

甜玉米单倍体浸种方法优化研究

李高科, 郑锦荣, 胡建广, 韩福光, 刘建华

(广东省农业科学院作物研究所/广东省农作物遗传改良重点实验室, 广州 510640)

摘要: 以“粤甜13号”单倍体种子为材料, 利用不同浓度秋水仙素直接浸泡单倍体种子, 同时设置加倍时间及加倍温度两个因素, 并对单倍体浸种方法进行优化。结果表明, 秋水仙素浓度、加倍时间和加倍温度均会影响甜玉米单倍体加倍效果, 通过秋水仙素直接浸泡甜玉米单倍体种子, 可显著提高甜玉米单倍体加倍率。如不考虑各因素间互作, 最适加倍浓度、处理时间及加倍温度分别为0.02%、30 h、32℃; 若考虑各因素间互作, 0.02%浓度, 24℃处理32 h可获得较高的单倍体结实率, 药害率低, 且均优于自然加倍和常规秋水仙素处理。

关键词: 甜玉米; 单倍体; 浸种; 优化

中图分类号: S513.035.2

文献标识码: A

Preliminary Study on Soaking Seed Mean Optimizaiton of Sweet Corn Haploid

LI Gao-ke, ZHENG Jin-rong, HU Jian-guang, HAN Fu-guang, LIU Jian-hua

(Crop Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences /

Guangdong Provincial Key Laboratory of Crops Genetics and Improvement, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In order to further improve the doubling efficiency of sweet corn haploid, “Yuetian13” haploid seeds as materials, different concentration colchicine was directly used to soak sweet haploid seeds, at the same time, doubling time and temperature were studied, and optimized the soaking seed method. The results showed that the colchicine concentration, doubling time and temperature effect the sweet corn haploid doubling ratio, soaked sweet corn haploid seeds directly by colchicine, can significantly improve the doubling ratio of sweet corn haploid. If not considering the interactions among various factors, the optimal doubling concentration, treatment time and temperature was 0.02%, 30 hours, 32℃ respectively, if considering the interactions among various factors, 0.02% concentration, 24℃ and 32 hours treatment could obtain more(doubled haploid, DH) line, but the Phytotoxicity ratio was very low, and was superior to the natural and normal colchicine doubling treatment, the research can provide reference for soaking seed doubling of sweet corn haploid.

Key words: Sweet corn; Haploid; Soaking seed; Optimization

收稿日期: 2014-06-20

基金项目: 广州市珠江科技新星项目(2013J2200083)、2014年院长基金项目[粤农科科技字(2013)14号]、广东省教育部产学研结合项目(2012B091100467)、广州市农业招标项目(GZCQC1202FG04002)、广东省旱地作物品种改良技术研究团队项目(No.2011A020102010)、2013年度广东省农业科学院作物所所长基金项目、广东-东盟科技合作平台建设(20110501)

作者简介: 李高科(1979-), 男, 四川安岳人, 副研究员, 博士, 从事甜玉米遗传育种研究。Tel: 020-87564526
E-mail: ligaoke790326@163.com

甜玉米营养价值高, 风味好, 深受大众喜爱, 近年在我国得到迅速发展, 综合利用前景十分广阔^[1]。采用单倍体育种(Doubled haploid, DH)技术可显著缩短玉米自交系选育时间, 加速育种进程, 已成为当前玉米选系的主要方法^[2, 3]。单倍体加倍率偏低仍是该技术广泛应用的首要限制因子, 在甜玉米上更是如此^[4]。

常用的化学加倍方法主要有浸种、浸芽、浸根及滴心法等, 浸种法因操作简便、适宜规模化加倍等优点在玉米育种中得到广泛应用, 但该方法加倍率仍偏低, 普通玉米一般在10%左右^[5~8], 而甜玉米仅5%左右, 限制了该技术在甜玉米上的应用。本研究对

现有浸种加倍方法进行优化,提高加倍效率。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

2013年春,以广东省农业科学院作物研究所选育的“粤甜13号”甜玉米品种为母本,诱导系“MT-2”为父本进行杂交诱导,获得拟单倍体种子。同年秋,以拟单倍体种子为材料,进行种子加倍处理,所有材料均种植于广东省农业科学院白云试验基地。

加倍试剂选用上海蓝季科技发展有限公司生产的秋水仙素(*Colchicine*,纯度99%),智能光照培养箱为宁波江南仪器厂生产的GXZ-5000。

1.2 单倍体处理方法

1.2.1 试剂配制

配制0.02%、0.06%、0.1%质量体积浓度的秋水仙素溶液备用。配方:分别称取0.036 g、0.12 g、0.6 g秋水仙素溶解于2.0%的二甲基亚砜(*Dimethyl sulf-oxide*, *DMSO*)中,充分溶解并定容至600 mL,存于棕色试剂瓶中,并置于阴暗避光处保存备用。

1.2.2 加倍处理

设秋水仙素浓度(0.02%、0.06%、0.1%)、加倍时间(18 h、24 h、30 h)和加倍温度(22℃、27℃、32℃)3个因素共27个处理,每个处理3次重复,同时设常规秋

水仙素处理(先清水浸泡10 h,再用0.06%秋水仙素浸泡12 h)和自然加倍两个对照,每个处理每次重复包含504粒拟单倍体种子。种子经秋水仙素处理后,迅速用清水冲洗30 min左右,后播于育苗盘,每孔2粒,待其长至3叶时移栽大田。

1.3 数据收集与处理

移栽前,统计出苗单倍体数、药害单倍体数。

移栽后,统计存活单倍体数;抽雄后,观察散粉情况,并对散粉株进行挂牌和人工辅助授粉;成熟后收获并晾晒,统计结实情况。数据分析采用Office 2003及Spss 21软件,各项指标统计方法如下:

散粉率=散粉单倍体株数/存活单倍体株数×100%;

结实率=结实单倍体株数/存活单倍体株数×100%;

药害率=药害单倍体株数/出苗单倍体株数×100%。

2 结果与分析

2.1 方差分析

由表1可知,各处理在3个性状上差异均达极显著,重复间差异未达5%显著,表明各处理在3个性状上存在真实差异,可进行下一步分析。

表1 不同处理及重复间方差分析
Table 1 Variance analysis in different treatments and repeat

项 目 Items		平方和 Quadratic sum	自由度 Free degree	均方 Mean square	F-值 F- value
散粉率 Pollen fertile ratio	组间	5 032.02	26	193.54	76.77**
	组内	136.14	54	2.521	
	总计	5 168.16	80		
药害率 Phytotoxicity ratio	组间	1 343.99	26	51.69	33.19**
	组内	84.10	54	1.56	
	总计	1 428.09	80		
结实率 Fruit ratio	组间	18 884.43	26	726.32	227.40**
	组内	172.48	54	3.19	
	总计	19 056.91	80		

注:**表示差异达极显著水平。

Note: ** indicated the difference was extreme significant level.

2.2 不同处理药害率差异显著性分析

由表2可知,27个处理间药害率存在显著差异,变幅为0.33%~15.38%,药害率低于1%的处理共4个,均显著低于常规秋水仙素处理,分别为0.02%浓度、32℃处理24 h,0.02%浓度、32℃处理18 h,0.1%浓度、22℃处理18 h,0.1%浓度、32℃处理18 h,其值

分别为0.33%、0.37%、0.37%、0.89%。低于常规秋水仙素处理的共12个,占44.44%;药害率高于10%的处理共6个,均显著高于常规秋水仙素处理,其中,排名前3位的处理为0.1%浓度、27℃处理30 h,0.06%浓度、22℃处理24 h,0.1%浓度、32℃处理24 h,其值分别为15.38%、15.00%、14.29%。

表2 不同处理药害率、散粉率及结实率表现

Table 2 Phytotoxicity ratio, pollen fertile ratio and fruit ratio of different treatments

秋水仙素 浓度(%)	加倍时间 (h)	加倍温度 (℃)	出苗单倍 体数(株)	存活单倍 体数(株)	药害单倍 体数(株)	药害率 (%)	散粉单倍 体数(株)	散粉率 (%)	结实单倍 体数(株)	结实率 (%)
Colchicine concentration	Doubling time	Doubling temperature	Germination haploid	Survival haploid	Phytotoxicity haploid	Phytotoxicity ratio	Pollen fertile haploid number	Pollen fertile ratio	Fruit haploid number	Fruit ratio
0.02	24	32	301	161	1	0.33 a	56	34.78 ghi	21	13.04 f
0.02	18	32	273	91	1	0.37 a	39	42.49 k	7	7.69 e
0.10	18	22	273	63	1	0.37 ab	14	22.22 b	2	3.17 b
0.10	18	32	224	77	2	0.89 ab	25	31.82 f	2	2.60 b
0.10	30	22	196	91	3	1.53 bc	17	19.23 a	2	2.20 ab
0.02	18	27	364	182	7	1.92 cd	77	42.31 k	7	3.85 c
0.02	30	27	343	133	7	2.04 de	46	34.21 fgh	2	1.50 a
0.02	18	22	329	147	7	2.13 def	53	35.71 hi	7	4.76 cd
0.06	30	22	308	112	7	2.27 def	42	37.50 ij	2	1.79 a
0.06	30	27	252	133	7	2.78 def	24	18.18 a	2	1.50 a
0.02	24	22	343	98	14	4.08 def	32	32.14f g	2	2.04 ab
0.06	18	32	315	91	14	4.44 def	39	42.31 k	7	7.69 e
0.02	30	22	287	147	14	4.88 def	63	42.86 k	7	4.76 cd
0.06	24	32	273	140	14	5.13 def	49	35.00 ghi	7	5.00 cd
0.06	18	22	259	98	14	5.41 ef	39	39.29 j	2	2.04 ab
0.06	30	32	238	119	14	5.88 efg	32	26.47 e	14	11.76 f
0.02	30	32	322	147	21	6.52 fgh	39	26.19 de	21	14.29 g
0.06	18	27	315	154	21	6.67 fgh	56	36.36 hij	7	4.55 cd
0.10	18	27	266	77	21	7.89 gh	13	16.67 a	2	2.60 b
0.02	24	27	336	98	28	8.33 hi	39	39.29 j	7	7.14 e
0.10	24	22	231	84	21	9.09 hi	21	25.00 bede	2	2.38 ab
0.10	30	32	140	28	14	10.00 ij	7	25.00 cde	7	25.00 h
0.06	24	27	280	133	28	10.00 j	42	31.58 f	7	5.26 d
0.10	24	27	182	91	21	11.54 j	21	23.08 b	2	2.20 ab
0.10	24	32	147	91	21	14.29 j	32	34.62 ghi	2	2.20 ab
0.06	24	22	280	126	42	15.00 k	23	18.18 a	2	1.59 a
0.10	30	27	182	91	28	15.38 k	21	23.08 bc	1	1.10 a
常规秋水仙素处理(CK)			355	212	10	4.72	75	35.38	10	4.72
自然加倍(CK)			331				77	23.26	5	1.51

注:具有相同字母的处理表示差异未达5%显著水平,反之则表示处理间差异达显著水平。下表同。

Note: The treatments with the same letter indicated the different between the treatments was not significant at 5% level, contrarily the different between the treatments was significant at 5% level. The same as the following table.

2.3 不同处理散粉率差异显著性分析

由表2可知,27个处理散粉率存在不同程度差异,变幅为16.67%~42.86%,低于20%的处理共3个,占11.11%;散粉率在20%~40%之间的处理共20个,占74.07%;高于40%的处理共4个,分别为0.06%浓度、18℃处理32 h,0.02%浓度、18℃处理27 h,0.02%浓度,18℃处理32 h,0.02%浓度、30℃处理22 h,其值分别为42.31%、42.31%、42.31%、42.86%,4个处理间差异未达显著水平,但均显著高

于自然加倍和常规秋水仙素处理。

2.4 不同处理结实率差异显著性分析

由表2可知,27个处理结实率存在差异,变幅为1.10%~25%,其中,低于2%的处理共5个,占18.52%,这5个处理间及与自然加倍间差异均不显著;结实率2%~5%的处理共16个,占59.26%;超过7%的处理共6个,占22.22%,分别为0.02%浓度、27℃处理24 h(7.14%),0.02%浓度、32℃处理18 h(7.69%),0.06%浓度、32℃处理30 h(11.76%),0.02%

浓度、32℃处理 24 h(13.04%),0.02%浓度、32℃处理 30 h(14.29%),0.10%浓度、32℃处理 30 h(25.00%),且该6个处理与其余 21 个处理间结实率差异均达显著水平,也显著高于自然加倍和常规秋水仙素处理,加倍效果较好。

综合各处理结实率和药害率表现,0.10%浓度、32℃处理 30 h 和 0.02%浓度、32℃处理 30 h 两个处理虽具有较高结实率,但药害率较高,分别达 10%和 6.52%;0.02%浓度、24℃处理 32 h 平均结实率排第三,但药害率仅 0.33%,且秋水仙素消耗少,成本较低,处理时间最短。因此,该处理加倍效果最佳。

2.5 各处理因素间差异显著性分析

由表 3 可知,秋水仙素浓度对单倍体药害率、散粉率及结实率均存在不同程度影响,其中平均药害率随处理浓度的提高而显著增加,差异达 5%显著,其值分别为 3.40%、6.40%、7.89%;平均散粉率则随处理浓度的提高而不断下降,且 3 个浓度处理间差异达 5%显著,其值分别为 36.64%、33.02%、23.77%;在平均结实率上,0.02%处理最好,结实率达 6.63%,显著高于其余两个浓度处理,0.1%处理(4.59%)和 0.06%处理(3.88%)两者间差异不显著。因此,如仅考虑秋水仙素浓度,0.02%最适宜。

加倍时间也显著影响加倍效果。平均药害率最高为 24 h 处理,其次为 30 h,最低为 18 h,其值分别为 8.64%、5.70%、3.34%,三者间差异达 5%显著;在平均散粉率方面则随处理时间的延长而降低,且 3 个处理间差异达 5%显著,其值分别为 34.5%、30.24%、28.69%;平均结实率则随处理时间的延长而提高,其值分别为 3.61%、4.42%、7.07%,其中 18 h 处理与 24 h 处理间差异不显著,但两个处理与 30 h 处理间差异显著。因此,仅考虑加倍时间,30 h 为最佳。

加倍温度也会对加倍效果产生影响。在平均药害率方面,最高为 27℃处理(7.39%),且该处理显著高于其他两个处理,32℃处理(5.32%)和 22℃处理(4.97%)两者间差异不显著;平均散粉率随处理温度提高而增加,32℃处理平均散粉率最高,达 33.17%,且显著高于其他两个温度处理,22℃处理和 27℃处理间差异不显著,其值分别为 30.07%和 30.20%;平均结实率则随加倍温度的提高而增加,其中 32℃处理平均结实率最高,其值为 9.27%,且与其他两个温度处理间差异显著,27℃处理(3.25%)和 22℃处理(2.58%)两者间差异不显著。因此,如仅考虑加倍温度,32℃最适宜。

表 3 散粉率、药害率及结实率差异显著性分析
Table 3 Difference significance analysis on pollen fertile ratio, phytotoxicity ratio and fruit ratio %

因素 Factor	处理 Treatment	平均药害率 Average phytotoxicity ratio	平均散粉率 Average pollen fertile ratio	平均结实率 Average fruit ratio
秋水仙素浓度(%)	0.02	3.40 a	36.64 c	6.63 b
	0.06	6.40 b	33.02 b	3.88 a
	0.10	7.89 c	23.77 a	4.59 a
加倍时间(h)	18	3.34 a	34.50 c	3.61 a
	24	8.64 c	30.24 b	4.42 a
	30	5.70 b	28.69 a	7.07 b
加倍温度(℃)	22	4.97 a	30.07 a	2.58 a
	27	7.39 b	30.20 a	3.25 a
	32	5.32 a	33.17 b	9.27 b

3 结论与讨论

3.1 改良浸种法的优势及原因

浸种法因其简便、省时省工等优点而得到广泛应用,但加倍率偏低。刘志增等^[9]认为,其可能原因在于处理后,单倍体种子根首先被加倍而膨大,而膨大后的根生长缓慢或停止伸长,从而造成幼苗夭亡。传统浸种加倍程序为清水浸泡 12~24 h,后转入秋水仙素浸泡处理 12~16 h,最后用清水清洗,该

方法虽然可能降低了药害率,但加倍成功率仍然偏低^[10, 11]。本研究通过秋水仙素直接浸泡单倍体种子,再用清水清洗,筛选出 4 个处理药害率低于 1%,且均显著低于常规秋水仙素处理;也筛选出了 6 个结实率超过 7%的处理,其中,0.02%浓度、24℃处理 32 h 的药害率仅 0.22%,但其结实率却达到了 13.04%,显著高于自然加倍和常规秋水仙素处理。因此,通过浸种加倍体系的优化,可获得低药害率、高结实率的加倍处理。分析其原因可能是加倍浓度

相对较低,对单倍体种子伤害较小,但通过延长处理时间,秋水仙素可充分进入单倍体种子,其机理有待进一步深入研究。

3.2 影响浸种法加倍效果的因素

研究发现,秋水仙素浓度、加倍时间和温度均对单倍体药害率、散粉率和结实率有显著影响,但部分结论与前人相关研究不尽一致。本研究中平均药害率随处理浓度的提高而显著增加,这与前人研究结果一致,但在加倍时间和加倍温度对平均药害率的影响上与前人研究结果不尽一致。在平均散粉率研究上,本研究中均是随着处理浓度的提高和加倍时间的延长而显著降低,这与前人研究结果相反,而处理温度提高有利于提高散粉率的结论与前人研究一致;在平均结实率,本研究中,秋水仙素浓度对平均结实率的影响与前人研究不一致,本研究中最适浓度为0.02%,而前人研究则以0.06%为主;同时,处理时间越长,平均结实率越高,这与前人相关研究结果一致;在加倍温度方面,温度升高有利于提高单倍体结实率,这与前人研究结果基本一致^[12~19]。

秋水仙素浓度、加倍时间和温度均会影响甜玉米单倍体加倍效果,但其对药害率、散粉率和结实率的作用方向和影响程度不尽相同,既有相同结论,也有部分结论与前人研究不尽相同,甚至相反,这可能与试验材料、气候条件及统计指标差异有关,尤其是甜玉米单倍体散粉但不一定能结实。因此,结实率更能准确的反应甜玉米加倍效率。如不考虑各因素互作,加倍条件分别为最适处理浓度0.02%,最佳处理时间30 h,最适加倍温度32℃;若考虑各因素间互作,0.02%浓度、24℃处理32 h处理单倍体结实率较高,药害率低,且均优于自然加倍和常规秋水仙素处理。

参考文献:

- [1] 何淑群,万忠,罗军,等. 2012年广东甜玉米产业发展形势与对策建议[J]. 广东农业科学, 2013(12): 3-5.
He S Q, Wan Z, Luo J. Development situation and countermeasure on Guangdong sweet corn industry in 2012[J]. Guangdong Agriculture Science, 2013(12): 3-5. (in Chinese)
- [2] Chalys S. Properties of maternal haploid maize plants and potential application to maize breeding[J]. Euphytica, 1994, 79(1-2): 12-18.
- [3] 陈绍江,黎亮,李浩川. 玉米单倍体育种技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [4] 李高科,胡建广,刘建华,等. 甜玉米单倍体育种初探[J]. 玉米科学, 2011, 19(2): 54-57.
Li G K, Hu J G, Liu J H. Primary research on sweet corn haploid breeding[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(2): 54-57. (in Chinese)
- [5] 才卓,徐国良,CHANG Ming-tang,等. 玉米单倍体育种研究进展[J]. 玉米科学, 2008, 16(1): 1-5.
Cai Z, Xu G L, CHANG Ming-tang, et al. The advances in haploid breeding of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(1): 1-5. (in Chinese)
- [6] 姜昱,王玉民,王中伟,等. 我国玉米单倍体育种技术研究进展[J]. 玉米科学, 2008, 16(6): 48-51, 57.
Jiang Y, Wang Y M, Wang Z W, et al. The advances at haploid breeding of maize in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(6): 48-51, 57. (in Chinese)
- [7] 黎亮,李浩川,徐小炜,等. 玉米孤雌生殖单倍体加倍技术研究进展[J]. 玉米科学, 2010, 18(1): 12-14, 19.
Li L, Li H C, Xu X W. Research progress of haploid doubling technology on maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2010, 18(1): 12-14, 19. (in Chinese)
- [8] 刘鹏宇,张姿丽,蒲浩杰,等. 玉米活体诱导单倍体的加倍方法研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(34): 13147-13149.
Liu P Y, Zhang Z L, Pu H J. Development of the doubling method of haploid by in vivo induction in maize[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2013, 41(34): 13147-13149. (in Chinese)
- [9] 刘志增,宋同明. 玉米单倍体雌雄育性的自然恢复以及染色体的化学加倍[J]. 作物学报, 2000, 26(6): 947-952.
Liu Z Z, Song T M. Fertility spontaneously restoring of inflorescence and chromosome doubling by chemical treatment in maize haploid[J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26(6): 947-952. (in Chinese)
- [10] Gayen P, Madanjik, Kuma R R, et al. Chromosome doubling in haploids through colchicine[J]. Maize Genet Coop Newslett, 1994, 68: 65.
- [11] Nedev T, Gadeva P, Kaptchev B, et al. Colchicine-induced chromosome doubling of maternal haploids with in vitro culture[J]. Maize Genet Coop Newslett, 1999, 73: 80.
- [12] 魏俊杰. 玉米单倍体加倍技术及育性恢复机理初探[D]. 保定: 河北农业大学, 2001.
- [13] 魏俊杰,李红梅,刘志增. 关于玉米单倍体人工加倍方法及花粉活力测定的初步研究[J]. 玉米科学, 2001, 9(3): 12-13.
Wei J J, Li H M, Liu Z Z. Primary study on artificial doubling method of maize haploid and tests of pollen vigor[J]. Journal of Maize Sciences, 2001, 9(3): 12-13. (in Chinese)
- [14] 文科,黎亮,刘玉强,等. 高效生物诱导玉米单倍体及其加倍方法研究初报[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(5): 17-20.
Wen K, Li L, Liu Y Q, et al. Study on bio-haploid inducing and doubling efficiency in maize[J]. Journal of China Agricultural University, 2006, 11(5): 17-20. (in Chinese)
- [15] 韩学莉,唐祈林,荣廷昭. Stock6杂交诱导的玉米单倍体化学加倍效果研究[J]. 玉米科学, 2009, 17(1): 22-27.
Han X L, Tang Q L, Rong T Z. Study on doubling efficiency of maize haploid induced by stock6[J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(1): 22-27. (in Chinese)
- [16] 徐国良,代玉仙,刘晓丹,等. 玉米单倍体诱导率和加倍率研究[J]. 玉米科学, 2012, 20(2): 1-5.
Xu G L, Dai Y X, Liu X D. Research on the induced rates and the doubling rates of haploid in maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(2): 1-5. (in Chinese)

- [53] 刘 军,黄上志,傅家瑞. 不同活力玉米种子胚萌发过程中蛋白质的变化[J]. 热带亚热带植物学报,1999(1):65-69 .
Liu J, Huang S Z, Fu J R. Changes of embryo protein in maize seeds with different vigours during dermination[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 1999(1): 65-69. (in Chinese)
- [54] 刘 军,黄上志,傅家瑞. 不同活力玉米种子胚萌发期间热激蛋白的合成[J]. 植物学报,2000(3):253-257 .
Liu J, Huang S Z, Fu J R. Synthesis of heat shock protein in maize seed embryo with different vigor during germination[J]. Acta Botanica Sinica, 2000(3): 253-257. (in Chinese)
- [55] 王 仲,许文娟,谭晓丽. 甜玉米糊粉层及盾片影响种子活力的超微结构研究[J]. 中国农学通报,2007,23(7):168-170 .
Wang Z, Xu W J, Tan X L. Study of ultrastructure on effect of sweet corn aleur one layer and scutellum on seed vigor[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(7): 168-170. (in Chinese)
- [56] Liu J B, Fu Z Y, Xie H L, et al. Identification of QTLs for maize seed vigor at three stages of seed maturity using a RIL population [J]. Euphytica, 2011, 178: 127-135.

(责任编辑:高 阳)

(上接第56页)

- [17] 慈佳宾,李继竹,刘振库,等. 抗微管除草剂对玉米单倍体加倍效果研究[J]. 玉米科学,2012,20(5):10-14 .
Ci J B, Li J Z, Liu Z K. Doubling effect of anti-microtubule herbicides on the maize haploid[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20 (5): 10-14. (in Chinese)
- [18] 张如养,段民孝,赵久然,等. 不同基因型玉米材料的单倍体诱导和加倍研究[J]. 种子,2013,1:1-4 .
Zhang R Y, Duan M X, Zhao J R, et al. Research on haploid induction and doubling efficiency in maize[J]. Seed, 2013, 1: 1-4. (in Chinese)
- [19] 祁志云,杨 华,邱正高,等. 不同处理方法对玉米单倍体加倍效率的影响研究[J]. 南方农业,2013,7(8):61-63 .
Qi Z Y, Yang H, Qiu Z G, et al. A Study of the influence of different processing methods on maize haploid doubling efficiency[J]. South China Agriculture, 2013, 7(8): 61-63. (in Chinese)

(责任编辑:李万良)