

刘红江, 陈虞雯, 张岳芳, 等. 不同播栽方式对水稻叶片光合特性及产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(6): 1206-1211.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.06.002

## 不同播栽方式对水稻叶片光合特性及产量的影响

刘红江<sup>1</sup>, 陈虞雯<sup>2</sup>, 张岳芳<sup>1</sup>, 郭智<sup>1</sup>, 孙国峰<sup>1</sup>, 陈留根<sup>1</sup>, 郑建初<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 2. 南京农业大学农学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 采用大田小区试验, 以粳稻品种南粳 5055 为供试材料, 设置水直播、旱直播、手栽秧、机插秧等 4 个处理, 研究不同播栽方式对水稻叶片光合特性的影响及其与产量形成的关系。结果表明: (1) 水稻抽穗期和抽穗后 20 d 叶片叶绿素含量均以手栽秧和机插秧较高, 旱直播最低。其中, 抽穗期旱直播水稻叶片叶绿素含量显著小于其他播栽方式水稻。(2) 水稻抽穗期叶片光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率以手栽秧和机插秧较高, 旱直播较低; 抽穗后 20 d 不同播栽方式间叶片光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率差异相对较小。(3) 水稻产量以手栽秧最高, 旱直播最低, 但手栽秧和机插秧差异不显著。直播稻特别是旱直播稻虽然穗数较多, 但每穗粒数、结实率和千粒质量均最低, 因此其产量最低。而手栽秧稻虽然穗数较少, 但每穗粒数、结实率和千粒质量均最高, 因此其产量最高。(4) 水稻产量与抽穗后光合能力呈正相关关系, 手栽秧和机插秧水稻抽穗后较高的光合能力是获得高产的主要原因。

**关键词:** 播栽方式; 水稻; 叶片; 光合特性; 产量

**中图分类号:** S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)06-1206-06

## Effects of planting pattern on leaf photosynthetic characteristics and yield of rice

LIU Hong-jiang<sup>1</sup>, CHEN Yu-wen<sup>2</sup>, ZHANG Yue-fang<sup>1</sup>, GUO Zhi<sup>1</sup>, SUN Guo-feng<sup>1</sup>, CHEN Liu-gen<sup>1</sup>, ZHENG Jian-chu<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Resources and Environments, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** A field experiment was conducted to study the effects of planting pattern on leaf photosynthetic characteristics of rice, and the relationship between photosynthetic characteristics and yield formation of rice. The japonica rice cultivar of nanjing 5055 was field-grown in field plot scale. Four planting pattern such as water direct-seeding, dry direct-seeding, manual transplanting and mechanical transplanting were designed. The results showed that the chlorophyll content in the leaves of rice grown by manual transplanting and mechanical transplanting were higher at the heading stage and 20 d after heading, and that of dry direct seeding were the lowest. The chlorophyll content in the leaves of rice of dry direct seeding was significantly lower than those of other planting patterns. The photosynthetic rate, stoma conduction, intercellular

CO<sub>2</sub> concentration, transpiration rate of rice leaves were lower for dry direct seeding, but higher for manual transplanting and mechanical transplanting at heading stage. There were no significant differences of photosynthetic physiological indices of rice leaves in different planting patterns at 20 d after heading. The yield of dry direct seeding rice was the lowest, that of manual transplanting rice was the highest, but there were no significant differ-

收稿日期: 2016-05-31

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD04B08); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(15)1004]

作者简介: 刘红江(1979-), 男, 江苏建湖人, 博士, 副研究员, 主要从事农业生态和水稻栽培生理生态研究。(E-mail) Liuhongjiang2004@sohu.com

通讯作者: 郑建初, (E-mail) zjc@jaas.ac.cn

ences between manual transplanting and mechanical transplanting. In terms of the yield components of rice, in spite of the more effective panicle number, but the grain number per panicle, seed setting rate and 1 000 grain weight were all lowest for direct seeding, especially in dry direct seeding, so its yield was the lowest. And regardless of the less effective panicle number, the grain number per panicle, seed setting rate and 1 000 grain weight were all the highest for manual transplanting, so its yield was the highest. The photosynthetic physiological indices of rice at heading stage were positively correlated with the yield of rice. The higher photosynthetic physiological index of manual transplanting and mechanical transplanting at heading stage resulted in the higher rice yield.

**Key words:** planting pattern; rice; leaf; photosynthetic characteristics; yield

水稻的播栽方式主要有育秧移栽和直播栽培两种,日本和韩国等经济发达国家主要采用机插秧和机直播<sup>[1-2]</sup>,印度和菲律宾等经济欠发达国家的水稻种植主要采用人工移栽<sup>[3-4]</sup>。中国水稻常年种植面积在 $3.0 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>左右<sup>[5]</sup>,传统种植方式以育苗人工移栽为主。近年来,随着农村劳动力的转移和农业机械化生产的发展,直播稻和机插秧的面积迅速增加。由于水稻直播能省工省力,中国南方稻区部分省市直播稻的种植面积接近该地区水稻总面积的1/3<sup>[6]</sup>。机插秧水稻种植具有劳动强度低,移栽效率高,秧苗素质好,高产稳产等特点,目前,江苏省的机插秧面积已经达到 $1.0 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>左右<sup>[7]</sup>。关于不同播栽方式下水稻的生长发育特性、产量形成特点、养分吸收利用效率、病虫草害防治技术<sup>[8-17]</sup>等,前人进行了大量研究。到目前为止,关于不同播栽方式对水稻叶片光合特性的影响及其与产量形成的关系研究较少。为此,本研究设置水直播、旱直播、手栽秧、机插秧等4个处理,研究不同播栽方式下水稻叶片的光合特性,以及水稻叶片光合特性指标与产量形成的关系,以期水稻种植选择合理播栽方式提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

试验于2014年5—11月在江苏省南京市溧水县白马镇江苏省农业科学院植物科学基地(31°36'N, 119°11'E)进行。试验地位于溧水县东南部,属北亚热带向中亚热带的过渡区,年平均气温15.5℃,年平均日照2 145.8 h,年平均降雨量1 036.9 mm,年无霜期237 d。试验田土壤属黄棕壤,其基本理化性状为:pH(土:水=1:5)6.21±0.53,有机质(16.62±3.15) g/kg,全氮(0.87±0.01) g/kg,全磷(0.24±0.01) g/kg,速效氮(35.16±1.58) mg/kg,速效磷(11.84±2.23) mg/kg,速效钾(89.23±3.84) mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验设水直播、旱直播、手栽、机插4种播栽方式。供试水稻品种为南粳5055,不同播栽方式水稻的播种量和栽插密度均参照本地区大面积生产上采用的播种量和栽播密度。水直播6月14日播种,旱直播6月13日播种,播种量均为60 kg/hm<sup>2</sup>;手栽秧5月14日育秧,6月14日移栽,行距为30.0 cm,株距为13.3 cm,每穴2苗;机插秧5月28日育秧,6月14日移栽,行距为30.0 cm,株距为11.7 cm,每穴2~3苗。共4个处理,试验重复3次,随机区组试验设计,各小区间由水泥埂隔开,小区面积30 m<sup>2</sup>。氮(N)、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾(K<sub>2</sub>O)肥施用量分别为270 kg/hm<sup>2</sup>、135 kg/hm<sup>2</sup>、135 kg/hm<sup>2</sup>。手栽秧氮肥运筹:基肥:分蘖肥:穗肥为3:3:4,分蘖肥于移栽后7 d一次性施入;机插秧氮肥运筹:基肥:分蘖肥:穗肥为2:4:4,分蘖肥于移栽后7 d和15 d分2次施入;直播稻氮肥运筹:基肥:分蘖肥:穗肥为2:4:4,分蘖肥于3叶1心期和第1次追肥之后7 d分2次施入。磷肥全部作为基肥施用;钾肥分基肥和穗肥施用,施用量各占50%。直播稻在播后15 d田间保持湿润,其余时间灌溉方式同移栽稻,除生育中期达到穗数苗时进行分次排水搁田外,其余时期保持浅水层,至收割前10 d停止灌水。适时进行病虫草害防治。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶片SPAD值(叶片叶绿素含量)测定 每株选取主茎并挂牌,于水稻抽穗期和抽穗后20 d利用叶绿素计SPAD-502测定剑叶上、中、下3个部位的叶绿素含量值。测定多次,剔除测到叶脉或病斑部位导致偏离正常值的数据,尽量选择上、中、下3个部位测量值相近的3个数值,取其平均数作为该叶片SPAD值。

1.3.2 光合生理指标测定 于水稻抽穗期和抽穗后20 d选取代表性植株,用LI-6400型便携式光合作用测定仪(美国LI-COR公司生产),晴天上午9

点至 12 点间测定剑叶中部的光合速率、气孔导度、胞间  $\text{CO}_2$  浓度、蒸腾速率。叶室  $\text{CO}_2$  浓度为  $380 \mu\text{mol}/\text{mol}$ , 使用红蓝光源, 光量子通量密度 ( $PFD$ ) 为  $1400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 温度为  $28 \sim 30^\circ\text{C}$ 。每处理重复测定 5 点。

**1.3.3 水稻产量** 在水稻成熟期, 每小区调查 100 穴植株的穗数, 根据调查的平均穗数取代表性植株 5 穴, 测定每穗颖花数, 用水漂法区分饱粒 (沉入水底者) 和空瘪粒, 计算结实率、千粒质量和理论产量, 并实测各小区产量。

#### 1.4 数据处理方法

采用 SPSS 13.0 软件进行统计分析, 用 Excel 软件作图。各处理间的比较采用最小显著差数 (LSD) 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同播栽方式对水稻叶片叶绿素含量的影响

不同播栽方式对水稻叶片叶绿素含量有明显影响 (图 1)。抽穗期水稻叶片叶绿素含量早直播最小, 手栽秧最大, 早直播分别比水直播、手栽秧和机插秧低 4.6%、6.8% 和 4.8%, 早直播水稻叶片叶绿素含量显著小于其他播栽方式。抽穗后 20 d 不同播栽方式水稻叶片叶绿素含量早直播相对较小, 不同处理间差异不显著。说明不同播栽方式水稻抽穗后叶片叶绿素含量早直播最低, 手栽秧和机插秧较高。

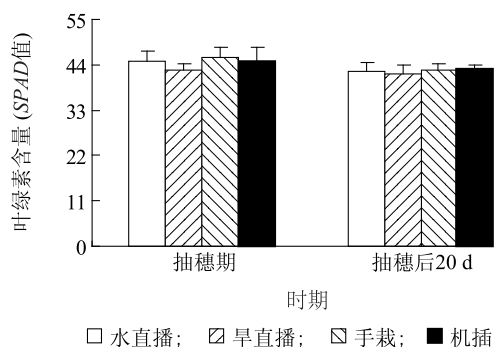


图 1 不同播栽方式对水稻叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of different rice planting patterns on the chlorophyll content of rice leaves

### 2.2 不同播栽方式对水稻叶片光合特性的影响

抽穗期水稻叶片光合速率早直播最小, 手栽秧最大, 早直播分别比水直播、手栽秧和机插秧低 10.7%、15.2% 和 13.8%, 水直播、手栽秧和机插秧水稻叶片的光合速率显著大于早直播; 抽穗后 20 d

水稻叶片光合速率早直播最小, 机插秧最大, 不同处理间差异未达到显著水平 (图 2)。说明不同播栽方式水稻抽穗后叶片光合速率手栽秧和机插秧较大, 早直播则相对较小。

抽穗期水稻叶片气孔导度手栽秧和机插秧差异不大, 但均显著大于水直播和旱直播, 手栽秧和机插秧平均比直播稻高 57.9%; 抽穗后 20 d 水稻叶片气孔导度早直播最小, 手栽秧最大, 不同处理间差异未达到显著水平 (图 2)。说明不同播栽方式水稻叶片气孔导度手栽秧和机插秧较大。

抽穗期水稻叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度手栽秧和机插秧显著高于水直播和旱直播, 水直播和旱直播水稻叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度基本相当, 手栽秧和机插秧平均比直播稻高 11.0%; 穗后 20 d 水稻叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度手栽秧、机插秧和旱直播差异不大, 但均显著高于水直播 (图 2)。

抽穗期水稻叶片蒸腾速率机插秧最大, 手栽秧其次, 两者均显著大于水直播和旱直播, 手栽秧和机插秧分别比直播稻高 25.8% 和 33.0%; 穗后 20 d 水稻叶片蒸腾速率早直播最小, 水直播最大, 但不同处理间差异未达到显著水平 (图 2)。

### 2.3 不同播栽方式对水稻产量及其构成因素的影响

由表 1 可见, 手栽秧水稻产量最高, 分别比水直播、旱直播和机插秧增加 13.5%、17.9% 和 4.8%。手栽秧和机插秧之间水稻产量差异不显著, 早直播水稻产量显著小于其他处理。说明早直播不利于获得水稻高产。

从产量构成因素看, 单位面积穗数水直播和旱直播基本一致, 平均比手栽秧和机插秧分别提高了 21.0% 和 8.9%, 手栽秧水稻单位面积穗数显著下降; 每穗粒数水直播和旱直播也基本一致, 平均比手栽秧和机插秧分别下降了 23.4% 和 13.4%, 直播稻显著小于手栽秧和机插秧, 机插秧显著小于手栽秧; 结实率手栽秧最大, 早直播最小, 手栽秧比早直播提高了 2.9%, 不同播栽方式之间差异均未达到显著水平; 千粒质量手栽秧最大, 机插秧其次, 水直播和旱直播较为接近, 手栽秧水稻千粒质量较直播稻平均增加了 4.9%, 不同播栽方式之间差异均未达到显著水平。不同播栽方式水稻的产量构成因素中, 直播稻有效穗数较多, 但是其穗型相对较小, 且籽粒的充实度相对较差, 因此产量较低; 而手栽秧虽然有效穗数较少, 但是其每穗粒数、结实率和千粒质量均最高, 因此其产量最高。

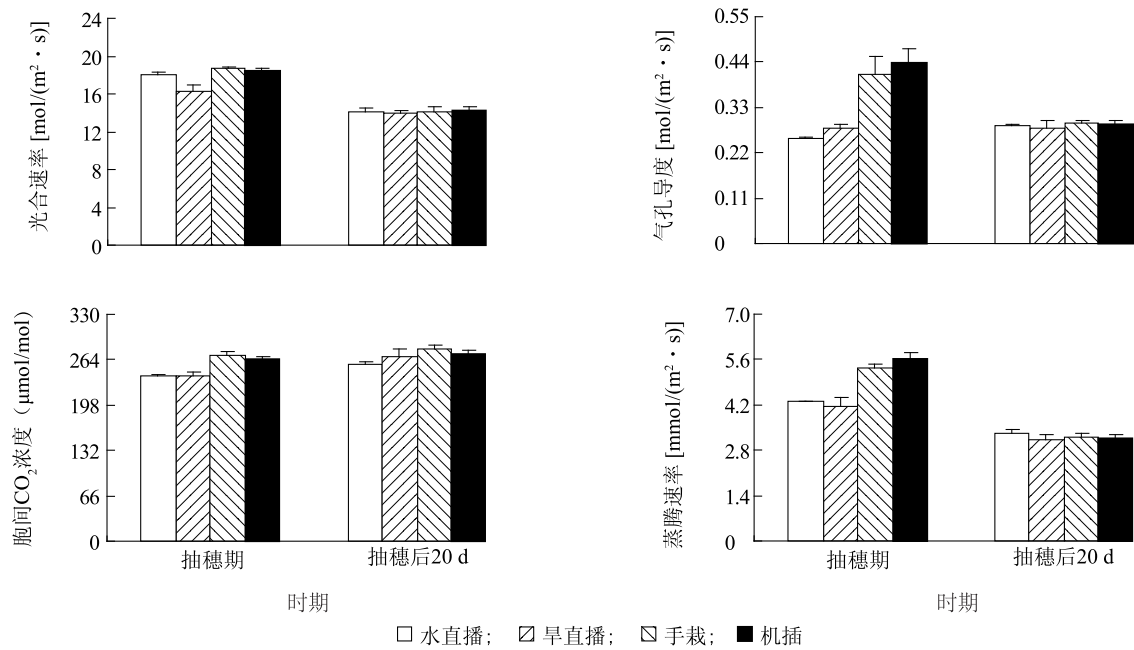


图2 不同播栽方式对水稻叶片光合特性的影响  
Fig.2 Effects of different rice planting patterns on the photosynthetic characteristics of rice leaves

表1 不同播栽方式下水稻产量及其构成因素

Table 1 Grain yield and yield components of rice under different rice planting patterns

播栽方式	水稻产量(g/m <sup>2</sup> )	1 m <sup>2</sup> 穗数	穗粒数	结实率(%)	千粒质量(g)
水直播	950.2±35.5bc	398.4±13.3a	102.5±4.6c	89.9±1.1a	25.9±0.7a
旱直播	914.3±59.0c	396.5±21.0a	101.2±5.6c	88.9±0.4a	25.6±0.3a
手栽	1 078.0±86.0a	328.3±17.7b	132.9±9.8a	91.5±0.5a	27.0±0.8a
机插	1 029.1±68.8ab	364.9±20.8a	117.6±6.2b	90.8±2.6a	26.4±1.1a

同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05, LSD法)。

2.4 水稻光合生理指标与产量的相关关系

相关分析结果(表2)表明,水稻抽穗期叶片光合速率、气孔导度、胞间CO<sub>2</sub>浓度、蒸腾速率与产量均呈正相关关系,其中气孔导度、胞间CO<sub>2</sub>浓度、蒸腾速度与产量的相关性都达到极显著水平;水稻抽穗后20 d叶片光合速率、气孔导度、胞间CO<sub>2</sub>浓度、蒸腾速率与产量均呈正相关关系,但相关性均未达到显著水平。说明水稻抽穗期的光合生理指标对水稻产量有重要影响,手栽秧和机插秧水稻抽穗期叶片光合速率、气孔导度、胞间CO<sub>2</sub>浓度、蒸腾速率均较大幅度高于旱直播和水直播水稻(图2)是其产量显著提高的重要原因。

3 讨论

水稻叶片SPAD值与其叶绿素含量成正比,而

表2 水稻光合生理指标与产量的相关性

Table 2 The correlation coefficients of photosynthetic physiological indices and yield of rice

光合指标	相关系数	
	抽穗期	抽穗后20 d
光合速率	0.543	0.318
气孔导度	0.774 **	0.407
胞间CO <sub>2</sub> 浓度	0.804 **	0.111
蒸腾速率	0.717 **	0.611

\*\* 表示相关性达极显著水平(P<0.01)。

叶片叶绿素含量又与含氮量关系密切,通常SPAD值可被用来衡量叶片氮素含量的高低<sup>[18]</sup>。而水稻叶片含氮量与水稻品种<sup>[19]</sup>、氮肥施用<sup>[20]</sup>、光照<sup>[21]</sup>等因素密切相关,氮肥吸收能力强的水稻品种、较高氮肥施用量、较好的光照条件等都有利于提高水稻叶



片的氮素含量,从而提高水稻叶片的 *SPAD* 值。本研究早直播和水直播水稻抽穗后叶片 *SPAD* 值较低,手栽秧和机插秧水稻抽穗后叶片 *SPAD* 值较高,可能是由于直播稻生育后期有效穗数较多,群体较大,田间透光性较差,影响了水稻叶片的氮素含量。

水稻叶片作为光合作用的主要器官,直接影响作物的光能利用率和干物质生产能力,进而影响水稻产量。尤其是水稻抽穗后功能叶片光合作用的强弱,对其产量形成起着决定性作用<sup>[22]</sup>。凌启鸿<sup>[23]</sup>认为水稻产量主要取决于抽穗期到成熟期的光合生产能力。翟虎渠等<sup>[24]</sup>进一步研究发现,超高产水稻品种抽穗后光合作用产物对籽粒产量的贡献率达到80%以上。作为叶片光合作用强弱的重要指标,叶片光合速率除了受水分、温度、光照度和气体等生境因子的影响外,还受栽培措施的影响<sup>[25]</sup>。裴鹏刚等<sup>[26]</sup>的研究结果表明,增加氮肥施用量能显著增加水稻生育后期的光合速率,提高水稻产量。赵黎明等<sup>[27]</sup>发现在轻度干湿交替的灌溉方式下,水稻生育后期光合物质生产能力强,最终籽粒产量较高。本研究结果表明,抽穗期水稻叶片光合速率以直播稻,尤其是早直播较低,手栽秧和机插秧较高;抽穗后20 d 水稻叶片光合速率也是早直播最低,但不同播栽方式处理间差异较小。这主要是因为,在手栽秧和机插秧中不易发生的小分蘖在直播稻中发生较多,导致无效分蘖较多,影响了水稻生育中后期的群体质量,导致水稻叶片衰老加快,光合能力下降<sup>[28]</sup>。此外,作为生理过程,光合作用与气孔导度、胞间  $\text{CO}_2$  浓度、蒸腾作用也是相互影响的。本研究不同播栽方式下水稻抽穗期叶片气孔导度、胞间  $\text{CO}_2$  浓度、蒸腾速率的变化与光合速率的变化基本保持一致。说明水稻叶片光合生理指标之间存在相互协同的关系<sup>[29]</sup>。

有关不同播栽方式对水稻产量的影响,罗锡文等<sup>[30]</sup>的研究结果表明,机插秧水稻由于其有效穗数和每穗实粒数较多,因此产量最高,人工栽插水稻产量其次,人工直播水稻产量最低。程建平<sup>[31]</sup>研究发现,与人工撒播和人工手插方式相比,机械直播显著提高了有效穗数,因此产量最高。霍中洋等<sup>[32]</sup>的研究结果表明,不同品种水稻产量均是手栽秧最高,机插秧其次,直播稻最低。本研究结果表明,不同播栽方式水稻产量由高到低依次为手栽秧、机插秧、水直播和旱直播,旱直播水稻产量显著小于其他播栽

方式。手栽秧水稻每穗粒数、结实率和千粒质量均最高,因此其产量较高。本研究结果与前人的不尽一致,这主要与所采用的水稻品种、用种量、栽插规格以及大田管理方式不同有关。但总体来看,机插秧水稻产量较高,且其稳产性较好,并具有减小劳动强度,提高劳动生产率和种地的经济效益<sup>[9]</sup>等特点,可在大面积生产上进行推广应用。

#### 参考文献:

- [1] HILL J E, MORTIMER A M, NAMUCO O S, et al. Water and weed management in direct-seeded rice: Are we headed in the right direction[ C]// PENG S, MARDY B. Rice research for food security and poverty alleviation. Manila: IRRI, 2001:491-510.
- [2] HORIE T, SHIRAIWA T, HOMMA K, et al. Can yields of lowland rice resume the increases that showed in the 1980s[ J]. Plant Production Science, 2005, 8: 259-274.
- [3] BRAR A S, BUTTAR G S, JHANJI D, et al. Water productivity, energy and economic analysis of transplanting methods with different irrigation regimes in Basmati rice (*Oryza sativa* L.) under north-western India[ J]. Agricultural Water Management, 2015, 158: 189-195.
- [4] BHATTACHARYYA R, DAS T K, SUDHISHRI S, et al. Conservation agriculture effects on soil organic carbon accumulation and crop productivity under a rice-wheat cropping system in the western Indo-Gangetic Plains[ J]. European Journal of Agronomy, 2015, 70: 11-21.
- [5] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2013[ M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [6] 张洪程. 直播稻种植科学问题研究[ M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
- [7] 邓建平. 对江苏省实现水稻亩产跨越 600 kg 的思考[ J]. 中国农技推广, 2011, 27(10): 6-7, 17.
- [8] 马义虎, 杨祥田, 杨子峰, 等. 机插连作晚稻品种筛选及其生育特性研究[ J]. 江苏农业科学, 2015, 43(2): 58-62.
- [9] 程建平, 罗锡文, 樊启洲, 等. 不同种植方式对水稻生育特性和产量的影响[ J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(1): 1-5.
- [10] 叶靖, 董立强, 王术, 等. 种植方式对水稻产量及相关性状的影响[ J]. 江苏农业科学, 2015, 43(6): 73-75.
- [11] 刘红江, 陈留根, 郑建初, 等. 不同播栽方式对水稻产量形成和经济效益的影响[ J]. 江苏农业学报, 2014, 30(3): 474-479.
- [12] 刘红江, 蒋银涛, 陈留根, 等. 不同播栽方式对水稻根系生长及产量形成的影响[ J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 310-316.
- [13] JABRAN K, ULLAH E, HUSSAIN M, et al. Water saving, water productivity and yield outputs of fine-grain rice cultivars under conventional and water-saving rice production systems[ J]. Experimental Agriculture, 2015, 51: 567-581.
- [14] 霍中洋, 李杰, 张洪程, 等. 不同种植方式下水稻氮素吸收利用的特性[ J]. 作物学报, 2012, 38(10): 1908-1919.

- [15] 李小艳,孙宇,贺建荣,等. 水稻旱直播田全程草害化除技术[J]. 杂草科学,2015,33(4):51-54.
- [16] SINGH V P, DHYANI V C, SINGH S P, et al. Effect of herbicides on weed management in dry-seeded rice sown under different tillage systems[J]. Crop Protection, 2016, 80: 118-126.
- [17] 孙国才,陆彦,殷茵. 水稻机械移栽与化学除草一体化技术初探[J]. 杂草科学,2014,32(2):64-66.
- [18] LIN F F, QIU L F, DENG J S, et al. Investigation of SPAD meter-based indices for estimating rice nitrogen status [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 71: 60-65.
- [19] 魏颖娟,赵杨,PREEYANAT H,等. 不同穗型水稻品种灌浆期剑叶光合特性对籽粒灌浆速率的影响[J]. 中国稻米,2013, 19(4): 149.
- [20] 贺帆,黄见良,崔克辉,等. 实施实地氮肥管理对不同杂交水稻氮肥利用率的影响[J]. 中国农业科学,2008, 41(2): 470-479.
- [21] 杨虎,戈长水,应武,等. 遮荫对水稻冠层叶片 SPAD 值及光合、形态特征参数的影响[J]. 中国稻米,2014, 20(3): 580-587.
- [22] ACRECHE M M, BRIENO-FELIX G, MARTIN S J A, et al. Radiation interception and use efficiency as affected by breeding in Mediterranean wheat[J]. Field Crops Research, 2009, 110: 91-97.
- [23] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2000:85-91.
- [24] 翟虎渠,曹树青,万建民,等. 超高产杂交稻灌浆期光合功能与产量的关系[M]. 中国科学(C辑),2002, 32(3): 211-217.
- [25] KOURILL R, ILIKL P, NAUSL J, et al. On the limits of applicability of spectrophotometric and spectrofluorimetric methods for the determination of chlorophyll a/b ratio[J]. Photosynth Res, 1999, 62: 107-116.
- [26] 裴鹏刚,张均华,朱练峰,等. 秸秆还田耦合施氮水平对水稻光合特性、氮素吸收及产量形成的影响[J]. 中国水稻科学, 2015, 29(3): 282-290.
- [27] 赵黎明,李明,郑殿峰,等. 灌溉方式与种植密度对寒地水稻产量及光合物质生产特性的影响[J]. 农业工程学报,2015, 31(6): 159-169.
- [28] DAI X B, CAO S Q, XU X M, et al. Study on a mutant with low content chlorophyll a in a high yielding rice and its photosynthesis properties[J]. Acta Bot Sin, 2000, 42(12): 1289-1294.
- [29] 朱聪聪,张洪程,郭保卫,等. 钵苗机插密度对不同类型水稻产量及光合物质生产特性的影响[J]. 作物学报,2014, 40(1): 122-133.
- [30] 罗锡文,谢方平,区颖刚,等. 水稻生产不同栽植方式的比较试验[J]. 农业工程学报,2004, 20(1): 136-139.
- [31] 程建平,罗锡文,樊启洲,等. 不同种植方式对水稻生育特性和产量的影响[J]. 华中农业大学学报,2010, 29(1): 1-5.
- [32] 霍中洋,李杰,张洪程,等. 不同种植方式下水稻氮素吸收利用的特性[J]. 作物学报,2012, 38(10): 1908-1919.

(责任编辑:张震林)