

杂交水稻制种中利用农用无人机喷施赤霉素技术研究

唐 荣¹, 张海清^{1*}, 刘爱民^{2*}, 杨永标¹, 陈 勇¹, 王 明¹, 董帅厅¹

(1 湖南农业大学农学院, 长沙 410128; 2 湖南隆平种业有限公司, 长沙 410006)

摘 要:为了探索农用无人机在杂交水稻制种中喷施赤霉素效果,以制种组合 Y58S × R900、H638S × R1813 和丰源 A × 华占为材料,在机械栽插、人工栽插或机直播条件下,研究了单旋翼电动力农用无人机在母本不同抽穗时期喷施不同剂量赤霉素的效果。结果表明,利用农用无人机喷施赤霉素时,Y58S 人工栽插在抽穗率 5% ~ 35% 范围内,喷施剂量 480 g/hm² 时效果最佳;机插在抽穗率 5% ~ 45% 范围内 3 个喷施剂量处理时效果都较好,其包颈粒率在 1% 以下,全外露穗率在 80% 以上;H638S 机插和机直播在抽穗率 5% ~ 45% 范围内 3 个喷施剂量处理效果都较好;丰源 A 机插在抽穗率 10% ~ 20% 范围内,喷施剂量 570 g/hm² 时效果最佳,机直播时 3 个喷施剂量处理效果都较差,其包颈粒率在 1% 以上,全外露穗率在 70% 以下。使用农用无人机对杂交水稻制种母本喷施赤霉素有广泛的实用性。

关键词:杂交水稻;制种;农用无人机;赤霉素

中图分类号:S511.038 **文献标识码:**A

文章编号:1001-5280(2017)04-0360-09

DOI:10.16848/j.cnki.issn.1001-5280.2017.04.05

Study about the Techniques of Gibberellin Sprayed by Agricultural Unmanned Aerial Vehicle in Hybrid Rice Seed Production

TANG Rong¹, ZHANG Haiqing^{1*}, LIU Aimin^{2*}, YANG Yongbiao¹,
CHEN Yong¹, WANG Ming¹, DONG Shuaiting¹

(1 College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China;

2 Hunan Longping Seed Co. Ltd., Changsha, Hunan 410006, China)

Abstract: Three hybrid combinations, Y58S × R900, H638S × R1813 and Fengyuan A × Huazhan, were used as materials with machine – transplanting, artificial transplanting and mechanical direct seeding, different doses of gibberellin were sprayed at different heading stages of female parents by using single – rotor electro – dynamic – force agricultural unmanned aerial vehicles to explore the effects of gibberellin in the hybrid rice seed production. The results showed that the gibberellin effect on Y58S with artificial transplanting was the best, when the earing rates was 5% – 35%, and the gibberellin dose was 480 g/hm². When the earing rates of Y58S by machine – transplanted were in the range of 5% – 45%, the gibberellin effects were good with three spraying doses, which the package neck rate was low than 1% and the total panicle exertion rate was over 80%. When earing rates of H638S were in the range of 5% – 45%, the gibberellin effects were good with three spraying dosages by machine – transplanted and mechanical direct seeding. When the earing rates of Fengyuan A were in the range of 10% – 20%, the best results occurred at the dose of gibberellin 570 g/hm² and by machine – transplanted. The gibberellin effects on Fengyuan A were poor with all the three spraying dosages by mechanical direct seeding, which the package neck rate was over 1% and the total panicle exertion rate was under 80%. In conclusion, spraying gibberellin on female parent by agricultural unmanned aerial vehicles could widely used in hybrid rice seed production.

收稿日期: 2017-05-03

作者简介:唐 荣(1991-),男,硕士研究生,Email:297509116@qq.com。*通信作者:张海清,教授,研究方向:种子生产原理与技术,Email:hunanhongli@aliyun.com;刘爱民,研究员。

基金项目:国家科技支撑计划(2014BAD06B07)。

Keywords: hybrid rice; seed production; agricultural unmanned aerial vehicles; gibberellin

杂交水稻制种中不育系由于自身营养器官发育不全,赤霉素含量极低,影响正常伸长抽穗,有10%~60%的穗粒被包裹在剑叶叶鞘内不能抽出^[1-3],导致母本柱头外露率和活力降低、穗粒全外露率低、异交态势差、病虫害增加,从而影响制种产量和质量^[4,5],需要通过喷施外源赤霉素加以解决。目前我国杂交水稻制种的赤霉素主要以人工背负式喷雾器喷施为主,其需在抽穗期连续2~4 d内喷施2~4次,不仅劳动强度大、技术要求高、时间紧迫、作业效率低下、农药分布不均匀,而且人工背负式喷雾器进行施药时真正到达靶标上的药量不到喷洒量的20%^[6]。针对人工背负式喷雾器喷施赤霉素存在的问题,有人研究设计机载立管式风送喷雾机、自走式风送喷雾机和自走式高地隙喷杆喷雾机等类型喷雾机,但其喷施作业成本高,药剂有效利用率低,下田作业困难,易损伤农作物及土壤物理结构,影响农作物后期生长^[7,8],并随着农村劳动力的减少和杂交水稻制种规模化发展,各类型喷雾机难以满足制种需求。农用无人机喷施农药具有药液量少、浓度高、效率高、省工省力等特点^[9-11],目前我国发展迅速,但利用无人机在杂交水稻制种中喷施赤霉素还缺乏系统研究。本研究通过设计不同剂量、不同始喷抽穗指标等因素处理,并在制种母本不同栽插方式下探讨农用无人机喷施赤霉素的效果和喷施技术。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

(1) 制种组合:海南乐东基地为 Y58S × R900;

湖南武冈基地为丰源 A × 华占、H638S × R1813。

(2) 供试无人机:单旋翼电力无人机 HY-B-15L,由深圳高科新农技术有限公司生产提供。

(3) 供试赤霉素:赤霉酸(有效成分3%,乳油型),由湖南神隆超级稻丰产生化有限公司提供。

(4) 供试插秧机和直播机:宁波协力机电制造有限公司生产的14 cm × 18 cm 插秧机;华南农业大学改制的14 cm × 25 cm 直播机。

1.2 试验设计

试验于2016年4~10月在海南省三亚市九所镇抱旺村和湖南省武冈市邓元泰镇山岚村进行。材料的播种及移栽日期如表1所示,父母本栽插行比均为6:40。

表1 制种材料播插日期

Table 1 Seeding and transplanting date of the female parents

试验地点	母本	播种期	移栽期
乐东	Y58S	01-31~02-01	02-17~23
武冈	丰源 A	05-18	06-06
	H638S	05-16	06-03

1.2.1 农用无人机喷施赤霉素剂量与方法

根据 Y58S、H638S 和丰源 A 在人工喷施条件下的最佳赤霉素剂量, Y58S 按 80%、100% 和 120% 设计了 3 种无人机喷施赤霉素剂量, H638S 和丰源 A 按 60%、80% 和 100% 设计了 3 种无人机喷施赤霉素剂量,并在机械栽插、人工栽插或机直播 3 种栽插方式下进行喷施,各处理代号如表 2。

表2 赤霉素喷施剂量和处理代号

Table 2 The gibberellin doses and treatment code

栽插方式	各品种喷施剂量(g/hm ²)								
	Y58S			H638S			丰源 A		
	576	480	385	540	432	324	570	459	342
人工栽插	A1	A2	A3						
机械栽插	B1	B2	B3	C1	C2	C3	L1	L2	L3
机直播				D1	D2	D3	M1	M2	M3

每个小区面积 400 m², 3 次重复。无人机飞行高度 3~5 m, 飞行速度 3 m/s 左右, 采用 XR11001VS 型喷头, 分两天喷施, 第一天喷施 40% 剂量, 第二天喷施 60% 剂量, 赤霉素和水的混合液按 15 L/hm² 配

比喷施。

1.2.2 赤霉素喷施时期

第一天喷施赤霉素时, Y58S 群体抽穗率 40%

左右、丰源 A 群体抽穗率 15% 左右、H638S 为 20% 左右。喷施前在各群体中分别选取以下 5 个抽穗指标的单株各 9 株挂牌标记,考查不同抽穗率单株的赤霉素喷施效果。

K1: Y58S 为抽穗率 5% ~ 15%; 丰源 A 为幼穗分化八期; H638S 为抽穗 5% 以下。

K2: Y58S 为抽穗率 15% ~ 25%; 丰源 A 为抽穗 0% ~ 10%; H638S 为抽穗 5% ~ 15%。

K3: Y58S 为抽穗率 25% ~ 35%; 丰源 A 为抽穗 10% ~ 20%; H638S 为抽穗 15% ~ 25%。

K4: Y58S 为抽穗率 35% ~ 45%; 丰源 A 为抽穗 20% ~ 30%; H638S 为抽穗 25% ~ 35%。

K5: Y58S 为抽穗率 45% 以上; 丰源 A 为抽穗 30% ~ 40%; H638S 为抽穗 35% ~ 45%。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 对赤霉素敏感性状的考查

授粉结束后第 10 天,将各处理不同抽穗率标记的单穴稻株平地割回,考查以下性状:

①穗高。测量每穴单穗的穗高,计算出平均穗层高度。

②穗总粒数、包颈粒数,计算包颈粒率。包颈粒率 = 包颈粒数 ÷ 总粒数 × 100%。

③全外露穗数,计算全外露穗率。全外露穗率 = 全外露穗数 ÷ 总穗数 × 100%。

④穗层整齐度。

$$rd = \frac{(\bar{x} - s)}{x} \times 100; s = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}}$$

表 3 母本 Y58S 人工栽插下无人机喷施不同剂量赤霉素的效果(2016,海南三亚)

Table 3 Effect of different dose gibberellin sprayed by unmanned aerial vehicle on female plant artificial planted (2016, Sanya, Hainan)

处理	赤霉素喷施剂量(g/hm ²)	穗层高度(cm)	包颈粒率(%)	全外露穗率(%)
A1	576	99.77 ± 0.40 b	1.27 ± 0.23 b	84.64 ± 0.40 a
A2	480	97.14 ± 0.17 c	1.08 ± 0.08 b	85.48 ± 1.11 a
A3	385	95.50 ± 0.08 d	1.74 ± 0.35 a	76.26 ± 1.33 b
CK	480	108.78 ± 0.14 a	1.91 ± 0.05 a	66.57 ± 2.39 c

2.1.2 人工栽插和机械栽插下农用无人机喷施相同剂量赤霉素的效果

由表 4 可知, Y58S 在人工栽插和机械栽插下利用无人机喷施相同剂量赤霉素时,机插各剂量处理的穗层高度都显著高于同剂量处理下人工栽插的穗

式中: rd 为整齐度; x 为样本平均值; s 为标准差; n 为样本容量(样本个数)。

1.3.2 数据统计与分析

数据采用 Excel2007 和 DPS7.05 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 农用无人机喷施赤霉素的效果分析

穗层高度、包颈粒率和全外露穗率是考查制种母本喷施赤霉素后效果的 3 个重要指标。制种父母本合理的穗层高度是保证良好异交态势的前提,包颈粒率越低、全外露穗率越高说明喷施赤霉素的效果越好。

2.1.1 农用无人机对 Y58S 喷施不同剂量赤霉素的效果

Y58S 人工对照区(CK)用量 480 g/hm², 无人机 3 个喷施浓度处理分别为 576、480、385 g/hm²。由表 3 可知, Y58S 各剂量处理的穗层高度显著低于 CK, 分别比 CK 降低 9.01、11.64、13.28 cm, 穗层高度随喷施剂量的减少有下降的趋势; A1 和 A2 包颈粒率显著低于 CK, A3 和 CK 无显著差异, 并在 A2 时有最低包颈粒率, 分别比 CK 降低 0.64%、0.83%、0.17%; 全外露穗率均显著高于 CK, 分别比 CK 高 18.07%、18.91%、9.69%, 在 A2 时有最高全外露粒率。由分析可知, Y58S 利用无人机喷施各剂量赤霉素效果均优于人工喷施。

层高度,包颈粒率都低于同剂量处理下人工栽插的包颈粒率,全外露穗率都高于同剂量处理下人工栽插的全外露穗率,且 B3 处理的全外露穗率显著高于 A3。因此,利用无人机喷施同剂量赤霉素时,母本机插较人工栽插效果更好,其中 B3 的包颈粒率最低(0.67%),全外露穗率最高(90.61%),在此处

理时利用无人机喷施的效果最好。

表 4 母本 Y58S 人工栽插和机插下无人机喷施同剂量赤霉素的效果 (2016, 海南三亚)

Table 4 Effect of different dose gibberellin sprayed by unmanned aerial vehicle on female plants which artificial planted or machine – transplanted (2016, Sanya, Hainan)

处理	穗层高度 (cm)	包颈粒率 (%)	全外露穗率 (%)
A1	99.77 ± 0.29 b	1.27 ± 0.40 a	84.64 ± 0.69 a
B1	103.08 ± 0.69 a	0.97 ± 0.27 a	87.81 ± 2.42 a
A2	97.14 ± 0.30 b	1.08 ± 0.14 a	85.48 ± 1.93 a
B2	99.57 ± 0.26 a	1.05 ± 0.08 a	85.85 ± 1.27 a
A3	95.50 ± 0.14 b	1.74 ± 0.60 a	76.26 ± 2.30 b
B3	99.62 ± 0.90 a	0.67 ± 0.31 a	90.61 ± 3.41 a

2.1.3 机插和机直播下农用无人机喷施相同剂量赤霉素的效果

由表 5 可知,在母本机插和机直播下利用无人机喷施相同剂量赤霉素时,H638S 机插各剂量处理的穗层高度显著高于同剂量处理下机直播的穗层高度,而其包颈粒率基本一致,机插各剂量处理的全外露穗率都高于同剂量处理下机直播的穗层高度。丰源 A 机插穗层高度显著高于机直播,而机直播包颈

粒率显著高于机插,机插全外露穗率显著高于机直播。因此,利用无人机喷施同剂量赤霉素时,H638S 机插穗层高度显著高于机直播,包颈粒率和全外露穗率效果与机直播效果基本一致,各喷施剂量之间也无明显差异;丰源 A 机插效果较机直播效果更好,其中 L1 的包颈粒率最低(0.84%),全外露穗率最高(81.07%),在此处理时利用无人机喷施赤霉素的效果最好。

表 5 母本机插和机直播下无人机喷施同剂量赤霉素的效果 (2016, 湖南武冈)

Table 5 Effect of different dose gibberellin sprayed by unmanned aerial vehicle on female plants which machine – transplanted and machinical direct seeded (2016, Wugang, Hunan)

品种	处理	穗层高度 (cm)	包颈粒率 (%)	全外露穗率 (%)
H638S	C1	110.29 ± 1.91 a	0.81 ± 0.03 a	89.05 ± 1.84 a
	D1	106.49 ± 0.50 a	0.81 ± 0.05 a	87.86 ± 1.65 a
	C2	110.68 ± 0.67 a	0.53 ± 0.01 a	84.14 ± 1.12 a
	D2	103.10 ± 0.43 b	0.58 ± 0.09 a	79.53 ± 1.33 a
	C3	112.35 ± 0.82 a	0.62 ± 0.04 a	86.79 ± 1.02 a
	D3	106.26 ± 0.75 b	0.63 ± 0.01 a	85.83 ± 0.20 a
丰源 A	L1	103.54 ± 0.17 a	0.84 ± 0.19 b	81.07 ± 4.42 a
	M1	97.36 ± 0.12 b	3.78 ± 0.33 a	43.48 ± 4.70 b
	L2	103.52 ± 0.63 a	0.94 ± 0.20 b	77.16 ± 3.08 a
	M2	97.16 ± 0.19 b	2.21 ± 0.05 a	55.20 ± 3.37 b
	L3	103.69 ± 0.38 a	1.14 ± 0.06 b	75.14 ± 2.12 a
	M3	97.49 ± 0.67 b	2.04 ± 0.10 a	61.66 ± 1.97 b

2.2 农用无人机对母本群体中不同抽穗率单株喷施赤霉素的效果分析

2.2.1 Y58S 人工栽插下各剂量赤霉素处理的不同抽穗率单株的效果

在制种中,Y58S 人工喷施赤霉素时最佳始喷抽穗指标为 40%。授粉后第 10 天在各喷施剂量为试验区对标记单株取样调查赤霉素效果。由表 6 可

知,各处理中 A1K1 穗层高度最高为 102.43 cm, A2K5 穗层高度最低为 92.60 cm;对各剂量处理中不同抽穗率单株利用无人机喷施赤霉素时,A1 的穗层高度最整齐 ($rd = 97.94$),A2 整齐度较差 ($rd = 93.98$);各处理中 A2K4 包颈粒率最高为 2.25%, A2K2 包颈粒率最低为 0.32%,A3 各抽穗率单株包颈粒率都在 1% 以上;各处理中 A2K3 全外露穗率最高为 95.19%,A3K1 包颈粒率最低为 68.95%。分

析可知, Y58S 在处理 A1K1、A2K1、A2K2、A2K3 时 喷施效果都较好。

表 6 Y58S 人工栽插下各剂量赤霉素处理的不同抽穗率单株效果 (2016, 海南三亚)

Table 6 Effect of different dose gibberellin on single plant of Y58S artificial – transplanted with different heading rate (2016, Sanya, Hainan)

处理	时期	穗层高度 (cm)	穗层整齐度 <i>rd</i>	包颈粒率 (%)	全外露穗率 (%)
A1	K1	102.43 ± 0.84 a	97.94	0.58 ± 0.06 e	88.92 ± 2.00 abc
	K2	98.06 ± 2.27 cde		1.44 ± 0.17 c	84.63 ± 4.27 bc
	K3	101.16 ± 0.32 ab		1.80 ± 0.13 b	86.11 ± 2.00 bc
	K4	99.72 ± 0.04 abc		0.49 ± 0.04 e	85.95 ± 3.74 bc
	K5	97.51 ± 0.53 cde		2.02 ± 0.19 ab	77.58 ± 6.03 bcd
A2	K1	99.51 ± 0.73 bc	93.98	1.14 ± 0.08 d	89.03 ± 0.71 ab
	K2	97.76 ± 1.68 cde		0.32 ± 0.07 e	88.64 ± 5.78 abc
	K3	99.36 ± 0.51 bcd		0.49 ± 0.08 e	95.19 ± 3.14 a
	K4	96.47 ± 1.30 de		2.25 ± 0.16 a	73.72 ± 2.72 bcd
	K5	92.60 ± 0.87 f		1.18 ± 0.03 d	80.82 ± 4.16 bcd
A3	K1	95.94 ± 1.37 e	96.91	1.88 ± 0.14 b	68.95 ± 9.97 d
	K2	95.98 ± 1.05 e		1.98 ± 0.09 b	78.89 ± 8.58 bcd
	K3	97.02 ± 0.96 cde		1.66 ± 0.28 c	80.75 ± 4.75 bcd
	K4	95.82 ± 1.06 e		1.35 ± 0.06 cd	74.53 ± 7.79 bcd
	K5	92.73 ± 0.51 f		1.84 ± 0.10 b	78.21 ± 3.81 cd

2.2.2 Y58S 机械栽插下各剂量赤霉素处理的不同抽穗率单株的效果

由表 7 可知, 各处理中 B1K1 穗层高度最高为 107.78 cm, B2K5 穗层高度最低为 89.58 cm, 各剂量处理中 K1、K2 穗层高度显著高于 K3 ~ K5, 均在 K1 有最大的穗层高, 分别为 107.78、106.24 和 103.48 cm; 对各剂量处理中不同抽穗率单株利用无人机喷施赤霉素时, B3 的穗层高度最整齐 ($rd = 96.20$), B2 整齐度最低 ($rd = 93.33$)。各处理中 B2K5 包颈粒率最高为 3.28%, B2K1 包颈粒率最低

为 0, 各剂量处理中 K1、K2 包颈粒率均低于 K3 ~ K5, B3 和 B2 在 K1 时包颈粒率最低, 分别为 0.02% 与 0, B1 在 K2 时包颈粒率最低为 0.42%。各处理中 B2K1 全外露穗率最高为 100%, B2K5 全外露穗率最低为 58.70%, 各剂量处理中 K1、K2 全外露穗率均高于 K3 ~ K5, B3 和 B2 在 K1 时全外露穗率最高, 分别为 98.89% 与 100%, B1 在 K2 时全外露穗率最高为 96.82%。分析可知, Y58S 在处理 B2K1、B2K2、B1K1、B1K2、B3K1、B3K2 时喷施效果都较好。

表 7 Y58S 机械栽插下各剂量赤霉素处理的不同抽穗率单株效果 (2016, 海南三亚)

Table 7 Effect of different dose gibberellin on single plant of Y58S machine – transplanted with different heading rate (2016, Sanya, Hainan)

处理	时期	穗层高度 (cm)	穗层整齐度 <i>rd</i>	包颈粒率 (%)	全外露穗率 (%)
B1	K1	107.78 ± 0.75 a	95.97	0.53 ± 0.06 cde	91.56 ± 5.29 abcd
	K2	106.28 ± 0.79 ab		0.42 ± 0.01 de	96.82 ± 1.60 abc
	K3	104.67 ± 0.19 bc		0.54 ± 0.04 cde	88.88 ± 4.83 abcd
	K4	103.67 ± 0.48 c		0.82 ± 0.13 cde	88.88 ± 1.11 bcd
	K5	96.91 ± 0.43 f		2.54 ± 0.16 ab	72.89 ± 4.72 e
B2	K1	106.24 ± 0.35 ab	93.33	0.00 ± 0.00 e	100.00 ± 0.00 a
	K2	104.81 ± 0.52 bc		0.47 ± 0.02 de	95.48 ± 2.32 abc
	K3	99.84 ± 0.67 d		0.51 ± 0.01 bc	87.68 ± 1.17 cd
	K4	97.39 ± 0.63 ef		0.52 ± 0.05 cde	87.39 ± 0.39 cd
	K5	89.58 ± 0.84 h		3.28 ± 0.11 a	58.70 ± 5.53 f

(续表 7)

处理	时期	穗层高度(cm)	穗层整齐度 <i>rd</i>	包颈粒率(%)	全外露穗率(%)
B3	K1	103.48 ± 1.02 c	96.2	0.02 ± 0.01 e	98.89 ± 1.11 ab
	K2	103.30 ± 0.85 c		0.33 ± 0.03 e	90.11 ± 5.77 abcd
	K3	94.78 ± 1.17 g		0.69 ± 0.05 cde	92.34 ± 4.16 abcd
	K4	97.30 ± 0.31 ef		0.75 ± 0.03 cde	83.14 ± 5.12 de
	K5	99.26 ± 0.49 de		1.58 ± 0.14 bcd	88.57 ± 3.99 abcd

2.2.3 H638S 机插下各剂量赤霉素处理的不同抽穗率单株的效果

在制种中, H638S 人工喷施赤霉素时最佳始喷抽穗指标为 20%。由表 8 可知, 各处理中 C2K1 穗层高度最高为 115.19 cm, C1K3 穗层高度最低为 106.99 cm; 对各剂量处理中不同抽穗率单株利用无人机喷施赤霉素时, C3 的穗层高度最整齐 (*rd* =

98.42), C3 整齐度较差 (*rd* = 93.58); 各处理包颈粒率都在 1% 以下, 其中 C2K2 包颈粒率最高为 0.86%, C3K3 包颈粒率最低为 0.22%; 各处理全外露穗率均在 75% 以上, 其中 C1K3 全外露穗率最高为 93.98%, C3K1 全外露穗率最低为 76.31%。分析可知, 无人机对机插 H638S 各处理所有抽穗率单株喷施效果都较好。

表 8 H638S 机插下各剂量赤霉素处理的不同抽穗率单株效果 (2016, 湖南武冈)

Table 8 Effect of different dose gibberellin on single plant of H638S machine – transplanted with different heading rate (2016, Wugang, Hunan)

处理	时期	穗层高度(cm)	穗层整齐度 <i>rd</i>	包颈粒率(%)	全外露穗率(%)
C1	K1	113.06 ± 2.08 abc	93.58	0.58 ± 0.03 bcde	90.70 ± 1.43 ab
	K2	114.96 ± 2.29 ab		0.57 ± 0.07 bcde	90.51 ± 2.24 ab
	K3	106.99 ± 1.42 c		0.29 ± 0.01 f	93.98 ± 1.58 a
	K4	108.95 ± 1.40 abc		0.41 ± 0.08 ef	93.78 ± 2.03 a
	K5	107.48 ± 2.23 bc		0.83 ± 0.11 a	92.96 ± 1.50 ab
C2	K1	115.19 ± 3.33 a	94.64	0.76 ± 0.01 ab	82.04 ± 2.73 de
	K2	110.79 ± 1.76 abc		0.77 ± 0.05 ab	77.10 ± 2.48 ef
	K3	111.02 ± 1.30 abc		0.28 ± 0.09 f	90.81 ± 1.19 ab
	K4	107.11 ± 2.44 c		0.54 ± 0.04 de	78.85 ± 1.94 ef
	K5	109.29 ± 0.64 abc		0.29 ± 0.00 f	91.89 ± 2.62 ab
C3	K1	113.55 ± 2.04 abc	98.42	0.55 ± 0.03 cde	76.31 ± 0.57 f
	K2	112.65 ± 1.87 abc		0.86 ± 0.02 a	84.29 ± 1.46 cd
	K3	111.85 ± 0.59 abc		0.22 ± 0.02 f	87.94 ± 0.70 bc
	K4	112.52 ± 1.01 abc		0.74 ± 0.04 abcd	93.84 ± 0.65 a
	K5	111.18 ± 0.47 abc		0.73 ± 0.08 abcd	88.22 ± 1.25 bc

2.2.4 H638S 机直播下各剂量赤霉素处理的不同抽穗率单株的效果

由表 9 可知, 各处理穗层高度在 100 ~ 110 cm 之间, 其中 D1K1 穗层高度最高为 109.70 cm, D2K5 穗层高度最低为 100.16 cm, 3 个剂量处理的穗层高度的整齐度都在 95 左右; 各处理包颈粒率都在

1.5% 以下, 其中 D1K5 包颈粒率最低为 0.31%; D1K5 全外露穗率最高为 95.39%, D2K1 全外露穗率最低为 68.37%, 除 D2K1 以外, 其它各处理全外露穗率都在 75% 以上。分析可知, 无人机对机直播 H638S 各处理所有抽穗率单株喷施效果都较好。

表9 H638S机直播下各剂量赤霉素处理的不同抽穗率单株效果(2016,湖南武冈)

Table 9 Effect of different dose gibberellin on single plant of H638S machine – direct seeded with different heading rate (2016, Wugang, Hunan)

处理	时期	穗层高度(cm)	穗层整齐度 <i>rd</i>	包颈粒率(%)	全外露穗率(%)
D1	K1	109.70 ± 0.55 a	95.58	1.48 ± 0.09 a	82.78 ± 1.07 bc
	K2	107.56 ± 0.96 ab		0.39 ± 0.01 e	85.36 ± 0.74 bc
	K3	106.71 ± 1.88 abc		0.66 ± 0.06 cde	91.03 ± 0.87 a
	K4	104.81 ± 0.86 abcd		1.19 ± 0.05 ab	84.75 ± 1.05 bc
	K5	103.68 ± 1.85 bcd		0.31 ± 0.01 e	95.39 ± 1.15 a
D2	K1	106.49 ± 2.12 abc	94.03	0.72 ± 0.04 bcde	68.37 ± 1.79 d
	K2	106.29 ± 0.40 abc		0.43 ± 0.08 de	80.56 ± 1.66 c
	K3	100.64 ± 1.48 d		0.63 ± 0.01 cde	78.44 ± 1.33 c
	K4	101.90 ± 1.11 cd		0.56 ± 0.07 cde	86.19 ± 0.94 bc
	K5	100.16 ± 2.00 d		0.57 ± 0.06 cde	84.09 ± 0.60 bc
D3	K1	108.42 ± 1.97 ab	95.57	0.62 ± 0.03 cde	86.39 ± 2.10 bc
	K2	106.51 ± 2.29 abc		0.81 ± 0.02 bcd	81.89 ± 1.10 bc
	K3	107.64 ± 3.07 ab		1.01 ± 0.10 abc	85.43 ± 1.43 bc
	K4	106.41 ± 2.04 abc		0.38 ± 0.02 e	83.68 ± 0.58 bc
	K5	102.32 ± 0.64 cd		0.34 ± 0.01 e	91.77 ± 2.80 a

2.2.5 丰源A机插下各剂量赤霉素处理的不同抽穗率单株的效果

在制种中,丰源A人工喷施赤霉素时最佳始喷抽穗指标为15%左右。由表10可知,各处理中L1K1穗层高度最高为114.27 cm,L2K5穗层高度最低为92.25 cm,3个剂量处理的穗层高度的整齐

度都在92左右,并随抽穗率的增加而呈下降的趋势;各处理中L1K2包颈粒率最高为2.09%,L3K3包颈粒率最低为0.45%;各处理中L1K3全外露穗率最高为85.60%,L1K2全外露穗率最低为53.06%。分析可知,各剂量处理在抽穗率K2时包颈粒率高于K1、K3,全外露穗率低于K1、K3。

表10 丰源A机插下各剂量赤霉素处理的不同抽穗率单株效果(2016,湖南武冈)

Table 10 Effect of different dose gibberellin on single plant of Fengyuan A machine – transplanted with different heading rate (2016, Wugang, Hunan)

处理	时期	穗层高度(cm)	穗层整齐度 <i>rd</i>	包颈粒率(%)	全外露穗率(%)
L1	K1	114.27 ± 1.51 a	92.88	0.88 ± 0.02 bcde	82.25 ± 1.77 a
	K2	103.16 ± 1.37 cd		2.09 ± 0.19 a	53.06 ± 1.34 d
	K3	101.57 ± 0.77 d		0.52 ± 0.09 e	85.60 ± 0.93 a
	K4	103.75 ± 0.40 cd		1.35 ± 0.15 abcd	73.23 ± 0.87 c
	K5	95.69 ± 1.19 e		0.84 ± 0.07 bcde	81.56 ± 0.78 a
L2	K1	113.06 ± 1.31 a	91.46	0.56 ± 0.08 bcde	81.41 ± 0.78 a
	K2	109.91 ± 0.40 b		0.72 ± 0.09 cde	74.72 ± 0.38 bc
	K3	105.84 ± 1.26 c		0.57 ± 0.02 de	80.80 ± 0.94 ab
	K4	96.56 ± 0.70 e		1.03 ± 0.06 bcde	73.02 ± 0.73 c
	K5	92.25 ± 0.63 f		1.40 ± 0.16 abc	75.87 ± 0.69 bc
L3	K1	111.68 ± 1.23 ab	92.93	0.71 ± 0.02 cde	82.91 ± 1.33 a
	K2	109.25 ± 0.53 b		0.80 ± 0.05 bcde	81.08 ± 1.43 a
	K3	104.70 ± 1.12 c		0.45 ± 0.08 e	85.48 ± 0.45 a
	K4	96.70 ± 1.35 e		0.71 ± 0.01 cde	82.91 ± 1.38 a
	K5	95.35 ± 1.41 ef		1.53 ± 0.10 ab	72.99 ± 1.94 c

2.2.6 丰源 A 机直播下各剂量赤霉素处理的不同抽穗率单株的效果

由表 11 可知,各处理中 M3K1 穗层高度最高为 107.22 cm, M3K5 穗层高度最低为 88.37 cm, 3 个剂量处理的穗层高度的整齐度都在 93 左右, 并随抽穗率的增加而呈下降的趋势; 各处理中 M3K2 包颈粒

率最高为 4.99%, M1K4 包颈粒率最低为 1.36%; 各处理中 M1K5 全外露穗率最高为 73.71%, M3K4 全外露穗率最低为 38.44%。分析可知, M3 与 M2 处理在抽穗率 K2 时包颈粒率高于 K1、K3, 全外露穗率低于 K1、K3。

表 11 丰源 A 机直播下各剂量赤霉素处理的不同抽穗率单株效果(2016, 湖南武冈)

Table 11 Effect of different dose gibberellin on single plant of Fengyuan A machinical direct seeded with different heading rate (2016, Wugang, Hunan)

处理	时期	穗层高度(cm)	穗层整齐度 <i>rd</i>	包颈粒率(%)	全外露穗率(%)
M1	K1	99.45 ± 0.80 bc	93.28	2.99 ± 0.80 bcde	45.55 ± 4.32 bcd
	K2	101.20 ± 1.19 b		1.88 ± 0.55 e	63.07 ± 10.33 abc
	K3	98.06 ± 1.19 cd		2.46 ± 0.69 de	53.48 ± 6.81 abcd
	K4	95.99 ± 1.25 de		1.36 ± 0.37 e	72.49 ± 6.33 a
	K5	92.73 ± 0.61 f		1.52 ± 0.41 e	73.71 ± 2.83 a
M2	K1	105.07 ± 1.51 a	94.24	1.75 ± 0.57 e	57.61 ± 5.24 abcd
	K2	98.99 ± 1.11 bcd		4.09 ± 0.23 abcd	45.28 ± 3.22 bcd
	K3	98.23 ± 1.12 bcd		1.78 ± 0.69 e	58.10 ± 12.65 abcd
	K4	91.87 ± 0.30 f		1.78 ± 0.53 e	54.75 ± 1.25 abcd
	K5	91.64 ± 0.45 f		1.67 ± 0.37 e	65.27 ± 5.30 ab
M3	K1	107.22 ± 0.87 a	92.95	2.07 ± 0.15 e	47.22 ± 1.39 bcd
	K2	97.89 ± 1.20 cd		4.99 ± 1.42 a	44.03 ± 10.25 cd
	K3	98.75 ± 1.02 bcd		2.59 ± 0.33 cde	46.68 ± 7.82 bcd
	K4	94.57 ± 1.05 ef		4.43 ± 0.58 abc	38.44 ± 10.21 d
	K5	88.37 ± 1.40 g		4.84 ± 1.00 ab	41.03 ± 5.11 d

3 讨论与结论

3.1 讨论

前人研究表明, 杂交水稻的异交态势不仅与品种本身特性有关, 还受环境因素的影响^[12,13]。品种特性方面, 不同不育系对赤霉素的敏感度和敏感性有差异, 导致赤霉素喷施的时期和用量不一致^[14,15]。Y58S 属于籼型两用核不育系, 不育性稳定, 抽穗整齐, 开花集中, 未喷施赤霉素时包颈粒率 6.7%, 包颈度小, 对赤霉素敏感; H638S 属于籼型温敏两用核不育系, 不育性稳定, 未喷施赤霉素时包颈粒率 13.8% 左右, 对赤霉素敏感; 丰源 A 属于籼型水稻三系不育系, 农艺性状整齐一致, 不育性稳定, 异交性好, 开花集中, 对赤霉素钝感^[16-18]。本研究结果显示, 在机插条件下利用无人机喷施赤霉素时, Y58S 在抽穗率 5% ~ 45% 范围内 3 个喷施剂量处理时效果都较好, 其包颈粒率在 1% 以下, 全外露穗率在 80% 以上; H638S 在抽穗率 5% ~ 45% 范围内

3 个喷施剂量处理效果都较好; 丰源 A 以抽穗率 10% ~ 20%, 喷施剂量 570 g/hm² 时效果最佳。Y58S、H638S 和丰源 A 三个品种间赤霉素喷施时期和用量不同, Y58S 和 H638S 对赤霉素敏感, 其利用无人机喷施赤霉素时, 在一定始喷抽穗率和喷施剂量范围内均可达到较好效果, 而丰源 A 对赤霉素钝感, 要达到较好喷施效果, 需严格掌握始喷抽穗率和喷施剂量。

喷施方式上, 母本利用无人机喷施赤霉素相对人工喷施具有更广泛的初始喷施抽穗指标和喷施剂量。本研究结果表明, Y58S 人工喷施赤霉素的喷施时期以见穗 40% 左右, 喷施量以 480 g/hm² 左右为最佳, 利用无人机喷施时, 在抽穗率 5% ~ 45% 范围内喷施 576、480、385 g/hm² 都可达到相同效果。这是因为植物茎叶对赤霉素的吸收在一定范围内随药液浓度增加而增强^[19], 而无人机喷施赤霉素相对人工喷施具有容量低、浓度高、药液雾化程度高、雾滴小、药剂在防治目标上分散度高等特点, 能够提高药剂喷施的均匀性^[20-22]。

栽培方式上,不同栽插方式下群体结构不同,抽穗特性有差异。机插母本相较人工栽插播始历期延长、分蘖期长、分蘖速度快、爆发力强,易造成群体过大,成穗率降低5%左右,抽穗不整齐,但其群体结构合理,单穴有效穗多^[23~25];机直播母本相较人工栽插播始历期缩短,中期苗峰高,茎秆纤细易倒伏,成穗率低,个体发育均匀,开花历期缩短,花期整齐集中^[26,27]。本研究结果表明,利用无人机喷施赤霉素时,Y58S机插的效果优于人工栽插,其穗层高度和全外露穗率都随抽穗率的增加呈下降的趋势。Y58S、H638S和丰源A机插的喷施效果较好,是由于机插母本花期长,有效分蘖多,对赤霉素剂量的适应性广,在一定范围内均可达到良好效果;H638S机直播喷施效果较好,而丰源A机直播在试验剂量和抽穗期下喷施效果不好,其可能原因是直播花期整齐集中,有效分蘖少,受品种对赤霉素敏感性影响更大。

3.2 结论

杂交水稻喷施赤霉素效果的好坏由不育系本身特性、栽插方式和喷施技术共同决定。杂交水稻制种母本无论采取机插、机直播或人工移栽方式均可使用农用无人机喷施赤霉素,其效果要优于人工背负式喷雾器喷施的效果,在同剂量同始喷抽穗期时,机插的喷施效果优于机直播和人工栽插的喷施效果。不同品种在不同的栽插方式下利用无人机喷施赤霉素时,其剂量和最佳始喷期不同,Y58S、H638S与丰源A在机插时利用农用无人机喷施赤霉素可以适当减少赤霉素用量,始喷期可以提前。

参考文献:

- [1] 黄文尧. 赤霉素在杂交稻制种的用量与方法[J]. 广西农业科学, 2003(3): 30-31.
- [2] 李文江. 解决杂交稻不育系母本包穗现象的技术[J]. 陕西农业科学, 1985(6): 18.
- [3] 官华忠. 水稻包穗的遗传研究[D]. 福州: 福建农林大学博士学位论文, 2011.
- [4] 傅乾安. 不同浓度的赤霉素对杂交水稻制种产量的影响[J]. 种子, 1985(1): 28-29.
- [5] 刘希忠. BB肥和“九二〇”对水稻亲本繁殖产量影响的研究[D]. 重庆: 西南大学硕士学位论文, 2005.
- [6] 张波, 翟长远, 李瀚哲, 等. 精准施药技术与装备发展现状分析[J]. 农机化研究, 2016(4): 1-5, 28.
- [7] 弋晓康. 我国植保机械的现状与发展趋势探讨[J]. 农机化研究, 2007(3): 218-220.
- [8] 何雄奎. 改变我国植保机械和施药技术严重落后的现状[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 13-15.
- [9] 刘德红, 刘昌东. 植保无人机产业发展研究——以江西省为例[J]. 中国高新技术企业, 2016(6): 9-11.
- [10] 薛新宇. 航空施药技术应用及对水稻品质影响研究[D]. 南京: 南京农业大学博士学位论文, 2013.
- [11] 薛新宇, 屠康, 兰玉彬, 等. 无人机高浓度施药对水稻品质的影响[J]. 农业机械学报, 2013(12): 94-98, 79.
- [12] 乔保建. 水稻异交相关性状及其对GA₃敏感性的遗传分析[D]. 南京: 南京农业大学博士学位论文, 2007.
- [13] 陈兰, 张红, 张启武, 等. 水稻6个异交相关性状的SSR关联分析[J]. 南京农业大学学报, 2012(2): 1-9.
- [14] 方金旭, 张长海, 刘可计. 超级杂交稻国稻6号亲本特征特性初探[J]. 杂交水稻, 2010(1): 26-28.
- [15] 周继勇, 肖层林, 刘爱民, 等. 两系超级杂交稻Y两优1号母本直播制种技术[J]. 杂交水稻, 2010(1): 28-30.
- [16] 邓启云. 广适性水稻光温敏不育系Y58S的选育[J]. 杂交水稻, 2005(2): 18-21.
- [17] 隆科 638S(H638S) [EB/OL] <http://www.ricedata.cn/variety/varis/609848.htm>. [2014-03-01].
- [18] 杨庭铭, 叶佐添, 张琼芳. 水稻不育系丰源A的特性及繁殖技术[J]. 杂交水稻, 2003(1): 31-32.
- [19] 白克智, 盛其潮. 改进赤霉素的使用技术[J]. 植物杂志, 1989(1): 18.
- [20] 张慧春, 周宏平, 郑加强. 喷头雾化性能及雾滴沉积可视化模型研究[J]. 林业工程学报, 2016(3): 91-96.
- [21] 陈盛德, 兰玉彬, 李继宇, 等. 小型无人直升机喷雾参数对杂交水稻冠层雾滴沉积分布的影响[J]. 农业工程学报, 2016(17): 40-46.
- [22] 秦维彩, 薛新宇, 周立新, 等. 无人直升机喷雾参数对玉米冠层雾滴沉积分布的影响[J]. 农业工程学报, 2014(5): 50-56.
- [23] 吴志源, 蔡巨广, 张数标. 谷优2329母本机插制种技术[J]. 杂交水稻, 2013(6): 32-34.
- [24] 李忠芹, 曹跃先, 黄英, 等. 杂交水稻母本机插高产制种技术[J]. 农业科技通讯, 2012(8): 217-219.
- [25] 周友旺, 杨俊山, 朱海鹏, 等. 杂交水稻特优009母本机插制种技术[J]. 现代农业科技, 2012(21): 78, 84.
- [26] 王永兵, 侯玉艳. 杂交水稻母本直播高产制种技术探析[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(12): 42.
- [27] 唐文帮, 雷东阳, 邓化冰. 两系杂交早稻‘两优17’母本直播制种技术研究[J]. 中国农学通报, 2014(12): 46-50.