均为尿素 (N 含量 46.4%) 形式。专用缓释肥处理中，基肥施用脲醛型缓释肥

(N:P:K=24:6:12, 含 10%脲醛)，作为基肥直接施用；穗芽肥施用脲醛型缓释肥 (N:P:K=25:5:15, 含 50%脲醛)，作为穗肥施用；本处理中不再施用促芽肥。本研究采用的缓释肥是一种适用于再生稻种植的新型复合缓释肥，由华中农业大学作物生理生态与栽培研究中心与中化化肥有限公司合作研发，除含有再生稻高产所需必要养分外，还含有促进休眠芽萌发和再生穗快速生长的活性成分<sup>[7]</sup>。

水分管理：CI 处理头季保持浅水层，中期搁田与收获前一周断水，再生季保持浅水层至收获前一周；WMD 处理除头季移栽至返青田间保持浅水层外，其余时期采用轻度干湿交替灌溉，即自浅水层自然落干到土壤水势达 -15 kPa 时，灌水 2~3 cm，再自然落干至土壤水势达 -15 kPa 时，再上浅层水，如此循环；WSD 处理除头季移栽至返青田间保持浅水层外，其余时期采用重度干湿交替灌溉，即自浅水层自然落干到土壤水势达 -25 kPa 时，灌水 2~3 cm，再自然落干至土壤水势达 -25 kPa 时，再灌溉浅层水，如此循环。利用负压式土壤湿度计 (中国科学院南京土壤研究所生产) 实时监测土壤水势。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 再生芽生长调查 在头季稻齐穗期后 20 d、头季成熟期和收割后 10 d，每个小区取 6 蔸长势一致的植株并记录其总茎蘖数，然后每蔸取 3 个生长状况一致且良好的茎蘖 (共 18 个茎蘖)，分节位剥离倒 2、3 节再生芽，测量不同节位各再生芽的长度。然后，分节位将再生芽混合，并装于网袋中 80 °C 烘干至恒重后称干重。计算每节位和单株芽长 (cm)、单位面积活芽数 (/m<sup>2</sup>) 和芽干重 (g/m<sup>2</sup>)。

1.3.2 产量及其构成因子 分别于头季和再生季成熟期，在每小区选取 125 蔸 (5 m<sup>2</sup>) 进行收割，脱粒稻谷晒干并与室内空气吸湿平衡后称量总重量，用谷物水分仪 (LDS-1G) 测定籽粒含水量，将其换算成 14% 含水量的产量 (t/hm<sup>2</sup>)。

在头季成熟期每小区选取有代表性的 12 蔸稻株，记录有效穗数。然后，在从基部向上 40 cm 处，将植株分为头季收割后留下的稻桩部分和收割部分，再将收割部分分为稻草和穗。将稻桩与稻草置于 80 °C 恒温烘干至恒重后称重。将穗部样品徒手脱粒，采用水选法、风选法将籽粒分为饱粒、半饱粒和空粒，并计数 3 类籽粒数量。枝梗和籽粒于

80 ℃烘箱中烘干至恒重，称重。成熟期地上部分干重为植株地上所有部分的干重总和，并计算籽粒产量、有效穗数（饱粒数≥5 的稻穗数）、每穗颖花数、结实率、千粒重和生物量，计算再生季当季干物质积累量（即再生季成熟期地上部总干重与头季收割后留下的稻桩部分干重之差）。

1.3.3 植株氮含量的测定和计算 将头季收获后稻桩、头季收获后 10 d 再生芽及再生季成熟期各部位样品烘干后粉碎并过 0.5 mm 孔径网筛。称量 0.2 g 样品，消化后利用凯氏定氮法，使用全自动间断化学分析仪（Smartchem 200，Amsalliance，意大利）测定氮浓度，然后计算各部分氮含量（g/kg）和植株氮积累量（kg/hm<sup>2</sup>），再生季当季氮素吸收量为再生季总氮素积累量与头季收割后稻桩部分氮素含量之差。

1.4 数据处理

均采用 Excel 软件进行计算和整理数据，应用 Statistix 9 进行方差分析和多重比较，用 SigmaPlot 10.0 进行作图。采用方差分析评价各因子的影响，采用最小显著差异法（LSD）比较平均值差异显著性。由于方差分析表明本试验条件下 3 种灌溉模式对所调查指标总体上没有显著影响，因此在进行相关比较时均采用同一肥料处理下 3 种灌溉模式的平

均值。采用 Pearson 相关分析法进行相关性分析。由于 2 年试验结果相似，本研究除产量及其构成因子外其他指标均为 2020 年数据。

2 结果与分析

2.1 不同水肥处理对再生稻产量及其构成因子的影响

方差分析（表 1）表明年份对千粒重、灌溉模式对结实率、肥料处理对产量和千粒重有着显著影响，年份和肥料处理交互作用对产量、灌溉模式和肥料处理交互作用对千粒重有显著影响。所有处理下头季产量变幅分别为 7.29~8.67（2019 年）和 7.28~7.95 t/hm<sup>2</sup>（2020 年），平均产量为 7.92 和 7.72 t/hm<sup>2</sup>。2019 和 2020 年不同灌溉模式对 3 种肥料处理的头季平均产量均没有显著影响；2019 年不同肥料处理下 3 种灌溉模式的平均产量表现为 SRF（8.47 t/hm<sup>2</sup>）高于 NBF（7.49 t/hm<sup>2</sup>）和 BF（7.80 t/hm<sup>2</sup>），而在 2020 年 3 种肥料处理下平均产量相近。与 CI 处理相比，2019 年 WMD 和 WSD 处理下 3 个肥料处理的平均结实率分别提高了 3.7%和 3.4%，但每穗颖花数分别下降 11.5%和 6.2%；2020 年 WMD 和 WSD 处理下 3 个肥料处理的平均有效穗数分别降低了 3.8%和 7.6%，且

表 1 不同水肥处理下头季稻产量及其构成因子  
Table 1 Yield and its components of the first-season rice under different water and fertilizer treatments

年份 Year	灌溉模式 Irrigation pattern	肥料处理 Fertilizer treatment	产量 Yield (t/hm <sup>2</sup> )	有效穗数 Effective panicle number (/m <sup>2</sup> )	千粒重 1000-grain weight (g)	结实率 Seed-setting rate (%)	每穗颖花数 Spikelets per panicle	颖花数 Spikelet number (×10 <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
2019	CI	NBF	8.01ab	259.7a	27.7abc	85.5ab	124.7a	32.3a
		BF	7.77ab	250.0a	26.7c	84.3b	131.1a	32.8ab
		SRF	8.48ab	245.8a	28.4ab	83.8b	131.7a	32.1ab
		平均	8.09A	251.8A	27.6A	84.5B	129.2A	32.4A
	WMD	NBF	7.52ab	241.0a	27.7bc	88.4a	116.1a	28.0ab
		BF	7.29b	256.9a	27.5bc	87.4ab	112.2a	28.8ab
		SRF	8.67a	268.8a	28.8a	87.1ab	114.5a	30.6a
		平均	7.83A	255.6A	28.0A	87.6A	114.3B	29.1A
	WSD	NBF	7.88ab	245.8a	27.7abc	85.6ab	119.0a	29.1b
		BF	7.41ab	243.8a	28.1abc	89.2a	116.0a	28.3ab
		SRF	8.25ab	258.3a	28.0abc	87.3ab	128.3a	33.4ab
		平均	7.85A	249.3A	27.9A	87.4A	121.1AB	30.3A
2020	CI	NBF	7.82a	249.2a	25.9ab	86.5a	123.3a	30.7a
		BF	7.74a	258.3a	25.3b	82.7a	130.7a	33.8a
		SRF	7.95a	266.7a	26.2ab	82.1a	123.9a	33.3a
		平均	7.84A	258.1A	25.8A	83.8A	126.0A	32.6A
	WMD	NBF	7.83a	249.2a	26.0ab	86.5a	141.7a	35.1a
		BF	7.85a	250.8a	25.8ab	84.9a	130.1a	32.6a
		SRF	7.58a	245.0a	26.9a	87.4a	130.8a	31.9a
		平均	7.76A	248.3AB	26.2A	86.2A	134.2A	33.2A

续表 1    Table 1 (continued)

年份 Year	灌溉模式 Irrigation pattern	肥料处理 Fertilizer treatment	产量 Yield (t/hm <sup>2</sup> )	有效穗数 Effective panicle number (/m <sup>2</sup> )	千粒重 1000-grain weight (g)	结实率 Seed-setting rate (%)	每穗颖花数 Spikelets per panicle	颖花数 Spikelet number (×10 <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
方差分析 ANOVA	年 (Y)	WSD	7.91a	235.0a	25.8ab	86.4a	135.4a	31.9a
		NBF	7.49a	230.0a	26.3ab	88.9a	125.4a	28.8a
		BF	7.28a	250.8a	26.2ab	83.6a	122.2a	30.7a
		SRF	7.56A	238.6B	26.1A	86.3A	127.6A	30.5A
		平均	ns	ns	*	ns	ns	ns
	灌溉模式 (I)	年 (Y)	ns	ns	ns	*	ns	ns
		肥料处理 (F)	*	ns	***	ns	ns	ns
		Y×I	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		Y×F	**	ns	ns	ns	ns	ns
		I×F	ns	ns	*	ns	ns	ns
		Y×I×F	ns	ns	ns	ns	ns	ns

不同小写字母表示同一年不同灌溉模式、不同施肥处理间平均值在  $P < 0.05$  水平上差异显著。大写字母代表同一年不同灌溉模式间的 3 个施肥处理的平均值在  $P < 0.05$  水平上差异显著（最小显著性差异法，LSD 法）。“\*”、“\*\*”和“\*\*\*”表示方差分析中在  $P < 0.05$ 、0.01 和 0.005 水平上差异显著，ns 表示差异不显著。下同。  
Different lowercase letters indicate difference significance among different nitrogen fertilizer applications and different irrigation pattern in the same year at  $P < 0.05$  probability level. Different uppercase letters indicate difference significance among three irrigation pattern in the same year at  $P < 0.05$  probability level. “\*”, “\*\*” and “\*\*\*” represent significant difference at the  $P < 0.05$ , 0.01 and 0.005 probability levels, ns represents no significant difference. The same below.

WMD 与 CI 处理之间差异显著。

方差分析（表 2）表明年份对再生季产量和构成均具有显著影响，灌溉模式对每穗颖花数、肥料处理对产量和有效穗数有显著影响，年份和灌溉模式互作显著影响千粒重、结实率和单位面积颖花数，年份和肥料处理互作显著影响产量。所有处理下再生季产量变幅分别为 3.46~5.10（2019 年）和 2.67~4.31 t/hm<sup>2</sup>（2020 年），平均产量分别为 4.16 和 3.74 t/hm<sup>2</sup>。与 NBF 处理相比，2019 年 BF 处理下 3 种灌溉模式的平均再生季产量、有效穗数、颖

花数、再生力分别增加了 28.9%、18.9%、26.2%和 18.2%，2020 年分别增加了 37.9%、17.5%、19.5%和 17.4%。SRF 处理对再生季产量形成影响存在年际间差异，与 NBF 相比，2019 年 SRF 处理下 3 种灌溉模式的再生季产量、有效穗数、颖花数和再生力没有显著差异，2020 年分别平均增加了 28%、18.3%、21.5%和 13.5%。与 CI 相比，WMD 和 WSD 处理时 3 种肥料处理的平均产量分别下降 7.1%和 6.3%（2019 年）、4.6%和 3.6%（2020 年），但三者间差异不显著。3 种灌溉模式间 3 种肥料处理的

表 2    不同水肥处理下再生季产量及其构成因子  
Table 2    Yield and its components of the ratoon season under different water and fertilizer treatments

年份 Year	灌溉模式 Irrigation pattern	肥料处理 Fertilizer treatment	产量 Yield (t/hm <sup>2</sup> )	有效穗数 Effective panicle number (/m <sup>2</sup> )	千粒重 1000-grain weight (g)	结实率 Seed-setting rate (%)	每穗颖花数 Spikelets per panicle	颖花数 Spikelet number (×10 <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	再生力 Ratooning ability
2019	CI	NBF	3.91c	326.7c	24.7ab	75.5abc	63.3b	20.7bc	1.26c
		BF	5.10a	415.0a	23.9b	77.9a	67.2ab	27.9a	1.66a
		SRF	4.05bc	342.5bc	24.9a	74.6abc	64.6a	22.2bc	1.40abc
		平均	4.35A	361.4A	24.5A	76.0A	65.0A	23.6A	1.44A
	WMD	NBF	3.46c	318.3c	24.3ab	74.9abc	62.6b	19.9c	1.33c
		BF	4.75ab	387.5ab	23.9b	73.2abc	64.3b	24.9ab	1.51abc
		SRF	3.93c	372.5abc	24.3ab	71.2bc	61.8b	23.0bc	1.39abc
		平均	4.05A	359.4A	24.2A	73.1A	62.9A	22.6A	1.41A
	WSD	NBF	4.03bc	364.2abc	24.2ab	70.5bc	64.9b	23.7abc	1.48abc
		BF	4.85a	397.5ab	23.8b	77.5ab	70.7a	28.1a	1.63ab
		SRF	3.36c	351.7bc	24.0ab	70.0c	65.9ab	23.1bc	1.37bc
		平均	4.08A	371.1A	24.0A	72.7A	67.2A	25.0A	1.50A
2020	CI	NBF	3.44bcd	465.0bcd	23.1ab	58.3b	75.9a	35.1bc	1.86a
		BF	4.13ab	521.7ab	23.5a	61.3ab	78.5a	41.1abc	2.05a
		SRF	3.96ab	556.7a	23.2ab	58.7ab	82.1a	45.6a	2.10a
		平均	3.85A	514.4A	23.3A	59.4A	78.9A	40.6A	2.00A

续表 2 Table 2 (continued)

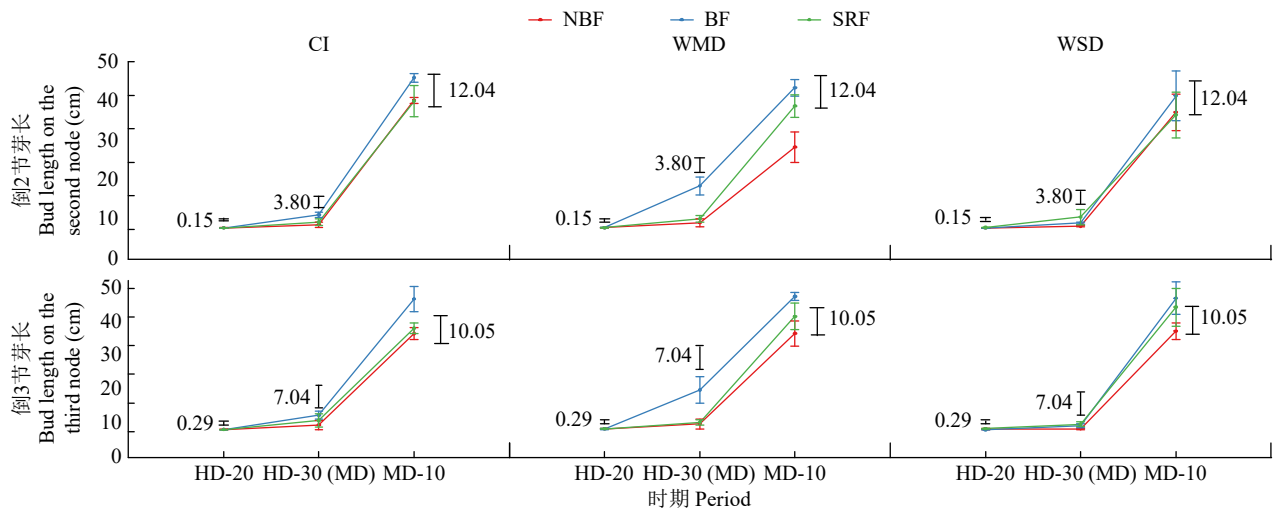
年份 Year	灌溉模式 Irrigation pattern	肥料处理 Fertilizer treatment	产量 Yield (t/hm <sup>2</sup> )	有效穗数 Effective panicle number (/m <sup>2</sup> )	千粒重 1000-grain weight (g)	结实率 Seed-setting rate (%)	每穗颖花数 Spikelets per panicle	颖花数 Spikelet number (×10 <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	再生力 Ratooning ability
方差分析 ANOVA	WMD	NBF	2.67d	434.2cd	23.1ab	59.6ab	81.3a	35.2bc	1.74a
		BF	4.31a	541.7ab	23.4ab	60.0ab	77.6a	42.1ab	2.16a
		SRF	4.03ab	490.8abcd	23.1ab	59.1ab	81.9a	40.1ab	2.01a
		平均	3.67A	488.9A	23.2A	59.6A	80.3A	39.1A	1.97A
	WSD	NBF	3.09cd	420.8d	22.9b	60.8ab	81.6a	34.3c	1.81a
		BF	4.22a	488.3abcd	23.1ab	63.1a	85.8a	41.8ab	2.14a
		SRF	3.77abc	513.3abc	23.2ab	59.9ab	80.8a	41.4ab	2.05a
		平均	3.70A	474.2A	23.1A	61.3A	82.7A	39.1A	2.00A
	年 (Y)		*	***	*	***	***	***	***
	灌溉模式 (I)		ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
	肥料处理 (F)		***	***	ns	**	ns	***	***
	Y×I		ns	ns	*	*	ns	***	ns
	Y×F		***	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	I×F		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Y×I×F		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

平均再生力没有显著不同。

2.2 不同水肥处理对再生稻再生特性的影响

倒 2 节和倒 3 节位再生芽表现一致，在头季齐穗后 20 d 之前处于生长停滞状态（图 1），之后开始缓慢伸长生长，至头季成熟期芽长大多不足

10 cm。头季稻收获后再生芽开始迅速伸长，至收获后 10 d 时各处理之间差异显著，且大多在 30 cm 以上。在同一肥料处理下，不同灌溉模式间再生芽生长趋势一致。肥料处理显著影响了头季收获后 10 d 芽长，不同灌溉模式下均表现出 BF>SRF>



HD-20、HD-30（MD）、MD-10 分别代表头季齐穗后 20 d、头季齐穗后 30 d（头季收获期）、头季收获后 10 d。竖线段和数字表示同一灌溉模式下同时期 3 个肥料处理芽长平均值差异显著性阈值（ $P < 0.05$ ）。  
HD-20, HD-30 (MD), and MD-10 represent 20 days after heading of first-season rice, 30 days after heading of first-season rice (mature stage of first-season rice) and 10 days after harvest of first-season rice. Vertical line with figure indicates the difference significance among different nitrogen fertilizer applications at the same stage under the same water treatment at 0.05 probability level according to the least significant difference test at  $P < 0.05$  probability level.

图 1 不同水肥处理下再生芽芽长的生长动态  
Fig.1 Dynamic changes of axillary bud length under different water and fertilizer treatments

NBF。

方差分析（表 3）表明，不同灌溉模式对头季收获后 10 d 再生芽长、活芽数和芽干重均无显著影响，而肥料处理则显著影响这 3 个指标，且灌溉模

式和肥料处理间无显著交互作用。促芽肥促进了倒 2 节、倒 3 节再生芽的伸长。与 NBF 处理相比，BF 处理下 3 种灌溉模式的倒 2 节、倒 3 节的平均芽长分别增加了 30.4%和 35.5%，SRF 处理下分别

增加了 11.7% 和 15.7%。与 NBF 相比, BF 处理下 3 种灌溉模式的平均单位面积活芽数显著增加, 倒 2 节、倒 3 节活芽数分别增加了 33.3% 和 33.8%, SRF 处理导致倒 2 节芽的活芽数平均增加了 11.1%。与

NBF 处理相比, BF 处理显著增加了 3 种灌溉模式的平均芽干重, 倒 2 节、倒 3 节芽干重分别增加 136.6%和 142.7%, SRF 处理下则分别增加 65%和 44.7%。WSD 处理下的倒 3 节再生芽的单位面积芽

表 3 不同水肥处理对头季收获后 10 d 再生芽的生长影响

Table 3 Effects of different water and fertilizer treatments on the growth of axillary buds at 10 days after harvest of the first-season

灌溉模式	肥料处理	芽长 Bud length (cm)		活芽数 Bud number (/m <sup>2</sup> )		芽干重 Bud dry weight (g/m <sup>2</sup> )	
Irrigation pattern	Fertilizer treatment	D2	D3	D2	D3	D2	D3
CI	NBF	38.5a	34.1b	195.5c	172.2bc	59.7bcd	34.6d
	BF	45.3a	46.2a	266.1a	236.0ab	109.7ab	92.8abc
	SRF	38.2a	36.0b	224.9abc	175.9bc	77.7abcd	42.0d
	平均	40.7A	38.8A	228.81A	194.7A	82.4A	56.4B
WMD	NBF	24.5b	34.2b	199.0c	187.1bc	32.7d	44.6d
	BF	42.3a	47.1a	247.7abc	232.9ab	111.1a	113.1a
	SRF	36.8a	40.1ab	205.6bc	167.8c	60.8abcd	61.7bcd
	平均	34.5A	40.5A	217.4A	195.9A	68.2A	73.1AB
WSD	NBF	34.9a	35.0b	188.7c	199.6bc	46.2cd	56.3cd
	BF	39.9a	46.5a	263.8ab	279.0a	107.1ab	123.3a
	SRF	34.1b	43.4ab	217.4abc	192.8bc	82.7abc	98.2ab
	平均	36.3A	41.6A	223.3A	223.8A	78.7A	92.6A
方差分析 ANOVA	灌溉模式 (I)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	肥料处理 (F)	**	**	**	**	**	**
	I×F	ns	ns	ns	ns	ns	ns

D2 和 D3 分别指倒 2 节和倒 3 节。

D2 and D3 are the second and third node from the top, respectively.

干重显著高于 CI 处理, 增加了 64.2% (表 3)。

### 2.3 不同水肥处理对头季和再生季干物质和氮素积累的影响

方差分析(表4)表明,不同灌溉模式、灌溉

模式和肥料处理互作对头季稻桩干重、再生季地上部干重及再生季当季干物质积累量均无显著影响。与 NBF 相比, BF 和 SRF 处理下 3 种灌溉模式的稻桩干重分别平均增加了 15.1% 和 15.2%, 再

表 4 不同水肥处理下再生季地上部干物质质量和氮素积累量

Table 4 Dry matter and nitrogen accumulation in the ratoon season under different water and fertilizer treatments

[illegible]

生季地上部干重分别平均增加了 13.7%和 17.5%，再生季当季干物质积累量分别平均增加了 13.2%和 18.3%。

方差分析（表 4）表明，不同灌溉模式、灌溉模式与肥料处理互作对 4 个氮素相关指标无显著影响，肥料处理的影响达到显著水平。与 NBF 相比，BF 和 SRF 处理时 3 种灌溉模式的稻桩氮素含量分别平均增加了 51.7%和 44.6%，稻桩浓度分别平均增加了 33%和 26.5%，芽氮素含量分别平均增加了 77.8%和 44.8%，再生季地上部氮素积累量分别平均提高了 21.1%和 17.6%。再生季当季氮素积累量

在 3 个肥料处理间无显著差异。

2.4 再生季芽生长和产量与氮素积累间的关系

相关分析（表 5）表明，芽长、芽重、活芽数分别与稻桩氮素浓度、稻桩氮素含量、头季收获 10 d 后芽氮含量、再生季当季氮素积累量、地上部总氮积累量呈显著正相关。再生力、再生季产量与芽生长的 3 个指标、稻桩氮浓度、氮素积累量、干物质积累量均呈正相关。再生季当季积累干重和再生季总干重分别与稻桩氮素含量、再生季总氮积累量呈显著正相关。值得注意的是，头季收获 10 d 后芽氮浓度与其他相关指标呈负相关。

表 5 再生芽生长、再生季氮积累、干物质积累和再生季产量间关系  
Table 5 The correlations among bud growth, nitrogen and dry matter accumulation and grain yield of the ratoon season

指标 Index	芽长 Bud length	活芽数 Bud number	芽重 Bud dry weight	再生力 Ratooning ability	再生季产量 Grain yield of the ratoon crops	头季收获时 稻桩干重 Stubble dry weight	再生季当季积累干重 Dry matter accumulation during the ratoon season	再生季总干重 Total dry weight of the ratoon crops
稻桩氮浓度 Stubble N concentration	0.801**	0.650	0.794*	0.880**	0.905***	0.624	0.675*	0.717*
稻桩氮素含量 Stubble N content	0.777*	0.590	0.783*	0.913***	0.891**	0.850***	0.698*	0.801**
芽氮素浓度 Bud N concentration	-0.904***	-0.744*	-0.778*	-0.640	-0.700*	-0.335	-0.304	-0.342
芽氮素含量 Bud N content	0.772*	0.759*	0.940***	0.815**	0.759*	0.591	0.459	0.538
再生季当季氮素积累量 N uptake during the ratoon season	0.742*	0.613	0.688*	0.733*	0.724*	0.307	0.686*	0.633
再生季总氮积累 Total N uptake of the ratoon crops	0.854**	0.666*	0.840**	0.954***	0.934***	0.755*	0.775*	0.834**
头季收获后稻桩干重 Stubble dry weight	0.524	0.378	0.566	0.761*	0.655*		0.628	0.788*
再生季当季积累干重 Dry matter accumulation during the ratoon season	0.467	0.318	0.453	0.832**	0.742*	0.628		0.974***
再生季总干重 Total dry weight of the ratoon crops	0.523	0.362	0.525	0.880**	0.779*			
再生季产量 Grain yield of the ratoon crops	0.905***	0.641	0.809**	0.962***				
再生力 Ratooning ability	0.838**	0.661*	0.835**					

“\*”、“\*\*”和“\*\*\*”分别指在  $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ,  $P < 0.001$  水平上的显著相关。  
“\*”, “\*\*” and “\*\*\*” indicate the significant correlation at  $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ,  $P < 0.001$  levels, respectively.

3 讨论

3.1 不同水肥处理对再生稻产量及其构成因子的影响

研究<sup>[11,25-26]</sup>认为干湿交替灌溉方式可增加水稻产量。在机收再生稻生产中重晒田可以提高再生季产量<sup>[27]</sup>，崔璨等<sup>[28]</sup>也发现间歇灌溉处理头季与再生季产量均显著提高，再生季增产幅度明显高于头季。然而，本研究中轻度和重度干湿交替处理对头季和再生季产量均无显著影响，这可能与本研究中再生稻生育期内降雨量较大导致干湿交替处理过程中达到预设临界水势的次数不足有

关。从节水和灌溉成本角度考虑，干湿交替灌溉可以作为一项节本增效的栽培技术措施，也是再生稻生产中减少机械碾压和提高再生季产量的有效水分管理方式<sup>[9,27]</sup>。

促芽肥施用可改善头季稻后期营养，促进再生芽早生多发<sup>[19]</sup>。本试验发现促芽肥和缓释肥处理均提高了再生季产量和再生力，特别是在 2020 年干湿交替和重度干湿交替处理下，这可能是因为水分胁迫促进水稻对促芽肥的利用，提高稻桩中氮素含量，从而影响再生芽的生长发育<sup>[29]</sup>。本研究发现再生季产量提高主要归因于有效穗数的提高，这与前人<sup>[18,30]</sup>研究结果相似。高欠清等<sup>[31]</sup>也发现促芽肥

施用可促进再生芽生长, 提高再生力和再生季产量。此外, 促芽肥和缓释肥的施用均促进了稻桩和芽的氮素积累, 较高稻桩氮素含量和再生季干物质积累有利于提高再生力和产量。这些结果表明促芽肥、缓释肥的施用主要是促进了再生芽生长和干物质积累, 通过提高再生力来提高再生季产量。然而, 杨晨等<sup>[7]</sup>发现促芽肥施用与否对再生季产量没有显著影响。因此, 促芽肥对再生季产量的影响可能与品种、施肥水平、土壤肥力等多因素有关, 需进一步研究。

缓释肥和促芽肥处理间再生稻头季产量没有显著差异, 对再生芽生长和再生季产量形成具有促进作用; 然而, 缓释肥处理时 3 个灌溉处理的再生季平均增产幅度小于促芽肥处理, BF 处理下 2 年再生季平均产量分别比 SRF 高 30.4% 和 7.9%, 对再生力也有类似的影响。这一结果与杨晨等<sup>[7]</sup>相似, 可能是因为缓释肥并不能很好地根据再生稻生长发育的需肥特性来释放。因此, 本试验所采用缓释肥配方、用量可能仍需改进来进一步匹配再生稻的需肥特性。与已有研究<sup>[7]</sup>类似, 本研究中缓释肥处理下全生育期的纯氮和纯钾施用量较促芽肥处理分别减少了 36 和 23 kg/hm<sup>2</sup>, 并且减少 2 次施肥。因此, 再生稻缓释肥作为一种轻简化的施肥方式在再生稻种植模式中具有良好的应用前景。

### 3.2 不同水肥处理对再生芽萌发生长的影响

本研究发现头季稻齐穗后 20 d 至头季成熟时再生芽伸长缓慢, 收获后芽开始迅速伸长。类似地, 黄友钦等<sup>[32]</sup>也观察到头季稻齐穗后 22 d 各节位芽长均在 1 cm 以下, 齐穗后 22~36 d 芽迅速伸长。头季齐穗后 2 周进行重度晒田以在收获时土壤可以达到适宜湿度和硬度, 有利于减少头季机械化收割对稻桩和再生芽的碾压损伤<sup>[27]</sup>。然而, 本研究发现灌溉方式对再生芽生长和数量没有显著影响, 如前所述, 其原因可能与本试验年再生稻生育期内降水量较大有关。值得一提的是, 本研究头季收割并没有采用机械收获从而避免了稻茬碾压和再生芽损伤, 这也可能是干湿交替处理没有显著影响再生芽活芽数和总干重的原因。

前人<sup>[33-35]</sup>研究发现, 促芽肥可促进再生芽生长, 提高活芽率。本研究中促芽肥处理、缓释肥处理均促进了倒 2 节、倒 3 节再生芽萌发和生长, 特别是头季收割后; 其原因可能是促芽肥施用提高了头季稻桩内氮素含量, 收割后稻桩中的氮素转运到

再生芽, 促进其萌发生长形成分蘖<sup>[22,36]</sup>。类似地, 本研究也发现促芽肥和缓释肥处理下头季稻桩氮素含量和再生芽氮素含量显著增加, 芽生长特征、再生力分别与稻桩氮含量、头季收获后 10 d 芽氮含量、再生季当季氮素积累量和总氮积累量均呈正相关。因此, 促芽肥和缓释肥的施用可能通过增加稻桩和芽氮素含量促进再生芽萌发和生长, 提高再生力和再生季产量。

适宜水肥耦合对作物的影响可表现出协同效应。本研究发现在促芽肥施用条件下, WMD 处理时头季稻桩氮素积累量显著高于 WSD 处理, 这可能是因为轻度干湿交替可提高根系活力, 促进养分吸收<sup>[29]</sup>。与之相似, 曹小闯等<sup>[37]</sup>发现干湿交替模式提高了缓释肥处理时水稻茎鞘和叶片氮积累量, 提高了光合能力, 高的氮含量可防止叶片早衰和维持后期高根系活力。另外, 再生芽生长发育、再生力与稻桩中氮素含量呈显著正相关。因此, 优化水肥管理可通过增加根系养分吸收来增加稻桩氮素含量, 从而促进再生芽生长发育。

### 3.3 不同水肥处理对再生季干物质和氮素积累的影响

干湿交替灌溉或适度水分胁迫可促进水稻茎鞘储藏物质向籽粒的转运, 有利于籽粒灌浆<sup>[38-39]</sup>。稻桩所贮存同化物是再生芽萌发生长的主要营养来源, 头季后期干物质积累量和茎节可溶性糖含量高的杂交稻组合再生力强<sup>[40]</sup>。尽管本研究并没有发现 WMD 和 WSD 处理降低稻桩干重, 然而, 相关分析表明芽生长、再生力和再生季产量与稻桩干重呈正相关。因此, 干湿交替灌溉模式有可能通过减少头季稻桩储藏物质而不利于再生芽生长。

增加生物量和收获指数可提高水稻产量<sup>[41]</sup>。本研究中促芽肥和缓释肥可显著增加再生季干物质积累, 这表明促芽肥和缓释肥主要是通过增加再生季生物量积累来提高再生季产量, 这与人<sup>[42]</sup>研究结果一致。徐富贤等<sup>[16]</sup>认为, 促芽肥可以增加头季叶片氮含量延缓衰老, 提高光合速率, 从而增加叶片光合产物向籽粒转运, 减少稻桩贮藏物质向籽粒运输, 为再生芽的生长提供足够同化物。这也可能是施用促芽肥和缓释肥提高再生季产量的原因。另外, 再生季干物质积累量与再生季氮素积累紧密相关。因此, 施用促芽肥和缓释肥可通过增加氮素积累来提高再生季干物质积累能力, 进而增加再生季产量。



与不施促芽肥相比,施用促芽肥与缓释肥显著增加了 3 个灌溉处理的再生季氮素平均积累量,这与 Wang 等<sup>[42]</sup>研究结果一致。本研究中再生季氮素积累量的提高主要归因于头季稻桩中氮素积累量的增加,这与徐富贤等<sup>[16]</sup>一致,促芽肥主要是通过增加稻桩中营养物质来促进再生芽生长,进而影响再生季产量。因此再生稻生产中可适当增加头季氮素施用量来促进再生季干物质积累和提高产量。

## 4 结论

本试验条件下,3 种灌溉模式对再生季产量形成无显著影响,水分与肥料的交互作用也不显著。与无促芽肥处理相比,促芽肥和缓释肥的施用通过增加头季稻桩氮素含量促进了再生芽萌发生长和再生季氮素积累,提高了再生季干物质积累量,从而增加了再生力和再生季产量。因此,合理施用促芽肥和缓释肥可以实现再生季高产。与施用促芽肥处理相比,施用缓释肥小幅降低再生季产量,但可减少施肥次数和施肥量来提高生产效率。因此,作为一种轻简化的施肥方式,缓释肥在再生稻生产中具有一定的应用前景。

### 参考文献

- [1] 彭少兵. 对转型时期水稻生产的战略思考. 中国科学: 生命科学, 2014, 44(8): 845-850.
- [2] 林文雄, 翁佩莹, 林文芳, 等. 中国机收再生稻研究现状与展望. 应用生态学报, 2024, 35(3): 827-836.
- [3] Peng S B, Zheng C, Yu X. Progress and challenges of rice ratooning technology in China. *Crop and Environment*, 2023, 2(1): 5-11.
- [4] 姜照伟, 卓传营, 林文, 等. 再生稻产量构成因素分析. 福建稻麦科技, 2002(2): 8-9.
- [5] 周文新. 不同类型再生稻生育特性及源库关系比较研究. 长沙: 湖南农业大学, 2008.
- [6] 伍先群, 林席跃, 雷正平, 等. 赣南地区机收再生稻杂交籼稻品种再生能力及丰产性研究. 安徽农业科学, 2023, 51(24): 31-34.
- [7] 杨晨, 郑常, 袁坤, 等. 再生稻肥料管理对不同品种产量和品质的影响. 中国水稻科学, 2022, 36(1): 65-76.
- [8] 郑常. 重晒田水分管理和预留机收行种植方式对机收再生稻产量和品质的提升效应. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [9] Wang F, Cui K H, Huang J L. Progress and challenges of rice ratooning technology in Hubei Province, China. *Crop and Environment*, 2023, 2(1): 12-16.
- [10] Bouman B, Yang X G, Wang H Q, et al. Performance of aerobic rice varieties under irrigated conditions in North China. *Field Crops Research*, 2006, 97(1): 53-65.
- [11] Yang J C, Liu K, Wang Z Q, et al. Water-saving and high-yielding irrigation for lowland rice by controlling limiting values of soil water potential. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2007, 49(10): 1445-1454.
- [12] Yao F X, Huang J L, Cui K H, et al. Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation. *Field Crops Research*, 2012, 126: 16-22.
- [13] 吴文彬, 黄友钦, 王贵学, 等. 土壤水分对再生稻头季后期稻株光合和呼吸生理的影响研究. 西南农业大学学报, 1995, 17(6): 486-488.
- [14] 范可珍. 天优 3301 作再生稻高产栽培技术. 福建稻麦科技, 2012, 30(2): 30-32.
- [15] 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. 作物学报, 1997, 23(3): 311-317.
- [16] 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. 中国农业科学, 2015, 48(9): 1702-1717.
- [17] 夏桂龙, 欧阳建平, 柳开楼, 等. 促芽肥用量和留茬方式对赣东北地区再生稻产量和再生能力的影响. 中国稻米, 2016, 22(2): 27-30.
- [18] 习敏, 徐秀娟, 吴文革, 等. 促芽肥对再生稻两优 608 产量和主要品质性状的影响. 中国稻米, 2018, 24(3): 93-96.
- [19] 袁继超, 孙晓辉, 田彦华, 等. 再生稻需氮特性和分次施氮的研究. 作物学报, 1996, 22(3): 345-352.
- [20] 陈鸿飞, 张志兴, 林文雄. 促芽肥对水稻再生芽萌发生长过程蛋白质表达的影响. 中国农业生态学报, 2014, 22(12): 1405-1413.
- [21] 管康林, 陈耀武, 肖耀文. 再生稻生理研究初报. 中国农业科学, 1979, 12(3): 23-30.
- [22] 姜照伟, 林文雄, 李义珍, 等. 不同氮肥施用量对再生稻氮素吸收和分配的影响. 福建农业学报, 2003, 18(1): 50-55.
- [23] 郭晨. 缓/控释肥施用对作物产量、氮肥利用率及温室气体排放的影响. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- [24] 余贵龙, 刘祥臣, 张强, 等. 不同缓释肥组配对豫南再生稻生长及产量的影响. 中国农学通报, 2023, 39(36): 22-27.
- [25] Ye Y S, Liang X Q, Chen Y X, et al. Alternate wetting and drying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice. Effects on dry matter accumulation, yield, water and nitrogen use. *Field Crops Research*, 2013, 144: 212-224.
- [26] Lampayan R M, Rejesus R M, Singleton G R, et al. Adoption and economics of alternate wetting and drying water management for irrigated lowland rice. *Field Crops Research*, 2015, 170: 95-108.
- [27] Zheng C, Wang Y C, Yuan S, et al. Heavy soil drying during mid-to-late grain filling stage of the main crop to reduce yield loss of the ratoon crop in a mechanized rice ratooning system. *The Crop Journal*, 2022, 10(1): 280-285.
- [28] 崔璨, 陈基旺, 陈平平, 等. 不同水浆管理对再生稻产量与镉积累转运的影响. 杂交水稻, 2023, 38(2): 135-141.
- [29] 张绍文, 何巧林, 王海月, 等. 控制灌溉条件下施氮量对杂交籼稻 F 优 498 氮素利用效率及产量的影响. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 82-94.
- [30] 李经勇, 张洪松, 唐永群. 中国再生稻研究与应用. 南方农业, 2009, 3(3): 88-92.
- [31] 高欠清, 任孝俭, 翟中兵, 等. 头季穗肥和促芽肥对再生稻再生芽生长及产量形成的影响. 中国水稻科学, 2023, 37(4): 405-414.
- [32] 黄友钦, 刘仕琳, 王贵学, 等. 伏旱期土壤水分对再生稻的影响. 西南农业大学学报, 1995, 17(6): 481-485.
- [33] 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. 四川农业科技, 1982(3): 1-4, 7.
- [34] 唐祖荫, 张征兰. 再生稻几个生态生理问题的研究. 湖北农业科学, 1991(5): 1-5.
- [35] 马均, 王化新, 孙晓辉, 等. 促芽肥  $^{15}\text{N}$  在再生稻中的分配及

- 其作用研究. 西南农业学报, 1992, 5(1): 41-46.
- [36] 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. 中国生态农业学报, 2015, 23(4): 392-401.
- [37] 曹小闯, 吴龙龙, 朱春权, 等. 不同灌溉和施肥模式对水稻产量、氮利用和稻田氮转化特征的影响. 中国农业科学, 2021, 54(7): 1482-1498.
- [38] Yang J C, Zhang J H, Wang Z Q, et al. Hormonal changes in the grains of rice subjected to water stress during grain filling. *Plant Physiology*, 2001, 127(1): 315-323.
- [39] Yang J C, Zhang J H, Wang Z Q, et al. Activities of starch hydrolytic enzymes and sucrose-phosphate synthase in the stems of rice subjected to water stress during grain filling. *Journal of Experimental Botany*, 2001, 52(364): 2169-2179.
- [40] 张桂莲, 屠乃美, 张顺堂. 不同杂交稻组合再生特性的比较. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2002, 28(5): 364-368.
- [41] Yang J C, Zhang J H. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. *Journal of Experimental Botany*, 2010, 61(12): 3177-3189.
- [42] Wang Y C, Zheng C, Xiao S, et al. Agronomic responses of ratoon rice to nitrogen management in central China. *Field Crops Research*, 2019, 241: 107569.

## Effects of Different Irrigation Patterns and Fertilizer Managements on the Growth of Axillary Buds and Yield Formation of Ratoon Season in Ratoon Rice

Mao Shunxin, Xiao Wuwei, Zhang Zuolin, Huang Jiada,  
Wang Fei, Huang Jianliang, Peng Shaobing, Cui Kehui

(National Key Laboratory of Crop Genetic Improvement/Ministry of Agriculture Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in the Middle Reaches of the Yangtze River/College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China)

**Abstract** This study investigated the effects of water and fertilizer management on the growth of ratoon buds and ratoon crop yield using the rice variety Liangyou 6326. Three irrigation patterns (conventional flooding irrigation, alternate wetting and moderate soil drying, alternate wetting and severe soil drying) and three fertilizer treatments (no application of bud-promoting fertilizer, NBF; application of bud-promoting fertilizer, BF; and application of slow-release fertilizer, SRF) were implemented. The results indicated that different irrigation patterns had no significant effect on the yields of the first season and the ratoon season. In 2020, BF and SRF treatments increased the ratoon crop yields by 37.9% and 28.0%, respectively. In 2019, BF treatment increased the yield by 28.9%, while SRF treatment had no significant effect. The increase in yield was primarily attributed to the increase in the number of effective panicles. The growth of ratoon buds was predominantly influenced by fertilizer treatment, with no significant interaction between irrigation patterns and fertilizer treatment. Compared with the NBF treatment, BF treatment significantly increased the bud length, number of buds, bud dry weight, and ratooning ability on the uppermost internodes across all three irrigation patterns, with average increase of 32.8%, 33.6%, 139.8%, and 17.4%, respectively. SRF treatment increased these growth parameters by 13.6%, 3.7%, 54.4%, and 13.5%, respectively. Both BF and SRF treatments significantly increased the nitrogen contents of rice stubble and ratoon season, as well as the dry matter accumulation during the ratoon season. These findings suggest that the application of bud-promoting fertilizer and slow-release fertilizer can enhance ratoon bud germination and growth, increase ratooning ability, and ultimately improve ratoon crop yield by increasing nitrogen accumulation in stubble and the ratoon crop. Therefore, the rational application of either bud-promoting fertilizer or slow-release fertilizer is essential for maintaining high ratoon crop yield.

**Key words** Ratoon rice; Yield; Axillary bud; Fertilizer management; Nitrogen accumulation; Slow-release fertilizer