

机插水稻高产栽培关键技术的适宜值*

彭长青^{1,2*} 李世峰² 卞新民¹ 吴九林² 周宇² 刘蓉蓉²⁽¹⁾南京农业大学, 南京 210095; ⁽²⁾南通市作物栽培技术指导站, 南通 226006)

【摘要】 在大田栽培条件下,以武香粳 14 为材料,对机插水稻的育秧、移栽、肥料运筹等高产栽培技术适宜值进行研究。结果表明,芽谷播量以每盘(1 624 cm²) 150 ~ 180 g 为最佳;壮秧剂处理秧苗质量与机插质量均好于其它复合肥处理,复合肥处理苗床的用量以 N:P₂O₅:K₂O = 10:10:5 及 150 g m⁻² 复合肥较好;双胎育秧秧苗须在播后 21 d 内机插大田;小棵密植(取秧面积 1.26 cm²、株距 7 cm、行距 30 cm)有利于提高机插水稻的个体质量及群体水平;大田施 N 量为 315 kg hm⁻²、基肥:穗肥 = 6:4 的处理产量最高。单位面积总颖花量显著提高是机插水稻产量增加的主要原因。

关键词 水稻 机插 高产栽培

文章编号 1001-9332(2006)09-1619-05 中图分类号 S511 文献标识码 A

Appropriate parameters for high-yielding cultivation of machine-transplanted rice. PENG Changqing^{1,2}, LI Shifeng², BIAN Xinmin¹, WU Jiulin², ZHOU Yu², LIU Rongrong² (¹Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²Crop Cultivation Technology Station of Nantong City, Nantong 226006, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(9): 1619 ~ 1623.

A field experiment with japonica rice variety Wuxiangjing 14 in 2002 ~ 2005 showed that the appropriate sowing rate was 150 ~ 180 g per tray (1 624 cm²), seedling-strengthening agent was more conducive than compound fertilizer in improving the quality of machine-transplanted seedlings, the rational dose of compound fertilizer (N-P₂O₅-K₂O) was 150 g m⁻², seedlings should be machine-transplanted within 21 days after sowing, densely planting a fewer seedlings in each cluster could improve the individual and population quality of machine-transplanted rice, and applying 315 kg hm⁻² of N and 6:4 of basal-tillering heading fertilizer could obtain the highest rice yield. The marked increase of glumous flowers per unit area was the main cause of the increase of machine-transplanted rice yield.

Key words Rice, Machine-transplanted, High-yielding cultivation.

1 引言

20 世纪 50 年代以来,我国一直致力于机械插秧技术的研究^[1,6,12],虽有所发展,但由于技术上的限制,机械插秧面积较小,仅占水稻(*Oryza sativa* L.)面积的 3% 左右^[10,14]。近年来,随着生产手段和技术水平的不断提高、农机具及其配套技术的逐步完善,机械插秧这一省工省本的栽培方式得到大面积推广^[2,15]。据统计,至 2005 年全国机插秧面积近 129.5 × 10⁴ hm²。水稻秧苗机械移栽除了能发挥省工、节本等明显优势外^[4,16],还能兼顾高产、稳产^[2,13]。前人已就机插秧做了一些研究,但主要侧重于水稻个别栽培管理措施方面^[3,5,7~9],对机插水稻高产栽培各项技术适宜值进行综合研究的相对较少。本文以水稻品种武香粳 14 为试材,对机插水稻的育秧、栽插、肥料运筹等栽培措施进行系统化、定量化分析,以期水稻生产提供技术支撑,充分发挥机插水稻的高产潜力。

2 材料与方法

2.1 试验设计

试验于 2002 ~ 2005 年在江苏省如东县马塘镇马西村进行,选择地力中等、适合水稻生长的小麦茬田块。土壤类型为盐土, pH 值 7.8,土壤有机质 5.0 g kg⁻¹,速效磷 6.7 mg kg⁻¹,速效钾 97.5 mg kg⁻¹。前茬长势平衡,灌溉方便。供试水稻品种为武香粳 14,播种时芽谷重量为浸种前干谷重量 1.25 倍,插秧机选用东洋 PF455S 步行式插秧机。

播种量试验:软盘育秧,5 月 20 日落谷,每盘(1 624 cm²)芽后播种量设 120、150、180、210 g 4 个处理,分别以 A₁、A₂、A₃、A₄ 表示,6 月 10 日机插,取秧面积 1.26 cm²,株距 7 cm、行距 30 cm,小区面积 60 m²,重复 3 次,随机排列。

育秧培肥试验:双胎育秧,每小区播芽谷 1 950 g,底孔密度为 3.0 cm × 3.0 cm。设复合肥(N:P₂O₅:K₂O = 10:10:5)

* 国家“863”计划项目(2001AA245041)、江苏省“十五”攻关重点科技项目(BE2001329)和南通师范学院苏东所课题资助项目(03SD005)。

** 通讯联系人。E-mail: pq@ntagri.gov.cn
2006-02-11 收稿,2006-06-30 接受。

0、75、150、300、450 g m⁻²以及壮秧剂 800 g m⁻² (如东县复合肥三厂生产) 共 6 个处理, 分别以 B₁ ~ B₆ 表示. 随机区组排列, 小区面积为 1.4 m × 1.5 m, 重复 3 次.

移栽密度试验: 软盘育秧, 每盘播芽谷 160 g, 取秧面积设 1.26 和 1.96 cm², 以 C₁、C₂ 表示; 株距设 14.7 和 14.6 cm, 以 D₁、D₂ 表示; 行距均为 30 cm. 试验设 C₁D₁、C₁D₂、C₂D₁、C₂D₂ 4 个处理组合, 基本苗分别为 82.5 × 10⁴、66 × 10⁴、136.5 × 10⁴ 和 109.5 × 10⁴ 株·hm⁻², 小区面积为 60 m², 重复 3 次, 随机排列.

施氮量试验: 软盘育秧, 每盘播芽谷 150 g, 于 3.5 叶期机插. 基本苗 69 × 10⁴ 株·hm⁻², 株距 17.7 cm, 行距 30 cm. 总施 N 量设 0、247.5、270、292.5、315、337.5、360 和 382.5 kg·hm⁻² 共 8 个处理, 分别以 E₁ ~ E₈ 表示. 基肥: 分蘖肥: 穗肥 = 2:4:4, 分蘖肥于移栽后 7 d 和 15 d 两次施用, 比例为 3:7; 穗肥分倒 4 和倒 2 叶两次施用, 比例为 6:4. 每小区 60 m², 随机排列, 重复 3 次.

氮肥配比试验: 软盘育秧, 每盘播芽谷 150 g, 于 3.5 叶期机插. 基本苗 69 × 10⁴ 株·hm⁻², 株距 17.7 cm, 行距 30 cm. 总施 N 量 315 kg·hm⁻², 基肥: 穗肥: 分蘖肥 = 1:0:0:1:4.5:5.5:5.5:5.5:4.5 和 6:4 共 6 个处理, 分别以 F₁ ~ F₆ 表示. 分蘖肥于移栽后 7 d 和 15 d 两次施用, 比例为 3:7; 穗肥分倒 4 和倒 2 叶两次施用, 比例为 6:4. 每小区 60 m², 随机排列, 重复 3 次.

2.2 测定项目与方法

产量及其构成因素: 成熟期各处理取 5 穴代表性稻株, 在测定干重时同时测定每穗颖花数、实率、千粒重. 每个处理取样 2 m², 进行小区测产. 手工脱粒测定每穗粒重, 水漂法区分饱粒 (沉入水底者) 和空瘪粒, 计算饱粒结实率, 饱粒烘干至恒重后称重, 计算饱粒干粒重.

叶面积和干物质积累: 在拔节、抽穗、成熟期按平均茎蘖数每以 5 点取样法选取有代表性植株 5 穴, 测定绿叶面积和地上部干物重, 其中, 抽穗期和成熟期还测定上三叶叶面积. 地上部干物重分绿叶、黄叶、茎鞘和穗 4 部分烘干称重, 重复 3 次.

茎蘖动态: 返青活棵后观测分蘖动态, 以连续 10 穴为 1 个观察点, 每个处理测定 5 个观察点, 5 d 观测 1 次. 机插质量: 机插后在各小区连续查 100 穴, 考查漏插穴数、缺秧率、折秧株数等指标; 在秧龄 1.5 ~ 3.3 时切取 29 cm × 28 cm 的秧块, 用木条夹住秧块边, 水平置于玻璃板上, 一头固定, 另一头用弹簧秤拉, 秧块破裂时的拉动力即为盘结力.

所有数据用 Excel 和 SPSS 进行分析和统计.

3 结果与分析

3.1 播种量对机插水稻的影响

由表 1 可知, 播量过高或过低均不能获得高产, 其中, A₂ 处理产量最高, 平均为 9 652.6 kg·hm⁻², A₄ 处理产量最低, 平均为 9 139.0 kg·hm⁻². 处理间单位面积穗数差异不显著; 分蘖成

穗率随播种量的增加而呈下降趋势, 但差异不显著. 单穗重随播种量的增加而显著降低, 其中, A₁ 处理最高, 平均为 3.1 g, A₄ 处理最低, 平均为 2.7 g. 缺穴率随播种量的增加而显著降低, A₁ 处理缺穴率最高, 平均为 7.5%, A₄ 处理最低, 平均为 2.1%.

表 1 不同播量对机插水稻穗粒结构和产量的影响

Table 1 Effect of sowing rate on yield components of machine-transplanted rice

| 处理 Treatment | 实产 Actual yield (kg·hm ⁻²) | 穗数 Panicles (×10 ⁴ hm ⁻²) | 分蘖成穗率 Percentage of ear- bearing tiller (%) | 单穗重 Panicle weight (g) | 缺穴率 Rate of empty hills (%) |
|-----------------|---|---|--|---------------------------------|---|
| A ₁ | 9316.2b | 301.0a | 75.1b | 3.1d | 7.5c |
| A ₂ | 9652.6c | 327.9a | 72.9b | 2.9c | 3.5b |
| A ₃ | 9639.7c | 332.3a | 71.6a | 2.9b | 3.2b |
| A ₄ | 9139.0a | 341.2a | 69.7a | 2.7a | 2.1a |

同列不同字母表示在 0.05 水平上差异显著. Values followed by different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

分析播种量对不同生育时期单位面积水稻茎蘖数影响 (图 1), 结果表明, 各处理茎蘖数动态变化均呈单峰曲线, 于机插后 30 d 达到峰值. 单位面积茎蘖数随播种量的提高均有所增加, 各处理达到高峰苗龄差异最大, 且达显著水平; 其中, A₁ 处理高峰苗龄最晚, 平均为 427.5 × 10⁴ 株·hm⁻², A₄ 处理高峰苗龄最早, 平均为 489.2 × 10⁴ 株·hm⁻². 综上可知, 随播种量增加, 虽然机插水稻的缺穴率显著下降, 但高峰苗龄显著提高, 分蘖成穗率、单穗重、单位面积产量均显著降低. 因此, 生产上应通过“匀播控制缺穴率及降低播量提高秧苗素质”的途径提高产量.

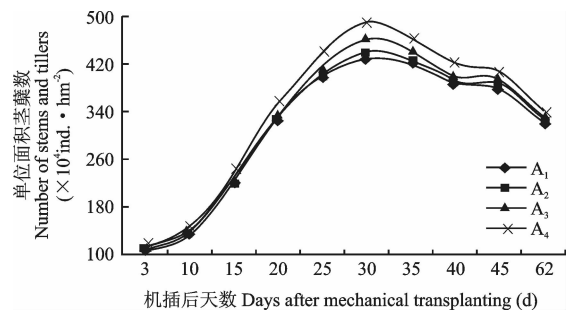


图 1 播种量对水稻不同生育时期茎蘖数的影响

Fig. 1 Effect of sowing rate on stem and tiller number at different growth stages of machine-transplanted rice.

3.2 育秧培肥对机插水稻的影响

由表 2 可知, 各处理地上部干物重在播后 8 ~ 21 d 均持续增加, B₁、B₆ 处理在播后 21 ~ 24 d 持续增加, 但 B₂、B₃、B₄、B₅ 处理有下降趋势, 且随施肥量增加, 地上部干物重下降速率增加. 表明在试验条件下, 水稻在播后 18 d 进入秧苗干物重缓增期, 播后 21 d 是秧苗干物重而施用壮秧剂有延缓秧苗干物重作用.

表 2 不同营养土培肥处理对机插水稻地上部干物重和机插质量的影响

Table 2 Effect of seedbed fertilizing treatment on aboveground dry matter and quality of machine-transplanted rice seedlings

| 处理 Treatment | 地上部干物重 Aboveground dry matter ($\times 10^{-2}$ g plant $^{-1}$) | | | | | | 盘结力 Root twisting degree (kg) | 漂秧率 Number of floating seedlings | 折伤株数 Number of broken plants | 移栽后 5 d 单株根数 Number of new roots per plant 5 days after transplanting |
|-----------------|---|------|------|------|------|------|--|--|------------------------------------|---|
| | 播后天数 Days after sowing (d) | | | | | | | | | |
| | 8 | 10 | 13 | 18 | 21 | 24 | | | | |
| B ₁ | 0.4a | 0.5a | 0.8a | 1.2a | 1.3a | 1.4a | 12.4d | 1.0b | 0.2b | 2.2a |
| B ₂ | 0.5b | 0.5a | 0.8a | 1.3a | 1.5b | 1.4a | 7.5a | 0.2a | 0.0a | 2.2a |
| B ₃ | 0.5b | 0.6b | 0.9a | 1.3a | 1.5b | 1.4a | 8.0b | 0.2a | 0.0a | 2.5b |
| B ₄ | 0.4a | 0.5a | 0.8a | 1.3a | 1.5b | 1.3a | 8.5c | 1.0b | 0.3c | 2.5b |
| B ₅ | 0.5b | 0.6b | 0.9a | 1.4b | 1.7c | 1.4a | 13.6e | 1.4c | 0.4d | 3.1c |
| B ₆ | 0.5b | 0.6b | 1.0b | 1.5b | 1.7c | 1.8b | 8.3b | 0.8b | 0.3c | 3.8d |

表 3 不同移栽密度对机插水稻穗粒结构和产量的影响

Table 3 Effect of transplanting density on yield components of machine-transplanted rice

| 处理 Treatment | 实产 Actual yield (kg hm $^{-2}$) | 基本苗 Seedling number ($\times 10^4$ ind. hm $^{-2}$) | 穗数 Panicles ($\times 10^4$ ind. hm $^{-2}$) | 分蘖成穗率 Ear-bearing tiller percent (%) | 单穗重 Panicle weight (g) | 缺穴率 Empty hills percent (%) | 干物质积累量 Accumulated dry matter (g m $^{-2}$) | | |
|-------------------------------|--|---|--|--|---------------------------------|---|---|--------------------------|--|
| | | | | | | | 抽穗期 Heading stage | 成熟期 Maturing stage | 抽穗 - 成熟 Heading- maturing stage |
| | | | | | | | C ₁ D ₁ | 9469.6d | 82.5b |
| C ₂ D ₁ | 8582.7a | 136.5d | 372.0d | 68.6a | 2.3a | 4.4a | 951.8c | 1632b | 680.2a |
| C ₁ D ₂ | 8847.1b | 66.0a | 321.0a | 73.3a | 2.8b | 3.2a | 934.1b | 1645.9c | 711.7b |
| C ₂ D ₂ | 9160.2c | 109.5c | 331.5b | 71.5a | 2.8b | 4.0a | 901.4a | 1583.8a | 682.5a |

复合肥用量越高, 盘结力越大, 漂秧率越高, 移栽后 5 d 单株根数越多; 壮秧剂处理 (B₆) 各机插质量指标与 B₃ 处理基本一致, 但移栽后 5 d 单株根数显著高于其它复合肥处理。综上可知, 壮秧剂处理秧苗质量、机插质量均好于其它 5 个复合肥处理; 苗床用肥量以 B₃ 处理 (150 g m $^{-2}$) 较好; 从干物质积累量看, 百株干物重在播后 21 d 后开始下降。因此, 在本试验条件下双季育秧应尽可能在播后 21 d 内机插大田。

3.3 移栽密度对机插水稻的影响

由表 3 可知, 机插水稻移栽过稀 (C₁D₂) 或过密 (C₂D₁) 均不能获得高产, 小棵密植 (C₁D₁) 处理单位面积产量显著高于其它处理, 平均为 9 469.6 kg hm $^{-2}$, 单位面积穗数和单穗重的关系协调是小棵密植处理高产的主要原因。移栽密度对分蘖成穗率、缺穴率的影响较小, 处理间的差异均未达显著水平。

分析移栽密度对不同生育时期单位面积茎蘖数的影响表明 (图 2), 各处理茎蘖动态变化均呈单峰曲线, C₁D₂、C₂D₁、C₂D₂ 处理于机插后 30 d 达到峰值, C₁D₁ 处理的峰值推迟到机插后 35 d。C₂D₁ 处理 (大棵密植) 单位面积茎蘖数显著高于其它处理, 以高峰苗数最大。从叶面积指数及单位面积干物质积累量来看 (表 3、图 3), C₁D₁ 处理在拔节期、抽穗期、成熟期的 LAI, 抽穗期、成熟期的高效叶面积指数及抽穗期、成熟期、抽穗 - 成熟期单位面积干物质积累量均显著高于其它处理。表明小棵

密植移栽有利于个体与群体的生长发育, 提高了 LAI、高效叶面积指数及抽穗 - 成熟期的单位面积干物质积累量, 进而提高产量。生产上应在提高播种均匀度、降低空穴率的前提下, 通过“小棵争大穗、密植取穗”的途径提高产量水平。

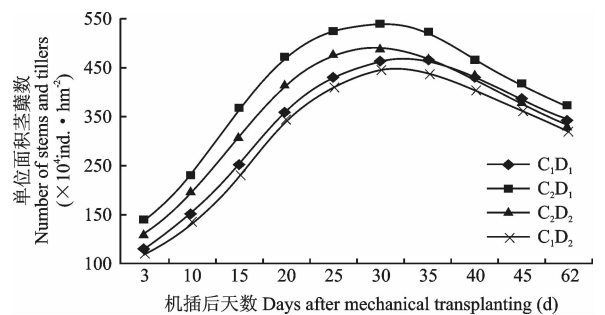


图 2 移栽密度对水稻不同生育时期茎蘖数的影响

Fig. 2 Effect of transplanting density on the stem and tiller number at different growth stages of machine-transplanted rice.

3.4 氮肥运筹对机插水稻的影响

3.4.1 施氮量对机插水稻单位面积产量及其构成因素的影响 由表 4 可知, 当施氮总量在 0 ~ 315 kg hm $^{-2}$ 时, 机插水稻单位面积产量、总颖花量 (总库容)、每穗颖花数、单位面积穗数显著增加, 而进一步增施 N 肥到 315 ~ 382.5 kg hm $^{-2}$ 时, 单位面积产量、总颖花量、每穗颖花数、单位面积穗数显著降低。各处理中 E₅ 处理 (总氮 315 kg hm $^{-2}$) 产量最高, 平均比 E₁ 处理增产 4 710 kg hm $^{-2}$, 增幅为 92.5%; 总颖花量平均比 E₁ 处理增加 1.61 $\times 10^8$ ind. · hm $^{-2}$, 增幅为 75.3%; 每穗颖花数平均比 E₁

表4 施N量对机插水稻产量构成和茎蘖成穗的影响

Table 4 Effect of the amount of N-applied on yield components and panicle formation of machine-transplanted rice

| 处理 Treatment | 基本苗 Basic seedlings ($\times 10^4$ ind. \cdot hm $^{-2}$) | 高峰苗 Max of stems and tillers ($\times 10^4$ ind. \cdot hm $^{-2}$) | 成穗率 Percent of ear- bearing tiller (%) | 穗数 Panicles ($\times 10^4$ ind. \cdot hm $^{-2}$) | 每穗颖花数 Glumous flowers per panicle | 总颖花量 Glumous flowers ($\times 10^4$ ind. \cdot hm $^{-2}$) | 结实率 Filled grain percent (%) | 千粒重 1000-grain weight (g) | 产量 Grain yield (kg hm $^{-2}$) |
|-----------------|---|---|---|--|---|--|---------------------------------------|------------------------------------|--|
| E ₁ | 69 | 391.5a | 63.6d | 249.0a | 85.9a | 21391.5a | 98.3d | 23.4a | 5005.5a |
| E ₂ | 69 | 503.5b | 61.9d | 311.5b | 98.3b | 30618.0b | 95.3c | 25.0a | 7654.5b |
| E ₃ | 69 | 551.0c | 57.0c | 314.0b | 97.7b | 30663.0b | 96.8d | 25.8a | 7911.5b |
| E ₄ | 69 | 562.5c | 57.4c | 323.0c | 98.7b | 31869.0c | 93.4b | 25.2a | 8031.5c |
| E ₅ | 69 | 591.0d | 56.3b | 333.0e | 112.6d | 37501.5g | 94.3c | 25.9a | 9715.5e |
| E ₆ | 69 | 602.0d | 57.6c | 346.5d | 104.0c | 36052.5f | 94.9c | 25.5a | 9193.5d |
| E ₇ | 69 | 617.5e | 57.3c | 354.0c | 95.8b | 33922.5e | 91.5a | 25.2a | 8548.5c |
| E ₈ | 69 | 644.5f | 54.5a | 351.0b | 92.7b | 32521.5d | 90.3a | 24.8a | 8065.5b |

表5 N肥对比对机插水稻产量构成和茎蘖成穗的影响

Table 5 Effect of nitrogen fertilizer application on yield components and panicle formation of machine-transplanted rice

| 处理 Treatment | 基本苗 Basic seedlings ($\times 10^4$ ind. \cdot hm $^{-2}$) | 高峰苗 Max of stems and tillers ($\times 10^4$ ind. \cdot hm $^{-2}$) | 成穗率 Ear-bearing tiller percent (%) | 穗数 Panicles ($\times 10^4$ ind. \cdot hm $^{-2}$) | 每穗颖花数 Glumous flowers per panicle | 总颖花量 Glumous flowers ($\times 10^4$ ind. \cdot hm $^{-2}$) | 结实率 Filled grain percent (%) | 千粒重 1000- grain weight (g) | 产量 Grain yield (kg hm $^{-2}$) |
|-----------------|---|---|--|--|---|--|--|--|--|
| F ₁ | 69 | 661.5d | 55.8a | 369.0e | 98.5a | 24723.5a | 87.9a | 25.2a | 6145.5b |
| F ₂ | 69 | 333.3a | 72.8a | 242.5a | 101.0b | 24492.5a | 95.2b | 25.3a | 5482.3a |
| F ₃ | 69 | 521.6b | 58.5a | 315.2b | 109.5b | 34514.4b | 96.4b | 26.2a | 8935.4c |
| F ₄ | 69 | 543.2b | 57.5a | 331.3c | 114.3c | 37867.6c | 93.5b | 25.7a | 9301.5d |
| F ₅ | 69 | 563.5c | 59.0a | 332.5c | 113.6c | 37772.0c | 94.2b | 25.8a | 9437.2d |
| F ₆ | 69 | 576.0c | 61.2a | 352.5d | 117.7c | 41407.5d | 94.3b | 25.9a | 9715.5e |

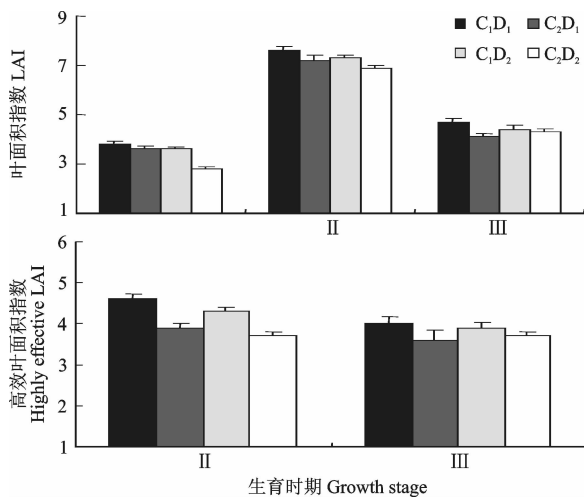


图3 移栽密度对水稻不同生育时期 LAI 和高效 LAI 的影响

Fig. 3 Effect of transplanting density on LAI and highly effective LAI at different growth stages of machine-transplanted rice.

I. 拔节期 Jointing stage; II. 抽穗期 Heading stage; III. 成熟期 Maturing stage

处理增加 26.7 朵, 增幅为 31.1%, 单位面积穗数均比 E₁ 处理增加 8.4×10^5 ind. · hm $^{-2}$, 增幅为 33.7%. 结实率随施氮量的增加而显著降低, E₁ 处理结实率最高, 平均为 98.3%, E₈ 处理最低, 平均为 30.3%. 增施 N 肥对千粒重影响较小, 处理间差异未达显著水平. 表明增施 N 肥使机插水稻产量提高主要与总颖花量显著增加有关; 而在群体一点定例对促进分蘖有一定作用; 各处理间成穗率差异较低的情况下总颖花量显著提高是在单位面积穗数差异较小, 未达显著水平. 由此可见, 适当增加基肥显著增加基肥上实现

高峰苗显著增加, E₈ 处理高峰苗最高, 平均比 E₁ 处理增加 2.53×10^6 株 · hm $^{-2}$, 增幅为 64.5%; 成穗率随施氮量的增加而显著下降, E₈ 处理成穗率最低, 平均为 54.5%, E₁ 处理成穗率最高, 平均为 63.6%. 由此可见, 氮肥在适宜范围内增施有利于提高单位面积穗数, 过量或不足均不易形成高效群体. 生产上在群体一点定例的情况下, 应适当增施氮肥, 在适宜穗数范围内争足穗实现高产.

3.4.2 氮肥对比对机插水稻单位面积产量及其构成因素的影响 由表 5 可知, F₆ 处理单位面积产量和总颖花量平均为 9 715.5 kg · hm $^{-2}$ 和 4.1475×10^8 ind. · hm $^{-2}$, 均显著高于其它处理; 仅施基肥 (F₁ 处理) 比仅施穗肥 (F₂ 处理) 平均增产 663.2 kg · hm $^{-2}$, 增幅为 12.1%; 在总施氮量一致的情况下, 协调基肥与穗肥的比例, 有利于产量的显著提高. 从产量构成因素看, F₁ 处理单位面积穗数: 69×10^6 ind. · hm $^{-2}$, 显著高于其它处理; F₃ ~ F₆ 处理间每穗颖花数、结实率和千粒重差异较小.

在基本苗一致的情况下, F₁ 处理高峰苗最大, 平均为 6.62×10^6 株 · hm $^{-2}$, F₂ 处理高峰苗最低, 平均为 3.33×10^6 株 · hm $^{-2}$; 提高基肥施用比例使机插水稻单位面积穗数显著提高, 而其又与高峰苗的增加有关. 可见, 机插水稻要获得高

产, 必须在适量施氮的基础上, 合理配合施用基肥与穗肥. 生产上在群体一点太低的情况下, 应当把基肥施用比例提高到占总用氮量的60%左右, 在适宜穗内争足穗实现高产.

4 讨 论

培育壮秧, 播量是关键. 景启坚等^[5]研究发现, 当软盘芽谷播种量为每盘 120 ~ 150 g 时, 秧苗个体素质最好, 具有明显群体优势. 本研究表明, 软盘芽谷播种量在每盘 150 ~ 180 g 时, 缺穴率为 3.2% ~ 3.5%, 秧苗健壮, 分蘖成穗率高, 产量优势明显. 目前, 机插水稻普遍存在缺穴率偏高现象, 有人建议通过增加播量来弥补缺穴率不足^[11]. 笔者认为, 播量增加易造成苗间通风透光性差, 秧苗素质得不到保障, 不能从根本上解决缺穴率高的问题. 控制缺穴率应在提高播种质量, 加强匀播管理上下工夫.

从苗床培肥来看, 过去通常要求在播前 15 ~ 20 d 进行, 且秧苗常因拌肥不均造成肥害. 而壮秧剂集营养剂、调酸剂、酸素菌、防病药剂为一体, 功能齐全, 培肥不仅可以在播种当天进行, 而且有效解决了调酸、防病、控制窜长的问题. 本研究表明, 苗床培肥以施用壮秧剂 800 g m⁻² 效果最佳, 若施用复合肥 (N: P₂O₅: K₂O = 10: 10: 5) 则以 150 g m⁻² 较好. 从秧苗干物重变化趋势看, 将播后 21 d 作为秧苗临界期, 主要因为该期之后秧苗群体增大, 个体营养空间缩小, 光合生产难以满足呼吸消耗的需要, 单位面积干物重开始下降. 所以双育秧须在播后 21 d 内机插大田, 才能充分利用温光资源. 当然, 本试验仅以武香粳 14 为试验材料, 不同水稻品种秧苗临界期可能存在差异, 还有待进一步研究.

从移栽密度来看, 凌一认为, 以武育粳 3 号为试材, 机插水稻栽插密度以 2.56 × 10⁵ 穴 · hm⁻²、每穴苗数 4 ~ 4.7 苗为宜. 本试验条件下小棵密植 (每穴 2.9 株、28.5 × 10⁴ 穴 · hm⁻²) 有利于个体与群体的生长发育, 能提高分蘖成穗率、叶面积指数、高效叶面积指数等, 单位面积干物重, 有利于形成高产. 这主要是因为本试验条件下每穴苗数介于 3.5 ~ 4.7 株, 小棵密植可弥补由每穴苗数偏低带来的群体偏小、缺穴率增加不足.

从氮肥运筹来看, 本试验施氮水平为 315 kg hm⁻², 基肥: 穗肥 = 6: 4 处理产量最高可达 9 715.5 kg hm⁻². 而根据确定量栽培理论^[8,9], 减少基肥用量, 加大穗肥施用比例 (基肥: 穗肥 = 5: 5) 可获高产更高产量. 这主要是由于本试验基本

苗采用 6.9 × 10⁵ 株 · hm⁻², 群体一点太低, 增加基肥用量有利于形成健壮个体, 使分蘖早生快生.

本研究还发现, 机插水稻成穗率普遍偏低, 平均为 50% ~ 70%. 这主要与机插秧分蘖启动较慢, 进入分蘖盛期后分蘖发生快、高峰苗过多所致. 因此, 如何控制无效分蘖, 提高分蘖成穗率, 实现壮秆大穗, 将是未来机插水稻研究的重点. 此外, 本文仅采用播种量、苗床培肥、移栽密度等 5 项技术单因素试验, 多因素互作效应须作进一步研究.

致谢 感谢钱宗华、徐长青及杨连洪参与相关工作.

参考文献

- Chen J (陈健): 2003. Evolution and development of rice planting pattern. *J Shenyang Agric Univ* (沈阳农业大学学报), **34** (5): 389 ~ 393 (in Chinese)
- Fan B-R (范伯仁): 2001. A review on the introduction of high capability transplanting machine into Jiangsu Province. *Chin Agric Mechaniz* (中国农机化), (4): 32 ~ 34 (in Chinese)
- Gao L-X (高连兴), Zhao X-R (赵秀荣): 2002. Effect of mechanized transplanting methods on rice yield and rice population growth trends. *Trans CSAE* (农业工程学报), **18** (3): 45 ~ 48 (in Chinese)
- Guo Y-Q (郭秧全), Xie Z-R (谢正荣), Shen X-M (沈小妹), et al.: 1996. A study on the level of yield and economic benefit of the light-duty culture of rice. *Sys Sci Compr Stud Agric* (农业系统科学与综合研究), **12** (3): 220 ~ 223, 226 (in Chinese)
- Jing Q-J (景启坚), Xue Y-F (薛艳凤), Qian Z-C (钱照才): 2003. Effect of different sowing rate on quality of machine-transplanted rice seedlings. *Jiangsu Agric Mechaniz* (江苏农机化), (2): 13 ~ 14 (in Chinese)
- Li Y-M (李耀明), Xu L-Z (徐立章), Xiang Z-P (向忠平), et al.: 2005. Research advances of rice planting mechanization in Japan. *Trans CSAE* (农业工程学报), **21** (11): 182 ~ 185 (in Chinese)
- Ling L (凌一): 2005. Occurrence of tiller of machine-transplanted rice and development of its cultural technology for high yield. *Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), **18** (3): 14 ~ 19 (in Chinese)
- Ling Q-H (凌启鸿), Zhang H-C (张洪程), Ding Y-F (丁艳锋), et al.: 2005. New development of rice high yield technology: Precise quantity planting. *Chin Rice* (中国稻米), **11** (1): 3 ~ 7 (in Chinese)
- Ling Q-H (凌启鸿), Zhang H-C (张洪程), Ding Y-F (丁艳锋), et al.: 2005. Technology and Theory About Rice Fertility and High Efficiency. Beijing: China Agricultural Press. 22 ~ 56 (in Chinese)
- Niu D (牛盾): 2000. New situation of agricultural mechanization and the development of paddy production mechanization in China. *Trans CSAE* (农业工程学报), **16** (4): 7 ~ 10 (in Chinese)
- Wang X-E (王夕娥), Gu H-W (顾海伟), Yu Y-J (於永杰): 2004. Effect of different sowing rate and transplanted density on machine transplanted rice. *Shanghai Agric Sci Technol* (上海农业科技), **30** (4): 28 ~ 29 (in Chinese)
- Wu C-Y (吴崇友), Jin C-Q (金诚谦), Lu Y (卢晏), et al.: 2000. Discussion of developing rice planting machine in China. *Trans CSAE* (农业工程学报), **16** (2): 21 ~ 23 (in Chinese)
- Xue Y-F (薛艳凤), Yu L-H (于礼惠): 2001. Study on technology of mechanical transplanting rice. *Jiangsu Agric Mechaniz* (江苏农机化), **14** (6): 16 ~ 18 (in Chinese)
- Yang L (杨林): 2000. Emphases and difficulty of Chinese rice mechanization. *Chin Rice* (中国稻米), **7** (1): 25 ~ 28 (in Chinese)
- Yang M-J (杨明金), Yang L (杨玲), Li Q-D (李庆东), et al.: 2003. Agricultural mechanization system of rice production of Japan and proposal for China. *Trans CSAE* (农业工程学报), **19** (5): 77 ~ 82
- Zhang S-B (张树彬), Li B-F (李宝筏): 1999. Analysis on the mechanization of rice cultivation. *J Shenyang Agric Univ* (沈阳农业大学学报), **30** (1): 75 ~ 77 (in Chinese)

作者简介 彭长青, 男, 1969 年生, 博士研究生, 高级农艺师. 主要从事作物栽培与耕作制度研究和推广工作. Tel: 0513-83548153; E-mail: pcq@ntagri.gov.cn

责任编辑 张凤丽