

# 不同肥源及其施肥运筹对中稻-再生稻生长和产量的影响

张海维, 姜硕琛, 孔盼, 胡丰琴, 杜斌\*, 朱建强\*

(长江大学农学院, 湖北 荆州 434025)

**摘要:** 针对江汉平原早稻-再生稻模式不利种植越冬作物的突出问题, 研究中稻-再生稻模式培肥增效可为提高土地利用效率提供科学依据。以水稻品种两优 1208 为试验材料, 针对头季稻进行施肥处理, 以施磷钾肥不施氮肥为对照 (CK), 设置 3 种基肥与追肥组合处理, 各处理的总有效养分相同 ( $N-P_2O_5-K_2O = 120-63-135 \text{ kg/hm}^2$ ), 钾肥作基肥和穗肥分 2 次等量施用, 氮肥作基肥、分蘖肥和穗肥分 3 次施用, 其施用比例对于处理 CRF (基施缓控释复合肥) 为 8 : 0 : 2, 对于处理 CF (基施复合肥) 和 OCF (基施有机无机复混肥) 为 5 : 3 : 2。结果表明, 两优 1208 作为再生稻用种, 全生育期为 156 ~ 157 d; 通过观测不同施肥处理下水稻叶面积指数、SPAD 值和干物质积累发现, 基施复合肥可促进头季稻前期至中期生长, 基施缓控释复合肥可促进头季稻后期和再生稻的生长, 基施有机无机复混肥可促进再生季水稻生长。

**关键词:** 肥源; 再生稻; 生长; 产量; 江汉平原

再生稻是第一季水稻收获后, 诱导头季腋芽生长发育, 再次成熟的一季水稻<sup>[1]</sup>。在种植单季稻温、光资源有余, 而种植双季稻温、光资源不足的地区, 再生稻可有效提高复种指数, 增加单位面积水稻产量<sup>[2]</sup>。此外, 再生稻具有省工省肥、低投入、低污染和米质优良等优点, 对提高粮食产量、增加农民收益和实现水稻的可持续发展具有重要意义<sup>[3-4]</sup>。关于再生稻生长, 有早稻-再生稻和中稻-再生稻 2 种模式, 其中, 早稻-再生稻是主要种植模式, 该模式通常在 3 月下旬于保温棚育秧, 4 月中下旬移栽<sup>[5]</sup>, 这限制了冬季作物的生长时间; 而中稻-再生稻模式可以在 5 月中旬移栽<sup>[6]</sup>, 能为大田轮作模式提供更多选择, 有利于再生稻可持续发展, 但有关中稻-再生稻的研究目前报道较少。

在水稻生产中, 氮肥是影响水稻产量的关键因素, 在过去的半个世纪, 氮肥的大量施用为我国水稻产量急剧增加作出了重大贡献<sup>[7]</sup>, 但氮肥的过量施用往往会降低氮肥的利用率<sup>[8]</sup>, 未被水稻利

用的氮肥通过地表径流、渗漏以及氨挥发的形式而损失, 引起环境面源污染<sup>[9]</sup>, 此外氮肥利用率过低也不利于水稻生长和产量增长<sup>[10]</sup>。因此, 以氮、磷、钾三元素为主的各种复合肥在生产中得到广泛应用。目前, 基施氮磷钾复合肥、追施尿素是最为普遍的施肥方式, 此外, 为培肥地力、提高肥料利用率, 有机无机复混肥和缓控释复合肥的应用也日益广泛。有研究指出, 长期施用有机无机复混肥可提高土壤细菌的多样性和土壤酶活性以及农田生态系统的生产力<sup>[11]</sup>, 可减少氮和钾的地表径流流失量<sup>[12]</sup>, 能提高籽粒氮含量和水稻产量<sup>[13]</sup>; 施用缓/控释肥可提高水稻产量、提升稻米品质<sup>[14]</sup>、减少氮肥流失<sup>[15]</sup>。关于再生稻田氮肥施用, 以往的研究主要集中在氮肥用量<sup>[16-17]</sup>和各时期氮肥施用配比上<sup>[18-19]</sup>, 对总施氮水平相同下不同肥源氮的作用效果报道较少。

本文以不施用氮肥作为空白对照, 选择复合肥、缓控释复合肥、有机无机复混肥作为主要基肥进行田间试验, 观察了中稻-再生稻品种两优 1208 的生长及产量表现, 以便为中稻-再生稻施肥增效提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点及其水稻种植情况

本试验于 2020 年在湖北省荆州市长江大学农业科技示范基地 (30°21'N, 112°09'E) 进行, 该

收稿日期: 2021-05-14; 录用日期: 2021-06-10

基金项目: 再生稻区土壤培肥与丰产增效耕作技术 (2016YFD0300907)。

作者简介: 张海维 (1996-), 在读硕士研究生, 研究方向为农业资源利用。E-mail: 746226926@qq.com。

通讯作者: 杜斌, xiaobin@stu.scau.edu.cn; 朱建强, E-mail: zyj@sina.com。

地属北亚热带农业气候带,年平均气温 16.5℃,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温 5094.9 ~ 5204.3℃,无霜期 240 ~ 260 d,年平均降水量 1095 mm,年平均日照时数 1718 h。种植制度为中稻、冬小麦轮作,土壤为偏粘性淹育型水稻土,土壤(0 ~ 20 cm 土层)有机质 21.4 g/kg、全氮 2.24 g/kg、全磷 0.54 g/kg、全钾 3.67 g/kg、碱解氮 89.6 mg/kg、有效磷 51.3 mg/kg、速效钾 114.6 mg/kg、pH 值 6.8。供试水稻品种为两优 1208。田间试验采用育秧移栽的方式,5月1日播种,6月1日移栽,株行距为 40 cm × 20 cm,每穴种植 2 株,头季稻留桩高度为 40 cm 左右。除施肥按试验处理操作外,田间水管理和植保与常规中稻-再生稻稻田完全相同。

### 1.2 试验设计

试验用的主要基肥有 3 种:1) 缓控释复合肥,含 N 26% (其中涂层缓释氮 15%)、 $\text{P}_2\text{O}_5$  10% 和  $\text{K}_2\text{O}$  12%; 2) 有机无机复混肥,含有机质 15%、N 18%、 $\text{P}_2\text{O}_5$  10%、 $\text{K}_2\text{O}$  12%; 3) 普通复合肥(氮磷钾复合肥),N、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量均为 15%。在不同试验处理中,所需的全部磷肥和需要基施的氮肥

均由基肥提供;所需基施的磷、钾基肥不能满足的部分,分别用磷肥(过磷酸钙,  $\text{P}_2\text{O}_5$  45%) 和钾肥(氯化钾,  $\text{K}_2\text{O}$  60%) 补充。

本试验面向再生季所施的促芽肥和提苗肥均为尿素,折氮(N)用量为 25 kg/hm<sup>2</sup>,施肥处理仅针对头季稻,其磷肥( $\text{P}_2\text{O}_5$ )、钾肥( $\text{K}_2\text{O}$ )的施用量分别为 63.0 和 135 kg/hm<sup>2</sup>,氮肥(N)施用总量分为 0 和 120 kg/hm<sup>2</sup> 2 个水平。以施磷钾肥不施氮肥的处理为对照(CK),按施用的主要基肥不同,在施氮总量 120 kg/hm<sup>2</sup> 下设 2 种基肥与追肥比例:基施缓控释复合肥时,氮肥作为基肥、蘖肥和穗肥施用的比例为 8:0:2;基施有机无机复混肥和复合肥时,氮肥作为基肥、蘖肥和穗肥施用的比例为 5:3:2。在钾肥施用总量( $\text{K}_2\text{O}$  135 kg/hm<sup>2</sup>) 相同的情况下,按照基肥与穗肥 5:5 分施。试验共设 4 个施肥处理,各处理施肥方案见表 1。在 CRF、OCF、CF 3 个处理中(表 1),追施的氮肥均为尿素、钾肥为氯化钾。试验小区为矩形,宽 3 m、长(南北走向) 10 m,面积 30 m<sup>2</sup>,按每处理 3 个重复共设 12 个小区。

表 1 再生稻稻田头季稻施肥处理

(kg/hm<sup>2</sup>)

施肥处理	主要基肥类型	N- $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{K}_2\text{O}$ 施用量	N- $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{K}_2\text{O}$ 基施量	蘖肥-穗肥施 N 量	穗肥施 $\text{K}_2\text{O}$ 量
CRF	缓控释复合肥	120-63-135	96-63-67.5	0-24	67.5
OCF	有机无机复混肥	120-63-135	60-63-67.5	36-24	67.5
CF	普通复合肥	120-63-135	60-63-67.5	36-24	67.5
CK	磷肥、钾肥	0-63-135	0-63-67.5	0-0	67.5

### 1.3 观测记载、样品采集与测定

(1) 生育期调查:观测记载头季稻的移栽期、分蘖盛期、抽穗期、成熟期和再生稻的抽穗期、成熟期生育进程。

(2) 干物质积累和叶面积测定:在头季稻的分蘖盛期、抽穗期和成熟期,再生稻的抽穗期和成熟期,每小区调查 100 穴植株的茎蘖数,计算单穴平均茎蘖数,据此每小区取代表性植株 5 穴,测量叶片的长、宽,分别按式(1)、(2)计算叶面积(LA)和叶面积指数(LAI)。将 5 穴水稻地上部分成茎、叶和穗(水稻分蘖盛期仅分为茎、叶),在 105℃ 下杀青 30 min,80℃ 烘干至恒重,测定各部分干物质重。

$$LA=0.75L \cdot W \quad (1)$$

$$LAI=\frac{1}{A} \sum_{i=1}^n LA_i \quad (2)$$

式中:LA、L 和 W 分别表示待测绿色叶片的叶面积、长度和宽度,0.75 为校正系数;LAI 表示一定稻田面积(A)上水稻植株所有绿色叶片的总叶面积与 A 之比,即叶面积指数。

(3) 叶片 SPAD 值测定:在头季稻分蘖盛期和抽穗期以及再生稻抽穗期,每个小区根据单穴平均茎蘖数选择 5 穴水稻,用 SPAD-502 叶绿素计于晴天 9:00 ~ 11:30 测定 SPAD 值。测定时选择水稻剑叶(分蘖盛期选择顶部全展叶)测定 1/2 处及其上下 3 cm、叶宽 1/4 或 3/4 的位置,每穴水稻重复测定 3 次,3 次平均值作为该穴水稻叶片的 SPAD 值。

(4) 产量及其构成:在水稻成熟期,每个小区根据单穴平均茎蘖数选择 5 穴水稻,测定每穗颖花数,用水漂法区分饱粒(沉入水底者)和空瘪粒,

计算饱粒结实率和称取饱粒千粒重，并计算收获指数。每个小区根据平均茎蘖数选择 200 穴水稻测定实际产量，烘干籽粒含水率至 14% 以下时测定千粒重和产量。

(5) 氮肥利用率：用氮素农学效率和氮素偏生产力表征，分别按式 (3) 和 (4) 计算。

$$\text{氮素农学效率 (kg/kg)} = (\text{施氮区产量} - \text{无氮区产量}) / \text{氮肥施用量} \quad (3)$$

$$\text{氮素偏生产力 (kg/kg)} = \text{施氮区产量} / \text{氮肥施用量} \quad (4)$$

### 1.4 数据与分析

用 Excel 2013 和 SPSS 21.0 进行数据处理与统计学分析，采用 Duncan 法进行多重比较，显著水

平为 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对水稻生育进程的影响

根据作物生育进程观测记载，表 2 给出了不同施肥处理下头季稻和再生稻的生育进程。可以看出，施肥影响水稻生育期的长短，氮磷钾营养元素具备的 3 个施肥处理其水稻全生育期达 156 ~ 157 d，均长于不施氮肥仅施磷钾肥 CK 的生育期 (146 d)，其中头季稻移栽至抽穗期长 3 ~ 4 d，抽穗期至成熟期长 2 d，再生季稻收获至抽穗期长 1 d，抽穗期至成熟期长 4 d。由此可见，不施氮肥会引起水稻早衰，相应地其生育期也会缩短。

表 2 不同施肥处理下中稻 - 再生稻的生育进程

(d)

施肥处理	头季稻			再生季稻		全生育期
	播种 - 移栽	移栽 - 抽穗	抽穗 - 成熟	收获 - 抽穗	抽穗 - 成熟	
CK	30	39	31	18	28	146
CF	30	43	33	19	32	157
CRF	30	42	33	19	32	156
OCF	30	42	33	19	32	156

### 2.2 不同施肥处理对水稻生长的影响

#### 2.2.1 对水稻叶面积指数的影响

图 1 结果表明，不同施肥处理对水稻 LAI 有显著影响。各处理按 LAI 大小排列的顺序在头季稻分蘖盛期和抽穗期为 CF>CRF>OCF>CK，在成

熟期为 CRF>OCF>CF>CK；在再生季稻抽穗期为 OCF>CRF>CF>CK，成熟期为 CRF>OCF>CF>CK。综上分析，LAI 在头季稻生长前期以 CF 处理最高，在头季稻生长后期以 CRF 处理最高，在再生季以 CRF 和 OCF 处理较高。

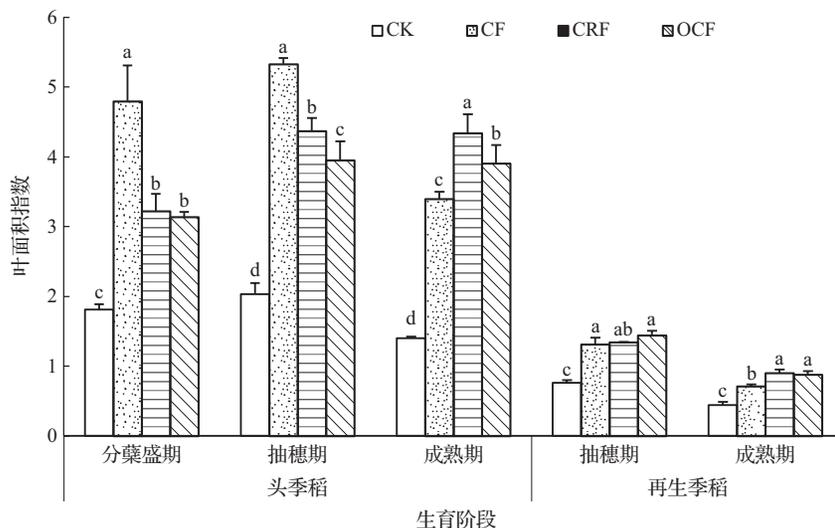


图 1 不同处理下头季稻和再生稻的叶面积指数

注：不同小写字母表示处理间差异显著 (P<0.05)。下同。

### 2.2.2 对水稻 SPAD 值的影响

由图 2 可知, 不同施肥处理对水稻 SPAD 值有一定影响(头季稻成熟期除外), 各处理按 SPAD 值大小排列顺序, 在头季稻分蘖盛期和抽

穗期为  $CF > CRF > OCF > CK$ ; 在再生季稻抽穗期为  $CRF > OCF > CF > CK$ , 成熟期为  $OCF > CRF > CF > CK$ 。显而易见, 水稻 SPAD 值在头季稻生长前期 CF 最高, 在再生季 CRF 和 OCF 较高。

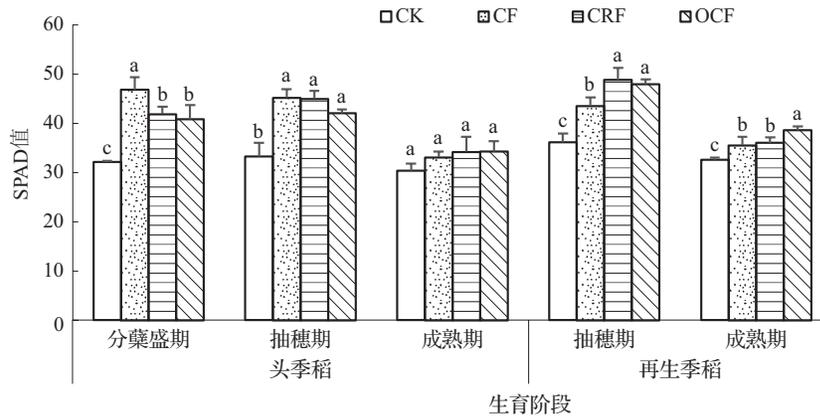


图 2 不同氮肥类型下头季稻和再生稻的 SPAD 值

### 2.2.3 对水稻干物质积累量的影响

由图 3 可知, 不同施肥处理对水稻不同生育阶段干物质积累量(DW)的影响不尽相同。在头季稻分蘖盛期各施肥处理的 DW 无显著差异, 在头季稻抽穗期和成熟期, CF、CRF、OCF 3 个处理的

DW 彼此并无显著差异, 但它们的 DW 均显著高于 CK, 说明施氮与否对水稻 DW 影响很大; 在再生季稻抽穗期和成熟期, 各处理按 DW 大小排列顺序为  $OCF > CF > CRF > CK$ , 该结果说明施有机无机复混肥对培肥地力、促进再生季水稻生长有明显作用。

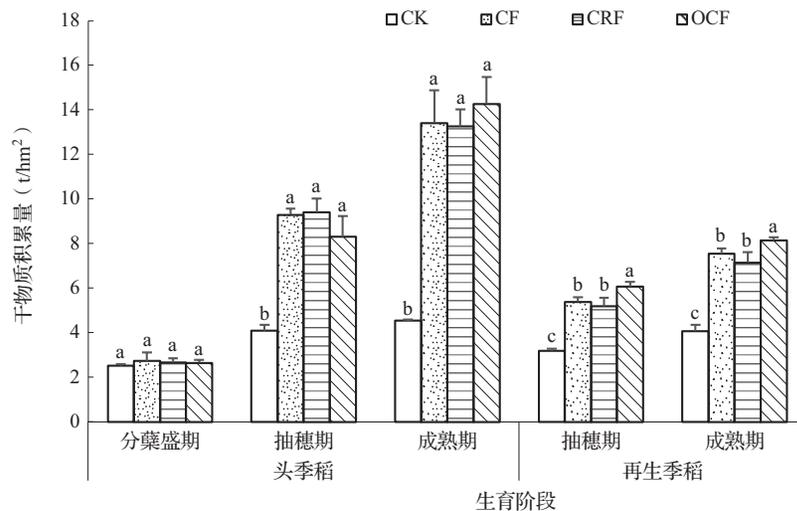


图 3 不同施肥处理下头季稻和再生稻的干物质积累

综上, 不同处理对头季稻和再生稻 LAI、叶片 SPAD 值和 DW 的影响分析, 从兼顾头季稻和再生稻的生长考虑, 建议施肥方案首选 CRF, 其次是 OCF。

## 2.3 不同施肥处理对水稻产量、产量构成和氮素利用率的影响

### 2.3.1 对头季稻产量及产量构成的影响

由表 3 可看出, CF、CRF 和 OCF 处理之间的产

量差异不显著, 但它们的产量都显著高于 CK; 各处理在有效穗数上的表现为  $CF > CRF > OCF > CK$ , 在每穗粒数和结实率上表现为  $OCF > CRF > CF > CK$ 。

### 2.3.2 对再生稻产量及产量构成的影响

由表 4 试验结果可知, 3 种处理 CF、CRF、OCF 在产量构成上并无显著差异, 从再生稻产量看以施肥处理 OCF 效果最佳, CRF 次之, 即基施有

表 3 不同施肥处理下头季稻的产量及产量构成

施肥处理	有效穗数 (穗/m <sup>2</sup> )	每穗粒数 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒重 (g)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
CK	132.38 ± 1.81c	112.99 ± 2.97c	75.26 ± 1.20b	22.10 ± 0.72a	2245.30 ± 106.49b
CF	374.33 ± 30.96a	125.00 ± 2.74b	78.01 ± 2.36ab	20.62 ± 0.36b	7356.25 ± 246.38a
CRF	328.20 ± 13.54b	141.59 ± 4.02a	79.51 ± 3.13a	20.49 ± 0.43b	7332.95 ± 405.49a
OCF	325.83 ± 3.81b	146.97 ± 3.65a	79.78 ± 0.43a	20.38 ± 0.25b	7356.80 ± 80.59a

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

表 4 不同施肥处理下再生稻的产量及产量构成

施肥处理	有效穗数 (穗/m <sup>2</sup> )	每穗粒数 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒重 (g)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
CK	212.04 ± 10.06b	38.30 ± 1.27b	90.67 ± 2.52a	24.75 ± 0.59a	1887.30 ± 74.95c
CF	386.27 ± 19.49a	59.12 ± 1.69a	86.00 ± 1.00b	23.57 ± 0.27b	4498.65 ± 245.88b
CRF	382.02 ± 11.94a	59.84 ± 1.38a	87.33 ± 2.52ab	23.91 ± 0.40b	4594.05 ± 159.60b
OCF	370.95 ± 13.41a	60.62 ± 0.43a	87.67 ± 1.53ab	23.21 ± 0.30b	4897.60 ± 89.25a

机无机复混肥对再生季水稻增效最明显，基施缓控释复合肥增产效果较好。

### 2.3.3 对水稻总产与氮素利用的影响

由表 5 试验结果可以看出，CF、CRF、OCF 处理下两季水稻的总产量和氮素利用率均无显著差异，相对而言，OCF 处理的产量最高。

表 5 不同施肥处理下水稻的总产量及氮素利用率

施肥处理	总产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	氮素农学效率 (kg/kg)	氮素偏生产力 (kg/kg)
CK	4132.57 ± 178.63b		
CF	11854.85 ± 434.02a	45.43 ± 2.55a	69.74 ± 2.55a
CRF	11926.99 ± 450.80a	45.85 ± 2.65a	70.16 ± 2.65a
OCF	12254.40 ± 53.36a	47.77 ± 0.32a	72.08 ± 0.32a

## 3 讨论

再生稻可提高我国种植一季水稻热量有余而双季水稻热量不足地区水稻的复种指数，是一种提高水稻产量和农民经济收入的稻作模式。早稻-再生稻模式从移栽至成熟，一般由 4 月中下旬至 10 月中下旬。对于江汉平原稻麦、稻油轮作稻田而言，其冬季作物的生长时间与早稻-再生稻生长时间冲突<sup>[20]</sup>，加之种植绿肥因光、温资源不足，出苗差，实行早稻-再生稻模式的稻田通常冬季闲置，这不利于充分利用耕地资源。本研究中，两优 1208 作中稻-再生稻移栽至成熟的生长时间在 6 月 1 日

至 10 月上旬，为冬季作物的生长提供了充足的时间，也为冬季作物类型、品种和播期提供了更多的选择。可以有效解决早稻-再生稻模式中冬闲田问题，有助于提高土地利用率和生产率。

水稻各生育阶段的 LAI、SPAD 值和 DW 体现了水稻的生长状况<sup>[21]</sup>。本研究中，基施复合肥、追施氮肥和钾肥 (CF) 对增加头季稻生长前期的 LAI 和 SPAD 值效果最明显，基施缓控释复合肥、追施氮肥和钾肥 (CRF) 对增加头季稻生长后期的 LAI 效果最好，基施缓控释复合肥和有机无机复混肥、追施氮肥和钾肥 (即施肥处理 CRF 和 OCF) 对增加再生季稻的 LAI 和 SPAD 效果较好，基施有机无机复

混肥、追施氮肥和钾肥(即处理 OCF)对增加再生季水稻的 DW 最明显。试验结果表明,基施复合肥主要促进了头季稻前期生长,基施缓控释复合肥主要促进了头季稻生长后期和再生季水稻的生长,基施有机无机复混肥主要促进了再生季水稻的生长,这与不同肥源氮素释放差异有关,复合肥所含的养分多为速效养分,可更快速直接被水稻吸收利用<sup>[22]</sup>;缓控释肥因养分释放较慢<sup>[23]</sup>,可促进头季稻后期生长和再生季水稻生长;有机无机复混肥中养分释放同样较慢,且有机养分需要通过土壤微生物矿化,转化为无机养分才能被植物快速吸收,所以有机无机复混肥养分完全释放需要的时间更长<sup>[24]</sup>,因此可促进再生季水稻的生长。

本研究中,在基肥和蘖肥中施用氮肥比例较高,增强了水稻生长前中期营养结构,提高了“库容”,但生长后期积累的碳水化合物不能完整地填充所有的稻谷<sup>[25]</sup>,这也再次证明了在自然条件下,前期氮肥施用量与产量构成因子往往呈负相关<sup>[26]</sup>。头季稻中复合肥的有效穗数显著高于缓控释肥和有机无机复混肥,而每穗粒数反之,原因主要是复合肥中养分释放的速度大于缓控释肥和有机无机复混肥<sup>[23-24]</sup>,复合肥所含养分主要促进了分蘖的发生,而缓控释肥和有机无机复混肥主要促进了颖花的形成。与不施氮肥相比,3种施肥处理下两季水稻的产量、氮素农学效率和氮素偏生产力均无显著差异,说明在各处理相应的有效养分(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O)施用总量相同的情况下,来自不同肥源的氮素不会显著影响水稻产量。但由于肥料成本和用工成本差异,单位面积稻谷生产的利润可能有所不同。

#### 4 结论

在两优 1208 作为中稻-再生稻种植条件下,在 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 施用量分别为 120、63 和 135 kg/hm<sup>2</sup> 时,本试验研究有如下主要结论:

(1) 对于再生季水稻产量,基施有机无机复混肥的效果最好,其次是基施缓控释复合肥。

(2) 分别以基施复合肥、有机无机复混肥、缓控释复合肥为主,并追施氮、钾肥,对两优 1208 的生育期无明显影响,也对两季水稻总产和氮肥利用率的影响均不显著。

(3) 基施复合肥有利于促进头季稻前中期生长,基施缓控释复合肥可促进头季稻后期和再生季水稻

的生长,基施有机无机复混肥可促进再生季水稻的生长。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 胡志华,李大明,徐小林,等.再生稻轻简化种植技术研究进展[J].中国稻米,2017,23(3):13-17.
- [3] Saeed F, Nikkhah A, Aminpanah H, et al. Rice single cropping or ratooning agro-system: which one is more environment-friendly? [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2018, 25(32): 32246-32256.
- [4] Lin W X. Developmental status and problems of rice ratooning [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2019, 18(1): 246-247.
- [5] 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.
- [6] 武茹,王姣梅,夏胜明,等.长江中下游地区杂交中稻再生稻品种适应性的综合评价与筛选[J].华中农业大学学报,2020,39(3):19-27.
- [7] Xu G W, Lu D K, Wang H Z, et al. Morphological and physiological traits of rice roots and their relationships to yield and nitrogen utilization as influenced by irrigation regime and nitrogen rate [J]. Agricultural Water Management, 2018, 203: 385-394.
- [8] Gui C, Zhao G H, Cheng W D, et al. Rice nitrogen use efficiency does not link to ammonia volatilization in paddy fields [J]. Science of the Total Environment, 2020, 741: 140433.
- [9] Li P F, Lu J W, Wang Y, et al. Nitrogen losses, use efficiency, and productivity of early rice under controlled-release urea [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2018, 251: 78-87.
- [10] 张刚,王德建,俞元春,等.秸秆全量还田与氮肥用量对水稻产量、氮肥利用率及氮素损失的影响[J].植物营养与肥料学报,2016,22(4):877-885.
- [11] 陆海飞,郑金伟,余喜初,等.长期有机无机肥配施对红壤性水稻土微生物群落多样性及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(3):632-643.
- [12] 刘红江,陈虞雯,孙国峰,等.有机肥-无机肥不同配施比例对水稻产量和农田养分流失的影响[J].生态学杂志,2017,36(2):405-412.
- [13] Zhang M, Yao Y L, Tian Y H, et al. Increasing yield and N use efficiency with organic fertilizer in Chinese intensive rice cropping systems [J]. Field Crops Research, 2018, 227: 102-109.
- [14] Ding W C, Xu X P, He P, et al. Improving yield and nitrogen use efficiency through alternative fertilization options for rice in China: a meta-analysis [J]. Field Crops Research, 2018, 227: 11-18.
- [15] Wei H Y, Chen Z F, Xing Z P, et al. Effects of slow or controlled release fertilizer types and fertilization modes on yield and quality of rice [J]. Journal of Integrative Agriculture,

- 2018, 17 (10): 2222–2234.
- [16] Wang Y C, Zheng C, Xiao S, et al. Agronomic responses of ratoon rice to nitrogen management in central China [J]. *Field Crops Research*, 2019, 241: 107569.
- [17] 何爱斌, 于朋超, 陈乾, 等. 甬优 4949 和超优 1000 在华中地区再生稻种植的氮肥运筹研究 [J]. *中国水稻科学*, 2019, 33 (1): 47–56.
- [18] 胡香玉, 钟旭华, 彭碧琳, 等. 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.
- [19] 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.
- [20] 赵广才. 中国小麦种植区划研究 (一) [J]. *麦类作物学报*, 2010, 30 (5): 886–895.
- [21] Liu H Y, Won L P, Banayo P M, et al. Late-season nitrogen applications improve grain yield and fertilizer-use efficiency of dry direct-seeded rice in the tropics [J]. *Field Crops Research*, 2019, 233: 114–120.
- [22] Fei D, Wang L, Ren W J, et al. Optimized nitrogen managements and polyaspartic acid urea improved dry matter production and yield of indica hybrid rice [J]. *Soil & Tillage Research*, 2015, 145: 1–9.
- [23] 刘汝亮, 王芳, 王开军, 等. 不同类型肥料对东北地区稻田氮磷损失和水稻产量的影响 [J]. *灌溉排水学报*, 2018, 37 (10): 63–68.
- [24] 田亨达, 张丽, 张坚超, 等. 苏南地区稻麦轮作系统对不同有机无机复混肥的响应 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22 (11): 2868–2874.
- [25] Wang Z Q, Zhang W Y, Beebout S S, et al. Grain yield, water and nitrogen use efficiencies of rice as influenced by irrigation regimes and their interaction with nitrogen rates [J]. *Field Crops Research*, 2016, 193: 54–69.
- [26] Jiang S C. Effect of meteorology and soil fertility on direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.) performance in central China [J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2019, 17 (5): 12397–12406.

#### Effects of different fertilizer sources and fertilization management on growth and yield of medium rice-ratoon rice

ZHANG Hai-wei, JIANG Shuo-chen, KONG Pan, HU Feng-qin, DU Bin\*, ZHU Jian-qiang\* (College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou Hubei 434025)

**Abstract:** In view of the prominent problem that ratoon rice pattern based upon early rice is unfavorable for planting winter crops in Jiangnan Plain, the study on fertilization and efficiency improvement of ratoon rice pattern based upon medium rice can provide scientific basis for improving land use efficiency. The rice variety Liangyou 1208 was used as the experimental material. Fertilization treatments were carried out for the first season rice. The application of phosphorus and potassium fertilizer without nitrogen fertilizer was taken as the control (CK), and three application combinations of base fertilizer and top dressing were set up. The total available nutrients of each treatment were the same ( $N-P_2O_5-K_2O=120-63-135$  kg/hm<sup>2</sup>). Potassium fertilizer was applied as base fertilizer and panicle fertilizer with the equal amounts, and nitrogen fertilizer was applied as base fertilizer, tillering fertilizer and panicle fertilizer which had different proportions when they were applied into paddy field. The application ratio of N fertilizer as base fertilizer, tillering fertilizer and panicle fertilizer was 8 : 0 : 2 for CRF (controlled release fertilizer was used as base fertilizer) and 5 : 3 : 2 for CF (compound fertilizer was used as base fertilizer) and OCF (organic-inorganic compound fertilizer was used as basic fertilizer). The results showed that the whole growth period of Liangyou 1208 was 156 ~ 157 days. By observing leaf area index, SPAD and dry matter accumulation of rice under different fertilization treatments, it was found that compound fertilizer could promote the growth of first-season rice from its early stage to middle stage, controlled release fertilization could promote the growth of first-season rice in its late stage and the growth of ratoon rice, and organic-inorganic compound fertilizer could promote the growth of rice in regenerating season.

**Key words:** fertilizer sources; ratoon rice; growth; yield; Jiangnan Plain