

# 机械同步深施肥对水稻群体质量及产量的影响

潘圣刚<sup>1</sup> 莫钊文<sup>1</sup> 罗锡文<sup>2</sup> 王在满<sup>2</sup> 田 华<sup>1</sup> 段美洋<sup>1</sup> 唐湘如<sup>1</sup>

1. 华南农业大学农学院/农业部华南地区作物栽培科学观测实验站, 广州 510642;

2. 华南农业大学工程学院, 广州 510642

**摘要** 以超级杂交稻培杂泰丰和超级常规稻玉香油占为材料, 在大田条件下, 研究机械同步深施肥不同施肥量对直播水稻群体质量和产量的影响。结果表明, 在 0~1 500 kg/hm<sup>2</sup> 范围内, 施肥可以显著增加培杂泰丰和玉香油占的收获产量、单位面积穗数和每穗实粒数; 可以显著增加水稻株高和叶面积指数, 提高叶片 SPAD, 增加干物质积累总量, 从而明显改善水稻群体质量。

**关键词** 机械深施肥; 水稻; 直播; 群体质量; 产量

**中图分类号** S 511; S 504.8 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)02-0001-05

水稻是世界上主要的粮食作物, 中国是最大的水稻生产国, 目前水稻生产总量占世界的 35%<sup>[1]</sup>。我国的水稻种植方式主要以手工插秧为主, 手工插秧约占水稻种植面积的 60%~70%<sup>[2]</sup>, 但其作业条件艰苦、劳动强度大、占用人员多、作业效率低, 严重制约了水稻生产的可持续发展。与传统水稻种植方式相比, 水稻直播技术省却了育秧、拔秧、插秧等环节, 节省了大量时间和人力、财力、物力, 具有使复杂的种植程序得以简化、劳动力得到进一步解放、种植成本大大降低等优点<sup>[3-4]</sup>。与常规移栽稻相比, 水稻直播植株损伤轻, 根系入土浅, 带土带肥, 因而表现返青快, 分蘖早而多。近年来, 华南农业大学罗锡文院士<sup>[5]</sup>针对传统手工直播水稻生长无序、不匀、易倒伏、通风透气差、易感染病虫害等阻碍直播应用的难题, 成功研制了开沟起垄式水稻精量穴直播机, 可同步进行开沟、起垄和播种, 垄面上的播种小沟增加了水稻根系入土深度, 较好地解决了手工直播稻幼苗根系入土较浅而容易倒伏的问题, 同时株距可调, 行距可选, 有效控制高产品种的播种量和基本苗数, 变撒播田间的“无序”为“有序”, 改善了水稻生长的群体质量<sup>[6]</sup>。

水稻也是对氮磷钾等养分需求比较大的重要粮食作物之一。为了满足水稻的正常生长发育需要,

人们通常需要分次施用较多的肥料。常规肥料用量大、施用次数多, 已经不适应轻简化、高产高效栽培技术要求, 肥料开发力求缓/控释放营养以高效满足水稻生长发育需求, 技术力求轻简易行, 便于农民掌握和实施。基于这种形势, 华南农业大学农学院成功研制出水稻专用肥<sup>[7]</sup>; 使用鸡粪等废弃物代替部分化肥, 并保证矿质养分总量充分供给(该专用肥中有效成分的质量分数为: N 12.5%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6.0%、K<sub>2</sub>O 10.0%、有机质 15.0%)。目前, 此种肥料已经成为广东省水稻生产中的主推肥料之一。

水稻的精量穴直播技术是近年来才形成的一种新型的种植模式, 而肥料的深施技术又具有减少养分损失、提高养分利用效率等优点。但是, 由于肥料深施技术需要专门的施肥机械, 加上水田的特殊性和水稻生长与旱作作物的异同性, 对稻田深施肥机械提出了更高的要求。目前, 针对稻田深施肥技术而开展的研究较少, 本研究利用罗锡文院士研发设计的机械同步深施肥精量穴直播机械<sup>[8]</sup>, 探讨水稻专用肥(rice special fertilizer, RSF)不同用量对精量穴直播水稻群体质量和产量的影响, 以为水稻的精量穴直播技术的推广提供理论依据。

收稿日期: 2012-05-16

基金项目: 国家“863”计划项目(2006AA10A307)、广东省自然科学基金博士启动项目(S2011040004466)和教育部博士点基金项目(20104404120006)

潘圣刚, 博士, 讲师. 研究方向: 直播水稻肥料利用效率. E-mail: panshenggang@scau.edu.cn

通讯作者: 唐湘如, 教授. 研究方向: 水稻高产高效栽培. E-mail: tangxr@scau.edu.cn

# 1 材料与方 法

## 1.1 供试材料

供试水稻品种分别为超级杂交稻培杂泰丰和超级常规稻玉香油占,供试肥料类型为水稻专用肥(该专用肥中有效成分的质量分数为:N 12.5%、 $P_2O_5$  6.0%、 $K_2O$  10.0%、有机质 15.0%),均由华南农业大学农学院水稻研究所提供。同步深施肥精量穴直播机,由华南农业大学工程学院研制。

## 1.2 试验设计

试验于 2011 年在华南农业大学增城试验基地进行。水稻专用肥施用量分别为 0、1 200、1 500 kg/hm<sup>2</sup>,依次记作  $F_0$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 。试验采用裂区设计,肥料为主区,品种为副区,3 次重复,每个小区 150 m<sup>2</sup>。各个小区之间用塑料薄膜包埂,独立排灌。8 月 1 日播种,宽窄行种植,行株距分别为(35+15) cm×14 cm,每穴 3~5 粒,11 月 15 日收获。全生育期水分管理采用干湿交替灌溉模式,其他栽培技术措施按照高产田块进行。

## 1.3 测定指标及方法

1)株高。于水稻分蘖盛期、孕穗期、齐穗期和成熟期,每个小区从第 4 行连续选取有代表性水稻植株 8 蔸,测定从茎基部至顶叶叶片顶端长度。

2)叶面积指数。于水稻分蘖盛期、孕穗期、齐穗期和成熟期,每小区取代表性植株 5 蔸,分茎鞘、叶、穗,测定部分叶片的长和宽,用长×宽×校正系数法,求出其叶面积,校正系数取 0.75,已测叶面积在 105℃杀青 30 min,再转至 80℃烘干称取质量,采用质量法计算总叶面积,换算求出叶面积指数。

3)地上部干物质质量(生物量)。在水稻的分蘖盛期、孕穗期、齐穗期和成熟期,每个小区取代表性植株 5 蔸,将植株地上部分按茎、鞘、叶、穗分开,放在 105℃烘箱中杀青 30 min,在 80℃条件下烘干至恒定质量,冷却至室温后用 1/1 000 电子天平称取干质量。

4)叶片叶色(SPAD 值)。用日本 MINOLTA 生产 SPAD-502 型叶绿素计,选取 10 株健康主茎,分别测定其顶部第一片全展叶上部 1/3 处,中部和下部 1/3 处的 SPAD 值,取平均值,作为每张叶片的 SPAD 值。

5)室内考种项目及测定方法。谷粒成熟时,在每小区中央收割 15.0 m<sup>2</sup>单独脱粒,晒干称取质量,换算出每 667 m<sup>2</sup>实际产量(含水量为 14%)。同时

根据各个小区的平均有效穗选取 5 蔸带到室内考种,考察穗部的穗粒数、结实率(空粒率,秕谷率)及千粒重等性状。

## 1.4 数据处理

试验数据运用 SAS 和 Excel 数据分析软件进行分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同处理对水稻各生育时期株高的影响

株高是衡量水稻群体结构的重要指标。施肥( $F_1$ 、 $F_2$ )可以极显著增加水稻分蘖盛期、孕穗期和齐穗期的株高(表 1)。玉香油占和培杂泰丰水稻分蘖盛期、孕穗期和齐穗期的株高均是不施肥处理( $F_0$ )最低,其值分别为 50.88、60.30、87.50、47.38、61.48 和 94.25 cm,高肥处理( $F_2$ )水稻的株高显著高于其他处理。从水稻的生长时期来看,水稻的株高随着生育进程的推进逐渐增高,至齐穗期达到最大值。对不同品种而言,齐穗期培杂泰丰的株高显著高于玉香油占,其值分别为 109.92 和 101.83 cm。

表 1 不同处理水稻各生育时期株高的差异

品种 Variety	处理 Treatment	分蘖盛期 Mid-tillering stage	孕穗期 Booting stage	齐穗期 Heading stage
玉香油占 Yuxiangyouzhan	$F_0$	50.88 c	60.30 d	87.50 e
	$F_1$	72.93 b	96.75 a	110.50 bc
	$F_2$	79.05 a	92.00 b	107.50 c
	平均 Mean	67.62	83.02	101.83
培杂泰丰 Peizataifeng	$F_0$	47.38 c	61.48 d	94.25 d
	$F_1$	69.23 b	83.00 c	113.50 b
	$F_2$	79.65 a	93.95 ab	122.00 a
	平均 Mean	65.42	79.48	109.92

## 2.2 不同处理对水稻生育后期叶色(SPAD)的影响

水稻叶色 SPAD 值是衡量叶片氮素含量高低的重要指标。从表 2 可以看出,施肥可以显著增加水稻玉香油占和培杂泰丰齐穗期和成熟期剑叶的 SPAD 值。玉香油占和培杂泰丰水稻齐穗期和成熟期剑叶的 SPAD 值均是不施肥处理( $F_0$ )最低,其值分别为 28.77、20.15、32.72 和 27.21;高肥处理( $F_2$ )水稻叶片 SPAD 值较高。对于不同品种而言,超级杂交稻培杂泰丰齐穗期剑叶 SPAD 值显著高于超级常规稻玉香油占,其值分别为 41.16 和 37.28,而在成熟期,培杂泰丰剑叶 SPAD 值又显著低于常规稻玉香油占,说明杂交水稻培杂泰丰成熟

期的叶片易枯黄。从叶色 SPAD 值也可以看出,培杂泰丰叶色的变化率显著高于玉香油占。

表 2 不同处理水稻关键生育时期叶色 SPAD 差异

Table 2 SPAD in sword leaf at growth stage under different treatments

品种 Variety	处理 Treatment	齐穗期 Heading stage	成熟期 Maturity stage	变化率/% Decreased rate
玉香油占 Yuxiangyouzhan	F <sub>0</sub>	28.77 d	20.15 e	-29.95
	F <sub>1</sub>	43.67 a	43.60 a	-0.16
	F <sub>2</sub>	39.41 b	33.83 c	-14.16
	平均 Mean	37.28	32.53	-14.76
培杂泰丰 Peizataifeng	F <sub>0</sub>	32.72 c	27.21 d	-16.85
	F <sub>1</sub>	44.48 a	29.07 d	-34.65
	F <sub>2</sub>	46.29 a	36.58 b	-20.99
	平均 Mean	41.16	30.95	-24.16

2.3 不同处理对水稻各生育时期叶面积指数的影响

叶面积指数是衡量水稻群体光合面积的关键指标。从图 1 可以看出,施肥可以显著增加玉香油占和培杂泰丰水稻分蘖盛期、孕穗期和齐穗期的叶面积指数。不施肥处理玉香油占和培杂泰丰水稻分

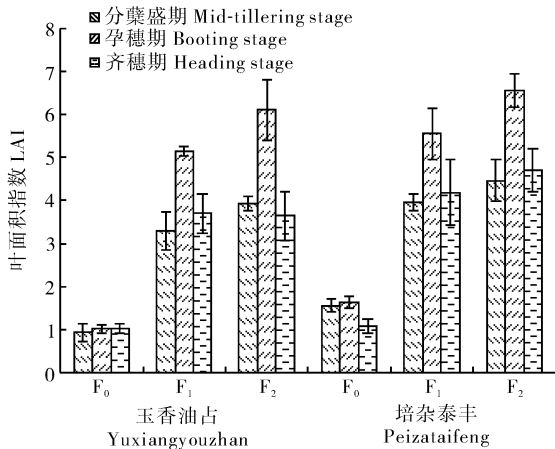


图 1 不同处理叶面积指数差异

Fig. 1 LAI under different treatments

表 3 不同处理水稻各生育时期群体生物量的差异<sup>1)</sup>

Table 3 Biomass at the growth stage under different treatments

t/hm<sup>2</sup>

品种 Variety	处理 Treatment	分蘖盛期 Mid-tillering stage			孕穗期 Booting stage			齐穗期 Heading stage			成熟期 Maturity stage		
		茎鞘质量 DWS	叶质量 DWL	总干质量 TDW	茎鞘质量 DWS	叶质量 DWL	总干质量 TDW	茎鞘质量 DWS	叶质量 DWL	总干质量 TDW	茎鞘质量 DWS	叶质量 DWL	总干质量 TDW
玉香油占 Yuxiangyouzhan	F <sub>0</sub>	1.07 c	0.85 c	1.93 c	1.97d	0.82 c	2.79 c	5.36 b	1.21 b	6.56 b	3.64 b	0.24 c	3.76 d
	F <sub>1</sub>	1.90 a	2.51 a	4.41 a	5.12 ab	3.36 a	8.48 a	6.73 ab	1.87 a	8.61 a	4.77 a	1.46 a	6.03 bc
	F <sub>2</sub>	2.02 a	2.56 a	4.58 a	5.40 a	3.45 a	8.85 a	7.33 a	1.82 a	9.14 a	4.67 a	1.10 b	5.34 c
	平均 Mean	1.66	1.97	3.64	4.16	2.54	6.71	6.47	1.63	8.10	4.36	0.93	5.04
培杂泰丰 Peizataifeng	F <sub>0</sub>	1.27 bc	1.11 c	2.38 c	4.43 bc	1.81 c	6.23 b	6.49 ab	1.07 b	7.56 ab	3.80 ab	0.32 c	5.66 bc
	F <sub>1</sub>	1.57 ab	1.96 b	3.53 b	3.79 c	2.81 b	6.60 b	6.47 ab	1.65 a	8.13 ab	4.69 a	0.96 b	7.25 a
	F <sub>2</sub>	1.59 ab	2.25 ab	3.84 ab	4.38 bc	3.71 a	8.09 a	6.98 a	1.80 a	8.77 a	4.04 ab	1.09 b	6.55 ab
	平均 Mean	1.48	1.77	3.25	4.20	2.78	6.97	6.65	1.51	8.15	4.18	0.79	6.49

1)DWS;Dry material weight of stem; DWL;Dry material weight of leaf; TDW;Total dry material weight.

蘖盛期、孕穗期和齐穗期的叶面积指数最低,其值分别为 0.94、1.02、1.03、1.56、1.64 和 1.08,而高肥处理水稻的叶面积指数最大。从整个生育期来看,玉香油占和培杂泰丰孕穗期的叶面积指数达到最大值,高肥处理玉香油占和培杂泰丰孕穗期的叶面积指数分别为 6.10 和 6.55。

2.4 不同处理对水稻各生育时期群体生物量的影响

从表 3 可以看出,不同施肥处理对玉香油占和培杂泰丰水稻各生育时期(分蘖盛期、孕穗期、齐穗期和成熟期)的生物量均产生显著影响。施肥可以显著增加玉香油占和培杂泰丰各生育时期的茎鞘干质量、叶片干质量以及总干质量,不施肥处理最低。随着生育进程的推进,2 种不同基因型水稻的干物质质量呈现出逐渐增加的趋势,在成熟期达到最大值。不同基因型水稻成熟期的叶干质量、穗干质量及总干质量存在显著差异,均是超级杂交稻培杂泰丰叶干质量、穗干质量及总干质量显著高于超级常规稻玉香油占。

2.5 不同处理对水稻产量及其构成因素的影响

从表 4 可以看出,施肥对不同基因型水稻产量及构成因子产生显著影响。施肥(F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>)可以显著增加水稻玉香油占和培杂泰丰的收获产量。不施肥处理水稻(玉香油占和培杂泰丰)的收获产量最低,分别为 4.03、4.64 t/hm<sup>2</sup>。培杂泰丰和玉香油占中肥处理(F<sub>2</sub>)的收获产量显著高于其他处理,其值分别为 6.45 t/hm<sup>2</sup>和 5.84 t/hm<sup>2</sup>。而且,中肥处理对水稻单位面积有效穗数、每穗总粒数和结实率均产生显著影响。不施肥处理培杂泰丰和玉香油占的千粒重均显著高于其他处理。对不同品种而言,培杂泰丰单位面积有效穗数极显著高于玉香油占,其值分别为 283.86、232.92 穗/m<sup>2</sup>;而结实率和千粒重却显著低于玉香油占。

表 4 不同处理水稻产量及其构成因子的差异

Table 4 Yield and its components under different treatments

品种 Variety	处理 Treatment	有效穗/(穗/m <sup>2</sup> ) Valid panicle	总粒数 Total grains	结实率/% Setting seed rate	千粒重/g 1 000-seed-weight	收获产量/(t/hm <sup>2</sup> ) Harvest yield
玉香油占 Yuxiangyouzhan	F <sub>0</sub>	191.10 d	49.41 d	89.28 bc	25.42 a	4.03 d
	F <sub>1</sub>	265.33 bc	135.22 ab	93.87 ab	22.89 c	5.84 ab
	F <sub>2</sub>	242.33 cd	121.98 b	92.82 ab	24.01 b	5.33 bc
	平均 Mean	232.92	102.20	91.99	24.11	5.06
培杂泰丰 Peizataifeng	F <sub>0</sub>	212.84 cd	82.18 cd	82.56 d	23.21 c	4.64 cd
	F <sub>1</sub>	328.41 a	163.26 a	88.39 c	20.80 e	6.45 a
	F <sub>2</sub>	310.33 ab	111.23 bc	95.78 a	21.76 d	5.60 b
	平均 Mean	283.86	118.89	88.91	21.92	5.56

### 3 讨论

以高产、优质、高效、生态、安全为主要目的的农业生产,必须需要一个优良的作物群体质量。即在保证个体数量一定的基础之上,不断改善作物群体结构,优化作物群体质量<sup>[9]</sup>。本研究结果表明,机械同步深施肥对不同基因型水稻(超级常规稻玉香油占和超级杂交稻培杂泰丰)的群体质量及产量也产生重要影响。在 0~1 500 kg/hm<sup>2</sup> 水稻专用肥施用量范围内,施肥可以显著增加水稻玉香油占和培杂泰丰各生育时期的株高,增加水稻生长后期的叶色 SPAD 值,扩大水稻分蘖盛期、孕穗期和齐穗期的叶面积指数,增加水稻干物质的积累量,从而提高了水稻的收获产量,而 F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 处理水稻产量差异不显著。水稻产量的增加主要是由于施肥显著增加了水稻单位面积有效穗数、每穗总粒数、结实率和千粒重。而且,超级杂交稻培杂泰丰的产量明显高于玉香油占,增加幅度达到 9.88%。这主要因为超级杂交稻培杂泰丰分蘖能力较强,单位面积有效穗数较多的缘故。然而,与常规施肥条件下水稻收获产量<sup>[10-11]</sup>相比,本试验水稻的收获产量并不是太高,一方面由于本试验肥料施用量较少,其次就是直播水稻要想高产丰产,播种后确保全苗和搞好田间的杂草防治是直播水稻田间管理的重要环节。

施肥可以促进水稻早分蘖,形成较多的有效分蘖,从而确保水稻收获时具有较多的穗数和每穗较多的实粒数。而且,还可以增加水稻关键生育时期的株高和叶面积指数,优化群体质量,促进中后期群体干物质积累量增多<sup>[12-13]</sup>。本试验条件下,玉香油占和培杂泰丰成熟期的干物质积累总量分别达到

10.34 和 11.45 t/hm<sup>2</sup>,而且有更多的干物质转移到籽粒中去。施肥也显著增加了水稻齐穗期剑叶的 SPAD,延缓了水稻成熟期剑叶的枯黄衰老。超级杂交稻培杂泰丰齐穗期的 SPAD 值显著高于玉香油占,但是,齐穗后 SPAD 值衰减率又明显大于玉香油占,主要是因为杂交水稻培杂泰丰对肥料的需要量大而且在肥料缺乏时又表现比较敏感,这也充分说明了后期保持较高的 SPAD 值是提高水稻千粒重的关键。试验结果也表明,在深施肥条件下,水稻肥料的利用效率显著提高(另文发表),从而起到降低肥料损失,减轻肥料对环境污染的影响,这也与前人的研究结果基本一致<sup>[14-16]</sup>,但是,对于不同基因型水稻采用深施肥直播技术时,选择的肥料类型及肥料适宜用量还需要进一步深入研究。

### 参 考 文 献

- [1] 青先国,杨光立,肖小平,等.论我国中部崛起中的水稻产业发展战略[J].农业现代化研究,2006,27(2):81-86.
- [2] 朱德峰,陈惠哲,徐一成.我国水稻种植机械化的发展前景与对策[J].农业技术与装备,2007(5):13-18.
- [3] 李杰,张洪程,董洋阳,等.不同生态区栽培方式对水稻产量、生育期及温光利用的影响[J].中国农业科学,2011,44(13):2661-2672.
- [4] 舒时富,唐湘如,罗锡文,等.机械深施缓释肥对精量穴直播超级稻生理特性的影响[J].农业工程学报,2011,27(3):89-92.
- [5] 罗锡文,刘涛,蒋恩臣,等.水稻精量穴直播排种轮的设计与试验[J].农业工程学报,2007,23(3):108-112.
- [6] 罗锡文,蒋恩臣,王在满,等.开沟起垄式水稻精量穴直播机的研制[J].农业工程学报,2008,24(12):52-56.
- [7] 李武,康靓,唐湘如,等.双季超级稻强源活库优米栽培技术研究 IV.超级稻专用肥对超级杂交稻源库特性的影响[J].杂交水稻,2010,25(2):73-77.
- [8] 王在满,罗锡文,唐湘如,等.基于农机与农艺相结合的水稻精

- 量穴直播技术及机具[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(1): 91-95.
- [9] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海: 上海科技出版社, 2000.
- [10] 张自常, 徐云姬, 褚光, 等. 不同灌溉方式下的水稻群体质量[J]. 作物学报, 2011, 37(11): 2011-2019.
- [11] 张祖建, 谢成林, 谢仁康, 等. 苏中地区直播水稻的群体生产力及氮肥运筹的效应[J]. 作物学报, 2011, 37(4): 677-685.
- [12] 李承力, 杨特武, 徐君驰, 等. 丹江口市库区麦套稻适宜施肥量及养分利用率研究[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(5): 532-538.
- [13] 程建平, 赵锋, 游爱军, 等. 赤霉素喷施量及时期对水稻穗层整齐度和产量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(6): 657-662.
- [14] ANDO H, KAKUDA K, NAKAYAMA M, et al. Yield of no-tillage direct-seeded lowland rice as influenced by different sources and application methods of fertilizer nitrogen[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2000, 46(1): 105-115.
- [15] BAUTISTA E U, SUMINISTRADO D C, KOIKE M. Mechanical deep placement of fertilizer in puddled soils: evaluation of nitrogen losses and yield of transplanted and direct-seeded rice[J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 2000, 62(1): 146-157.
- [16] WANG C. Response of rice yield to deep placement of fertilizer and nitrogen top-dressing during panicle initiation stage and its diagnosis of fertilizer application[J]. Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science, 2004, 42(5): 383-395.

## Effects of deeply mechanized fertilizer application on the quality and grain yield of direct seedling rice

PAN Sheng-gang<sup>1</sup> MO Zhao-wen<sup>1</sup> LUO Xi-wen<sup>2</sup>

WANG Zai-man<sup>2</sup> TIAN Hua<sup>1</sup> DUAN Mei-yang<sup>1</sup> TANG Xiang-ru<sup>1</sup>

1. College of Agronomy, South China Agricultural University/  
Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in South China,  
Ministry of Agriculture, Guangzhou 510642, China;

2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

**Abstract** Effects of deeply mechanized fertilizer application on the quality and grain yield of direct seedling rice were studied using super hybrid rice Peizataifeng and super inbred rice Yuxiangyouzhan as samples in field trials. The results showed that grain yields were increased significantly when the increase of rice special fertilizer rate ranged from 0 to 1 500 kg/hm<sup>2</sup>. The number of effective panicle per m<sup>2</sup> and solid grain per panicle were increased. More application of rice special fertilizer would increase plant height, index of leaf area, SPAD in sword leaf at late stage, and total dry mass weight of rice. The results indicated that deeply mechanized fertilizer application can improve quality of rice significantly.

**Key words** deeply mechanized fertilizer application; rice; direct seedling; population quality; yield

(责任编辑:张志钰)