

同一基础材料的玉米 DH 系主要农艺性状配合力分析及应用潜力评价

周旭梅, 高旭东, 高洪敏, 仇真, 徐娥, 李方明

(丹东农业科学院, 辽宁 凤城 118109)

摘要: 以高诱 5 号为诱导系, M54×外引杂交种的 F₁ 代材料为基础试材, 进行杂交诱导产生单倍体, 经过加倍、鉴定、筛选后, 获得 8 个优良 DH 系。通过不完全双列杂交试验, 分析 DH 系的配合力表现, 评价其应用潜力。结果表明, 来源于同一基础材料的不同 DH 系之间一般配合力差异较大, MDH4 和 MDH8 单株产量具有较高的 GCA 值, 容易组配出高产杂交种。综合各农艺性状的 GCA 表现, DH 系 MDH4 是组配高产优质玉米杂交种的理想亲本, DH 系 MDH8 和 MDH5 有较大的应用潜力。MDH4×H451、MDH4×S121 和 MDH8×H451 具有较高的 TCA 值和单株产量, 可确定为优良组合, 应进行多年多点试验, 挖掘其应用潜力。遗传参数分析表明, 对株高、穗位高、穗长、穗行数的选择可在早代进行。组配杂交种时, 应着重选择在株高、穗位高、穗长、穗粗 GCA 表现突出的 DH 系或自交系为亲本, 要兼顾双亲穗粗、千粒重和单株产量 GCA 和杂交种的 SCA, 改良行粒数应注重 SCA 的选择。

关键词: 玉米; DH 系; 配合力; 遗传参数

中图分类号: S513.035.2

文献标识码: A

Analysis on Combining Ability and Application Potential of Maize DH Lines from the Same Foundation Material

ZHOU Xu-mei, GAO Xu-dong, GAO Hong-min, QIU Zhen, XU E, LI Fang-ming

(Dandong Academy of Agricultural Sciences, Fengcheng 118109, China)

Abstract: Used Gaoyou5 as haploid inducer, eight elite double haploid(DH) inbred lines were selected from the foundation material of the hybrid generation F₁ of M54× maize hybrid from abroad through haploid induction, natural doubling in the field, cultivation identification and character selection. The combining ability and the application potential of the DH lines were analyzed by NC II design. The results showed that the GCA was different from DH lines with the same genetic foundation. The DH lines of MDH4 and MDH8 had higher yield per plant GCA value, and it was easier to breeding high-yield breeding hybrid with MDH4 or MDH8 as a parent. Comprehensive analysis of the performance of the main agronomic traits showed that the DH line of MDH4 was an ideal parent to breed high yield and high quality excellent maize hybrids, and the DH lines of MDH8 and MDH5 also had great application potential. MDH4×H451, MDH4×S121, and MDH8×H451 had high TCA and high yield per plant, which could be confirmed as good combinations and should be tested in multiple locations for many years in order to exploit their application potential. According to the estimate of genetic parameters, plant height, ear height, ear length and ear rows should be selected in the early generation. When breeding maize hybrids, plant height, ear height, ear length and ear diameter should be focus on using the DH or inbred lines with the outstanding performance of GCA as parents, ear rows, 1000-kernel weight and yield per plant should be given consideration to GCA of parents and SCA of hybrids, and the selection of SCA should be emphasized in improving kernel number.

Key words: Maize; DH line; Combining ability; Genetic parameter

录用日期: 2019-04-11

基金项目: 国家重点研发计划项目“东北中晚熟区抗病玉米种质改良与强优势杂交种创制”(2016YFD0101203-3)

作者简介: 周旭梅(1979-), 女, 硕士, 助理研究员, 从事玉米遗传育种研究。E-mail: ddnkyzxm@163.com

选育优良玉米自交系是选育玉米新品种的关键,是玉米育种的重点问题。利用常规育种方法需要4~6年才能获得1个纯系,如果通过测配后没有选育出优良杂交组合,该自交系将失去育种价值。利用单倍体育种技术,从基础材料授粉开始只需要2~3次种植,就能得到纯合自交系,如果冬季加代,一年就能得到自交系,缩短了选育时间,加快了育种进程^[1]。配合力是评价自交系是否具有利用价值的重要指标,是杂交种组配中选择亲本的重要依据^[2],配合力分析是评价DH系在杂交育种中能否应用的重要环节。本研究利用单倍体育种技术从1个基础材料中选育出8个表现优异的DH系,与5个优良自交系杂交组配杂交种,进行配合力和遗传参数分析,为玉米DH系的选育、鉴定、改良利用以及强优势组合选配提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

2014年在辽宁海城以M54×外引杂交种的F₁代材料为亲本,以高诱5号为诱导系,诱导产生单倍体。经过加倍、鉴定、筛选后,2016年获得8个农艺性状稳定、植株长势整齐一致的耐密抗病DH系。

2017年冬季在海南,以这8个优良DH系为母本,选用自交系S122、S121、M5972、S127和自选系H451共5个黄旅类群的自交系作测验种,按NCⅡ遗传交配设计组配出40个杂交组合。

1.2 试验方法

2018年在辽宁凤城将40个测配组合进行随机区组处理,4行区,3次重复,行长4 m,行距63 cm,种植密度67 500株/hm²。田间管理同大田。每小区从中间两行随机选取10株进行田间调查和室内考种。调查性状有株高、穗位高、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、千粒重和单株产量8个性状。试验数据采用Excel 2003和DPS7.05软件进行统计与分析。

2 结果与分析

2.1 方差分析

由表1所示,40个杂交组合的株高、穗位高、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、百粒重、单株产量8个农艺性状的方差分析表明,区组间差异不显著,不同组合间8个性状的差异都极显著,说明各性状之间的差异是由组合差异决定的。配合力方差分析表明,P₁、P₂各性状的GCA方差均达显著或极显著水平,P₁×P₂各性状SCA方差也达显著或极显著水平。

表1 各性状的方差分析
Table 1 Variance analysis of different characters

变异来源 Sources of variation	株高 Plant height	穗位高 Ear height	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	穗行数 Ear rows	行粒数 Kernel number	千粒重 1 000-kernel weight	单株产量 Yield per plant
区组	0.809	2.821	0.561	0.310	0.746	0.524	0.377	1.290
组合	10.185**	7.868**	9.002**	4.228**	25.359**	8.612**	3.532**	11.962**
P ₁	6.063**	8.258**	10.425**	3.696*	7.377**	2.786*	2.987*	5.221**
P ₂	5.850**	6.799**	5.243**	7.967**	3.464**	2.995*	3.703*	4.815**
P ₁ ×P ₂	4.262**	2.825**	3.299**	1.673*	12.098**	5.588**	2.091**	5.649**

注:**为0.01显著水平;*为0.05显著水平。P₁为5个BRC选系的一般配合力;P₂为5个测验种的一般配合力;P₁×P₂为测交组合的特殊配合力。

Note: ** indicated significant level at α=0.01; * indicated significant level at α=0.05. P₁, GCA of 5 BRC lines; P₂, GCA of 5 common testers; P₁×P₂, SCA of test crosses.

2.2 配合力分析

2.2.1 一般配合力分析

由表2可知,株高和穗位高GCA效应均为负值的DH系有MDH2、MDH4、MDH5和MDH7,这4个DH系有利于降低杂交组合的株高和穗位高,提高植株的抗倒能力。穗长GCA效应值较大的DH系为MDH5和MDH8,用他们作亲本有利于增加杂交种的穗长。穗粗GCA效应值较大的DH系为MDH4和

MDH8,利用他们较容易组配出果穗较粗的组合。穗行数和行粒数都为正值的DH系为MDH1、MDH2、MDH4和MDH5,用他们容易组配出穗行数和行粒数都比较多的组合。DH系MDH3和MDH8的行粒数GCA为正值,穗行数GCA为负值,用其容易组配出穗行数较少、行粒数较多的组合。千粒重GCA效应值最大的是MDH4,其次是MDH6,用他们作亲本有利于增大杂交种的千粒重。单株产量

GCA效应为正值DH系有3个,其中,MDH4的GCA值最大,MDH8次之,用他们作亲本容易组配出高产的玉米杂交种。综合各农艺性状的GCA效应看,MDH4可作为组配高产优质玉米杂交种的理想亲本,MDH8和MDH5在高产育种中有一定的利用价值。

表2 8个DH系的一般配合力效应值
Table 2 GCA for different characters of 8 DH lines

自交系 Inbred line	株高 Plant height	穗位高 Ear height	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	穗行数 Ear rows	行粒数 Kernel number	千粒重 1000-kernel weight	单株产量 Yield per plant
MDH1	2.558	3.600	-2.852	0.139	3.688	1.112	0.076	-4.081
MDH2	-3.845	-3.794	-1.674	-3.130	2.414	3.540	-0.678	-3.871
MDH3	4.686	5.846	-2.034	0.568	-8.087	1.264	-6.482	-6.650
MDH4	-0.911	-3.604	-1.373	5.825	3.424	4.382	10.898	19.083
MDH5	-2.453	-3.320	7.615	0.026	10.520	1.534	-2.132	0.399
MDH6	1.233	0.228	-0.183	-1.446	-8.438	-3.708	0.921	-6.041
MDH7	-1.740	-3.425	-1.338	-5.957	-0.794	-9.759	-1.363	-4.620
MDH8	0.472	4.470	1.839	3.975	-2.727	1.635	-1.239	5.781

2.2.2 特殊配合力分析

由表3所示,株高和穗位高SCA效应值最小的杂交组合为MDH3×S122,最大的组合为MDH3×M5972;穗长SCA效应值最大的组合为MDH8×S127,其次为MDH2×S122;穗粗SCA效应值最大的组合为MDH6×S122,其次为MDH5×H451;穗行数SCA效应值最大的组合为MDH5×S127,其次为MDH7×H451;行粒数SCA效应值最大的组合为MDH8×H451,其次为MDH3×S122;千粒重SCA效应值最大的组合为MDH6×M5972,其次为MDH7×M5972;单株产量SCA效应值最大的组合为MDH4×H451,其次为MDH1×M5972。SCA效应值表明,不同组合间同一性状的SCA效应值存在较大差异,而同一组合的不同性状间SCA效应值差异也较大,

SCA效应值可作为杂交组合筛选时的参考依据^[3]。通过表2、表3的一般配合力和特殊配合力分析可知,在某些遗传背景和特定的条件下,GCA效应值为正值的DH系可组配出SCA效应值为较大负值的杂交组合,而GCA效应值为负值的DH系也可组配出SCA效应值为较大正值的杂交组合。DH系MDH4的穗行数GCA效应值为3.424,与H451配出杂交种的穗行数SCA效应值为-10.289;DH系MDH1的单株产量GCA效应值为-4.081,与M5972配出杂交种的SCA效应值为11.630。因此,在组配优良杂交种时,不仅要选择一般配合力高的自交系或DH系作为亲本,也要适当利用那些亲本一般配合力中等却有较高特殊配合力的杂交组合^[4]。

表3 杂交组合的特殊配合力效应值
Table 3 SCA for different characters of the combinations

组合 Combination	株高 Plant height	穗位高 Ear height	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	穗行数 Ear rows	行粒数 Kernel number	千粒重 1 000-kernel weight	单株产量 Yield per plant
MDH1×S122	1.325	2.677	0.723	1.359	-5.816	-8.402	-4.787	4.407
MDH1×S121	2.194	-2.024	-0.506	-3.244	6.005	4.671	2.583	-3.078
MDH1×M5972	-3.397	5.914	1.748	0.577	0.829	-5.337	-7.617	11.630
MDH1×S127	-1.623	-2.564	-3.364	3.100	-10.676	6.757	6.227	-0.529
MDH1×H451	1.501	-4.003	1.398	-1.792	9.658	2.311	3.594	-12.430
MDH2×S122	-1.928	-2.498	4.494	-2.731	7.760	5.014	-3.936	-1.784
MDH2×S121	-1.139	3.433	2.758	-0.827	-5.901	3.424	2.950	2.683
MDH2×M5972	2.559	-0.493	-2.649	0.515	2.762	-3.550	-4.638	-2.899
MDH2×S127	0.608	3.407	-4.140	2.495	-12.038	0.032	3.129	2.166

续表3 Continued 3

组合 Combination	株高 Plant height	穗位高 Ear height	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	穗行数 Ear rows	行粒数 Kernel number	千粒重 1 000-kernel weight	单株产量 Yield per plant
MDH2×H451	-0.100	-3.849	-0.463	0.548	7.417	-4.920	2.496	-0.167
MDH3×S122	-5.461	-4.335	4.155	0.698	4.641	8.807	-1.230	-1.339
MDH3×S121	-1.703	-2.730	-4.158	3.505	4.160	-7.785	-2.278	4.746
MDH3×M5972	4.681	6.998	2.469	-0.161	1.181	2.855	-0.838	-2.806
MDH3×S127	-0.637	-3.936	-3.045	-1.822	-2.417	0.622	7.045	5.385
MDH3×H451	3.119	4.003	0.580	-2.220	-7.565	-4.498	-2.700	-5.986
MDH4×S122	-0.468	4.448	-1.264	-1.151	-3.795	-2.065	-5.788	-18.367
MDH4×S121	2.082	-0.312	0.533	-0.177	7.587	2.750	0.818	6.037
MDH4×M5972	0.451	-3.893	1.930	-0.461	-2.422	0.917	-4.447	-8.933
MDH4×S127	-2.668	1.081	0.579	-2.354	8.919	-1.485	7.200	-8.543
MDH4×H451	0.603	-1.323	-1.778	4.142	-10.289	-0.116	2.217	29.806
MDH5×S122	2.659	0.831	-2.170	-0.232	-1.225	2.806	3.517	2.329
MDH5×S121	-0.870	1.153	2.863	-1.736	-8.076	4.418	0.039	0.182
MDH5×M5972	-2.462	-3.189	-5.255	-4.964	1.137	3.091	6.434	-1.879
MDH5×S127	1.145	-0.586	3.486	1.664	13.686	-3.356	-5.939	1.204
MDH5×H451	-0.472	1.792	1.077	5.268	-5.522	-6.959	-4.051	-1.836
MDH6×S122	-1.312	-1.737	-0.390	5.320	0.928	5.351	4.722	7.386
MDH6×S121	-0.539	1.705	-0.254	-1.426	0.118	-14.443	-5.248	-0.691
MDH6×M5972	-1.130	-3.416	2.175	1.620	1.972	2.518	8.356	1.989
MDH6×S127	3.531	1.077	0.439	-2.364	-2.395	3.403	-4.973	-0.289
MDH6×H451	-0.552	2.371	-1.970	-3.150	-0.623	3.171	-2.857	-8.396
MDH7×S122	3.628	2.293	-4.308	-3.157	-2.653	-4.778	1.393	5.100
MDH7×S121	-2.202	2.248	4.084	-0.246	-2.254	3.575	-3.584	-5.917
MDH7×M5972	0.875	-2.552	1.528	4.117	-1.280	-0.112	8.085	6.294
MDH7×S127	-1.574	-0.105	0.544	-0.371	-6.634	-0.828	-9.383	1.127
MDH7×H451	-0.727	-1.885	-1.848	-0.343	12.821	2.143	3.489	-6.604
MDH8×S122	1.557	-1.679	-1.240	-0.107	0.159	-6.734	6.108	2.268
MDH8×S121	2.175	-3.473	-5.320	4.152	-1.639	3.390	4.721	-3.963
MDH8×M5972	-1.578	0.631	-1.946	-1.245	-4.179	-0.381	-5.335	-3.396
MDH8×S127	1.218	1.625	5.501	-0.349	11.555	-5.143	-3.306	-0.523
MDH8×H451	-3.372	2.896	3.004	-2.452	-5.896	8.868	-2.188	5.612

2.2.3 单株产量总配合力分析

由表4可知,MDH4×H451单株产量和总配合力效应值均为最高,MDH4×S121和MDH8×H451次之,可通过进一步的试验鉴定这3个高产组合的丰产性、稳产性和适应性,挖掘其应用潜力。40个杂交组合单株产量总配合力效应值顺序与F₁代单株产量的高低顺序相吻合,说明TCA效应值越高,产量实际表现越好,TCA效应值越低,实际表现越不好,TCA效应值能够很好地反映杂交组合的实际产量水平^[5]。单株产量TCA效应值前10位的组合中,以MDH4为亲本组配的组合有4个,以MDH8和MDH5为亲本组配的分别有3个和2个,以MDH2为亲本组配的有1个。总配合力是杂交种双亲一般配合力和特殊配合力的综合表现^[6],在选择一般配合力高的

自交系作亲本的同时,还要考虑其组配时所产生特殊配合力的高低,只有这样,才能选育和组配出优良的杂交组合。

2.3 主要农艺性状的遗传参数分析

从表5可以看出,株高、穗位高、穗长、穗粗的GCA方差大于SCA方差,并且GCA方差与SCA方差的比值都大于2,表明这4个性状在杂交组合中主要受到加性基因控制,这些性状在群体内的GCA更重要,在组配杂交种时,应着重选择在这些性状上表现突出的DH系或自交系为亲本。穗行数、千粒重和单株产量GCA方差是SCA方差的1.406~1.568倍,说明其主要受加性基因的控制,也受非加性基因的影响,组配杂交组合时,应兼顾双亲GCA和杂交种SCA的表现。行粒数的GCA方差小于SCA方差,表

明该性状主要受非加性效应控制,改良行粒数应注重SCA的选择。株高、穗位高、穗长、穗行数的广义遗传力和狭义遗传力都大于50%,这4个性状的遗传受环境影响较小,其变异由遗传引起的比重较大,上下代相似度较高,可在早代进行选择。穗粗、行粒数、千粒重、单株产量的狭义遗传率相对比较小,不宜在早代选择。

表4 杂交组合的单株产量排名及总配合力效应值
Table 4 Ranking of yield per plant and the TCA effects for yield per plant of the combinations

组 合 Combination	单株产量 Yield per plant	排 序 Ranking	总配合力 TCA	组 合 Combination	单株产量 Yield per plant	排 序 Ranking	总配合力 TCA
MDH4×H451	389.613	1	20.164	MDH1×S122	237.105	21	-0.776
MDH4×S121	308.554	2	9.035	MDH6×H451	235.881	22	-0.944
MDH8×H451	298.589	3	7.666	MDH5×S127	234.393	23	-1.149
MDH5×H451	267.440	4	3.389	MDH8×M5972	234.260	24	-1.167
MDH2×H451	261.125	5	2.522	MDH7×M5972	232.529	25	-1.404
MDH4×S127	256.089	6	1.831	MDH6×S121	231.234	26	-1.583
MDH8×S122	255.860	7	1.799	MDH1×H451	230.850	27	-1.636
MDH4×M5972	253.106	8	1.421	MDH1×S121	230.195	28	-1.725
MDH8×S121	251.990	9	1.268	MDH3×S127	227.430	29	-2.105
MDH5×S121	248.988	10	0.855	MDH2×S127	226.364	30	-2.251
MDH1×M5972	246.792	11	0.554	MDH5×M5972	224.871	31	-2.456
MDH2×S121	244.695	12	0.266	MDH2×S122	222.592	32	-2.769
MDH7×H451	243.681	13	0.127	MDH7×S127	222.024	33	-2.847
MDH8×S127	243.266	14	0.070	MDH7×S121	221.997	34	-2.851
MDH3×S121	242.956	15	0.027	MDH1×S127	219.313	35	-3.220
MDH5×S122	242.936	16	0.025	MDH6×M5972	218.629	36	-3.313
MDH3×H451	240.251	17	-0.344	MDH3×S122	216.924	37	-3.547
MDH6×S122	239.581	18	-0.436	MDH6×S127	215.139	38	-3.793
MDH4×S122	238.053	19	-0.646	MDH2×M5972	212.032	39	-4.219
MDH7×S122	237.486	20	-0.724	MDH3×M5972	205.510	40	-5.115

表5 各性状的遗传参数估计
Table 5 Estimate of genetic parameter for every trait

遗传参数 Genetic parameter	株 高 Plant height	穗位高 Ear height	穗长 Ear length	穗 粗 Ear diameter	穗行数 Ear rows	行粒数 Kernel number	千粒重 1 000-kernel weight	单株产量 Yield per plant
一般配合力方差 V _g	67.68	76.19	74.41	81.13	58.44	43.11	60.19	61.06
特殊配合力方差 V _s	32.32	23.81	25.59	18.87	41.56	56.89	39.81	38.94
广义遗传力 H _b ²	77.09	71.87	74.97	54.33	89.90	72.89	47.74	79.92
狭义遗传力 H _s ²	52.17	54.76	55.79	44.08	52.53	31.42	28.74	48.80

3 结论与讨论

本试验经过诱导、加倍仅两个生育周期就获得了稳定的纯系,缩短了自交系选育年限,提高了育种效率。由于单倍体分离是一种随机的结果,DH系代表了原始育种群体配子体的1个随机样本,并没有经过自然选择压力进行淘汰,需要经过田间鉴定与选择。因此,在获得DH系后,又经过两次扩繁与筛选获得了符合育种目标的农艺性状优良的8个DH系。经过加倍、筛选后,这些DH系所有基因位

点都是纯合的,在主要农艺性状上均表现出高度的一致性,是选配高产、优质、强优势组合的宝贵材料^[7]。祁志云^[8]等对玉米DH系穗部性状进行配合力分析表明,有10个DH系有较高的GCA,能组配出强优势杂交组合。刘欣芳^[9]等研究认为,利用DH育种技术可以快速改良自交系的一般配合力。杨巍^[10]等研究认为,在3种不同密度下DH系的单株产量GCA普遍高于2个骨干系PH6WC和GJ4。本研究结果表明,来源于同一基础材料的不同DH系之间,一般配合力差异较大。8个DH系中单株产量GCA以

MDH4最大、MDH8次之,用MDH4和MDH8容易组配出高产杂交种。综合各农艺性状的GCA效应看,DH系MDH4是组配高产优质玉米杂交种的理想亲本,用MDH4作亲本容易组配出株高适中、穗位偏低、果穗较粗、穗行数较多、行粒数较多、千粒重较大的高产玉米杂交种。DH系MDH8和MDH5也有较大的应用潜力,用MDH8和MDH5作亲本有可能组配出性状较优良的组合。MDH4×H451和MDH1×M5972是单株产量SCA表现优良的组合,分析表明,亲本的GCA与其组配的杂交种SCA没有必然联系,选配优良杂交组合时,既要注意GCA的选择,也要结合SCA进行选择。MDH4×H451、MDH4×S121和MDH8×H451均有较高的单株产量和总配合力效应值,可确定为优良组合,对这3个优良组合应进行多年多点种植鉴定,以确定其应用价值及适应区域。从遗传参数估计值可以看出,组配杂交种时,对株高、穗位高、穗长、穗粗的选择应着重在这些性状上GCA表现突出的亲本,对穗行数、千粒重和单株产量的选择要兼顾双亲GCA和杂交种SCA的表现,对行粒数的改良应注重SCA的选择;株高、穗位高、穗长、穗行数的广义遗传力和狭义遗传力都大于50%,可进行早代选择。穗粗、行粒数、千粒重、单株产量的狭义遗传率相对比较小,不宜在早代进行选择。

选育DH系仅仅是玉米杂交育种的一个基础环节^[11],配合力研究是玉米DH系工作的重点和难点,也是衡量该种质在育种中的应用价值的标准之一。DH系的测配,重点是选择适当的测验种,需依据育种目标对DH系进行选择 and 选择适当的测验种有针对性地测配。本试验对1个基础材料进行诱导系诱导、加倍、筛选后,获得8个农艺性状优良的耐密抗病DH系,并选择恰当的含有塘四平头和旅大红骨血缘的黄旅类群自交系作测验种进行配合力测定,既有一定的针对性,又减少了测配及组合鉴定试验的工作量。由于不同的生态环境和不同的种植密度都会对自交系配合力及杂种优势产生影响^[12],因此在今后应在多方面加强DH系的选择与鉴定。

参考文献:

- [1] 段民孝,赵久然,王元东,等.同一基础材料的玉米双单倍体(DH)系配合力的分析[J].种子,2010,29(11):14-17.
Duan M X, Zhao J R, Wang Y D, et al. Analysis on combining ability (CA) of maize double haploid(DH) lines from the same foundation material[J]. Seed, 2010, 29(11): 14-17. (in Chinese)
- [2] 王立萍,栾奕,杨巍,等.玉米DH系产量构成因素遗传分析及产量杂种优势表现[J].分子植物育种,2017(11):1-9.
Wang L P, Luan Y, Yang W, et al. Genetic analysis on yield heterosis performance of maize DH lines[J]. Molecular Plant Breeding, 2017(11): 1-9. (in Chinese)
- [3] 刘剑,孙继颖,高聚林,等.16份美国玉米自交系配合力鉴定及利用潜力分析[J].北方农业学报,2017,45(6):1-10.
Liu J, Sun J Y, Gao J L, et al. Analysis of combining ability and utilization potential of 16 American maize inbred lines[J]. Journal of Northern Agriculture, 2017, 45(6): 1-10. (in Chinese)
- [4] 王立萍.玉米DH系杂种优势、遗传特性分析及单倍体遗传分离研究[D].长春:吉林农业大学,2017.
- [5] 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. The analysis of the combining ability of main agronomic traits and heterosis of maize inbred lines selected from European germplasm BRC[J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(3): 28-33. (in Chinese)
- [6] 卢秉生,高洪敏,姚永祥,等.10个玉米自交系穗部性状的配合力和遗传参数分析[J].作物杂志,2017(2):23-28.
Lu B S, Gao H M, Yao Y X, et al. Combining ability and genetic parameters of ear characters of ten maize inbred lines[J]. Crops, 2017 (2): 23-28. (in Chinese)
- [7] 张如养,段民孝,赵久然,等.单倍体技术在玉米种质改良和育种中的应用方向[J].作物杂志,2012(5):4-8.
Zhang R Y, Duan M X, Zhao J R, et al. The application of haploid technology on germplasm improving and breeding in maize[J]. Crops, 2012(5): 4-8. (in Chinese)
- [8] 祁志云,杨华,邱正高,等.玉米DH系穗部性状配合力及其一般配合力相关分析[J].西南农业学报,2011,24(5):1642-1650.
Qi Z Y, Yang H, Qiu Z G, et al. Correlation analysis of combining ability and general combining ability for ear characters in maize DH lines[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24 (5): 1642-1650. (in Chinese)
- [9] 刘欣芳,马骏,王延波,等.玉米DH系产量及农艺性状配合力分析[J].沈阳农业大学学报,2012,43(5):591-594.
Liu X F, Ma J, Wang Y B, et al. Combining ability analysis on agronomic traits of Double Haploid breedings[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2012, 43(5): 591-594. (in Chinese)
- [10] 杨巍,李玲,姜龙,等.不同密度下玉米DH系单株产量的杂种优势及配合力分析[J].吉林农业大学学报,2014,36(1):23-29.
Yang W, Li L, Jiang L, et al. Analysis of heterosis and combining ability of per plant yield of maize DH lines in different densities[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2014, 36(1): 23-29. (in Chinese)
- [11] 葛超,赵成昊,陈得义,等.玉米单倍体DH系特点及应用研究进展[J].种子,2012,31(4):52-54.
Ge C, Zhao C H, Chen D Y, et al. Study proceeding in the characteristic and application of maize haploid DH line[J]. Seed, 2012, 31 (4): 52-54. (in Chinese)
- [12] 吴玥,郑雷雷,慈佳宾,等.不同密度下玉米DH系稳定性及配合力分析[J].吉林农业大学学报,2014,36(4):384-388.
Wu Y, Zheng L L, Ci J B, et al. Analysis of stability and combining ability of maize DH line at different density[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2014, 36(4): 384-388. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)