

# 不同施肥方式对不同密度下直播稻的产量及群体光合物质生产的影响

邓安凤<sup>1</sup> 杨从党<sup>1\*</sup> 陈清华<sup>2</sup> 施云<sup>2</sup> 陈跃楷<sup>2</sup> 李丛英<sup>2</sup>  
徐世林<sup>2</sup> 毛桂祥<sup>2</sup> 李贵勇<sup>1</sup> 夏琼梅<sup>1</sup> 朱海平<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 云南省农业科学院粮食作物研究所, 昆明 650200; <sup>2</sup> 云南省宜良县农业技术推广中心, 云南 宜良 652100; 第一作者: kevin4248@126.com; \* 通讯作者: yanged2005@163.com)

**摘 要:**以常规粳稻品种云粳 41 为试验材料, 采用两因素裂区设计, 研究不同密度下水稻一次性施用控释肥和分次施用尿素对直播稻产量及其构成因素、群体光合物质生产的影响, 并探讨了不同施肥方式对不同密度下直播稻的产量性状和产量之间的相关性。结果表明: (1) 不同施肥方式下, 密度相同时, 分次施肥的处理比控释肥一次性基施的处理和不施肥对照增产, 产量随着施氮量的增加而增加, 分次施肥处理的产量显著高于控释肥一次性基施的处理; 在相同氮肥条件下, 直播稻产量随着直播密度的增加而降低, 以基本苗 2 万/667 m<sup>2</sup> 的处理产量最高, 6 万/667 m<sup>2</sup> 的处理产量居中, 10 万/667 m<sup>2</sup> 的处理产量最低。(2) 在施用控释肥的处理中, 密度相同时, 增加施氮量能够显著提高直播稻的有效穗数和每穗颖花数; 施氮量相同时, 单位面积有效穗数随密度的增加而提高, 每穗颖花数刚好相反。单位面积颖花量和实际产量之间呈极显著正相关关系。在形成适宜穗数的基础上提高每穗颖花量, 从而增加单位面积的颖花量是提高直播稻产量的主要途径。(3) 当密度相同时, 抽穗至成熟期总干物质积累量、群体生长率、群体叶面积和总颖花数都随着施氮量的增加而提高。本试验中, 以精确定量栽培技术为核心的分次施肥 A1RPQ4 处理的群体结构优于其他处理, 群体茎蘖消长动态最为平稳, 抽穗期至成熟期的总干物质积累量、颖花/叶比和粒质量/叶比最大, 产量最高, 达到 875.14 kg/667 m<sup>2</sup>。

**关键词:**直播稻; 施肥方式; 密度; 产量; 群体; 干物质生产

**中图分类号:** S511.062; S511.042 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2017)04-0123-07

云南是农业大省, 水稻是其第一大优势作物, 以 1/4 的耕地面积生产出 40% 的粮食总产, 全省 2/3 的人口以大米为主食。目前, 云南省水稻种植方式主要以手工插秧和机插秧为主。近年来, 随着农村经济的发展和农村劳动力的转移, 各地采取了粮田适度规模经营, 提高了农田机械化水平, 加上农田高效化学除草剂的广泛应用, 促进了直播稻的应用与发展, 并已在全国 12 个省市推广应用, 表现出显著的增产增效作用<sup>[1]</sup>。在南方稻区, 特别是在上海、江苏、广东、浙江、安徽等沿海地区, 直播稻面积迅速扩大<sup>[2]</sup>。霍中洋等<sup>[3-6]</sup>通过对播期、种植方式和氮肥施用技术等的研究, 初步探明了直播稻光合物质生产特性、氮素吸收利用特性。但是, 就云南高原特殊的气候、生态和地理条件而言, 有关当地直播稻相关配套研究较少, 氮肥的施用方式大多沿用移栽稻高产栽培管理方式进行。

直播稻省去了移栽环节, 无返青期, 导致前期生长环境与移栽稻不同, 其氮素营养特性也必然发生改变。氮素是对水稻产量最为敏感的限制因素之一<sup>[7]</sup>。丁华

萍等<sup>[8]</sup>研究表明, 水稻氮肥分次施入能够满足水稻不同生育时期的生长需要, 提高水稻的产量。近年来, 国内外研究者将水稻专用营养技术与养分控释技术相结合开发出了水稻控释肥料, 实现了一季水稻只施一次肥<sup>[9]</sup>。控释肥具有养分供应期长、利用率高、省肥省工等特点。有关水稻控释肥料的研究目前已有较多报道, 但有关控释肥对直播稻的产量及群体质量影响的研究报道较少。本研究通过探索不同施肥方式对不同密度下直播稻的产量及群体光合物质生产的影响, 旨在明确直播稻高产栽培的密度及合理的施肥方法, 为直播稻生产提供技术参考和理论依据。

## 1 材料与方法

收稿日期: 2017-06-23

**基金项目:** 农业部公益性行业 (农业) 科研专项 (201303102; 201303129); 国家重点基础研究发展计划 (“973” 计划) (2013CB835205); 云南省科技惠民专项 (2016RA001); 国家重点研发计划 (2016YFD0300506)

## 1.1 试验材料

试验于 2016 年在云南省昆明市宜良县福宜社区上敦子村进行, 试验材料为适宜当地直播的主推常规粳稻品种云梗 41。前作为蚕豆。试验田土壤理化性质: pH 值 7.59, 有机质 37.3 g/kg, 水解氮 142.2 mg/kg, 有效磷 32.9 mg/kg, 速效钾 137 mg/kg, 全氮 2.06 g/kg, 全磷 1.12 g/kg, 全钾 24.45 g/kg。水稻控释肥选用生产上大面积使用的“榕风牌”水稻一次性控释肥, 其 N、P、K 含量比例为 28:5:8。氮肥统一用氮含量为 46% 的尿素, 磷肥采用  $P_2O_5$  含量为 16.0% 的过磷酸钙, 钾肥采用  $K_2O$  含量为 50.0% 的硫酸钾。

## 1.2 试验设计

试验为两因素试验, 采用裂区设计。以直播密度(A)为主区, 施肥方式(B)为副区。

直播密度设置每 667  $m^2$  基本苗 2 万、6 万、10 万 3 个水平, 以 A1、A2、A3 表示。

施肥方式设 5 个处理: CK0, 不施肥; RCF1, 施水稻控释肥 42.9 kg/667  $m^2$  (折合纯 N 12 kg/667  $m^2$ ), 一次性作基肥施入; RCF2, 施水稻控释肥 60.7 kg/667  $m^2$  (折合纯 N 17 kg/667  $m^2$ ), 一次性作基肥施入; RCF3, 施水稻控释肥 78.6 kg/667  $m^2$  (折合纯 N 22 kg/667  $m^2$ ), 一次性作基肥施入; RPQ4, 以精确定量栽培技术为核心的分次施肥, 氮肥施用量为 22 kg/667  $m^2$  (施用氮含量为 46% 的尿素 47.83 kg/667  $m^2$ ), 其中基肥占 30%, “断奶肥”(1 叶 1 心)占 10%, 分蘖肥(2 叶 1 心)10%, 穗肥占 50%, 于倒 4 叶、倒 2 叶各施 25%。除对照外, 其他处理统一施过磷酸钙 50 kg/667  $m^2$  (即  $P_2O_5$  10 kg/667  $m^2$ )、硫酸钾 20 kg/667  $m^2$ , 其中磷肥一次性作基肥施用, 钾肥分底肥和促花肥施用, 各施 50%。其他措施均按精确定量高产栽培要求进行管理。

## 1.3 试验方法

为提高播种质量, 播前进行种子处理: 一是播前晒种, 选晴天晒 1~2 d; 二是种子消毒和浸种, 用“咪鲜胺”浸种 72 h, 采用人工旱直播进行播种。行距为 26.4 cm, 株距 16.5 cm, 小区面积 7.84  $m^2$ 。各小区之间用隔板隔离以防肥水串流, 预留排灌口单独排灌。于 3 叶期人工定苗, 通过调节株距确定密度。试验于 4 月 20 日播种, 4 月 29 日揭膜覆水 (1 叶 1 心), 5 月 9 日人工定苗 (3 叶 1 心), 9 月 8 日收获。全生育期 141 d。

试验主区面积 39.20  $m^2$ , 副区面积 7.84  $m^2$ , 一共 15 个处理, 3 次重复, 共计 45 个小区, 随机排列。区组间走道宽 50 cm; 小区间走道宽 30 cm。小区四周至少

设 4 行以上的保护行。

水浆管理: 湿润出苗; 3 叶期至有效分蘖临界叶龄期保持浅水层; 有效分蘖临界叶龄期至倒 3 叶期多次适度轻搁田; 穗分化至抽穗期间灌溉保持田间湿润; 抽穗后保持浅水层; 成熟前 7 d 断水。

## 1.4 调查内容与测定方法

### 1.4.1 叶龄及茎蘖动态

从 3 叶期起, 每小区定 10 个单株, 记载叶龄。从 4 叶期起每隔 7 d 调查各小区的茎蘖数, 连续调查 10 次, 直至抽穗。

### 1.4.2 干物质量及叶面积

N-n 期、拔节期、抽穗期、乳熟期、成熟期每小区调查 100 株穗数, 取接近平均茎蘖数稻株 3 株, 在 105℃ 下杀青 30 min, 后在 80℃ 下烘干 48 h 至恒质量, 分茎、叶、穗 3 部分分别装袋称重。分别于拔节期和抽穗期各小区选择生长基本一致的植株 3 株, 利用 LI-3100 叶面积仪测定 N-n 期、拔节期叶面积, 抽穗期上 3 叶叶面积和其余叶叶面积, 并计算叶面积指数。

### 1.4.3 成熟期考种

直播稻成熟时, 按平均有效穗数每个小区取 3 丛进行考种, 分别测量每丛有效穗数、每穗总粒数、每穗实粒数、千粒重、结实率等。

### 1.4.4 产量

在直播稻成熟时, 对每个小区进行实收计产, 晒干后测定含水量 (粳稻以 14.5% 计) 及杂质率后折算成标准含水量的实际产量。

## 1.5 计算与统计方法

群体生长率  $[g/(m^2 \cdot d)] = (W_2 - W_1)/(t_2 - t_1)$ 。式中,  $W_1$  和  $W_2$  为前后 2 次测定的干物质量,  $t_1$  和  $t_2$  为前后 2 次测定的时间。

颖花/叶 (朵/ $cm^2$ ) = 总颖花数/抽穗期叶面积; 实粒/叶 (粒/ $cm^2$ ) = 总实粒数/抽穗期叶面积; 粒质量/叶 ( $mg/cm^2$ ) = 籽粒产量/抽穗期叶面积。

运用 Microsoft Excel 2003 软件进行数据的录入、计算与作图; 运用 DPS 7.05 软件进行统计分析, 多重比较采用 Duncan 新复极差法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥方式对不同密度下直播稻产量及其构成因素的影响

由表 1 可以看出, 在直播密度相同时, 随着施氮量的增加水稻产量也随之增加; 所有分次施肥的处理组

表 1 不同施肥方式对不同密度下直播稻产量与构成因素的影响

处理	直播密度 (万/667 m <sup>2</sup> )	施氮量 (kg/667 m <sup>2</sup> )	有效穗数 (万/667 m <sup>2</sup> )	总粒数 (粒/穗)	实粒数 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒重 (g)	颖花数 (万/667 m <sup>2</sup> )	实际产量 (kg/667 m <sup>2</sup> )	比对照增产 (%)
A1CK0	2	0	20.10 dC	114.77 cB	92.32 bcB	80.44 bB	26.91 bB	2 296.71 dC	588.58 dD	/
A1RCF1		12	24.64 cB	121.79 bcB	89.61 bcB	74.18 cB	26.07 cC	2 977.25 cB	777.75 cC	32.14
A1RCF2		17	28.42 abAB	118.46 bcB	87.11 cB	73.54 cB	25.60 cC	3 364.62 bA	812.02 bBC	37.97
A1RCF3		22	29.74 aA	124.77 abAB	96.67 bB	77.48 bcB	26.28 cC	3 710.49 aA	839.32 bAB	42.60
A1RPQ4		22	26.70 bcB	132.43 aA	116.01 aA	87.60 aA	27.84 aA	3 530.17 a bA	875.14 aA	48.69
		平均值	25.92	122.24	97.88	79.95	26.54	3 175.85	778.57	40.35
A2CK0	6	0	21.14 dC	98.36 bcB	79.33 bB	80.65 aA	26.96 aA	2 227.51 dC	563.15 dC	/
A2RCF1		12	28.21 cB	93.52 cB	73.06 cB	78.12 aA	26.07 bB	2 642.01 cB	722.29 cB	28.26
A2RCF2		17	30.45 bAB	99.48 bcB	77.02 bcB	77.42 aA	25.98 bB	3 033.19 bB	779.98 bA	38.50
A2RCF3		22	32.60 aA	105.58 bB	84.37 bB	79.91 aA	25.67 bB	3 434.37 aA	791.50 bA	40.55
A2RPQ4		22	28.57 bcB	126.17 aA	103.33 aA	81.89 aA	27.31 aA	3 597.65 aA	830.65 aA	47.50
		平均值	28.2	105.97	83.82	78.97	26.40	2 986.95	737.52	38.70
A3CK0	10	0	25.30 dD	80.96 bcAB	66.48 abA	82.11 aA	26.89 bB	2 049.57 bB	535.88 cC	/
A3RCF1		12	32.96 cC	75.83 cB	60.14 bA	79.31 aA	26.40 bcBC	2 503.77 aA	677.52 bB	26.43
A3RCF2		17	35.54 abAB	90.95 abA	69.95 aA	77.43 aA	25.78 cdC	3 228.33 aA	702.05 bB	31.01
A3RCF3		22	37.39 aA	84.01 abcAB	67.36 abA	75.13 aA	25.49 cdC	3 139.62 aA	767.71 aA	43.26
A3RPQ4		22	34.03 bBC	94.28 aA	70.83 aA	80.65 aA	28.09 aA	3 203.28 aA	794.07 aA	48.18
		平均值	33.04	85.21	66.99	78.82	26.53	2 953.71	695.45	37.22
F 值		A	26.68**	41.33**	83.60**	0.56	0.31	8.02*	29.97**	
		B	65.32**	12.83**	19.49**	3.29*	32.63**	51.62**	58.12**	
		A×B	0.52	2.13*	3.10*	2.63*	1.45	1.11	2.50**	

同列数据后不同大、小写字母表示在 0.01 和 0.05 水平差异显著;“\*”和“\*\*”分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著。下同。

表 2 不同处理产量性状之间的相关性

相关系数	每穗颖花数	每穗实粒数	结实率	千粒重	单位面积颖花量	实际产量
单位面积有效穗数	-0.4600	-0.4200	-0.0800	-0.3300	0.4900	0.4500
每穗颖花数		0.9600**	0.2500	0.2500	0.5400*	0.5300*
每穗实粒数			0.5000*	0.3300	0.5400*	0.5200*
结实率				0.3500	0.1700	0.1200
千粒重					-0.0700	-0.0300
单位面积颖花量						0.9300**

合都比一次性施用控释肥的组合和不施肥对照增产,且增产幅度较大。其中,A1RPQ4 处理实际产量为 875.14 kg/667 m<sup>2</sup>,比不施肥对照增产 48.69%。此外,在每个主处理中的施肥处理都比不施肥对照增产,增产幅度较大,差异达极显著水平;在施氮量相同时,水稻产量随着直播密度的增加反而降低,表现为 A1>A2>A3。方差分析结果表明,直播稻不同直播密度处理间产量差异极显著(F=29.97\*\*);不同施 N 量处理间产量差异极显著(F=58.12\*\*);不同密度和肥料互作间产量差异同样极显著(F=2.50\*\*)。

在直播密度相同时,增加施氮量能够同时显著提高水稻有效穗数和每穗颖花数(穗总粒数);而控释肥一次性基施处理随着控释肥用量的增加,结实率和千粒重反而呈现出不同程度的下降,但差异不显著,这点与罗来君等<sup>[10]</sup>的研究结果相吻合。各施氮量相同时,单

位面积直播稻的有效穗数随基本苗的增加而提高,每穗颖花数(穗总粒数)刚好相反,随着基本苗的增加而降低。这与彭斌等<sup>[11]</sup>的研究结果一致。有效穗数最多的是 A3RCF3 处理,达到了 37.39 万/667 m<sup>2</sup>,A1CK0 处理最低,只有 20.10 万/667 m<sup>2</sup>;每穗颖花数(穗总粒数)、实粒数和结实率最高的是 A1RPQ4 处理,分别为 132.43 粒、116 粒和 87.48%,和实际产量位次一致。

2.2 直播稻产量与产量构成因素之间的相关关系

从表 2 可以看出,每穗颖花数与每穗实粒数之间呈极显著的正相关关系,与单位面积颖花量、实际产量之间呈显著正相关关系;每穗实粒数与结实率、单位面积颖花量、实际产量之间呈显著正相关关系。单位面积颖花量和实际产量之间呈极显著正相关关系。因此,在形成适宜穗数的基础上提高每穗颖花量,从而增加单位面积的颖花量是提高直播稻产量的主要途径<sup>[11]</sup>。



表 3 不同施肥方式对不同密度下直播稻分蘖的影响

处理	直播密度 (万/667 m <sup>2</sup> )	施氮量 (kg/667 m <sup>2</sup> )	高峰苗数 (万/667 m <sup>2</sup> )	高峰苗到达时间 (d)	成穗率 (%)	分蘖速率 (10 <sup>3</sup> /667 m <sup>2</sup> ·d)
A1CK0	2	0	24.03	62.0	83.67	3.88
A1RCF1		12	35.61	55.0	70.03	6.47
A1RCF2		17	37.04	55.0	76.86	6.73
A1RCF3		22	40.46	62.0	73.76	6.53
A1RPQ4		22	28.72	62.0	89.39	4.63
		平均值	33.17	59.2	78.74	5.65
A2CK0	6	0	28.21	55.0	76.45	5.13
A2RCF1		12	39.49	55.0	71.68	7.18
A2RCF2		17	45.71	55.0	68.37	8.31
A2RCF3		22	48.57	55.0	67.17	8.83
A2RPQ4		22	37.60	55.0	76.34	6.84
		平均值	39.91	55.0	72.00	7.26
A3CK0	10	0	33.26	62.0	76.59	5.36
A3RCF1		12	46.27	55.0	71.21	8.41
A3RCF2		17	48.06	55.0	71.88	8.74
A3RCF3		22	58.51	55.0	63.96	10.64
A3RPQ4		22	41.99	55.0	81.18	7.63
		平均值	45.62	56.4	72.96	8.16

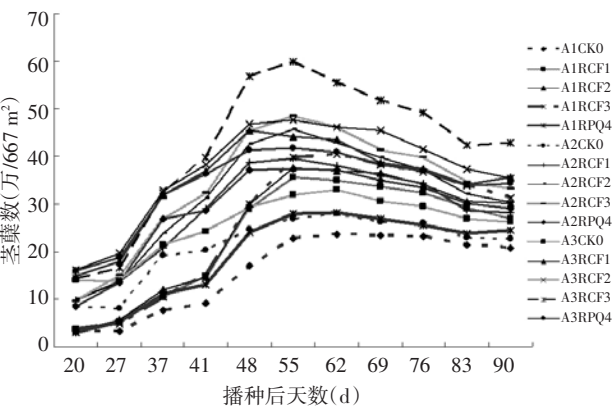


图 1 不同处理间的茎蘖动态变化

2.3 不同施肥方式对不同密度下直播稻群体茎蘖动态的影响

如图 1 所示,不施肥空白处理 CK0 茎蘖数明显低于各施肥处理。随着水稻生育进程的推进,水稻的茎蘖数呈现“S”型曲线,即以拔节期(播种后 55 d 左右)为拐点,呈现先增加后迅速下降的趋势。

由图 1 和表 3 可以看出,当直播密度相同时,增加施 N 量能够同时提高直播稻高峰苗数、分蘖速率。在施控释肥处理中,随着控释肥用量的增加,直播稻分蘖增加和群体快速发育,同时高峰苗数也增加,但是其后期分蘖消亡较快,成穗率反而较低,整个生育期茎蘖动态变化幅度大;施 N 量相同时,单位面积水稻高峰苗数随基本苗的增加而提高,A3RCF3 处理的高峰苗数最高,

达到了 58.51 万/667 m<sup>2</sup>。相对于控释肥一次性基施而言,分次施肥处理的高峰苗数增长较为平缓。赵锋等<sup>[12]</sup>研究认为,适当降低基肥和分蘖肥的用量,将氮肥的施用时间适当向后移,水稻群体的茎蘖动态变化会相对平稳,群体结构也比较合理,有效分蘖高即成穗率高,从而保证了稻穗的更好发育,有助于产量的提高。本研究中,产量最高的是分次施肥处理 A1RPQ4,其在整个生育期中茎蘖动态变化最为平缓,表明其有效分蘖率高,后期死亡分蘖较少,成穗率高。

2.4 不同施肥方式对不同密度下直播稻结实期群体质量的影响

2.4.1 对结实期群体光合物质积累的影响

由表 4 可以看出,抽穗期和成熟期干物质质量最高的是 A1RCF3 处理,不施肥的空白对照(CK0)最低。抽穗期至成熟期总干物质积累量最大的是 A2RPQ4 处理,和实际产量结果表现一致,为 705.88 kg/667 m<sup>2</sup>,比 A1CK0 处理的总干物质积累量极显著增加。说明直播密度相同时,抽穗至成熟期总干物质积累量、群体生长率都随着施 N 量的增加而提高,在同样施 N 肥 22 kg/667 m<sup>2</sup> 的情况下,分次施肥处理的总干物质积累量要高于控释肥一次性基施的处理;群体生长速率两者无显著差异。表明抽穗至成熟期的干物质积累量和产量呈极显著相关,产量主要决定于结实期的群体光合物质积累量<sup>[13]</sup>。

2.4.2 对群体叶面积和群体粒/叶比的影响

表 4 直播稻抽穗期至成熟期总干物质积累量

处理	直播密度 (万/667 m <sup>2</sup> )	施氮量 (kg/667 m <sup>2</sup> )	抽穗期干物质量 (kg/667 m <sup>2</sup> )	成熟期干物质量 (kg/667 m <sup>2</sup> )	抽穗-成熟期总干物质积累量 (kg/667 m <sup>2</sup> )	抽穗-收获群体生长率 [g/(m <sup>2</sup> ·d)]
A1CK0	2	0	641.60 cB	1 118.10 cC	476.50 bA	12.43 b
A1RCF1		12	794.82 bA	1 279.93 bBC	485.11 bA	14.82 ab
A1RCF2		17	850.43 abA	1 394.93 abAB	544.50 abA	19.99 ab
A1RCF3		22	931.01 aA	1504.78 aA	573.75 abA	20.47 a
A1RPQ4		22	609.63 cB	1 315.52 bB	705.88 aA	20.39 a
		平均值	765.50	1 322.65	557.15	17.62
A2CK0	6	0	547.39 cC	1 014.52 bB	467.13 aA	15.87 a
A2RCF1		12	688.03 bABC	1 268.92 aA	580.89 aA	18.20 a
A2RCF2		17	866.68 aA	1 331.50 aA	464.82 aA	17.69 a
A2RCF3		22	840.56 aAB	1 399.18 aA	558.62 aA	19.64 a
A2RPQ4		22	662.42 bcBC	1 308.54 aA	646.13 aA	18.33 a
		平均值	721.02	1 264.53	543.52	17.95
A3CK0	10	0	566.44 cB	1 033.23 bB	466.79 bA	16.77 a
A3RCF1		12	741.93 abAB	1 312.11 aA	570.18 abA	17.15 a
A3RCF2		17	767.78 abAB	1 372.14 aA	604.36 abA	18.93 a
A3RCF3		22	879.50 aA	1 468.73 aA	589.23 abA	19.56 a
A3RPQ4		22	794.01 bcAB	1 393.91 aA	689.90 aA	19.88 a
		平均值	731.93	1 316.02	584.09	18.46
	F 值	A	0.97	0.34	0.33	0.07
		B	13.88**	23.37**	2.68	2.19
		A×B	0.76	0.66	0.78	0.43

表 5 直播稻群体叶面积和群体粒/叶比

处理	直播密度 (万/667 m <sup>2</sup> )	施氮量 (kg/667 m <sup>2</sup> )	叶面积 (万 cm <sup>2</sup> /667 m <sup>2</sup> )	总颖花数 (万/667 m <sup>2</sup> )	颖花/叶 (朵/cm <sup>2</sup> )	实粒/叶 (粒/cm <sup>2</sup> )	粒质量/叶 (mg/cm <sup>2</sup> )
A1CK0	2	0	2 325.80 dD	2 296.71 dC	0.97 abAB	0.60 aA	21.41 bB
A1RCF1		12	4 596.98 bBC	2 977.25 cB	0.85 bcB	0.38 bB	13.23 cC
A1RCF2		17	4 345.36 abAB	3 364.62 bA	0.75 cB	0.29 bB	14.57 cC
A1RCF3		22	5 847.35 aA	3 710.49 aA	0.76 cB	0.33 bB	14.08 cC
A1RPQ4		22(分次施)	3 046.18 cCD	3 530.17 abA	1.12 aA	0.56 aA	28.23 aA
		平均值	4 032.34	3 087.27	0.89	0.44	18.31
A2CK0	6	0	2 407.10 cC	2 227.51 dC	1.07 aA	0.60 Aa	19.28 aA
A2RCF1		12	3 704.01 bB	2 642.01 cB	0.80 bAB	0.34 cBC	14.51 bB
A2RCF2		17	4 744.27 aA	3 033.19 bB	0.63 bB	0.24 cC	12.84 bB
A2RCF3		22	4 692.28 Aa	3 434.37 aA	0.71 bB	0.27 cC	14.98 bB
A2RPQ4		22(分次施)	3 703.68 bB	3 597.65 aA	1.03 aA	0.45 bB	21.78 aA
		平均值	3 850.27	2 973.46	0.85	0.38	16.68
A3CK0	10	0	2 696.78 cC	2 049.57 bB	0.86 aA	0.44 aA	17.89 aA
A3RCF1		12	4 151.61 bB	2 503.77 aA	0.64 abA	0.23 bB	12.68 Bb
A3RCF2		17	4 345.11 abAB	3 228.33 aA	0.743 abA	0.24 bB	14.77 Bab
A3RCF3		22	5 135.94 aA	3 139.62 aA	0.598 bA	0.19 bB	12.547 bB
A3RPQ4		22(分次施)	4 377.69 bAB	3 203.28 aA	0.82 abA	0.27 bB	15.41 abAB
		平均值	4 141.43	2 953.71	0.73	0.28	14.66
	F 值	A	1.84	8.02*	5.75	28.88**	12.99*
		B	23.57**	51.62**	7.62**	23.66**	32.63**
		A×B	0.58	1.11	0.73	1.14	5.69**

从表 5 可以看出,A1CK0 处理的叶面积和总颖花数最低;当直播密度相同时,施用控释肥的处理群体叶面积和总颖花数都随着施氮量的增加而增加。在同样施 N 肥 22 kg/667 m<sup>2</sup> 的情况下,控释肥一次性基施的

处理群体叶面积和总颖花数均高于分次施肥处理。其中,群体叶面积差异显著,总颖花数差异不显著。A1RPQ4 处理的群体叶面积和总颖花数虽不是最大的,但因为群体结构比较合理,有效分蘖高即成穗率

高,从而保证了稻穗的更好发育,群体实粒数较高,使得整个群体的颖花/叶比、粒质量/叶比最大,分别达到了 1.12 朵/cm<sup>2</sup> 和 28.23 mg/cm<sup>2</sup>,实粒/叶比也比较高,达到了 0.56 粒/cm<sup>2</sup>,所以产量高。

### 3 讨论

控释肥是一类通过对肥料改型改性限制养分快速释放,延长养分有效供应期的肥料。不同改型改性技术,控释肥的养分释放速率、供应强度均不相同,从而直接影响到作物的形态发育与产量特征。大量研究<sup>[14-15]</sup>表明,控释肥可以提高水稻的产量,同时还可以提高肥料的利用率,减少施肥量和环境污染。谢春生等<sup>[16]</sup>研究表明,控释材料的选用至关重要,该类材料对养分的控制在水稻移栽初期不能过于严密,否则易导致分蘖不足,成穗数少,出现严重减产问题。同时,控释材料对养分的控制又要能满足水稻本田期对养分的需求,否则将导致后期营养供应不足,出现早衰减产现象。本试验的研究结果表明,直播稻在不同密度下,所有控释肥一次性基施处理和分次施肥处理都比不施肥的空白对照(CK0)增产,且增产幅度大,为 26.43%~48.69%。从产量方差分析的结果来看,直播稻不同直播密度处理间产量差异极显著( $F=29.97^{**}$ );不同施 N 量处理间产量差异极显著( $F=58.12^{**}$ );不同密度、肥料互作同样极显著( $F=2.50^{**}$ )。当直播密度相同时,所有以精确定量栽培技术为核心的分次施肥处理都比控释肥一次性基施的组合和空白对照增产,增产幅度较大。其中,A1RPQ4 处理的实际产量最高,达到了 875.14 kg/667 m<sup>2</sup>,与实际产量排名第 2 的控释肥一次性基施处理 A1RCF3 产量差异显著。邢晓鸣等<sup>[17]</sup>认为,缓控释肥肥力释放速率受肥料类型和包膜种类以及外界环境的影响,温度是外界环境中影响缓控释肥释放速率的主要因素。本试验研究中,控释肥一次性基施处理出现了养分释放较快,后期供肥不足,叶片早衰的现象。这可能与控释肥选用的控释材料有关,也可能与一次性施用控释肥基施时的气温较高有关,导致控释肥养分释放加快,致使直播稻生长前、中期吸氮量显著大于分次施肥处理,无效分蘖增多,后期分蘖消亡较快,整个生育期茎蘖动态变化幅度大,成穗率较低,后期供肥不足,叶片早衰,反而不利于籽粒的形成。

科学合理的肥料施用是获取直播稻高产的重要栽培措施,其关键是通过协调群体和个体生长,实现增穗、增粒、增重和高产<sup>[18]</sup>。程慧等<sup>[19]</sup>认为,直播稻前期分

蘖早而快,养分消耗多,需要适当多施肥;中期易产生群体过大的现象,故需要适当控制施肥;后期早衰倾向较移栽稻明显,故需适当补肥。本试验研究中,以精确定量栽培技术为核心的分次施肥方法,采取“前促、中控、后补”的施肥原则,在施足底肥的基础上,少施分蘖肥,后期施好促花肥和保花肥,总体把握平衡施肥,肥力释放均匀,能满足直播稻各时期生长需求,更有利于高产形成;整个生育期中群体茎蘖消长动态最为平稳,群体结构合理,保证了稻穗的更好发育,致使群体总粒数、实粒数、成穗率最高;抽穗期至成熟期的干物质积累量大,整个群体的颖花/叶比、粒质量/叶比高。

周昌宇等<sup>[20]</sup>认为,直播稻分蘖早、节位低,早发优势明显,宜以多穗增产。陆峥嵘等<sup>[21]</sup>指出,降低直播稻密度有利于优化群体结构,增加后期光合能力,提高光合积累从而有利于高产。吴桂成等<sup>[22-23]</sup>认为,水稻进一步提高产量的主要技术手段是在稳定千粒重和结实率的基础上,提高颖花量,即颖花量是制约产量提高的主要因素。本研究结果和前人的报道<sup>[21-23]</sup>一致,水稻品种云梗 41 适宜的直播密度是 2 万/667 m<sup>2</sup> 基本苗,产量的主要限制因子是单位面积颖花量,而提高单位面积颖花量的技术关键是协调好穗数与粒数之间的矛盾,二者不可偏废。在形成适宜穗数的基础上,提高每穗总粒数和实粒数,即提高单位面积颖花量是提高直播稻产量的主要途径。

### 4 结论

符建荣等<sup>[24]</sup>研究表明,当控释肥与速效肥按 1:1 比例配施时,稻谷产量与全部施用控释肥的处理无显著差异。因此,探索适宜的控释肥和速效肥掺混比例和施用方法,降低肥料成本和提高肥料利用率,是一次性控释肥应用研究的重要课题。

在当前云南省直播稻生产的施氮水平下,水稻品种云梗 41 要获得高产,适宜的基本苗数为 2 万/667 m<sup>2</sup>,合理的施肥方式是以精确定量栽培技术为核心的分次施肥,即施氮量为 22 kg/667 m<sup>2</sup>,其中基肥占 30%，“断奶肥”(1 叶 1 心期施)占 10%,分蘖肥(2 叶 1 心期施)占 10%,穗肥占 50%,另施过磷酸钙 50 kg/667 m<sup>2</sup>、硫酸钾 20 kg/667 m<sup>2</sup>,其中磷肥作基肥一次性施用,钾肥作底肥和促花肥各施 50%。

#### 参考文献

- [1] 张洪程,龚金龙. 中国水稻种植机械化高产农艺研究现状及发展探讨[J]. 中国农业科学, 2014, 47(7): 1 273-1 289.

- [2] 吴文革,陈烨,钱银飞,等. 水稻直播栽培的发展概况与研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2006, 8(4): 32-36.
- [3] 霍中洋,姚义,张洪程,等. 播期对直播稻光合物质生产特征的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(13): 2 592-2 606.
- [4] 霍中洋,姚义,张洪程,等. 不同播期直播稻氮素吸收?利用效率的差异[J]. 扬州大学学报:农业与生命科学版, 2012, 33(4): 39-45.
- [5] 霍中洋,李杰,张洪程,等. 不同种植方式下水稻氮素吸收利用的特性[J]. 作物学报, 2012, 38(10): 1 908-1 919.
- [6] 倪竹如,陈俊伟,阮美颖. 氮肥不同施用技术对直播水稻氮素吸收及其产量形成的影响[J]. 核农学报, 2003, 17(2): 123-126.
- [7] Fageria N K, Baligar V C, Jones C A. Growth and mineral nutrition of field crops [M]. 2nd ed. Marcel Dekkar, New York, 1997.
- [8] 丁华萍,陈斌,吉训风,等. 氮肥运筹对机插水稻产量、效益及肥料利用率的影响[J]. 中国稻米, 2014, 20(1): 92-93.
- [9] 梁邦. 缓/控释肥料的研究现状和发展趋势[J]. 农村经济与科技, 2013, 24(5): 77-80.
- [10] 罗来君,宋光锋,严亚东,等. 密度和肥料对水直播稻产量构成因素及产量的影响试验[J]. 现代农业科技, 2009(10): 125-128.
- [11] 彭斌,王国忠,陆峥嵘,等. 肥料密度对直播水稻“武运梗 8 号”产量及构成因素的影响[J]. 江苏农业学报, 2003, 19(3): 157-162.
- [12] 赵锋,程建平,张国忠,等. 氮肥运筹和秸秆还田对直播稻氮素利用和产量的影响[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(18): 3 701-3 704.
- [13] 凌启鸿,张洪程,丁艳锋,等. 水稻精确定量栽培理论与技术[M]. 北京:中国农业出版社, 2007.
- [14] Peng Y, Sun Y J, Jiang M J, et al. Effects of water management and slow/controlled release nitrogen fertilizer on biomass and nitrogen accumulation, translocation, and distribution in rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(5): 859-870.
- [15] 唐拴虎,谢春生,孙小文,等. 水稻施用控释肥料生长效应研究[J]. 中国农学通报, 2004, 20(2): 149-151.
- [16] 谢春生,唐拴虎,徐培志. 一次性使用控释肥对水稻植株生长及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 177-182.
- [17] 邢志鸣,李小春,丁艳锋,等. 缓控释肥组配对机插常规粳稻群体物质生产和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(24): 4 892-4 902.
- [18] 陈志德,王才林,赵凌,等. 日本直播稻的发展及启示[J]. 中国稻米, 2010, 16(4): 37-39.
- [19] 程慧, 荣常凯. 水稻旱直播施肥技术 [J]. 现代农业科技, 2007(15): 148.
- [20] 周昌宇,吴庆法. 水稻直播的应用效果、生育特性及高产栽培技术[J]. 浙江农业科学, 1998(4): 151-153.
- [21] 陆峥嵘, 王国忠. 密度对直播稻产量及群体质量的调节效应[J]. 上海农业学报, 1999, 15(2): 61-64.
- [22] 吴桂成,张洪程,钱银飞,等. 粳型超级稻产量构成因素协同规律及超高产特征的研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(2): 266-276.
- [23] 张洪程,吴桂成,吴文革,等. 水稻“精苗稳前、控蘖优中、大穗强后”超高产定量化栽培模式 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(13): 2 645-2 660.
- [24] Fu J R, Zhu Y H, Jiang L N. Use of controlled release fertilizer for increasing N efficiency on direct seeding rice [J]. *Pedosphere*, 2001, 11(4): 333-339.

## Effects of Different Fertilization Methods on Yield and Photosynthetic Material Production of Direct Seeding Rice at Different Densities

DENG Anfeng<sup>1</sup>, YANG Congdang<sup>1\*</sup>, CHEN Qinghua<sup>2</sup>, SHI Yun<sup>2</sup>, CHEN Yuekai<sup>2</sup>, LI Congying<sup>2</sup>, XU Shilin<sup>2</sup>, MAO Guixiang<sup>2</sup>, LI Guiyong<sup>1</sup>, XIA Qiongmei<sup>1</sup>, ZHU Haiping<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Food Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650201, China; <sup>2</sup> Agricultural Technology Extension Center of Yiliang County, Yiliang, Yunnan 652100, China; 1st author: kevin4248@126.com; \*Corresponding author: yangcd2005@163.com)

**Abstract:** A split plot design with two factors was used to study the effects of different densities and fertilization method on Yield and its components and photosynthetic matter accumulation, using conventional *japonica* rice variety Yungeng 41 as material. The results showed that: (1) Under the different fertilization methods, in the same density, the yields were increased with the increasing of nitrogen fertilizer, the yields of split fertilization were significantly higher than that of controlled release fertilization and the control; at the same N level, the yields were decreased with the increasing of density. (2) Under the controlled release fertilization, in the same density, the effective panicles and grains per panicle were increased with the increasing of nitrogen fertilizer significantly; at the same N level, the effective panicles were increased with the increasing of density, but the grains per panicle were opposite. There are significantly positive relationship between spikelet number per unit area and the yield. Increasing the spikelets per panicle based on suitable panicle number, thus could increase the spikelet number per unit area, which is the main way to improve rice yield. (3) In the same density, the total dry matter accumulation from heading to maturity, the population growth rate, leaf areas and total spikelets were increased with the amount of nitrogen. In this paper, the population structure of A1RPQ4 treatment was better than the other treatments, it had stable dynamics of tillers, higher total dry matter accumulation from heading to maturity, higher spikelet/leaf ratio, grain weight/leaf ratio, and the yield reached 875.14 kg/667 m<sup>2</sup>.

**Key words:** direct seeding rice; fertilization method; density; yield; population; dry matter production