

玉米自交系籽粒脱水相关性状配合力分析

张凤启, 张君, 丁勇, 赵发欣, 穆心愿, 齐建双, 谷利敏, 马智艳, 夏来坤, 唐保军
(河南省农业科学院粮食作物研究所 / 河南省玉米生物学重点实验室, 郑州 450002)

摘要: 优异玉米自交系是玉米商业化育种的基础, 配合力是评价自交系遗传力及其育种价值的重要指标。本研究以国内外 14 份玉米自交系按完全双列杂交设计配制的 182 个杂交组合及其亲本自交系为材料, 对其籽粒脱水相关性状进行配合力分析, 结果表明: (1) 籽粒脱水速率、籽粒含水率、苞叶层数、苞叶面积在不同自交系之间差异显著, 且均受环境影响; (2) 配合力分析发现, Zheng12、Zheng645、PHR55、LH202 作为亲本材料易配制出籽粒脱水快或成熟期籽粒含水率低的组合, 尤其组合 Zheng12 × LH202; (3) 182 个杂交组合籽粒脱水相关性状的各表型值与其父母本一般配合力效应之和均呈极显著正相关。这为宜机收玉米品种遗传改良提供优异种质资源及理论依据。

关键词: 玉米; 籽粒脱水速率; 籽粒含水率; 配合力

Combining Ability Analysis of Kernel Dehydration Related Traits in Maize Inbred Lines

ZHANG Feng-qi, ZHANG Jun, DING Yong, ZHAO Fa-xin, MU Xin-yuan, QI Jian-shuang,
GU Li-min, MA Zhi-yan, XIA Lai-kun, TANG Bao-jun
(Cereal Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences/Henan Provincial Key Lab.
of Maize Biology, Zhengzhou 450002)

Abstract: Excellent inbred line serves as foundation in commercial breeding. Combining ability is an important index to evaluate the heritability and breeding value of inbred lines. By analyzing 182 hybridized combinations that derived from 14 inbred lines from home and abroad following complete diallel crossing, we analyzed the kernel dehydration related traits combining ability in maize. The results indicated that: (1) significant differences on kernel dehydration rate, kernel moisture content, husk number and husk area among different inbred lines, which were environment-dependent, (2) through combining ability analysis, we found that Zheng12, Zheng645, PHR55 and LH202 as parents can easily mate combinations with rapid kernel dehydration or low kernel moisture content at mature, especially Zheng12 × LH202, (3) The phenotypic value of 182 hybridized combinations for kernel dehydration related traits were all respectively significantly positive related with the sum of their parents general combining ability. The results might provide useful resources or theoretical basis for the genetic improvement of maize varieties which are suitable for mechanical harvesting.

Key words: maize; kernel dehydration rate; kernel moisture content; combining ability

收稿日期: 2018-10-30 修回日期: 2018-11-14 网络出版日期: 2019-01-03

URL: <http://www.doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20181030001>

第一作者主要从事玉米分子育种, E-mail: fqzhang023@163.com

通信作者: 唐保军, 主要从事玉米新品种鉴定、评价及其配套利用研究, E-mail: henan.maize@163.com

夏来坤, 主要从事玉米生理生态研究, E-mail: xialaikun@126.com

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0100103); 河南省农业科学院自主创新专项基金(2019ZC09); 公益性行业(农业)科研专项(201503130); 河南省玉米产业技术体系建设项目(S2015-02-G04)

Foundation project: National Key Research and Development Program of China (2016YFD0100103), Special Fund for Independent Innovation of Henan Academy of Agricultural Science (2019ZC09), Special Fund for Agro-Scientific Research in the Public Interest (201503130), Project of Corn Industry Technology System Construction in Henan (S2015-02-G04)

玉米籽粒含水率是影响玉米收获时间、质量、储存以及商用品质的因素^[1-2]。截至到目前,我国生产上推广的绝大多数玉米品种收获时籽粒含水率普遍为30%~35%,甚至更高^[3]。培育籽粒脱水快,适宜机收籽粒的品种是目前我国玉米育种的难点和重点。因此,加强对玉米籽粒脱水性状研究,对提高宜机收玉米品种的遗传改良效率具有重要实践意义。

丰富的种质资源是玉米商业化育种的基础,美国在玉米种质资源创新方面全球领先,具有丰富的种质,尤其在早熟、籽粒脱水快、坚秆等适宜机收籽粒方面具有较强优势^[4]。配合力是评价种质资源遗传改良效果及其育种利用价值的重要指标。对玉米籽粒脱水相关性状配合力研究,国内外已有部分研究报道^[5-8]。但大多数围绕现已推广杂交种双亲或一些常用玉米自交系进行研究。配合力高、含水率低、适应性广的宜机收玉米种质资源的匮乏是限制我国玉米机收籽粒育种发展的瓶颈^[9-11]。挖掘新的种质资源是当前适宜机收籽粒玉米品种遗传改良的主要任务之一^[12-13]。近年来为了提高我国玉米育种水平,国家玉米产业

技术体系通过美国农业部ARS等渠道逐批引进解密商业自交系,并向国内各玉米育种单位公开发放^[14]。本研究以美国解禁的3份自交系与中国常用或本单位自育的11份自交系为材料,按照完全双列杂交设计组配杂交组合182个,旨在分析亲本自交系籽粒脱水相关性状一般配合力、特殊配合力,解析亲本自交系一般配合力和杂交组合脱水性状表型之间相关性,探讨玉米籽粒脱水育种中亲本选配规律,为新材料的应用或中国玉米适宜机收品种改良提供优异种质资源及理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究以美国自交系PHR55、LH202、PHJ65(来源于国家玉米产业技术体系公开发放)以及中国常用或本单位自育的11份自交系(Chang7-2、La619158、Zheng58、ZhengT22、ZhengA88、ZhengH71、Zheng645、Zheng12、Zheng6、Zheng1798、Zheng11)为材料(表1),按照完全双列杂交组配杂交组合182个。

表1 14份玉米自交系来源

Table 1 Source of 14 maize inbred lines used in this study

编号 Code	名称 Name	来源 Source	编号 Code	名称 Name	来源 Source
1	PHR55	美国非坚秆群	8	ZhengA88	自育坚秆群
2	LH202	美国坚秆群	9	ZhengH71	自育非坚秆群
3	PHJ65	美国坚秆群	10	Zheng645	自育非坚秆群
4	Chang7-2	中国非坚秆群	11	Zheng12	自育坚秆群
5	La619158	中国非坚秆群	12	Zheng6	自育坚秆群
6	Zheng58	自育坚秆群	13	Zheng1798	自育坚秆群
7	ZhengT22	自育非坚秆群	14	Zheng11	自育非坚秆群

1.2 试验方法

2017年6月14份玉米自交系及其182个杂交组合分别播种于河南省农业科学院原阳试验基地和安阳市农业科学院试验基地。田间均采用随机区组设计,2行区,重复2次。杂交组合和亲本自交系分开种植,杂交组合行长6m,行距60cm,株距25cm;自交系行长6m,行距30cm,株距25cm。田间管理措施与当地大田生产一致。同时,在材料散粉吐丝前,选取行内长势一致的单株,雌穗套袋隔离,待散粉后,每个小区统一在同一天完成人工授粉,并记录授粉日期。

1.3 性状测定方法

籽粒含水率和脱水速率:利用针型电子水分测

量仪(日本HB-300玉米籽粒水分测定仪)分别对授粉后35d和成熟期(按照国家玉米区试试验数据采集规范标准以小区90%以上果穗的籽粒出现黑层的日期)穗中部籽粒含水率进行测定。每个小区每次选取3株,分别在果穗中部两侧的籽粒各测量1次。按照籽粒脱水速率(%/d)=[前一次含水率(%)-后一次含水率(%)]/两次测量间隔天数(d)进行统计分析。苞叶层数和苞叶面积:成熟期每个小区取5穗,对每穗苞叶从外向里依次统计苞叶层数;并使用直尺测量出每片苞叶长度(纵向自底部至顶部最长位置的长度)和宽度(横向最宽部位的宽度),参考何丹等^[15]统计方法,按照苞叶面积

(cm^2) = 总长度 (cm) \times 总宽度 (cm) \times 0.75 统计每穗苞叶面积。

1.4 数据分析

使用 Microsoft Excel 2007 对两个环境下数据进行处理; 利用 DPS 7.05 软件分别对籽粒脱水速率、成熟期籽粒含水率、苞叶层数及苞叶面积进行方差分析和相关性分析; 并按完全双列杂交设计估算每个亲本各性状的一般配合力 (GCA) 及组合特殊配合力值 (SCA); 根据父母本各性状一般配合力 (GCA) 效应值, 分析 182 个杂交组合双亲 GCA 效应值之和与其对应表型值的相关性。

2 结果与分析

2.1 玉米籽粒脱水相关性状方差分析

对 2 个地点籽粒含水率测定, 发现随着籽粒发育进行, 籽粒含水率逐渐降低。通过对亲本籽粒脱水速率分析 (表 2) 发现, 表现脱水最快的自交系为

Zheng645, 其次为 Zheng11、Zheng12、Zheng1798、PHR55, 而 PHJ65 脱水最慢; 成熟期籽粒含水率, 各亲本自交系之间存在明显差异 (表 2), 其中 LH202 和 Zheng645 成熟时籽粒含水率较低, 而 PHJ65 最高; 与玉米籽粒脱水密切相关的苞叶层数和苞叶面积, 不同自交系之间差异明显 (表 2), 自交系 PHR55 和 Zheng11 的苞叶层数较少, ZhengT22 最多; 自交系 PHR55 和 Zheng645 的苞叶面积较小, ZhengH71 最大。杂交组合方差分析结果显示 (表 3), 籽粒脱水速率、籽粒含水率、苞叶层数和苞叶面积在不同环境、不同组合以及环境和组合互作之间差异均极显著。由此可知, 玉米籽粒脱水相关性状不仅材料之间存在显著差异, 其受环境影响也不可忽视。同时, 遗传参数分析结果表明 (表 4), 与显性方差相比较, 籽粒脱水速率、籽粒含水率、苞叶层数和苞叶面积加性方差均表现较高; 苞叶层数和苞叶面积遗传力较高, 分别为 79.68%、85.10%。

表 2 14 份玉米自交系籽粒脱水相关性状比较

Table 2 The comparison of the kernel dehydration rate related traits of 14 maize inbred lines

自交系 Inbred line	籽粒脱水速率 (%/d) Kernel dehydration rate	籽粒含水率 (%) Kernel moisture content	苞叶层数 Husk number	苞叶面积 (cm^2) Husk area
LH202	0.66BCbc	23.15Ed	7.25DEFde	5879.75Fg
PHJ65	0.11Dd	48.43Aa	10.25Bb	12108.50Cc
PHR55	0.88ABab	28.58DEcd	6.50Ff	3845.50Gh
Zheng1798	0.90ABab	29.28DEcd	7.75CDEcd	7284.75EFef
Zheng645	1.11Aa	23.33Ed	7.00EFef	3028.75Gh
La619158	0.77ABCb	33.30BCDEbc	7.75CDEcd	7737.00DEFfe
Zheng12	0.91ABab	29.10DEcd	8.25Cc	6388.25Ffg
Zheng6	0.76ABCb	33.65BCDEbc	8.00CDc	9164.75Dd
Zheng11	0.92ABab	29.80CDEcd	6.50Ff	6326.00Ffg
Chang7-2	0.68BCbc	35.98BCDbc	11.00ABa	15369.00Bb
Zheng58	0.48C	41.13ABab	6.75Fef	7414.00DEFef
ZhengA88	0.49Cc	40.00ABCb	7.00EFef	8313.50DEde
ZhengH71	0.45Cc	41.18ABab	11.00ABa	17215.75Aa
ZhengT22	0.81ABCb	37.70BCDc	11.25Aa	15648.25ABb

不同大、小写字母表示在 0.01、0.05 水平差异显著, 下同

Different capital and small letters followed by data within a column mean significantly different at 0.01, 0.05 levels, the same as below

表 3 182 个杂交组合玉米籽粒脱水相关性状方差分析

Table 3 Variance analysis of the kernel dehydration related traits of 182 maize hybrid combinations

变异来源 Variation source	自由度 df	籽粒脱水速率 Kernel dehydration rate	籽粒含水率 Kernel moisture content	苞叶层数 Husk number	苞叶面积 Husk area
区组间 Block	1	20.40**	5.45	0.41	1.63
环境间 Environment	1	267.70**	70.89**	295.45**	49.46**
组合间 Combination	181	2.86**	4.80**	6.76**	6.78**
环境 \times 组合 Environment \times Combination	181	2.40**	3.87**	2.15**	2.99**

** 表示在 0.01 水平差异显著, 下同

** means significantly different at 0.01 levels, the same as below

表4 玉米籽粒脱水相关性状遗传参数估计

Table 4 Estimation of genetic parameter for kernel dehydration related traits in maize

方差组分 Variance component	籽粒脱水速率 Kernel dehydration rate	籽粒含水率 Kernel moisture content	苞叶层数 Husk number	苞叶面积 Husk area
加性方差 Additive variance	0.010	10.56	1.48	1170.76
显性方差 Dominance variance	0.003	2.53	0.31	649.33
遗传方差 Genetic variance	0.013	13.09	1.80	1820.09
广义遗传力(%) Broad heritability	56.690	75.74	79.68	85.10

2.2 玉米籽粒脱水相关性状配合力分析

配合力方差分析表明(表5), 14份自交系籽粒脱水速率、籽粒含水率、苞叶层数及苞叶面积一般配

合力存在极显著差异; 特殊配合力及反交效应也存在极显著差异。因此, 进一步估算各材料一般配合力效应和组合特殊配合力效应。

表5 玉米籽粒脱水相关性状配合力方差分析

Table 5 The variance analysis of combining ability for kernel dehydration related traits in maize

变异来源 Variation source		一般配合力 GCA	特殊配合力 SCA	反交效应 Reciprocal cross effect
籽粒脱水速率 Kernel dehydration rate	均方	0.07	0.02	0.01
	F-值	28.01**	8.12**	3.05**
籽粒含水率 Kernel moisture content	均方	153.64	5.77	3.18
	F-值	146.58**	5.50**	3.03**
苞叶层数 Husk number	均方	21.46	0.70	0.32
	F-值	187.45**	6.09**	2.78**
苞叶面积 Husk area	均方	17676.19	1292.22	250.32
	F-值	221.80**	16.21**	3.14**

一般配合力效应分析表明(表6), 不同性状各自交系一般配合力效应存在明显差异; 自交系 Zheng12、Zheng645 籽粒脱水速率 GCA 表现较大, 分别为 0.085、0.054, 而 PHJ65 效应最小, 为 -0.062。成熟期籽粒含水率 GCA, 自交系 LH202 最小, 为 -4.485, 其次为 Zheng12、Zheng645, 分别为 -2.529、-2.417, 而 PHJ65 效应最大, 为 3.198; 苞叶层数 GCA 较小自交系依次为 Zheng11、Zheng58、PHR55 及 Zheng12, 分别为 -1.171、-0.876、-0.778、-0.644, 而自交系 ZhengT22 最大, 为 1.954; 自交系 PHR55、Zheng12 和 Zheng645 的苞叶面积 GCA 效应较小, 分别为 -38.842、-29.925、-19.217, ZhengT22 最大, 为 56.613。由此可以看出, Zheng12、Zheng645、PHR55、LH202 作为亲本材料较易配制出成熟期籽粒含水率低或籽粒脱水较快的组合, 在宜机收籽粒玉米育种研究上利用价值较高。

特殊配合力效应分析表明(表7), 组合 Zheng12 × LH202 籽粒脱水速率 SCA 最大, 为 0.23,

其次为 LH202 × ZhengH71、PHJ65 × ZhengT22, 均为 0.21; 而组合 LH202 × La619158 的 SCA 效应值最小, 为 -0.35。成熟期籽粒含水率, 组合 PHJ65 × ZhengT22 的 SCA 最小, 为 -4.25, 而 ZhengH71 × ZhengT22 的 SCA 最大, 为 5.76。苞叶层数 SCA, 组合 ZhengT22 × ZhengA88 表现最小, 其效应值为 -1.25, 而组合 LH202 × ZhengT22 效应最大, 为 1.32。苞叶面积 SCA, 组合 ZhengT22 × Chang7-2 最小, 为 -78.71, LH202 × ZhengT22 最大, 为 59.52。由此可知, 籽粒脱水都快的亲本组合中籽粒脱水速率 SCA 并非都高, 但亲本一般配合力较高, 其组合出现特殊配合力较高的机会多。另外, 综合考虑一般配合力和特殊配合力效应, 发现自交系 Zheng12 在籽粒脱水速率表现最优, 因其无论作为父本或母本与其他自交系组配杂交组合的总效应(即各亲本一般配合力与其组合特殊配合力之和)均大于 0。

表 6 14 份玉米亲本自交系籽粒脱水相关性状一般配合力效应

Table 6 Effect of general combining ability for kernel dehydration related traits of 14 parents in maize

自交系 Inbred line	籽粒脱水速率 Kernel dehydration rate	籽粒含水率 Kernel moisture content	苞叶层数 Husk number	苞叶面积 Husk area
PHR55	0.050Bbc	-2.359Fg	-0.778EFgh	-38.842lj
LH202	-0.038EFGfgh	-4.485Gh	-0.028Dd	-1.702DEef
Zheng1798	0.028BCcd	-0.865Ef	-0.091Dde	-8.010Fg
ZhengA88	-0.054FGh	1.943BCb	-0.564Ef	-1.857DEFef
Zheng58	-0.048EFGgh	1.262Cc	-0.876Fh	-4.807EFfg
ZhengT22	-0.026DEFfg	2.073Bb	1.954Aa	56.613Aa
La619158	0.002CDde	-0.676Eef	-0.242De	1.846De
Chang7-2	-0.017DEef	1.977Bb	1.177Bb	29.232Bb
ZhengH71	-0.061FGh	2.891Aa	0.784Cc	23.944BCc
Zheng645	0.054ABb	-2.417Fg	-0.162Dde	-19.217Gh
Zheng12	0.085Aa	-2.529Fg	-0.644EFfg	-29.925Hi
Zheng6	0.048Bbc	-0.173DEde	-0.108Dde	-7.995Fg
PHJ65	-0.062Gh	3.198Aa	0.749Cc	18.238Cd
Zheng11	0.040Bbc	0.161Dd	-1.171Gi	-17.518Gh

表 7 182 份杂交组合籽粒脱水相关性状特殊配合力效应

Table 7 Effect of specific combining ability for kernel dehydration related traits of 182 combinations

组合 Combination	籽粒脱水 籽粒含				组合 Combination	籽粒脱水 籽粒含			
	速率 Kernel dehydration rate	水率 Kernel moisture content	苞叶层 数 Husk number	苞叶面积 Husk area		速率 Kernel dehydration rate	水率 Kernel moisture content	苞叶层 数 Husk number	苞叶面积 Husk area
1 × 2	0.04	-0.54	-0.82	-18.41	3 × 6	-0.01	-0.05	0.38	0.97
1 × 3	0.01	0.62	-0.10	-4.55	3 × 7	0.21	-4.25	-0.13	-9.94
1 × 4	0.00	0.28	0.85	14.92	3 × 8	-0.04	1.03	0.63	15.75
1 × 5	-0.17	0.45	-0.48	1.33	3 × 9	0.02	-1.84	-0.13	-11.93
1 × 6	0.01	0.88	-0.10	-8.45	3 × 10	-0.03	0.55	-0.50	-4.21
1 × 7	0.01	-0.62	0.95	4.52	3 × 11	-0.03	1.04	-0.13	-11.66
1 × 8	-0.02	0.69	0.47	10.85	3 × 12	-0.01	0.13	-0.25	-16.67
1 × 9	-0.03	0.73	0.62	2.67	3 × 13	0.01	0.04	-0.13	-9.66
1 × 10	0.00	-1.12	-0.06	-4.19	3 × 14	-0.13	2.05	-0.33	-15.27
1 × 11	0.04	-0.92	0.42	20.21	4 × 1	0.01	-0.10	0.00	4.20
1 × 12	0.02	-0.27	0.26	14.10	4 × 2	0.06	-0.90	0.25	19.98
1 × 13	-0.07	1.24	-0.51	-5.09	4 × 3	0.00	0.09	-0.18	6.46
1 × 14	0.10	-2.28	-0.30	-5.62	4 × 5	0.00	0.05	-0.25	-5.97
2 × 1	-0.06	0.90	0.13	8.73	4 × 6	0.01	0.25	0.13	3.08
2 × 3	0.20	-0.32	0.03	-2.74	4 × 7	0.02	-0.53	0.13	-9.63
2 × 4	0.20	-1.02	0.85	42.51	4 × 8	0.05	-1.24	-0.25	-16.14
2 × 5	-0.35	1.78	-0.36	-3.00	4 × 9	-0.02	0.98	-0.46	-31.01
2 × 6	-0.22	0.22	0.28	9.50	4 × 10	-0.08	1.12	0.23	1.04
2 × 7	0.14	-0.62	1.32	59.52	4 × 11	-0.05	0.66	-0.28	0.78
2 × 8	-0.03	0.07	0.22	-13.19	4 × 12	-0.04	0.00	1.18	46.80
2 × 9	0.21	-1.06	0.87	28.36	4 × 13	0.03	-0.70	0.00	-2.21
2 × 10	-0.13	-0.05	-0.31	-13.54	4 × 14	-0.01	-0.07	-0.51	-9.14
2 × 11	-0.12	-0.43	-0.20	-17.36	5 × 1	0.13	-0.75	-0.50	-7.08
2 × 12	0.13	0.16	-0.49	-20.98	5 × 2	0.04	0.48	0.63	15.01
2 × 13	-0.12	0.57	-0.26	-5.63	5 × 3	0.10	-1.86	-0.13	-12.75
2 × 14	0.05	1.54	0.82	31.20	5 × 4	0.02	-0.13	0.06	14.57
3 × 1	0.01	-0.06	0.13	2.88	5 × 6	0.05	-0.60	0.50	14.22
3 × 2	-0.01	-0.28	0.00	0.35	5 × 7	-0.10	2.26	0.38	-5.39
3 × 4	0.03	-0.18	0.00	3.56	5 × 8	-0.01	-0.01	-0.50	-19.79
3 × 5	0.01	0.14	0.13	-2.84	5 × 9	0.05	-1.42	0.71	18.72

表7(续)

组合 Combination	籽粒脱水	籽粒含	苞叶层 数 Husk number	苞叶面积 Husk area	组合 Combination	籽粒脱水	籽粒含	苞叶层 数 Husk number	苞叶面积 Husk area
	速率 Kernel dehydration rate	水率 Kernel moisture content				速率 Kernel dehydration rate	水率 Kernel moisture content		
5×10	0.06	-1.70	0.65	11.80	9×8	-0.01	0.31	-0.25	1.76
5×11	0.02	1.25	0.26	7.59	9×10	-0.04	1.32	0.25	8.38
5×12	0.03	0.63	-0.90	-22.28	9×11	0.05	-1.77	-0.89	-20.60
5×13	-0.08	1.06	0.38	13.70	9×12	-0.03	-0.45	-0.30	8.37
5×14	0.09	-1.15	-0.59	-24.82	9×13	0.02	-0.76	0.75	21.53
6×1	0.02	-0.31	0.00	9.05	9×14	-0.16	3.64	-0.74	-15.69
6×2	0.16	-0.40	0.38	10.55	10×1	0.10	-0.64	0.25	1.40
6×3	0.13	-3.32	-0.25	-0.84	10×2	0.10	0.03	0.25	4.33
6×4	-0.03	-0.34	-0.18	22.45	10×3	0.00	0.86	0.41	22.73
6×5	0.06	-0.62	0.62	23.29	10×4	0.01	-0.81	-0.50	-13.80
6×7	0.03	-0.95	-0.08	5.19	10×5	0.00	-0.49	-0.25	-4.78
6×8	-0.03	0.78	0.38	7.98	10×6	0.04	-0.61	-0.13	-4.76
6×9	0.03	-1.30	0.34	22.96	10×7	0.03	-0.69	0.25	7.65
6×10	0.07	-0.76	0.16	6.24	10×8	-0.01	0.75	0.25	-5.72
6×11	-0.02	0.05	-0.36	-3.59	10×9	0.00	-0.28	0.63	11.33
6×12	0.00	0.10	0.11	-2.15	10×11	0.03	-0.43	-0.45	-5.06
6×13	0.00	-0.26	0.50	14.15	10×12	0.02	-0.57	-0.36	-2.48
6×14	0.05	-0.55	0.42	1.67	10×13	0.02	-0.76	-0.13	-1.40
7×1	-0.01	0.50	0.38	11.37	10×14	-0.06	1.06	0.33	6.42
7×2	0.03	0.53	-0.50	-20.04	11×1	0.01	-0.45	1.00	21.83
7×3	-0.15	1.95	0.17	29.03	11×2	0.23	0.89	-0.13	0.96
7×4	0.07	-1.13	-0.76	-78.71	11×3	0.04	-0.96	0.27	8.41
7×5	0.06	-1.21	0.66	35.04	11×4	0.02	0.56	0.00	-2.53
7×6	-0.03	0.66	0.00	-14.32	11×5	-0.05	1.30	-0.13	-0.29
7×8	0.01	0.34	-1.25	-35.76	11×6	0.00	-0.39	0.88	15.83
7×9	-0.18	4.07	-0.74	-55.07	11×7	0.00	-0.13	-1.00	-21.43
7×10	-0.16	3.25	0.71	20.14	11×8	-0.01	0.28	0.13	-2.41
7×11	0.03	-1.05	0.19	20.23	11×9	0.00	0.25	-0.25	-3.41
7×12	-0.03	-0.43	0.40	36.85	11×10	0.02	0.68	0.25	3.31
7×13	0.00	0.19	-0.63	-19.31	11×12	0.00	-0.15	0.63	-6.19
7×14	0.01	-1.31	-0.53	-10.03	11×13	-0.02	0.54	-0.25	-2.60
8×1	-0.01	1.45	0.63	23.16	11×14	-0.01	-0.10	0.31	18.89
8×2	0.07	1.41	0.13	0.71	12×1	-0.09	1.90	-0.38	-1.89
8×3	0.08	-2.42	0.44	0.63	12×2	0.02	0.36	-0.63	-11.22
8×4	0.02	-1.29	-0.11	18.55	12×3	0.03	-1.66	0.11	-10.73
8×5	0.02	0.74	0.55	24.05	12×4	0.01	-0.49	0.00	-2.00
8×6	0.04	0.24	-0.69	-30.35	12×5	0.02	-0.49	0.00	-4.63
8×7	0.05	-2.66	-0.14	14.56	12×6	-0.02	0.55	-0.13	-6.57
8×9	0.08	-3.03	-0.22	15.67	12×7	-0.04	1.35	0.25	4.07
8×10	-0.05	1.89	-0.03	2.15	12×8	0.03	-0.48	-1.00	-23.41
8×11	-0.02	1.46	-0.17	-3.38	12×9	-0.04	0.70	0.13	-1.52
8×12	-0.05	0.72	0.42	-1.15	12×10	-0.04	0.28	0.13	1.01
8×13	0.01	0.03	0.25	8.52	12×11	0.05	-0.98	0.13	11.73
8×14	0.01	-0.70	0.23	14.91	12×13	0.09	-2.03	0.00	4.07
9×1	-0.02	0.94	-0.13	-3.17	12×14	-0.02	0.38	0.28	16.79
9×2	-0.01	1.08	-0.38	-23.43	13×1	0.03	0.28	-0.63	-6.53
9×3	0.16	-2.91	-0.16	13.18	13×2	0.02	-1.80	-0.63	-9.90
9×4	0.09	-3.83	-0.50	-13.98	13×3	0.05	-1.73	0.22	20.28
9×5	0.01	-0.25	0.00	-4.38	13×4	-0.06	1.26	-0.09	-6.00
9×6	0.02	-0.86	0.50	15.20	13×5	-0.01	1.02	-0.04	-8.77
9×7	-0.22	5.76	-0.25	-3.38	13×6	0.00	0.18	0.47	8.76

表 7 (续)

组合 Combination	籽粒脱水 速率 Kernel dehydration rate	籽粒含 水率 Kernel moisture content	苞叶层 数 Husk number	苞叶面积 Husk area	组合 Combination	籽粒脱水 速率 Kernel dehydration rate	籽粒含 水率 Kernel moisture content	苞叶层 数 Husk number	苞叶面积 Husk area
	13 × 7	-0.01	-0.40	-0.24		13.91	14 × 4	0.05	-0.48
13 × 8	0.01	0.59	0.15	-1.70	14 × 5	-0.04	0.81	0.25	-0.48
13 × 9	0.04	-1.77	0.55	18.25	14 × 6	0.00	0.15	0.13	-0.27
13 × 10	0.06	-0.61	0.38	16.09	14 × 7	0.06	-0.58	-0.25	-9.74
13 × 11	-0.01	0.68	-0.02	-5.23	14 × 8	0.03	-0.79	0.00	-1.10
13 × 12	0.02	-0.04	-0.30	-26.14	14 × 9	0.13	-3.63	0.13	-1.12
13 × 14	-0.02	0.44	1.01	30.84	14 × 10	-0.05	1.71	0.50	6.20
14 × 1	-0.02	0.78	0.25	12.86	14 × 11	-0.01	-0.19	0.00	-3.78
14 × 2	0.04	0.25	0.13	3.63	14 × 12	0.04	-1.20	0.00	-13.62
14 × 3	0.13	-2.94	-0.25	-8.04	14 × 13	0.01	0.39	0.00	-6.88

2.3 玉米双亲籽粒脱水相关性状 GCA 与杂交组合表型值相关性

对杂交组合父母本 GCA 效应值之和与表型值的相关性分析(图 1),随着双亲自交系籽粒脱水速率 GCA 的提高,其杂交组合籽粒脱水速率也随之提高,二者之间呈极显著正相关($r=0.45, P<0.01$)。双亲成熟期籽粒含水率 GCA 与杂交组合成熟期籽粒含水率也呈极显著正相关($r=0.84, P<0.01$),其回归方程为 $y=0.9297x+32.304$, 决定系数为 0.7077。

双亲苞叶层数 GCA 与杂交组合苞叶层数呈极显著正相关($r=0.88, P<0.01$);苞叶面积 GCA 与杂交组合苞叶面积也呈极显著正相关($r=0.84, P<0.01$)。这说明通过对亲本自交系籽粒脱水速率、成熟期籽粒含水率、苞叶层数和苞叶面积选择,可有效改善杂交组合籽粒脱水特性或苞叶特征。因此,利用父母本一般配合力效应值之和来预测杂交组合籽粒脱水表现,有助于高效选育出籽粒脱水快的组合。

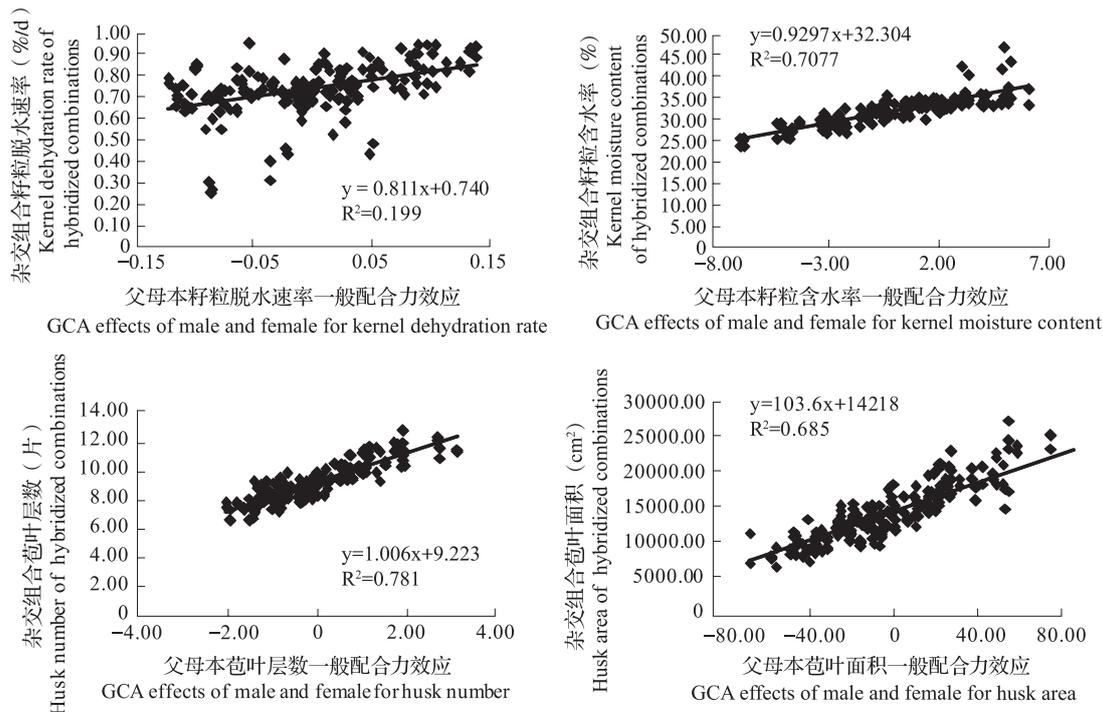


图 1 杂交组合父母本籽粒脱水相关性状 GCA 效应与其表型值相关性

Fig. 1 Correlation between GCA effects of male and female for kernel dehydration related traits and their phenotypic value in the hybridized combinations

3 讨论

3.1 玉米籽粒含水率测定方法比较

玉米籽粒含水率测定方法有直接法和间接法。直接法因其不能满足目前育种中大规模、无破损的需要,胡晋等^[16]根据种子水分的理化特性与水分含量的对应关系,通过基准法研发了一种间接测定种子含水量的方法。其与直接法相比,间接法具有操作简便、快速、适应强等特点,在玉米籽粒含水率相关的一些研究中该方法得到应用^[17-18]。本研究在成熟期比较了针型电子水分测量仪和烘干减重法,发现两种方法之间相关性达到极显著水平(相关系数 $r=0.62$, $P<0.001$),同时也发现利用电子水分测量仪进行籽粒含水率的测定具有准确、快速、简便、易操作等特点。玉米籽粒含水率测定易受环境因素影响,为了减少这些因素干扰,在本研究中采取了一系列措施,如同一个小区进行统一授粉、标记授粉单株;测量时采用人工剥开苞叶进行测量,这些措施实施,为获得准确数据提供了保证。

3.2 玉米自交系籽粒脱水相关性状遗传特性

玉米籽粒脱水速率遗传特性主要表现为加性效应,并且高度遗传^[19-20],但 Zhang 等^[21]研究认为籽粒含水率在抽丝后 30~51 d 是可遗传性状;遗传规律符合加性-显性模型,且加性方差比重较高,存在部分显性作用。本研究分析发现籽粒脱水速率、籽粒含水率、苞叶层数及苞叶面积遗传均以加性效应为主,遗传力分别为 56.69%、75.74%、79.68%、85.10%,这与前人研究报道相似^[15-22]。赵伟^[23]对玉米籽粒发育期间籽粒脱水速率的研究表明,杂交种与母本的相关程度大于其与父本的相关程度,存在正反交的差异,但本研究通过对正反杂交组合比较分析,发现籽粒脱水速率、成熟期籽粒含水率在正反杂交组合之间差异不明显。

3.3 玉米自交系籽粒脱水相关性状配合力效应

配合力是评价玉米种质资源利用价值的重要指标。其中 GCA 是基因的加性效应决定,是可遗传的部分;SCA 是基因的非加性效应(受基因间的显性、超显性和上位性效应所控制)决定,是不能稳定遗传给后代的部分。本研究配合力分析,发现籽粒脱水速率及其相关性状 GCA 在不同自交系之间存在明显差异。籽粒脱水速率,自交系 Zheng12 GCA 效应值最大;籽粒含水率自交系 LH202 GCA 效应值最小;苞叶层数和苞叶面积 GCA 较低自交系分别为 Zheng11、PHR55。并通过相关性分析,发现杂

交组合父母本籽粒脱水速率、成熟时籽粒含水率、苞叶层数和苞叶面积的 GCA 效应之和分别与其表型值均呈极显著正相关;而各杂交组合 SCA 与其对应的各性状表型值相关性不显著;同时也发现 2 个一般配合力效应均优的亲本所组配组合的特殊配合力效应不一定最大,如 PHR55 × La619158; 2 个亲本 GCA 较低或一高一低组配组合的特殊配合力效应值也有可能较高,如组合 LH202 × ZhengH71、Zheng12 × LH202。因此,广泛测交仍是组配杂交组合不可或缺的工作环节^[8]。

参考文献

- [1] 柳枫贺,王克如,李健,王喜梅,孙亚玲,陈永生,王玉华,韩冬生,李少昆. 影响玉米机械收粒质量因素的分析. 作物杂志, 2013(4): 116-119
Liu F H, Wang K R, Li J, Wang X M, Sun Y L, Chen Y S, Wang Y H, Han D S, Li S K. Factors affecting corn mechanically harvesting grain quality. Crops, 2013(4): 116-119
- [2] 王克如,李少昆. 玉米籽粒脱水速率影响因素分析. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2027-2035
Wang K R, Li S K. Analysis of influencing factors on kernel dehydration rate of maize hybrids. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 2027-2035
- [3] 马晶,刘海天,刘武仁. 降低玉米收获期籽粒含水量关键技术研究. 农业与技术, 2016, 36(11): 29-30
Ma J, Liu H T, Liu W R. Research of the key technology for reducing kernel moist content at maize harvest stage. Agriculture and Technology, 2016, 36(11): 29-30
- [4] 李海明,胡瑞法,张世煌. 外来种质对中国玉米生产的遗传贡献. 中国农业科学, 2005, 38(11): 2189-2197
Li H M, Hu R F, Zhang S H. The impacts of US and CGIAR's germplasm on maize production in China. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(11): 2189-2197
- [5] 苏俊,李春霞,龚士琛,闫淑琴,李国良,扈光辉,王明泉,任洪雷. 玉米籽粒灌浆和脱水速率的配合力分析. 黑龙江农业科学, 2013(6): 1-4
Su J, Li C X, Gong S C, Yan S Q, Li G L, Hu G H, Wang M Q, Ren H L. Analysis of the combining ability of maize grain filling and dehydration rate. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2013(6): 1-4
- [6] 王巍. 玉米自交系籽粒灌浆和脱水速率的配合力分析评价. 黑龙江农业科学, 2014(8): 1-5
Wang W. Analysis on combining ability of grain filling and dehydration rate of maize inbred line. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2014(8): 1-5
- [7] 于阳雪,刘珈伶,贾琳,王美丽,吕香玲,王宏伟,朱敏,杜万里,李凤海. 玉米自交系适机收相关性状配合力分析. 玉米科学, 2018, 26(3): 22-27
Yu Y X, Liu J L, Jia L, Wang M L, Lü X L, Wang H W, Zhu M, Du W L, Li F H. Combining ability of maize inbred lines for traits related to appropriate mechanical harvesting. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(3): 22-27
- [8] 朱宇光,韩托,豆丹丹,王会涛,库丽霞,陈彦惠. 玉米子粒机收后期脱水速率的配合力分析. 玉米科学, 2017, 25(2): 18-

- 23, 30
Zhu Y G, Han T, Dou D D, Wang H T, Ku L X, Chen Y H. Combining ability analysis on dehydration rate in later stage of maize harvest mechanization. *Journal of Maize Sciences*, 2017, 25(2): 18-23, 30
- [9] 张世煌, 田清震, 李新海, 李明顺, 谢传晓. 玉米种质改良与相关理论研究进展. *玉米科学*, 2006, 14(1): 1-6
Zhang S H, Tian Q Z, Li X H, Li M S, Xie C X. Advancement of maize germplasm improvement and relevant research. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14(1): 1-6
- [10] 陈得义, 景希强, 王孝杰, 曹祖波. 耐密宜机收玉米品种选育探讨. *作物杂志*, 2014(2): 13-15
Chen D Y, Jing X Q, Wang X J, Cao Z B. Discussion on the breeding for mechanical harvesting and density tolerant maize hybrids. *Crops*, 2014(2): 13-15
- [11] 张世煌, 徐伟平, 李明顺, 李新海, 徐家舜. 玉米育种面临的机遇和挑战. *玉米科学*, 2008, 16(6): 1-5
Zhang S H, Xu W P, Li M S, Li X H, Xu J S. Challenge and opportunity in maize breeding program. *Journal of Maize Sciences*, 2008, 16(6): 1-5
- [12] 冯健英, 许洛, 李中建, 王绍新. 宜机收玉米种质资源的创新与利用. *中国种业*, 2018(12): 34-36
Feng J Y, Xu L, Li Z J, Wang S X. Innovation and utilization of maize germplasm resources suitable for mechanical harvest. *China Seed Industry*, 2018(12): 34-36
- [13] 郭晋杰, 赵永锋, 张冬梅, 祝丽英, 黄亚群, 陈景堂. 不同杂种优势群玉米籽粒脱水速率分析. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(1): 39-48
Guo J J, Zhao Y F, Zhang D M, Zhu L Y, Huang Y Q, Chen J T. Analysis of grain dehydration rate in different maize heterotic groups. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(1): 39-48
- [14] 石雷. 现代美国马齿型玉米商业育种的种质基础. *玉米科学*, 2011, 19(5): 1-5
Shi L. Germplasm base of contemporary U. S. dent maize in commercial breeding. *Journal of Maize Sciences*, 2011, 19(5): 1-5
- [15] 何丹, 王秀全, 刘昌明, 余先驹, 陈光明, 张超英, 何勇. 玉米苞叶几个农艺性状的相关关系及其遗传研究. *玉米科学*, 2001, 9(1): 43-45
He D, Wang X Q, Liu C M, Yu X J, Chen G M, Zhang C Y, He Y. Studies on relationships among husk agronomical traits and their inheritances in maize. *Journal of Maize Sciences*, 2001, 9(1): 43-45
- [16] 胡晋, 李永平, 颜启传. 种子水分测定的原理和方法. 北京: 中国农业出版社, 2008: 20-24
Hu J, Li Y P, Yan Q C. Principle and method of seed moisture determination. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2008: 20-24
- [17] Reid L M, Morrison M J, Zhu X Y, Wu J H, Woldemariam T, Voloaca C, Xiang K. Selecting maize for rapid kernel drydown: timing of moisture measurement. *Maydica*, 2014, 59(1): 9-15
- [18] 向葵. 玉米籽粒脱水速率测定方法优化及遗传研究. 成都: 四川农业大学, 2011
Xiang K. Genetic analysis and measuring method development of kernel fast dry down rate in maize. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2011
- [19] Crane P L, Miles S R, Newman J E. Factors associated with varietal differences in rate of field drying in corn. *Agronomy Journal*, 1959, 51(6): 318-320
- [20] 张林, 王振华, 金益, 于天江. 玉米收获期含水量的配合力分析. *西南农业学报*, 2005, 18(5): 534-537
Zhang L, Wang Z H, Jin Y, Yu T J. Combining ability analysis of water content in harvest stage in corn. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2005, 18(5): 534-537
- [21] Zhang Y, Kang M S, Magari R. A diallel analysis of ear moisture loss rate in maize. *Crop Science*, 1996, 36(36): 1140-1144
- [22] 师亚琴, 孟庆立, 杨少伟, 张宇文. 玉米籽粒脱水速率研究进展. *中国种业*, 2018(5): 23-25
Shi Y Q, Meng Q L, Yang S W, Zhang Y W. Research progress of dehydration rate in maize. *China Seed Industry*, 2018(5): 23-25
- [23] 赵伟. 我省常用玉米杂交种及其亲本灌浆期籽粒脱水速率的研究. *黑龙江农业科学*, 2003(1): 18-20
Zhao W. Studies on kernel dehydration rate in kernel growth of maize hybrids and their parents in Heilongjiang province. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2003(1): 18-20