

doi: 10.11838/sfsc.20150617

# 有机无机复混肥运筹对机插稻产量形成的影响

李 勇<sup>1</sup>, 邱淑芬<sup>1</sup>, 朱荣松<sup>1</sup>, 沈家禾<sup>1</sup>, 储亚云<sup>1</sup>, 魏广彬<sup>2</sup>, 陈 贵<sup>3</sup>

(1. 江苏省金坛市土壤肥料技术指导站, 江苏 金坛 213200; 2. 江苏省金坛市作物栽培技术指导站, 江苏 金坛 213200; 3. 嘉兴市农业科学研究院农业生态环境研究室, 浙江 嘉兴 314016)

**摘 要:** 以机插稻为材料, 探讨纯化肥模式 (全程 3 次施肥, 基肥、分蘖肥与穗肥) 与两种有机无机复混肥施肥模式, 即全程两次施肥模式 (基施有机无机复混肥, 穗肥追施化肥) 与全程 3 次施肥模式 (基施有机无机复混肥, 促花肥、保花肥追施化肥) 对水稻产量形成的影响。结果表明, 有机无机复混肥施肥模式尤其是全程 3 次施肥模式较纯化肥模式, 不仅提高了水稻开花后 20 d 冠层倒二叶与倒三叶 SPAD 值, 而且显著增加了冠层上 3 叶总叶面积。有机无机复混肥运筹模式限制了开花前干物质累积, 但促进开花后生物量快速增加, 到收获时 3 种施肥模式干物质累积量趋于一致。尽管有机无机复混肥模式较纯化肥模式降低了千粒重, 但更大程度上增加了实粒数。最终产量以有机无机复混肥全程 3 次施肥模式最高, 分别比有机无机复混肥全程两次施肥模式与纯化肥模式高出 7.5% 和 6.0%。因此, 有机无机复混肥作基肥全程两次施肥模式可代替常规纯化肥 3 次施肥模式, 同时, 把穗肥分为促花肥和保花肥两次施用, 则显著提高水稻产量。

**关键词:** 机插稻; 有机无机复混肥运筹; 产量形成

**中图分类号:** S147.34; S511

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1673-6257 (2015) 06-0102-06

化肥在保障我国粮食生产中发挥了不可替代的作用, 但长期大量施用带来了诸如土壤酸化板结、水体富营养化、农产品品质下降等一系列社会生态问题<sup>[1-2]</sup>。新兴的有机无机复混肥作为化肥和有机肥的复合产品, 提高了土壤肥力, 有效地缓减了化肥的负面作用, 被认为是未来肥料发展方向之一<sup>[3]</sup>。当前有机无机复混肥主要作基肥, 用量一般以化学态氮折算, 投入量为 600 ~ 750 kg/hm<sup>2</sup><sup>[4]</sup>。然而, 有报道认为, 有机无机复混肥用量太少, 难以有效增加土壤有机投入 (施入土壤中的鸡粪、秸秆等有机物料当季降解率达 70% ~ 90%<sup>[5]</sup>)。也有报道表明低氮 (180 kg/hm<sup>2</sup>) 条件下, 有机无机复混肥较化肥促进稻麦增产<sup>[6-7]</sup>。然而, 上述结果主要取自于人工栽稻, 在机插及高氮投入条件下水稻有机无机复混肥运筹施肥的报道甚少。太湖流域是我国主要稻作区之一, 2013 年江苏省机插秧面积超过 160 万 hm<sup>2</sup>, 机插秧普及率高, 达到 70%。本文在机插条件下, 研究不同有机无机复混肥运筹施肥

对水稻产量结构的影响, 一方面有效增加土壤有机投入, 另一方面探索减少施肥次数后水稻产量结构的变化, 旨在为有机无机复混肥高效、轻简施用提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区域概况

试验区地处太湖上游, 位于江苏省常州市金坛市薛埠镇茅东村, 属北亚热带海洋性季风气候, 四季分明, 气候温和, 年平均气温 15.3℃, 年日照时数为 2 034 h, 年降水量 1 000 mm 左右, 无霜期 250 d。土壤为侧渗型水稻土亚类板浆白土属, 中壤质地, 土壤有机质、全氮、有效磷 (P)、速效钾 (K)、pH 值分别为 27.5 g/kg、1.6 g/kg、19.2 mg/kg、102 mg/kg、6.7。

### 1.2 供试材料

以武运粳 23 为供试材料, 2013 年 6 月 1 日播种, 6 月 19 日插秧机移栽, 秧龄为 3.5 叶, 栽插行株距为 30 cm × 11.7 cm, 每公顷栽 25 万穴, 基本苗每公顷 75 ~ 100 万。配方肥 (N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O) 18 - 7 - 10、15 - 5 - 15 分别为基肥和穗肥配方, 为当地水稻测土配方施肥主推肥料品种。有机无机复混肥 (N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O = 7 - 4 - 4, 有机质 ≥ 20%),

收稿日期: 2014-04-29; 最后修订日期: 2014-07-17

基金项目: 江苏省测土配方施肥项目和江苏省有机无机复混肥项目。

作者简介: 李勇 (1981-), 男, 山西朔州人, 硕士, 农艺师, 主要从事耕地质量建设工作。E-mail: liyong40106@163.com。

主要有机物料为鸡粪和秸秆。

### 1.3 试验设计

设4个处理,见表1。氮肥总投入270 kg/hm<sup>2</sup>,基肥:穗肥=5.5:4.5。因试验区土壤有效磷、速效钾含量高,单独施用磷、钾或磷钾配施对产量无显著影响(结果另报)。同时,因近年太湖流域水稻生产磷、钾单质肥被复合肥取代,故而本试验各处理保持氮肥投入量一致,不再调整磷、钾肥投入等量。每处理重复3次,随机排列,小区面积66 m<sup>2</sup> (10 m × 6.6 m),处理间筑埂,并覆盖塑料薄膜,隔水隔肥。

表1 不同施肥处理设计

处理	肥料运筹
处理1, 无肥处理	不施肥
处理2 (CK), 常规纯化肥	基肥: 配方肥 (18-7-10) 375 kg/hm <sup>2</sup> 分蘖肥: 尿素 180 kg/hm <sup>2</sup> 穗肥: 配方肥 (15-5-15) 225 kg/hm <sup>2</sup> + 尿素 180 kg/hm <sup>2</sup>
处理3, 有机无机复混肥 全程两次施肥	基肥: 有机无机复混肥 2 145 kg/hm <sup>2</sup> 穗肥: 配方肥 (15-5-15) 225 kg/hm <sup>2</sup> + 尿素 180 kg/hm <sup>2</sup>
处理4, 有机无机复混肥 全程3次施肥	基肥: 有机无机复混肥 2 145 kg/hm <sup>2</sup> 促花肥: 配方肥 (15-5-15) 225 kg/hm <sup>2</sup> + 尿素 105 kg/hm <sup>2</sup> 保花肥: 尿素 75 kg/hm <sup>2</sup>

注:基肥在插秧前施,分蘖肥在插秧后7 d施,穗肥在倒三叶施,促花肥于倒四叶施,保花肥在倒二叶施。

### 1.4 分析和计算方法

水稻开花后,每处理定位3个苗情点,每点查10穴水稻总苗数,确定每穴平均苗数。水稻开花期、开花后20 d和收获时每处理选与平均苗数一致的3穴水稻,用以测定冠层上3叶叶片SPAD值、叶面积和地上部干物质量以及成熟后水稻产量构成。

叶片SPAD测定:水稻开花期、开花后20 d用SPAD-502叶绿素仪测定水稻倒一叶、倒二叶和倒三叶叶片SPAD值,测定部位为叶片中部,每处理测3穴水稻。

叶面积测定:水稻开花期、开花后20 d,每处理测定3穴水稻倒一叶、倒二叶和倒三叶长度和宽

度,叶面积(cm<sup>2</sup>)=长(cm)×宽(cm)×0.7。

地上部干物质量:水稻开花期、开花后20 d和收获时取3穴稻株,分茎叶、穗于105℃杀青30 min,之后再经75℃烘干至恒重,称重计算干物质量。

成熟期考种:成熟期每处理调查3个点,考察有效穗、每穗总粒数、瘪粒数。水稻收获时,每处理单打单收,记载稻谷与稻草重,并测定千粒重。

开花期干物质转移量(g/穴)=开花期地上部干物质量(g/穴)-成熟期茎叶干物质量(g/穴);

开花期干物质转移效率(%)=开花期干物质转移量(g/穴)/开花期地上部干物质量(g/穴)×100;

开花期干物质转移量对籽粒贡献率(%)=开花期干物质转移量(g/穴)/籽粒产量(g/穴)×100。

### 1.5 统计分析

采用Excel 2003和SPSS 11.0软件处理数据,并利用LSD法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理的产量结构

表2可见,水稻实际产量处理2、3之间差异不显著,其它处理间差异达到显著水平。处理4产量最高,分别比处理2、3增产6.0%和7.5%,处理1产量最低。就产量结构而言,3个施肥处理有效穗无显著差异,处理3、4实粒数显著高于处理2,而二者千粒重则显著低于处理2。可见,施用有机无机复混肥有利于增加水稻实粒数,尽管降低了千粒重,但粒数带来的增产效应足以抵消千粒重下降造成的减产效应。同时,穗肥分促花肥和保花肥两次施用,能够显著增加实粒数,提高产量,因而处理4产量较处理3高。从收获指数来看,处理3、4高于处理2,说明有机无机复混肥更有利于增加籽粒在地上部生物量分配比重。从经济效益来看(表3),处理3和4施肥成本分别比处理2高出770.6和800.6元/hm<sup>2</sup>,主要源自处理3、4基肥肥料成本较高,均比处理2基肥肥料成本高出656.3元/hm<sup>2</sup>,同时处理3、4基肥施肥人工成本较处理2基肥人工成本高出114.3元/hm<sup>2</sup>。从净效益来看,以处理4最高,其次为处理2,分别比处理3高出2 023.2和1 159.2元/hm<sup>2</sup>。

表2 不同施肥处理的水稻产量与产量构成

处理	有效穗 ( $\times 10^4/\text{hm}^2$ )	总粒数 (粒/穗)	实粒数 (粒/穗)	千粒重 (g)	结实率 (%)	理论产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	实际产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	收获指数 (%)
1	246.0 b	97.0 d	92.7 d	27.2 a	95.6 a	6 203 c	4 800 c	0.514 b
2 (CK)	319.3 a	132.0 c	121.9 c	26.2 b	92.3 b	10 199 b	9 561 b	0.521 b
3	322.5 a	142.4 ab	130.9 b	24.5 c	91.2 b	10 343 ab	9 427 b	0.543 a
4	316.0 a	151.1 a	138.6 a	24.3 c	91.8 b	10 642 a	10 135 a	0.540 a

注：同列数据后不同字母表示差异达0.05显著水平，下同。

表3 不同施肥处理水稻经济效益

(元/ $\text{hm}^2$ )

处理	肥料成本				人工成本				施肥成本 合计	产值	新增 纯收入
	基肥	分蘖肥	穗肥	小计	基肥	分蘖肥	穗肥	小计			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13 920.0	13 920.0
2 (CK)	825.0	342.0	837.0	2 004.0	50.0	50.0	50.0	150.0	2 154.0	27 726.9	25 572.9
3	1 823.3	0.0	837.0	2 660.3	214.3	0.0	50.0	264.3	2 924.6	27 338.3	24 413.7
4	1 823.3	0.0	837.0	2 660.3	214.3	0.0	80.0	294.3	2 954.6	29 391.5	26 436.9

注：1. 稻谷按2.9元/kg，尿素按1900元/t，配方肥按2200元/t，有机无机复混肥按850元/t算；人工按100元/(个· $\text{hm}^2$ )算，纯化肥施用基肥、分蘖肥、穗肥按0.5个人工，保花肥按0.303个人工算，有机无机复混肥按0.143个人工算。2. 施肥成本=肥料成本+人工成本；产值=稻谷价格×稻谷产量；新增纯收入=产值-施肥成本。

## 2.2 不同施肥处理的干物质累积和转移

水稻开花期、开花后20 d干物质累积量分别占总生物量的51.8%~63.1%和81.4%~84.7% (表4)。开花期施肥处理表现为处理2>处理4>处理3。开花后20 d和收获期，3个施肥处理干物质累积量无显著差异，但处理4略高于其它两个处理。从开花前干物质转移量、转移效率及对籽粒贡献率来看，处理2显著高于处理3和处理

4，处理4干物质转移量、转移效率、转移量对籽粒贡献率均显著高于处理3。可见，开花前干物质转移对籽粒贡献率仅为10.9%~28.9%，相对于纯化肥而言，有机无机复混肥对干物质累积以及对产量贡献率在开花后更为突出。同时，穗肥分促花肥和保花肥两次施用较一次施用，促进水稻开花前干物质累积，并提高干物质转移对产量的贡献率。

表4 不同施肥处理的水稻开花前干物质累积和转移

处理	开花期 (g/穴)	开花后20 d (g/穴)	收获期 (g/穴)			干物质转移量 (g/穴)	干物质转移效率 (%)	干物质转移对 籽粒贡献 (%)
			总生物量	籽粒	秸秆			
1	27.4 d	38.4 b	45.5 b	23.3 c	22.2 c	5.2 c	18.9 b	22.2 b
2 (CK)	47.1 a	62.4 a	74.7 a	38.8 b	35.8 a	11.2 a	23.9 a	28.9 a
3	36.9 c	60.4 a	71.3 a	38.6 b	32.6 b	4.2 c	11.4 c	10.9 d
4	41.8 b	61.3 a	75.3 a	40.9 a	34.5 a	7.4 b	17.6 b	18.1 c

## 2.3 不同施肥处理的冠层上三叶的叶绿素含量 (SPAD值)

图1显示，同一处理同一部位叶片，开花期SPAD值较开花后20 d高，高出0.8%~39.1%，平均高出11.3%。开花期和开花后20 d，同一叶位处理1 SPAD值显著低于施肥处理。3个施肥处理，开花期倒一叶 SPAD值差异显著，以处理4最高，其次为处理2，处理3最低，而倒二叶和倒三叶上

SPAD值无显著差异；开花后20 d，同一叶位 SPAD值，处理4略高，尤其在倒二叶上，两个有机无机复混肥处理叶片 SPAD值均显著高于处理2。总体而言，有机无机复混肥处理有利于提高水稻开花后期叶片 SPAD值。

## 2.4 不同处理冠层上三叶叶面积

图2可见，水稻开花期和开花后20 d，同一处理同一叶位冠层上三叶叶面积基本一致，无显著差

异, 但同一叶位处理 2 叶面积开花后 20 d 较开花前略小, 而处理 3 和 4 则略增。同一生育期, 相同叶位叶面积以处理 1 最低。开花期, 倒一叶以处理 3 最高, 分别比处理 2、4 高出 11.4%、10.3%; 倒二叶以处理 4 最高, 分别比处理 2、3 高出 36.6%、42.1%; 倒三叶处理 2、4 持平, 较处理 3 分别高出 27.3%、22.3%。冠层上三叶总叶面积最终以处理 4 最高, 其次为处理 2, 处理 3 最低, 分别为 104.9、94.4 和 89.7 cm<sup>2</sup>, 可见, 有机无机复混肥作基肥并配套穗肥分为两次施用有利于促进水稻开花后叶面积增大。

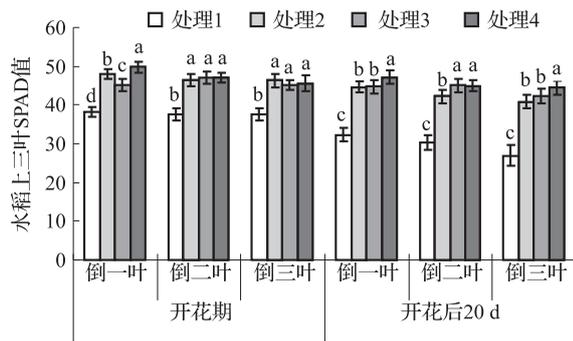


图 1 不同施肥处理水稻开花期和开花后 20 d 主要功能叶 SPAD 值

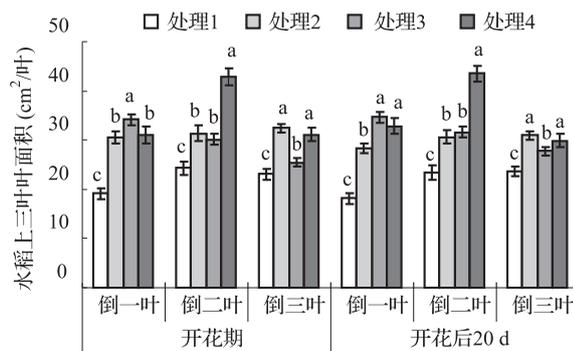


图 2 不同施肥处理水稻开花期和开花后 20 d 主要功能叶叶面积

### 3 讨论与结论

水稻有效穗数、每穗实粒数和粒重是水稻产量构成的三要素, 其本质是源、流、库的关系。源是产量形成的基石。经典的稻作源库流理论通常把绿叶定义为源, 用绿叶面积或叶面积指数来衡量源的特征<sup>[8]</sup>。研究表明, 高产水稻约 80% 以上的经济产量源自于抽穗开花后光合产物的积累, 开花后水稻

叶片冠层, 尤其是上三叶是光合产物主要制造和输出器官<sup>[9]</sup>, 因此保持此阶段叶片旺盛的光合能力是夺取高产的关键。叶绿素和叶面积是表征绿叶光合能力的重要指标<sup>[10]</sup>, 前者是进行光合作用的主要场所, 直接影响光合强度, 后者是光合产物制造的容量因子。在本研究中, 纯化肥处理 (处理 2) 水稻在开花期倒一叶 SPAD 值较处理 3 高, 而至开花后 20 d, 这种优势则未能保持, 特别是倒二叶 SPAD 值显著低于处理 3 和处理 4。尽管同一处理相同叶位, 开花期和开花后 20 d, 叶面积变化无显著差异, 但处理 3 和处理 4 开花后 20 d 较开花期均略有增加, 而处理 2 则相反, 这可能是有机无机复混肥有助于延缓叶片衰减。开花期, 处理 4 单茎冠层上 3 叶总面积均最高, 分别比处理 2、3 平均值高 14.0% 和 16.9%。因此, 有机无机复混肥作基肥, 并配套穗肥分两次施用, 有利于增加水稻光合源, 为高产奠定基础。

水稻群体储存光合产物的库容, 可用单位面积颖花量和籽粒充实度表示<sup>[8]</sup>。单位面积颖花量由单位面积有效穗及每穗实粒数决定。研究表明, 机插水稻高产的根本途径是在适宜有效穗的基础上, 形成大穗<sup>[11]</sup>。水稻有效穗形成于水稻机插后 25 ~ 30 d, 供氮水平与有效穗密切相关<sup>[12]</sup>。孟琳等<sup>[13]</sup>研究指出, 水稻生育前期, 猪粪与化肥配施处理的茎蘖数略低于化肥处理, 但控制了无效茎蘖, 提高了成穗率, 从而协调了穗数与大穗之间的关系。本试验条件下, 施肥处理基肥氮素投入量一致, 对有效穗最终形成无显著影响。所不同的是, 有机无机复混肥作基肥显著地增加了水稻穗粒数。长穗期是决定每穗粒数的关键时期, 此阶段养分供应不足, 常会形成败育小穗, 降低结实率, 造成穗小粒少<sup>[14]</sup>。处理 2 和处理 3 穗肥均于水稻倒四叶期施用 (武运梗 23 号穗苞分化期), 但由于有机肥在生育前期促进土壤对氮素的物理化学和生物固定, 而到生育后期随着微生物大量死亡和有机质矿化, 被固定的氮素得以释放<sup>[15]</sup>, 因而氮素供应相对充足, 满足穗分化所需, 故而较纯化肥处理增加了穗实粒数。水稻倒二叶期处于颖花原基分化期, 此时施用保花肥, 可显著增加颖花数量。处理 4 穗肥分两次施用, 较处理 3 穗肥一次施用, 实粒数增加了 7.7 粒/穗, 增幅 5.9%。增加库容, 在抽穗开花前以增加颖花量为主, 而在开花后则以粒重为主。一般穗数超过一定范围, 则随着穗数增多, 每穗粒数和粒重

有下降倾向。本试验条件下, 处理 3、4 颖花数显著高于处理 2, 千粒重较处理 2 分别减少 6.5% 和 7.3%, 但施用有机无机复混肥粒数增加带来的增产效应远大于千粒重下降造成的减产效应, 产量最终以处理 4 最高, 处理 3 和处理 2 持平。因此, 有机无机复混肥作基肥一次性施入土壤可代替化肥基肥和分蘖肥两次施用, 减少总施肥次数, 节约劳动力。同时, 在此基础上, 穗肥分促花肥和保花肥两次施用, 可显著增产。

水稻高产, 不仅需要足够的源与库, 而且需要源制造的光合产物高效地转运到库中。水稻产量源于两方面, 一方面源自开花前期储存于植株中光合产物的转移, 另一方面来源于开花后光合产物的累积<sup>[16]</sup>。因而干物质转移可以表征源转运到库的能力。本试验表明, 施肥模式深刻影响着干物质的累积与转移。与施纯化肥处理相比, 有机无机复混肥处理在水稻开花前生物量较低。这和王秋君<sup>[6]</sup>的研究结果一致, 其原因在于有机肥在生育前期对养分固定, 与水稻争夺养分<sup>[15]</sup>。处理 4 较处理 3 增加了穗肥施用次数, 及时补充了土壤氮素, 因而其在开花时生物量较高。从干物质累积对产量的贡献率来看, 纯化肥处理花前干物质转移对籽粒贡献率为 28.9%, 而有机无机复混肥处理干物质转移对籽粒贡献率为 10.9%~18.1%, 可见, 有机无机复混肥对产量贡献的优势在于花后到成熟这一阶段。成熟期, 3 个施肥处理地上部干物质累积量一致, 但有机无机复混肥模式收获指数显著高于纯化肥处理。这是由于, 一方面有机无机配合施用较纯化肥提高了水稻生育后期根系活力<sup>[17]</sup>, 另一方面配施有机肥在水稻生育前期微生物固定的养分后期得以释放<sup>[15]</sup>, 因而有效保障了开花后水稻养分供应。另外, 收获指数也反映了光合产物的流向与分配。这可能是由于有机无机复混肥施肥模式扩大了开花后水稻光合源和库, 促进了干物质向籽粒分配。

总之, 从技术层面有机无机复混肥全程两次施肥模式可获得与常规化肥全程 3 次施肥相一致的产量, 是一项轻简施肥模式。但从经济效益来看, 由于有机无机复混肥施肥成本, 特别是肥料成本偏高, 两次施肥模式经济效益较常规化肥模式低, 但配套穗肥分两次施用, 显著促进水稻增产, 进而提高经济效益, 因而有机无机复混肥配套穗肥两次施用可作为轻简施肥模式的风险防范措施。另外, 近年来我国对土壤有机质提升持续关注, 江苏省对有

机无机复混肥进行财政补贴 400 元/t, 极大地降低了肥料成本。如享受财政补贴后, 处理 3 和处理 4 基肥肥料成本下降到 965.5 元/hm<sup>2</sup>, 较处理 2 基肥成本 1 167.0 元/hm<sup>2</sup>下降了 201.5 元/hm<sup>2</sup>。同时, 随着施肥机械的快速发展, 人工施肥成本有望大幅下降, 也有利于有机无机复混肥的推广应用。例如, 笔者所在地区使用撒肥机施肥效率是人工的 10 倍以上。从水稻生产实践来看, 苏南地区农村劳动力不足、老龄化现象加剧、分蘖肥施用时间短暂集中与规模化发展趋势的矛盾日益突出, 亟需轻简化施肥模式。因此, 在政策扶持和机械施肥快速发展的背景下, 这种只施基肥和穗肥的有机无机复混肥模式对水稻规模化发展具有重要指导意义。

#### 参考文献:

- [1] 曲均峰. 化肥施用与土壤环境安全效应的研究 [J]. 磷肥与复肥, 2010, 25 (1): 10-12.
- [2] 张永春, 汪吉东, 沈明星, 等. 长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响 [J]. 土壤学报, 2010, 47 (3): 465-471.
- [3] 杨兴明, 徐阳春, 黄启为, 等. 有机(类)肥料与农业可持续发展与生态环境保护 [J]. 土壤学报, 2008, 45 (5): 925-931.
- [4] 郭锦晶, 施俭, 孙立超. 25%有机无机复混肥在水稻上应用效果研究 [J]. 安徽农学通报, 2011, 17 (10): 63-66.
- [5] 李培军, 蒋卫杰, 余宏军. 有机肥营养元素释放的研究进展 [J]. 中国蔬菜, 2008, (6): 39-42.
- [6] 王秋君. 稻麦轮作系统中施用有机无机复混肥对作物生长及土壤肥力的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [7] 张小莉, 孟琳, 王秋君, 等. 不同有机无机复混肥对水稻产量和氮素利用率的影响 [J]. 应用生态学报, 2009, 20 (3): 624-630.
- [8] 凌启鸿, 张洪成, 蔡建中, 等. 水稻高产群体质量及其优化控制探讨 [J]. 中国农业科学, 1993, 26 (6): 1-11.
- [9] 龚金龙, 张洪程, 李杰, 等. 水稻超高产栽培模式及系统理论的研究进展 [J]. 中国水稻科学, 2010, 24 (4): 417-424.
- [10] 钟旭华, 黄农荣, 郑海波, 等. 水稻抽穗期叶色诊断指标与叶面积指数及结实期光强的关系 [J]. 中国农学通报, 2006, 22 (10): 147-153.
- [11] 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 等. 水稻超高产栽培研究与探讨 [J]. 中国稻米, 2012, 18 (1): 1-14.
- [12] 江立庚, 曹卫星, 甘秀芹, 等. 不同施氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量和品质的影响 [J]. 中国农业科学, 2004, 37 (4): 490-496.
- [13] 孟琳, 王强, 黄启为, 等. 猪粪堆肥与化肥配施对水稻产量和氮效率的影响 [J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24 (1): 68-71, 76.
- [14] 胡立勇, 丁艳锋. 作物栽培学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.

- [15] 朱菜红, 董彩霞, 沈其荣, 等. 配施有机肥提高化肥氮利用效率的微生物作用机制研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (2): 282 - 288.
- [16] 邓飞, 王丽, 刘利, 等. 不同生态条件下栽培方式对水稻干物质生产和产量的影响 [J]. 作物学报, 2012, 38 (10): 1930 - 1942.
- [17] 陈明, 黄庆海, 余喜初, 等. 肥料运筹对晚稻产量及根系和叶片衰老进程的影响 [J]. 中国农学通报, 2012, 28 (33): 139 - 143.

### Effects of organic-inorganic mixed fertilizers on yield formation of machine-transplanted rice

LI Yong<sup>1</sup>, QIU Shu-fen<sup>1</sup>, ZHU Rong-song<sup>1</sup>, SHEN Jia-he<sup>1</sup>, CHU Ya-yun<sup>1</sup>, WEI Guang-bin<sup>2</sup>, CHEN Gui<sup>3</sup> (1. Soil and Fertilizer Technical Guidance Station of Jintan City, Jintan Jiangsu 213200; 2. Culturing Technical Guidance Station of Jintan City, Jintan Jiangsu 213200; 3. Development of Agricultural Ecological Environment, Jiaxing Academy of Agricultural Science, Jiaxing Jiangsu 314016)

**Abstract:** Machine-transplanted rice was chose as study material to compare the effects of three fertilization treatments on rice yield formation from the perspectives of source, translocation and sink. In the three fertilization treatments, chemical fertilizer and two organic-inorganic mixed fertilizers were applied. For treatment 1 (Tr1), chemical fertilizer was applied by three times as basal, tillering and panicle fertilizations respectively. In treatment 2 (Tr2), organic-inorganic mixed fertilizer was applied twice as basal and panicle fertilization, and the organic-inorganic mixed fertilizer was applied for three times as basal, promoting flower and saving flowering fertilization respectively for treatment 3 (Tr3). The results showed two kinds of organic-inorganic mixed fertilization treatments, especially for Tr3, could not only enhance the SPAD values in top second and third leaves of canopy 20 days after flower but also significant increased leaf area of three top leaves compared with chemical fertilization treatment. In addition, organic-inorganic mixed fertilization inhibited accumulation of dry matter before flower, but made it increased faster after flower. However, all the three fertilization treatments attained similar level of dry matter accumulations at mature stage. Compared with Tr2, thousand kernel weight in Tr3 and Tr4 was lower but their actual grain amount was increased greatly. The yield in Tr4 was the highest, which was 7.5% and 6.0% higher than Tr3 and Tr2. It is concluded that organic-inorganic mixed fertilizers with twice application during whole rice growth stage could substitute three-fertilization of chemical fertilization. In addition, panicle fertilization divided into promoting flower fertilization and saving flower fertilization shall significantly increase rice grain yield.

**Key words:** machine-transplanted rice; managements of organic-inorganic mixed fertilizer; yield formation

[上接第 69 页]

dressing fertilization), T1 (EC adjusted with conventional fertilizer treatment), T2 (a large number of elements Yamazaki tomato fertilization treatment). The results showed that there was no significant difference on plant height, leaf number and quality among the three treatments, but stem diameter of T2 was significantly greater than CK and T1. The maximum net photosynthetic rate, weight, yield and fruits' quality of T2 were all highest, and increased by 13% and 11% than those of CK and T1. During the growth period, nitrogen use efficiency of T2 was the highest, and increased by 12% and 10% than those of CK and T1. Integrated tomato growth, yield and nitrogen use efficiency, T2 effectively controlled water and fertilizer supply to meet the full nutrients demand for crop, and should be recommended as a new mode of fertigation in greenhouse vegetable production.

**Key words:** negative pressure irrigation device; fertigation; tomato; yield