

# 密度及插秧株数对水稻品种牡丹江 32 生长及产量的影响

张巍巍, 柴永山, 孙玉友, 魏才强, 解忠, 李洪亮, 刘丹, 刘春光

(黑龙江省农业科学院牡丹江分院, 黑龙江 牡丹江 157041)

**摘要:** 以牡丹江 32 为试材, 研究密度和插秧株数对水稻群体茎蘖数动态、最大叶面积指数、干物重积累及产量的影响, 研究发现, 为保证水稻较高群体茎蘖数需提高增加每穴插秧株数至 4~6 株, 较小的每穴占地面积有利于群体茎蘖数的提高, 最佳行距×株距为 36 cm×12 cm, 这与常规栽培方式一致。增加每穴插秧株数可显著增加最大叶面积指数, 这种增加作用主要是通过增加每平方米茎蘖数实现的, 而增加每穴占地面积对最大叶面积指数有降低作用。成熟期干物重与每穴插秧株数及每穴面积相关性不显著, 通径分析表明, 增加每穴插秧株数有增加干物重的趋势, 而扩大每穴面积会减小干物重。每平方米茎蘖数、成熟期干物重、最大叶面积指数与产量呈显著或极显著正相关。对于牡丹江 32 水稻品种, 插秧规格 40 cm×10 cm 或 30 cm×12 cm, 每穴插秧 4~6 株, 产量可达到 8 635.4、8 634.0 kg·hm<sup>-2</sup>, 二者差异不大, 显著或极显著大于其他处理。

**关键词:** 水稻; 密度; 插秧株数; 产量; 茎蘖数; 干物重

**中图分类号:** S181.1 **文献标志码:** A

## Effects of transplanting density and population on growth and yield of rice variety Mudanjiang 32

ZHANG Wei-wei, CHAI Yong-shan, SUN Yu-you, WEI Cai-qiang,

XIE Zhong, LI Hong-liang, LIU Dan, LIU Chun-guang

(Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agriculture Science, Mudanjiang, Heilongjiang 157041, China)

**Abstract:** To investigate the effects of transplanting density and number of seedlings per hole on the yield traits such as dynamic changes of stem tiller, maximal leaf area index and dry matter accumulation, the rice variety Mudanjiang 32 was used in this study. The results showed that the highest dynamic changes of stem tiller number of rice population was detected when seedlings were planted 4~6 plants per hole, and the transplanting density model was 36 cm×12 cm, which was consistent with the conventional cultivation way. The maximal leaf area index could be significantly enhanced by increasing the number of seedlings per hold, which relied on the increase of stem tiller number per square meter, whereas increasing cover area per hole would lead to low leaf area index. The dry matter weight at maturation had no significant correlation with the number of transplanting plants and area of each hole. Path analysis showed that dry matter weight tended to increase with the addition of transplanting plants in each hole, while expansion in area of each hole showed an opposite effect. The stem tillers number, dry matter weight at maturation and maximal leaf area index every square meter were significantly or extremely significantly positively correlated with the yield. It was further concluded that the most suitable transplanting models for Mudanjiang 32 were to employ a planting population of 4~6 plants per hole, and a transplanting density of 40 cm×10 cm or 30 cm×12 cm, resulting in yields of 8 635.4 kg·hm<sup>-2</sup> and 8 634.0 kg·hm<sup>-2</sup>, respectively. There was no difference between these two transplanting models, but they were significantly better than the other models.

**Keywords:** Rice; Transplanting density; Transplanting plant; Yield; Stem tillers number; Dry matter weight

收稿日期: 2014-03-19

基金项目: 国家科技成果转化项目(2011GB2B200001)

作者简介: 张巍巍(1982—), 女, 内蒙古通辽人, 农艺师, 硕士研究生, 主要从事水稻高产、高效栽培技术研究。E-mail: wwzhangok@163.com.

通信作者: 柴永山, 研究员, 从事水稻高产育种、栽培技术研究。E-mail: mdjsds@126.com.

水稻产量的提高取决于能否有效利用光能,合理栽植密度在协调水稻个体株型与群体结构矛盾发挥了重要作用,决定了光能的有效利用<sup>[1-4]</sup>,栽培密度同时作用于水稻个体发育和群体结构,一方面,栽培密度过低,田间空隙大,通风透光条件好,有利于水稻的分蘖和生长,但是有效穗数少影响群体结构和产量;另一方面,栽培密度过高,虽然穗数增加,但田间通风透光条件差,湿度大,病虫害发生严重,个体间的生存矛盾加剧,导致穗粒结构失调,表现为穗多、穗小、粒少、粒轻和产量低下<sup>[5]</sup>,行株距对不同类型的水稻生长和产量有不同程度的影响,汪秀志等人以寒地水稻品种为试材研究发现,穴距与最大叶面积指数及单位面积结实颖花数呈极显著二次曲线关系<sup>[6]</sup>。近几十年来,就水稻高产栽培中的密度问题,进行了大量的研究,当前水稻栽培上每穴栽插苗数大多都采用单苗稀植移栽,认为群体竞争小,个体发育良好,后期群体高光效,进而提高产量潜力<sup>[7]</sup>。水稻产量形成的过程,可看作光合产物生产、积累与分配的过程。本文以水稻密度、插秧株数为切入点研究二者对水稻茎蘖动态、叶面积指数、干物重积累等生长情况及产量的影响,旨在为牡丹江 32 水稻品种产量的充分发挥提供高产栽培理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地及概况

试验于 2013 年在黑龙江省农业科学院牡丹江分院进行,试验地土壤类型为河淤泥,有机质含量  $18.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , pH 值 7.2,全氮含量  $2.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,碱解氮含量  $88.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,土壤速效磷含量  $13.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾含量  $98.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

### 1.2 试验设计

试验以寒地粳稻散穗型水稻品种牡丹江 32 为试材,研究插秧株数及密度对水稻生长的影响,牡丹江 32 水稻品种剑叶上举,主茎 13 片叶,株高 97.9 cm 左右,抗倒伏,穗长 17.5 cm 左右,单穴分蘖在 22.1 左右,每穗粒数 80.2 粒左右,千粒重 25.2 g 左右。出苗至成熟生育日数 139 d 左右,比对照品种晚 1 d。需  $\geq 10^\circ\text{C}$  活动积温  $2575^\circ\text{C}$  左右,属于第二积温带水稻品种。采用裂区设计,密度为主区,行距  $\times$  株距分别为:  $35 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$  (A1)、 $40 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  (A2)、 $30 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$  (A3) 三个处理;每穴插秧株数为裂区,设计 6 株(B1)、4 株(B2)、2 株(B3)、1 株(B4) 四个处理,3 次重复。4 月 15 日播种,5 月 20 日移栽,其余栽培措施与常规栽培相同。

### 1.3 调查指标及方法

每穴茎蘖数:自水稻开始分蘖起,每 10 天调查

一次茎蘖数,以每处理组合内第三行第三株为起点,连续调查 10 穴。

叶面积指数(LAI):采用比重法,在每小区选取 3 点,每点 5 穴,每穴选取 5 棵中等茎,测量其叶片长度和最大宽度,然后混合放入烘干盒内。剪取其 5 穴的叶片,放入烘干盒中,将所有烘干盒放入恒温烘干箱中,  $105^\circ\text{C}$  下杀青 30 分钟,  $80^\circ\text{C}$  下烘干至恒重,叶面积指数(LAI)计算公式如下:

$$LAI = 0.78 \times S1(G1 + G2)/G1 \times S2$$

S1 表示 3 棵中等茎着生叶片长度乘以宽度之和, G1 为 3 棵中等茎着生叶片干重, G2 为剩余 5 穴叶片干重, S2 为 5 穴水稻的占地面积, 0.78 为系数。

成熟期每穴干物重:在水稻成熟期选取与每小区平均茎蘖数相同的 2 穴作为该小区样本,除去水稻根装入烘干盒内,  $105^\circ\text{C}$  下杀青 30 分钟,  $80^\circ\text{C}$  烘干至恒重后称重。

产量:每小区除去边行实打实收后称重,测定含水量,统一折合成含水量为 15% 的产量。

## 1.4 数据分析

采用 Excel2003 软件及 DPS v7.05 处理数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同密度、插秧株数下平方米茎蘖数动态

从图 1 中可以看出, A3 处理 ( $30 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$ , 每穴占地面积  $360 \text{ cm}^2$ ) 在整个生育期每平方米茎蘖数都最多, A1 处理 ( $35 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ , 每穴占地面积  $525 \text{ cm}^2$ ) 居中, A2 处理 ( $40 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ , 每穴占地面积  $400 \text{ cm}^2$ ) 最低, A3 处理显示出较高的群体茎蘖数优势。

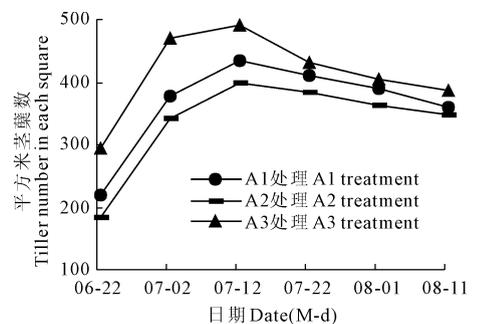


图 1 不同密度下平方米茎蘖数动态变化

Fig.1 Dynamic changes of tiller number every square meter with different transplanting densities

比较不同插秧株数下茎蘖数动态发现,每穴插秧 6 株和 4 株的平方米茎蘖数在整个生育期都较高,两处理差异不大;而每穴插秧 1 株的平方米茎蘖数整个生育期保持最低,说明每穴插秧 4~6 株有利于牡丹江 32 群体茎蘖数的提高,而每穴插秧 1~2 株不利于水稻群体茎蘖数的增加(图 2)。

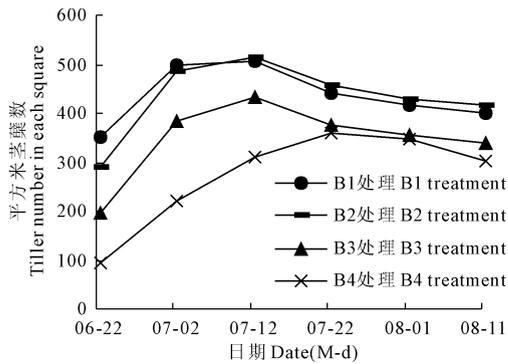


图 2 不同插秧株数下平方米茎蘖数动态变化

Fig.2 Dynamic changes of tiller number every square meter with different transplanting plants

## 2.2 插秧株数、密度对每平方米茎蘖数及最大叶面积指数的影响

插秧株数与最大叶面积指数显著正相关(图 3),进一步分析发现,每穴插秧株数通过增加每平方米茎蘖数来增加最大叶面积指数,也可直接增加最大叶面积指数,每平方米茎蘖数对最大叶面积指数直接通径系数为正值并且较大;而每穴所占面积对最大叶面积指数有负作用,扩大每穴面积也就是稀植不利于最大叶面积指数的增加(表 1)。

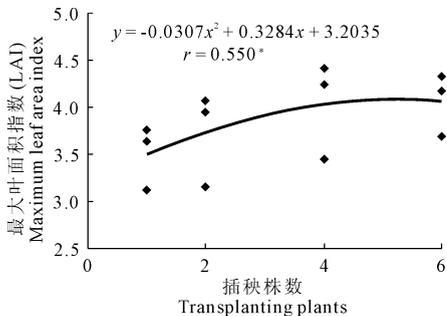


图 3 插秧株数对最大叶面积指数的影响

Fig.3 The effects of maximal leaf area index on transplanting plants in each hole

## 2.3 成熟期密度、插秧株数对每穴干物重及单位面积干物重的影响

增加插秧株数不能显著增加成熟期每穴干物重及单位面积干物重,每穴面积增加能显著增加成熟期每穴干物重,但是每穴面积与成熟期单位面积干物重相关性极小,增加成熟期每穴干物重极显著增加单位面积干物重(表 2)。

通径分析发现,每穴插秧株数通过每穴干物重对单位面积干物重的增加作用较大,而对单位面积干物重的直接作用小;每穴面积对单位面积干物重的直接及间接通径系数都较大,并且正负相抵消,导致对单位面积干物重的作用不显著(表 3)。

表 1 插秧株数、每穴面积及每平方米茎蘖数对最大叶面积指数的通径分析

Table 1 Path analysis of transplanting plants, each hole area and tiller number in each square meter to the maximal leaf area index

因子 Factor	直接 Direct	→插秧株数(X1) Transplanting plants	→每穴面积(X2) Each hole area	→每平方米茎蘖数(X3) Tiller number in each square meter
插秧株数(X1) Transplanting plants	0.312		0	0.185
每穴面积(X2) Each hole area	-0.464	0		-0.086
每平方米茎蘖数(X3) Tiller number in each square meter	0.249	0.232	0.160	

表 2 成熟期每穴插秧株数、每穴面积对每穴干物重及单位面积干物重的影响

Table 2 Effects of transplanting plants in each hole and each hole area at maturation on dry matter weight of each square and per unit area

因子 Factor	每穴干物重 Dry matter weight of each hole	每平方米干物重 Dry matter weight of each square
插秧株数 Transplanting Plants	0.255	0.395
每穴面积 Each hole area	0.710 * *	0
每穴干物重 Dry matter weight of each hole		0.699 * *

注: \* 和 \* \* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平下显著相关。下同。

Note: \* and \* \* showed significant levels at 0.05 and 0.01 probabilities, respectively and hereinafter.

表 3 插秧株数、每穴面积、成熟期每穴干物重对单位面积干物重的通径分析

Table 3 Path analyses of transplanting plants, each area and tiller number in each square meter to the dry matter weight

因子 Factor	直接 Direct	→插秧株数(X1) Transplanting plants	→每穴面积(X2) Each hole area	→每穴干物重(X3) Dry matter weight of each hole
插秧株数(X1) Transplanting plants	0.041		0.000	0.354
每穴面积(X2) Each hole area	-0.986	0.000		0.986
每穴干物重(X3) Dry matter weight of each hole	1.389	0.010	-0.700	

比较牡丹江 32 水稻品种每穴插秧株数与每穴面积对成熟期单位面积干物重的作用发现,增加每穴插秧株数有增加单位面积干物重的趋势,而增加每穴占地面积也就是稀植对单位面积干物重增加作

用不大。

#### 2.4 不同密度下插秧株数对最大叶面积指数、穗数、每穗实粒数的影响

密度处理间最大叶面积指数以 A3 处理最大,达到显著水平,A1 与 A2 处理差异不大,每平方米穗数处理间比较结果为: A3 > A1 > A2,达到显著或极显著水平,每穗粒数以 A1 与 A2 处理最大,二者差异未达显著水平,A3 处理最小(表 4)。减小密度可以增加最大叶面积指数和每平方米穗数,同时减小每穗粒数。

表 5 不同密度下插秧株数对最大叶面积指数、穗数、每穗实粒数的影响

Table 5 Effects of transplanting plants on maximal leaf area index, panicles and solid grains per panicle with different transplanting densities

密度 Transplanting density	插秧株数 Transplanting plants	最大叶面积指数(LAI) Maximum leaf area index	穗数 Panicles	每穗实粒数 Solid grains each of panicle
35cm × 15cm(A1)	6(B1)	4.2Aa *	380.0Ab	80.7Aab
	4(B2)	3.4BCbc	426.7Aa *	74.3Aab
	2(B3)	3.2Cc	325.7Bc	71.1Ab
	1(B4)	3.6Bb	311.4Bc	84.4Aa
40cm × 10cm(A2)	6(B1)	4.0Aab	353Bb	57.4Cc
	4(B2)	4.2Aa *	423Aa *	76.9Bb
	2(B3)	3.7Ab	336BCb	88.3Aa
	1(B4)	3.1Bc	281Cc	95.2Aa
30cm × 12cm(A3)	6(B1)	4.3Aa *	472.2Aa *	61.5Aab
	4(B2)	4.4Aa *	402.8Bb	56.6Aab
	2(B3)	4.1ABab	359.7BCb	55.9Ab
	1(B4)	3.8Bb	309.7Cc	70.0Aa

比较各处理最大叶面积指数发现,位于前 4 名的最大叶面积指数分别为处理 A3B2、A3B1、A2B2、A1B1,多重比较发现以上 4 处理分别显著或极显著大于相同密度下的其他处理,每平方米穗数位于前三名的分别为 A3B1、A1B2、A2B2,相同密度下插秧 1 株时每穗粒数最多,显示出最大叶面积指数随着密度的增加而增大,在每穴插秧 4~6 株时每平方米穗数最大,产量亦最大。

#### 2.5 成熟期每平方米茎蘖数、最大叶面积指数、单位面积干物重与产量的关系

成熟期每平方米茎蘖数、最大叶面积指数、成熟期每平方米干物重与产量显著或极显著正相关(图 4~图 6),说明,通过协调栽培措施增加成熟期每平方米茎蘖数、最大叶面积指数、成熟期干物重均有利用牡丹江 32 产量的提高,产量比较发现插秧规格 40 cm × 10 cm、每穴插秧 4 株产量达到 8 635.4 kg · hm<sup>-2</sup>,以及插秧规格 30 cm × 12 cm、每穴插秧 6 株时产量达到 8 634.0 kg · hm<sup>-2</sup>,二者差异不大,同时显著或极显著大于其他处理(表 4)。

表 4 不同密度间最大叶面积指数、穗数、每穗实粒数比较

Table 4 Comparisons of maximal leaf area index, panicles and solid grains per panicle with different transplanting densities

密度 Transplanting density	最大叶面积指数(LAI) Maximum leaf area index	穗数 Panicles	每穗实粒数 Solid grains per panicle
35cm × 15cm(A1)	3.6Ab	361.0Bb	79.4Aa
40cm × 10cm(A2)	3.8Ab	348.3Bc	77.6Aa
30cm × 12cm(A3)	4.2Aa	386.1Aa	59.8Bb

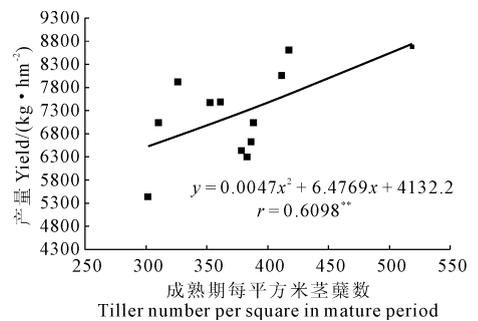


图 4 成熟期每平方米茎蘖数与产量之间的关系

Fig.4 Relationship between tiller number per square meter at maturation and yield

### 3 结论与讨论

长期以来,种植密度一直是调节水稻群体结构、植株生理活性、肥料吸收利用、杂草控制及产量等的重要手段<sup>[8-10]</sup>,牡丹江 32 水稻品种属于寒地散穗型水稻品种,具有分蘖力强、穗粒数少的特点,不同品种及类型水稻对栽培方式有不同的需要,本研究发现,增加牡丹江 32 水稻品种密度对最大叶面积指

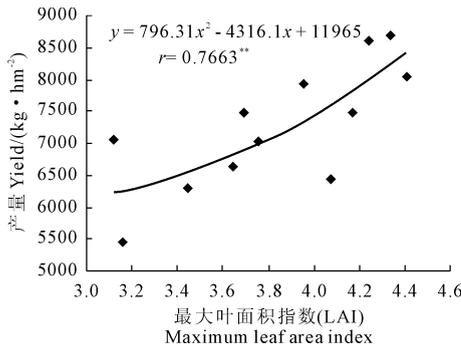


图 5 最大叶面积指数与产量之间的关系

Fig.5 Relationship between maximal leaf area index and yield

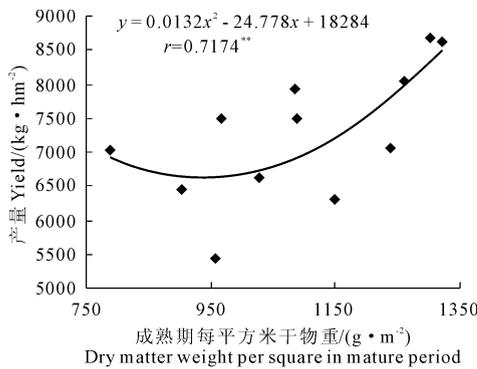


图 6 成熟期每平方米干物重与产量之间的关系

Fig.6 Relationship between dry matter weight per square meter at maturation and yield

表 6 处理间产量比较

Table 6 Comparisons of yields under different treatments

处理组合 Combined treatment	产量 Yield /(kg·hm <sup>-2</sup> )	5%显著水平 Significance at the 5% probability level	1%显著水平 Significance at the 1% probability level
A2B2	8635.5	a	A
A3B1	8634.0	a	A
A3B2	7858.5	ab	AB
A2B3	7632.0	abc	AB
A1B1	7543.5	abc	AB
A2B4	7311.0	abc	AB
A3B4	7059.0	bc	ABC
A2B1	6955.5	bc	ABC
A1B2	6604.5	bcd	BC
A1B4	6603.0	bcd	BC
A3B3	6255.0	cd	BC
A1B3	5509.5	d	C

数有直接增加作用,插秧规格 30 cm × 12 cm 时表现出较高的群体茎蘖数优势,密植对单穴干物重有降低作用,但对单位面积干物重影响不大,可发挥出群体优势,由于寒地水稻种植生产力水平的提高以及强化栽培措施的推广<sup>[11]</sup>,很多地区种植密度大幅度降低<sup>[12]</sup>,但对于牡丹江 32 水稻品种而言保证基本

苗数仍然是产量提高的基础。牡丹江 32 插秧株数达 4~6 株时表现出较大的平方米茎蘖数,插秧株数与最大叶面积指数正相关,而增加插秧株数不能显著增加单穴干物重及单位面积干物重。值得一提的是,牡丹江 32 在插秧规格 40 cm × 10 cm、每穴插秧 4 株产量最高,并与与插秧规格 30 cm × 12 cm、每穴插秧 6 株产量相差不大,这与传统栽培方式存在差异,据分析是由于行距扩大到 40 cm 每穗粒数平均值达到 76.9 粒较大,能很好的兼顾品种穗数与穗粒数优势,宽行距移栽有利于改善多蘖-弯穗型品种的群体生态环境<sup>[13]</sup>,这与赵海新等人研究结果相一致,刘艳光等人研究表明干物重和叶面积降低、水稻穗数减少、千粒重降低、经济产量降低<sup>[14]</sup>。本研究发现,增加成熟期每平方米茎蘖数、成熟期每平方米干物重、最大叶面积指数可以显著或极限增加产量,这为牡丹江 32 水稻品种产量的挖掘提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 吴春赞,叶定池,林 华,等.栽插密度对水稻产量及品质的影响[J].中国农学通报,2005,21(9):190-205.
- [2] Reyniers M, Vrindts J, De Baerdemeker J. Optical measurement of crop cover for yield prediction of wheat[J]. Biosystems Engineering, 2004,89(4):383-394.
- [3] Horie T. Increasing yield potential in irrigated rice: Breaking the yield barrier[A]. Peng S B, Hardy B. Research for Food Security and Poverty Alleviation[C]//International Rice Research Institute press, 2001: 95-108.
- [4] 杨 波,任万军,杨文钰.密度对优化定抛水稻产量和群体质量的影响[J].杂交水稻,2006,2(5):64-68.
- [5] 朱德峰,林贤青,陶龙兴,等.水稻强化栽培体系的形成与发展[J].中国稻米,2003,(2):17-18.
- [6] 汪秀志,刘崇文,许谊强,等.肥密互作对寒地水稻源库关系的影响[J].湖南农业大学学报,2013,39(1):17-22.
- [7] 韩春雷,魏树和,刘宪平,等.水稻高产群体的冠层特征及其与产量关系的研究[J].辽宁农业科学,1996,(3):24-27.
- [8] 叶全宝,张洪程,戴其根,等.施氮水平和栽插密度对水稻生育中后期硝酸还原酶活性的影响[J].植物生理学通讯,2005,41(1):41-44.
- [9] 徐春梅,王丹英,邵国胜,等.施氮量和栽插密度对超高产水稻中早 22 产量和品质的影响[J].中国水稻科学,2008,22(5):507-512.
- [10] 李 贵,吴竞仑,王一专,等.栽插密度和水层对水稻化感品种抑草作用的影响[J].上海交通大学学报(农业科学版),2007,25(6):461-565.
- [11] 袁隆平.水稻强化栽培体系[J].杂交水稻,2001,16(4):1-3.
- [12] 陆锦贤,华勤新,殷永福,等.水稻不同移栽密度与产量的关系[J].上海农业科技,2007,(3):51.
- [13] 赵海新,杨雨敏,陈书强,等.行距对两个不同类型水稻品种冠层结构与产量的影响[J].中国水稻科学,2011,25(5):488-494.
- [14] 刘艳光,曹春瑞,田洪旭,等.结实期水分供应对寒地水稻生育和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(5):115-122.