

# 施氮量和移栽密度对重穗型杂交稻产量及氮肥利用率的影响

秦俭 蒋开锋 张涛 熊洪 徐富贤 郑家奎 蒋鹏\*

(四川省农业科学院水稻高粱研究所 / 农业部西南水稻生物学与遗传育种重点实验室, 四川 德阳 618000;

第一作者: qin.1989@foxmail.com; \* 通讯作者: jiangyipeng137@163.com)

**摘 要:**以重穗型杂交稻德优 4727 和轻穗型常规稻五山丝苗为材料, 设置 4 个施氮量(0、120、165、210 kg/hm<sup>2</sup>, 分别记为 N<sub>0</sub>、N<sub>120</sub>、N<sub>165</sub>、N<sub>210</sub>)和 3 种移栽密度(25.0、19.1、12.5 丛/m<sup>2</sup>, 分别记为 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>), 于 2016 年在四川德阳进行大田试验, 研究施氮量和移栽密度对重穗型杂交稻产量及氮肥利用率的影响。结果表明, 参试水稻品种的适宜移栽密度均为 25.0 丛/m<sup>2</sup>, 在此移栽密度下, 重穗型杂交稻德优 4727 产量随施氮量的增加呈先增加后下降的趋势, 以 N<sub>165</sub> 处理产量最高(10.90 t/hm<sup>2</sup>), 轻穗型常规稻五山丝苗产量随施氮量的增加呈升高趋势, 以 N<sub>210</sub> 处理产量最高(10.21 t/hm<sup>2</sup>); 相同移栽密度下, 参试水稻品种氮肥利用率随施氮量的增加呈下降趋势; 随移栽密度的增加, 参试水稻品种产量和氮肥利用率呈增加趋势。可见, 提高移栽密度, 减少施氮量可兼顾水稻高产和氮肥高效利用, 其最佳肥密组合为施氮量 165 kg/hm<sup>2</sup>、移栽密度 25 丛/m<sup>2</sup>, 即低氮密植可作为重穗型杂交稻高产高效栽培的关键技术。

**关键词:**施氮量; 移栽密度; 重穗型; 杂交稻; 产量; 氮肥利用率

**中图分类号:**S511.048 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2017)04-0094-05

水稻是我国重要的粮食作物, 全国有超过 60% 的人口以稻米为主食。采用合理的栽培技术持续提高水稻产量对保证我国粮食安全具有重要意义。施氮量和移栽密度是影响水稻群体发育及产量形成的重要因素。适宜的施氮量以及合理的移栽密度可以协调群体与个体、足穗与大穗的矛盾, 也是超级稻配套栽培技术形成的重要基础<sup>[1-2]</sup>。关于水稻高产、更高产中的密度及密植方式问题、施氮量问题前人进行了大量研究<sup>[3-8]</sup>, 并创造发明了许多以密度、施肥量为核心的水稻高产、超高产栽培技术, 如蒋彭炎等的“稀、少、平”栽培法<sup>[9]</sup>、凌启鸿的“小群体、壮个体”栽培法<sup>[10]</sup>、张洪程等的“小苗高产节本”栽培法<sup>[11]</sup>、水稻强化栽培技术(SRI)<sup>[12]</sup>以及当前南方稻区流行的“单本密植机插”栽培法<sup>[13]</sup>等。前人的这些研究对持续提高我国水稻产量发挥了重要的作用。四川盆地空气湿度大, 云雾多, 水稻生长期光照少, 针对这样的气候特点, 育种家选育的品种多以重穗型杂交稻为主<sup>[14]</sup>, 且普遍认为稀植(9.0~13.5 万丛/hm<sup>2</sup>)有利于重穗型杂交稻产量潜力的发挥<sup>[15]</sup>, 而稀植条件下必须增加肥料的投入促进分蘖, 以确保获得足够的有效穗, 进而实现高产。氮肥大量投入势必造成肥料损失严重、肥料利用率下降, 污染环境。最近研究表明, 合理密植是实现水稻高产、节肥、环境友好的有效途径<sup>[16-17]</sup>。为此, 本文开展了不同施氮量和移栽密度对重穗型杂

交稻产量和氮肥利用率影响的研究, 以期为四川盆地重穗型杂交稻高产高效生产提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为超级杂交稻品种德优 4727 (重穗型) 和常规稻品种五山丝苗(轻穗型)。其中, 德优 4727 由四川省农业科学院水稻高粱研究所提供, 五山丝苗由广东省农业科学院水稻研究所提供。

### 1.2 试验设计

大田试验于 2016 年设在四川省德阳市旌阳区, 前茬作物为油菜。试验设 4 个施氮水平 (分别为 0、120、165、210 kg/hm<sup>2</sup>, 记为 N<sub>0</sub>、N<sub>120</sub>、N<sub>165</sub>、N<sub>210</sub>) 和 3 种移栽密度 (分别为 25.0 丛/m<sup>2</sup>、19.1 丛/m<sup>2</sup>、12.5 丛/m<sup>2</sup>, 记为 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>, 每丛 2 苗)。氮肥按基肥、分蘖肥、穗肥 5:2:3 的比例施用; 磷肥全部作基肥, 用量为 62.5 kg/hm<sup>2</sup>; 钾肥按基肥、穗肥 5:5 的比例施用, 用量为 135 kg/hm<sup>2</sup>。试验采用裂区设计, 施氮量为主区, 移栽密度为副区, 品种为副副区, 副副区面积为 20 m<sup>2</sup>, 3 次重复。主区间作田埂并覆膜, 防止肥水串灌。其他管理同当地高产栽培

收稿日期: 2017-06-06

基金项目: 四川省农业科学院水稻高粱研究所青年基金

表 1 施氮量和移栽密度对重穗型杂交稻产量的影响

(t/hm <sup>2</sup> )			
移栽密度	施氮量	德优 4727	五山丝苗
D <sub>1</sub>	N <sub>0</sub>	8.39 b	7.19 c
	N <sub>120</sub>	10.24 a	9.24 b
	N <sub>165</sub>	10.90 a	9.83 ab
	N <sub>210</sub>	10.58 a	10.21 a
	平均±标准误	10.03±0.34	9.12±0.29
D <sub>2</sub>	N <sub>0</sub>	8.34 c	7.02 c
	N <sub>120</sub>	9.78 b	8.80 b
	N <sub>165</sub>	10.12 ab	9.11 b
	N <sub>210</sub>	10.69 a	9.99 a
	平均±标准误	9.73±0.12	8.73±0.14
D <sub>3</sub>	N <sub>0</sub>	7.23 b	5.92 c
	N <sub>120</sub>	8.64 a	7.11 b
	N <sub>165</sub>	8.97 a	8.22 a
	N <sub>210</sub>	9.18 a	8.33 a
	平均±标准误	8.51±0.35	7.39±0.27

同列数据后不同小写字母表示差异在 0.05 水平显著。下同。

田。4 月 10 日播种,5 月 20 日移栽,其中,五山丝苗 7 月 20 日齐穗,8 月 25 日成熟;德优 4727 8 月 1 日齐穗,9 月 4 日成熟。

1.3 测定项目及取样方法

于成熟期按小区穗数平均数取 5 丛代表性植株,剪去根系,计数穗数后人工脱粒,分成稻草、实粒、空秕粒三部分,用于考察每穗粒数、结实率、千粒重、干物质质量和收获指数。此外,每小区调查 20 丛植株穗数,用于计算单位面积有效穗数。收割整个小区植株,单收单晒,折算为 14%含水量后计为实收产量。

1.4 数据计算

氮肥农学利用率(kg/kg)=(施氮区籽粒产量-无氮区籽粒产量)/施氮量;

氮肥偏生产力(kg/kg)=施氮区籽粒产量/施氮量。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 整理数据,Statistix 8.0 软件进行方差分析,LSD<sub>0.05</sub>法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 施氮量和移栽密度对重穗型杂交稻产量的影响

由表 1 可知,施氮可显著提高德优 4727 和五山丝苗的产量。与不施氮处理相比,施氮处理产量增加了 17.3%~29.9%(德优 4727)、20.1%~42.3%(五山丝苗)。高密度(D<sub>1</sub>)条件下,德优 4727 产量随施氮量的增加呈先升高后下降的趋势,以 N<sub>165</sub> 处理的产量最高,为 10.90 t/hm<sup>2</sup>;五山丝苗产量随施氮量的增加而增加,以

N<sub>210</sub> 处理的产量最高,为 10.21 t/hm<sup>2</sup>,但 N<sub>210</sub> 与 N<sub>165</sub> 处理之间的产量差异不显著。中密度(D<sub>2</sub>)和低密度(D<sub>3</sub>)条件下,德优 4727 和五山丝苗的产量均随施氮量的增加呈增加趋势,且均以 N<sub>210</sub> 处理的产量最高。说明通过合理密植,即使减少氮素的施用量,也并不会造成杂交稻产量的下降。随着移栽密度的增加,德优 4727 和五山丝苗产量均呈增加趋势,D<sub>1</sub> 处理的产量较 D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub> 处理分别增加了 3.1%、17.9%和 4.5%、23.4%;在相同密度下,与五山丝苗相比,德优 4727 产量分别增加了 10.0%(D<sub>1</sub>)、11.5%(D<sub>2</sub>)和 15.2%(D<sub>3</sub>)。

2.2 施氮量和移栽密度对重穗型杂交稻产量构成的影响

由表 2 可知,2 个品种的有效穗数随施氮量的增加而增加,与 N<sub>0</sub> 相比,N<sub>120</sub>、N<sub>165</sub>、N<sub>210</sub> 平均分别增加了 19.2%、24.9%、30.4%,但施氮处理间,德优 4727 的有效穗数差异不显著,而五山丝苗 N<sub>165</sub> 和 N<sub>210</sub> 处理间差异不显著,但这 2 个处理与其他处理间差异显著。2 个品种的有效穗数均表现为随移栽密度的增加呈增加趋势,但其每穗粒数则是随移栽密度的增加呈下降趋势。不同施氮量对德优 4727 每穗粒数影响不显著,对五山丝苗每穗粒数影响显著。说明不同穗型品种的每穗粒数对氮素的响应存在基因型差异。随着施氮量的增加,不论是重穗型品种还是轻穗型品种,结实率和粒重均未表现出明显的规律。随着移栽密度的增加,德优 4727 的结实率呈下降趋势,五山丝苗的结实率呈先上升后下降的趋势。不同移栽密度之间的粒重差异相对较小。与五山丝苗相比,德优 4727 有效穗数、每穗粒数分别降低了 9.7%和 19.9%,结实率和千粒重分别增加了 0.3%和 49.0%。

2.3 施氮量和移栽密度对重穗型杂交稻干物质生产的影响

由表 3 可知,施氮量对重穗型杂交稻干物质生产影响显著。与 N<sub>0</sub> 相比,N<sub>120</sub>、N<sub>165</sub>、N<sub>210</sub> 处理干物质质量平均分别增加了 19.4%、25.6%、35.1%。高密度(D<sub>1</sub>)和中密度(D<sub>2</sub>)条件下,不同施氮处理对德优 4727 的干物质生产影响不显著,但对五山丝苗的干物质生产影响显著;低密度(D<sub>3</sub>)条件下,不同施氮处理对德优 4727 的干物质生产影响显著,但对五山丝苗的干物质生产影响不显著。干物质质量随移栽密度的减少呈减少趋势,与 D<sub>1</sub> 相比,D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub> 处理的干物质质量分别降低了 2.0%~3.1%、10.4%~19.7%。施氮量对收获指数影响不显著(除中密度下五山丝苗外)。不同移栽密度之间收获指数差异较

表 2 施氮量和移栽密度对重穗型杂交稻产量构成的影响

品种	移栽密度	施氮量	有效穗数 (个/穗)	每穗粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒重 (g)
德优 4727	D <sub>1</sub>	N <sub>0</sub>	220.0 b	134.3 a	95.4 a	33.0 a
		N <sub>120</sub>	262.5 a	135.3 a	92.3 a	32.7 ab
		N <sub>165</sub>	280.0 a	124.4 a	90.3 a	32.2 ab
		N <sub>210</sub>	294.2 a	124.0 a	91.9 a	31.6 b
		平均±标准误	264.2±13.63	129.5±4.71	92.5±2.19	32.4±0.71
	D <sub>2</sub>	N <sub>0</sub>	215.9 b	123.8 a	92.5 b	33.1 a
		N <sub>120</sub>	264.5 a	134.3 a	93.0 ab	32.7 ab
		N <sub>165</sub>	253.8 ab	131.3 a	95.7 a	32.4 ab
		N <sub>210</sub>	288.5 a	129.2 a	92.8 b	32.1 b
		平均±标准误	255.7±16.17	129.6±7.83	93.5±1.16	32.6±0.22
	D <sub>3</sub>	N <sub>0</sub>	160.4 b	156.6 a	94.5 ab	32.9 a
		N <sub>120</sub>	201.3 a	144.8 a	92.7 b	31.8 ab
		N <sub>165</sub>	214.2 a	155.7 a	91.6 b	31.1 b
		N <sub>210</sub>	208.3 a	155.8 a	96.6 a	32.3 ab
		平均±标准误	196.1±11.95	153.2±9.24	93.9±1.22	32.0±0.58
	D <sub>1</sub>	N <sub>0</sub>	262.5 c	157.1 c	93.3 ab	22.0 a
		N <sub>120</sub>	289.2 b	180.4 a	92.8 ab	21.8 a
		N <sub>165</sub>	313.8 a	169.0 b	90.3 b	21.8 a
		N <sub>210</sub>	315.0 a	160.8 bc	96.0 a	21.9 a
		平均±标准误	295.1±3.66	166.8±3.78	93.1±1.37	21.9±0.22
	D <sub>2</sub>	N <sub>0</sub>	223.5 c	164.7 b	92.2 a	22.0 a
		N <sub>120</sub>	283.5 b	163.6 b	93.5 a	21.6 ab
		N <sub>165</sub>	288.5 ab	172.7 a	94.2 a	21.6 ab
		N <sub>210</sub>	302.4 a	174.2 a	92.7 a	21.2 b
		平均±标准误	274.5±5.95	168.8±2.42	93.2±1.05	21.6±0.21
	D <sub>3</sub>	N <sub>0</sub>	190.0 c	176.7 a	93.5 a	21.8 a
		N <sub>120</sub>	215.0 b	174.9 a	91.9 b	21.6 ab
		N <sub>165</sub>	239.2 a	180.8 a	92.5 ab	21.8 a
		N <sub>210</sub>	250.4 a	184.7 a	93.1 ab	21.3 b
		平均±标准误	223.6±6.82	179.3±6.89	92.7±0.64	21.6±0.14

表 3 施氮量和移栽密度对重穗型杂交稻干物质生产的影响

移栽密度 (丛/m <sup>2</sup> )	施氮量 (kg/hm <sup>2</sup> )	干物质(g/m <sup>2</sup> )		收获指数(%)	
		德优 4727	五山丝苗	德优 4727	五山丝苗
D <sub>1</sub>	N <sub>0</sub>	1 352.8 b	1 291.0 d	57.4 a	60.3 a
	N <sub>120</sub>	1 624.8 a	1 444.9 c	56.0 a	60.8 a
	N <sub>165</sub>	1 710.1 a	1 581.0 b	55.5 a	59.1 a
	N <sub>210</sub>	1 855.6 a	1 685.6 a	54.9 a	60.6 a
	平均±标准误	1 635.8±100.49	1 500.6±27.03	56.0±1.10	60.2±0.93
D <sub>2</sub>	N <sub>0</sub>	1343.1 b	1 202.7 c	55.0 a	62.0 a
	N <sub>120</sub>	1673.7 a	1 432.5 b	54.5 a	59.8 ab
	N <sub>165</sub>	1608.1 a	1 512.1 b	56.3 a	61.0 ab
	N <sub>210</sub>	1788.5 a	1 669.3 a	55.0 a	58.8 b
	平均±标准误	1 603.4±80.39	1 454.2±48.84	55.2±0.78	60.4±0.98
D <sub>3</sub>	N <sub>0</sub>	1 248.7 c	946.4 b	57.5 a	62.5 a
	N <sub>120</sub>	1 433.7 b	1 211.4 a	57.0 a	60.6 a
	N <sub>165</sub>	1 550.1 ab	1 315.0 a	57.6 a	60.7 a
	N <sub>210</sub>	1 630.1 a	1 347.5 a	57.4 a	61.2 a
	平均±标准误	1 465.7±68.47	1 205.1±61.73	57.4±0.20	61.3±0.83

小。与五山丝苗相比,德优 4727 干物质量分别增加了 9.0%(D<sub>1</sub>)、10.3%(D<sub>2</sub>)、21.6%(D<sub>3</sub>), 但收获指数减少了

7.0%(D<sub>1</sub>)、8.6%(D<sub>2</sub>)、6.4%(D<sub>3</sub>)。

2.4 施氮量和移栽密度对重穗型杂交稻氮肥利用率

表 4 施氮量和移栽密度对重穗型杂交稻氮肥利用率的影响 (kg/kg)

移栽密度	施氮量	德优 4727		五山丝苗	
		氮肥农学利用率	氮肥偏生产力	氮肥农学利用率	氮肥偏生产力
D <sub>1</sub>	N <sub>120</sub>	15.4 a	85.3 a	17.1 a	77.0 a
	N <sub>165</sub>	15.2 a	66.1 b	16.0 a	59.6 b
	N <sub>210</sub>	10.4 b	50.4 c	14.4 a	48.6 c
	平均	13.7±1.01	67.3±1.33	15.8±2.03	61.7±1.76
D <sub>2</sub>	N <sub>120</sub>	12.1 a	81.5 a	14.9 a	73.3 a
	N <sub>165</sub>	11.2 b	61.3 b	12.7 a	55.2 b
	N <sub>210</sub>	10.8 c	50.9 c	14.2 a	47.6 c
	平均	11.4±0.08	64.6±0.72	13.9±0.83	58.7±0.83
D <sub>3</sub>	N <sub>120</sub>	11.7 a	72.0 a	9.9 a	59.2 a
	N <sub>165</sub>	10.6 ab	54.4 b	13.9 a	49.8 b
	N <sub>210</sub>	9.3 b	43.7 c	11.5 a	39.7 c
	平均	10.5±0.82	56.7±1.6	11.8±2.39	49.6±1.78

的影响

由表 4 可知,施氮量对德优 4727 氮肥农学利用率影响显著,且随施氮量的增加,其氮肥农学利用率呈显著下降的趋势。施氮量对五山丝苗氮肥农学利用率影响不显著,高密度(D<sub>1</sub>)和中密度(D<sub>2</sub>)条件下,以 N<sub>120</sub> 处理氮肥农学利用率最高,较 N<sub>165</sub>、N<sub>210</sub> 处理分别增加了 6.9%、18.8%和 17.3%、4.9%;低密度(D<sub>3</sub>)条件下,则是以 N<sub>165</sub> 处理最高。氮肥农学利用率随移栽密度的增加呈增加趋势,与 D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub> 相比,D<sub>1</sub> 氮肥农学利用率平均分别增加了 16.6%、32.3%。施氮量对氮肥偏生产力影响显著,随施氮量的增加,氮肥偏生产力呈显著下降的趋势。氮肥偏生产力随移栽密度的增加呈增加趋势,与 D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub> 相比,D<sub>1</sub> 氮肥偏生产力平均分别增加了 4.6%、21.4%。与五山丝苗相比,德优 4727 氮肥农学利用率平均降低了 14.2%,但其氮肥偏生产力增加了 10.9%。

3 结论与讨论

3.1 施氮量和移栽密度对重穗型杂交稻产量的影响

周江明等<sup>[18-19]</sup>研究表明,水稻产量随施氮量或密度的增加而提高,但增产效应逐渐下降,且当施氮量和移栽密度超过一定界限后,产量呈下降趋势,即施氮量、移栽密度与产量的关系呈单峰曲线关系,最佳肥密组合随稻作生态区的土壤肥力和温光资源变化而变化。本研究结果表明,在高密度条件下,重穗型品种德优 4727 产量随施氮量的增加呈先增加后下降的趋势,以 N<sub>165</sub> 处理的产量最高(10.90 t/hm<sup>2</sup>);轻穗型品种五山丝苗产量则是随施氮量的增加呈增加趋势,以 N<sub>210</sub> 处理产量最高(10.21 t/hm<sup>2</sup>),但与 N<sub>165</sub> 处理产量差异不显著。而在中密度和低密度条件下,德优 4727 和五山丝苗产量均是随施氮量的减少呈下降趋势,有效穗数和

干物质量减少是其产量下降的主要原因。说明移栽密度过低,会导致基本苗数不足,即使增加氮肥投入促进水稻分蘖,也不能弥补因基本苗数不足而造成的有效穗数下降,进而引起产量下降。此外,随着移栽密度的增加,水稻产量呈显著增加趋势,说明本试验条件下不论是重穗型杂交稻还是轻穗型常规稻均需要合理的栽插密度,即适当、足量的基本苗是水稻高产的基础。由此可见,在本试验条件下,重穗型杂交稻德优 4727 最高产量的施氮量和移栽密度组合为 165 kg/hm<sup>2</sup> 和 25 丛/m<sup>2</sup>,轻穗型常规稻五山丝苗最高产量的施氮量和移栽密度组合为 210 kg/hm<sup>2</sup> 和 25 丛/m<sup>2</sup>。

3.2 施氮量和移栽密度对重穗型杂交稻氮肥利用率的影响

陈佳娜等<sup>[20]</sup>研究发现,常规稻中嘉早 17 的氮肥利用率随施氮量的增加而下降,随移栽密度的增加而提高。本研究表明,氮肥利用率与品种、施氮量及移栽密度有关。氮肥农学利用率和氮肥偏生产力随移栽密度的增加而提高,结果与陈佳娜等基本一致,也进一步说明了增加移栽密度,减少氮肥施用量,既可通过大幅度增加有效穗数来实现高产,又能显著提高氮肥利用率。相同移栽密度条件下,重穗型杂交稻德优 4727 氮肥农学利用率、氮肥偏生产力随施氮量的增加呈显著下降的趋势;施氮量对轻穗型常规稻五山丝苗氮肥农学利用率影响不显著,对氮肥偏生产力影响显著,且随施氮量的增加呈下降趋势,说明增加施氮量不利于氮肥利用率的提高。此外,高密度条件下,增加施氮量对各穗型品种的增产效果并不显著,也就是说施氮量的增加并不能促使水稻同步增加的氮吸收量转化为产量优势,进而导致氮肥利用率的降低。

综上所述,结合施氮量和移栽密度对产量形成特



点及氮肥利用率的影响,从水稻高产、氮肥资源高效利用综合考虑,重穗型杂交稻德优 4727 和轻穗型常规稻五山丝苗高产、氮高效的最佳肥密组合均为施氮量 165 kg/hm<sup>2</sup>、移栽密度 25 丛/m<sup>2</sup>。

### 参考文献

- [1] 潘晓华,石庆华. 江西省双季水稻单产不高的原因及对策[J]. 中国稻米, 2008, 15(4): 1-2.
- [2] 贺帆,黄见良,崔克辉,等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和稻米品质的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 123-132.
- [3] 黄敏,蒋鹏,谢小兵,等. 水稻株行距配比的优化和株高密度模型的建立[J]. 作物研究, 2011, 25(1): 1-3.
- [4] 潘圣刚,曹凑贵,蔡明历,等. 栽插密度及方式对杂交水稻“红莲优 6 号”产量和品质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(6): 845-849.
- [5] Russella C A, Dunn B W, Battena G D, et al. Soil tests to predict optimum fertilizer nitrogen rate for rice[J]. *Field Crop Res*, 2006, 97: 286-301.
- [6] 万靛军,张洪程,霍中洋,等. 氮肥运筹对超级杂交粳稻产量、品质及氮肥利用率的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(2): 175-182.
- [7] 吴文革,张四海,赵决建,等. 氮肥运筹模式对双季稻北缘水稻氮素吸收利用及产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 757-764.
- [8] 敖和军,王淑红,邹应斌,等. 超级杂交稻干物质生产特点与产量稳定性研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 1 927-1 936.
- [9] 蒋彭炎,冯来定. 水稻稀平栽培法理论与技术[M]. 杭州: 浙江科技出版社, 1989: 1-15.
- [10] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海: 上海科技出版社, 2000: 217-292.
- [11] 张洪程,苏祖芳,戴其根,等. 麦茬小苗单季稻改善群体质量的高产节本技术[J]. 扬州大学学报: 农业和生命科学版, 1989, 10(2): 1-6.
- [12] Stoop W A, Uphoff N, Kassam A. A review of agriculture research issues raised by system of rice intensification (SRI) from Madagascar: opportunities for improving farming system for resource-poor farmer [J]. *Agric Syst*, 2002, 17(3): 249-274.
- [13] 谢小兵,王玉梅,黄敏,等. 单本密植机插对杂交稻生长和产量的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(6): 924-931.
- [14] 周开达. 四川水稻超高产育种的发展趋势 [J]. 西南农业学报, 1998(11): 1-6.
- [15] 周开达,马玉清,刘太清,等. 杂交水稻亚种间重穗型组合选育一杂交水稻超高产育种的理论与实践 [J]. 四川农业大学学报, 1995, 13(4): 403-407.
- [16] Wu W, Nie L X, Liao Y C, et al. Toward yield improvement of early-season rice: Other options under double rice-cropping system in central China[J]. *Eur J Agron*, 2013, 45: 75-86.
- [17] Zhu X C, Zhang J, Zhang Z P, et al. Dense planting with less basal nitrogen fertilization might benefit rice cropping for high yield with less environmental impacts[J]. *Field Crop Res*, 2016, 75: 50-59.
- [18] 周江明,赵琳,董越勇,等. 氮肥和栽植密度对水稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 274-281.
- [19] 蒋鹏,熊洪,张林,等. 不同生态条件下施氮量和移栽密度对杂交稻氮、磷、钾吸收积累的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 342-350.
- [20] 陈佳娜,谢小兵,伍丹丹,等. 机插密度与施氮量对中嘉早 17 产量形成及氮肥利用率的影响 [J]. 中国水稻科学, 2015, 29(6): 628-636.

## Effects of N Application Rate and Plant Density on Grain Yield and N Use Efficiency of Hybrid Rice with Heavy Panicle

QIN Jian, JIANG Kaifeng, ZHANG Tao, XIONG Hong, XU Fuxian, ZHENG Jiakui, JIANG Peng\*

(Rice and Sorghum Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Southwest Rice Biology and Genetic Breeding, Ministry of Agriculture, Deyang, Sichuan 618000, China; 1st author: qin.1989@foxmail.com; \*Corresponding author: jiangyipeng137@163.com)

**Abstract:** A field experiment was conducted to study the effects of nitrogen (N) rate and plant density on grain yield and N use efficiency of hybrid rice Deyou 4727 with heavy panicle, and conventional rice Wushansimiao with light panicle, under four N application rate (0, 120, 165 and 210 kg/hm<sup>2</sup>, namely N<sub>0</sub>, N<sub>120</sub>, N<sub>165</sub> and N<sub>210</sub>) and three plant densities (25.0, 19.1, 12.5 hills/m<sup>2</sup>, namely D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> and D<sub>3</sub>). The results showed that the 25.0 hills/m<sup>2</sup> of planting density was the optimum planting density. When the planting density was 25.0 hills/m<sup>2</sup>, the grain yield of Deyou 4727 was increased with the increasing of N application rate at first and decreased after N application rate exceeding 165 kg/hm<sup>2</sup>, and the grain yield of Wushansimiao was increased with the increasing of N application rates. The highest grain yield of Deyou 4727 (10.90 t/hm<sup>2</sup>) was in combination of N 165 kg/hm<sup>2</sup> and 25.0 hills/m<sup>2</sup>. Wushansimiao obtained the highest grain yield (10.21 t/hm<sup>2</sup>) in the combination of N 210 kg/hm<sup>2</sup> and 25.0 hills/m<sup>2</sup>. Under the same plant density, N use efficiency was decreased with the increasing of N application rates. Grain yield and N use efficiency was increased with the increasing of plant densities. It is a key technique for the high-yielding and high-efficiency cultivation of hybrid rice with heavy panicle. N application rate of 165 kg/hm<sup>2</sup> and plant density of 25.0 hills/m<sup>2</sup> is the optimum combination.

**Key words:** nitrogen application rate; plant density; heavy panicle type; hybrid rice; grain yield; nitrogen use efficiency