

播种和施肥方式对直播稻分蘖特性和产量的影响

许 炜 孙志贵 田贺培 张运波 卢碧林

主要粮食作物产业化湖北省协同创新中心/长江大学农学院,荆州 434025

摘要 为研究不同播种和施肥方式下直播水稻分蘖特征和产量状况,以全两优 681、荃优华占和黄华占为试验材料,在江汉平原稻麦两熟制耕作制度下,设置 2 种播种方式(机械直播和人工撒播)和施肥方式(4 次施肥和 3 次施肥),研究了直播稻成蘖和成穗特征及产量表现。结果显示:各处理一次分蘖成蘖主要叶位为 1/0 至 6/0,3/0 至 6/0 叶位的成蘖率较高,二次分蘖叶位为 2/1、3/1 和 2/2,3/1 叶位成蘖率最高;2/0 到 5/0 叶位是一次分蘖成穗优势叶位,2/1 和 3/1 是二次分蘖的主要成穗叶位;一、二次分蘖成蘖和成穗率方面,机械直播稻高于人工撒播稻,4 次施肥直播稻高于 3 次施肥直播稻;各处理不同时期干物质积累量和净干物质积累量趋势一致,机械直播稻高于人工撒播稻,4 次施肥直播稻高于 3 次施肥直播稻;分蘖至拔节期各处理叶绿素呈下降趋势,机械直播稻高于人工撒播稻,4 次施肥高于 3 次施肥;机械直播稻和 4 次施肥直播稻的穗部性状优于人工撒播稻和 3 次施肥直播稻;从产量及其构成要素来看,各处理产量差异达极显著水平。机械直播稻产量显著高于人工撒播稻,4 次施肥的直播稻产量显著高于 3 次施肥的直播稻,除了有效穗数外,其他构成要素趋势与产量表现基本一致。综上,不同播种和施肥方式下,直播稻分蘖特性存在明显差异,机械直播稻和 4 次施肥下的直播稻的一、二次分蘖成穗率高,叶片叶绿素含量较高,干物质积累量大,穗部性状占优势,产量高。

关键词 直播水稻;播种方式;施肥方式;分蘖;产量

中图分类号 S 511.504.8 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)03-0001-09

由于社会经济的发展和用工成本的增加,传统水稻种植模式发生变革,轻简化的水稻直播生产成为我国南方稻区水稻的主要生产方式之一^[1]。长期以来,直播稻难以稳产高产^[2],而分蘖发生和成穗特征直接影响直播稻产量。不同播种方式和施肥方式对水稻分蘖和产量有显著的影响^[3]。前人研究认为,手插稻和机插稻不同次级叶位分蘖和成穗特征明显不同^[4];而直播水稻分蘖特性与两者有明显差异^[5-6]:分蘖发生早且发生叶位低,无效分蘖多,成穗率低^[7]。其中,机械直播水稻分蘖发生率因叶位存在明显差异^[8];人工撒播稻因播种的无序性,导致群体通风透光差,易发生病虫害和倒伏,产量较低^[9-11]。另外,施肥方式对水稻产量影响很大:氮肥后移和追肥次数增加可提高直播稻产量^[12-13]。在生产中,直播稻常因氮肥施用不当,导致群体前期生长过旺^[14],后期穗粒结构失调,有效穗、千粒重和实粒数下降^[15]。上述研究大多在单一栽培或施肥方式下进行的,关于播种和施肥方式对直播稻分蘖特性

和产量影响的研究较少。

长江流域北部水稻种植区水稻直播发展迅速,研究适应本区域的直播稻高产栽培模式成为必然趋势。本研究以全两优 681、荃优华占和黄华占为试验材料,在江汉平原稻麦两熟耕作制度下开展直播中稻不同播种和施肥方式试验,以期探明其分蘖的发生特点和成穗规律,为区域直播稻生产提供理论指导和科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点与供试品种

供试品种为杂交中稻全两优 681、荃优华占和常规稻黄华占。其中全两优 681 和荃优华占由湖北荃银高科种业公司提供,黄华占由湖北种子集团提供。试验于 2016 年 5 月至 10 月在华中农高区科技园进行,该区位置东经 111°15'~114°05',北纬 29°26'~31°37'。前茬是小麦,土壤肥力中等(总氮 1.253 g/kg、全磷 0.482 1 g/kg、全钾 22.23.g/kg、速

收稿日期:2017-06-16

基金项目:国家重点研发计划专项(2017YFD030140404)

许 炜,硕士研究生。研究方向:作物机械化栽培技术。E-mail: 951256002@qq.com

通信作者:卢碧林,教授。研究方向:作物机械化栽培技术。E-mail: blin9921@sina.com

效磷 12.210 mg/kg、氨氮 9.275 mg/kg、硝酸盐氮 4.874 mg/kg、碱解氮 62.315 mg/kg)。

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,施肥方式为主区,采用 2 种施肥方式:4 次施肥(基肥:苗肥:蘖肥:穗肥=5:2:2:1,记为 1)和 3 次施肥(基肥:蘖肥:穗肥=5:4:1,记为 2);播种方式为裂区,有机械直播(记为 MS)和人工撒播(记为 BS)2 种,机械直播株行距为 30 cm×16 cm,2 种播种方式播量一致,常规稻播量为 45 kg/hm²,杂交稻播量为 337.5 kg/hm²。总施纯氮量为 180 kg/hm²,肥料由湖北三宁化工股份有限公司生产。基肥使用 $m_{\text{氮}}:m_{\text{磷}}:m_{\text{钾}}=16:16:16$ 的复合肥,随整地翻耕一次性施入。分蘖肥和穗肥使用含氮量 46% 的尿素,3 次施用的分蘖肥和穗肥分别于 5 叶 1 心和幼穗分化 3 期时施用;4 次施用的分蘖肥和穗肥分别在 3 叶 1 心、5 叶 1 心和幼穗分化 3 期时施用。 $m_{\text{氮}}:m_{\text{磷}}:m_{\text{钾}}=1:0.5:0.5$,磷肥一次性基施,钾肥分别于基肥、拔节期等量施入。每小区面积 20 m²,设置 3 次重复,播种期为 2016 年 5 月 28 日。水分管理及病虫害防治等相关的栽培措施均按照当地直播稻管理方式进行。

1.3 分析测试方法

1) 茎蘖发生和成穗调查。水稻 3 叶期,每小区选择长势一致连续 10 株水稻,并且用红色印泥标记出第 3 片叶,每个主茎和分蘖挂牌,注明分蘖次级和叶位,自 4 叶 1 心起,每隔 3 d 调查 1 次。成熟期对标记的植株按单株收获,计算各叶位发生率和分蘖位成穗率。用 X/0 标记叶位,X/0 分蘖指着生在主茎第 X 叶位上的一次分蘖,X/1 分蘖指主茎第 X 叶位一次分蘖的第 1 叶位上的二次分蘖,依此类推。

$$\text{叶位分蘖发生率} = \frac{\text{该蘖位分蘖实际发生数量}}{\text{观察株数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{蘖位分蘖成穗率} = \frac{\text{该蘖位分蘖成穗数}}{\text{分蘖实际发生数}} \times 100\% \quad (2)$$

2) 干物质测定。分别于分蘖中期(有效分蘖临界叶龄期)、拔节期、齐穗期和成熟期进行。每小区取 0.3 m×0.3 m 的植株,3 次重复。洗净泥沙记录茎蘖数,然后剪去根,按叶、茎+鞘、穗分开,于 105 ℃ 杀青 20 min,然后于 80 ℃ 下烘 48 h 以上冷却至恒温称干物质质量。

3) 叶绿素含量测定。采用丙酮乙醇混合提取法测定^[16]。除成熟期外,于前 3 个时期每个小区取具有代表性的植株功能叶片,除去叶脉部分,测定其叶绿素含量(鲜质量),3 次重复。

4) 测产与考种。成熟期按小区单独收获,风干脱粒,去除杂质,计算千粒重、有效穗、结实率。每个小区各取 5 穴考种,测定穗长、一次枝梗数、二次枝梗数等穗部性状。

采用 DPS 9.5 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同播种和施肥方式下直播水稻的分蘖发生叶位与成穗特征

不同播种和施肥方式下,直播水稻分蘖发生特征有较明显的差异(表 1)。直播水稻分蘖发生蘖位都较低,各处理一、二次分蘖发生率均表现为机械直播稻高于人工撒播稻,4 次施肥方式直播稻高于 3 次施肥方式。从播种方式来看,机械直播稻的一次分蘖发生的叶位均是 1~6 叶,以 3/0 和 4/0 叶位发生率最高;二次分蘖叶位有 6 个,发生叶位主要为 2/1、3/1 和 2/2,成蘖率均超过了 50%,以 3/1 发生率最高,高于人工撒播稻的成蘖率。人工撒播稻的二次分蘖在品种间存在差异,杂交稻全两优 681 和荃优华中占中人工撒播在 1/1、1/2 和 1/3 叶位均未发生分蘖,分蘖发生叶位有 3 个,常规稻黄华占的二次分蘖发生叶位共 6 个。从施肥方式看,一次分蘖以 3/0 到 6/0 叶位发生率最高,均超过了 46%;二次分蘖以 3/1 叶位发生率最高,均不低于 40%,为优势叶位,而其他叶位发生率相对较低;2 个杂交稻品种的一次分蘖发生率高于常规稻品种,二次分蘖发生率则相反。

直播水稻成穗叶位及成穗率见表 2。从表 2 可以看出,一、二次分蘖成穗率表现出与分蘖发生率同样的特征:机械直播稻高于人工撒播,4 次施肥方式高于 3 次施肥方式,同时二次分蘖成穗率明显低于一次分蘖成穗率。各处理的一次分蘖以 3/0、4/0 叶位成穗率最高,二次分蘖以 3/1 叶位的成穗率最高。分蘖成穗率在品种间存在差异,一次分蘖成穗率以全两优 681 最高,黄华占次之,荃优华中占最低;二次分蘖成穗率以黄华占最高,其次为全两优 681,荃优华中占最低。

表 1 水稻分蘖发生叶位及发生率
Table 1 Characteristics of rice leaf position and rate of emerging tillers

叶位 Leaf position	全两优 681 Quanliangyou 681				茎优华占 Quanyouhuazhan				黄华占 Huanghuazhan				平均 Mean			
	MS1	MS2	ASI	AS2	MS1	MS2	ASI	AS2	MS1	MS2	ASI	AS2	MS1	MS2	ASI	AS2
1/0	80.0	70.0	60.0	50.0	80.0	70.0	40.0	30.0	70.0	60.0	50.0	30.0	76.7	66.7	50.0	36.7
2/0	70.0	60.0	50.0	40.0	80.0	70.0	60.0	50.0	70.0	60.0	50.0	40.0	73.3	63.3	53.3	43.3
3/0	100.0	100.0	60.0	50.0	100.0	100.0	80.0	70.0	100.0	100.0	60.0	50.0	100.0	100.0	66.7	56.7
4/0	100.0	100.0	70.0	60.0	100.0	100.0	70.0	60.0	100.0	100.0	70.0	60.0	100.0	100.0	70.0	60.0
5/0	80.0	70.0	60.0	50.0	80.0	70.0	60.0	50.0	80.0	70.0	60.0	50.0	83.3	70.0	60.0	50.0
6/0	80.0	70.0	60.0	50.0	80.0	70.0	60.0	50.0	70.0	60.0	50.0	40.0	76.7	66.7	56.7	46.7
1/1	60.0	50.0	0.0	0.0	70.0	60.0	0.0	0.0	60.0	40.0	30.0	20.0	63.3	50.0	10.0	6.7
2/1	50.0	40.0	30.0	20.0	60.0	50.0	40.0	30.0	70.0	50.0	40.0	30.0	60.0	46.7	36.7	26.7
3/1	80.0	70.0	60.0	50.0	60.0	50.0	40.0	30.0	70.0	60.0	50.0	40.0	70.0	60.0	50.0	40.0
1/2	20.0	20.0	0.0	0.0	60.0	50.0	0.0	0.0	50.0	50.0	30.0	20.0	43.3	40.0	10.0	6.7
2/2	60.0	50.0	10.0	10.0	50.0	30.0	20.0	10.0	60.0	40.0	30.0	20.0	56.7	40.0	20.0	13.3
1/3	30.0	20.0	0.0	0.0	30.0	20.0	0.0	0.0	40.0	30.0	20.0	10.0	33.3	23.3	6.7	3.3

注: MS 表示机械直播, AS 表示人工撒播, 其后数字 1 表示施肥比例为 5 : 2 : 2 : 1, 2 表示施肥比例为 5 : 4 : 1; 下同。Note: MS: Mechanical seeding; AS: Artificial seeding; Number 1 and 2 following MS and AS indicate fertilizer proportion of 5 : 2 : 2 : 1 and 5 : 4 : 1.

表 2 水稻分蘖成穗叶位及成穗率
Table 2 Panicles leaf position of and panicle rate of rice

叶位 Leaf position	全两优 681 Quanliangyou 681				茎优华占 Quanyouhuazhan				黄华占 Huanghuazhan				平均 Mean			
	MS1	MS2	ASI	AS2	MS1	MS2	ASI	AS2	MS1	MS2	ASI	AS2	MS1	MS2	ASI	AS2
1/0	62.5	57.1	50.0	40.0	60.0	50.0	28.6	0.0	57.1	50.0	33.3	20.0	59.9	52.4	37.3	20.0
2/0	85.7	80.0	75.0	50.0	62.5	57.1	50.0	42.9	85.7	83.3	80.0	75.0	78.0	73.5	68.3	56.0
3/0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
4/0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
5/0	85.7	62.5	60.0	50.0	85.7	77.8	60.0	50.0	87.5	75.0	66.7	62.5	86.3	71.8	62.2	54.2
6/0	50.0	42.9	20.0	16.7	50.0	42.9	33.3	20.0	44.4	33.3	25.0	12.5	48.1	39.7	26.1	16.4
平均 Mean	80.7	73.8	67.5	59.5	76.4	71.3	62.0	52.2	79.1	73.6	67.5	61.7	78.7	72.9	65.7	57.8
1/1	33.3	20.0	0.0	0.0	28.6	25.0	0.0	0.0	50.0	25.0	0.0	0.0	37.3	23.3	0.0	0.0
2/1	60.0	50.0	0.0	0.0	42.9	28.6	0.0	0.0	57.1	40.0	0.0	0.0	53.3	39.5	0.0	0.0
3/1	75.0	71.4	33.3	20.0	66.7	60.0	50.0	33.3	71.4	66.7	50.0	33.3	71.0	66.0	44.4	28.9
1/2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	20.0	0.0	0.0	13.3	6.7	0.0	0.0
2/2	50.0	40.0	0.0	0.0	33.3	25.0	0.0	0.0	50.0	33.3	0.0	0.0	44.4	32.8	0.0	0.0
1/3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	33.3	0.0	0.0	16.7	11.1	0.0	0.0
平均 Mean	36.4	30.2	5.6	3.3	28.6	23.1	8.3	5.6	53.1	36.4	8.3	5.6	39.4	29.9	7.4	4.8

2.2 直播水稻干物质积累特征

水稻不同时期的群体干物质积累状况对合理的高产群体的构建以及对最终的实际产量有着非常重要的影响。表 3 为直播稻分蘖中期至成熟期的干物质、净干物质积累量状况,可以看出,分蘖中期至成熟期,机械直播稻的干物质积累量高于人工撒播稻,直播稻在 4 次施肥下的干物质积累量高于 3 次施肥下的干物质积累量。分蘖至拔节期,4 次施肥的机械直播稻干物质积累量显著大于 3 次施肥的人工撒播稻;到了齐穗期,除了黄华占,各处理机械直播稻的干物质积累量均大于人工撒播稻,差异达显著水

平。成熟期,处理间干物质积累量差异达显著水平,4 次施肥的直播稻干物质积累量显著大于 3 次施肥直播稻,机械直播稻的干物质积累量显著大于人工撒播稻。各处理净干物质积累与干物质积累量表现一致,到成熟期的干物质积累量呈明显的增加趋势,而净干物质积累量总体表现为先增加后减少,在拔节至齐穗期最大。不同品种的干物质积累特征不同,分蘖中期以荃优华占最大,其次是黄华占,全两优 681 最低;拔节期以全两优 681 最大,其次是黄华占,荃优华占最低;齐穗期以黄华占的干物质积累量和净积累量较大,其次是全两优 681,荃优华占最

表 3 不同播种和施肥方式下直播稻的干物质积累

Table 3 Dry matter accumulation under different types of seeding and fertilization

t/hm²

品种 Varieties	处理 Treatment	干物质积累量 Dry matter accumulation				净干物质积累量 Net accumulation of dry matter		
		分蘖中期 Middle tillering	拔节期 Elongation	齐穗期 Full heading	成熟期 Maturity	分蘖至拔节 Tillering to jointing	拔节至齐穗 Elongation to full heading	齐穗至成熟 Full heading to maturity
全两优 681 Quanliangyou 681	MS1	4.58de	9.27abc	16.06a	19.60a	4.70ab	6.79a	3.54a
	MS2	4.06ef	8.70bcde	14.66bc	17.75b	4.64ab	5.96ab	3.09abc
荃优华占 Quanyouhuazhan	AS1	3.79f	8.38def	13.24de	16.49c	4.59ab	4.86cdef	3.25abc
	AS2	3.49f	7.86fg	12.19ef	15.24d	4.37abc	4.33f	3.05abc
黄华占 Huanghuazhan	MS1	6.32a	9.50ab	15.23abc	17.68b	3.18de	5.73bcd	2.45abc
	MS2	5.80ab	8.54cdef	14.25cd	16.56c	2.74ef	4.91ab	2.31abc
全两优 681 Quanliangyou 681	AS1	5.52bc	7.42gh	12.23ef	14.61d	1.90fg	4.81def	2.38abc
	AS2	5.04cd	6.82h	11.52f	13.39e	1.78g	4.70ef	1.87c
荃优华占 Quanyouhuazhan	MS1	6.00ab	9.62a	15.56ab	19.04a	3.63cd	5.94ab	3.48ab
	MS2	5.54bc	9.36ab	15.21abc	17.70b	3.82bcd	5.85abc	2.50abc
黄华占 Huanghuazhan	AS1	5.49bc	9.01abcd	14.66bc	16.59c	3.52cde	5.66bcde	1.93bc
	AS2	5.05cd	8.08efg	13.27de	15.06d	3.03de	4.89bcdef	1.79c

注:同列(同时期)数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。Values in each column(same stage) followed by different letters are significant difference ($P < 0.05$).The same as follows.

小;成熟期,各品种净干物质积累均出现明显的下降,其中全两优 681 各处理的净干物质积累量最大,黄华占其次,荃优华占最小。

2.3 分蘖期至齐穗期叶绿素含量特征

主要生育期不同处理叶绿素含量的情况见图 1。各处理的直播水稻叶绿素含量均表现出下降的趋势。从施肥方式来看,在相同播种方式下,4 次施肥的直播稻叶绿素含量高于 3 次施肥,机械直播稻的叶绿素含量高于人工撒播稻。不同时期各处理的叶绿素含量差异明显。由图 1 可知,4 次施肥下的机械直播稻在分蘖期的叶绿素含量显著高于 3 次施肥的人工撒播稻;到拔节期,相同播种方式下,除全两优 681 外,各处理的 3 次、4 次施肥的直播稻叶绿素含量差异均不显著,而除了荃优华占外,4 次施肥下的机械直播稻的叶绿素含量显著高于 3 次施肥的

人工撒播稻。齐穗期,除了黄华占外,在 2 种施肥方式下,机械直播稻叶绿素含量高于人工撒播稻,差异达显著水平。3 个品种各时期的叶绿素含量差异不同。全两优 681 和黄华占的叶绿素含量在分蘖期和拔节期高于荃优华占;到了齐穗期,黄华占各处理叶绿素含量降低幅度最明显,含量均低于全两优 681 和荃优华占。

2.4 直播稻的穗部性状、产量及其构成因素特征

不同播种和施肥方式对直播稻的穗部性状的影响见表 4。3 品种各处理的着粒密度、单穗质量、一二次枝梗的枝梗数及其粒数、结实率呈现的趋势基本一致:机械直播高于人工撒播,4 次施肥方式高于 3 次施肥方式;其中各处理单穗质量差异达显著水平。各处理穗长差异不显著;品种间,黄华占和荃优华占的穗长要大于全两优 681,同品种处理间

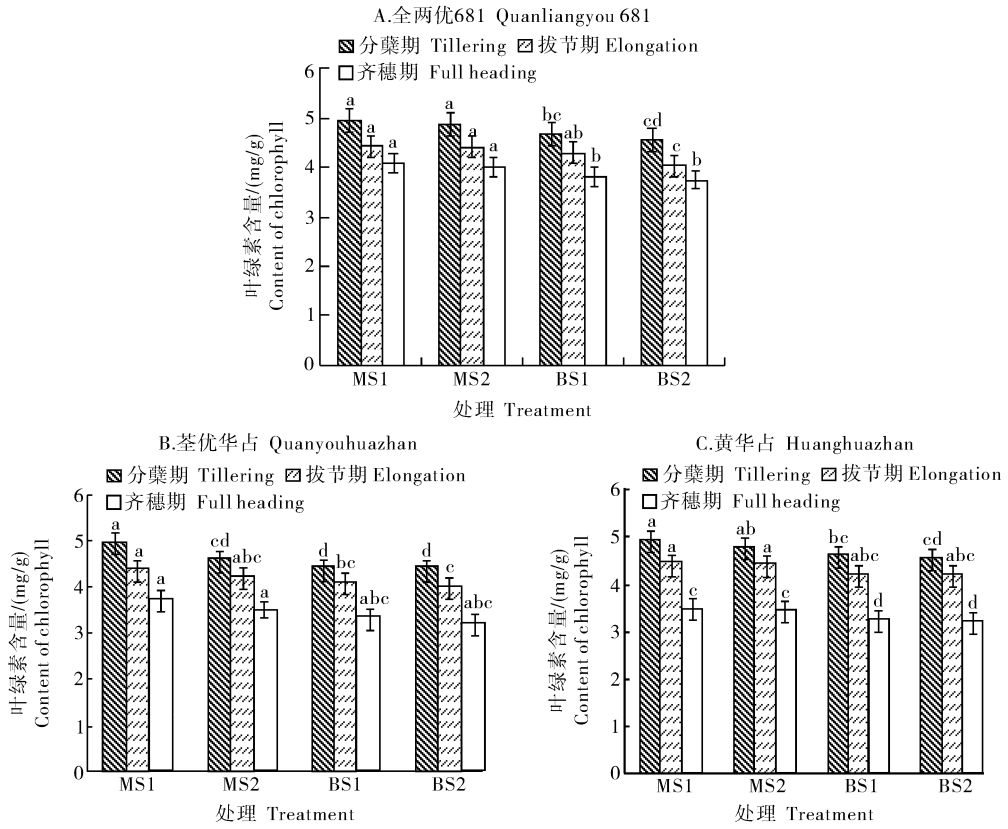


图1 不同品种主要生育期叶绿素含量

Fig.1 The chlorophyll content of different varieties during main growth period

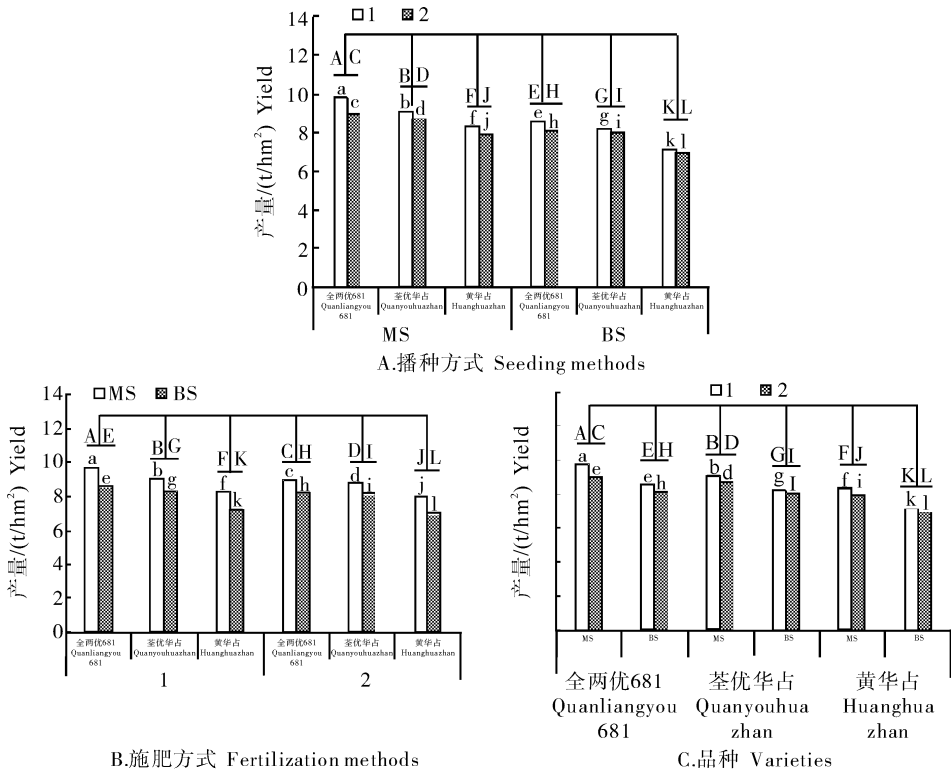


图2 不同播种、施肥方式下各品种的产量表现

Fig.2 The grain yield of different varieties under different types of seeding and fertilization

表 4 不同播种方式和施肥方式下直播稻的穗部性状

Table 4 Panicle characteristics of direct seeding rice under different types of seeding and fertilization

品种 Varieties	处理 Treatment	单穗性状 Single panicle traits				一次枝梗 Primary branches				二次枝梗 Secondary branches			
		穗长/cm Panicle length	着粒密度 Grain density	单穗质量/g Single panicle mass	一、二次枝梗数/Secondary branches/ Primary branches/branches	一、二次枝梗粒数比值 Grains of primary branches/Grains of secondary branches	枝梗数 Branches	粒数 Grains	结实率/% Seed setting rate	枝梗数 Branches	粒数 Grains	结实率/% Seed setting rate	
全两优 681 Quanliangyou 681	MS1	23.98b	6.70a	5.21a	0.33a	0.58bc	12.00abc	58.75a	91.39a	36.25cde	101.75a	84.26a	
	MS2	22.90bc	6.67a	4.75b	0.32a	0.55cd	11.00bc	54.00bc	90.51a	34.25e	98.75ab	83.50ab	
	AS1	22.73c	6.55a	3.82de	0.32a	0.55cd	10.50bc	52.50c	89.34a	33.50e	96.00ab	81.89ab	
	AS2	23.04bc	6.41ab	3.79de	0.32a	0.57c	10.25bc	53.50bc	88.25a	32.50e	94.00b	81.01b	
荃优华占 Quanyouhuazhan	MS1	23.98abc	6.45ab	5.07ab	0.31a	0.59bc	12.75ab	57.50ab	81.00b	40.75bc	97.00ab	76.96c	
	MS2	25.10a	6.03bc	4.32c	0.31a	0.57ab	12.50abc	54.75abc	79.67b	39.75bcd	96.50ab	74.69c	
	AS1	24.45ab	5.62cd	3.59a	0.29a	0.64ab	10.25c	53.25bc	81.25bc	36.00de	84.00c	71.75d	
	AS2	24.19abc	5.51d	3.51e	0.35a	0.66a	12.00abc	53.00bc	84.00b	34.50e	80.25cd	69.81b	
黄华占 Huanhuazhan	MS1	24.35abc	4.86e	4.74b	0.31a	0.54cd	14.00a	41.25d	74.25d	46.25a	77.00de	71.278b	
	MS2	24.38ab	4.61ef	4.02cd	0.32a	0.50de	13.50a	37.50de	70.09e	42.00ab	74.75de	69.75de	
	AS1	23.84abc	4.61ef	3.79a	0.31a	0.49de	12.75a	36.00ef	68.00ef	41.25b	73.75e	67.84ef	
	AS2	24.23abc	4.36f	3.59e	0.31a	0.45e	12.25abc	32.50f	64.50f	40.00bcd	73.00e	66.82f	

表 5 不同播种方式和施肥方式下直播稻产量及产量构成要素

Table 5 The grain yield and its component factors under different types of seeding and fertilization

品种 Varieties	处理 Treatment	穗实粒数 Grains per panicle		有效穗/($\times 10^4$ /hm ²) Productive panicles		产量/(t/hm ²) Yield
		千粒重/g 1000-grain weight	穗实粒数 Grains per panicle	有效穗/($\times 10^4$ /hm ²) Productive panicles	产量/(t/hm ²) Yield	
全两优 681 Quanliangyou 681	MS1	30.23a	165.51a	212.99h	9.81a	
	MS2	29.64ab	151.25c	210.98i	8.99c	
	AS1	28.80b	148.89d	209.66jj	8.54e	
	AS2	28.56b	144.16e	208.31j	8.15h	
荃优华占 Quanyouhuazhan	MS1	26.98c	154.51b	229.50e	9.09b	
	MS2	26.61cd	151.25c	228.66ef	8.74d	
	AS1	25.75de	137.34f	227.15f	8.24g	
	AS2	25.49def	133.57g	225.49g	8.06i	
黄华占 Huanhuazhan	MS1	25.06ef	119.05h	293.49a	8.32f	
	MS2	24.83ef	111.75i	289.49b	7.97j	
	AS1	24.39f	106.57j	284.32c	7.15k	
	AS2	24.50f	106.15j	280.84d	6.94l	

的穗长差异不显著;全两优 681 各处理的单穗质量,一、二次枝梗粒数,结实率最高;全两优 681 和荃优华占的一、二次枝梗粒数和一次枝梗结实率高于黄华占,差异达显著水平;品种间一、二次枝梗数比值差异不明显,而枝梗粒数比值差异明显:荃优华占最高,其次是全两优 681,黄华占最低。

不同播种和施肥方式下直播稻产量及其构成要素见表 4,可以看出,在不同处理方式下,直播稻产量及其构成要素有着明显的差异。图 2 为不同播种、施肥方式下各品种的产量表现。由图 1 可知,不同施肥方式下,各品种 4 次施肥处理产量高于 3 次施肥,差异达极显著水平。在不同播种下,机械直播产量高于人工撒播,差异达极显著水平。品种间产量差异达极显著水平,全两优 681 产量最高,其次为荃优华占,黄华占产量最低。从产量构成要素看,4 次施肥的直播稻各要素表现优于 3 次施肥的直播稻,机械直播稻则优于人工撒播稻;以穗实粒数最明显,除黄华占外,机械直播稻和 4 次施肥的直播稻的穗实粒数均高于其他处理,差异达显著水平。品种间有效穗与产量和其他构成要素表现相反,黄华占的有效穗数显著多于荃优华占和全两优 681,2 个杂交稻品种的有效穗数差异达显著水平。

3 讨 论

直播稻主茎和一次分蘖成穗对产量贡献最高,其优势叶位为主茎及一次分蘖的第 1 到第 4 叶位^[17],王美娥等^[18]的研究说明 2/0~4/0 叶位是分蘖主要叶位;顾树平等^[19]则认为在不同茎蘖肥施肥比例下,机械直播稻的 2/0~4/0 叶位是分蘖成穗的主要叶位,3/0、4/0 叶位成穗率最高。且随着基肥的增加,低叶位分蘖发生率增加,而中上部叶位分蘖发生率下降。本研究中,各处理的主茎分蘖叶位较低,一次分蘖发生叶位为 1/0~6/0,其中 3/0~6/0 叶位是成蘖的优势叶位;2/0~5/0 叶位是成穗优势叶位,其中 3/0、4/0 成穗率最高;二次分蘖方面,以 2/1、3/1 和 2/2 叶位为优势叶位,3/1 的成蘖率最高,均超过 40%,2/1 和 3/1 是二次分蘖的主要成穗叶位,但成穗率较低。本研究结果表明,中低部叶位在分蘖成穗方面具有一定优势,这与江庆生等^[20]试验结论基本一致。不同播种和施肥方式下的直播稻分蘖特性存在明显差异。主要表现为:机械直播稻、4 次施肥直播稻的主要叶位分蘖发生率和成穗率明显高于人工撒播稻、3 次施肥直播稻。从播种方式

来看,人工撒播稻由于田间分布不均匀,个体生长和群体建成关系协调不佳,加上直播稻分蘖发生早、中低位分蘖较多、前期分蘖数较多,中低叶位分蘖对生存空间的竞争加剧;而机械直播稻在田间分布较均匀,植株在垂直和横向的生存空间上的竞争较合理,在通风透光等方面表现较好,因此,中低部叶位的成蘖率和成穗率高。从施肥方式来看,3 次施肥,即追施 1 次分蘖肥的直播稻由于一次性施入全部分蘖肥,分蘖发生数量较大,竞争相对较激烈;而 4 次施肥下的直播稻,由于分蘖肥分别于叶龄为 3 叶 1 心和 5 叶 1 心施入,正是中低叶位分蘖发生时期,其分蘖发生率较高,再加上 2 次分蘖肥使得前期分蘖不是集中发生,而是具有一定时间和空间层次,这使得前期发生率较高的中低叶位分蘖竞争较小,有利于最终的成穗。

直播稻生育期缩短,对光热资源利用不充分,造成干物质积累能力较低,产量潜力难以发挥。前人研究表明,直播稻在主要生育阶段的干物质生产和积累能力不及手栽稻、机插稻等,实际产量也不同程度地低于其他栽培稻^[21-22]。程建平^[23]认为机械直播稻较人工撒播稻有明显的增产优势;许轲等^[24]则从直播方式入手,认为点播方式在产量和干物质积累的生产和积累上有显著优势。本研究认为机械直播稻产量高于人工撒播稻,并且差异达极显著水平,这与郑洪帧^[25]的研究结论基本一致;在产量构成要素上,机械直播稻均优于人工撒播稻的有效穗、穗部性状表现,这和宋春芳等^[26]的研究结论一致。在主要生育时期的干物质积累量方面,机械直播稻均表现出优势。笔者认为个体在田间分布的合理性、个体与群体协调生长是机械直播稻相比人工撒播稻更容易获得高质量群体的主要原因。另外,从施肥方式上看,前人研究多集中在不同氮肥运筹对直播稻产量的影响方面。季红娟等^[27]研究认为,氮肥运筹为基蘖肥:穗肥=6:4 的处理下,能显著提高生物产量和经济系数,从而提高直播水稻产量;蒋明金等^[28]却认为在人工撒播方式下,以氮素基肥、蘖肥和穗肥分别为 40%、10%和 50%的运筹方式使直播稻具有较好的干物质积累能力;而胡雅洁等^[29]认为,在稻麦轮作下通过提高基肥比例,促进干物质积累,提高水稻产量。谭雪明等^[30]认为机械穴直播的穗肥用量不低于 30%,在基肥:苗蘖肥:穗肥=4:3:3 的氮肥运筹方式下,有利于群体中后期干物质积累。由此可见,不同播种方式下直播稻适宜的

氮肥运筹尚没有明确的结论。本研究中,基肥:苗肥:蘖肥:穗肥=5:2:2:1的氮肥运筹模式下,直播稻产量要显著高于施肥比例为5:4:1的直播稻。这与侯文峰等^[31]的研究结果不一致,他认为氮肥分3次施用有利于提高产量。本研究中4次施肥的直播稻的干物质积累、产量及其构成要素相比3次施肥更具优势,主要是由于分蘖肥分2次施用,避免了前期分蘖过于集中导致早期生出的分蘖生长发育不充分的问题,相比3次施肥,在前期个体和群体建成较为合理的情况下,在营养生长期干物质积累较高,水稻生长很快,在营养生长和生殖生长并进期,保持着相对大的干物质积累量和净干物质积累量,在水稻生育后期,仍有一个相对较快的干物质积累量,为最终稳产高产提供保障。另外,直播稻的叶绿素含量对其生育后期的物质生产能力有着重要的影响。赵锋等^[12]认为氮肥施用时期后移,功能叶叶绿素含量提高,提高中后期干物质积累能力。本研究中分蘖期至齐穗期,各处理叶绿素含量均表现出下降的趋势,与贾维强^[32]的研究结果不同,这可能与研究的角度不同有关,但主要趋势一致:在中后期机械直播稻和4次施肥直播稻功能叶叶绿素含量高于人工撒播稻和3次施肥直播稻。这也说明了直播稻在4次施肥和机械播种方式下中后期的物质生产能力更强。

综上所述,不同播种和施肥方式对直播稻分蘖以及产量有明显的影响。凌启鸿等^[33]认为,要提高单穗成穗数、穗部性状和产量应争取分蘖早生快发,并积极利用有效叶位。在直播稻生产中,有效分蘖作用发挥不够,加上低叶位一、二次分蘖的发生成穗率较低,这可能是直播稻产量低于其他栽培稻的原因。因此,直播稻的增产可重点提高优势叶位的分蘖发生率和成穗率^[8]。另外,机械直播稻相比人工撒播稻在分蘖特性和产量方面有着明显的优势,在实际生产过程中,应根据不同生态区、不同种植制度以及水肥条件等来优化播种方式和氮肥运筹,加上利用其他水稻高产栽培措施,从而达到直播稻稳产高产的目标。

参 考 文 献

- [1] 罗锡文,谢方平,区颖刚,等.水稻生产不同栽培方式的比较试验[J].农业工程学报,2004,20(1):136-139.
- [2] 张洪程.直播稻种植科学问题研究[M].北京:中国农业科技出版社,2009.
- [3] 宋玉秋,张强,陈天佑,等.可降解种膜直播对水稻生长和产量的影响[J].华中农业大学学报,2017,36(4):1-6.
- [4] 袁奇,于林惠,石世杰,等.机插秧每穴栽插苗数对水稻分蘖与成穗的影响[J].农业工程学报,2007,23(10):121-125.
- [5] 李杰,张洪程,龚金龙,等.稻麦两熟地区不同栽培方式超级稻分蘖特性及其与群体生产力的关系[J].作物学报,2011,37(2):309-320.
- [6] PASUQUIN E, LAFARGE T, TUBANA B. Transplanting young seedlings in irrigated rice fields: early and high tiller production enhanced grain yield[J]. Field crops research, 2008, 105: 141-155.
- [7] 刘红江,郑建初,陈留根,等.不同播栽方式对水稻生长发育特性的影响[J].生态学杂志,2013,32(9):2326-2331.
- [8] 许轲,唐磊,张洪程,等.不同机械直播方式对水稻分蘖特性及产量的影响[J].农业工程学报,2014,30(13):43-52.
- [9] 叶靖,董立强,王术,等.种植方式对水稻产量及相关性状的影响[J].江苏农业科学,2015,43(6):73-75.
- [10] 李杰,张洪程,龚金龙,等.不同种植方式对超级稻植株抗倒伏能力的影响[J].中国农业科学,2011,44(11):2234-2243.
- [11] 唐湘如,罗锡文,黎国喜,等.精量穴直播早稻的产量形成特性[J].农业工程学报,2009,25(7):84-87.
- [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(18):3701-3704.
- [13] 朱德涛,董伟,黄义德,等.N肥基蘖肥与穗肥比例对早直播稻群体质量和产量的影响[J].安徽农业科学,2010(13):6698-6700.
- [14] 李杰,张洪程,常勇,等.不同种植方式水稻高产栽培条件下的光合物质生产特征研究[J].作物学报,2011,37(7):1235-1248.
- [15] 薛亚光.水稻高产与养分高效利用栽培技术及其生理基础的研究[D].扬州:扬州大学,2013.
- [16] 张宪政.植物叶绿素含量测定—丙酮乙醇混合液法[J].辽宁农业科学,1986(3):26-28.
- [17] 王建林,徐正进.插秧量与行距配置对水稻分蘖及穗重的影响[J].沈阳农业大学学报,2003,34(6):401-405.
- [18] 王美娥,钟宗石,陈明,等.机直播稻不同播期分蘖特性及其与产量构成的关系[J].安徽农业科学,2015(27):55-57.
- [19] 顾树平,李刚,易峰,等.不同基蘖肥配比对秸秆全量还田条件下机直播水稻分蘖特性及产量的影响[J].上海农业学报,2016,32(5):33-39.
- [20] 江庆生,周忠清,梁广齐.早、晚稻直播效果及栽培技术[J].湖北农业科学,2002(3):14-15.
- [21] 李杰,张洪程,董洋阳,等.不同生态区栽培方式对水稻产量、生育期及温光利用的影响[J].中国农业科学,2011,44(13):2661-2672.
- [22] 杨波,徐大勇,张洪程.直播、机插与手栽水稻生长发育、产量及稻米品质比较研究[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2012,33(2):39-44.
- [23] 程建平,罗锡文,樊启洲,等.不同种植方式对水稻生育特性和产量的影响[J].华中农业大学学报,2010,29(1):1-5.
- [24] 许轲,唐磊,郭保卫,等.不同直播方式水稻产量及其物质生产特点[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2014,35(3):42-47.

- [25] 郑洪帆.不同直播栽培方式对水稻生长发育特性及产量形成的影响[D].雅安:四川农业大学,2012.
- [26] 宋春芳,文吉辉,杨露,等.早稻机械精量穴直播与人工撒播对比研究[J].湖南农业科学,2016(2):16-18.
- [27] 季红娟,张小祥,戴正元,等.肥料管理对直播粳稻扬粳4038稻米品质影响的研究[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2011,32(4):39-44.
- [28] 蒋明金,马均,孙永健,等.播种量和氮肥运筹对直播杂交稻光合生产力及氮素利用的影响[J].浙江大学学报,2015,41(5):516-526.
- [29] 胡雅杰,朱大伟,邢志鹏,等.改进施氮运筹对水稻产量和氮素吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(1):12-22.
- [30] 谭雪明,贾维强,李木英,等.氮肥运筹对机械穴直播早稻产量的影响[J].江西农业大学学报,2016,38(5):805-812.
- [31] 侯文峰,李小坤,李云春,等.氮肥运筹对鄂南直播稻生长、产量及氮素吸收的影响[J].中国稻米,2014,20(5):22-26.
- [32] 贾维强.不同氮肥运筹和密度对机械穴直播早稻群体发育和产量的影响[D].南昌:江西农业大学,2015.
- [33] 凌启鸿,苏祖芳,张海泉.水稻成穗率与群体质量的关系及其影响因素的研究[J].作物学报,1995,21(4):463-469.

Effects of sowing and fertilization on tiller characteristics and yield of direct-seeded rice

XU Wei SUN Zhigui TIAN Hepei ZHANG Yunbo LU Bilin

Hubei Collaborative Innovation Center for Grain Industry/

College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025, China

Abstract Three varieties including Quanliangyou 681, Quanyouhuazhan and Huanghuazhan with different methods of seeding and fertilization were used to investigate the tiller characteristics and yield of direct-seeded rice. Results showed that the primary leaf position of emerging tillers was during from 1/0 to 6/0. The rate of emerging tillers is pretty higher when the leaf position is during from 3/0 to 6/0. The secondary tiller position is 2/1, 3/1 and 2/2. The emerging rate of secondary tillers is higher in the 3/1. These leaf positions ranged from 2/0 to 5/0, account for the panicle rate of primary tillers. Two leaf positions (2/1, 3/1) dominate panicle rate of secondary tillers. The rate of emerging tillers of mechanical seeding rice is higher than that of artificial seeding rice. The panicle rate of mechanical seeding rice is much higher compared with that of artificial seeding rice. The rate of emerging tillers and panicles is of a high level with four times fertilization. At the main growth stage, the dry matter accumulation and net accumulation is higher when rice was seeded mechanically under four times fertilization. From stage of tillering to jointing, the chlorophyll content decreased and was higher in the rice sowed mechanically with four times fertilization. The panicle of mechanical seeding rice had an advantage over the rice seeded artificially. The panicle characteristics of direct-seeded with four times fertilization had a better performance. The difference of yield under various treatments was significant ($P < 0.01$). The yield of mechanical seeding rice was significantly higher than that of artificial seeding rice ($P < 0.05$). The rice yield under four times fertilization was significantly higher than that of direct-seeded rice with 3 times fertilization ($P < 0.05$). The tendency of other yield components is in accordance with yield except for effective panicles. It is indicated that the tiller characteristics with different seeding and fertilization methods differs obviously. The mechanical seeding rice and rice with four times fertilization is useful for panicle rate of emerging tillers, chlorophyll content, dry matter accumulation, panicle traits and yield.

Keywords direct-seeding rice; seeding method; fertilization method; tiller; yield