



赵海新,蔡永盛,杜晓东,等.集束丸粒化种子直播对水稻茎秆形态及产量构成的影响[J].黑龙江农业科学,2022(3):1-8.

集束丸粒化种子直播对水稻茎秆形态 及产量构成的影响

赵海新¹,蔡永盛¹,杜晓东¹,陈书强¹,张志强¹,黄晓群¹,李 想²,潘国君¹

(1.黑龙江省农业科学院 水稻研究所,黑龙江 佳木斯 154026;2.黑龙江省农业机械工程研究院,黑龙江 佳木斯 154004)

摘要:为了明确水稻集束丸粒化种子直播群体的特点,本研究采用黑龙江省农业科学院水稻研究所研制的集束种子配方生产的水稻集束丸粒化种子为试材,调查集束种子和裸籽直播对水稻茎秆形态和产量的影响。结果表明:相对裸籽直播,集束丸粒化种子直播群体茎秆第1、2节间显著伸长;第3、4节间长显著和极显著缩短,群体的株高降低;节间直径和节直径均显著或极显著增加,并且由上至下幅度呈递增趋势。集束种子直播群体有效分蘖穗数、穗颖花数、穗实粒数、千粒重显著增加,同时空粒数和空秕率亦有所增加。使用集束种子直播显著和极显著地促进了一次枝梗和二次枝梗发育,二次枝梗发育优势更加显著。集束种子直播田,种子播量可节约55%左右,成苗率达95%左右,抗稻瘟病和抗倒伏性均大幅度提高。群体茎数动态曲线表明,集束种子直播群体平均穴茎数和平方米茎数呈更加合理的动态规律,且有效穗率显著提高。中后期株高增速相对裸籽直播明显下降,表明集束种子直播群体竞争性生长压力较低,可改善群体内部竞争环境,对提升产量具有绝对的优势。

关键词:水稻;集束;丸粒化种子;直播;群体

种子是农业生产中最为重要的生产资料,其质量对作物生长发育具有重要的影响^[1]。农作物种子包衣技术起源于医药领域,以防控病虫和提供养分为目的^[2-3]。根据种子包衣程度可分为薄膜包衣、结壳包衣和丸粒化包衣。薄膜包衣仅在种子表面包裹一层比较薄的包衣材料;结壳包衣则在种子表面包裹一层较厚的包衣材料,但是种子外观轮廓没有改变;丸粒化包衣则通过包衣后改变种子外观,使其接近球形^[4]。丸粒化包衣问题由美国的两位科学家 Thornton 和 Ganulee 提出^[5],通过塑造种子外形,使其体积变大,质量增加,形状变规则,达到播种时节约种子和方便播种的目的,同时丸粒化种子还具有出苗整齐、成苗率高、病虫草害容易防控等优点^[6-7]。当今在名贵花卉及蔬菜等种子过小或粒型不规则的植物领域,出现了丸粒化趋势^[8-12]。由于欧美国家机械化程度高,如今蔬菜种子丸粒化加工处理率已达90%

以上。根据内含种子的数量,丸粒化包衣划分为单籽型和集束型,单籽型丸粒化种子内仅含1颗种子,而集束丸粒化种子内含2个或2个以上的植物种子^[4]。目前各国针对单籽型丸粒化技术的研究较多,但是由于丸粒化种子生产成本高效率低,尚未实现大田作物种子的普遍应用。而根据目前已有报道显示^[13-14],集束丸粒化种子的生产技术难关尚未完全攻克,仅美国生产了一种集束型丸粒化包衣机^[4],根据其结构原理特点很难实现较高的生产效率。而集束丸粒化种子却具有更多的使用优势,如能包裹更多的种子和营养成分,更容易使种子接触到土壤,利于发芽生根等^[15-17],从而保证丸粒化种子的出苗率,同时可提高肥料利用率,达到节约种子、化肥和农药的目的。

本研究使用的水稻集束丸粒化种子^[4](以下称集束种子),是由黑龙江省农业科学院水稻研究所研制并生产,针对解决水稻裸籽直播技术瓶颈而设计发明,直径1 cm左右,每颗包含3~5粒水稻种子。是一种包裹多粒水稻种子的多功能人造球形丸化物,是集营养、植保、精量播种、抗逆等功能于一体的集成物。本试验探索了水稻集束种子在大田应用的群体生长特点和产量优势,对于将

收稿日期:2021-12-15

基金项目:黑龙江省省属科研院所科研业务费项目(CZKYF 2021-2-B001);国家重点研发计划项目(2018YFD0200200, 2016YFD0300504)。

第一作者:赵海新(1977—),男,博士,副研究员,从事水稻栽培与抗逆生理研究。E-mail:zhaohaixin2005@163.com。

通信作者:潘国君(1961—),男,博士,研究员,从事水稻分子育种研究。E-mail:panguojun777@163.com。

来探索水稻集束丸粒化种子大田应用技术模式具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020 年在黑龙江省农业科学院水稻研究所试验地进行,地理位置为 $46^{\circ}49'N$, $130^{\circ}22'E$,属于典型的温带大陆性季风气候,年均气温 $3^{\circ}C$ 左右, $\geq 10^{\circ}C$ 活动积温 $2\,521^{\circ}C$,无霜期 $130\sim 140$ d;年均降水量 510 mm 。试验地土壤养分状况:土壤为草甸土,有机质含量为 $20.00\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{pH}6.4$,碱解氮 $126.46\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,土壤速效磷 $39.78\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $202.76\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 材料

供试品种龙粳 47、龙粳 31、龙粳 21,均为黑龙江省农业科学院水稻研究所选育。其中龙粳 47 主茎 10 片叶,黑龙江省第四积温区主栽品种;龙粳 31 主茎 11 片叶,第三积温区主栽品种;龙粳 21 主茎 12 片叶,第二积温区下限及第三积温区主栽品种。集束种子配方由黑龙江省农业科学院水稻研究所研制,并生产制造,每颗集束种子含 $3\sim 5$ 粒水稻种子,每颗重量为 $1\text{ g}^{[4]}$ (具体种子外观形态详见附图 1)。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验设集束种子直播和裸籽机械穴播 2 个直播技术因素,3 个品种处理,不设重复,共 6 个小区,每小区面积 $2\,500\text{ m}^2$,试验用地面积共计 1.5 hm^2 。

集束种子直播:5 月 1 日泡田,5 月 3 日耙田整地,整地前施基肥磷酸二铵 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,钾肥 $75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。5 月 10 日人工点播集束种子,播种规格:行穴距为 $30\text{ cm}\times 10\text{ cm}$,集束种子播种量为 $333.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。6 月 18 日茎叶喷雾除草,排草丹 $2\,000\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ + 五氟氰氟草酯 $2\,000\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ + 二氯喹啉酸 $500\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。6 月 20 日追施尿素 $75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,硫酸钾 $75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。播种后不灌水,出苗后使用湿润或浅水灌溉管理,病虫害防治日期和方法与移栽田基本一致。8 月 15 日后停灌雨养,直至收获。

裸籽机械穴播:5 月 10 日使用上海世达尔生产的水稻穴播机播种,播种规格:行穴距为 $25\text{ cm}\times 10\text{ cm}$,播种量为 $100\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,播种前种子使用咪鲜胺浸种消毒 5 d。其他播前与播后管

理及操作方法与集束种子直播试验一致。

1.3.2 测定项目及方法 茎秆形态指标:水稻成熟后使用取样刀连续取 25 穴稻株,计算每穴平均茎数,再从中选取与平均茎数最接近的 5 穴稻株,测量穗部长度、茎秆各节位茎节长度及直径。测量茎节直径使用千分尺,测量茎节长度使用厘米尺。

产量与产量构成要素:使用上述调查茎秆形态指标的稻穗,调查穴穗数、穗实粒数、穗空粒数、穗实粒粒重,计算穗颖花数、空秕率及千粒重;产量为田间实际收获产量,折合水分为 14.5% 。

穗部枝梗性状指标:使用上述调查产量构成要素的稻穗,分离一二次枝梗,调查各穗一二次枝梗的数量、实粒数、空粒数、一二次枝梗粒重。计算穗部的着籽密度、空秕率、千粒重、二次枝梗实粒比、二次枝梗颖花比。

生长动态指标:固定选取 3 点,每点连续调查 5 穴,每隔 3 d 均于上午调查株高和穴茎数。出苗后 5 月 28 日开始测量株高,播种 30 d 后水稻开始分蘖,即 6 月 9 日调查每穴茎数,取平均值模拟穴茎数、平方米茎数及株高的生长动态。

田间生长状况调查:指标包括每穴播种粒数、成苗率、叶瘟、穗瘟、倒伏级别、倒伏率。播种前随机选取 100 粒集束种子,破碎后计算平均每颗集束种子内含有的水稻种子粒数;裸籽直播田则在播种后选取 3 点,每点 10 穴,通过补充或捡取手段保证每穴 10 粒种子,播种 30 d 后,即 6 月 9 日调查成苗率。叶瘟、穗瘟调查按国际水稻所稻瘟病抗性评价分级标准统计。倒伏级别(倒伏程度)按倾斜角度法划分为 5 级:0 级,植株不倒;1 级,植株倾斜度不超过 15° ;2 级,植株倾斜度在 $15^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 之间;3 级,植株倾斜度在 $45^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 之间;4 级,植株倾斜度超过 85° 以上。倒伏率则按所有大于 1 级(不包括 1 级)倒伏级别的水稻面积占播种面积的百分率进行统计。

1.3.3 数据分析 试验数据使用 Excel 2013、DPS 18.10 和 SPSS 24.0 软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 成熟后水稻植株茎秆的形态变化

由表 1 可知,不同熟期的水稻品种穗长表现为采用集束种子直播较裸籽直播显著或极显著增加,其中龙粳 31 极显著增加。集束种子直播水稻第 1 节间长均显著高于裸籽直播。第 2 节间长龙

梗 47 和龙梗 31 分别表现为显著和极显著增加,龙梗 21 变化不显著;数据显示,相对裸籽直播使用集束种子直播供试品种第 3 节间长均显著或极显著下降(下降率分别为 34.0%、18.1%和12.2%);第 4 节消失或部分消失,其中龙梗 47 第 4 节完全消失,龙梗 31 第 4 节间已不明显(0.34 cm,相对下降90.9%),仅龙梗 21 具有较明显的第 4 节间(2.26 cm,相对下降 69.7%)。

集束种子直播稻各节直径和节间直径(粗)普遍大于裸籽直播稻对应茎节,其中龙梗 21 变化较

弱,但是变化趋势与另两份品种一致。理论株高与实际平均株高存在差距,结合分析认为,龙梗 47 与龙梗 21 理论株高与平均株高趋势一致,都表现为集束直播稻低于裸籽穴播,如果去除穗部长度,那么集束直播稻各节茎秆长度叠加后整体长度缩短更加明显,龙梗 31 两种直播方式的平均株高没有发生变化,但是如果去除穗部长度,各节叠加后茎秆长度将整体缩短,由于参试品种集束直播稻穗部长度均显著或极显著大于裸籽穴播稻,在排除穗部长度后,茎秆高度将明显下降。

表 1 集束直播稻与裸籽穴播稻植株茎秆对比分析

指标	龙梗 47			龙梗 31			龙梗 21		
	集束	裸籽	增加率/%	集束	裸籽	增加率/%	集束	裸籽	增加率/%
穗长/cm	13.80*	12.60	9.5	16.60**	13.80	20.3	16.30*	14.60	11.6
第 1 节间长/cm	29.90*	27.50	8.7	32.60*	27.90	16.8	29.30*	27.10	8.1
第 1 节间直径/cm	0.24**	0.18	33.3	0.23*	0.20	15.0	0.21	0.20	5.0
第 1 节直径/cm	0.38**	0.31	22.6	0.38**	0.30	26.7	0.31*	0.29	6.9
第 2 节间长/cm	21.10*	19.90	6.0	25.80**	21.80	18.3	19.20	19.50	−1.5
第 2 节间直径/cm	0.36**	0.29	24.1	0.38**	0.31	22.6	0.32*	0.29	10.3
第 2 节直径/cm	0.44**	0.37	18.9	0.43**	0.37	16.2	0.37*	0.33	12.1
第 3 节间长/cm	10.50	15.90**	−34.0	13.60	16.60**	−18.1	14.40	16.40*	−12.2
第 3 节间直径/cm	0.43*	0.37	16.2	0.50**	0.36	38.9	0.40*	0.35	14.3
第 3 节直径/cm	0.51**	0.39	30.8	0.56**	0.42	33.3	0.44*	0.40	10.0
第 4 节间长/cm	−	0.39	−	0.34	3.73**	−90.9	2.26	7.47**	−69.7
第 4 节间直径/cm	−	0.42	−	0.51**	0.36	41.7	0.36	0.35	2.9
第 4 节直径/cm	−	0.42	−	0.57**	0.44	29.5	0.46*	0.43	7.0
理论株高/cm	75.30	76.30	−1.3	88.90	83.80	6.1	81.80	85.07	−3.8
平均株高/cm	82.10	83.60	−1.8	99.40	99.40	0.0	81.50	95.70*	−14.8

注:* 和 ** 分别表示同行集束种子直播与裸籽直播各项指标在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平存在显著和极显著差异。下同。

对上述数据的分析表明,裸籽直播靠近基部的茎秆相对较长,而集束种子直播方式极显著地缩短了基部节长。使用集束种子直播茎秆形态相对裸籽穴播方式发生了较大变化,主要表现为穗部变长,第 1、2 节间长度增加,尤以第 1 节间长度增加最为显著。第 3 节间长显著或极显著缩短,第 4 节消失或极显著缩短,集束直播稻茎秆长度相对裸籽穴播明显缩短。从顶端到基部茎秆节间直径和节直径普遍增加,并且增加幅度呈逐渐升高的趋势。

2.2 集束直播稻与裸籽直播稻穗部性状分析

2.2.1 穗部产量构成性状 由表 2 可知,使用集束种子直播有利于收获更多的穗数、穗实粒数,且

与裸籽直播相比差异达极显著水平;穗部形成的总颖花量显著或极显著增加;龙梗 47 和龙梗 31 采用集束种子直播穗部空粒数和空秕率均极显著增加,龙梗 21 极显著下降;集束种子直播龙梗 47 和龙梗 21 千粒重显著增加,龙梗 31 增加 4.6%,差异不显著;产量数据表明,使用集束种子直播相比裸籽直播产量均显著或极显著增加,增产率达 10% 以上,其中龙梗 31 增产率最高,达 43.5%。

综上所述可知,使用集束种子直播有利于提高有效分蘖穗数、穗实粒数,对千粒重具有显著促进作用,龙梗 31 因其分蘖数量较多,对千粒重虽有一定影响,但未达到显著水平。龙梗 21 空秕率极显著降低,分析认为应与其分蘖特性有关,该品

种为寡蘖型品种^[18],考虑到取样因素,认为使用 的适量增加空秕率至少不会显著升高。
集束种子直播该品种随着有效穗数和穗颖花数量

表 2 集束直播稻与裸籽直播稻产量与产量构成要素

指标	龙 粳 47			龙 粳 31			龙 粳 21		
	集束	裸籽	增加率/%	集束	裸籽	增加率/%	集束	裸籽	增加率/%
平方米收获穗数/(穗·m ²)	592.7**	504.0	17.6	685.9**	584.0	17.4	526.1**	432.8	21.6
穗实粒数/粒	69.7**	58.2	19.8	109.4**	69.4	57.6	77.8**	63.0	23.5
穗空粒数/粒	10.4**	6.5	60.0	14.6**	6.7	117.9	4.0	8.3**	—51.8
穗颖花数/朵	80.2**	64.7	24.0	123.9**	76.1	62.8	81.8*	71.3	14.7
空秕率/%	13.0**	10.0	30.1	11.8**	8.8	33.8	4.9	11.6**	—57.9
千粒重/g	23.6*	21.3	10.8	23.8	22.7	4.6	25.0*	23.3	7.3
产量/(kg·hm ²)	8327.4*	7460.1	11.6	10791.2**	7520.0	43.5	9126.2**	7680.7	18.8

2.2.2 穗部枝梗性状 由表 3 可知,集束直播稻 次枝梗空粒数和空秕率显著或极显著高于裸籽直播,龙粳 21 集束种子直播则极显著低于裸籽直播。穗部着粒密度显著或极显著高于裸籽直播稻,一次枝梗数和一次枝梗着生实粒数明显高于裸籽直播稻,其中龙粳 31 和龙粳 21 分别达显著和极显著水平。龙粳 47 和龙粳 31 采用集束种子直播一 两种直播方式一次枝梗着生粒数差异不显著,但集束种子直播有高于裸籽直播的趋势。龙粳 47 和龙粳 21 一次枝梗籽粒千粒重显著高于裸籽直播。

表 3 集束直播稻与裸籽直播稻穗部枝梗性状

指标	龙 粳 47			龙 粳 31			龙 粳 21		
	集束	裸籽	增加率%	集束	裸籽	增加率/%	集束	裸籽	增加率/%
穗部着籽密度/(粒·cm ⁻¹)	5.1*	4.6	10.9	6.6**	5.0	32.0	4.8*	4.3	11.6
一次枝梗数/根	8.8	8.4	4.8	11.9*	10.5	13.3	9.7*	9.0	7.8
一次枝梗实粒数/粒	47.3	45.1	4.9	63.9**	53.0	20.6	49.0**	42.1	16.4
一次枝梗空粒数/粒	3.4**	2.0	70.0	4.4**	3.4	29.4	1.9	4.7**	—59.6
一次枝梗空秕率/%	6.8**	4.2	61.9	6.5*	6.0	8.3	3.7	10.0**	—63.0
一次枝梗着生粒数/粒	5.4	5.4	0.0	5.4	5.1	5.9	5.0	4.7	6.4
一次枝梗千粒重/g	25.5*	22.7	12.3	25.2	25.3	—0.4	27.1*	24.5	10.6
二次枝梗数/根	10.9**	7.2	51.4	19.0**	8.0	137.5	11.9**	9.3	28.0
二次枝梗实粒数/粒	22.4**	13.2	69.7	45.5**	16.4	177.4	28.8**	21.0	37.1
二次枝梗空粒数/粒	7.0**	4.5	55.6	10.1**	3.3	206.1	2.1	3.6**	—41.7
二次枝梗空秕率/%	23.8	25.4	—6.3	18.2*	16.7	9.0	6.9	14.7**	—53.1
二次枝梗着生粒数/粒	2.1*	1.8	16.7	2.4**	2.0	20.0	2.4*	2.2	9.1
二次枝梗千粒重/g	19.5**	16.5	18.2	19.1	18.9	1.1	21.6	20.8	3.8
二次枝梗实粒比/%	32.2**	22.6	42.5	37.0*	33.2	11.4	41.6**	23.6	76.3
二次枝梗颖花比/%	36.7**	27.3	34.4	37.8*	34.4	9.9	44.9**	25.9	73.4

采用集束种子直播穗部二次枝梗数和二次枝 21 空秕率极显著低于裸籽直播。二次枝梗着生梗着生实粒数均极显著高于裸籽直播,龙粳 47 和粒数显著或极显著高于裸籽直播稻。龙粳 47 二枝梗着生实粒数极显著高于裸籽直播稻,龙粳 21 则极显著低于裸籽直播。龙粳 47 二次枝梗空秕率低于裸籽直播,但差异不显著,龙 使用集束种子直播二次枝梗实粒和颖花占穗部比率显著或极显粳 31 二次枝梗空秕率显著高于裸籽直播,龙粳 高于裸籽直播,而空粒数和空秕率的增加并未改

变这种趋势。

由上述分析可知,采用集束种子直播技术,促进了一次枝梗和二次枝梗的发育,与裸籽直播相比,穗部枝梗数量及着生籽粒数量显著增加,二次枝梗数量和二次枝梗实粒数增加幅度更加显著(相对裸籽直播分别增加 137.5%和 177.4%),是穗粒数增多的主要因素。穗颖花数量增多是空粒数和空秕率增加的重要原因,因此采用集束种子直播穗部二次枝梗空粒数和空秕率比一次枝梗提高。两种直播方式二次枝梗相对一次枝梗籽粒千粒重均降低,但是采用集束种子直播一二次枝梗籽粒千粒重相对裸籽直播均有增加趋势。数据分析表明采用集束种子直播极显著地促进了二次枝梗的发育,其对产量的提升具有更加显著的作用。

2.3 集束种子直播田出苗及抗性表现

由表 4 可知,供试的 3 个水稻品种相对裸籽机械穴直播田每穴节约种子 55%左右,参试品种成苗率均达到 95%左右,而裸籽机械穴直播成苗率普遍偏低,龙粳 47 最高,仅 60.7%,其次龙粳 31 为 40.7%,龙粳 21 最低,为 36.0%。稻瘟病发病等级均明显下降,其中龙粳 21 裸籽直播发生

严重叶瘟和穗瘟,稻瘟病等级达到 7 级,但是使用集束种子直播稻瘟病仅为零星小面积发生(1~2 级),相对裸籽直播叶瘟和穗瘟下降 5~6 个等级;龙粳 47 集束种子直播穗茎瘟发病等级为 0 级,叶瘟等级为 1 级,而裸籽直播为 3 级;龙粳 31 稻瘟病发病等级也明显下降,集束种子叶瘟为 2 级,而裸籽直播为 5 级,穗瘟为 1 级,而裸籽直播为 2 级。使用集束种子直播,稻田倒伏级别和倒伏率也明显下降,龙粳 47 两种直播均未发生倒伏,龙粳 31 和龙粳 21 裸籽机械穴直播田均发生了严重的倒伏,使用集束种子直播龙粳 31 倒伏率仅为 8%,倒伏程度(级别)亦明显下降,集束种子直播为 1 级,而裸籽直播为 4 级(附图 2);使用集束种子直播龙粳 21 未发生倒伏,而裸籽机械穴直播倒伏级别为 2 级,倒伏率为 50%(表 4)。

同时,使用集束种子直播相对裸籽机械穴直播田节约了 54%以上的水稻种子,成苗率大幅度提高,稻瘟病的发生级别明显下降,水稻的抗倒性也得到明显提高。综上所述可知,使用水稻集束丸粒化种子直播,将明显提高水稻群体田间的抗稻瘟病和抗倒伏性,同时播种时可大量节约种子用量,并使得成苗率得到大幅度提高。

表 4 使用集束种子裸籽直播田间出苗与抗性表现

指标	龙粳 47		龙粳 31		龙粳 21	
	集束	裸籽	集束	裸籽	集束	裸籽
每穴播种粒数/(粒·穴 ⁻¹)	4.2	10.0	4.6	10.0	4.5	10.0
成苗率/%	93.6	60.7	95.6	40.7	96.2	36.0
叶瘟/级	1	3	2	5	2	7
穗瘟/级	0	1	1	2	1	7
倒伏级别/级	0	0	1	4	0	2
倒伏率/%	0	0	8	85	0	50

2.4 生长动态分析

2.4.1 茎数 由图 1 可知,由于裸籽播种量比集束种子播量大,裸籽直播前期穴茎数较多,6 月 9 日平均 4.7,而集束种子直播为 4.1,随着分蘖增多,数量差距逐渐增大,至 6 月 25 日,穴茎数差距为 2.1(集束 8.1,裸籽 10.2),随后集束种子直播穴茎数日增长速率逐渐大于裸籽直播,二者穴茎数差距逐渐缩小,7 月 9 日左右达到数量平衡,为 23.5 左右,7 月 11—15 日两种种子直播形式穴茎数均达到最大值,7 月 11 日裸籽直播穴茎数为 23.7,7 月 15 日集束种子直播穴茎数为 24.9

(相差 1.2),7 月 15 日后两种直播形式穴茎数均逐渐下降,并且裸籽直播下降速率高于集束种子直播,这种趋势直至生长后期。

由于裸籽直播播种量大,6 月 9 日平方米茎数具有一定优势(50.7),至 7 月 7 日这种数量差优势达到最大(173.2),7 月 7 日后数量差迅速缩小,7 月 11 日裸籽直播平方米茎数达到最大值(949.3),7 月 11 日集束种子直播茎数达到最大值(829.5),然后分蘖茎数逐渐下降,裸籽直播下降幅度大于集束种子直播,至 9 月 8 日左右,两种直播方式平方米茎数基本相同(660 左右),9 月

8 日后,集束种子直播平方米茎数开始多于裸籽直播,这种趋势直至水稻生长接近后期。

2.4.2 株高 由图 1 可知,集束种子直播播于土壤内部,而裸籽直播技术将种子播于土壤表面,因此 6 月 25 日之前测量裸籽直播株高普遍高于集束直播(裸籽 28.0 cm,集束 27.6 cm),6 月 25 日至 7 月 3 日,集束种子直播株高超过裸籽直播,表明该段时期集束种子直播田间生物积累较多,群体素质相对裸籽直播较高。7 月 3 日后,植株个体积累到一定量,群体内开始表现对空间和养分的强烈竞争,在此期间裸籽直播个体数量远多于集束种子直播,对空间的竞争更加强烈,群体植株高度生长快,尤其在拔节抽穗期(7 月 15 日至 27 日),裸籽直播群体日均高度的增量普遍高于集束种子直播,造成基茎拉伸,茎节增多(表 1),形成了裸籽直播水稻群体株高最终高于集束种子直播群体的结果。

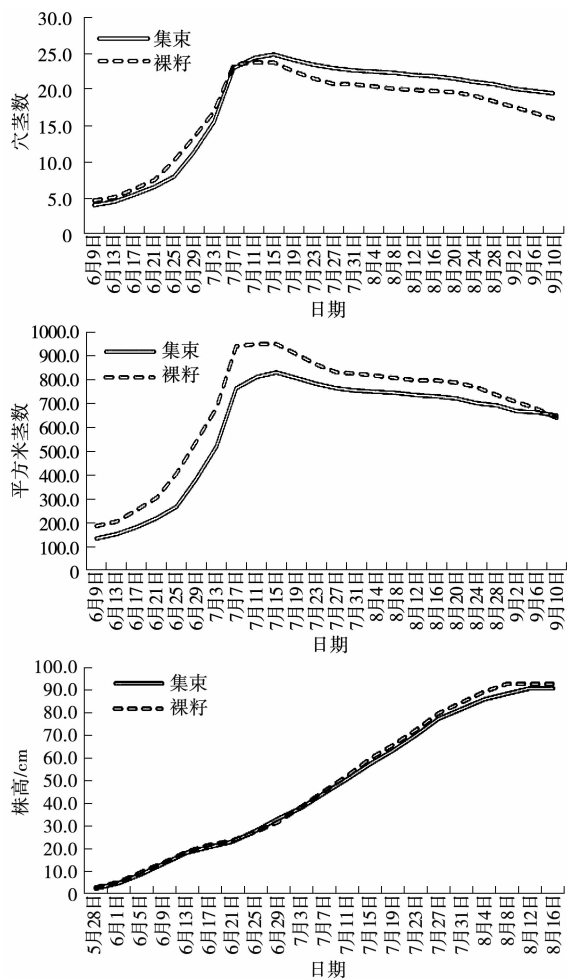


图 1 集束种子与裸籽直播的生长动态比较

3 讨论

目前国内有关种子丸粒化的研究报道较少,研究的深度不够,特别是有关中大粒型作物种子集束丸粒化研究在国内外均鲜见相关报道。少数的相关报道仅限于单籽丸粒化研究,有研究结果显示,水稻种子丸粒化后,在发芽期平均芽长、最大根长、芽鲜重、根鲜重比与种子对照相比均有增加,最终穗部着粒密度和产量显著增加^[19]。经过丸粒化的烟草种子出苗率和成苗率较不包衣的种子显著提高,且秧苗素质显著提高^[20]。马文广等^[21]研究表明丸粒化的烟草种子冷湿环境中的发芽率会显著提高。也有研究认为,种子丸粒化后还可以解决烂芽和弱苗的问题。本研究与上述结果基本一致,同时还发现,水稻集束种子直播群体的生长和营养吸收特点,以及对温度、光照和空气的利用模式与水稻移栽群体具有更多的相似性,而在管理过程中,如肥、水、药的管理模式与直播田基本一致。传统裸籽直播由于为了获得更多收获穗数,通常会以加大播种量和促进群体量为主要手段和目的,这样就造成中后期群体竞争强度加大,其穗颖花数、千粒重、穗着粒密度、二次枝梗数及二次枝梗粒数下降。另外集束种子直播落籽集中于地面一点,而裸籽直播落籽分布于地面一片,加快裸籽播种速度,容易增加落籽幅度,造成“名为穴播,实为条播”的现象。因此与裸籽直播相比,使用集束种子改善了直播稻群体内部竞争环境,降低基部茎节伸长的同时,其余营养可供发育出更多分蘖,提高了群体素质和抗逆性,因此抗倒伏和抗病性远高于裸籽直播技术(表 4、附图 2)。同时如附图 3a, b 所示,集束种子落入土壤中,具有充足的发根空间,可在周围土壤内全方位获取养分,但是播于土壤表面的裸籽,只能向土壤下方单向发育根系,方向性和角度单一,获取营养范围狭窄,影响秧苗素质的同时倒苗现象严重(附图 3c),是造成缺苗的重要原因,至生长后期因根系附着于地表,很容易发生二次倒伏。

本研究还发现水稻集束丸粒化种子对于轻简化生产、降低风险、提高水稻抗性和增产等方面具有显著的效果,其开发空间和应用前景广阔,应用研究价值高,而且对其他中大型作物种子在集束丸粒化领域的研究将产生重要影响。因此建议,在研究集束种子生长特点的同时,应投入或联合

社会资金配合相关生产机械设备的研发,深入研究集束种子的理论机制,建立完善的配套栽培技术体系。

4 结论

使用集束种子直播,稻田群体竞争压力降低,植株下部茎节拉伸变短,全株茎节变粗。分蘖茎数、穗颖花数、千粒重和穗着粒密度显著或极显著增加,穗部枝梗数量和枝梗着粒数量显著或极显著增加,对二次枝梗的正效应影响比一次枝梗更为显著。使用集束种子直播的稻田群体生长动态相对裸籽机械穴直播可大幅度节约种子用量,提高成苗率、抗倒性、抗病性及产量,更为节本增效,具有显著的技术优势。

参考文献:

[1] 沈同,王镜岩.生物化学上册[M].2版.北京:高等教育出版社,1990.

[2] 赵正楠,张西西,王涛.种子丸粒化技术研究进展[J].中国种业,2013(5):18-19.

[3] 王宁堂.谈种子包衣技术[J].中国种业,2003,8(3):23-24.

[4] 韩柏和,陈凯,吕晓兰,等.国内外种子丸粒化包衣设备发展现状及存在问题[J].中国农机化学报,2018,39(11):51-55,71.

[5] TAYLOR A G, ALLEN P S, BENNETT M A. Seed enhancements[J]. Seed Science Research, 1998, 8(2): 245-246.

[6] 张樊,张海清.种子包衣技术研究现状及展望[J].作物研究,2007,21(5):531-535.

[7] 王海鸥,胡志超,田立佳,等.种子丸化技术及其研究与应用概况[J].现代农业装备,2006(10):48-50.

[8] GRELLIER P, RIVIERE L M, RENAULT P. Transfer and

water-retention properties of seed-pelleting materials[J]. European Journal of Agronomy, 1999, 10(1): 57-65.

[9] 赵正楠,张西西,王涛.种子丸粒化技术研究进展[J].中国种业,2013(5):18-19.

[10] 朱凤武,王景利,徐振国,等.玉米种子丸粒化加工技术研究[J].吉林农业大学学报,2000,22(2):100-102.

[11] 黄年生,张洪熙,徐卯林,等.烟草种子丸粒化高吸水种衣剂的研制与应用[J].江苏农业科学,2002(5):67-69.

[12] 陈德星,周立友,陈其军,等.油菜种子丸粒化包衣技术研究[J].种子,2004,23(7):85-86.

[13] 王少先,彭克勤,萧浪涛,等.种子包衣及丸化技术研究进展[J].种子,2002,125(5):32-35.

[14] 胡永山.甜菜丸粒化露播滴灌栽培技术[J].农业科技,2011(3):8-9.

[15] 魏卫东,李希来,田丰,等.外源激素对丸粒化披碱草种子萌发及幼苗生长影响的研究[J].中国种业,2010(8):60-63.

[16] 姚东伟,李明.矮牵牛种子丸粒化包衣研究初报[J].上海农业学报,2010,26(3):52-55.

[17] BELL J V, STEWART A, ROWARCH J S. Application method and growing medium affects the response of cucumber seedling to inoculation with *Trichoderma harzianum*[J]. Australasian Plant Pathology, 2000, 29: 15-18.

[18] 赵海新,杨丽敏,陈书强,等.行距对两个不同类型水稻品种冠层结构与产量的影响[J].中国水稻科学,2011,25(5):488-494.

[19] 梅俊豪.种子丸粒化在水稻湿直播上的应用初探[D].武汉:华中农业大学,2017:17-41.

[20] 曹本.烟草种子包衣丸粒化与育苗技术[J].烟草科技,1991(1):35-36.

[21] 马文广,郑昉晖,李永平,等.增氧型烟草包衣丸化种子的研究[J].安徽农业科学,2010(8):4016-4018.

Effects of Direct Seeding of Cluster Pelleted Seeds on Stem Morphology and Yield Composition of Rice

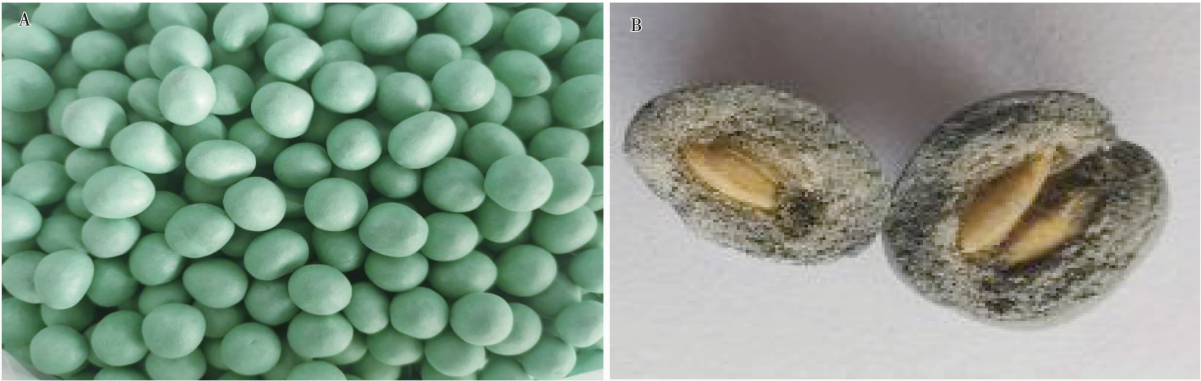
ZHAO Hai-xin¹, CAI Yong-sheng¹, DU Xiao-dong¹, CHEN Shu-qiang¹, ZHANG Zhi-qiang¹, HUANG Xiao-qun¹, LI Xiang², PAN Guo-jun¹

(1. Rice Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154026, China; 2. Heilongjiang Agricultural Machinery Engineering Research Institute, Jiamusi 154004, China)

Abstract: In order to clarify the characteristics of direct seeding population of rice cluster pelleted seeds, the rice cluster pelleted seeds produced by the Rice Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences were used as test materials to investigate the effects of cluster naked seed and direct seeding on stem morphology and yield of rice. The results showed that the first and second internodes of the stem of the direct seeding population of cluster pelleted seeds were significantly elongated compared with the direct seeding of bare seeds; The length of the 3rd and 4th internodes was significantly and extremely significantly shortened, and the plant height of the population was reduced; Internode diameter and internode diameter increased signif-

icantly or very significantly, and showed an increasing trend from top to bottom. The number of effective tillers, spikelets per panicle, full grains per panicle and 1 000-grain weight increased significantly, while the number of empty grains and empty chaff rate also increased. Direct seeding with cluster seeds significantly and extremely significantly promoted the development of primary and secondary branches, and the development advantage of secondary branches was more significant. In the cluster seed direct seeding field, the seed sowing amount could be saved by about 55%, the seedling rate could reach about 95%, and the resistance to rice blast and lodging could be greatly improved. The dynamic curve of population stem number showed that the average number of hole stems and square meter stems of cluster seed direct seeding population showed a more reasonable dynamic law, and the effective panicle rate increased significantly. In the middle and late stage, the growth rate of plant height decreased significantly compared with naked seed direct seeding, indicating that the competitive growth pressure of cluster seed direct seeding population was low, which could improve the internal competitive environment of the population and had an absolute advantage in increasing yield.

Keywords:rice; cluster; pelleted seeds; direct seeding; group



附图 1 水稻集束种子外观(A)及剖面(B)结构



附图 2 龙粳 31 水稻集束种子直播与裸籽直播的田间倒伏情况对比



a. 集束种子根系分布特点; b. 落入土壤中正在发芽出苗的水稻集束种子; c. 裸籽直播因根系在地表发育造成的苗期倒伏。

附图 3 水稻集束种子根系分布、发芽情况与裸籽直播苗期倒伏情况