

不同种质基础玉米材料诱导效率及加倍效率研究

鲁俊田¹, 吴媛媛², 王俊龙¹, 吕春波², 丰光¹, 杨海龙¹, 王亮¹, 陈爱国³

(1. 丹东农业科学院, 辽宁 凤城 118109; 2. 凤城市农业综合行政执法队, 辽宁 凤城 118109; 3. 辽宁省农业科学院, 沈阳 110136)

摘要: 以不同类群骨干自交系 PH4CV、Mo17、PH6WC、郑58、D299、H29、丹黄34、丹598、昌7-2和S121为基础试材, 按照群内和群间杂交共组配15个基础群体, 分别形成F₁、F₂、F₃和F₄共4个自交世代, 研究其单倍体诱导率和加倍率。利用高频诱导系丹诱3号对骨干自交系和不同遗传基础的自交后代进行单倍体诱导, 利用浓度为0.06%的秋水仙素对各世代单倍体子粒进行加倍处理。结果表明, 不同种质类群自交系间诱导率存在显著差异, 以Lancaster群代表系 PH4CV、Mo17 和 Reid 群代表系 PH6WC、郑58 诱导率较高。高诱导率类群通过群内和群间组配基础试材, 同样具有较高的诱导率, 同时利用杂种优势提升了 LRC、SPT 和 PB 群骨干系的诱导率。诱导率随着自交世代增加而显著降低, 在F₂世代加倍效果最好。

关键词: 玉米; 单倍体; 诱导率; 加倍率; 种质类群; 世代

中图分类号: S513.035.2

文献标识码: A

Study on the Induction Efficiency and Doubling Efficiency of Maize with Different Germplasm Bases

LU Jun-tian¹, WU Yuan-yuan², WANG Jun-long¹, LÜ Chun-bo², FENG Guang¹,
YANG Hai-long¹, WANG Liang¹, CHEN Ai-guo³

(1. Dandong Academy of Agricultural Sciences, Fengcheng 118109;

2. Liaoning Danyu Seed Science and Technology Co., Ltd., Fengcheng 118109;

3. Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110136, China)

Abstract: There are differences in the induction rate and doubling rate of population constructed by different genetic basis breeding test materials. In order to solve the problem of low induction rate and doubling rate of maize haploid breeding at present, in this study, the backbone inbred lines of different populations PH4CV, Mo17, PH6WC, Zheng 58, D299, H29, Danhuang 34, Dan598, Chang7-2 and S121 were used as the basic materials. According to intra-group and inter-group hybridization, a total of 15 basic populations were assembled, and four inbred generations of F₁, F₂, F₃ and F₄ were formed respectively to study the haploid induction rate and doubling rate. High-frequency inducement line Danyou 3 was used to induce haploid of backbone inbred lines and inbred progeny with different genetic bases, and the haploid seeds of each generation were doubled with colchicine concentration of 0.06%. The results showed that there were significant differences in the induction rate among inbred lines of different germplasm groups. Lancaster and Reid groups PH4CV, Mo17, PH6WC, Zheng 58 had higher induction rate. The high induction rate groups also had higher induction rate through intra-group and inter-group combination of basic materials. At the same time, the utilization of heterosis improved the induction rate of LRC, SPT and PB groups. The induction rate decreased significantly with the increase of inbred generation, and the best effect was doubled in F₂ generation.

Key words: Maize; Haploid; Induction rate; Doubling rate; Germplasm group; Generation

录用日期: 2023-03-08

基金项目: 辽宁省瓦房店市、庄河市、凤城市、义县、大石桥市5个县农作物种质资源系统调查与抢救性收集(19210827)

作者简介: 鲁俊田(1985-), 博士, 副研究员, 研究方向为玉米遗传育种。E-mail: lujuntian5211@126.com

陈爱国为本文通信作者。E-mail: chenaiguo1234@163.com

近年来,玉米单倍体育种技术的应用得到育种家的广泛认可,已成为国内外跨国企业、科研机构、大型种子企业玉米育种的核心技术^[1,2]。单倍体育种技术的应用可大幅度缩短玉米自交系的培育年限,提高育种效率,加快杂交种市场化的速度,目前单倍体技术主要应用在自交系选育和商业化育种中^[3,4]。虽然与常规系谱育种法相比单倍体育种技术具有明显优势,但单倍体诱导率和加倍率低依然是该项技术工程化应用的瓶颈^[5,6]。单倍体在自然情况下发生概率极低,一般不超过0.01%,大多育种材料自然加倍率仅在0~10%,想要获得大规模的单倍体必须依靠人工诱导^[7]。

前人研究表明,单倍体诱导率受被诱导材料和诱导环境等多方面的影响^[8,9],且具有不同遗传背景的玉米育种试材诱导率和单倍体加倍率存在很大差异,同时诱导效率受诱导世代的影响^[10]。目前,我国

玉米育种仍以 Lancaster、Reid、PB、LRC、SPT 五大类群杂优模式为基础,通过群内和群间改良进行种质创新,单倍体种质改良过程中,因群体遗传基础不同其诱导率和加倍率不同。本研究对不同血缘改良群体不同自交世代诱导率和加倍率进行统计分析,为提高单倍体育种效率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为我国玉米育种上常用的骨干自交系,涵盖 Lancaster、Reid、PB、LRC、SPT 五大血缘典型代表系,每个类群选取 2 个代表系。单倍体诱导系丹诱 3 号,是丹东农业科学院利用 Stock6×T68 为基础试材选育的高频诱导系,具有花粉量大、子粒 Navajo 标记明显稳定、平均诱导率高等特点(表 1)。

表 1 供试材料
Table 1 Test materials

代表系 Representative department	类 群 Genetic group	来 源 Source
PH4CV	Lancaster	PH7V0×PHBE2
MO17	Lancaster	美国 187-2×C103
PH6WC	Reid	PH01N×PH09B
郑 58	Reid	掖 478
D299	PB	热带种质 PN78599
H29	PB	PN78599×巴西热源
丹黄 34	LRC	丹 340 变异
丹 598	LRC	OH43H13×丹 340×丹黄 02×丹黄 11×丹黄 18
昌 7-2	SPT	黄早四×潍 95
S121	SPT	丹 340×(H201/H204)
丹诱 3 号	诱导系	Stock6×T68

1.2 试验材料

2019 年春在丹东,群内按 Lancaster×Lancaster、Reid×Reid、PB×PB、LRC×LRC、SPT×SPT 模式组配 PH4CV×Mo17、PH6WC×郑 58、D299×H29、丹黄 34×丹 598、昌 7-2×S121 共 5 个基础试材;群间按 Lancaster×Reid、Lancaster×PB、Lancaster×LRC、Lancaster×SPT、Reid 群×PB、Reid 群×LRC、Reid 群×STP、PB×LRC、PB×SPT、LRC×SPT 模式组配 PH4CV×PH6WC、Mo17×H29、PH4CV×丹 598、PH4CV×S121、PH6W×D299、郑 58×丹 598、PH6WC×昌 7-2、H29×丹黄 34、D299×S121、丹黄 34×昌 7-2 共 10 个基础试材。2019 年冬在海南,基础试材自交得到 F₁ 世代。2020 年春在丹东,将 F₁ 自交得到 F₂,同时利用单倍体诱导系对

F₁ 代进行诱导。2020 年冬在海南,对 F₂ 进行自交得到 F₃,同时进行诱导。2021 年春在丹东,对 F₃ 自交得到 F₄,同时进行诱导。每个世代诱导 100 株,并按照 R—navajo 标记对子粒进行挑选,计算诱导率。

秋水仙素浸种加倍:药剂使用 0.06%秋水仙素对单倍体子粒进行加倍,每个世代取 15 000 粒单倍体种子,每个基础试材处理 1 000 粒单倍体子粒,在幼芽长至 2 cm 时将幼芽顶端胚芽鞘切掉 1~2 mm,在浓度为 0.06%的秋水仙素中浸泡 24 h,处理后的幼芽移栽在育秧盘中,待幼苗长至 4~5 片叶时移苗至大田,成熟后收获并计算单倍体加倍率。

1.3 测定项目与方法

单倍体诱导率=(准单倍体粒数-伪单倍体粒数)/

杂交诱导总粒数×100%;

加倍率=收获 DH 数/(准单倍体子粒数-伪单倍体子粒数-未成苗株数)×100%。

1.4 数据分析

应用 Excel 和 SPSS 软件对试验数据进行整理及分析,作图使用 Sigmaplot (Version 12, Systat Software) 软件。

2 结果与分析

2.1 不同遗传基础自交系单倍体的诱导率差异

不同血缘玉米自交系诱导效率存在显著差异性

($P<0.05$), 其中, Lancaster 类群代表系 PH4CV、Mo17 和 Reid 类群代表系 PH6WC、郑 58 的平均诱导率高, PH4CV 和 Mo17 诱导效率分别为 11.64% 和 10.37%, PH6WC 和郑 58 诱导效率分别为 10.77% 和 9.96%; PB 类群的 H29 同样具有较高的诱导效率, 为 10.15%; LRC 血缘的丹黄 34 和丹 598 和 STP 的昌 7-2 和 S121 诱导效率较低, 平均诱导率分别为 7.01% 和 7.84%(图 1)。表明利用 PH4CV、Mo17、PH6WC、郑 58 和 H29 等骨干自交系组配基础育种试材, 获得单倍体子粒的可能性更大, 丹黄 34、丹 598、昌 7-2 和 S121 想要获得多的单倍体需增加诱导群体量。

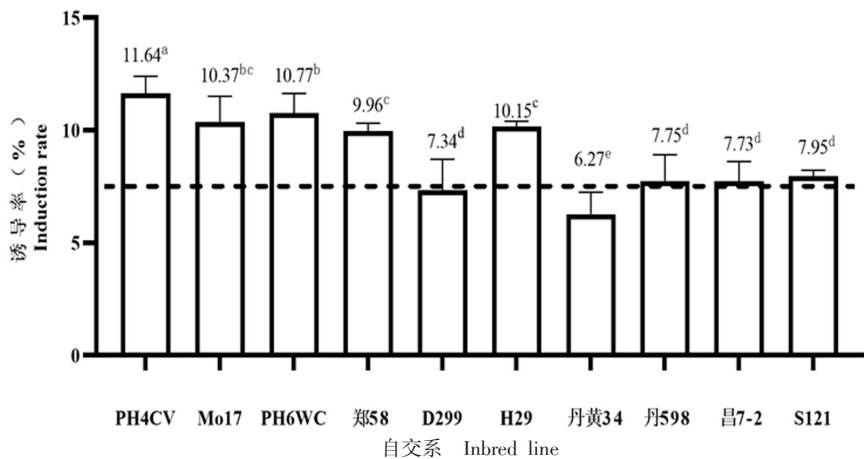


图1 单倍体诱导率差异

Fig.1 Haploid induction rate difference in inbred lines

2.2 不同群体分离后代单倍体诱导率差异

由表 2 可见,不同群体间、不同世代间自交系组配的基础材料诱导率差异均达极显著($P<0.01$),说明差异是真实存在的,且主要来源于基础试材的遗传背景和培育世代。

不同遗传基础自交系组配基础试材,在不同自交世代诱导率存在显著差异($P<0.05$),群内自交系改良其构建基础试材诱导率高低依次为 Lancaster> Reid>PB>SPT>LRC, 平均诱导率分别为 10.75%、10.50%、8.30%、7.84% 和 7.42%, 表明 Lancaster 和

Reid 各自内部改良可获得较高的诱导率。群体间改良通过杂种优势利用提高了 PB、LCR 和 SPT 的诱导率, Lancaster×Reid、Lancaster×PB、Lancaster×LRC、Lancaster×SPT 和 PB×LRC 具有较高的诱导效率, PH4CV×PH6WC、Mo17×H29、PH4CV×丹 598 和 PH4CV×S121 平均诱导率分别为 10.71%、9.76%、9.49%、10.18% 和 10.22%, Lancaster (PH4CV 和 Mo17) 和 Reid (PH6WC 和 郑 58) 群体的高诱导率得到很好地保持(表 3)。

表2 群体分离后代单倍体诱导率方差分析

Table 2 Variance analysis of haploid induction rate in population isolated offspring

变异来源 Source of variation	均方 Mean square	F 值 F value
世代间	65.33**	48.78**
群体间	30.65**	23.87**
误差	1.24	0.78

注:**为0.01显著水平;*为0.05显著水平。下表同。

Note: ** indicated significant level at $\alpha=0.01$; * indicated significant level at $\alpha=0.05$. The same as below.

表 3 不同遗传基础试材各自交世代单倍体诱导率差异

Table 3 Differences of haploid induction rate in different generations of genetically based test materials %

类 群 Group	遗传基础 Genetic basis	世代 Generation				均 值 Mean
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	
Lancaster×Lancaster	PH4CV×Mo17	12.08 a	11.32 b	10.53 c	9.05 d	10.75
Reid×Reid	PH6WC×郑 58	11.66 a	10.54 b	10.17 b	9.64 c	10.50
PB×PB	D299×H29	9.65 a	8.87 b	8.02 c	6.65 d	8.30
LRC×LRC	丹黄 34×丹 598	8.47 a	7.54 b	7.08 c	6.57 d	7.42
SPT×SPT	昌 7-2×S121	8.98 a	8.36 b	7.77 c	6.25 d	7.84
Lancaster×Reid	PH4CV×PH6WC	11.35 a	11.05 ab	10.57 b	9.87 c	10.71
Lancaster×PB	Mo17×H29	10.58 a	10.22 ab	9.98 b	8.24 c	9.76
Lancaster×LRC	PH4CV×丹 598	10.68 a	10.27 a	9.78 c	7.21 d	9.49
Lancaster×SPT	PH4CV×S121	11.21 a	10.87 a	10.05 c	8.58 d	10.18
Reid 群×PB	PH6W×D299	9.87 a	8.15 b	7.65 c	6.24 d	7.98
Reid 群×LRC	郑 58×丹 598	9.54 a	8.57 b	8.01 c	6.57 d	8.17
Reid 群×SPT	PH6WC×昌 7-2	9.78 a	8.25 b	8.05 b	7.21 c	8.32
PB×LRC	H29×丹黄 34	11.71 a	10.85 b	9.57 c	8.76 d	10.22
PB×SPT	D299×S121	8.89 a	8.14 b	7.65 c	7.20 d	7.97
LRC×SPT	丹黄 34×昌 7-2	9.27 a	8.27 b	8.01 b	7.25 c	8.20
均 值		10.25 a	9.42 b	8.86 c	7.69 d	9.05

2.3 不同杂交群体与不同自交后代单倍体诱导率的比较

不同群体自交后代和群体间单倍体诱导效率多重比较结果见表 4。各自交世代间诱导率具有显著差异性($P<0.05$),随着世代增加诱导率显著下降,由 F₁ 世代的 10.25% 下降至 F₄ 世代的 7.69%,表明不同世代育种材料对诱导率的影响不同。群体间比较结果显示,诱导效率高的自交系类群在相互组配杂交

表 4 不同自交后代与杂交群体间单倍体诱导率多重比较

Table 4 Multiple comparison of haploid induction rate between different inbred progeny and hybrid population %

项 目 Item	世代/群体 Generation/Group	平均诱导率 Average induction rate
自交世代	F ₁	10.25±0.21 a
	F ₂	9.42±0.17 b
	F ₃	8.86±0.03 c
	F ₄	7.69±0.09 d
群 体	PH4CV×Mo17	10.75±0.23 a
	PH4CV×PH6WC	10.71±0.53 ab
	PH6WC×郑 58	10.50±0.08 ab
	H29×丹黄 34	10.22±0.65 bc
	PH4CV×S121	10.18±0.32 bc
	Mo17×H29	9.76±0.17 c
	PH4CV×丹 598	9.49±0.02 c
	PH6WC×昌 7-2	8.32±0.16 d
	D299×H29	8.30±0.31 d
	丹黄 34×昌 7-2	8.20±0.08 de
	郑 58×丹 598	8.17±0.10 de
	PH6W×D299	7.98±0.04 de
	D299×S121	7.97±0.08 de
	昌 7-2×S121	7.84±0.12 e
	丹黄 34×丹 598	7.42±0.02 f

群体时同样可以获得高的诱导率,如 PH4CV×Mo17 (10.75%)、PH4CV×PH6WC(10.71%)、PH6WC×郑 58 (10.50%)。诱导率低的自交系通过与高诱导率自交系杂交,有机会获得高诱导率群体,如 H29×丹黄 34 (10.22%)和 PH4CV×S121(10.18%)。低诱导率自交系间杂交诱导效率低,如 D299×S121(7.97%)、昌 7-2×S121(7.84%)和丹黄 34×丹 598(7.42%)。

2.4 不同杂交群体与不同自交后代单倍体加倍率的比较

由表 5 所示,具有不同遗传基础的自交后代单倍体子粒,经秋水仙素处理后加倍率差异显著。PB×

LRC、PB×SPT、Lancaster×LRC、Lancaster×SPT 群体间组配基础试材表现出较高的加倍率,H29×丹黄 34 为 20.60%、D299×S121 为 19.53%、PH4CV×丹 598 为 20.77%、PH4CV×S121 为 20.31%。群体内组配基础试材 PB×PB、LRC×LRC 和 SPT×SPT 表现出高的加倍效率,D299×H29 加倍率为 21.04%,丹黄 34×丹 598 为 19.70%,昌 7-2×S121 为 20.04%。同群体不同自交世代间加倍率差异显著,平均加倍率在 F₂ 世代最高,为 20.90%;F₁ 次之,为 19.45%;F₄ 世代最低,为 17.45%。

表 5 不同遗传群体自交后代单倍体的加倍率
Table 5 Haploid doubling rate of inbred offspring of different genetic groups %

群 体 Group	遗传基础 Genetic basis	世 代 Generation				均 值 Mean
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	
Lancaster×Lancaster	PH4CV×Mo17	17.37±0.10 b	18.63±0.05 a	17.07±0.11 bc	16.26±0.20 c	17.33
Reid×Reid	PH6WC×郑 58	19.35±0.04 b	21.02±0.21 a	17.73±0.03 c	17.35±0.32 c	18.86
PB×PB	D299×H29	21.83±0.34 b	23.45±0.33 a	20.53±0.02 c	18.34±0.23 d	21.04
LRC×LRC	丹黄 34×丹 598	19.73±0.21 b	20.93±0.14 a	19.83±0.11 b	18.32±0.24 c	19.70
SPT×SPT	昌 7-2×S121	20.31±0.28 b	21.38±0.08 a	19.61±0.28 b	18.87±0.02 c	20.04
Lancaster×Reid	PH4CV×PH6WC	17.33±0.19 b	18.59±0.01 a	16.37±0.17 c	16.03±0.15 c	17.08
Lancaster×PB	Mo17×H29	17.73±0.08 a	18.73±0.13 a	17.72±0.05 b	17.36±0.63 b	17.89
Lancaster×LRC	PH4CV×丹 598	21.35±0.16 b	23.76±0.31 a	19.35±0.18 c	18.63±0.13 c	20.77
Lancaster×SPT	PH4CV×S121	20.99±0.25 b	22.62±0.26 a	19.31±0.22 c	18.31±0.32 d	20.31
Reid 群×PB	PH6W×D299	18.74±0.18 b	20.33±0.09 a	18.73±0.07 b	17.81±0.09 c	18.90
Reid 群×LRC	郑 58×丹 598	19.55±0.03 b	20.86±0.14 a	18.73±0.18 b	16.73±0.10 c	18.97
Reid 群×STP	PH6WC×昌 7-2	16.37±0.03 b	18.34±0.52 a	15.32±0.03 c	15.16±0.07 c	16.30
PB×LRC	H29×丹黄 34	21.57±0.27 a	22.84±0.31 a	19.64±0.31 c	18.36±0.24 d	20.60
PB×SPT	D299×S121	19.98±0.21 b	21.76±0.04 a	18.44±0.28 c	17.93±0.19 d	19.53
LRC×SPT	丹黄 34×昌 7-2	19.62±0.10 a	20.35±0.44 a	18.62±0.14 c	16.29±0.24 d	18.72
均 值		19.45±0.12 b	20.90±0.41 a	18.47±0.09 c	17.45±0.04 d	19.07

3 结论与讨论

3.1 不同血缘骨干系对单倍体诱导率的影响

本研究结果表明,不同血缘骨干系间诱导效率存在显著差异性,不同基因型对单倍体诱导率有影响^[11,12]。利用同一诱导系对我国常用骨干自交系进行诱导,Lancaster(PH4CV、Mo17)和 Reid(PH6WC、郑 58)的诱导率高,其组配的基础试材可能获得更多的单倍体子粒。LRC(丹黄 34、丹 598)和 STP(昌 7-2、S121)的诱导效率较低,想要获得足够的单倍体数量需要足够的诱导群体。PB(D299、H29)中存在高诱导率的材料,单倍体应用需要需进一步探讨。

3.2 群内、群间改良对单倍体诱导率的影响

遗传基础差异性对单倍体诱导率具有重要影

响^[13]。通过群内、群间自交系杂交,构建不同遗传基础试材群体,利用同一诱导系对基础材料进行诱导。结果显示,群内部自交系改良其构建的基础试材诱导率高低依次为 Lancaster>Reid>PB>SPT>LRC,与骨干系诱导效率一致,表明高诱导率自交系在群内改良时诱导率能够很好地保持。群体间改良通过杂种优势利用提升了 PB、LCR 和 SPT 的诱导率,Lancaster×Reid、Lancaster×PB、Lancaster×LRC、Lancaster×SPT 和 PB×LRC 具有理想的诱导效率,保持 Lancaster 和 Reid 代表系高诱导率的同时,打破了 PB、LCR 和 SPT 群体中间改良诱导率低的局限。

3.3 不同自交世代对单倍体诱导率的影响

不同世代育种材料诱导率不同,单倍体诱导率与杂种优势密切相关,各自交世代间诱导率具有显

著差异性^[14]。本研究表明,随着自交世代的增加诱导率逐渐降低, F_1 世代诱导率最高, F_4 世代诱导率最低。表明对不同群体进行单倍体诱导时,在分离大的世代更容易获得单倍体子粒,收获的子粒遗传基础更加丰富^[15,16]。在高世代进行单倍体诱导,虽然诱导率有所下降,但收获的DH系间遗传性更接近,培育的自交系目的更加明确。育种家可以根据育种需要,选择在低世代或者高世代进行诱导。

3.4 遗传基础和自交世代对单倍体加倍率的影响

单倍体加倍率受加倍方法、环境因素和遗传基础等多方面因素的影响。目前加倍技术中秋水仙素是应用较为广泛的加倍药剂,不同浓度处理对加倍率有影响^[17,18]。本研究在0.06%浓度的秋水仙素处理下进行加倍,结果表明,不同自交世代间加倍率差异显著,平均加倍率在 F_2 世代最高, F_1 次之, F_4 世代最低,变幅在17.45%~20.90%。具有不同遗传基础的自交后代加倍率差异显著,通过PB×LRC、PB×SPT、Lancaster×LRC、Lancaster×SPT组配基础试材表现出较高的加倍率,群体内组配试材PB×PB、LRC×LRC和SPT×SPT表现出高的加倍效率。本研究认为,加倍率与被诱导材料雄穗花粉量密切相关,高加倍率更多出现在父本系材料中,表明雄穗发达加倍机会增加,从而提高了单倍体的加倍率。对于母本来说,加倍率相对于父本低,适当增加加倍群体容量是十分必要的,以防止群体容量不足,基因分离不充分,难以达到理想的育种效果。综合考量对父本群进行单倍体诱导,从诱导率和加倍率来看更容易达到理想的效果。

参考文献:

- [1] 张艳辉,栾奕,王丽萍,等.不同遗传基础玉米自交后代的诱导率和加倍率[J].吉林农业大学学报,2017,39(1):10-14.
ZHANG Y H, LUAN Y, WANG L P, et al. Haploid induction rate and doubling rate for inbred progeny of different genetic basic maize germplasm groups[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2017, 39(1): 10-14. (in Chinese)
- [2] 董占山,卢洪,柴宇超,等.中国特色的玉米商业育种体系构建[J].玉米科学,2015,23(1):1-9.
DONG Z S, LU H, CHAI Y C, et al. Concept and practices of maize commercial breeding in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(1): 1-9. (in Chinese)
- [3] 成锴,苏晓慧,栗建枝,等.不同加倍技术加倍玉米单倍体的研究[J].玉米科学,2019,27(4):42-46.
CHENG K, SU X H, LI J Z, et al. Research on different doubling method of maize haploid[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(4): 42-46. (in Chinese)
- [4] 慈佳宾,杨巍,崔学宇,等.不同生态条件下玉米单倍体诱导率和加倍率的研究[J].玉米科学,2015,23(1):63-68.
CI J B, YANG W, CUI X Y, et al. Induction and doubling rate of maize haploid under the different ecological conditions[J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(1): 63-68. (in Chinese)
- [5] 才卓,徐国良,于明彦,等.玉米单倍体高自然加倍种质快捷轮选方法及高加倍瑞德核心种质的创制[J].玉米科学,2021,29(4):1-8.
CAI Z, XU G L, YU M Y, et al. Rapid creation method for germplasm with high spontaneous haploid doubling rate & creation for improved reid population with high haploid spontaneous doubling rate[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(4): 1-8. (in Chinese)
- [6] KATO A. Chromosome doubling of haploid maize seedling using nitrous oxide gas at flower primordial stage[J]. Plant Breed, 2002, 121: 370-377.
- [7] 武云昊,孙洁,姜龙,等.不同遗传基础甜玉米单倍体的诱导和加倍效果研究[J].东北农业科学,2022,47(1):31-34.
WU Y H, SUN J, JIANG L, et al. Haploid induction and doubling effect of sweet maize with different genetic basis[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2022, 47(1): 31-34. (in Chinese)
- [8] 余艳欢,贾波,谢庆春.玉米单倍体诱导和加倍研究进展[J].大麦与谷类科学,2022,39(5):9-13,20.
YU Y H, JIA B, XIE Q C. Research progress on haploid induction and doubling in maize[J]. Barley and Cereal Sciences, 2022, 39(5): 9-13, 20. (in Chinese)
- [9] 姜龙,南楠,慈佳宾,等.基于DH系的种质基础和秋水仙素浓度对玉米单倍体加倍效果的研究[J].玉米科学,2015,23(2):28-32.
JIANG L, NAN N, CI J B, et al. Maize haploid doubling effect of the germplasm of DH lines and different colchicine concentrations[J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(2): 28-32. (in Chinese)
- [10] 杨巍,任雪娇,崔学宇,等.玉米不同自交后代的单倍体诱导率和加倍率表现及DH系配合力分析[J].玉米科学,2014,22(6):40-44.
YANG W, REN X J, CUI X Y, et al. Hybrid inducement and doubling rate performance of different self-generations in maize and analysis by combination ability of DH line[J]. Journal of Maize Sciences, 2014, 22(6): 40-44. (in Chinese)
- [11] 姜龙,徐辉,马凯,等.玉米单倍体诱导系Stock 6的改良研究[J].种子,2018,37(7):49-52.
JIANG L, XU H, MA K, et al. Research on the improvement of maize haploid inducing line stock 6[J]. Seed, 2018, 37(7): 49-52. (in Chinese)
- [12] 杨通文,柏光晓,陈汁雯,等.3个单倍体诱导系对不同基础群体玉米材料的诱导效率研究[J].种子,2020,39(9):21-25.
YANG T W, BAI G X, CHEN Z W, et al. Study on the induction efficiency of three maize haploid inducers to different base populations of corn materials[J]. Seed, 2020, 39(9): 21-25. (in Chinese)
- [13] 张如养,段孝民,赵久然,等.8个玉米单倍体诱导系诱导率的配合力研究[J].玉米科学,2015,23(5):12-15.
ZHANG R Y, DUAN X M, ZHAO J R, et al. Combining ability of haploid induction rate of eight inducers in maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(5): 12-15. (in Chinese)
- [14] 蔡泉,曹靖生,史桂荣,等.几个不同来源玉米单倍体诱导系诱导效果的研究[J].玉米科学,2012,20(4):19-21.

- CAI Q, CAO J S, SHI G R, et al. Induction effect of the haploid inducers from different sources[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(4): 19–21. (in Chinese)
- [15] 姜 龙, 慈佳宾, 南 楠, 等. 玉米单倍体诱导率的优化研究[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(2): 19–24.
- JIANG L, CI J B, NAN N, et al. Studies on the optimization of maize haploid induced rates[J]. Journal of South China Agricultural University, 2015, 36(2): 19–24. (in Chinese)
- [16] 李国良, 苏 俊, 李春霞, 等. 农大高诱1号对玉米不同种质和世代单倍体诱导频率的研究[J]. 玉米科学, 2008, 16(5): 3–6.
- LI G L, SU J, LI C X, et al. Research on haploids frequency of different germplasm and generations in maize by cauho inducer 1[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(5): 3–6. (in Chinese)
- [17] 段民孝, 赵久然, 刘新香, 等. 不同种植地点对玉米单倍体自然加倍率的影响[J]. 作物杂志, 2012(2): 68–70.
- DUAN M X, ZHAO J R, LIU X X, Et al. Study on the effect of planting place in maize haploid doubling rate[J]. Crops, 2012(2): 68–70. (in Chinese)
- [18] 李向永, 姜 龙, 王薪淇, 等. 糯玉米单倍体诱导和加倍的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(8): 90–96.
- LI X Y, JIANG L, WANG X Q, et al. Haploid inducing and doubling of waxy maize[J]. Journal of Northwest A&F University, 2016, 44(8): 90–96. (in Chinese)
- (责任编辑: 朴红梅)