

杂交籼稻侧深施肥减氮增效模式研究

张显兵¹, 唐建鹏², 秦吉洋^{1*}, 翟付凤¹, 潘燕¹, 陈京都²

(1. 仪征市农业技术综合服务中心, 江苏仪征 211400; 2. 扬州市农业技术综合服务中心, 江苏扬州 225000)

摘要 为探究适宜仪征丘陵山区杂交籼稻侧深施肥机插密度和减氮增效模式, 设置株距 16 和 18 cm 2 个处理, 以常规撒肥为对照, 减氮 10%, 分别侧深施缓控释肥和普通肥, 同时减少施肥次数, 考察不同栽插密度与施肥模式对杂交籼稻 Y 两优 17 产量及经济效益的影响。结果表明, 在减氮 10% 的情况下, 侧深施肥和缓控释肥搭配使用, 促进水稻前期生长, 增加分蘖和有效穗, 后期每穗粒数也有进一步提高, 单产明显提升。在相同施肥模式下, 株距 18 cm 的处理单产和净收益均高于株距 16 cm 的处理。在减氮 10% 条件下机插秧侧深施缓控释肥+孕穗肥模式可取得较好的产量与经济效益, 可节省 50% 的施肥人工成本, 提高单产 6% 以上, 增加净收益 40% 以上。侧深施缓控释肥, 可减少施肥量和使用频率, 缓解劳动力紧张, 省时省力, 具有较高的推广应用价值, 对水稻规模化生产具有重要意义。

关键词 杂交籼稻; 侧深施肥; 密度; 产量; 减氮增效

中图分类号 S511.2⁺1 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2023)09-0141-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.09.035

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Study on the Mode of Nitrogen Reduction and Efficiency Enhancement of Hybrid Indica Rice with Deep Lateral Fertilization

ZHANG Xian-bing¹, TANG Jian-peng², QIN Ji-yang¹ et al (1. Yizheng Agricultural Technology Comprehensive Service Center, Yizheng, Jiangsu 211400; 2. Yangzhou Agricultural Technology Comprehensive Service Center, Yangzhou, Jiangsu 225000)

Abstract In order to explore the suitable machine planting density and nitrogen reduction and efficiency enhancement mode of deep lateral fertilization of hybrid indica rice in Yizheng hilly and mountainous areas, two treatments with a plant spacing of 16 and 18 cm were set. Conventional fertilization was used as the control, nitrogen was reduced by 10%, and slow and controlled-release fertilizer and ordinary fertilizer in deep side respectively were applied. The effects of different planting densities and fertilization patterns on the yield and economic benefit of the hybrid indica rice Y Liangyou 17 were investigated. The test results showed that under the condition of reducing nitrogen by 10%, the combination of deep lateral fertilization and slow and controlled release fertilizer could promote the growth of rice in the early stage, increase tillering and effective panicle, and further increase the number of grains per panicle in the later stage, and the unit yield was significantly improved. Under the same fertilization mode, yield and net income of the treatment with a plant spacing of 18 cm were higher than those of the treatment with a plant spacing of 16 cm. Under the condition of reducing nitrogen by 10%, the deep application of slow and controlled-release fertilizer plus booting fertilizer on the side of machine-transplanted rice seedlings could achieve better yield and economy. It could save 50% of fertilization labor costs, increase yield by more than 6%, and increase net income by more than 40%. Side-deep fertilization with slow and controlled release fertilizer could reduce the amount of fertilizer and the frequency of use, ease labor tension, save time and labor, and had high promotion and application value, which was of great significance to large-scale rice production.

Key words Hybrid indica rice; Deep side fertilization; Density; Yield; Nitrogen reduction and efficiency enhancement

水稻是我国种植面积较广的粮食作物之一, 其产量占全国粮食总量的 40%, 对粮食安全具有重要意义。水稻侧深施肥技术属于机械化处理方案, 其能在种植过程中利用插秧机械工作特征, 使基肥可以同步施放并精确定位于水稻根侧 3~5 cm 的位置, 有利于保障肥料功能挥发, 实现提高吸收效率、增强营养补充针对性的目标^[1]。缓控释肥料由于其能提高肥料利用率、减轻农业氮素污染以及减少施肥次数等潜在优点, 已成为未来肥料发展的重要趋势^[2-3]。研究表明, 控释肥能够缓慢释放养分, 满足水稻各阶段的养分需求, 实现水稻养分的供需平衡, 促进根系生长和延缓叶片的衰老^[4-5]。笔者以常规施肥模式为对照, 开展不同机插密度与侧深施肥不同施肥模式对当地主推品种 Y 两优 17 产量及经济效益的影响, 旨在为仪征丘陵山区推广侧深施缓控释肥提供理论依据与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在江苏省仪征市月塘镇捺山村冬营

基金项目 2021 年扬州市级现代农业发展专项“稻麦新品种展示与新产品新技术试验示范”; 2021 年扬州市重点研发项目(YZ2021035)。

作者简介 张显兵(1992—), 男, 江苏仪征人, 助理农艺师, 从事农作物栽培技术的研究与推广。* 通信作者, 高级农艺师, 硕士, 从事农作物栽培技术的研究与推广。

收稿日期 2022-05-17; **修回日期** 2022-08-11

组进行, 前茬作物为小麦, 土壤肥力均匀, 排灌方便, 交通便利, 土壤为黄白土, 地形为丘陵山区。

1.2 试验材料 供试水稻品种为当地主推品种 Y 两优 17, 籼型两系杂交水稻品种, 在长江中下游作一季中稻种植; 供试肥料为水基聚合物包膜缓控释肥(N-P-K: 33-5-12)、普通复合肥(15-15-15)、尿素。

1.3 试验方法 试验共设 10 个处理, 每个处理面积为 1 000 m², 机插行距均为 30 cm, 株距分为常规栽插的 18 和 16 cm 2 种。

5 月 28 日对照(S₁、T₁)人工施基肥, 5 月 31 日机插秧, 处理 S₂、S₃、S₄、S₅、T₂、T₃、T₄、T₅ 同步侧深施肥, 6 月 7 日处理 S₁、S₂、S₄、T₁、T₂、T₄ 人工施分蘖肥, 7 月 30 日处理 S₁、S₂、S₃、T₁、T₂、T₃ 人工施孕穗肥(表 1)。

1.4 测定项目与方法 水稻移栽后, 在小区内选取连续 10 穴作为一个固定点观察, 每 7 d 田间调查茎蘖动态, 直至抽穗。成熟期每小区连续取植株样 10 穴测量株高、节间长、倒 3 叶长, 数节间数, 3 次重复, 普查 50 穴, 3 次重复, 计算有效穗数, 并根据平均成穗数取 3 穴调查每穗粒数、结实率, 测定千粒重, 进行实收测产。

1.5 数据分析 采用 Microsoft Excel 2013 软件进行数据常规处理。

表 1 试验设计
Table 1 Test design

处理 Treat- ment	施肥模式 Fertilization mode	栽插株距 Plant spacing cm	基肥 Base fertilizer kg/hm ²		分蘖肥 Tiller fertilizer kg/hm ²	孕穗肥 Ear fertilizer//kg/hm ²		纯氮量 Pure N amount kg/hm ²
			复合肥 Compound fertilizer (N-P-K: 15-15-15)	缓控释肥 Slow and controlled release fertilizer (N-P-K: 33-5-12)	尿素 Urea	复合肥 Compound fertilizer (15-15-15)	尿素 Urea	
S ₁	人工施普通肥(CK)	16	525	—	187.5	187.5	75.0	228
T ₁	人工施普通肥(CK)	18	525	—	187.5	187.5	75.0	228
S ₂	普通肥侧深施	16	525	—	172.5	75.0	75.0	204
T ₂	普通肥侧深施	18	525	—	172.5	75.0	75.0	204
S ₃	侧深施缓控释肥+孕穗肥	16	—	525	—	45.0	52.5	204
T ₃	侧深施缓控释肥+孕穗肥	18	—	525	—	45.0	52.5	204
S ₄	侧深施缓控释肥+分蘖肥	16	—	525	67.5	—	—	204
T ₄	侧深施缓控释肥+分蘖肥	18	—	525	67.5	—	—	204
S ₅	一次性侧深施缓控释肥	16	—	600	—	—	—	224
T ₅	一次性侧深施缓控释肥	18	—	600	—	—	—	224

2 结果与分析

2.1 不同处理对水稻茎蘖动态的影响 由表 2 可知,基本苗定点定量,株距 16 cm 处理的基本苗数为 52.5 万/hm²,株距 18 cm 处理的基本苗数为 46.5 万/hm²。从各时期茎蘖动态看,在同一施肥处理下,16 cm 株距的茎蘖数和穗数大于 18 cm 株距处理,增幅在 4%~10%,但缓控释肥一次性基施最终的有效穗数表现为 18 cm 大于 16 cm,这可能与 16 cm 株距下分蘖消耗过多肥力,导致后期供肥不足,有效穗数变少。同一株距处理下,高峰苗均是在侧深施缓控释肥+分蘖肥的施肥模式(S₄、T₄)下最高,而最终有效穗数则不同,16 cm 株距下,侧深施缓控释肥+孕穗肥(S₃)下最多,高于人

工施普通肥 16.8%,增幅明显;而在 18 cm 株距下,普通肥侧深施(T₂)和一次性侧深施缓控释肥(T₅)有效穗数相对较高,比人工施普通肥高 12.6%。同时发现人工施普通肥,虽然施肥次数多,施肥量高,前期生长较慢,分蘖较少,最终有效穗数偏低,表明人工施普通肥肥料利用率较低,但后期成穗率有一定优势,保证了肥料持续供应。不同株距下均表现出侧深施缓控释肥+分蘖肥(S₄、T₄)和一次性侧深施缓控释肥(S₅、T₅)模式适宜水稻前期生长,分蘖较多,但最终成穗率以侧深施缓控释肥+孕穗肥模式相对较高,具有氮高效效应,前后兼顾,具有一定的优势。

表 2 不同处理水稻茎蘖动态
Table 2 Dynamics of rice stems and tillers under different treatments

处理 Treatment	基本苗(06-02) Basic seedlings 万/hm ²	分蘖期(06-16) Tillering stage 万/hm ²	高峰苗(07-05) Peak seedlings 万/hm ²	有效穗数 Spike number 万/hm ²	成穗率 Ear formation rate//%
S ₁ (CK)	52.5	81.0	367.5	214.5	58.4
S ₂	52.5	118.5	429.0	246.0	57.3
S ₃	52.5	124.5	427.5	250.5	58.6
S ₄	52.5	142.5	445.5	234.0	52.5
S ₅	52.5	145.5	429.0	219.0	51.0
T ₁ (CK)	46.5	63.0	300.0	206.5	68.8
T ₂	46.5	106.5	391.5	232.5	59.4
T ₃	46.5	109.5	346.5	226.5	65.4
T ₄	46.5	129.0	409.5	222.0	54.2
T ₅	46.5	133.5	408.0	232.5	57.0

2.2 不同处理对水稻农艺性状的影响 由表 3 可知,不同株距下,18 cm 株距的株高稍高于 16 cm 株距处理,侧深施肥方式的株高均大于人工施肥,同一株距下,除人工施肥外,株

高表现为随施肥次数的减少而降低,侧深施 3 次施肥(S₂、T₂)>侧深施 2 次施肥(S₃、S₄、T₃、T₄)>一次性侧深施肥(S₅、T₅)。在节间数上,各处理间无明显差异和规律,表明施肥模

式对节间数的影响不大。不同处理对节间长的影响不同,16 cm 株距下施缓释肥的第一、二节间长占比小于施普通肥,侧深施肥的第一节间长短于人工施普通肥,而第二节间长侧深施普通肥为 8.1 cm,明显高于其他处理;18 cm 株距处理下施缓控释肥的节间长高于施普通肥,而人工施普通肥也高于侧深施普通肥。2 个株距处理下,表现出不同规律。在功能叶长度上,侧深施缓控释肥一基一追施肥模式具有较大优

势,三张功能叶均大于其他处理,而且一基一穗施肥模式总体高于一基一蘖施肥模式。倒一叶长和倒二叶长人工施普通肥长于侧深施普通肥,可能与施氮量有关。一次性施肥表现最差,尤其是倒一叶明显短于其他处理,表明其后期供肥不足。综上所述,2 种侧深施缓释肥模式在功能叶生长上具有一定优势,在节间和株高上表现不一,表明对水稻抗倒性没有明显影响。

表 3 不同处理的水稻农艺性状
Table 3 Agronomic traits of rice with different treatments

处理 Treatment	株高 Plant height cm	节间数 Number of internodes	第一节间长 The first interval length cm	第二节间长 The second interval length cm	第一、第二 节间长占比 Proportions %	倒一叶长 Last leaf length cm	倒二叶长 Penultimate leaf length cm	倒三叶长 The third- to-last leaf length cm	最小差值 Minimal difference cm
S ₁ (CK)	118.6	5.3	3.9	5.9	8.3	36.6	39.3	43.3	2.7
S ₂	123.5	5.3	2.6	8.1	8.7	32.6	37.1	46.0	4.5
S ₃	122.3	5.2	2.4	6.1	6.9	42.0	44.1	52.8	2.1
S ₄	120.0	5.5	2.4	5.6	6.7	39.2	45.6	51.8	6.2
S ₅	119.5	5.3	2.2	5.1	6.1	30.1	36.6	46.7	6.5
T ₁ (CK)	120.9	5.5	2.1	6.0	6.6	39.1	39.1	44.0	0.0
T ₂	123.7	5.8	1.8	4.6	5.2	33.2	38.6	49.7	5.4
T ₃	122.4	5.2	2.8	6.3	7.4	41.3	46.0	56.5	4.7
T ₄	122.1	5.4	2.5	7.4	8.0	39.1	45.9	55.3	6.8
T ₅	121.7	5.3	2.8	7.7	8.5	31.1	38.9	45.6	7.8

2.3 不同处理对水稻产量及其构成因素的影响 从表 4 可以看出,在减氮 10%的情况下,不同株距下均是侧深施缓释肥一基一穗施肥模式产量最高,且明显高于其他处理,尤其是 T₃ 处理,产量达 11 231.1 kg/hm²。在同一施肥模式下株距 18 cm 的处理单产均高于株距 16 cm 的单产(除 S₅、T₅ 外),说明 18 cm 是适宜的机插株距。分析其产量构成因素发现,同一施肥模式下 18 cm 株距的每穗粒数大于 16 cm 株距(S₂、T₂ 除外),同一株距不同施肥模式下 16 cm 株距以人工施普通肥的每穗粒数最大,达 211.5 粒,其次是侧深施缓

释肥+孕穗肥模式,而 18 cm 株距下则是侧深施缓释肥+孕穗肥模式每穗粒数最高,为 231.2 粒,其次是人工施普通肥和侧深施缓释肥+分蘖肥模式,2 种株距下均是侧深施普通肥的每穗粒数最低。结实率则为 18 cm 株距处理的相对较高,16 cm 株距下以一次性侧深施缓释肥(S₅)的结实率最高,超过 90%,其次是 S₁ 和 S₂,即人工施普通肥和侧深施普通肥。18 cm 株距下 T₁、T₂ 和 T₃ 的结实率均超过 90%,侧深施缓释肥+孕穗肥模式最高,达 92.0%,而侧深施缓释肥+分蘖肥最低。

表 4 不同处理对水稻产量构成因素的影响
Table 4 Effects of different treatments on the components of rice yield

处理 Treatment	有效穗数 Spike number 万/hm ²	每穗粒数 Grain number per spike//粒	结实率 Seed setting rate//%	千粒重 1 000-grain weight//g	实收单产 Actual yield kg/hm ²	比对照增减(±) Compared with control//%	产量排序 Yield sorting
S ₁ (CK)	214.5	211.5	88.4	24.8	9 349.1	—	6
S ₂	246.0	172.0	84.4	24.8	8 325.0	-11.0	10
S ₃	250.5	207.6	82.0	24.8	9 941.0	6.3	2
S ₄	234.0	195.2	83.0	24.8	8 385.2	-10.3	9
S ₅	219.0	204.0	90.5	24.8	9 113.0	-2.5	7
T ₁ (CK)	206.5	222.8	90.2	24.8	9 674.3	—	4
T ₂	232.5	172.8	91.4	24.8	8 560.4	-11.5	8
T ₃	226.5	231.2	92.0	24.8	11 231.1	16.1	1
T ₄	222.0	222.6	85.9	24.8	9 895.8	2.3	3
T ₅	232.5	205.6	88.5	24.8	9 527.8	-1.5	5

2.4 不同处理的水稻经济效益 进一步分析不同处理下的种植效益,籼稻价格为 2.46 元/kg,地租、农药、机械和灌溉相同,种子成本 16 cm 株距比 18 cm 株距多 197 元/hm²,每次

施肥施药的人工成本按 150 元/hm² 计算,化肥按实际成本计算。结果发现效益最高的为 T₃ 处理,即 18 cm 株距侧深施缓释肥+孕穗肥模式,为 11 916.1 元/hm²,比对照 T₁ 高

4 917.2 元/hm²,明显高于其他模式,其次是 18 cm 株距 T₄ 处理。2 种株距下的一次性施缓释肥效益相对较高,接近 8 000 元/hm²。而效益最低的为侧深施普通肥,表明减氮 10%侧深施在产量和效益上均较差。2 种株距下均是侧深施缓释肥+孕穗肥模式效益最高,具有明显优势,且 18 cm 株距处理高于 16 cm 株距处理(表 5)。

表 5 不同处理的经济效益
Table 5 Economic benefits of different treatments

处理 Treatment	实收单产 Actual yield kg/hm ²	产值 Output value 元/hm ²	成本 Cost//元/hm ²								净收益 Net income 元/hm ²	比对照 增减(±) Compared with control//%
			地租 Ground rent	种子 Seed	肥料 Fertilizer	农药 Pesticide	机械费 Mechani- cal fee	人工费 Labor cost	灌溉 Irrigation	合计 Total		
S ₁ (CK)	9 349.1	22 998.8	4 500	1 772	2 925.0	1 500	4 950	900	450	16 997.0	6 001.8	—
S ₂	8 325.0	20 479.6	4 500	1 772	2 497.5	1 500	4 950	600	450	16 269.5	4 210.1	-29.9
S ₃	9 941.0	24 454.8	4 500	1 772	2 287.5	1 500	4 950	450	450	15 909.5	8 545.3	42.4
S ₄	8 385.2	20 627.6	4 500	1 772	2 197.5	1 500	4 950	450	450	15 819.5	4 808.1	-19.9
S ₅	9 113.0	22 418.0	4 500	1 772	2 362.5	1 500	4 950	300	450	15 834.5	6 583.5	9.7
T ₁ (CK)	9 674.3	23 798.9	4 500	1 575	2 925.0	1 500	4 950	900	450	16 800.0	6 998.9	—
T ₂	8 560.4	21 058.5	4 500	1 575	2 497.5	1 500	4 950	600	450	16 072.5	4 986.0	-28.8
T ₃	11 231.1	27 628.6	4 500	1 575	2 287.5	1 500	4 950	450	450	15 712.5	11 916.1	70.3
T ₄	9 895.8	24 343.7	4 500	1 575	2 197.5	1 500	4 950	450	450	15 622.5	8 721.2	24.6
T ₅	9 527.8	23 438.3	4 500	1 575	2 362.5	1 500	4 950	300	450	15 637.5	7 800.8	11.5

3 结论与讨论

科学减少化肥施用总量,提高化肥利用效率,有效减少施肥次数,是推进化肥减量增效、农业绿色发展、减轻劳动强度的迫切需要^[6-7]。研究证明,水稻侧深施肥技术通过改变人工表面撒施为侧边定量深施,有效地减少了肥料在田间径流、挥发等损失,提高了化肥利用率^[6],在单产基本相近的情况下,与人工常规表施相比,肥料用量可以减少 10%~30%,氮肥利用率提高 5%~10%^[8-10],搭配缓释肥可进一步减少氮肥用量和施肥次数,提高氮肥利用率^[11]。该试验研究杂交籼稻在减氮 10%的情况下,侧深施普通肥搭配缓控释肥使用,2 种株距下侧深施肥缓控释肥和普通肥的分蘖均较人工施肥多且快,最终有效穗数也多,而对穗粒结构的影响发现侧深施普通肥及缓控释肥处理在 16 cm 株距下每穗粒数和结实率均较对照下降,而 18 cm 株距下侧深施缓控释肥+孕穗肥则表现为上升趋势,最终产量在减氮 10%的情况下,侧深施肥+孕穗肥模式的产量显著高于其他处理,而侧深施普通肥则减产。朱从桦等^[12]研究表明,侧深施肥处理可实现增产,原因主要是其增加了有效穗数和颖花总量,表明侧深施肥可以促进水稻前期生长,早发快长,增加分蘖和有效穗,这与前人研究结果一致^[13]。同时搭配缓控释肥使用,既可以减少施肥次数,也可以很好地满足后期水稻肥料需求,进一步提高结实率,达到普通肥多次分次使用效果。

该试验结果表明,在施氮量 15 kg 及减氮 10%的同一施肥模式条件下,株距 18 cm 的处理单产和净收益均高于株距

16 cm;相对于对照,侧深施缓控释肥+孕穗肥施肥模式均取得较好的产量与经济效益,可节省施肥用工 2 次,单产提高 6%以上,净收益提高 40%以上。因此,仪征丘陵山区种植杂交籼稻适宜采用栽插株距 18 cm,侧深施缓控释肥+孕穗肥的减施增效模式。

参考文献

[1] 王晓丹,向镜,张玉屏,等. 水稻机插同步侧深施肥技术进展及应用[J]. 中国稻米,2020,26(5):53-57.
[2] 郑文魁,李成亮,窦兴霞,等. 不同包膜类型控释氮肥对小麦产量及土壤生化性质的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(2):162-167,174.
[3] 卢艳丽,白由路,王磊,等. 华北小麦-玉米轮作区缓控释肥应用效果分析[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(1):209-215.
[4] 黄允,徐天成,高恒宽,等. 缓控释肥应用研究进展[J]. 湖北农业科学,2020,59(S1):32-36.
[5] 李祯成,熊远福,文祝友,等. 缓控释肥的研究及其在水稻上的应用进展[J]. 湖南农业科学,2021(12):98-101.
[6] 颜士敏,刘林旺,仇美华,等. 关于推进江苏水稻机插侧深施肥的思考[J]. 中国稻米,2019,25(1):26-28.
[7] 胡根生. 侧深施肥用量对机插杂交水稻生长和产量的影响[J]. 安徽农业科学,2021,49(7):167-169.
[8] 季雅岚,吴文革,孙雪原,等. 机插秧同步侧深施肥技术对水稻产量及肥料利用率的影响[J]. 中国稻米,2019,25(3):101-104.
[9] 怀燕,陈照明,张耿苗,等. 水稻侧深施肥技术的氮肥减施效应[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2020,46(2):217-224.
[10] 伍杂日曲,郭长春,李飞杰,等. 减氮和机械侧深施肥对机插杂交稻产量及氮素吸收利用的影响[J]. 核农学报,2022,36(5):1034-1041.
[11] 丁艳锋,李刚华,李伟伟,等. 水稻机插缓混一次施肥技术的研发与示范[J]. 中国稻米,2020,26(5):11-15.
[12] 朱从桦,陈惠哲,张玉屏,等. 机械侧深施肥对机插早稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 中国稻米,2019,25(1):40-43.
[13] 马昕,杨艳明,刘智蕾,等. 机械侧深施肥掺混肥提高寒地水稻的产量和效益[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(4):1095-1103.