

## 苗床落谷密度、施肥量和秧龄对机插稻苗质及大田产量的影响

沈建辉<sup>1</sup> 邵文娟<sup>2</sup> 张祖建<sup>2</sup> 景启坚<sup>1</sup> 杨建昌<sup>2</sup> 陈文林<sup>2</sup> 朱庆森<sup>2,\*</sup>

(<sup>1</sup>江苏省农业机械管理局, 江苏南京 210024; <sup>2</sup>扬州大学农学院, 江苏扬州 225009)

**摘要:**以迟熟中梗武育梗 3 号为材料, 塑料软盘育苗, 进行落谷密度和施肥量二因素试验, 并将各处理秧苗分 3 期插入大田, 实收产量, 测定其构成。主要结果如下: (1) 3 试验因素对苗质和产量的影响为秧龄 > 施肥量 > 落谷密度。 (2) 秧龄由 16 d 延至 21 d, 即使较密的落谷密度、少量施肥 (处理编码 M1、M2) 或较稀的落谷密度、多量施肥 (编码 X3), 均表现减产趋势, 故适秧早栽至关重要。 (3) 秧龄 21 d 秧苗的发根力和茎鞘淀粉含量等指标均优于秧龄 16 d 的 (差异显著), 但因大田苗数和穗数减少, 稻谷产量显著下降。可见机插秧的壮苗指标因秧龄而异。 (4) 各产量构成因素对产量效应的途径分析表明, 在本试验条件下, 穗数对产量的影响最大 (途径系数为 1.1112), 每穗粒数次之 (途径系数为 0.6517)。说明机插稻以争穗数为第一要务。

**关键词:** 机插水稻育秧; 落谷密度; 苗床施肥量; 秧龄; 秧苗质量; 产量

**中图分类号:** S511

## Effects of Sowing Density, Fertilizer Amount in Seedbed and Seedling Age on Seedling Quality and Grain Yield in Paddy Field for Mechanical Transplanting Rice

SHEN Jian-Hui<sup>1</sup>, SHAO Wen-Juan<sup>2</sup>, ZHANG Zu-Jian<sup>2</sup>, JING Qi-Jian<sup>1</sup>, YANG Jian-Chang<sup>2</sup>, CHEN Wen-Lin<sup>2</sup> and ZHU Qing-Sen<sup>2,\*</sup>

(<sup>1</sup> Popularization Center of Agricultural Machinery of Jiangsu Province, Nanjing 210024, Jiangsu; <sup>2</sup> Agricultural College, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu, China)

**Abstract:** An experiment of two factors (sowing density and fertilizer amount in seedbed) was conducted in plastic film seedling nursery using a late maturity japonica cultivar Wuyunjing 3. The seedlings of three different ages were transplanted into paddy field, and yield and yield components were tested. The main results were as follows: (1) The effect of seedling age on seedling quality and yield was predominant, and followed by fertilizer amount and sowing density. (2) The trend of grain yield reduction was obvious when seedling age was extended from 16 d to 21 d after sowing, although under dense sowing with less fertilizer application (treatments code M1 and M2), or thin sowing with more fertilizing (code X3). Therefore, transplanting at optimum seedling age is very important for mechanical transplanting. (3) The seedling quality indices, such as root-developing ability and sugar content in stem and sheath at seedling age of 21 d were superior to that at seedling age of 16 d (significantly different), but the grain yield in paddy field of 21 d seedling age was decreased because of plant and panicle number reduction. So the indices of vigorous seedling would be varied with seedling age. (4) Path analysis of yield components on yield showed that panicle number was the most effective (path coefficient 1.1112) followed by grains per panicle (path coefficient 0.6517) for mechanical transplanting rice.

**Key words:** Mechanical transplanting rice; Sowing density; Fertilizer amount; Seedling age; Seedling quality; Grain yield

水稻机插育秧技术早有研究, 与机插配套的塑料硬盘育秧技术早在 20 世纪 70、80 年代就已相当成熟<sup>[1-2,4-5]</sup>, 但适合我国国情的机插稻轻简育秧技术仅近年才有一些研究<sup>[6-8]</sup>。大多集中于轻简育秧中落谷密度、床土施肥量等单项技术。但生产实践中, 落谷密度、施肥量和秧龄对苗质以至大田产量的作用, 存在着明显的互作效应。只有明确这三者的综

合效应, 才对指导生产具有直接可靠的意义。本文就此进行试验, 以期对机插稻中苗轻简育秧技术提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试品种和试验地点

武育梗 3 号, 育秧于扬州大学江苏省作物栽培

基金项目: 农业跨越计划(2001-26)项目。

作者简介: 沈建辉(1963-), 男, 江苏启东人, 农学博士, 高级农艺师。\* 通讯作者 (Corresponding author): 朱庆森。E-mail: Zhuqs@yzu.edu.cn

Received (收稿日期): 2005-01-04; Accepted (接受日期): 2005-06-02.

生理重点实验室田间试验场,移栽于江苏扬州市邗江区杭集镇大田。

## 1.2 试验条件

用长 58 cm、宽 28 cm、高 2.5 cm 的软盘(盘底孔数 240 个,孔径 3 mm)育秧。2003 年 5 月 25 日播种,播后撒薄层过筛床土覆盖,灌满沟水,将床土完全浸湿,覆盖塑料膜 3 d,齐苗后揭膜。此后均灌满沟水保持床土湿润。各处理大田施肥量尿素 600 kg/hm<sup>2</sup>,分蘖肥与穗肥比例 3:7。

## 1.3 处理设置

秧田期有施肥量和落谷密度两个试验因素。施肥量设 3 个处理,分别以 1、2、3 表示,具体见表 1(为表述方便,施肥处理 1、2、3 分别称为低肥、中肥、高肥)。落谷密度(以下简称密度)设 2 个处理,每 dm<sup>2</sup>秧床播芽谷 240 粒和 360 粒,即每盘播芽谷 146 g 和 219 g(发芽率 95%)。分别用 X、M 表示(具体见表 1)。每处理 8 只软盘为 1 个小区,重复 1 次(两个区组)。

移栽秧龄为 16 d、21 d 和 35 d 等 3 期。用东洋手扶式 PF455S 插秧机栽插,机插取秧切块(穴)面积为 13.0 mm(纵)×14.0 mm(横),穴距 13.0 cm(实测穴距),每处理栽 4 行,行长 90~100 m,分 3 个区组,缺穴不补,以备观测缺穴率、返青成活情况和收获稻谷产量。

表 1 密肥处理水平

处理代号 Treatment code	落谷密度 Sowing density (grain/dm <sup>2</sup> )	床土培肥量 Seedbed fertilizing amount (g/100 kg seedbed soil)		追肥量 Amount of topdressing (g/plot)	
		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
X1	240	0	0	10	11
X2	240	150	68	35	11
X3	240	300	136	70	11
M1	360	0	0	10	11
M2	360	150	68	35	11
M3	360	300	136	70	11

## 1.4 取样与测定

1.4.1 成苗率 移栽时每个小区切取 3 个 10 cm×10 cm 的秧块,计数秧苗高度大于平均苗高 1/2 的苗数,除以所取秧块内种谷总数,得成苗率。

1.4.2 秧苗地上部(茎、叶)干物质消长与糖氮比

播后 9 d 第 1 次取样,以后每 2~4 d 取样 1 次,每次取 4 个(10 cm×10 cm)秧块,将其上秧苗剪去根系,分绿叶、黄叶和茎鞘烘干称重。用移栽期的干物重样本测定秧苗地上部的可溶性糖、淀粉和总氮量。可溶性糖加淀粉为总糖量,总糖量和总氮量之比即为糖氮比。可溶性糖与淀粉用蒽酮比色法测定,总氮

量用凯氏定氮法测定。

1.4.3 叶面积 于播后 9 d、14 d、18 d、24 d、28 d、32 d 和 35 d 各处理取代表性秧苗 10 株,将所有绿叶剪下扫描,算得叶面积,将扫描叶片烘干称重,算得单位干重的叶面积。单位干重的叶面积×样本绿叶干重得样本叶面积。

1.4.4 秧苗发根力 机插后 4 d 以 20 穴为一个样点,每小区观察 3 个样点,记数苗数和新生根数,算得每苗的新根发生数,即田间发根力。

1.4.5 缺穴率和每穴苗数 栽后 15 d,每个小区观察 3 个 2 m 行长,4 行的应有穴数和缺穴数;同时调查 3 个 1 m 行长,4 行内的每穴苗数。

1.4.6 产量及其构成 成熟期测定产量及产量构成。每个测点为 1.2 m(1 个机插作业幅宽,4 行)×3 m,每小区 2 个测点,计数实插穴数和有效穗数,算得每穴平均穗数;根据平均穴距和行距(30 cm),求得单位面积穗数;各小区根据每穴平均穗数,取 3 穴为一个样本,每小区 2 个样本,风干,脱粒。用风选法,分出饱粒和空秕粒,计数饱粒数并称重,算得千粒重;直接计数空秕粒数,算得结实率。以 1.2 m×5 m 为一个割方实收区(计数实收穴数),每小区取 2 个割方实收区。

## 2 结果与分析

### 2.1 秧苗地上部干重消长动态与叶面积动态

2.1.1 秧苗地上部干重消长动态 由图 1 可见,播后 9 d(叶龄 2.2~2.6)秧苗地上部干重在各处理间已开始出现差异,施肥量大的和落谷密度稀的处理百苗干重较重,而后各处理间的差异进一步扩大。至秧龄 28 d 时,百苗干重达最大。

秧龄 28 d(叶龄 4.6~5.8)以后,除两个低肥处理外,另 4 个处理的秧苗地上部干重开始下降。作者此前(2002)曾根据落谷密度单因子试验提出:“苗干重由上升开始转为下降或不增长,苗质无疑将急剧下降,此期可视为超秧龄的临界期”<sup>[6]</sup>。在本试验中,若以大田稻谷产量(表 3)作为最终衡量苗质优劣的标准,秧龄 35 d 移栽的秧苗地上部干重已明显下降的 4 个处理(X2、X3、M2、M3)较 21 d 移栽的大幅度减产,其平均产量由 6 245.8 kg/hm<sup>2</sup> 下降为 5 174.1 kg/hm<sup>2</sup>,减产 17.2%;而低肥处理(X1、M1)的秧苗地上部干重最终仍呈上升趋势,但秧龄 35 d 移栽的较 21 d 移栽的也大幅减产,其平均产量由 6 003.8 kg/hm<sup>2</sup> 下降为 5 031.4 kg/hm<sup>2</sup>,减产 16.2%。

由此可见,“苗干重由上升开始转为下降或不增长”只是超秧龄临界的指标之一,就机插中苗秧田的群

体和个体生长而言,还应有与秧龄相对应的秧苗个体生长状况的超秧龄指标。

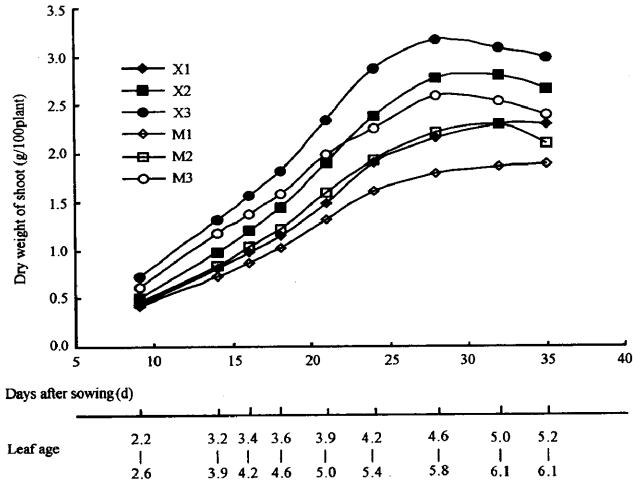


图 1 不同密肥处理秧苗地上部干重的变化

Fig.1 Changes of dry weight of shoots with different sowing densities and fertilizations  
由于处理间出叶速度不一,所以对应于某一日期的叶龄有一幅度。

Because the rates of leaf emergence were different, the leaf age had a little range of varying in different treatments.

2.1.2 秧苗群体叶面积消长 由图 2 可见,密度和肥量都对群体叶面积消长有影响,大体是落谷密度高的,施肥量大的叶面积指数(LAI)较大。在播后 18 d 之前,各密肥处理的秧田 LAI 几乎呈线性增长,

但因斜率不同,处理间的差距不断扩大。至播后 18 d(本试验第 1 期移栽后 2 d)密播高肥处理(M3)的 LAI 最大为 8.96,而稀播低肥处理(X1)为 3.88,两者相差 5.08。自播后 18~24 d,各处理的 LAI 先后下降。

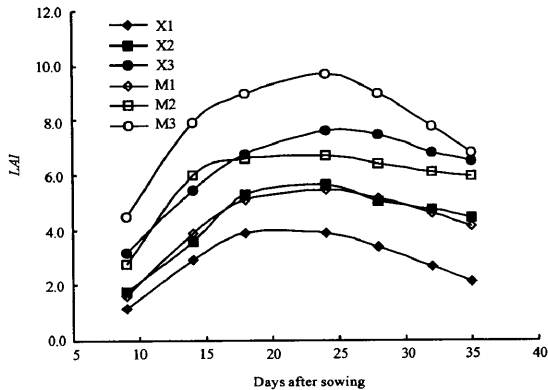


图 2 不同密肥处理叶面积指数的消长

Fig.2 Changes of LAI with different sowing densities and fertilizations

### 2.2 秧苗素质

不同秧龄各密肥处理的发根力等秧苗质量指标的比较见图 3。

2.2.1 发根力 栽后田间发根力是反映机插秧苗素质最重要的指标之一。从图 3-A 可见,各处理不同秧龄秧苗的发根力变化情况相似,秧龄 21 d 的发根力最强,与 16 d 的相比,发根力均有所增强,其差异在部分处理中达显著水平;秧龄 35 d 与 21 d 相比,发根力均有大幅下降,所有处理间差异均达显著水平。各施肥量处理的发根力,无论在何种落谷密度下,均随施肥量的增大而提高,大部分处理间差异达显著水平。不同落谷密度的发根力,在同等施肥水平、同一秧龄下差异不大,均未达显著水平。上述

结果说明,秧龄和施肥水平,对秧苗田间发根力影响大;落谷密度的影响较小。

2.2.2 茎鞘淀粉含量 秧苗茎鞘淀粉含量也是反映秧苗质量的重要指标。从图 3-B 可见,各密肥处理条件下,不同秧龄秧苗的茎鞘淀粉含量的变化趋势相同,均表现为秧龄 21 d 显著高于秧龄 16 d 和 35 d。无论是何种落谷密度,各秧龄秧苗均随着施肥量的增加,茎鞘淀粉含量下降,其中大部分处理间差异显著。不同落谷密度均表现为落谷密度高,茎鞘淀粉含量低,大部分处理间差异显著。上述结果表明在本试验中秧龄、施肥量和落谷密度对茎鞘淀粉含量均有较大的影响。

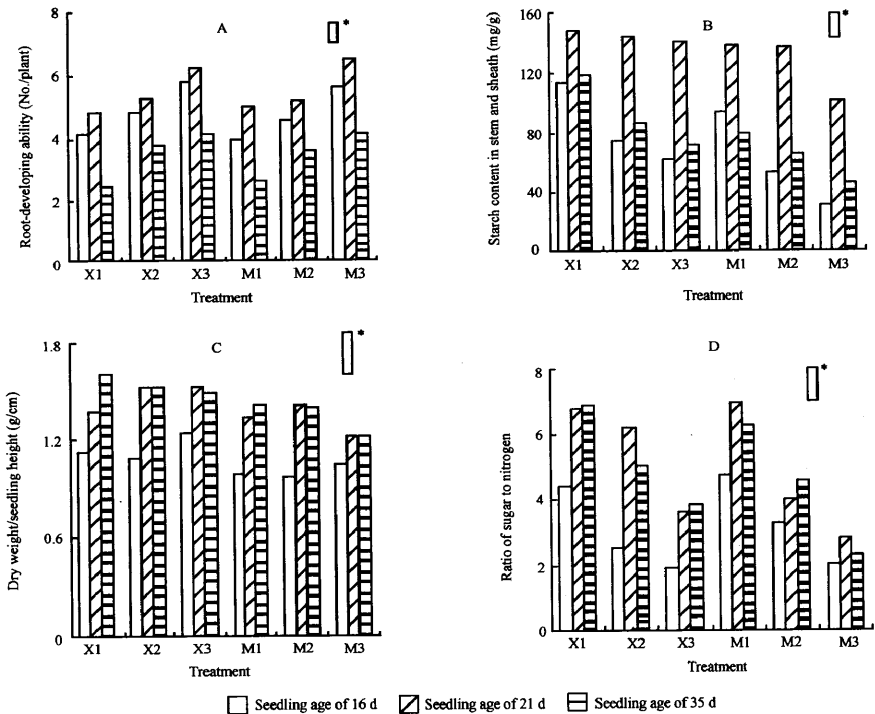


图 3 不同处理的秧苗质量指标  
Fig.3 Quality indices of rice seedlings

\* 表示  $LSD_{0.05}$ ; A: 发根力  $LSD_{0.05} = 0.56$ ; B: 茎鞘淀粉含量  $LSD_{0.05} = 13.63$ ; C: 单位苗高干重  $LSD_{0.05} = 0.13$ ; D: 糖氮比  $LSD_{0.05} = 0.79$ .  
\* means  $LSD_{0.05}$ ; A: Root-developing ability  $LSD_{0.05} = 0.56$ ; B: Starch content in stem and sheath  $LSD_{0.05} = 13.63$ ;  
C: Dry weight/seedling height  $LSD_{0.05} = 0.13$ ; D: Ratio of sugar to nitrogen  $LSD_{0.05} = 0.79$ .

2.2.3 单位苗高干重 在同一处理中,秧龄 21 d 和 16 d 相比,单位苗高干重均明显增加,在所有处

理中均达显著水平;而秧龄 35 d 和 21 d 相比变化不大,在绝大多数处理间未达显著水平。在相同密度、

秧龄条件下,施肥量处理间单位苗高干重的变化不大,大多未达显著水平。2 种密度的单位苗高干重差异较小,大多不显著。上述结果说明在本试验条件下,秧龄对单位苗高干重有一定的影响,而施肥量和落谷密度对其影响不显著。

**2.2.4 糖氮比** 糖氮比是反映秧苗质量的重要指标。在相同的密肥处理中,秧龄 21 d 比 16 d 的糖氮比明显提高,在大部分处理中差异显著;秧龄 35 d 和 21 d 比较,糖氮比的变化不大,绝大部分处理差异不显著。无论落谷密度大小,糖氮比均随着施肥量的增加而明显下降,大部分处理间达显著水平。两种落谷密度的糖氮比差异不大,大部分处理间不显著。上述结果说明,秧龄和施肥量对秧苗糖氮比影响较大,而落谷密度的影响较小。

综上所述,机插中苗育秧中,秧龄和施肥量对秧苗素质诸指标的影响较大,落谷密度对秧苗质量的影响较小,且往往达不到显著水平;秧苗素质的各项指标均随秧龄不同有较大变化,因而机插中苗轻苗育秧的壮秧指标应随秧龄不同而不同。

### 2.3 大田成苗数

机插稻的大田成苗数,在栽插密度和秧苗(穴)切块面积相同的情况下,取决于秧田落谷密度、秧田成苗率、大田成活率和缺穴率等 4 个因素。本试验落谷密度、施肥量对上述 4 个因素的影响,与作者 2002 年的试验结果<sup>[5-6]</sup>大体相同,这里不再分析,而仅分析各试验因素对大田成苗数的影响。方差分析表明落谷密度、施肥量和秧龄 3 试验因素对大田成苗数的一级和二级互作效应均不显著( $F$  值分别为 0.04、1.15、3.06 和 0.03),3 个主效应均显著( $F$  值分别为 66.99、28.20 和 28.90),其结果列于表 2。密播处理的落谷密度是稀播的 150%,但大田成苗数只有 134%,主要是由于密播处理的秧田成苗率和大田成活率均下降,这与作者以往的研究结果一致<sup>[6]</sup>。施肥量越大,大田成苗数越低,主要由于施肥量大的处理大田成活率低,如 21 d 秧龄移栽低肥处理的大田成活率为 81.7%,而高肥处理的仅为 66.9%。秧龄越长,大田成苗数越低,如 21 d 秧龄移栽的大田成苗数较 16 d 的下降了 16.4%。所以在延长秧龄迟栽的情况下,应适当增加插秧机取秧块的面积,才能保证必要的大田成苗数。

由以上分析可知,移栽秧龄、落谷密度及施肥量对大田成苗数有很大影响,而大田成苗数对产量构成因素中穗数的影响最直接。本试验中大田成苗数与成穗数呈显著正相关( $r = 0.5449^*$ , 图 4),即成穗数随着大田成苗数的增加而增加。但决定系数仅为

$R^2 = 0.2969$ ,这说明机插秧田成穗数除了受大田成苗数的影响外,成活秧苗的素质也对分蘖和成穗有不可忽视的影响。

表 2 三试验因素各处理水平的大田成苗数

Table 2 The number of seedlings in paddy field with treatments of the three factors

试验因素 Experimental factor	处理水平 Level	大田成苗数 Number of seedlings in paddy field( $10^4/\text{hm}^2$ )	差异显著水准 Least significant difference
落谷密度 Sowing density	X	71.95	$ LSD_{0.05} = 5.33$
	M	96.37	$ LSD_{0.01} = 7.22$
施肥量 Amount of fertilizer application	低肥 Low	93.75	
	中肥 Middle	85.47	$ LSD_{0.05} = 6.53$
	高肥 High	73.26	$ LSD_{0.01} = 8.85$
移栽秧龄 Seedling age at transplanting(d)	16	96.49	
	21	80.67	$ LSD_{0.05} = 6.53$
	35	75.32	$ LSD_{0.01} = 8.85$

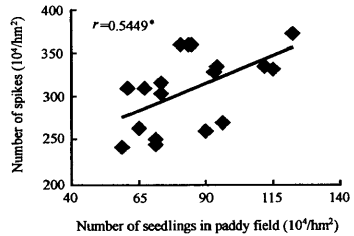


图 4 大田成苗数与成穗数

Fig.4 The number of seedlings in paddy field and number of spikes

### 2.4 3 试验因素对产量的影响

产量的方差分析表明,秧龄对产量的主效极显著( $F = 23.73^{***}$ );秧龄 × 落谷密度 × 施肥量对产量的互作效应显著( $F = 2.33^*$ ),其余的主效和互作效应均不显著。

**2.4.1 移栽秧龄与产量** 由图 5 可见,产量随着移栽秧龄的延长而显著下降。由表 3 可以看出,16 d 秧龄的稻谷产量为 6 836.7 kg/hm<sup>2</sup>,21 d 的为 6 171.5

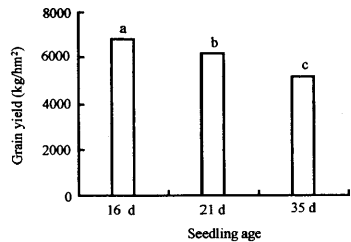


图 5 移栽秧龄和产量

Fig.5 Seedling age and grain yield

kg/hm<sup>2</sup>, 35 d 的为 5 129.2 kg/hm<sup>2</sup>, 以 16 d 秧龄为基准, 说明在大面积生产上, 适龄早栽对提高机插秧产量是至关重要的, 一般叶龄不宜超过 4.2。

表 3 产量及产量构成因素  
Table 3 Grain yield and its components

秧龄 Seedling age	处理 Treatment	产量 Grain yield (kg/hm <sup>2</sup> )	单位面积穗数 Panicles per hm <sup>2</sup> (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	每穗粒数 Grains per panicle (grain/ear)	结实率 Seed setting rate(%)	千粒重 1000-grain weight (g)
16 d	X1	6634.6 ab	357.2 abc	78.8	93.0	25.3 bc
	X2	6916.4 ab	358.6 abc	81.9	93.2	25.3 bc
	X3	6679.8 ab	360.5 ab	80.2	93.0	24.7 cde
	M1	6996.6 a	369.7 a	83.1	93.9	24.3 de
	M2	6763.1 ab	336.3 bcd	85.3	95.0	24.8 cd
	M3	6983.2 ab	333.6 bcd	85.2	94.4	25.6 ab
	Average	6836.7	352.6	82.4	93.7	25.0
21 d	X1	5768.0 cde	316.9 de	79.6	94.5	24.2 de
	X2	6395.0 abcd	310.4 de	86.2	95.8	25.0 cd
	X3	6501.3 abc	309.1 de	88.5	95.7	24.8 cd
	M1	6239.5 bcd	331.6 cde	81.9	95.4	24.1 e
	M2	6377.0 abcd	327.8 de	83.2	95.8	24.4 de
	M3	5745.9 de	303.3 e	81.2	94.4	24.7 cde
	Average	6171.5	316.5	83.4	95.3	24.5
35 d	X1	4626.2 f	250.5 f	74.6	94.9	26.1 a
	X2	5401.7 e	263.6 f	82.6	96.0	25.8 ab
	X3	5142.9 ef	242.5 f	86.1	96.3	25.6 ab
	M1	5436.5 e	269.7 f	82.4	94.8	25.8 ab
	M2	5035.7 ef	259.7 f	80.3	95.9	25.2 bc
	M3	5115.9 ef	244.1 f	85.2	95.3	25.8 ab
	Average	5129.2	255.0	81.9	95.5	25.7
LSD <sub>0.05</sub>	750.6	28.76	9.1	1.96	0.62	

2.4.2 16 d 移栽秧龄下秧田密度、施肥处理对产量的影响 在 16 d 秧龄移栽(叶龄 3.4~4.2)的情况下, 落谷密的处理平均产量略高于落谷稀的处理, 相差 170.7 kg/hm<sup>2</sup>, 但不显著 ( $LSD_{0.05} = 556.7$ )。3 个施肥量处理的产量, 在稀播的情况下, 极差为 281.8 kg/hm<sup>2</sup>, 在密播的情况下极差为 233.5 kg/hm<sup>2</sup> ( $LSD_{0.05} = 610.2$ ), 差异也不显著。说明 3 叶 1 心期移栽的秧苗, 虽因密肥处理不同苗质有一定差异, 但在大田的自我修复能力强, 最终产量差异很小。

2.4.3 21 d 移栽秧龄下秧田密度、施肥处理对产量的影响 在 21 d 秧龄移栽(叶龄 3.9~5.0)的情况下, 落谷稀处理的平均产量为 6 221.4 kg/hm<sup>2</sup>, 略高于落谷密的处理(6 120.8 kg/hm<sup>2</sup>), 相差 100.6 kg/hm<sup>2</sup>, 远不达显著水平(表 3)。21 d 天秧龄移栽稀播的情况下, 随着施肥量的增加产量呈增加的趋势(图 6), 中肥、高肥处理的产量显著高于低肥处理。但在落谷密的情况下, 产量有随施肥量增大而下降的趋势(图 7), 高肥处理的产量显著低于中肥处理。

上述结果表明, 秧龄 21 d(叶龄为 3.9~5.0)移栽, 在秧田稀播的情况下(240 粒/dm<sup>2</sup>), 适当增加施肥量, 提高秧苗生长量, 对提高大田产量有利; 而密播的情况下(360 粒/dm<sup>2</sup>), 施肥量大则会削弱苗质, 对大田产量不利。

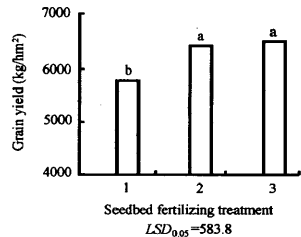


图 6 21 d 秧龄稀播条件下的施肥量与产量  
Fig.6 Fertilizing and grain yield in low sowing density with 21 d seedling age

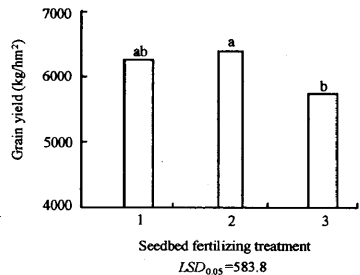


图 7 21 d 秧龄密播条件下的施肥量与产量  
Fig.7 Fertilizing and grain yield in high sowing density with 21 d seedling age

2.4.4 35 d 移栽秧龄情况下秧田密度、施肥处理对产量的影响 秧龄 35 d 移栽(叶龄 5.2~6.1)的情况下,落谷密的处理平均产量为 5196.0 kg/hm<sup>2</sup>,略高于落谷密度稀的处理(5056.9 kg/hm<sup>2</sup>),相差 139.1 kg/hm<sup>2</sup>,不显著(表 3)。但在落谷稀的条件下,随施肥量的增加产量呈上升趋势,低肥处理显著低于中肥处理(图 8);而在落谷密的条件下,产量有随施肥量增加而下降的趋势,但 3 处理的极差为 400.8 kg/hm<sup>2</sup>,未达显著水平(表 3)。

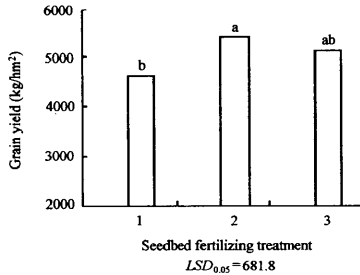


图 8 35 d 秧龄稀播条件下的培肥与产量  
Fig. 8 Fertilizing and grain yield in low sowing density with 35 d seedling age

由以上分析可知,在机插轻简育秧中,移栽秧龄相对较小(约在 4 叶期以内)时,产量较高,且秧田期的密肥条件对产量的影响不明显。在秧龄较长(叶龄在 4 叶期以上)时,秧田期的密、肥对大田稻谷产量的影响显现,落谷较稀(240 粒/dm<sup>2</sup>),增加施肥量对提高产量有利;落谷较密(360 粒/dm<sup>2</sup>),增加施肥量往往不利于提高产量,甚至会使产量下降。因此,在落谷密度较大的情况下,适当减少施肥量,对增加秧龄弹性有利。

## 2.5 产量和产量构成因素的关系

根据本试验各处理组合产量与其构成的数据,以多元二次多项式模型拟合产量( $y$ )与穗数( $x_1$ )、每穗粒数( $x_2$ )、结实率( $x_3$ )和千粒重( $x_4$ )的关系(二次项的系数很小,不显著而剔除),得回归式  $y = 18788.27 - 39.88x_1 - 148.58x_2 - 133.90x_3 - 494.04x_4 + 0.24x_1x_2 + 0.21x_1x_3 + 0.77x_1x_4 + 0.78x_2x_3 + 2.96x_2x_4 + 2.67x_3x_4$ , 决定系数为 0.9999,拟合度很高。与回归式相应的一次项途径系数依次是 -2.23、-1.32、-0.26 和 -0.45;各乘积项的途径系数依次是 1.11、1.09、0.99、0.73、0.70 和 0.28。乘积项的数值远大于一次项。可见产量主要受  $x_1x_2$ (穗数 × 每穗粒数),即总颖花量的影

响,其相应的途径系数较大。同时 4 产量因素对产量的简单直接途径系数分别为穗数 1.1112、每穗粒数 0.6517、结实率 0.1389 和千粒重 0.1982。由此可直观地看出,在本试验条件下,穗数是机插秧水稻影响产量的最重要因素,其次是每穗粒数。同年对江苏全省的大面积机插稻(武育梗 3 号)穗粒结构调查表明,单位面积穗数大多数田块不足 390.0 × 10<sup>4</sup> 穗/hm<sup>2</sup> (26 万穗/666.7 m<sup>2</sup>),其产量与穗数呈显著正相关,这也验证了确保穗数对提高机插稻产量的重要性。

## 3 讨论

### 3.1 机插中苗软盘育秧中对产量影响力最大的是秧龄,其次是施肥量,影响力最小的是落谷密度

3 个试验因素对产量的影响力的顺序为秧龄 > 施肥量 > 密度。这对机插稻生产给出的明确提示是,适龄早栽是最关键的技术,在各技术环节中应重点优先考虑;足量量的施肥也很重要;落谷密度在芽谷 240 粒/dm<sup>2</sup> ~ 360 粒/dm<sup>2</sup> 之间宜选偏低值,以降低成本和减少超秧龄的风险。对江苏近年机插稻育秧的调查,播量偏大是突出问题,个别地区甚至超过了 400 粒/dm<sup>2</sup>,造成苗质、成苗率及大田成苗数大幅下降,缓苗期延长,影响产量。所以在大面积机插稻生产中,掌握秧床适宜的播量仍然是十分重要的。

### 3.2 机插中苗不同移栽秧龄下的壮秧指标

机插稻壮秧的标准,除了秧苗个体的形态和机能外,还必须考虑秧龄和秧床单位面积的苗数等因素。综合作者近几年试验研究和大面积机插稻考察的结果,认为合格的机插中苗壮秧,无论移栽的叶龄大小,秧床 80% 的面积应保证每 cm<sup>2</sup> 有 2.0 个以上正常苗;3 叶 1 心前期移栽的,应苗高 12 cm,苗基粗 2.6~2.8 mm,有 3 片以上绿叶;3 叶 1 心末至 4 叶 1 心初移栽的,应苗高 15 cm,苗基粗 2.8~3.0 mm,有 3 片绿叶。

在已有的稻作理论中<sup>[3]</sup>认定秧田 LAI 为 4 左右,秧苗群体茎蘖数停止增长,为移栽适期。本试验 21 d 秧龄移栽的各处理中,稀播中肥、稀播高肥和密播中肥等 3 个处理产量较高,而移栽时的 LAI 在 5.28~7.60 之间,远超过 4,可能是由于机插育秧播种密度大,和手插育秧不同,秧苗不发生分蘖,不能以秧田群体茎蘖滞增时的 LAI 作为适期移栽的指标。然而,机插中苗育秧中适宜的 LAI 变化动态如何,是否还存在一个通用的壮秧移栽适期的 LAI 等

问题尚待进一步研究。

### 3.3 在产量构成诸因素中穗数是制约机插稻产量的第一要素,适宜的育秧技术是形成大田足穗的基础

机插稻穗数对产量的影响最大,机插育秧的落谷量、施肥量和秧龄与大田成苗数和成穗数关系密切。为保证必要的大田成苗数和成穗数,就育秧技术而言,依据本研究及近年相关研究结果,认为机插稻中苗的适宜落谷密度为 247 粒/dm<sup>2</sup>,约合每盘 150 g 芽谷,双膜育秧每 m<sup>2</sup> 芽谷 924 g(以风干种谷千粒重 27.0 g,发芽率 95% 以上计),在确保 3 叶 1 心初期移栽的情况下,播量可酌增 10% 左右。这样既可保证秧床成苗密度(≥2.0 苗/cm<sup>2</sup>),又可保证秧苗的素质;秧苗应力争适龄早栽,以防秧田成苗率、大田成活率和苗质全面下降;在不得已的情况下,超过 4 叶 1 心期移栽,应加大取秧切块面积(>2.0 cm<sup>2</sup>),以确保足够的成苗数。此外,秧床施肥量要恰当,过多或过少均不利于提高成苗率,以至影响形成足穗。

#### References

- [1] Konishi Y. Technology for Increasing Yield in Rice Transplanted by Machine. Tokyo: Rural Culture Association, 1972. pp 123-124, 100-107 (in Japanese)
- [2] Kiyochika Hoshikawa. Physiology of Small Rice Seeding and the Technology of Seedling Nursery Kiyochika Hoshigawa. Tokyo: Rural Culture Association, 1972. pp 109-111, 88-91, 168-170 (in Japanese)
- [3] Ling Q-H(凌启鸿), Zhang H-C(张洪程), Su Z-F(苏祖芳), Ling L(凌励). Rice Cropping New Theory (水稻栽培新理论). Beijing: Science Press, 1994. p 256 (in Chinese)
- [4] Jiao-J(轿江). Review of dry-raised seedlings in Hokkaido of Japan. *Heilongjiang Agric Sci* (黑龙江农业科学), 1998, (2): 50-51 (in Chinese)
- [5] Cai J-Z(蔡建中). Determination on seedling quality of factory seedling of rice. *J Jiangsu Agric College* (江苏农学院学报), 1984, 5(1): 11-15 (in Chinese with English abstract)
- [6] Shen J-H(沈建辉), Shao W-J(邵文娟), Zhang Z-J(张祖建), Yang J-C(杨建昌), Cao W-X(曹卫星), Zhu Q-S(朱庆森). Effects of sowing density on the quality of rice medium-seedling nursed with two-layer plastic film for mechanical transplanting and on the grain yield in field. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2004, 30(9): 906-911 (in Chinese with English abstract)
- [7] Shao W-J(邵文娟), Shen J-H(沈建辉), Zhang Z-J(张祖建), Li W-H(李伟海), Yang J-C(杨建昌), Zhu Q-S(朱庆森). Effects of seedbed fertilizing on quality and flexibility of rice seedlings nursed with two-layer plastic film for mechanical transplanting. *J Yangzhou Univ* (扬州大学学报), 2004, 25(2): 22-26 (in Chinese with English abstract)
- [8] Shen J-H(沈建辉), Cao W-X(曹卫星), Zhu Q-S(朱庆森), Xue Y-F(薛艳凤), Jing Q-J(景启坚). Effects of different seedling raising methods on rice seedling quality by mechanical transplanting. *J Nanjing Agric Univ* (南京农业大学学报), 2003, 26(3): 7-9 (in Chinese with English abstract)