

利用回交循环选系改良旅大红骨 自交系机收性状的研究

鲁俊田, 曲江波, 刘中杰, 郭 奇, 陈增齐, 王秀凤,
于 兵, 丰 光, 姚永祥

(丹东农业科学院/辽宁省玉米育种重点实验室, 辽宁 凤城 118109)

摘 要: 针对旅大红骨种质配合力高、部分性状不适宜机械化收获的缺点, 以旅大红骨优良自交系丹黄 34 (DH34) 为受体, 以与旅大红骨遗传背景远且具有性状互补的优良 NSS 自交系为供体, 根据回交循环育种原理, 构建基础选系群体, 经过系谱选择, 创制筛选出 11 份优良自交系。通过对农艺性状、产量及穗部性状、宜机收相关性状等 14 个指标进行表型性状差异分析, 利用优良 SS 自交系作为测验种, 测定回交改良后代的一般配合力和特殊配合力, 并对其杂交组合 F_1 的子粒自然脱水速率进行配合力分析。结果表明, 改良系 DH-5、DH-7 和 DH-9 综合性状表现优异, 表现出显著或极显著差异, 且宜机收关键性状子粒破损率、子粒含水量、倒伏率呈极显著减小, 在获取较高子粒产量的同时可进行机械化收获。通过研究表明, 回交循环选系方法可以实现玉米种质机收性状的改良。

关键词: 玉米; 旅大红骨; 回交选育; 种质改良; 机收性状; 配合力

中图分类号: S513.035

文献标识码: A

Improving Mechanical Harvesting Traits of the Lvda Red Cob(LRC) Inbred Line Using Backcross-Cycle Selection

LU Jun-tian, QU Jiang-bo, LIU Zhong-jie, GUO Qi, CHEN Zheng-qi, WANG Xiu-feng,
YU Bing, FENG Guang, YAO Yong-xiang

(Dandong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Maize Breeding in
Liaoning Province, Fengcheng 118109, China)

Abstract: The Lvda Red Cob(LRC) inbred line exhibits high combining ability, but some traits are unsuitable for mechanized harvesting. According to the circular breeding strategy, the LRC inbred line Danhuang 34(DH34) was used as the recipient, and Non-Stiff Stalk(NSS) inbred lines with complementary traits and distant genetic backgrounds were selected as donors. Based on the backcross-cycle breeding strategy, a basic selection population was constructed, and 11 elite inbred lines were developed through pedigree selection. Phenotypic differences in 14 traits were analyzed, including agronomic traits, yield, panicle traits, and traits related to mechanical harvesting, and using excellent pioneer maternal inbred lines as test species, the GCA and SCA of backcrossed improved offspring were determined, and the natural seed dehydration rate of their hybrid combination F_1 was analyzed for combining ability. The results showed that DH-5, DH-7, and DH-9 exhibited excellent comprehensive traits, with significant or extremely significant differences. Key mechanical harvesting traits such as grain damage rate, grain moisture content, and lodging rate were significantly reduced, while also having high grain yield. This study indicates that the backcross cycle selection method can improve the mechanical harvesting traits of maize germplasm.

Key words: Maize; Lvda Red Cob; Backcross breeding; Germplasm improvement; Mechanical harvesting characteristic; Combining ability

录用日期: 2024-03-14

基金项目: 玉米自交系全基因组选择育种技术评估(2023JH1/10200009-03-3)

作者简介: 鲁俊田(1985-), 男, 博士, 副研究员, 从事玉米遗传育种及栽培生理研究。Tel: 18841545603 E-mail: lujuntian5211@126.com

姚永祥为本文通信作者。

近年来虽然我国玉米机械化生产水平进步明显,但由于适宜机收种质资源缺乏、资源遗传基础狭窄,生产上绝大多数玉米品种不具备子粒机收条件,严重限制我国玉米收获的机械性化水平的提高^[1-2]。加快适宜机械化收获种质创新和新品种的示范推广是当前玉米育种的重要课题^[3]。旅大红骨作为我国优秀的地方种质,在我国玉米世代更替过程中发挥着举足轻重的作用,引领我国玉米育种的发展^[4]。但旅大红骨种质降水慢、熟期晚、品质差等缺陷严重限制了在玉米育种上的应用。NSS种质具有耐低温、出苗快、耐密、品质优、子粒脱水速率快等优异性状^[5],与旅大红骨种质具有远源优势且性状互补,二者进行种质改良对提升我国玉米机收水平、扩增玉米种质基础具有重大意义^[6]。

回交改良是常用的育种方法,通过平衡受体和供体亲本在改良后代中的遗传比例,可实现在含有大部分受体亲本遗传背景的基础上,导入供体亲本的优良目标基因,使其在关键性状上具有显著的差异性^[7]。本研究通过回交循环选系育种思路,利用先锋主流亲本对旅大红骨优秀代表系 DH34 进行改良,采用受体亲本回交 1 次的方法,控制旅系资源的

遗传背景,改良其关键机收性状,对相关性状进行方差分析,测定子粒产量和子粒自然脱水速率的配合力,并对自交系进行综合评判,为种质资源创新、培育适宜机械化收获玉米新材料提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

旅大红骨自交系丹黄 34(DH34)为丹东农业科学院自育自交系。本试验以 DH34 为改良受体,以 4 份优良 NSS 自交系为供体材料(表 1)。2016 年春于辽宁省凤城市丹东农业科学院(40°28′16″N,124°06′45″E)进行改良受体与供体杂交,同年冬于海南三亚(18°09′34″N,108°56′29″E)以 DH34 为轮回亲本进行回交;2017 年自交 1 次后获得 4 个群体;2018 年在丹东凤城和海南增加密度筛选压力,以 120 000 株/hm² 进行淘汰选择。2019–2021 在丹东和海南根据综合性状、植株性状及品质进行选择,最终选出 11 份 F6BC1 优异改良系(表 2)。2022 年对 DH34 及其优异改良系进行测配,以 SS 种质 PH6WC、PH2GAA、PH1DP2 为测验种,组培 36 份杂交组合。

表 1 供体和受体材料的特征特性
Table 1 Characteristics of donor and recipient materials

名 称 Name	优 点 Advantage	缺 点 Disadvantage
DH34	配合力高、抗病抗倒好、株型紧凑	品质一般、熟期晚、降水慢
PH4CV	配合力好、子粒深、降水快、品质好	抗倒差、感大斑病
PHB1M	降水快、抗叶斑,品质好、熟期早	株高、穗位偏高
PH11VR	熟期适中、降水快、品质好、	感叶斑病
PH12RP	抗茎腐病、抗叶斑好、果穗长	抗倒一般

表 2 循环选系材料名称及来源
Table 2 Name and source of recycled materials

名 称 Name	来 源 Source	名 称 Name	来 源 Source
DH34	丹黄 34	DH-6	PH11VR/DH34BC1
DH-1	PH4CV/DH34BC1	DH-7	PH11VR/DH34BC1
DH-2	PH4CV/DH34BC1	DH-8	PH11VR/DH34BC1
DH-3	PH4CV/DH34BC1	DH-9	PH12RP/DH34BC1
DH-4	PHB1M/DH34BC1	DH-10	PH12RP/DH34BC1
DH-5	PHB1M/DH34BC1	DH-11	PH12RP/DH34BC1

1.2 试验设计

2023 年春在辽宁省凤城市试验示范基地,种植全部自交系和 36 个杂交组合,采用随机区组设计,

小区 4 行区,行长 4 m,行距 60 cm,种植密度为 75 000 株/hm²,试验采用 3 次重复。田间管理和施肥水平与当地大田生产条件相同。

1.3 机收相关性状测定

田间测定:测定叶夹角、株高、穗位高、苞叶长度、苞叶厚度、倒伏率、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、子粒自然脱水速率^[8],重复5次。

子粒机械收获:成熟期利用玉米小区收割机(4YZB-4,石家庄)进行全区子粒收获,从机舱内随机取出2 kg样品子粒,利用谷物水分测定仪测定各个小区的子粒含水量、百粒重及粒重,手工分拣破损子粒数量,计算破损率,重复3次。

1.4 统计分析

使用SPSSv20(SPSS, Inc, Chicago, IL, USA)进行数据统计与方差分析(ANOVA, $P<0.05$),绘图使用

Sigmaplot Version 12(GraphPad Systat Software, SanDiego, CA, USA),杂交组合的子粒产量、收获时子粒含水量、自然脱水速率采用NCII设计程序进行配合力方差分析。

2 结果与分析

2.1 回交改良系与丹黄34性状差异比较分析

2.1.1 方差分析

丹黄34及其改良系在农艺性状、穗部性状、产量性状等方面均存在极显著差异,区组间无显著差异(表3),表明丹黄34及其改良系在所测性状上存在真实的遗传差异,有必要做进一步分析。

表3 丹黄34及其回交改良系性状方差分析(F值)
Table 3 Analysis of variance of characters in DH34 and backcross improved lines

变异来源	自由度	叶夹角	株高	穗位高	穗长	穗粗	穗行数	行粒数
Source of variation	DF	Leaf angle	Plant height	Ear height	Ear length	Ear diameter	Ear rows	Kernels per row
区组间	2	0.892	2.023	0.527	0.561	2.315	0.384	1.744
自交系间	11	5.620**	7.521**	2.991**	8.214**	7.810**	3.495**	5.731**

变异来源	百粒重	破损率	子粒产量	苞叶长	生理成熟含水量	收获时含水量	倒伏率
Source of variation	100-kernel weight	Damage rate	Yield	Bract length	KMC at maturity	KMC at harvest	Lodging rate
区组间	2.301	0.347	9.223	0.288	1.045	2.422	2.375
自交系间	9.219**	5.384**	20.762**	2.290**	6.470**	7.461**	8.292**

注:*表示0.05水平($P<0.05$)上差异显著;**表示0.01水平($P<0.01$)上差异显著。下表同。
Note: *, significant difference at the 0.05 level($P<0.05$); **, significant difference at the 0.01 level($P<0.01$). The same below.

2.1.2 各性状差异分析

由表4可见,丹黄34与其改良系间各性状方差分析表明,均呈极显著水平差异,其中,DH-3、DH-7和DH-9性状差异最大。DH-3有5个性状差异达显著水平,显著率为35.71%,8个达极显著水平,极显著率为57.14%;株高、穗位高、倒伏率、破损率、苞叶长、生理成熟含水量和收获时含水量显著或极显著降低,叶夹角、百粒重、穗粗、穗行数、行粒数和子粒产量显著或极显著增加。DH-7有5个性状差异达显著水平,显著率为35.71%,7个达极显著水平,极显著率为50.00%;株高、穗位高、倒伏率、破损率、苞叶长、生理成熟含水量和收获时含水量显著或极显著降低,叶夹角、百粒重、穗粗、行粒数和子粒产量,显著或极显著增加。DH-9有3个性状差异达显著水平,显著率为35.71%,11个达极显著水平,极显著率为78.57%;株高、穗位高、倒伏率、破损率、苞叶长、生理成熟含水量和收获时含水量显著或极显著降低。

2.2 配合力分析

2.2.1 配合力方差分析

丹黄34及其改良系所配组合的杂交组合各性状方差分析表明(表5),区组间各性状差异均未达显著水平,各组合间除了株高外,均达显著或者极显著水平,差异真实存在。结果表明,被测改良系在叶夹角、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、破损率、子粒产量、苞叶长和倒伏率的GCA和SCA均达极显著水平,百粒重GCA达显著水平,生理成熟含水量和收获时含水量的SCA达显著水平,因此可进行一般配合力效应分析。株高和穗位高GCA差异不显著,穗位高SCA不显著,无显著差异,其改良效果相对较差,不进行进一步分析。

2.2.2 一般配合力相对效应分析

由表6可见,DH-3、DH-7和DH-9改良系的综合性状表现优良,各性状表现稳定,SCA配合力高,其中,苞叶长、生理成熟含水量、收获时含水量GCA表现为负效应,利于降低子粒破损率。产量因素协

表 4 丹黄 34 与其回交改良系的性状差异

Table 4 The difference of characters between DH34 and backcross improved lines

变异来源	叶夹角	株 高	穗位高	穗 长	穗 粗	穗行数	行粒数(粒)
Source of	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(行)	Kernels
variation	Leaf angle	Plant height	Ear height	Ear length	Ear diameter	Ear rows	per row
DH34	20.32	208.03	122.54	14.65	3.46	18.21	24.55
DH-1	30.40**	193.23*	94.55*	14.88	3.45*	18.03	33.43**
DH-2	42.92**	200.55	105.21	15.45	3.75	17.93	30.01*
DH-3	23.42*	189.30*	87.20*	14.06	4.17**	20.20**	32.49**
DH-4	30.30**	235.21**	143.54**	16.37*	3.43	19.22*	27.74
DH-5	27.34*	227.35*	150.75**	15.99*	4.24**	20.00**	26.55
DH-6	40.32**	178.38**	80.34**	13.67	3.67	17.90	30.42**
DH-7	38.41**	195.51*	92.03*	14.29	4.04**	18.83	33.45**
DH-8	42.31**	206.65	115.03	15.03	3.67	20.05**	28.34*
DH-9	39.29**	176.51**	89.90**	17.34**	3.99*	18.73*	35.21**
DH-10	35.23**	198.32	109.41	16.93**	3.33	18.00	28.31*
DH-11	42.42**	180.29**	80.05**	17.03**	3.67	18.32	30.49**

变异来源	百粒重(g)	破损率	子粒产量	苞叶长	生理成熟	收获时	倒伏率
Source of	100-kernel	(%)	(kg/hm ²)	(cm)	含水量(%)	含水量(%)	(%)
variation	weight	Damage rate	Yield	Bract length	KMC at maturity	KMC at harvest	Lodging rate
DH34	25.38	8.70	4360.51	26.31	35.89	32.41	10.31
DH-1	26.22	5.22**	7678.84**	20.42**	30.44*	27.31*	15.85*
DH-2	27.02*	4.53**	6670.00**	22.05**	32.32	25.59**	20.31**
DH-3	28.83*	3.45**	14457.23**	20.38**	29.30**	25.56**	8.31*
DH-4	27.32*	4.23**	6128.06*	25.24	32.44*	30.21	8.34**
DH-5	28.39*	5.03**	5044.19	26.42	33.02	27.38*	7.31**
DH-6	30.22**	6.48*	6386.53*	25.52*	27.31**	27.39*	10.31
DH-7	28.33*	4.31**	14007.00**	21.34**	30.32*	26.31**	5.92*
DH-8	26.31	7.31*	14824.08**	24.50*	32.41*	26.67*	11.35
DH-9	29.22*	6.20**	22177.75**	22.36**	29.07**	25.45**	1.14**
DH-10	26.31	5.23**	8987.85**	21.30**	30.50*	26.34**	6.45**
DH-11	25.33	5.49**	6670.00*	23.41*	31.04*	27.84*	4.24**

表 5 配合力方差分析(F值)

Table 5 Variance analysis of combining ability

变异来源	自由度	叶夹角	株 高	穗位高	穗 长	穗 粗	穗行数	行粒数
Source of	DF	Leaf angle	Plant height	Ear height	Ear length	Ear diameter	Ear rows	Kernels
variation								per row
区组	2	2.31	1.31	2.13	3.31	6.22	3.41	3.31
组合	35	5.65**	2.01	3.81*	20.31**	13.21**	-3.02**	8.21**
GCA	11	15.50**	0.98	1.97	18.04**	10.89**	-8.21**	6.30**
SCA	11	8.39**	9.21**	2.05	9.88**	182.30**	-4.21**	7.56**

变异来源	百粒重	破损率	子粒产量	苞叶长	生理成熟含水量	收获时含水量	倒伏率
Source of	100-kernel	Damage rate	Yield	Bract length	KMC at	KMC at	Lodging rate
variation	weight				maturity	harvest	
区组	1.03	7.11	0.38	1.23	1.89	0.69	2.31
组合	8.31**	-3.41**	30.25**	-3.23*	8.66**	16.52**	4.31**
GCA	4.21*	1.23**	12.88**	-5.65**	6.92**	6.89**	8.29**
SCA	6.04**	0.31**	3.82*	-9.31**	4.20*	4.08*	5.62**

调性好,穗长、穗粗、穗行数、行粒数效应值为正,促进子粒产量的提高,分别达到8.10、12.34和10.88,同时倒伏率在0.31~1.03,抗倒优势明显,利于机械化收获。

表6 DH34及改良系性状一般配合力相对效应值
Table 6 GCA effects of 3 main traits in DH34 and improved lines

变异来源	叶夹角	穗长	穗粗	穗行数	行粒数	百粒重
Source of variation	Leaf angle	Ear length	Ear diameter	Ear rows	Kernels per row	100-kernel weight
DH34	0.89	1.25	5.42	6.35	2.50	5.51
DH-1	3.49	2.40	-0.52	-0.35	6.52	3.51
DH-2	1.03	3.42	-2.53	2.50	5.35	2.53
DH-3	4.56	5.31	5.28	4.52	7.45	3.05
DH-4	-2.31	-0.44	-2.42	6.03	2.52	0.88
DH-5	1.03	0.90	2.53	2.55	6.63	0.51
DH-6	3.23	3.53	6.52	3.52	3.50	5.39
DH-7	1.02	7.40	8.20	5.92	7.52	9.52
DH-8	9.33	7.50	6.52	6.03	5.69	0.51
DH-9	1.08	6.32	20.42	6.35	5.62	5.95
DH-10	0.34	4.69	9.40	-0.45	0.77	5.30
DH-11	2.31	8.30	14.35	-5.25	5.52	12.52

变异来源	破损率	子粒产量	苞叶长	生理成熟含水量	收获时含水量	倒伏率
Source of variation	Damage rate	Yield	Bract length	KMC at maturity	KMC at harvest	Lodging rate
DH34	20.42	3.08	4.50	4.65	10.33	5.32
DH-1	10.52	6.42	-2.41	-1.24	8.31	8.51
DH-2	16.30	5.44	-2.40	-0.41	7.31	12.52
DH-3	5.23	8.10	-0.31	-3.04	-2.31	0.41
DH-4	-0.42	3.41	0.89	-1.31	6.23	4.21
DH-5	5.03	-3.23	-4.52	-5.31	-5.23	5.50
DH-6	5.32	6.32	0.94	-2.31	4.32	8.52
DH-7	2.42	12.34	-0.21	-6.89	-4.31	1.03
DH-8	13.50	8.31	0.12	0.34	4.23	5.30
DH-9	2.55	10.88	-3.45	-5.10	-4.88	0.31
DH-10	4.00	4.24	-2.41	3.21	4.13	4.21
DH-11	5.32	-2.31	-0.59	1.35	3.21	9.08

2.2.3 特殊配合力相对效应分析

由表7可见,DH-3、DH-7、DH-9分别与PH6WC、PH2GAA、PH1DP2的SCA较高,DH-3的子粒产量效应值分别16.23、11.23和15.78;DH-7的效应值为17.37、13.35和14.24;DH-9为15.28、13.20和17.39,均具有产量优势,主要源自穗长、穗粗、穗行数、行粒数的SCA高。苞叶长度、生理成熟含水量、收获含水量和倒伏率SCA效应值相对较低或者负效应,表明苞叶缩短利于子粒脱水速率的提升,从而降低子粒的破损率,良好的抗倒性适宜机械化作业。改良系与PH6WC组配杂交种,子粒产量、破损率、生理成熟含水量和收获含水量的SCA均较高,表明与PH6WC组合虽然子粒产量较高,但由于子粒含水量高,机械化收获增加了破损率,不适宜机械化收获。通过NSS资源的加入,旅大红骨选系后代在生理成

熟含水量和收获含水量与纯旅系DH34相比均有不同程度的降低,倒伏率有所提高,叶片夹角增加,从而增加了叶片的受光面积。

2.3 子粒自然脱水速率杂种优势分析

由表8可见,DH34与测验种组配杂交组合的子粒自然脱水速率在0.45%~0.52%,DH34与NSS改良后,降水速率均有不同程度的提高,脱水速率在0.49%~0.73%。其中,DH-3、DH-7、DH-9分别与PH6WC、PH2GAA、PH1DP2组配杂交种子粒自然脱水速率相对较高,均达极显著水平,改良效果最好。DH-2、DH-4、DH-8分别与PH2GAA和PH1DP2,DH-5、DH-10与PH2GAA及DH-11与PH6WC改良效果较好。可见,通过NSS回交循环选育可有效降低旅大红骨组配杂交组合的自然降水率。

表 7 DH34 及改良系性状特殊配合力相对效应值
Table 7 SCA effects of 3 main traits in DH34 and improved lines

变异来源 Source of variation	叶夹角 Leaf angle	株高 Plant height	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	穗行数 Ear rows	行粒数 Kernels per row	百粒重 100~ kernel weight	破损率 Damage rate	子粒产量 Yield	苞叶长 Bract length	生理成熟含水量 KMC at maturity	收获含水量 KMC at harvest	倒伏率 Lodging rate
DH34×PH6WC	3.36	3.35	8.31	5.28	7.31	4.34	9.30	9.41	13.52	9.52	10.87	11.29	10.88
DH34×PH2GAA	0.57	0.43	12.50	0.34	4.56	6.56	5.42	11.40	6.23	8.63	13.41	14.31	17.31
DH34×PH1DP2	-1.02	0.98	12.08	3.43	7.31	9.03	6.42	13.42	9.40	6.29	9.93	12.40	8.39
DH-1×PH6WC	2.47	6.98	9.13	7.45	4.22	5.21	5.35	6.96	9.42	3.32	4.31	5.63	10.31
DH-1×PH2GAA	4.21	3.42	3.31	3.11	2.31	2.31	4.32	5.44	3.42	0.31	7.42	6.42	6.31
DH-1×PH1DP2	3.44	2.93	3.32	2.45	1.34	1.85	1.83	5.21	4.21	3.22	6.14	5.23	7.32
DH-2×PH6WC	1.30	8.49	6.52	7.41	3.41	3.45	3.21	4.31	10.36	2.31	7.34	7.92	1.23
DH-2×PH2GAA	3.45	8.05	0.41	3.02	-0.31	1.22	5.33	5.34	6.31	3.63	10.99	6.70	-0.34
DH-2×PH1DP2	2.22	7.49	5.53	2.04	1.20	0.92	1.31	6.31	4.31	2.45	7.23	3.49	0.88
DH-3×PH6WC	3.41	1.41	12.34	10.92	5.31	14.24	3.24	0.31	16.23	0.31	0.82	3.42	-0.55
DH-3×PH2GAA	4.31	0.73	9.31	8.52	3.23	8.82	4.21	1.31	11.23	-0.41	0.24	-1.31	-1.21
DH-3×PH1DP2	2.22	1.20	10.34	11.34	1.35	10.31	6.13	2.05	15.78	0.31	-1.21	-2.31	-0.38
DH-4×PH6WC	4.04	8.40	10.31	7.85	5.55	3.41	0.34	4.56	12.31	0.42	-2.04	9.20	0.31
DH-4×PH2GAA	2.55	13.84	5.67	10.31	7.78	6.32	1.35	3.20	3.03	0.31	-0.13	3.30	2.31
DH-4×PH1DP2	2.94	15.52	5.85	13.41	9.05	5.08	0.47	1.92	1.32	3.21	-4.39	1.03	0.41
DH-5×PH6WC	1.20	7.31	6.41	8.33	10.31	8.31	3.32	6.37	7.74	6.32	6.37	5.89	5.21
DH-5×PH2GAA	0.98	6.24	4.24	5.44	4.49	3.41	5.58	4.27	6.41	7.28	6.41	7.41	3.41
DH-5×PH1DP2	1.23	8.31	6.42	3.42	4.56	2.35	6.85	6.32	2.43	6.31	7.89	8.39	3.49
DH-6×PH6WC	2.23	10.34	6.31	7.41	8.34	4.21	3.31	10.31	8.38	7.37	8.31	7.44	3.34
DH-6×PH2GAA	2.41	2.28	2.39	2.89	1.49	2.24	4.21	9.49	5.31	6.38	10.30	8.47	7.39
DH-6×PH1DP2	1.39	6.31	1.93	3.28	2.09	0.89	2.38	6.31	-3.49	6.36	7.34	9.09	5.28
DH-7×PH6WC	0.34	2.14	13.45	5.39	8.78	9.01	4.32	1.12	17.37	-0.31	2.31	1.02	1.27
DH-7×PH2GAA	1.20	2.22	9.92	7.48	6.49	10.31	5.53	2.01	13.35	-2.21	1.02	0.38	2.03
DH-7×PH1DP2	2.39	2.39	10.20	8.89	5.88	8.38	7.37	0.39	14.24	-0.94	2.31	0.54	2.23
DH-8×PH6WC	3.21	5.83	9.02	7.66	8.87	5.37	5.99	9.21	8.89	7.48	8.49	10.31	9.89
DH-8×PH2GAA	2.30	4.02	7.07	6.62	3.04	3.84	4.49	7.46	8.02	9.21	7.42	8.42	5.30
DH-8×PH1DP2	3.03	3.87	8.24	0.48	1.30	4.39	3.29	6.42	5.59	2.48	6.53	6.06	7.31
DH-9×PH6WC	2.29	7.38	9.03	8.50	7.42	9.36	6.47	2.34	15.28	-3.45	2.44	3.41	1.23
DH-9×PH2GAA	3.41	1.88	8.49	6.38	7.16	6.38	7.49	1.29	13.20	-0.42	3.29	2.38	2.48
DH-9×PH1DP2	0.47	2.31	6.36	5.40	8.82	6.20	5.68	0.43	17.39	-1.42	4.21	1.03	2.55
DH-10×PH6WC	1.24	3.37	6.39	5.79	7.87	8.38	5.29	8.39	7.39	-0.38	10.46	7.31	3.28
DH-10×PH2GAA	3.48	2.39	6.48	6.38	5.30	5.52	2.38	8.47	5.37	6.49	8.49	7.58	5.59
DH-10×PH1DP2	5.64	4.28	5.39	4.34	5.12	4.24	2.49	10.24	5.38	2.49	7.43	6.99	7.43
DH-11×PH6WC	3.37	5.39	3.48	6.48	7.38	5.38	5.40	7.41	7.42	7.39	16.40	8.48	8.49
DH-11×PH2GAA	2.74	3.40	4.24	3.32	4.02	6.26	1.39	10.47	4.22	0.43	8.06	6.48	9.44
DH-11×PH1DP2	1.78	5.28	2.14	4.28	6.30	3.34	2.32	6.48	2.53	0.32	3.48	5.57	8.28

表 8 杂交组合子粒自然脱水速率
Table 8 Natural dehydration rate of hybrid combination grains %

被测系 Tested line	测验种 Tester			被测系 Tested line	测验种 Tester		
	PH6WC	PH2GAA	PH1DP2		PH6WC	PH2GAA	PH1DP2
DH34	0.45	0.52	0.47	DH-6	0.50	0.54	0.50
DH-1	0.57	0.54	0.49	DH-7	0.64**	0.69**	0.65**
DH-2	0.53	0.58*	0.57*	DH-8	0.49	0.57*	0.63**
DH-3	0.65**	0.68**	0.73**	DH-9	0.70**	0.70**	0.69**
DH-4	0.53	0.64**	0.61**	DH-10	0.55	0.58*	0.54
DH-5	0.52	0.60**	0.53	DH-11	0.60*	0.62*	0.53

3 结论与讨论

3.1 回交选育效果比较

研究表明,应用外国种质改良国内地方种质,利用回交改良是十分有效的方法,其中回交1次种质创新效果最好^[9]。本试验利用NSS种质改良DH34后,克服了后者组配杂交种熟期晚、子粒收获含水量高的缺陷,同时保留了配合力高、综合抗性好的优良性状,机收子粒破损率显著降低,是符合机收的理想自交系。改良系的形态指标、穗部指标、子粒含水量与DH34相比具有显著的差异性。其中,PH4CV、PH12RP和PH11VR与DH34的改良效果较好,回交群体中DH-3、DH-7和DH-9与DH34相比,分别有13、12和14个性状存在显著或者极显著差异,存在较大的遗传变异。可见,通过回交循环选育可以将外源优良基因用来改良国内种质,并实现原有种质的创新,丰富其遗传多样性^[10]。

3.2 回交改良群体配合力分析

配合力是评价玉米基础材料利用价值的重要指标,GCA是基因的累加效应能够稳定遗传,GCA高的材料组配杂交种获得高产的可能性较大;SCA是基因非加性效应,具有不可遗传性,是针对某一亲本材料而言的,更贴近杂交组合实际表现^[11]。明确自交系配合力表现,对自交系亲本组配方向和杂种优势利用具有重要意义^[12-13]。本研究对DH34改良群体配合力测定表明,配合力发生不同改变,其中,DH-3、DH-7和DH-9配合力最好,表现为在杂交组合收获较高的子粒产量的同时,通过缩短了果穗苞叶长度,显著降低生理成熟含水量和收获时含水量,降低机收子粒的破损率,提高了植株的抗倒伏能力,利于机械化收获。其他改良群体与DH34相比,虽然在某些性状上有所改善,但同时其他性状也发生负向改变,综合性状不利于机械化作业。

3.3 回交改良群体杂种优势利用潜力

利用NSS种质通过回交选育改良旅大红骨种质,优良的改良后代能够遗传旅大红骨原有的高配合力,同时改良了杂交组合的果穗性状,产量因素协调性好,收获高的子粒产量,特别是成熟时子粒含水量显著降低,自然脱水速率显著提高,杂交组合更利于机械化收获。改良群体叶片结构由原来的弯曲形态转变成直立形态,增加了光的截获面积,利于光合作用。NSS改良丹黄34与PH6WC杂交,杂交种获得高产的可能性大,但可能子粒含水量相对较高,机械化收获增加了破损率,更适宜非机械化收获区域种植和推广。

利用NSS种质改良旅大红骨,其组配的杂交种具备增产潜力大、子粒脱水速率快等适宜机收的特征,是改良旅大红骨资源未来的发展主流方向。回交循环选育思路是实现旅大红骨种质与外源优良资源融合最有效的手段之一。

参考文献:

- [1] 鲁俊田,任丽丽,岳辉,等.早熟Iodent种质改良旅大红骨适宜机械粒收相关性状配合力及杂种优势分析[J].玉米科学,2021,29(1):8-14.
LU J T, REN L L, YUE H, et al. Analysis on combining ability and heterosis of the traits related to appropriate mechanical grain-receiving harvesting in Iodent improvement Lvda Honggu[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(1): 8-14. (in Chinese)
- [2] 李少昆,谢瑞芝,王克如,等.专题导读:加强子粒脱水与植株倒伏特性研究,推动玉米机械粒收技术应用[J].作物学报,2018,44(12):1743-1746.
LI S K, XIE R Z, WANG K R, et al. Editorial: Strengthening the research of grain dehydration and lodging characteristics to promote the application of maize mechanical grain harvest technology[J]. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(12): 1743-1746. (in Chinese)
- [3] 于阳雪,刘珈伶,贾琳,等.玉米自交系适机收相关性状配合力分析[J].玉米科学,2018,26(3):22-27.
YU Y X, LIU J L, JIA L, et al. Combining ability of maize inbred lines for traits related to appropriate mechanical harvesting[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(3): 22-27. (in Chinese)
- [4] 丰光,景希强,李妍妍,等.旅大红骨种质的利用潜力评价及改良分析[J].玉米科学,2012,20(5):25-27.
FENG G, JING X Q, LI Y Y, et al. Utilization potential and improvement evaluation of Lvda Red Cob group inbred lines[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(5): 25-27. (in Chinese)
- [5] 孟令聪,周德龙,王敏,等.利用回交循环选系策略改良玉米自交系机收性状[J/OL].分子植物育种,2023:1-11[2023-11-03].
<https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20231103.0957.006>.
- [6] 周旭梅,高旭东,高洪敏.高密度条件27份欧洲玉米种质改良系主要数量性状遗传相关和主成分分析[J].种子,2018,37(3):49-54.
ZHOU X M, GAO X D, GAO H M. Genetic correlation and principal component analysis of the main quantitative traits of 27 improved maize inbred lines selected from European maize germplasm under high density[J]. Seed, 2018, 37(3): 49-54. (in Chinese)
- [7] 赵长云,石海春,夏伟,等.不同供体及回交次数对玉米自交系配合力和杂种优势的改良效应[J].华北农学报,2020,35(增刊):56-62.
ZHAO C Y, SHI H C, XIA W, et al. Improvement effects of different donor and back-cross times on combining ability and heterosis of inbred lines in maize[J]. North China Agricultural Journal, 2020, 35(S): 56-62. (in Chinese)
- [8] 贾琳.适宜机械粒收玉米品种子粒脱水速率及相关性状的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [9] 陈庆山,蒋洪蔚,辛大伟,等.作物回交导入系的构建与应用[J].中国油料作物学报,2020,42(1):1-7.

(下转第32页)

- analysis of leaf architecture traits in maize(*Zea mays* L.)[J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 63: 261–274.
- [3] ZHANG J, KU L X, HAN Z P, et al. The *ZmCLA4* gene in the *qlA4-1* QTL controls leaf angle in maize(*Zea mays* L.)[J]. Journal of Experimental Botany, 2014, 65: 5063–5076.
- [4] LIU R, MENG Q, ZHENG F, et al. Genetic mapping of QTL for maize leaf width combining RIL and IF2 populations[J]. PLoS One, 2017, 12(12): e0189441.
- [5] DAI W, YU H, LIU K, et al. Combined linkage mapping and association analysis uncovers candidate genes for 25 leaf-related traits across three environments in maize[J]. Theor Appl Genet., 2023, 136(1): 12.
- [6] WANG B, ZHU Y, ZHU J, et al. Identification and fine-mapping of a major maize leaf width QTL in a re-sequenced large recombinant inbred lines population[J]. Front Plant Sci., 2018, 9: 101.
- [7] WANG B B, LIN Z C, LI X, et al. Genome-wide selection and genetic improvement during modern maize breeding[J]. Nature Genetics, 2020, 52: 565–571.
- [8] SUBEDI K D, MA B. ID in conventional and leafy maize hybrids[J]. Crop Science, 2005, 45(6): 2246–2257.
- [9] 白永新,王早荣,钟改荣,等. 玉米高配合力亲本自交系、杂交种棒3叶的性状分析及叶面积的相关性研究[J]. 玉米科学, 1999, 7(2): 24–26.
- BAI Y X, WANG Z R, ZHONG G R, et al. Analysis of characteristics and correlation study of leaf area between high combining ability parent inbred lines and hybrid three leaves of corn[J]. Journal of Maize Sciences, 1999, 7(2): 24–26. (in Chinese)
- [10] ZHAO X, FANG P, ZHANG J, et al. QTL mapping for six ear leaf architecture traits under water-stressed and well-watered conditions in maize(*Zea mays* L.)[J]. Plant Breeding, 2018, 137: 60–72.
- [11] YANG C, LI D, LIU X, et al. *OsMYB103L*, an R2R3-MYB transcription factor, influences leaf rolling and mechanical strength in rice(*Oryza sativa* L.)[J]. BMC Plant Biology, 2014, 14(1): 158.
- [12] BÜRSTENBINDER K, MITRA D, QUEGWER J. Functions of IQD proteins as hubs in cellular calcium and auxin signaling: A toolbox for shape formation and tissue-specification in plants?[J]. Plant Signaling & Behavior, 2017, 12(6): e1331198.
- [13] KIERZKOWSKI D, RUNIONS A, VUOLO F, et al. A growth based framework for leaf shape development and diversity[J]. Cell, 2019, 177: 1405–1418.
- [14] YUE Z, WANG Z, YAO Y, et al. Variation in WIDTH OF LEAF AND GRAIN contributes to grain and leaf size by controlling LARGE2 stability in rice[J]. Plant Cell, 2024, 36(9): 3201–3218.
- [15] HA C, JUN J, NAM H, et al. BLADE-ON-PETIOLE 1 and 2 control Arabidopsis lateral organ fate through regulation of LOB domain and adaxial-abaxial polarity genes[J]. Plant Cell, 2007, 19(6): 1809–1825.

(责任编辑:朴红梅)

(上接第25页)

- CHEN Q S, JIANG H W, XIN D W, et al. Construction and application of backcross introgression lines[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2020, 42(1): 1–7. (in Chinese)
- [10] 鲁俊田,任丽丽,赵洪绪,等. Iodent 玉米种质改良旅大红骨选系配合力及杂种优势利用研究[J]. 玉米科学, 2020, 28(6): 18–24.
- LU J T, REN L L, ZHAO H X, et al. Study on the combination and hybrid utilization of Iodent corn germplasm improvement of the Lv-da red bone[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(6): 18–24. (in Chinese)
- [11] 高旭东,周旭梅,高洪敏,等. 欧洲玉米种质 BRC 选系主要农艺性状的配合力及杂种优势分析[J]. 玉米科学, 2015, 23(3): 28–33.
- GAO X D, ZHOU X M, GAO H M, et al. Combining ability of main agronomic traits and heterosis of european maize germplasm BRC [J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(3): 28–33. (in Chinese)
- [12] 郭向阳,胡兴,祝云芳,等. 热带玉米 Suwan1 群体导入不同类型温带种质的遗传分析[J]. 玉米科学, 2019, 27(4): 9–13, 21.
- GUO X Y, HU X, ZHU Y F, et al. genetic analysis of different types of descendants derived from temperate germplasm crossed with suwan1 populations of tropical maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(4): 9–13, 21. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)