

## 机插密度对杂交稻干物质积累及产量形成的影响

滕飞<sup>1,2</sup> 李传友<sup>1</sup> 陈惠哲<sup>2</sup> 朱德峰<sup>2\*</sup>

(1.北京市农业机械试验鉴定推广站,北京 100079;

2.中国水稻研究所 水稻生物学国家重点实验室,杭州 310006)

**摘要** 为明确适宜的杂交稻机插株距及种植密度,选取中浙优8号及甬优12为材料,设置14、16、18和21 cm 4个机插株距,研究不同种植密度对杂交稻生长及产量的影响。结果表明:随着机插株距的增大,2个水稻品种植株个体虽然均生长健壮,单株茎蘖数增加,但群体总茎蘖数下降,且后期茎蘖消减较快,最终茎蘖成穗率出现一定的下降趋势;同时,机插株距的增大引起植株群体干物质积累量减小,其干物质主要转运至茎叶部位,穗部干物质积累比例未有明显提高。从最终产量表现来看,机插株距的增大导致田间有效穗数显著降低,产量也随之减少。综上可以看出2个水稻品种均需要一定的种植密度才能保证高产,最适株距应调节至14~18 cm,种植密度保持在18.5~23.8穴/m<sup>2</sup>。

**关键词** 杂交稻;机插秧;株距;密度;干物质积累;产量

**中图分类号** S 511.048; S 233.71

**文章编号** 1007-4333(2016)03-0001-07

**文献标志码** A

## Effects of transplanting density on dry matter accumulation and yield formation of machine transplanted hybrid rice

TENG Fei<sup>1,2</sup>, LI Chuan-you<sup>1</sup>, CHEN Hui-zhe<sup>2</sup>, ZHU De-feng<sup>2\*</sup>

(1. Beijing Agricultural Machinery Testing and Extension Station, Beijing 100079, China;

2. State Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China)

**Abstract** To explore suitable transplanting spacing and density of hybrid rice under mechanically transplanting condition, Zhongzheyou 8 and Yongyou 12 were adopted as test materials to study on the effect of different planting densities on the growth and yield of hybrid rice. Different planting densities of four transplanting spacing (14, 16, 18 and 21 cm) were designed. The results showed that: With the increase of transplanting spacing, individual plant of both varieties were vigorous, the tillers of single plant were increased. However, the total number of tillers was decreased significantly, and the spike rate displayed a trend of reduction. With the increasing of transplanting spacing, the dry matter accumulation of plants was decreased since the dry matter was mostly transported to stems and leaves, and had small contribution to grain yield. From the performance of rice productivity, increasing transplanting spacing could reduce the effective panicle significantly and caused reduction of grain yield. Therefore, high yield hybrid rice need certain degree of planting density, the suitable density was 18.5 to 23.8 points each m<sup>2</sup>, and the suitable spacing was between 14 to 18 cm.

**Keywords** hybrid rice; mechanized transplanting; spacing; density; dry matter accumulation; grain yield

水稻在我国有着十分悠久的种植历史,是我国最为重要的粮食作物之一,其种植总面积、总产量均居我国粮食类作物首位<sup>[1-2]</sup>。然而,随着我国经济建

设的飞速发展,农村劳动力不断向城镇转移,小农业生产逐渐难以适应我国当前国情,农业生产向着机械化、规模化、集约化发展。传统的水稻生产用工多,

收稿日期:2015-07-20

基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAD07B02);浙江省公益性技术应用研究项目(2015C32044)

第一作者:滕飞,助理工程师,主要从事水稻机械化种植技术研究,E-mail:493861676@163.com

通讯作者:朱德峰,研究员,博士生导师,主要从事水稻高产栽培技术研究,E-mail:cnrice@qq.com

劳动强度大,生产效益低,已成为制约我国水稻产业发展的瓶颈。因此,近年来我国大力发展水稻机插秧技术,旨在降低农业劳动成本,提高农业生产效率。目前我国水稻生产中使用的插秧机及其配套技术大多源自于日本和韩国,但由于国情不同,日韩两国的插秧机及其技术并不能充分适应我国水稻生产,特别是杂交稻的生产需求,而我国杂交稻种植面积广大,杂交稻品种繁多,因此,解决杂交稻机插秧问题对我国水稻产业的发展具有重大意义。

现有机插育秧技术为降低漏秧率,普遍用种量大,导致机插每穴本数过多<sup>[3-5]</sup>,而杂交稻则要求少本稀植,才能充分发挥增产潜力<sup>[6-7]</sup>,因此,探究一个合理的杂交稻栽插密度对我国杂交水稻机械化生产具有重大意义。目前我国大面积推广使用的插秧机行距均固定为30 cm,株距可调<sup>[8-10]</sup>,因此,调节株距是实现稻田栽插密度改变的重要手段。而我国目前杂交稻品种繁多,群体生长条件差异较大,为此,本研究在机插秧条件下,通过设置不同的机插株距,对杂交稻不同栽插密度下的分蘖动态、分蘖成穗率以及产量构成因子等方面的比较分析,探明不同机插密度条件下杂交水稻生长特性及产量形成的变化规律,旨在为杂交稻机械化种植技术的合理推广及应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与种植方式

试验于2013年进行,试验地点为中国水稻科学研究所富阳试验基地,该地纬度30.1 °C,经度120.0 °C,属于长江中下游水稻主产区。试验地区光照充足,气候适宜,降雨丰富,日照时数达1 763 h,无霜期231 d,年平均气温为16 °C,年平均降雨量为1 388 mm。

参试品种为该地区广泛种植品种,分别为籼型杂交稻中浙优8号和粳型杂交稻甬优12,均作单季稻种植。试验于当年5月28日播种,育秧方式为泥浆育秧,每盘播种量均为80 g。

### 1.2 试验设计

试验采用裂区设计,其中栽插株距为主区,设置4个株距水平,分别为14 cm(D1)、16 cm(D2)、18 cm(D3)、21 cm(D4);设置品种为副区,为中浙优8号(V1)和甬优12(V2)2个品种。试验小区面积27 m<sup>2</sup>(1.8 m×15 m),设3次重复,共分24个小区。6月19日机插移栽,移栽叶龄3.1~3.7叶,使

用洋马VP-6高速插秧机机插,机插规格为行距30 cm。各小区保持水肥条件一致,施肥量为:氮肥(折合成纯氮)180 kg/hm<sup>2</sup>,磷肥(折合成P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)45 kg/hm<sup>2</sup>,钾肥(折合成K<sub>2</sub>O)100 kg/hm<sup>2</sup>。肥料种类为:氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾。施肥时期为:氮肥中基肥、分蘖肥和穗肥,比例分别为5:3:2,分蘖肥在机插一周后施用,磷肥全部作基肥施用,钾肥全部作穗肥施用。移栽后做好水分管理,苗期浅水勤灌,分蘖末期排水晒田,分次轻晒,孕穗至抽穗期采用间歇灌溉,保证田间干湿交替。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 茎蘖动态及茎蘖成穗率

定点调查茎蘖消长动态。在每试验小区的对角线上选取3点长势比较一致的水稻定点调查,每点连续调查15穴,每7 d调查1次,取分蘖高峰期、穗分化期和齐穗期茎蘖数进行数据对比分析。计算茎蘖成穗率时,于齐穗期在每试验小区随机取15穴调查有效穗数,通过有效穗数与高峰分蘖数的比值确定成穗率。

$$\text{茎蘖成穗率} = \text{有效穗数} / \text{分蘖期最高分蘖数}$$

#### 1.3.2 干物质积累及转运特性

分别于齐穗期和成熟期,每试验小区随机选取20穴调查茎蘖数。以20穴平均茎蘖数为标准,取5穴(边行不取)带回分拣,分成叶片、茎鞘和穗等部分装袋,于105 °C条件下杀青60 min,再经80 °C烘干至恒重后称干质量。

$$\text{茎鞘物质输出率} / \% = (\text{齐穗期茎鞘干质量} - \text{成熟时茎鞘干质量}) / \text{齐穗期茎鞘干质量} \times 100$$

$$\text{茎鞘物质转换率} / \% = (\text{齐穗期茎鞘干质量} - \text{成熟时茎鞘干质量}) / \text{籽粒干质量} \times 100$$

$$\text{抽穗后干物质积累} =$$

$$\text{成熟期地上部干质量} - \text{齐穗期地上部干质量}$$

#### 1.3.3 产量及其构成

于成熟期进行产量调查,每试验小区随机选取15穴,调查各穴有效穗数,计算每穴平均穗数,以平均穗数为标准,取代表性植株6丛,测定每穗粒数、结实率和千粒重。对每试验小区进行实割测产,每小区实割3 m<sup>2</sup>,晒干后,换算成标准含水量后计算小区产量。

### 1.4 数据处理

所测数据采用Excel软件进行数据整理,采用SAS软件进行数据分析,方差分析采用LSD

多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 茎蘖动态及茎蘖成穗率

由表 1 可以看出,水稻茎蘖数受种植密度影响较为明显,随着机插株距的增大,两品种单株茎蘖数均有所增加。比较不同时期水稻茎蘖变化发现,机插株距较大的处理(18 和 21 cm),分蘖高峰期单株茎蘖数有明显的提高,但后期茎蘖消减较快,至齐穗期其茎蘖数虽仍具有一定优势,但差异已趋于平缓,其中中浙优 8 号 16、18 和 21 cm 均无显著差异,甬优 12 各处理间均无显著差异。说明机插株距的增

大可有效增加水稻个体茎蘖数,但这种茎蘖数的优势在水稻生长后期消减较快。群体茎蘖变化与单株茎蘖变化有明显区别,中浙优 8 号各时期群体茎蘖数均呈现先上升后下降的趋势,机插株距为 18 cm 时,群体茎蘖数最大,而甬优 12 群体茎蘖数规律不明显,总体来看机插株距为 16 cm 时,其各时期茎蘖数均较大。通过对两品种茎蘖成穗率的比较分析可以看出(图 1),机插株距较小的处理其茎蘖成穗率较高,机插株距越大,其茎蘖成穗率反而越低。由此说明增大机插株距、减小种植密度对水稻个体生长确实具有促进作用,其茎蘖数明显增加,但无效分蘖较多,最终成穗情况反而不佳。

表 1 不同时期茎蘖动态  
Table 1 Dynamics of tiller at different stage

品种 Variety	株距/cm Spacing	分蘖高峰期 Height tillering stage		穗分化 Panicle initiation stage		齐穗 Full heading stage	
		单株 分蘖数 Tiller number	群体 分蘖数/m <sup>-2</sup> Tiller number	单株 分蘖数 Tiller number	群体 分蘖数/m <sup>-2</sup> Tiller number	单株 分蘖数 Tiller number	群体 分蘖数/m <sup>-2</sup> Tiller number
中浙优 8 号 Zhongzheyou 8	14	18.6 b	442.9 b	11.7 b	277.8 ab	11.9 b	284.1 b
	16	21.5 b	448.6 b	13.3 ab	276.4 ab	13.1 ab	273.6 ab
	18	26.7 a	493.8 a	17.1 a	317.3 a	16.6 a	307.4 a
	21	25.2 a	400.0 c	16.3 a	258.2 b	16.2 a	257.1 b
甬优 12 Yongyou 12	14	12.8 c	304.8 b	10.5 a	249.2 a	9.9 ab	234.9 a
	16	16.9 b	352.8 a	11.5 a	240.3 a	10.1 ab	211.1 ab
	18	17.9 b	332.1 a	11.7 a	217.3 b	11.0 a	203.7 b
	21	22.1 a	350.3 a	12.2 a	193.7 b	12.9 a	204.2 b

注:同一品种数字后不同字母表示处理间差异显著(P=0.05)。

Note: Values followed by different letters refer to significant difference at 0.05 level.

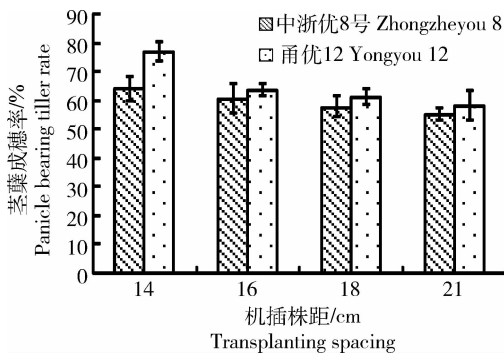


图 1 茎蘖成穗率比较

Fig. 1 Comparison of panicle bearing tiller rate

### 2.2 干物质积累量及比例

由表 2 可知,水稻各部位干物质积累量差异明显,齐穗期茎鞘部位干物质比例最大,占地上部干物质积累量的 60% 左右,至成熟期下降至 30% ~ 35%。而成熟期穗部干物质积累量显著提高,穗部干物质质量所占比例达到了 48% 以上。种植密度的变化对两品种各部位干物质积累量具有显著影响,尤其对中浙优 8 号的影响有较强的规律性。随着机插株距的增大,中浙优 8 号茎鞘及叶片部位干物质质量所占比例大致呈现逐渐增大的趋势,但随株距的增大,增幅逐渐减小,当株距增至 21 cm 时,甚至出

现一定量的降低。但穗部干重比例却变化不大,甚至有所减小。而甬优 12 规律性较差,总体来看,其受机插株距变化的影响较小,各部位干物质分配无明显差异。从积累量上可以看出,机插株距的增大导致两品种各部位群体干物质积累量均显著降低。

因此,增大机插株距虽促进了水稻个体茎叶的干物质积累,但对最终穗部产量的促进作用较小,在一定程度上引起了水稻的茎叶徒长,且较小的种植密度导致水稻群体干物质积累量降低,不利于水稻高产。

表 2 水稻主要生育阶段群体干物质积累量和比例

Table 2 Dry matter accumulation and proportion at main growths stages of rice

品种 Variety	株距/cm Spacing	齐穗期 Full heading stage					
		茎鞘 Stem and sheath		叶片 Leaf		穗 Panicle	
		积累量/ (g/m <sup>2</sup> )	比例/%	积累量/ (g/m <sup>2</sup> )	比例/%	积累量/ (g/m <sup>2</sup> )	比例/%
中浙优 8 号 Zhongzheyou 8	14	810.20 a	62.21	310.54 a	23.85	181.59 a	13.94
	16	783.36 a	62.31	299.34 a	23.81	174.55 a	13.88
	18	767.41 ab	62.86	279.62 ab	23.63	136.09 b	13.50
	21	733.00 b	60.19	317.13 a	26.04	167.78 a	13.78
甬优 12 Yongyou 12	14	964.01 a	58.13	414.68 a	25.00	279.80 a	16.87
	16	856.32 b	59.23	363.06 ab	25.11	226.35 b	15.66
	18	749.89 c	58.95	324.02 b	25.47	198.17 bc	15.58
	21	675.32 cd	59.21	291.38 c	25.55	173.89 c	15.25
品种 Variety	株距/cm Spacing	成熟期 Maturity stage					
		茎鞘 Stem and sheath		叶片 Leaf		穗 Panicle	
		积累量/ (g/m <sup>2</sup> )	比例/%	积累量/ (g/m <sup>2</sup> )	比例/%	积累量/ (g/m <sup>2</sup> )	比例/%
中浙优 8 号 Zhongzheyou 8	14	757.82 a	30.95	366.67 a	14.98	1323.85 a	54.07
	16	688.72 b	33.08	309.69 b	14.88	1083.33 b	52.04
	18	613.67 c	35.21	287.10 b	16.47	842.25 c	48.32
	21	483.65 d	33.07	243.99 c	16.69	734.71 d	50.24
甬优 12 Yongyou 12	14	787.74 a	32.42	397.94 a	16.38	1244.21 a	51.20
	16	781.32 a	33.70	385.42 a	16.62	1194.17 a	49.68
	18	732.90 b	32.06	351.20 ab	15.36	1201.64 a	52.57
	21	604.52 c	32.30	279.87 c	14.96	986.96 b	52.74

### 2.3 干物质输出转化特性

水稻籽粒灌浆物质一部分来自抽穗前茎鞘贮积的非结构性碳水化合物,一部分直接来自抽穗后的光合产物,因此茎鞘光合产物向穗的输出与转换特性直接影响着水稻产量的形成。不同机插株距对水稻的茎鞘物质输出和转化情况差异明显(表 3)。由于甬优 12 和中浙优 8 号穗型差异较大,因此,机插株距对两品种干物质输出转运特性的影响差异明

显。由表 3 可知,随着机插株距的增大,中浙优 8 号的茎鞘物质输出率与茎鞘物质转化率均逐渐增大,最大相差达到了 30%,差异十分明显,原因主要是较大的机插株距导致田间种植密度降低,生育后期水稻群体干物质积累下降,籽粒灌浆更多依靠茎鞘部位干物质转运。甬优 12 的茎鞘物质输出率与茎鞘物质转化率变化不大,且相互之间差异较小,抽穗后干物质积累先上升后下降。说明机插株距的增大

导致中浙优8号单位面积抽穗后光合产物降低,穗部灌浆物质更多的依赖茎鞘物质输出,减小机插株距可以有效降低茎鞘物质的转运与输出,增加单位面积抽穗后的干物质积累,有效的利用了群体光合

作用,直接促进了其籽粒部位干物质合成。而甬优12受机插密度影响较小,其抽穗后干物质积累先上升后下降,整体的茎鞘物质输出转换率均低于中浙优8号,其籽粒部位干物质更多来自于穗部直接合成。

表3 群体干物质输出转化特性

Table 3 Characteristics of group dry matter transportation

品种 Variety	株距/cm Spacing	茎鞘物质输出率/% Export percentage of stem and sheath matter	茎鞘物质转换率/% Transport percentage of stem and sheath matter	抽穗后干物质积累/g Dry matter accumulation after heading per
中浙优8号 Zhongzheyong 8	14	6.47 cd	3.96 d	1 146.01 a
	16	12.08 c	8.74 c	824.49 b
	18	20.03 b	18.25 b	559.91 c
	21	34.02 a	33.94 a	244.45 d
甬优12 Yongyou 12	14	18.29 a	14.17 a	771.39 b
	16	8.76 b	6.28 b	915.18 a
	18	2.27 c	1.41 c	1 013.66 a
	21	10.48 b	7.17 b	730.77 b

## 2.4 产量及其构成因子

由表4可知,随着机插株距的增大,两品种实测产量均明显下降,其中株距14与16 cm产量差异较小,当株距增加至18 cm时,产量显著下降( $P \leq 0.05$ ),继续增加株距至21 cm时,产量均下降至最低,差异显著。分析各产量构成因子发现,两品种产量构成因子的差异主要体现在有效穗数和每穗粒数上,中浙优8号有效穗数较多,甬优12穗型较大,但

两品种变化趋势一致,机插株距的增大导致有效穗数减少,但每穗粒数却呈现逐渐增大的趋势,规律明显。说明机插株距的增大,可以增加水稻个体产量,对大穗型品种和中小穗型品种的每穗粒数均有提高效果,且效果显著( $P \leq 0.05$ ),但由于过大的机插株距降低了大田种植密度,基本苗数较低,从最终群体收获产量来看,机插株距较大的处理(18和21 cm)产量明显下降。

表4 不同机插密度条件下的产量及其构成因子

Table 4 Grain yield and its components under different transplanting density

品种 Variety	株距/cm Spacing	有效穗数/m <sup>2</sup> Panicle number per	每穗粒数 Grain number per panicle	结实率/% Seed setting rate	千粒重/g 1 000-grain weight	实测产量/ (kg/hm <sup>2</sup> ) Yield
中浙优8号 Zhongzheyong 8	14	307.94 a	168.58 c	74.85 b	22.24 a	8 921.65 a
	16	281.25 ab	174.19 bc	80.67 a	22.25 a	8 831.68 a
	18	269.14 b	176.62 b	79.00 a	22.21 a	8 401.95 b
	21	245.50 c	184.55 a	79.54 a	22.00 a	7 297.23 c
甬优12 Yongyou 12	14	223.02 a	307.69 c	71.58 a	22.43 a	10 917.84 a
	16	204.86 b	319.01 b	70.01 a	22.52 a	10 280.99 a
	18	203.70 b	326.46 b	65.96 b	22.21 a	9 444.13 b
	21	174.60 c	338.43 a	66.99 b	22.39 a	8 202.97 c

### 3 结论与讨论

前人对水稻种植密度的研究较多,王成瑗等<sup>[11]</sup>认为产量随栽培密度的增加而升高,但超过适宜密度后下降,适宜栽培密度为 15.0~18.7 穴/m<sup>2</sup>,周培南等<sup>[12]</sup>认为栽插行距为 26.6 cm 最佳,张建民等<sup>[13]</sup>则认为甬优 12 号适宜的栽种密度为 10 万丛/hm<sup>2</sup>。本研究发现机插株距的增大可以有效降低稻田种植密度,从而使得水稻个体生长旺盛,大小穗品种的每穗粒数均有显著增加,单株产量也有所增加。但由于种植密度较小,田间基本苗数减少,有效穗数达不到高产需求,导致产量降低。而减小机插株距可以有效的增加田间基本苗数,虽然对水稻植株个体生长有所阻碍,但由于其单位面积有效穗数较多,因此最终产量反而较高,最适宜机插株距应保持在 14~18 cm,种植密度应保持在 18.5~23.8 穴/m<sup>2</sup>。

田间栽培密度的改变对水稻生长具有十分显著的影响。汪秀志等<sup>[14]</sup>认为适当减小穴距、增大种植密度可提高寒地水稻生长前期的干物质生产量和后期干物质积累量。刘武等<sup>[15]</sup>认为干物质生产随移栽密度的提高而增加,同时,其单位面积茎蘖数总数也随之增加,对产量的提高具有明显的促进作用。夏瑜等<sup>[16]</sup>研究发现水稻单株分蘖数随株行距的增加而增加,单位面积分蘖数随株行距的增加而下降,水稻个体生长健壮,但是群体有效穗较少,产量难以提高。本研究发现机插株距的增大可有效增加水稻个体茎蘖数,但这种茎蘖数的优势在水稻生长后期消减较快,最终的茎蘖成穗率降低,而由于较大的机插株距,导致其群体基本苗数较低,群体有效穗数反而减少。穗型较小的籼稻品种如中浙优 8 号,增加机插株距可以有效的提高其个体茎叶干物质积累量、茎鞘物质输出率与茎鞘物质转化率,但其穗部干物质积累未有明显提高。而机插密度对于大穗品种甬优 12 的干物质积累及转运影响较小,其籽粒干物质积累更多依靠穗部直接光合合成。由此可以看出,机插株距的增大、种植密度的减小有效的促进了水稻的个体生长,增加了个体干物质积累量,但增加的干物质主要集中在茎鞘部位,并未直接增强籽粒部位的干物质合成,对其最终在籽粒收获帮助较小,产量未有明显提高,且种植密度的减小导致水稻群体干物质积累量明显降低,造成光温资源及土地资源浪费。因此,增加机插株距对水稻单株的产量提

高作用较小,反而会导致其群体有效穗数的减少,得不偿失。为了达到高产目标,尤其是对中浙优 8 号而言,一定的种植密度仍是非常必要的。

### 参 考 文 献

- [1] 章秀福,王丹英,方福平,曾衍坤,廖西元. 中国粮食安全和水稻生产[J]. 农业现代化研究,2005(2):85-88  
Zhang X F, Wang D Y, Fang F P, Zhen Y K, Liao X Y. Food safety and food production in China [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2005(2):85-88 (in Chinese)
- [2] 程式华. 粮食安全与超级稻育种[J]. 中国稻米,2005,4(1):1-3  
Chen S H. Food security and breeding of super rice[J]. *China Rice*, 2005, 4(1):1-3 (in Chinese)
- [3] 韩正光,朱祥林,吕宏飞,陈新红,周青,吕元荣,张安存. 稀播长秧龄对机插水稻生长特性及产量的影响[J]. 中国稻米,2013,19(6):67-69  
Han G Z, Zhu X L, Lv H F, Chen X H, Zhou Q, Lv Y R, Zhang A C. Effect on growth characteristics and yield of long seedling age transplanting rice[J]. *China Rice*, 2013, 19(6):67-69 (in Chinese)
- [4] 张锦萍,钟平,陈川,徐善状,孙春梅,张香圃,孙业明. 杂交稻机插秧现状及关键技术研究进展[J]. 现代农业科技,2011(3):50-52  
Zhang J P, Zhong P, Chen C, Xu S F, Sun C M, Zhang X P, Sun Y M. The status and development of the key technology of mechanized transplanting hybrid rice[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2011(3):50-52 (in Chinese)
- [5] 吴忠明,华伦祥,邹晴中,钱韵灵,陆一娇,胡旭娟. 机插杂交水稻栽培技术[J]. 上海农业科技,2010(2):40-41  
Wu Z M, Hua L X, Zhou Q Z, Qian Y L, Lu Y J, Hu X J. Rice cultivation technique of hybrid rice[J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2010(2):40-41 (in Chinese)
- [6] 朱德峰,陈惠哲. 水稻机插秧发展与粮食安全[J]. 中国稻米,2009,15(6):4-7  
Zhu D F, Chen H Z. The development of mechanized transplanting rice and the food safety[J]. *China Rice*, 2009, 15(6):4-7 (in Chinese)
- [7] 李泽华,马旭,谢俊锋,陈国锐,郑志雄,谭永妍,黄益强. 双季稻区杂交稻机插秧低播量精密育秧试验[J]. 农业工程学报,2014,30(6):17-27  
Li Z H, Ma X, Xie J F, Chen G R, Zhen Z X, Tan Y X, Huang Y Q. Experiment on precision seedling raising and mechanized transplanting of hybrid rice under low sowing rate in double cropping area [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(6):17-27 (in Chinese)
- [8] 陆秀明,黄庆,刘怀珍,张彬,李惠芬,邹积祥. 机插超级稻在不同施肥水平和不同插植密度下的生育特性及产量表现[J]. 中国农学通报,2014,30(21):152-157  
Lu X M, Huang Q, Liu H Z, Zhang B, Li H F, Zou J X. The

- performance of yield and growth characteristics in different fertilizer levels and different transplanting densities of super mechanical transplanting rice[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(21):152-157 (in Chinese)
- [9] 戴水高,姚平,王晓燕. 水稻高速机插与强化栽培配套技术[J]. 中国稻米, 2010, 16(1):73-75  
Dai S G, Yao P, Wang X Y. The technology of high speed mechanical transplanting rice and strengthening cultivation[J]. *China Rice*, 2010, 16(1):73-75 (in Chinese)
- [10] 叶厚专,李艳大,沈显华,古新序,药林桃,舒时富,万鹏,江向荣,王水发,尹国庆. 不同机插行距对水稻产量的影响[J]. 中国农机化, 2012(4):59-62  
Ye H Z, Li Y D, Shen X H, Gu X X, Yao L T, Shu S F, Wan P, Jiang X R, Wang S F, Yi G Q. Effects of different machine-transplanted row spacing on rice yield[J]. *Chinese Agricultural Mechanization*, 2012(4):59-62 (in Chinese)
- [11] 王成媛,王伯伦,张文香,赵磊,赵秀哲,高连文. 栽培密度对水稻产量及品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2005, 35(4):318-322  
Wang C Y, Wang B L, Zhang W X, Zhao L, Zhao X Z, Gao L W. Effects of planting density on grain yield and quality of rice [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2005, 35(4):318-322 (in Chinese)
- [12] 周培南,冯惟珠,许乃霞,张亚洁,苏祖芳. 施氮量和移栽密度对水稻产量及稻米品质的影响[J]. 江苏农业研究, 2001, 22(1):27-31  
Zhou P N, Feng W Z, Xu N X, Zhang Y J, Su Z F. Effects of nitrogen and density on yield and grain quality of rice [J]. *Jiangsu Agricultural Research*, 2001, 22(1):27-31 (in Chinese)
- [13] 张建民,孙健,章玲芬,张海东. 杂交稻甬优12号强化栽培密度试验[J]. 浙江农业科学, 2010(5):988-989  
Zhang J M, Sun J, Zhang L F, Zhang H D. Experiment on intensive cultivation density of hybrid rice Yongyou 12 [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2010(5):988-989 (in Chinese)
- [14] 汪秀志,李军,刘崇文,许谊强,吕艳东,刘丽华,郑桂萍,钱永德. 施氮和密度对寒地水稻干物质积累的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(9):55-64  
Wang X Z, Li J, Liu C W, Xu Y Q, Lv Y D, Liu L H, Zhen G P, Qian Y D. The effects of N-fertilizer application and density on dry matter accumulation of rice in cold area [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2013, 22(9):55-64 (in Chinese)
- [15] 刘武,谢明德,黄林,程兆伟,莫亚丽,詹可,邹应斌. 氮肥用量和移栽密度对超级早稻干物质积累及叶蘖生长的影响[J]. 作物研究, 2008, 22(4):243-248  
Liu W, Xie M D, Huang L, Chen Z W, Mou L Y, Zhan K, Zou Y B. Effects of transplanting density and nitrogen rate on dry matter accumulation and growth of leaves and tillers in super early rice [J]. *Crop Research*, 2008, 22(4):243-248 (in Chinese)
- [16] 夏瑜,杨为芳,唐茂艳,李如平,何礼健,郭立,梁天锋,江立庚. 不同耕作方式和栽培密度下强化栽培水稻的生长发育与产量形成[J]. 中国农学通报, 2006, 22(12):144-147  
Xia Y, Yang W F, Tang M Y, Li R P, He L J, Guo L, Liang T F, Jiang L G. Plant growth and grain yield under different tillage pattern and different planting densities in the system of rice intensification [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(12):144-147 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东