

机械定位深施超级稻专用肥提高土壤肥力和稻产量

舒时富^{1,2}, 唐湘如^{1*}, 罗锡文^{3,4}, 张国忠^{3,4,5}, 黎国喜¹, 段美洋¹,
李艳大², 陈立才², 廖禹², 药林桃², 叶春²

(1. 华南农业大学农学院, 广州 510642; 2. 江西省农业科学院农业工程研究所, 南昌 330200; 3. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 4. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642; 5. 华中农业大学工学院, 武汉 430070)

摘要: 为了探讨机械定位深施超级稻专用肥对提高土壤肥力和超级稻产量的作用, 采用大田试验, 调查研究了机械定位深施超级稻专用肥 900 kg/hm²、机械定位深施超级稻专用肥 1 200 kg/hm² 和人工面施超级稻专用肥 1 200 kg/hm² 3 个处理对双季稻收获后稻田土壤养分、理化性质和超级稻产量的影响。结果表明: 与人工撒施肥比较, 2 个机械定位深施超级稻专用肥处理均显著提高了土壤中的养分和大团聚体的含量, 并使土壤中酶活性和超级稻实际产量显著增加。其中土壤有机质、全氮、水解性氮、全磷、速效磷、全钾和速效钾的含量, 分别平均增加 5.11%~6.34%、4.45%~5.13%、5.37%~5.95%、3.82%~4.51%、5.34%~6.12%、3.18%~4.20% 和 6.14%~7.12%; 土壤中大于 0.25 mm 团聚体的含量提高了 13.12%~17.36%; 土壤中脲酶、过氧化氢酶和蔗糖酶活性分别提高了 5.16%~6.21%、8.64%~9.25% 和 10.13%~11.04%; 2 个超级稻品种的实际产量分别平均增加了 3.8%~5.6% 和 8.4%~10.0%, 有效穗数、每穗粒数和结实率分别平均提高了 5.0%~12.4%、2.8%~8.8% 和 1.8%~4.7%。2 个机械定位深施超级稻专用肥的处理对土壤肥力、土壤理化性质和超级稻产量的作用差异不显著, 但机械定位深施超级稻专用肥 900 kg/hm² 处理较机械定位深施超级稻专用肥 1 200 kg/hm² 处理的肥料用量减少了 25%, 具有节本增效的优点, 更适宜在超级稻生产上应用。

关键词: 土壤, 农业机械, 肥料, 机械定位深施肥, 土壤理化性质, 超级稻

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.002

中图分类号: S147.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0009-06

舒时富, 唐湘如, 罗锡文, 等. 机械定位深施超级稻专用肥提高土壤肥力和稻产量[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 9-14.

Shu Shifu, Tang Xiangru, Luo Xiweng, et al. Deep mechanized application of super rice special fertilizer increasing soil fertility and yield of super rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 9-14. (in Chinese with English abstract)

0 引言

目前中国水稻种植正以高投入获取高产出, 化肥施用量目前占全世界 35%, 为世界第一^[1-2], 但其有效利用率却较低, 平均不足 30%^[3]。化肥的大量施用, 不仅增加了成本, 还使土壤理化性状降低、

土壤板结和肥力下降。同时肥料的大量流失, 也导致了严重的环境污染^[4-7]。

提高肥料利用率主要有 2 种方法: 一是改变施肥方式, 通过深施肥有效减少肥料挥发和流失等, 肥料可利用率达 50% 以上^[8]; 二是施用有机肥、水稻专用肥、缓释肥等。有机肥的施用, 不仅可以提高肥料利用率, 还可以有效提高土壤理化性质, 改良土壤长期施用化学肥料导致的一系列问题^[9]。超级稻专用肥是根据水稻生长特性研制的专用肥料, 能提供必需的氮磷钾养分, 增加土壤中有机质含量, 其增产稳产的效果突出^[10]。同步开沟起垄定位施肥水稻精量旱穴直播机, 可同步完成开沟、起垄、定位施肥、覆盖和播种作业, 在种沟水平距离 100~120 mm 处开出宽 50 mm、深 50~70 mm 的施肥沟, 较好的解决了水稻种植中肥料深施的问题^[11-14]。肥料深施具有提高肥料利用率, 增幅 20% 以上; 提升产量, 产量增幅约 30%; 同时节肥 30%, 降低成本,

收稿日期: 2013-07-26 修订日期: 2013-10-26

基金项目: 广东省科技计划项目“优质水稻高产高效安全生产技术集成与示范”(2011AO20202001); 国家自然科学基金“水氮互作对香稻糙米香气 2-乙酰-1-吡咯啉形成的影响及机理”(31271646); 江西省农科院基金“机插水稻生育期延长的生理原因及调控技术研究”(2011CQN010); 公益性行业专项“水稻机械化精准种植模式与关键技术集成示范”(201203059)。

作者简介: 舒时富(1986—), 男, 安徽繁昌县人, 从事农机与农艺结合方向的研究。南昌 江西省农业科学院农业工程研究所, 330200。

Email: shushifu1986@163.com

※通信作者: 唐湘如(1964—), 男, 湖南宁乡人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事作物栽培和生理研究。广州 华南农业大学农学院, 510642。Email: tangxr@scau.edu.cn

提高效益;提高水稻生理抗性等特点^[15-16]。本研究采用同步开沟起垄定位施肥水稻精量旱穴直播机对超级稻专用肥进行深施,探讨其对土壤养分和一些理化性质的影响,为机械定位深施超级稻专用肥对土壤改良提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与机具

试验品种:早稻品种为优质超级杂交籼稻培杂泰丰,晚稻品种为常规优质超级稻玉香油占。施用肥料为超级稻专用肥[粤农肥(2010)准字 0340],该肥有效成分的质量分数为:N 12.5%、P₂O₅ 6.0%、K₂O 10.0%、有机质 15.0%。深施肥机具为:2BDHF-8 型同步开沟起垄定位施肥水稻精量穴直播机。

1.2 试验设计与实施

试验设置为:机械定位深施基肥超级稻专用肥 900 kg/hm² (T1)、机械定位深施基肥超级稻专用肥 1 200 kg/hm² (T2) 和人工撒施基肥超级稻专用肥 1 200 kg/hm² (CK),早、晚稻施肥量均相同。采用机械播种时同步 1 次深施,离水稻种子侧边 10 cm,深度 7 cm 开沟施肥。播种的密度为 25 cm×12 cm,播种量:杂交稻每穴 3~5 粒,常规

稻每穴 5~7 粒。随机区组排列,3 次重复,小区面积约为 30.4 m²。于 2011 年在广州市的华南农业大学科研农场进行,早稻为 3 月 28 日直播,7 月 15 日收获;晚稻 7 月 26 日直播,11 月 13 日收获。化除治虫、管水等其他农艺管理保持一致。

试验前对试验田基本土壤肥力进行测定,具体数值见表 1。在双季稻收获后,用取土钻对各小区 0~20 cm 深度土层进行 5 点取样,凉干后进行测试。土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法测定,全氮含量采用凯氏定氮法测定,水解氮含量采用碱解蒸馏法测定,全磷含量采用 HClO₄-H₂SO₄ 消煮法测定,速效磷含量采用钼蓝比色法测定,全钾含量采用氢氧化钠碱熔-火焰光度计测定法,速效钾采用火焰光度计法测定,团聚体采用干筛法测定,具体方法参照《土壤学实验指导教程》^[17]。脲酶活性采用靛酚蓝比色法测定^[18],过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定^[19],蔗糖酶活性采用二硝基水杨酸比色法测定^[18]。

1.3 数据处理

用 Excel 软件进行试验数据处理和相关分析,DPS 软件进行方差分析,LSD 检验法进行多重比较。

表1 试验田土壤基本养分含量
Table 1 Basic nutrient contents of experimental field soil

pH 值 pH value	有机质质量分数 Organic matter (g·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen (g·kg ⁻¹)	水解性氮 Hydrolysable nitrogen (mg·kg ⁻¹)	全钾 Total potassium (g·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium (mg·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus (g·kg ⁻¹)	速效磷 Available phosphorus (mg·kg ⁻¹)
5.7	22.54	2.78	110.87	13.04	132.78	12.89	28.54

2 结果与分析

2.1 土壤养分

有机质是土壤的重要组成部分,含量虽少,但对土壤肥力起重要作用。土壤有机质是土壤中各种营养元素的重要来源,可改善土壤理化性状,对水稻土壤的调节具有重要作用,土壤中有有机质含量的高低是土壤肥力的重要评价指标。从表 2 可以看出,有机质含量以 T2 最高,T1 次之,2 者在 5% 水平差异不显著,但均显著高于 CK,平均分别增加 5.11% 和 6.34%。

全氮量包括土壤中有机态氮和无机态氮的总含量,表明土壤中氮的总储量。表 2 中,T1 和 T2 2 个机械深施肥处理的全氮含量比 CK 分别提高了 4.45% 和 5.13%,但差异并不显著。水解性氮又称有效氮,用于了解土壤中的肥料状况和有机质矿化程度,反映了短期内土壤氮素的供应水平。由表 2 可知,T1 和 T2 2 个机械深施肥处理的水解性氮

含量均显著高于人工撒施肥处理(CK),平均分别增幅达 5.37% 和 5.95%。

全磷量是土壤中有机磷和无机磷的总和,可以了解土壤中能够逐渐被植物利用及易吸收的磷贮备量。土壤中的速效磷是指能为当季作物吸收利用的磷。全磷和速效磷反映土壤磷素的供应状况。由表 2 可知,T2 处理的全磷和速效磷含量均最高,T1 次高,均显著高于 CK,分别提高达 3.82%~4.51% 和 5.34%~6.12%。

钾是水稻生长必需元素之一,土壤的供钾水平直接影响水稻对钾素的吸收,特别是速效钾含量,直接反映土壤的供钾能力。在表 2 中,速效钾含量以 T2 最高,T1 次高,均显著高于 CK。而全钾含量 T1 和 T2 分别较 CK 高 3.18% 和 4.20%,但差异不显著。

说明在施肥量相同和减量 25% 的条件下,机械深施肥较撒施肥,均可以有效提高土壤中的有机质含量和氮、磷、钾养分含量。

表 2 不同施肥处理对土壤养分的影响

Table 2 Effects of different fertilization treatments on soil nutrient contents

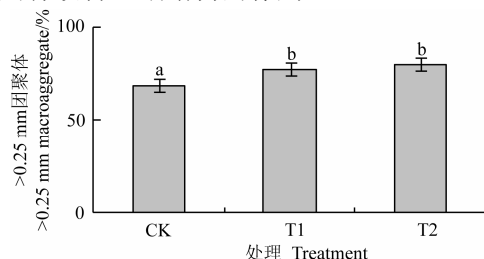
处理 Treatment	有机质质量分数 Organic matter (g·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen (g·kg ⁻¹)	水解性氮 Hydrolysable nitrogen (mg·kg ⁻¹)	全钾 Total potassium (g·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium (mg·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus (g·kg ⁻¹)	速效磷 Available phosphorus (mg·kg ⁻¹)
CK	23.21a	2.90a	120.82a	13.70a	140.61a	13.80a	29.72a
T1	24.38b	3.03a	127.29b	14.14a	149.23b	14.33b	31.29b
T2	24.67b	3.05a	127.99b	14.28a	150.61b	14.42b	31.52b

注：同列数据不同字母表示差异达显著水平($P<0.05$)，CK：人工撒施基肥超级稻专用肥 1 200 kg/hm²，T1：机械定位深施基肥超级稻专用肥 900 kg/hm²，T2：机械定位深施基肥超级稻专用肥 1 200 kg/hm²，下同。

Note: In the same series, values with different lower letters mean the difference is significant ($P<0.05$). CK: Manual broadcast application of the super rice specialized fertilizer of 1 200 kg/hm², T1: Deep mechanized application of super rice specialized fertilizer of 900 kg/hm², T2: Deep mechanized application of super rice specialized fertilizer of 1 200 kg/hm², the same as below.

2.2 土壤大团聚体

土壤团聚体是土壤肥力的物质基础，也是土壤保水、保肥的基础。>0.25 mm 的团聚体是土壤结构的主要组成部分。具有良好结构的土壤，其孔隙度、保水性和透气性均较高，能够促进水稻的生长。从图 1 可知，>0.25 mm 的团聚体含量以 T2 最高，T1 次高，2 者均显著高于 CK。2 种机械深施肥处理的大团聚体含量分别比撒施肥提高了 17.36% 和 13.12%。说明在施肥量相同和减量 25% 的条件下，机械深施肥均可以有效提高土壤中的大团聚体含量，具有改善土壤结构的作用。



注：CK：人工撒施基肥超级稻专用肥 1 200 kg/hm²，T1：机械定位深施基肥超级稻专用肥 900 kg/hm²，T2：机械定位深施基肥超级稻专用肥 1 200 kg/hm²，下同。

Note: CK: Manual broadcast application of the super rice specialized fertilizer of 1 200 kg/hm², T1: Deep mechanized application of super rice specialized fertilizer of 900 kg/hm², T2: Deep mechanized application of super rice specialized fertilizer of 1 200 kg/hm², the same as below.

图 1 不同机施肥处理对水稻土壤大团聚体的影响

Fig.1 Effects of different fertilization treatments on soil macro-aggregate

2.3 土壤酶活性

2.3.1 脲酶活性

脲酶能酶促土壤中尿素水解成氨，直接参与尿素等肥料的水解，决定着土壤中氮的转化。从图 2 中可以看出，T2 处理的脲酶含量最高，T2 和 T1 均显著高于 CK。2 个机械深施肥处理的脲酶含量比撒施肥处理分别提高了 6.21% 和 5.16%。说明在施肥量相同和减量 25% 的条件下，机械深施肥均可以有效提高土壤中的脲酶活性。

2.3.2 过氧化氢酶活性

土壤中的过氧化氢酶，不仅参与生物呼吸过程

中的物质代谢，还可解除在呼吸作用中产生的伤害活细胞的过氧化氢。由图 3 中可看出，过氧化氢酶活性以 T2 最高，T1 次高，较 CK 分别提高了 9.25% 和 8.64%，差异达显著水平。说明在施肥量相同和减量 25% 的条件下，机械深施肥均可以有效的提高过氧化氢酶活性的作用。

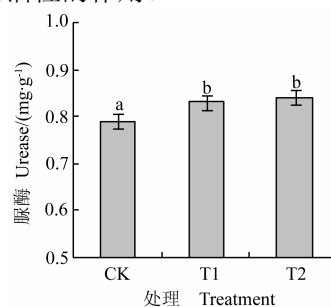


图 2 不同施肥处理对土壤脲酶活性的影响

Fig.2 Effects of different fertilization treatments on soil urease activity

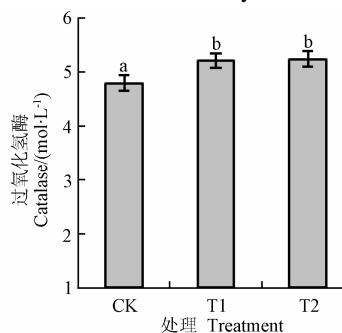


图 3 不同机施肥处理对过氧化氢酶活性的影响

Fig.3 Effects of different fertilization treatments on soil catalase activity

2.3.3 蔗糖酶活性

土壤蔗糖酶是一种土壤转化酶，其活性与土壤有机质、氮、磷等的含量和微生物的数量及土壤呼吸强度具有一定的关系，其酶促作用产物—葡萄糖也是植物和微生物的营养源，和作物的生长具有直接的关系，因此，土壤蔗糖酶活性的强弱很大程度反映了土壤的熟化程度和肥力水平，是土壤肥力的重要评价指标^[17]。从图 4 可知，与撒施肥比较，

2 个机械深施肥处理的蔗糖酶活性均显著提高, T1 和 T2 分别较 CK 提高了 10.13% 和 11.04%。说明在施肥量相同和减量 25% 的条件下, 机械深施肥也均可以有效提高土壤中的蔗糖酶活性。

2.4 产量和构成因子

2 个机械深施肥处理和人工撒施肥对水稻产量和产量构成因素的影响显著 (见表 3)。早稻和晚稻的产量均表现为 T2 最高, T1 次之, 2 者均显著高于 CK。T1 和 T2 产量显著增加的原因, 是其产量构成因子中的有效穗数、每穗粒数和结实率均显著高于 CK, 而千粒重 3 者之间差异不显著。早稻和晚稻的 2 个品种培杂泰丰和玉香油占表现的结果均相同。说明采用机械深施肥较人工撒施的水稻群体更合理, 可以有效提高水稻产量。

表 3 不同施肥处理对水稻产量及产量构成因子的影响

Table 3 Effects of three fertilization treatments on rice yield and its components

稻季、品种 Season and varieties	处理 Treatment	有效穗数 Effective panicles ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	每穗粒数 Grain number per panicle	结实率 Seed setting rate/%	千粒质量 1000-weight/g	理论产量 Theoretical yield ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	实际产量 Actual yield ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
早稻 Early rice 培杂泰丰 Peizataifeng	T1	325.80b	168.04a	87.6a	20.7a	9.93b	8.27b
	T2	343.35ab	160.22a	89.3a	21.1a	10.37ab	8.64ab
	CK	305.40c	155.86b	85.3b	21.3a	9.57c	7.97c
晚稻 Late rice 玉香油占 Yuxiangyouzhan	T1	317.10b	141.72a	86.3a	21.5a	8.34b	6.95b
	T2	328.05ab	139.54a	87.5a	21.7a	8.69ab	7.24ab
	CK	301.95c	130.23b	84.7b	21.8a	7.99c	6.58c

3 讨论

3.1 机械深施水稻专用肥对土壤肥力的影响

施肥是水稻产量提高的重要措施^[16], 而产量增加诱使化肥用量激增, 对生态环境也带来了不良影响。土壤生态环境是个有机体, 靠有机营养物的不断供应才得以维持运转, 有机肥的减少是土壤肥力下降的主要原因之一^[20]。近年来, 农家肥用量锐减、秸秆燃烧等, 土壤中有有机质含量下降, 过量施用化肥引起土壤酸化和板结等^[21], 从而导致土壤肥力不断降低。如何提高土壤肥力和肥料利用率是现代农业持续发展的重要基础。配施有机肥^[22]、秸秆还田^[23]、种植绿肥^[24]等措施均可提高肥料利用率、改良土壤理化性质、增加土壤肥力。采用肥料深施的方式亦可减少养分流失、提高肥料利用率^[14-16]。研究表明, 通过将水稻专用有机肥和机械深施 2 种方法有效结合, 可以显著提高土壤养分, 促进肥料吸收利用, 降低肥料施用量, 是水稻产量增加的直接原因。

3.2 机械深施水稻专用肥对土壤中酶活性的影响

土壤中酶的活性大小是土壤质量的重要生物学指标。土壤犹如具有生命的有机体, 土壤酶是土壤组分中最活跃的有机成分之一, 它表征了土壤的综合肥力特征及土壤养分转化进程^[25]。土壤酶活性与土壤有

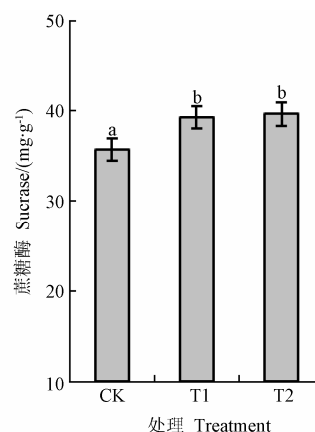


图 4 不同施肥处理对土壤中过蔗糖酶活性的影响

Fig.4 Effects of different fertilization treatments on soil sucrase activity

机质、速效磷、全氮含量显著相关, 同时参与土壤中碳、氮、磷的转化, 促进养分吸收利用, 是土壤肥力增加的内在机理^[26]。研究表明, 采用机械深施超级稻专用肥, 可以活化土壤, 土壤酶活性增加, 是提高土壤肥力和肥料利用率的重要生理原因。

4 结论

1) 机械定位深施肥显著提高了土壤肥力。在施肥量相同的条件下, 较人工面施肥, 采用机械定位深施超级稻专用肥显著提高了土壤中的有机质和氮、磷、钾质量分数, 分别达 5.11%、4.45%~5.37%、3.82%~5.34%和 3.18%~6.14%; 增加了大团聚体组成达 13.12%; 促进了土壤脲酶、过氧化氢酶和蔗糖酶活性的提高, 分别达 5.16%、8.64%和 10.13%。

2) 机械定位深施肥节肥效果明显。与人工撒施肥比较, 肥料施用量减少 25%, 采用机械定位深施方式仍具有较高的水稻产量和土壤肥力。

3) 机械定位深施超级稻专用肥增加了土壤中的养分含量, 改善了土壤结构, 提高了土壤酶活性, 对土壤具有一定的改良效果。

4) 试验结果表明, 机械定位深施超级稻专用肥 900 kg/hm² 处理最优, 既增加了水稻产量, 提高土壤肥力和改善土壤理化性质, 又节约肥料, 能够

节本增效, 适宜在超级稻生产上应用。

参 考 文 献

- [1] 侯亚红. 中国化肥的应用现状及合理施用[J]. 西藏农业科技, 2005, 27(1): 20—23.
Hou Yahong. The applied actuality and rational use of fertilizer in China[J]. Tibetan Journal of Agricultural Sciences, 2005, 27(1): 20—23. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张智峰, 张卫峰. 我国化肥施用现状及趋势[J]. 磷肥与复肥, 2008, 28(6): 9—12.
Zhang Zhifeng, Zhang Weifeng. The situation and trend of fertilizer application in China[J]. Phosphate and Compound Fertilizer, 2008, 28(6): 9—12. (in Chinese with English abstract)
- [3] 马涛. 谈机械深施化肥技术研究和应用[J]. 农业装备与车辆工程, 2008, 46(8): 67—68.
Ma Tao. Mechanical deep fertilizer technology research and application[J]. Agricultural Equipment and Vehicle Engineering, 2008, 46(8): 67—68. (in Chinese with English abstract)
- [4] Mikkelsen D S, De Datta S K, Obcemea W N. Ammonia volatilization losses from flooded rice soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1978, 42(5): 725—730.
- [5] Fillery I R P, Bymes B H. Concurrent measurement of ammonia loss and denitrification in flooded rice fields[M]. Agron Abstr, American Society of Agronomy, Madison, WI. 1984.
- [6] DE Datta S K. Nitrogen transformation in wetland rice ecosystems[J]. Fertilizer Research, 1995, 42(3): 193—203.
- [7] 杜慧. 化肥环境污染及防治措施[J]. 北方环境, 2012, 28(6): 73—74.
Du Hui. Enuiron mental pollution and control measures of cost[J]. Northern Environmental, 2012, 28(6): 73—74. (in Chinese with English abstract)
- [8] 贾永春. 化肥深施机械化技术[J]. 青海农技推广, 2011(3): 61—64.
Jia Yongchun. Mechanical deep fertilizing technology[J]. Qinghai Agro-Technology Extension, 2011(3): 61—64. (in Chinese with English abstract)
- [9] 李敏, 李广涛, 叶舒娅, 等. 连续施用控释氮肥对超级水稻产量、氮肥利用率及土壤养分变化的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(33): 130—134.
Li Min, Li Guangtao, Ye Shuya, et al. Effect of super-rice yield, apparent N recovery rates and soil nutrients change by long-term applying controlled-release nitrogen[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(33): 130—134. (in Chinese with English abstract)
- [10] 杨晓娟, 李武, 唐湘如, 等. 超级稻专用肥对不同种植方式的适应性研究[J]. 广东农业科学, 2011, 38(24): 40—56.
Yang Xiaojuan, Li Wu, Tang Xiangru, et al. Adaptability of super rice specialized fertilizer on diferent cultivation patterns of rice[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(24): 40—56. (in Chinese with English abstract)
- [11] 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.
Luo Xiwen, Liu Tao, Jiang Enchen, et al. Design and experiment of hill sowing wheel of precision rice direct seeder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(3): 108—112. (in Chinese with English abstract)
- [12] 唐湘如, 罗锡文, 黎国喜, 等. 精量穴直播早稻的产量形成特性[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 84—87.
Tang Xiangru, Luo Xiwen, Li Guoxi, et al. Yield formation characteristics of precision hill-drop drilling early rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(7): 84—87. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王在满, 罗锡文, 唐湘如, 等. 基于农机与农艺相结合的水精量穴直播技术及机具[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(1): 91—95.
Wang Zaiman, Luo Xiwen, Tang Xiangru, et al. Precision rice hill-direct-seeding technology and machine based on the combination of agricultural machinery and agronomic technology[J]. Journal of South China Agricultural University, 2010, 31(1): 91—95. (in Chinese with English abstract)
- [14] 曾山, 汤海涛, 罗锡文, 等. 同步开沟起垄施肥水稻精量早穴直播机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(20): 12—19.
Zeng Shan, Tang Haitao, Luo Xiwen, et al. Design and experiment of precision rice hill-drop drilling machine for dry land with synchronous fertilizing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(20): 12—19. (in Chinese with English abstract)
- [15] 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.
Shu Shifu, Tang Xiangru, Luo Xiwen, et al. Effects of deep mechanized application of slow-release fertilizers on physiological characteristics of precision hill-direct-seeding super rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(3): 89—92. (in Chinese with English abstract)
- [16] 汤海涛, 马国辉, 罗锡文, 等. 水稻机械精量穴直播定位深施肥节氮栽培效果研究[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(1): 111—114.
Tang Haitao, Ma Guohui, Luo Xiwen, et al. Effects of mechanical precise hill-drop drilling and located depth-fertilization on rice nitrogen-saving[J]. Research of Agricultural Modernization, 2011, 32(1): 111—114. (in Chinese with English abstract)
- [17] 胡慧蓉, 田昆. 土壤学实验指导教程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [18] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [19] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 274—328.
- [20] 杨书润. 土壤肥力下降的原因及提高土壤肥力的综合性对策[J]. 农业环境与发展, 1991, 30(4): 11—14.
Yang Shurun. Reasons for the decline of soil fertility and comprehensive countermeasures for improving soil fertility[J]. Agro-Environment and Development, 1991, 30(4): 11—14. (in Chinese with English abstract)
- [21] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕, 等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 656—660.
Huang Guoqin, Wang Xingxiang, Qian Haiyan, et al. Negative impact of inorganic fertilizes application on agricultural environment and its countermeasures[J]. Ecology and Environment, 2004, 13(4): 656—660. (in Chinese with English abstract)
- [22] 张磷, 黄小红, 谢晓丽, 等. 施肥技术对土壤肥力和肥料利用率的影响[J]. 广东农业科学, 2005, 32(2): 46—49.
Zhang Lin, Huang Xiaohong, Xie Xiaoli, et al. Effects on the fertility of soil and the utilization rates of fertilizer affected by fertilizer practices[J]. Guangdong

- Agricultural Science, 2005, 32(2): 46—49. (in Chinese with English abstract)
- [23] 孙星, 刘勤, 王德建, 等. 长期秸秆还田对土壤肥力质量的影响[J]. 土壤, 2007, 39(5): 782—786.
Sun Xing, Liu Qin, Wang Dejian, et al. Effect of long-term straw application on soil fertility[J]. Soils, 2007, 39(5): 782—786. (in Chinese with English abstract)
- [24] 杨曾平, 高菊生, 郑圣先, 等. 长期冬种绿肥对红壤性水稻土壤微生物特性及酶活性的影响[J]. 土壤, 2011, 43(4): 576—583.
Yang Zengping, Gao Jusheng, Zheng Shengxian, et al. Effects of long-term winter planting-green manure on microbial properties and enzyme activities in reddish paddy soil[J]. Soils, 2011, 43(4): 576—583. (in Chinese with English abstract)
- [25] 万忠梅, 宋长春. 土壤酶活性对生态环境的响应研究进展[J]. 土壤通报, 2009, 40(4): 951—956.
Wan Zhongmei, Song Changchun. Advance on response of soil enzyme activity to ecological environment[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2009, 40(4): 951—956. (in Chinese with English abstract)
- [26] 张焱华, 吴敏, 何鹏, 等. 土壤酶活性与土壤肥力关系的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(34): 11139—11142.
Zhang Yanhua, Wu Min, He Peng, et al. Research advance of the relationship between soil enzyme activity and soil fertility[J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2007, 35(34): 11139—11142. (in Chinese with English abstract)

Deep mechanized application of super rice special fertilizer increasing soil fertility and yield of super rice

Shu Shifu^{1,2}, Tang Xiangru^{1*}, Luo Xiwen^{3,4}, Zhang Guozhong^{3,4,5}, Li Guoxi¹, Duan Meiyang¹,
Li Yanda², Chen Licai², Liao Yu², Yao Lintao², Ye Chun²

(1. College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Institute of Agricultural Engineering, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 3. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 4. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 5. College of Engineering, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In China, the fertilizer use rate of planting rice is 30%, and the application of large amounts of chemical fertilizer not only increases the cost, but also makes the soil physical and chemical characteristics and soil fertility decline, and causes serious environmental pollution. Increasing the utilization rate of chemical fertilizer mainly has two methods, one is to change the method of application of fertilization, through deep fertilizer application that reduces fertilizer volatilization and loss, the second is the application of organic fertilizer, rice special fertilizer, and slow-release fertilizer that can improve the utilization rate of fertilizer and soil physicochemical properties and rice yield. Super rice specialized fertilizer based on super rice growth characteristics, can provide the necessary nutrients and increase the content of organic matter in soil. The rice precision dry direct seeding machine with synchronous ditching ridging fertilizer application can complete the ditching, ridging, fertilization, mulching, and sowing work synchronously, which solved the problem of the deep application of fertilizer in rice cultivation. In order to investigate the function on increasing soil fertility and super rice yield of deep mechanized application of the super rice specialized fertilizer, the effects of deep mechanized application of super rice specialized fertilizer of 900 kg/hm², deep mechanized application of super rice specialized fertilizer of 1200 kg/hm² and manual broadcast application of the super rice specialized fertilizer of 1200 kg/hm² on soil nutrients and soil physicochemical properties and super rice yield were studied by using field experiments. The results showed that the contents of soil nutrients and macro-aggregate of two deep mechanized application of super rice specialized fertilizer were increased, and the activity of the soil enzyme and yield of super rice were raised significantly comparing with a manual broadcast application of the super rice specialized fertilizer ($P < 0.05$). Organic matter, total nitrogen, available nitrogen, total phosphorus, available phosphorus, total potassium, and available potassium were increased by 5.11%-6.34%, 4.45%-5.13%, 5.37%-5.95%, 3.82%-4.51%, 5.34%-6.12%, 3.18%-4.20% and 6.14%-7.12% on average, respectively. Furthermore, the content of soil macro-aggregate with the diameter over 0.25 mm was increased by 13.12%-17.36% on average. On top of that, the activity of urease, catalase, and sucrase was promoted after a deep mechanized application of super rice specialized fertilizer treatments by 5.16%-6.21%, 8.64%-9.25% and 10.13%-11.04%, respectively. Yield of two super rice varieties were increased by 3.8%-5.6% and 8.4%-10.0% on average, respectively, their effective panicles, grains per panicle, and seed setting rate were increased by 5.0%-12.4%, 2.8%-8.8%, and 1.8%-4.7%, respectively. Improving functions on the physical and chemical properties of soil and super rice yield were not significantly different between two deep mechanized applications of super rice specialized fertilizer ($P > 0.05$). The amount of fertilizer of the deep mechanized application of super rice specialized fertilizer of 900 kg/hm² was reduced by 25% under that of a deep mechanized application of super rice specialized fertilizer of 1200 kg/hm², the former had obvious advantages, low input but high output and was more suitable for application in super rice production.

Key words: soils, agricultural machinery, fertilizers, deep mechanized application of fertilizer, soil physicochemical properties, super rice

(责任编辑: 刘丽英)