

播种方式和播种密度对杂交籼稻机插秧节本增效的研究

胡剑锋¹ 杨波² 周伟¹ 张培培¹ 张强¹ 李培程¹ 任万军^{1,*} 杨文钰¹

(¹四川农业大学 农学院, 成都 611130; ²乐山市农业技术推广站, 四川 乐山 614000; * 通讯联系人, E-mail:rwjun@126.com)

Effect of Seeding Method and Density on the Benefit of Mechanical Transplanting in *indica* Hybrid Rice

HU Jianfeng¹, YANG Bo², ZHOU Wei¹, ZHANG Peipei¹, ZHANG Qiang¹, LI Peicheng¹, REN Wanjun^{1,*}, YANG Wenyu¹

(¹College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; ²Leshan Agro-technical Extension Station, Leshan 614000, China; * Corresponding author, E-mail:rwjun@126.com)

Abstract: 【Objective】 Our purpose is to investigate the rice seedling growth characteristic, quality of transplanting, rice yield and economic benefits of sparse seeding in *indica* hybrid rice. 【Method】 The seeds of F you 498 and II you 498 were used as materials to develop and chose the optimal drilling seeding machine, then a two-factor split-plot field experiment was conducted with seeding method as main plot and seeding quantity as sub-plot. 【Results】 The results showed that sowing in drill was contributive to unifrom growth of seedlings with 24 lines being the best. The rice seedlings under sparse seeding began to grow tiller 14 days after seeding with the growth rate of tiller peaking between 17–23 days after seeding. With the increasing seeding density, seedling rate, dry matter accumulation, root shoot ratio, grain plumpness, N accumulation quantity, the percentage of tiller occurrence, rooting ability and leakage rate showed a tendency of decreasing. At the same time, the number of productive panicles increased, the grain number per panicle decreased and the grain yield increased at first and then decreased. The seedling quality under drill seeding was better than broadcast seeding, under which the seeds grew into strong seedlings and had a higher grain yield. 【Conclusion】 By comprehensively comparing cost and output, the drill seeding at the seeding rate of 50g/disc had a good coordination between seedling population density and individual advantage and the input-output ratio was the highest and had a higher economic benefit.

Key words: mechanical transplanting; hybrid rice; drilling seeding; sparse seeding; yield; economic efficiency

摘要: 【目的】探索机插杂交籼稻稀播育秧秧苗生长特性、栽插质量、产量与效益特点。【方法】以F优498和II优498的种子为材料开发并优选条播器后,采用两因素裂区设计,播种方式为主区,播种量为副区。【结果】条播播种均匀度优势明显,24行条播规格效果最佳。播种14 d后,秧苗开始产生分蘖芽,播后17至23 d是分蘖芽发生速率最快时期。随播种密度的增加,成苗率、干物质积累量、根冠比、秧苗充实度、N积累量、分蘖芽发生率、发根力、漏插率都呈降低趋势,同时有效穗数增加,每穗粒数减少,产量先增加后降低。条播相对于散播,秧苗整体素质较好,易形成壮秧,产量较高。【结论】投入与产出综合分析,采用条播方式,播种密度为50 g/盘时,秧苗群体密度和个体优势之间能得到较好的协调,产投比最高。

关键词: 机插; 杂交稻; 条播; 稀播; 产量; 经济效益

中图分类号: S511.042; S511.047

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2017)01-0081-10

气候环境和生态类型的多样性,导致我国水稻种植模式、耕作制度和品种熟期的多样化,机插秧受种植模式的限制较小,适应能力较强,已成为现阶段我国各水稻产区主要的机械化种植模式^[1-4]。机插秧对秧块质量有较高的要求,要求秧块成毯质量好,秧苗均匀度高,否则漏插较多,缺穴严重,导致全田基本苗不足^[5-7]。传统手工育秧,播种均匀度低,播种质量较差^[8-9]。近年来,工厂化育秧用全自动播种

流水线进行散播,播种均匀度较人工播种有了一定程度提高,但生产上依然采用增加播种密度的方法来提高播种的相对均匀度。在杂交稻种植区,提高播种量导致种子成本过高,同时不利于发挥杂交种的个体优势和增产潜力^[10-11]。前人^[12-14]研究表明,机插秧产量随播种密度增加呈先增后减趋势,同时,如何协调生产中机插秧高产与经济高效、农民增收的矛盾,已制约了机插杂交稻大面积的推广。本研究

收稿日期: 2016-03-04; 修改稿收到日期: 2016-07-27。

基金项目: 国家粮食丰产科技工程资助项目(2011BAD16B05); 农业部公益性行业科研专项(201303129)。

通过开发与全自动播种流水线相匹配的条形播种器来实现机条播,大幅提高播种效率与质量。通过降低播种量最大限度发挥杂交稻种子的杂种优势,充分挖掘稀播下机插秧的产量潜力,实现节本增收。本研究依托规模化水稻生产企业,通过对不同播种方式与播种密度下杂交稻机插秧秧苗的苗期生长、栽插质量以及经济效益进行研究,以期对杂交稻机插秧节本增效栽培提供相关理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为四川省农业科学院水稻高粱研究所选育而成的杂交中粳中熟品种 K 优 817,全生育期 145 d。

1.2 试验设计及主要管理措施

试验于 2012 年在四川郫县古城镇花牌村实施。试验分为两部分,第一部分试验是条播器开发与优选试验;第二部分实验是用优选后的条播器进行播种方式和播种密度互作的田间试验。

1.2.1 全自动播种流水线配套盘内条播器开发

试验设置 18 行、20 行、24 行、26 行 4 种条播器规格(分别对应的秧爪取秧宽度为 1.56、1.4、1.2、1.1 cm),并设计图纸制造 4 种规格条播器。分别将 4 种规格的条播器安装到播种流水线进行播种试验,选用有代表性的不同粒型的品种:杂交籼稻 F 优 498(籽粒长宽比 >2.7)和 II 优 498(籽粒长宽比 <2.2),分别考查 4 种条播器在高、中、低(100 g/盘、75 g/盘、50 g/盘)3 个不同播种密度下的播种效果。选用内径规格为 58 cm \times 28 cm,高度 3 cm 的标准育秧盘。

1.2.2 播种方式与播种密度互作试验

试验采用两因素裂区设计。播种方式为主区(A),设置机器散播(A1)、机器条播(A2)2 种播种方式;以播种密度(B)为副区,按 58 cm \times 28 cm 规格育秧盘设置干谷 40 g/盘(B1)、50 g/盘(B2)、60 g/盘(B3)、70 g/盘(B4)4 种播种密度。重复 3 次。试验采用全自动播种流水线播种,通过调节落谷速率来调节播种密度,通过给流水线安装条形播种器实现机器条播,条播规格为每盘 24 行。秧盘营养土取自肥力中上的蔬菜田。4 月 27 日育秧,5 月 28 日移栽,用乘坐式四行插秧机移栽,栽插规格 16 cm \times 30 cm。插秧机秧块取秧面积和送秧速度采用固定值(保证移栽时单位面积所用的盘数相同),单位面

积大田用秧量为 375 盘/hm²,小区面积 21.6 m²(6 m \times 3.6 m),移栽后不补苗。大田施氮肥(尿素,折合纯氮)180 kg/hm², $m_{\text{底肥}}$ 、 $m_{\text{分蘖肥}}$ 、 $m_{\text{穗肥}}$ 按照 4:3:3 比例施用,穗肥分倒 4 叶期和倒 2 叶期两次施,比例为 6:4。磷肥全作底肥,施有效磷含量 12% 的过磷酸钙 600 kg/hm²;钾肥施用氯化钾 240 kg/hm²,按 $m_{\text{底肥}}$: $m_{\text{穗肥}}$ 为 5:5 比例施用,底肥的施用时期和氮肥一样,穗肥同促花肥一起施入。

1.3 调查项目与测定方法

1.3.1 播种均匀度调查

在播种线上,播种后、覆土前随机抽取 3 个秧盘,每个秧盘按照水稻工厂化(标准化)育秧设备试验方法(NY/T 1635-2008)附录 B 图 B.1 抽样 5 点分别调查种子数,并按照以下公式计算播种均匀度 U_P :

$$S = \sqrt{1/(n-1) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2};$$

$$U_P = (1 - S/\bar{X}) \times 100.$$

S 为样本标准差; N 为样本数(个); X_i 为取样框内种子粒数; \bar{X} 为每盘样取样框内种子平均粒数。 U_P 表示播种均匀度(%)。

1.3.2 成苗率及秧田分蘖芽发生情况调查

移栽前一天在各处理中切取 10 cm \times 10 cm 的秧块 3 个,统计秧块内秧苗高度大于秧块内秧苗平均高度 1/2 的苗数,除以秧块内秧苗总数得到成苗率,并从中选取代表性的秧苗 100 株考查单株分蘖芽发生数。以分蘖芽露出叶鞘 0.5 cm 以上为分蘖芽标准,计算分蘖芽发生率。分蘖芽发生率=发生分蘖芽的苗数/考查总苗数。

1.3.3 秧苗分蘖芽监测

于播种后 14 d 开始每隔 3 d 在各处理中切取 10 cm \times 10 cm 的秧块各 1 个,从中选取有代表性秧苗 20 株,观察分蘖芽发生情况。

1.3.4 秧苗干物质及地上部 N 含量测定

移栽前 1 d 在各处理中切取 10 cm \times 10 cm 的秧块 2 个,从中选取有代表性的秧苗 100 株,分地上部和地下部分别烘干称干质量,计算秧苗充实度(单位苗干质量)和根冠比。将烘干称量后的地上部样品粉碎,每个处理称取 0.2 g 样品,加定氮催化片 1 片,浓硫酸 10 mL,经 380 $^{\circ}$ C 消煮 120 min,采用全自动凯氏定氮仪测定其氮含量。

1.3.5 秧苗根系发育情况

移栽前 2 d 在各处理中切取 10 cm \times 10 cm 的

秧块 2 个,其中一个秧块用于测定根系盘结力,固定其两端,用弹簧秤钩拉任意一端,当秧块断裂时,弹簧秤显示的读数即为盘结力。另外一个秧块用于发根力测定。先洗净根部土壤,选取长势中等的秧苗 20 株,剪去根系,栽入大田土壤中,5d 后测定发根数、根长,用单株平均发根长 \times 单株发根数来衡量发根力。

1.3.6 栽插质量调查

栽后 5 d 于每处理中随机选取 3 个长 2 m、4 行的观测区,计数观测区内总栽插穴数、栽插总株数、漏插穴数,并计算漏插率。

1.3.7 产量调查及经济效益分析

成熟期每小区选取 50 穴考查有效穗数,按照平均有效穗数取样,每个小区取 5 穴,自然风干后,考查每穗着粒数、实粒数、空秕粒数、千粒重、结实率、充实度和充实率。各小区分别实收计产。试验采取小区试验与大面积生产考查相结合的方法来核算经济效益,农资、人工和育秧等成本来源于郫县古城镇汀沙农业生态园区 100 hm² 机插秧的田间成本,种子成本和产量则以小区试验实际用种量和实收产量为准。劳动力成本按照当地平均成本核算(80 元/d);杂交稻种子成本 40 元/kg;稻谷按照当年市场价 2 元/kg 折算。试验所测数据使用 Excel、DPS 等软件进行数据处理、制图和相关统计分析。

2 结果与分析

2.1 条播器优选结果

2.1.1 条播器参数确定

插秧机移栽时,为了使秧爪每次取秧取在秧苗行上,而不至于取在两行秧苗间距上,必须满足以下条件: $d_1 = D/N_1$, $d_2 = D/N_2$, $d_1 > d_2$ 时,即 $N_2 > N_1$ 时,秧爪取秧则取在相应行上,不会取在行间

而形成漏插。式中, d_1 为每回合秧爪取秧宽度; d_2 为秧苗行距; N_1 为每工作行程插秧机秧爪取秧次数; N_2 为条播行数; D 为秧盘宽度。如表 1 所示,插秧机每个工作行程横向取秧次数有 3 种不同规格,分别是 18、20、26 次,对应每回合秧爪取秧宽度为 1.56、1.4、1.1 cm,行数为 18、20、26 的条播器分别与相匹配。实际应用中,条播行数与播种均匀度有很大关系,条播行数越多,行距越小,均匀度越高,但行数越多,条播器排种口宽度越小,播种时发生种子堵塞的风险越高。杂交水稻种子长度通常在 0.57~0.64cm,26 行条播器排种口宽度最小值小于种子长度最小值,发生堵塞的可能较大。因此,在设计时综合各方面考虑,在 20 行和 26 行条播规格之间增加了 24 行规格条播器。

2.1.2 条播器实际应用效果

播种均匀度是衡量播种质量的重要指标,直接影响出苗后秧苗均匀性,进而影响到栽插质量,因此本研究以播种均匀度作为评判播种质量的重要指标。用不同粒型的杂交水稻种子对人工撒播、机器散播、不同规格机条播,在不同的播种密度下进行了效果对比试验。如图 1 所示,粒型、机条播规格和播种密度 3 因子对播种均匀度的影响建立了三维动态模拟模型,由三维模型可以得出,长粒型水稻种子(a)和圆粒型水稻种子(b)播种均匀度与机条播行数和播种密度的关系可以分别用以下方程模拟:

$$Y_a = -75.5462 + 14.0074X_1 + 0.3099X_2 - 0.3099X_{12} - 0.0023X_{22}; \quad (R^2 = 0.6512, P = 0.1059);$$

$$Y_b = -65.1813 + 11.5876X_1 + 0.8165X_2 - 0.2614X_{12} - 0.0048X_{22}; \quad (R^2 = 0.8789, P = 0.0163)。$$

播种均匀度与播种密度和机条播的行数均呈抛

表 1 条播器与插秧机对应相关参数表

Table1. Parameters for drill planters and rice transplanters.

每工作行程插秧机秧爪取秧次数 N_1	每回合秧爪取秧宽度 d_1/cm	条播行数 N_2	秧苗行距 d_2/cm	导种槽宽度 d_3/cm	粒长 L/cm
18	1.56	18	1.56	0.78—1.56	0.57—0.64
20	1.40	20	1.40	0.70—1.40	
26	1.20	26	1.08	0.54—1.08	
24	1.10	24	1.17	0.58—1.17	

d_1 , The catching width of seedling claw per turn; d_2 , Row width of seedlings; N_1 , The catching frequency of rice transplanter seedling claw in each working stroke; N_2 , Line number of drilling sowing; d_3 , The width of seeds guiding slot; L , Seed length.

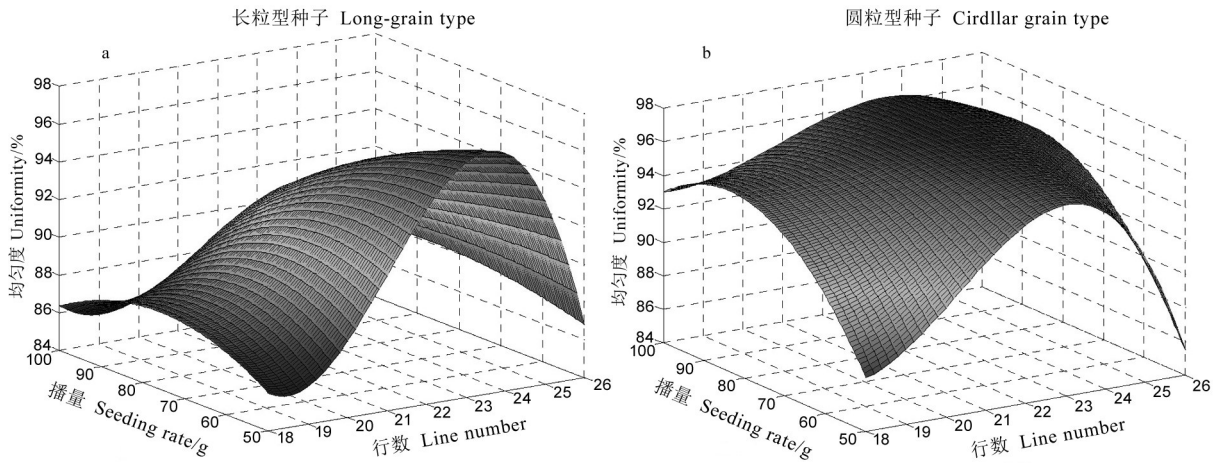


图1 不同播种密度、不同行数条播器两种粒型水稻种子播种均匀度三维模型

Fig.1. Three-dimensional models of seeding uniformity for two grain types under different seeding densities with different row sized drill planters.

物线关系,两种粒型种子均在75 g/盘播种密度和24行机条播配合时均匀度达到最高。

从表2可以看出,机条播较机器散播和人工撒播在播种均匀度上有明显的优势,播种密度越小其优势越明显,各处理间播种均匀度均表现为机条播>机器散播>人工撒播。方差分析表明:在低密度(50 g/盘)和中等播种密度(75 g/盘)下,3种播种方式间差异显著,而高密度(100 g/盘)下差异不显著。随播种密度的增加,机器散播和人工撒播条件下,播种均匀度随播种密度增加而增加,机条播的播种均匀度则随播种密度的增加先上升再降低,究其原因可能是机条播播种密度越大,其排种口堵塞的可能

性越大,从而导致播种均匀度下降。随条播行数的增加,不同条播规格的播种均匀度呈先上升再下降的趋势,以24行条播器的播种均匀度最佳,播种密度越小其优势越明显。在长粒型种子播种试验中,3个密度下播种均匀度以24行条播最高,其平均值分别较18行、20行、26行条播高8.13%、6.71%和7.17%,在较低的播种密度(50 g/盘)下,24行条播比18行、20行、26行条播分别高出12.35%、9.73%和11.28%;对圆粒型种子,3个密度下播种均匀度仍以24行条播最高,其平均值分别较18行、20行、26行条播高4.64%、2.78%和5.1%,在较低的播种密度(50 g/盘)下,24行条播比18行、20行、26行条

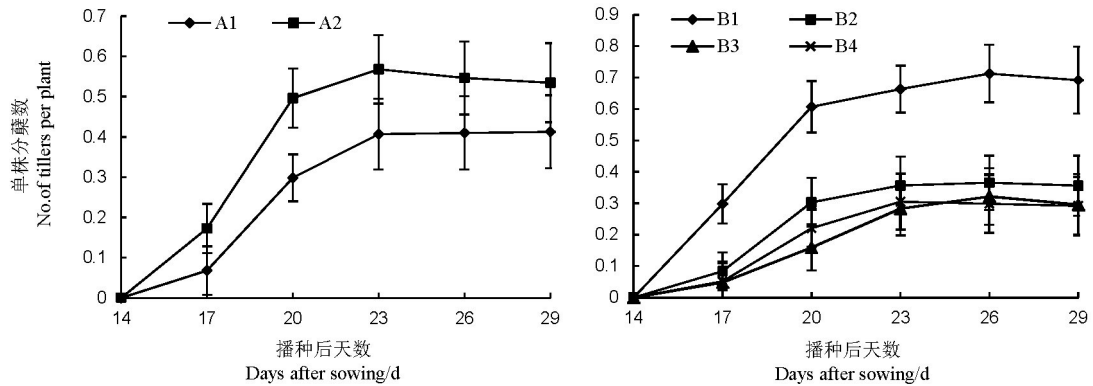
表2 不同播种方式的播种均匀度

Table 2. Seeding uniformity under different seeding methods.

粒型与播种密度 Seed shape and seeding density / (g · plate ⁻¹)	机条播 A ₂					机散播 A ₁	人工撒播 A ₃
	18行	20行	24行	26行	平均		
	18 lines	20 lines	24 lines	26 lines	Average		
长粒型(长/宽>2.7) Long-grain type (Length/Width>2.7)							
50	85.98 bB	88.04 bB	96.60 aA	86.81 bB	89.36 aA	77.07 bB	72.27 cB
75	88.07 bB	89.81 bAB	94.17 aA	87.95 bB	90.00 aA	84.14 bB	78.88 cB
100	86.35 bA	86.04 bA	90.81 aA	88.00 abA	87.80 aA	87.52 aA	87.29 aA
平均 Average	86.80 bB	87.96 bB	93.86 aA	87.58 bB	89.05 aA	82.91 bAB	79.48 cB
圆粒型(长/宽<2.2) Round-grain type (Length/Width<2.2)							
50	87.17 bcB	90.51 bAB	94.55 aA	85.51 cB	89.43 aA	79.58 bB	74.49 cB
75	94.28 aA	94.97 aA	96.27 aA	93.82 aA	94.83 aA	92.01 aA	83.27 bB
100	92.99 aA	93.84 aA	96.27 aA	93.82 aA	94.23 aA	93.27 aA	92.03 aA
平均 Average	91.48 bA	93.11 abA	95.69 aA	91.05 bA	92.83 aA	88.29 bAB	83.26 cB

不同大小写字母分别表示差异达1%和5%显著水平。下同。

Different capital and small letters mean significant difference at 1% and 5% levels, respectively. A₁, Mechanized broadcasting; A₂, Mechanized drilling seeding; A₃, Artificial broadcasting. The same as in tables below.



A1—机散播；A2—机条播；B1—播种量 40 g/盘；B2—50 g/盘；B3,60 g/盘；B4,70 g/盘。下同。

A1, Mechanized broadcasting; A2, Mechanized drilling seeding; B1, Seeding level of 40 g/plate; B2, 50 g/plate; B3, 60 g/plate; B4, 70 g/plate. The same as in tables and figures below.

图 2 不同播种方式和播种密度下苗期秧苗分蘖动态特征

Fig. 2. Dynamic characteristics of tiller number under different seeding methods and planting densities.

播高 8.46%、4.46%和 10.57%。

2.2 不同播种方式和播种密度对秧田期分蘖芽消长动态的影响

秧苗分蘖芽发生以播后 17 d 和 23 d 为临界点分为 3 个阶段。播种后 14 d 到 17 d,秧苗处于分蘖萌发阶段,分蘖芽开始陆续伸出,群体呈现分蘖缓慢增长状态;17 d 至 23 d,分蘖芽发生速率加快,是群体分蘖芽大量产生的阶段;23 d 后,分蘖芽的发生速率逐步降低,进而停止,甚至开始陆续死亡,群体分蘖呈现基本停滞甚至降低的状态。如图 2 所示,播种密度和播种方式对秧田分蘖芽的发生都有较大影响,秧苗单株分蘖芽数随播种密度的增加而减小,至移栽时 B1 平均分蘖芽数比 B2、B3 和 B4 分别高 91.7%、134.6%和 137%。条播处理下秧田平均分蘖芽数高于散播处理,移栽时,条播处理下秧田平均分蘖芽数比散播高 29.5%。

2.3 不同播种方式和播种密度对移栽时秧苗素质的影响

表 3 表明,播种方式对除根冠比外的秧苗素质各指标的影响均表现为条播 A2 优于散播 A1,其中播种方式对成苗率、百株苗干质量和地上部 N 积累量有显著影响。播种密度对除百株苗干质量和根冠比之外的秧苗素质各指标有极显著影响,其中秧苗充实度、成苗率、发根力、百株苗干质量、地上部 N 积累量以及分蘖芽发生率均有随播种密度增加而降低的趋势。两种播种方式下,盘结力均随播种密度的增加呈先增后降的趋势,表现为 B3 最大,B1 最

小,且差异显著,而 B2、B3、B4 之间差异不显著。这说明盘结力并不总是随播种密度增加而增大,而是播种密度、成苗率和个体根系发育等共同作用的结果。统计分析表明,播种方式与播种密度间互作对成苗率和发根力有显著影响。各播种密度处理间成苗率和发根力均以 B1 最高、B4 最小,但两种播种方式下,散播 A1 成苗率 B1 比 B4 高了 6.7%,而条播 A2 下成苗率 B1 比 B4 则高了 22.2%;散播 A1 发根力 B1 比 B4 高了 50.6%,条播 A2 成苗率 B1 比 B4 则高了 97.4%。这说明播种方式和播种密度间互作能进一步加大稀播秧苗在成苗率和发根力上的优势。

2.4 不同播种方式和播种密度对栽插质量和群体起点的影响

从表 4 可以看出,播种密度对漏插率、穴苗数和单株带蘖数有极显著影响。漏插率和单株带蘖数均随播种密度的增大而减小,表现为 $B1 > B2 > B3 > B4$,每穴苗数则随播种密度的增大而增加,表现为 $B4 > B3 > B2 > B1$,各处理之间差异均达到显著水平。播种方式对漏插率、每穴苗数、单株带蘖数和基本苗均无显著影响。群体起点即群体基本苗数,由实际栽插穴数、每穴苗数和单株带蘖数共同决定。试验中,实际栽插穴数、每穴苗数、单株带蘖数受播种密度影响规律并不一致,进而导致各处理间的基本苗数差异不显著。

从播种方式和播种密度的互作效应上看,播种方式和播种密度互作对每穴苗数、单株带蘖数和基

表3 播种方式和播种密度对秧苗素质的影响

Table 3. Effects of seeding methods and planting densities on seedling quality.

处理 Treatment	秧苗充实度 Dry weight per unit seedling height /(mg·cm ⁻¹)	成苗率 Rate of seedlings /%	盘结力 Root twisting degree /(kg·dm ⁻²)	发根力 Root- developing ability /cm	百株苗 干质量 Dry weight per 100 seedlings/g	百株根 干质量 Dry root weight per 100 plants/g	根冠比 Root- shoot rate	N 积累量 N accumulation /(mg·plant ⁻¹)	分蘖芽发生率 Percentage of tiller occurrence /%
A1B1	3.01 aA	68.67 a	1.86 b	84.13 aA	5.72 aA	0.809 a	0.14	2.41 aA	70.38 aA
A1B2	2.83 aA	68.42 a	2.05 ab	61.79 bB	5.65 aA	0.814 a	0.14	2.37 aA	36.38 bB
A1B3	2.55 aAB	64.46 b	2.27 a	56.32 cC	4.26 bAB	0.669 ab	0.16	1.76 bAB	26.44 bcBC
A1B4	2.13 bB	64.36 b	2.20 a	55.88 cC	3.93 bB	0.542 b	0.14	1.56 bB	18.12 cC
A2B1	3.55 a	74.67 aA	1.85 bB	87.48 aA	7.15 aA	0.975 a	0.14	3.65 aA	72.44 aA
A2B2	2.96 b	69.60 bAB	2.45 aA	69.15 bB	5.94 abAB	0.754 ab	0.13	2.87 bA	37.59 bB
A2B3	2.61 b	67.37 bB	2.75 aA	58.55 cC	5.17 bB	0.578 b	0.11	1.99 cB	37.59 bB
A2B4	2.97 ab	61.12 cC	2.40 aA	44.32 dD	5.39 bB	0.619 b	0.12	1.97 cB	29.29 bB
F 值 F value									
播种方式 Method(A)	4.37	29.82*	10.92	0.04	25.32*	0.10	5.42	25.68*	2.82
播种密度 Density(B)	6.77**	14.83**	8.34**	89.42**	6.90**	3.40	0.11	16.84**	30.92**
A×B	0.38	4.21*	1.34	6.38**	0.70	0.58	0.77	2.29	0.64

** 表示 1% 显著水平; * 表示 5% 显著水平。

** Significant difference at the 1% probability level; * Significant difference at the 5% probability level.

表4 播种方式和播种密度对栽插质量的影响

Table 4. Effects of seeding methods and planting densities on mechanical transplanting quantity.

处理 Treatment	漏插率 Rate of empty hills /%	每穴苗数 Seeding number per hill	单株带蘖数 Tiller number per plant	基本苗 Basic seedling number /(×10 ⁴ /hm ²)
A1B1	17.68 aA	1.37 bB	0.53 aA	35.25 a
A1B2	16.09 aAB	1.43 bAB	0.23 bB	29.69 b
A1B3	13.69 bB	1.57 aA	0.14 bcBC	32.21 ab
A1B4	5.54 cC	1.63 aA	0.06 cC	32.81 ab
A2B1	17.07 aA	1.40 cB	0.55 aA	36.04
A2B2	13.98 bAB	1.53 bAB	0.24 bB	33.15
A2B3	11.69 bBC	1.57 abAB	0.24 bB	34.03
A2B4	9.46 cC	1.70 aA	0.17 bB	36.23
F 值 F value				
播种方式 Method(A)	1.44	4.00	2.92	8.93
播种密度 Density(B)	49.53**	9.46**	33.58**	2.89
A×B	6.95**	0.83	0.64	0.32

本苗无显著影响,但对漏插率的影响达到极显著水平($F=6.35^{**}$)。两种播种方式下,漏插率均随播种密度的增大而降低,但处理间增幅差异较大,散播 A1 下漏插率最高的 B1 比最低的 B4 高了 218.6%,条播 A2 下漏插率最高的 B1 比最低的 B4 只增加了 79.1%。这表明条播和播种密度的互作能有效减轻稀播后由于种子苗减少对漏插率带来的负效应。

2.5 不同播种方式和播种密度对产量及产量构成的影响

从表 5 可以看出,机插秧产量随播种密度的增加呈先增加后减小的趋势。散播 A1 下实际产量以

B3 最高,为 9084.45 kg/hm²,B4 最低,为 8320.51 kg/hm²,条播 A2 下以 B2 产量最高(9081.18 kg/hm²),B1 最低(8405.79 kg/hm²)。各处理间产量的方差分析结果表明:除了最高产量和最低产量之间差异达到显著水平外,其余处理产量差异均不显著。播种方式间产量差异表现为条播优于散播,但方差分析显示差异不显著。从产量构成各因子来看,有效穗数随播种密度的增加而增加,每穗实粒数、结实率、千粒重、充实率和充实度总体上呈现随播种密度的增加而减小的趋势,但方差分析结果表明,播种方式、播种密度以及两种互作对产量构成所

表 5 不同播种方式和播种密度对机插秧产量及其构成因素的影响

Table 5. Effects of seeding methods and planting densities on grain yield and its components of mechanically-transplanted rice.

处理 Treatment	产量 Grain yield /(kg·hm ⁻²)	有效穗 Effective panicle number /(×10 ⁴ ·hm ²)	成穗率 Percentage of fertile tillers/%	每穗实粒数 Filled grain number	结实率 Seed-setting rate/%	千粒重 1000-grain weight/g	充实率 Filled grain percentage /%	充实度 Grain plumpness /%
A1B1	8546.53 ab	215.30	68.26	130.1	93.4	32.8	96.00	95.75
A1B2	8603.84 ab	217.94	62.44	136.4	90.9	32.3	97.32	96.64
A1B3	9084.45 a	247.38	68.48	128.6	93.1	32.5	96.43	96.62
A1B4	8320.51 b	256.62	67.53	118.2	91.4	32.7	96.25	94.90
A2B1	8405.79 b	207.33	64.99	134.2	92.1	32.6 a	97.12	97.30
A2B2	9081.18 a	227.60	64.84	125.9	92.0	32.1 ab	95.38	95.50
A2B3	9015.49 a	241.42	63.44	124.9	92.4	32.4 a	96.08	96.99
A2B4	8862.06 ab	245.83	63.58	120.8	90.6	31.7 b	94.83	95.36
F 值 F value								
播种方式 Method(A)	0.59	0.36	0.40	0.87	2.46	1.22	2.89	0.06
播种密度 Density(B)	2.71	2.02	0.39	1.08	1.37	1.20	0.79	1.37
A×B	1.30	0.12	0.65	0.37	0.49	2.15	0.83	0.59

表 6 不同播种方式和播种密度间经济效益分析

Table 6. Economic benefit of different seeding methods and planting densities.

处理 Treatment	育秧人工 Labor for seedling culture(No./hm ²)	用种量 Seeding rate /(kg·hm ⁻²)	种子成本 Seed cost /(Yuan·hm ⁻²)	农资及其他 Agricultural production materials and others /(Yuan·hm ⁻²)	投入成本 Input cost /(Yuan·hm ⁻²)	产量 Grain yield /(kg·hm ⁻²)	总收益 Total income /(Yuan·hm ⁻²)	产投比 Output/ input
A1B1	7.5	15.00	600	4687.5	5888	8546.53	17 093.06	2.903
A1B2	7.5	18.75	750	4687.5	6038	8603.84	17 207.68	2.850
A1B3	7.5	22.50	900	4687.5	6188	9084.45	18 168.90	2.936
A1B4	7.5	26.25	1050	4687.5	6338	8320.51	16 641.02	2.626
A2B1	7.5	15.00	600	4687.5	5888	8405.79	16 811.58	2.855
A2B2	7.5	18.75	750	4687.5	6038	9081.18	18 162.36	3.008
A2B3	7.5	22.50	900	4687.5	6188	9015.49	18 030.98	2.914
A2B4	7.5	26.25	1050	4687.5	6338	8862.06	17 724.12	2.796
平均值 Average								
A1	7.5	20.63	825	4687.5	6113	8638.83	17 277.66	2.826
A2	7.5	20.63	825	4687.5	6113	8841.16	17 682.32	2.893
B1	7.5	15.00	600	4687.5	5888	8476.17	16 952.34	2.879
B2	7.5	18.75	750	4687.5	6038	8842.51	17 685.02	2.929
B3	7.5	22.50	900	4687.5	6188	9049.98	18 099.96	2.925
B4	7.5	26.25	1050	4687.5	6338	8591.28	17 182.56	2.711

有因子的影响均未达到显著水平。

2.6 不同播种方式和播种密度间的经济效益分析

从表 6 可以看出,不同处理间其人工、农资等生产成本完全一致,其成本变化主要来源于用种量之间的差异。不同播种方式间其成本并没有差异,产投比和产量规律一致,A2 比 A1 产投比高 2.3%。本研究中,用种量随播种密度的增加而增加,播种密度每增加一个梯度用种量增加 3.75 kg/hm²,折合

种子成本 150 元,总投入增加 2.5 个百分点。虽然总收益以 B3 最高,B2 次之,B1 最低,但其产投比则表现为 B2>B3>B1>B4,B2 分别比 B3、B1 和 B4 增加了 0.13%、1.73%和 8.04%。这说明本研究中,最高产量的 B3 处理和最高产投比的 B2 处理相比,B3 处理用提高播种量带来的增收效应并不能弥补用种量增加产生的成本开销,因而产投比较 B2 低。所有处理的产投比以 A2B2(条播 50 g/盘处理)最

高,达到 3.008,比各处理中最低的 A1B4(散播 70 g/盘处理)高 14.56%。

3 讨论

3.1 条播的优势分析

条播由于其本身的平面几何特性,具有播种均匀度高的优势,播种密度越小其优势越明显。本研究通过自主开发优选与全自动播种流水线配套的条播器,发现播种均匀度与播种密度和机条播的行数均呈开口向下的抛物线关系。各种规格条播中,24行条播规格与现行插秧机秧爪取秧宽度吻合较好,其播种均匀度最高,播种质量最好。从播种密度与均匀度的二次线性关系可以看出,单纯依靠增加播量来提高播种均匀度的办法并不是最佳选择。杂交水稻机插秧可以借助条播实现低播量、高质量,做到播种精、匀、稀。条播将育秧盘在空间上分为行距相等的若干行,秧田期群体空间布局较好,温光水肥的利用较为合理。本研究结果表明,条播处理苗期秧苗素质较散播有优势,更易形成壮秧,条播可以将漏插率随播种密度减小而增加的增幅控制在较低的水平范围内。徐一成等^[15]认为,与撒播相比,条播种子分布均匀,秧苗素质高,成毯效果更佳,条播育秧能降低机插秧的漏插率,种子稀播后条播是降低漏插率的有效方法,这与本研究的结果趋于一致。

3.2 播种密度对杂交稻苗期生长与栽插质量的影响

本研究结果表明,机插秧苗期分蘖大多以分蘖芽的形式存在,播后 17 到 23 d 是秧苗分蘖发生最旺盛的时期,之后分蘖芽呈现停滞或消亡的趋势。稀播有利于秧田分蘖芽的发生。本研究结果与前人的结果^[16-18]不同,分析其主要原因有两点:机插秧播种密度过高,抑制了秧田分蘖的发生;姚雄等^[11]以杂交水稻为材料,但是研究对象为长秧龄机插,秧龄过长,移栽时分蘖基本消亡。本研究表明,随播种密度的增加,杂交水稻机插秧秧苗成苗率、地上部干质量、根干质量、地上部 N 积累量、秧田分蘖发生率、平均分蘖发生数、根冠比、秧苗充实度以及发根力都呈降低的趋势。这与沈建辉等^[19]、张卫星等^[20]、李泽华等^[21]的研究结果基本一致。本研究中,盘结力随播种密度的增加呈先增大后减小的趋势,这与于林惠^[22]等研究结果不完全一致,这是因为稀播条件下,秧苗个体生长优势明显,只有当群体密度优势对根系盘结力的贡献高于其较高密度引发

的个体发育劣势的时候,其群体盘结力呈增加趋势,反之亦然。姚雄等^[11]、马均等^[23]研究结果表明,漏插率随播种密度的增大而增加。沈建辉等^[19]认为,稀播秧苗的机插缺穴率较高。本研究结果表明,随播种密度增加,漏插率降低,穴苗数增加。群体基本苗随播种密度增加先减小再增加,分析原因发现,40 g/盘处理在单株带蘖数上优势较大,一定程度上弥补了漏插率较高的劣势。随着播种密度的上升,分蘖发生受到抑制,分蘖芽对群体基本苗的贡献小于漏插率带来的负效应,群体基本苗即处于上升状态。

3.4 杂交稻机插秧节本增效的适宜栽培方式

宋云生等^[24]研究表明,高播量处理秧苗素质较差,低播量处理秧苗难以配套插秧机移栽,机插常规粳稻适宜播量为 45~60 g/盘。这与本研究结果基本一致。本研究中,稀播的优势在于个体,播种密度越小,秧苗素质优势越明显。条播的主要优势体现在整体,播种均匀度高,而且可以通过两者间的互作效应控制漏插率,提高栽插质量,弥补稀播的整体劣势,优势互补。实际生产中,产出往往要与投入接轨,最适的播量选择应该是只有当其带来的收益增幅大于用种量增加而导致成本涨幅的时候才能获得最高经济效益。本研究条件下,*F* 值检验表明,播种密度对产量影响不显著,各处理产量差异是相对的,而由于种子成本增加带来的成本增加是绝对的,因此本研究将产投比作为衡量杂交稻机插秧节本增效的一个最重要的指标。本研究经过对各处理的投入产出分析得出,杂交水稻机插秧在播量 50 g/盘,采用条播育秧方式,产量和经济高效得到较好的协调,效益最高。

参考文献:

- [1] 牛盾. 我国农业机械化的新形势和水稻生产机械化问题. 农业工程学报, 2000, 16(4): 7-10.
Niu D. New situation of agricultural mechanization and the development of paddy production mechanization in China. *Trans CSAE*, 2000, 16(4): 7-10. (in Chinese with English abstract)
- [2] 宋建农, 庄乃生, 王立臣, 刘小伟, 魏文军. 21 世纪我国水稻种植机械化发展方向. 中国农业大学学报, 2000, 5(2): 30-33.
Song J N, Zhuang N S, Wang L C, Liu X W, Wei W J. The development tendency of Chinese rice planting mechanization in the 21st Century. *J China Agric Univ*, 2000, 5(2): 30-33.
- [3] 陈惠哲, 向镜, 徐一成, 林贤青, 张玉屏, 朱德峰. 水稻免耕机插质量、生长特性及产量的形成. 中国水稻科学, 2013, 27(6): 610-616.
Chen H Z, Xiang J, Xu Y C, Lin X Q, Zhang Y P, Zhu D F.

- Effect of no-tillage on the quality of mechanical transplanting, growth and grain yield of rice. *Chin J Rice Sci*, 2013, 27(6): 610-616.(in Chinese with English abstract)
- [4] 臧英, 罗锡文, 周志艳. 南方水稻种植和收获机械化的发展策略. 农业机械学报, 2008, 39(1): 60-63.
Zang Y, Luo X W, Zhou Z Y. Development strategy on rice planting and harvesting mechanization in south China. *Transac CSAM*, 2008, 39(1): 60-63.(in Chinese with English abstract)
- [5] 吴崇友, 金诚谦, 卢晏, 涂安富. 我国水稻种植机械发展问题探讨. 农业工程学报, 2000, 16(2): 21-23.
Wu C Y, Jin C Q, L Y, Tu A F. Discussion of developing rice planting machine in China. *Trans CSAE*, 2000, 16(2): 21-23.(in Chinese with English abstract)
- [6] 罗汉亚, 李吉, 袁钊和, 何瑞银, 马拯胞, 张璐. 杂交水稻机插秧育秧播种密度与取样面积耦合关系. 农业工程学报, 2009, 25(7): 98-102.
Luo H Y, Li J, Yuan Z H, He R Y, Ma Z B, Zhang L. Coupling relationships of nursing seedling densities and finger sticking area by mechanized hybrid rice transplanter. *Transac CSAE*, 2009, 25(7): 98-102.(in Chinese with English abstract)
- [7] 何文洪, 陈惠哲, 朱德峰, 徐一成, 林贤青, 张玉屏. 不同播种量对水稻机插秧苗素质及产量的影响. 中国稻米, 2008(3): 60-62.
He W H, Chen H Z, Zhu D F, Xu Y C, Lin X Q, Zhang Y P. Effects of different sowing densities on seedling quality and yield of rice of mechanical transplanting. *China Rice*, 2008(3): 60-62.(in Chinese with English abstract)
- [8] Hiroyuki S, Hisashi K, Kensuke O, Kazuyasu N, Mitsunori S, Akio O, Morio M, Satoko Y. Development of rice "seed-mats" consisting of hardened seeds with a cover of soil for the rice transplanter. *Plant Prod Sci*, 2008, 11(1): 108-115
- [9] 李耀明, 徐立章, 向忠平, 邓玲黎. 日本水稻种植机械化技术的最新研究进展. 农业工程学报, 2005, 21(11): 182-185.
Li Y M, Xu L Z, Xiang Z P, Deng L L. Research advances of rice planting mechanization in Japan. *Trans CSAE*, 2005, 21(11): 182-185.(in Chinese with English abstract)
- [10] 金庆明. 突破水稻机插瓶颈的难点及对策. 中国农机化, 2009(4): 28-30.
Jin Q M. Difficulties in the breakthrough of the bottlenecks for rice transplanting by machine and their resolving strategies. *China Agric Mechan*, 2009(4): 28-30.(in Chinese)
- [11] 姚雄, 杨文钰, 任万军. 育秧方式和播种量对水稻机插长秧龄秧苗的影响. 农业工程学报, 2009, 25(6): 152-157.
Yao X, Yang W Y, Ren W J. Effects seedling raising methods and sowing rates on machine-transplanted long-age rice seedling. *Transac CSAE*, 2009, 25(6): 152-157.(in Chinese with English abstract)
- [12] 彭长青, 李世峰, 卞新民, 吴九林, 周宇, 刘蓉蓉. 机插水稻高产栽培关键技术的适宜值. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1619-1623.
Peng C Q, Li S F, Bian X M, Wu J L, Zhou Y, Liu R R. Appropriate parameters for high-yielding cultivation of machine-transplanted rice. *Chin J Appl Ecol*, 2006, 17(9): 1619-1623.(in Chinese with English abstract)
- [13] 李世峰, 刘蓉蓉, 吴九林. 不同播量与移栽密度对机插水稻产量形成的影响. 作物杂志, 2008, 17: 71-74.
Li S F, Liu R R, Wu J L. Effects of different sowing rates and transplanting densities on yield formation of machine-transplanted rice. *Crops*, 2008, 17: 71-74.(in Chinese)
- [14] 艾治勇, 马国辉, 青先国. 超级杂交稻生理生态特征及高产稳产栽培调控的研究进展. 中国水稻科学, 2011, 25(5): 553-560.
Ai Z Y, Ma G H, Qin X G. Physiological and ecological characteristics and cultivation regulation for high and stable yield of super hybrid rice. *Chin J Rice Sci*, 2011, 25(5): 553-560.(in Chinese with English abstract)
- [15] 徐一成, 朱德峰, 赵匀, 陈惠哲. 超级稻精量条播与撒播育秧对秧苗素质及机插效果的影响. 农业工程学报, 2009, 25(1): 99-103.
Xu Y C, Zhu D F, Zhao Y, Chen H Z. Effects of broadcast sowing and precision drilling of super rice seed on seedling quality and effectiveness of mechanized transplanting. *Trans CSAE*, 2009, 25(1): 99-103.(in Chinese with English abstract)
- [16] 沈建辉, 邵文娟, 张祖建, 景启坚, 杨建昌, 陈文林, 朱庆森. 苗床落谷密度、施肥量和秧龄对机插秧苗质及大田产量的影响. 作物学报, 2006, 32(3): 402-409.
Shen J H, Shao W J, Zhang Z J, Jin Q J, Yang J C, Chen W L, Zhu Q S. Effects of sowing density, fertilizer amount in seedbed and seedling age on seedling quality and grain yield in paddy field for mechanical transplanting rice. *Acta Agron Sin*, 2006, 32(3): 402-409.(in Chinese with English abstract)
- [17] 李刚华, 于林惠, 侯朋福, 王绍华, 刘正辉, 王强盛, 凌启鸿, 丁艳锋. 机插水稻适宜基本苗定量参数的获取与验证. 农业工程学报, 2012, 28(8): 98-104.
Li G H, Yu L H, Hou P F, Wang S H, Liu Z H, Wang Q S, Ling Q H, Ding Y F. Calculation and verification of quantitative parameters of optimal planting density of machine-transplanted rice. *Trans CSAE*, 2012, 28(8): 98-104.(in Chinese with English abstract)
- [18] 李杰, 张洪程, 龚金龙, 常勇, 吴桂成, 郭振华, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕. 稻麦两熟地不同栽培方式超级稻分蘖特性及其与群体生产力的关系. 作物学报, 2011, 37(2): 309-320.
Li J, Zhang H C, Gong J L, Chang Y, Wu G C, Guo Z H, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Wei H Y. Tillering characteristics and its relationships with population productivity of super rice under different cultivation methods in rice-wheat cropping areas. *Acta Agron Sin*, 2011, 37(2): 309-320.(in Chinese with English abstract)
- [19] 沈建辉, 邵文娟, 张祖建, 杨建昌, 曹卫星, 朱庆森. 水稻机插中苗双膜育秧落谷密度对苗质和产量影响的研究. 作物学报, 2004, 30(9): 906-911.
Shen J H, Shao W J, Zhang Z J, Yang J C, Cao W X, Zhu Q S. Effects of sowing density on quality of medium-seedling nursed with two-layer plastic film and grain yield in mechanical transplanting rice. *Acta Agron Sin*, 2004, 30(9): 906-911.(in Chinese with English abstract)
- [20] 张卫星, 朱德峰, 林贤青, 徐一成, 林兴军, 陈惠哲, 张玉屏. 不同播量及育秧基质对机插水稻秧苗素质的影响. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2007, 28(1): 45-48.

- Zhang W X, Zhu D F, Lin X Q, Xu Y C, Lin X J, Chen H Z, Zhang Y P. The effects of different sowing densities and raising materials on seedling quality of mechanical transplanting rice. *J Yangzhou Univ: Agric Life Sci Ed.* 2007, 28(1): 45-48. (in Chinese with English abstract)
- [21] 李泽华, 马旭, 谢俊峰, 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. *农业工程学报*, 2014, 30(6): 17-27.
- Li Z H, Ma X, Xie J F, Chen G R, Zheng Z X, Tan Y X, Hang Y Q. Experiment on precision seedling raising and mechanized transplanting of hybrid rice under low sowing rate in double cropping area. *Trans CSAE*, 2014, 30(6): 17-27. (in Chinese with English abstract)
- [22] 于林惠, 丁艳锋, 薛艳风, 凌启鸿, 袁钊和. 水稻机插秧田间育秧秧苗素质影响因素研究. *农业工程学报*, 2006, 22(3): 73-78.
- Yu L H, Ding Y F, Xue Y F, Ling Q H, Yuan Z H. Factors effecting rice seedling quality of mechanical transplanting rice. *Trans CSAE*, 2006, 22(3): 73-78. (in Chinese with English abstract)
- [23] 马均, 孙永健, 苟永成, 李学根, 罗甫全. 杂交稻钵形毯状育秧机插不同播种密度与秧龄研究. *中国稻米*, 2011, 17(3): 11-14.
- Ma J, Sun Y J, Gou Y C, Li X G, Luo P Q. Study on sowing density and seedling age of hybrid rice in machinery bowl-shaped blanket seedling. *China Rice*, 2011, 17(3): 11-14. (in Chinese)
- [24] 宋云生, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 朱聪聪, 孙圳, 杨大柳, 王惟清, 刘俊, 吴爱国. 水稻钵苗机插秧苗素质的调控. *农业工程学报*, 2013, 29(22): 11-22.
- Song Y S, Zhang H C, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Wei H Y, Zhu C C, Sun Z, Yang D L, Wang W Q, Lui J, Wu A G. Seedling quality regulation of rice potted-seedling in mechanical transplanting. *Trans CSAE*, 2013, 29(22): 11-22. (in Chinese with English abstract)

稻作区土壤培肥与丰产增效耕作技术 项目简介

按照“藏粮于地”和“藏粮于技”的国家粮食安全战略新要求,2016年科技部启动了“粮食丰产增效科技创新”重点专项,中国农业科学院作物科学研究所牵头负责“稻作区土壤培肥与丰产增效耕作技术”项目(2016YFD0300900)。项目由该院作物耕作与生态创新团队首席科学家张卫建研究员负责,汇聚了我国从事稻田土壤肥料、耕作栽培、农业机械和农业经济等研究的主要优势团队共39家单位。项目将针对高强度集约化耕种下,稻田系统日益凸显的土壤养分失衡、耕层质量退化、环境影响加剧等生产共性问题,开展土壤培肥和耕作等关键技术及产品研发,创建丰产增效与环境友好稻田耕作的新模式,为我国水稻主产区稻作模式创新提供理论与技术支撑。

项目将重点研究高产稻田土壤肥力的时空变化及其与生产力的关系、肥力变化的驱动力与机制,以期在稻作理论上取得新进展;比较不同培肥和耕作措施对作物产量、资源利用效率和环境质量的综合影响及机制,研发并分析快速培肥的替代品对土壤肥力的调节效果与机制,建立全耕层培肥和环境友好耕作技术,实现稻作技术的新突破;分析影响稻田系统大面积丰产增效的土壤肥力关键因子,开展技术与产品筛选及农机配套,创建适于我国主要稻田系统(复合种养、双季稻、再生稻、水旱轮作、北方一熟等稻田系统)土壤培肥和丰产增效耕作的集成模式,并通过示范验证形成相应的技术标准和规程。项目共设1套共性理论、3项关键技术和5套耕作模式共9个课题任务,其中任务1为高产稻田肥力变化与培肥及耕作途径;任务2为稻田全耕层培肥与质量保育关键技术;任务3为稻田丰产增效与环境友好耕作关键技术;任务4为稻田培肥替代品研制及施用关键技术,任务5至9为五个主要稻田系统的土壤培肥与丰产增效耕作集成模式与示范验证。通过跨学科多部门的联合,项目将建立稻田肥力可持续培育的技术调控途径和管理技术模式,阐明稻田高产高效协同障碍的突破途径,研制全耕层培肥、周年轮耕、快速培肥替代品及其高效施用等关键技术以及秸秆腐熟剂、炭基肥料、关键机具等新产品,发表一批高水平学术论文,并开展较大面积的稻作新模式示范验证。

项目在稻田土壤培育、丰产增效耕作理论与关键技术及区域模式创新的同时,还开展高素质人才培养,建立稻田耕作协同创新平台和人才培养网络,促进我国稻田系统生产力和稻作科技研发水平的双提升。本项目的实施不仅有利于我国稻田土壤基础肥力的保持与提升,确保“口粮绝对安全”;而且利于水稻生产节本减排,对我国水稻产业可持续发展和稻作区生态环境改善意义重大。