

玉米子粒不同发育阶段脱水速率的遗传分析

张凤启¹, 张 君¹, 张莹莹², 丁 勇¹, 齐建双¹, 谷利敏¹, 穆心愿¹,
赵发欣¹, 马智艳¹, 夏来坤¹, 唐保军¹

(1. 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; 2. 安阳市农业科学院, 河南 安阳 455000)

摘 要: 选用国内外 14 份玉米自交系, 按完全双列杂交设计配制 182 个杂交组合为材料, 采用 AUDDC(Area Under the Dry Down Curve)方法, 分别对其授粉后 35~40 d、41~50 d、51 d~成熟期、40 d~成熟期及 35 d~成熟期子粒脱水速率进行统计及遗传分析。结果表明, 14 份自交系子粒各发育阶段脱水速率一般配合力方差均达极显著水平, 其中, 自交系 LH202 效应值在各发育阶段均表现最小。182 份杂交组合特殊配合力方差达极显著水平。子粒各发育阶段脱水速率遗传均主要以加性效应为主, 其中, 授粉后 40 d~成熟期子粒脱水速率的遗传力最高, 可稳定遗传。子粒脱水速率在授粉后 40~50 d、51 d~成熟期、40 d~成熟期及 35 d~成熟期之间均呈极显著正相关; 其分别与成熟期子粒含水率也均呈极显著正相关, 在这些发育阶段杂交组合脱水速率与其父母本均呈极显著正相关。

关键词: 玉米; 子粒脱水速率; 一般配合力; 特殊配合力

中图分类号: S513.035.1

文献标识码: A

Genetic Analysis of Kernel Dehydration Rate at Different Development Stages in Maize

ZHANG Feng-qi¹, ZHANG Jun¹, ZHANG Ying-ying², DING Yong¹, QI Jian-shuang¹, GU Li-min¹,
MU Xin-yuan¹, ZHAO Fa-xin¹, MA Zhi-yan¹, XIA Lai-kun¹, TANG Bao-jun¹

(1. Cereal Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences/

Henan Provincial Key Lab. of Maize Biology, Zhengzhou 450002;

2. Anyang Academy of Agricultural Sciences, Anyang 455000, China)

Abstract: The study used 14 inbred lines from home and abroad, following the complete diallel crossing, and had obtained 182 combinations as the materials. By employing AUDDC(Area Under the Dry Down Curve) method, The calculation and the genetic analysis of the kernel dehydration rate at 35-40 d, 41-50 d, 51 d-maturity, 40 d-maturity and 35 d-maturity after pollination were carried out respectively. The results indicated that variance of general combining ability of kernel dehydration rate at each development stage for the 14 inbred lines were all reached very significant level, in which the inbred lines LH202 had the smallest effect value at all development stages. Special combining ability variance of 182 combinations at all development stages were also reached very significant level. At each individual development stage, the heredity of kernel dehydration rate was mainly additive effect, and the heritability of kernel dehydration rate at 40 d-maturity after pollination was the highest, and could be stable heredity. There were significantly positive correlation among 40-50 d, 51 d-maturity, 40 d-maturity and 35 d-maturity after pollination of kernel rehydration rate, and they were also respective significantly positive correlation with kernel moisture content at maturity, and the combinations for the kernel dehydration rate at these stages showed significant positive relation with their parents.

Key words: Maize; Kernel dehydration rate; General combining ability; Specific combining ability

录用日期: 2019-10-31

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0100103)、公益性行业(农业)科研专项(201503130)、河南省农业科学院自主创新专项基金项目(2020ZC11)、河南省玉米产业技术体系建设项目(S2015-02-G04)

作者简介: 张凤启, 女, 河南周口人, 助理研究员, 主要从事玉米遗传育种工作。Tel: 0371-65739114 E-mail: fqzhang023@163.com

唐保军和夏来坤为本文通讯作者。E-mail: henan.maize@163.com E-mail: xialaikun@126.com

玉米子粒脱水速率是影响玉米收获时子粒含水率的主要因素之一。玉米子粒脱水速率快、收获时含水率低是我国目前适宜机械粒收品种的基本要求。我国目前推广的绝大多数玉米品种收获时子粒含水率较高(30%~35%),距离适宜机收子粒玉米品种标准(含水率20%左右)有很大差距^[1,2]。因此加强对玉米子粒脱水速率遗传研究对玉米品种遗传改良具有重要实践意义。

玉米子粒发育过程中,干物质运输、分配和积累是子粒脱水的主要驱动力^[3]。子粒脱水速率主要由本身遗传特性决定,与植株生长发育状况密切相关,也受环境、气候等因素的影响。近年来,有关子粒脱水速率研究已有部分研究报道,但大部分围绕玉米品种^[4~6]或自交系脱水速率差异比较研究上^[7,8],针对子粒脱水速率遗传分析较少^[9,10]。在玉米子粒发育过程中,子粒脱水速率是一个复杂的动态发展过程,AUDDC(Area Under the Dry Down Curve)方法可以最大化体现出子粒脱水的动态过程^[11]。本研究以美国自交系和我国常用自交系按照完全双列杂交设计配制的182个组合为材料,采用AUDDC方法分别对授粉后35~40、41~50 d、51 d~成熟期、40 d~成熟期及35 d~成熟期子粒脱水速率进行遗传分析,明确不同发育阶段子粒脱水速率遗传特性,为玉米种子粒脱水速率鉴定评价及尽早选育出子粒脱水速率快、收获时子粒含水率低的新品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究选用材料由国家玉米产业技术体系公开发放的美国自交系 PHR55、LH202、PHJ65,编号为

1~3;国内常用自交系 Chang7-2、La619158,编号为4~5;本单位自育自交系 Zheng58、ZhengT22、ZhengA88、ZhengH71、Zheng645、Zheng12、Zheng6、Zheng1798、Zheng11 编号为6~14,其来源详见张凤启等^[12]。将其按完全双列杂交设计,组配杂交组合182个。

1.2 试验设计

2017年6月,将182个杂交组合及其亲本分别播种于河南省农业科学院原阳试验基地(6月17日)和安阳市农业科学院试验基地(6月16日)。田间均采用随机区组设计,每个小区2行区,重复2次。杂交组合和亲本自交系分开种植,杂交组合设置行长6 m,行距60 cm,株距25 cm;亲本自交系行长、株距与杂交组合相同,行距为30 cm。田间灌水、施肥等其他管理措施与当地玉米生产一致。生长期中,调查两个环境下各材料出苗期、吐丝期及成熟期(以小区90%以上果穗的子粒出现黑层的日期)。同时,在材料散粉吐丝前,每个小区选取小区内长势一致单株,雌穗套袋隔离,待雄穗散粉后,统一进行人工辅助授粉,记录授粉日期。

1.3 性状测定方法及数据统计分析

利用针式电子水分测量仪(日本HB-300玉米子粒水分测定仪)分别对每个材料授粉后35、40、50 d和成熟期果穗中部的子粒含水率进行测定。每次测定时选取果穗中部两侧的子粒各测量1次,每个小区每次连续测量3株。基于各阶段子粒含水率,子粒各发育阶段(授粉后35~40、41~50 d、51 d~成熟期、40 d~成熟期和35 d~成熟期)脱水速率参照AUDDC方法^[11](图1),其值越大说明材料脱水速率越慢,反之越小,则说明材料脱水速率越快。

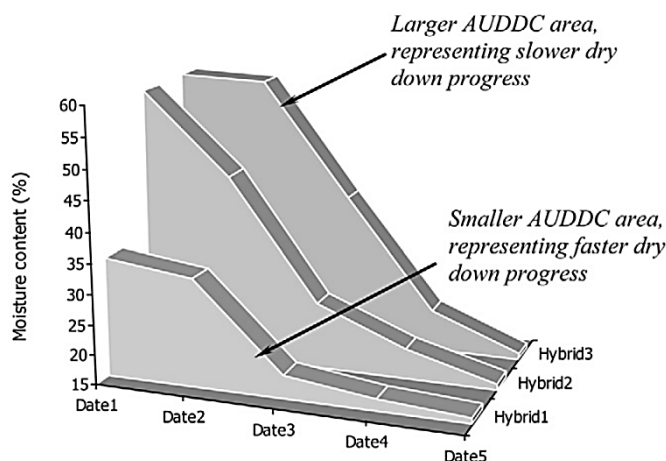


图1 脱水曲线下面积代表玉米杂交种脱水快慢发展过程

Fig.1 Area under the dry down curve(AUDDC) representing faster and slower dry down progress in maize hybrids

具体公式如下:

$$AUDDC=\sum_{i=1}^{n-1}[(X_i+X_{i+1})/2](t_{i+1}-t_i)$$

式中, n 代表田间调查次数; X_i 代表第*i*次调查的子粒含水率; X_{i+1} 代表第*i*+1次调查的子粒含水率; $t_{i+1}-t_i$ 代表第*i*次与第*i*+1次调查间隔天数。

使用Microsoft Excel 2007分别对子粒各发育阶段脱水速率进行统计分析;利用DPS 7.05软件对其进行方差和相关性分析;并按完全双列杂交设计估算出各阶段每个亲本一般配合力(GCA)及组合特殊配合力值(SCA)。

2 结果与分析

2.1 玉米子粒各发育阶段脱水速率表型值及配合力方差分析

对植株授粉后35~40 d、41~50 d、51 d~成熟期、40 d~成熟期、35 d~成熟期子粒脱水速率方差分析表明(表1),环境间、组合间及组合与环境互作之间在5个发育阶段子粒脱水速率均达到极显著水平。由此说明,各发育阶段子粒脱水速率均易受环境影响,组合间存在明显的遗传差异。

表1 玉米子粒各发育阶段脱水速率表型值及配合力的方差分析
Table 1 Variance analysis of the phenotypic values and combining ability of kernel dehydration rate at each development stage of maize kernel

变异来源 Variation source	35 ~ 40 d	41 ~ 50 d	51 d ~ 成熟期 51 d-Maturity	40 d ~ 成熟期 40 d-Maturity	35 d ~ 成熟期 35 d-Maturity
环 境	347.69**	2 509.17**	5 189.55**	1 065.04**	1 729.49**
组 合	1.54**	36.14**	26.10**	7.71**	5.67**
环境×组合	1.72**	6.03**	3.67**	4.21**	1.69**
一般配合力	5.84**	159.45**	160.47**	185.49**	62.23**
特殊配合力	1.42**	3.89**	5.25**	4.85**	2.04**
反交效应	0.89	1.27	1.76**	1.47**	1.21
一般配合力/特殊配合力	4.11	40.98	30.57	38.25	30.50

注:**表示在0.01水平差异显著。下表同。
Note: ** means significantly different at 0.01 levels. The same as below.

表2配合力方差分析表明,14份亲本自交系在各发育阶段子粒脱水速率GCA方差均达极显著水平,杂交组合SCA方差也均达极显著水平;反交效应,除授粉后40 d~成熟期和50 d~成熟期,其他发育阶段均未达显著水平。对各发育阶段GCA和SCA方差比较,发现GCA方差均远远大于SCA,说明子粒脱水速率主要受加性基因控制,但也存在非加性基因作用。

2.2 玉米子粒各发育阶段亲本自交系脱水速率配合力效应分析

14份亲本自交系在子粒各发育阶段的GCA效应分析表明(表2),授粉后35~40 d,自交系GCA效应值,除LH202、PHJ65、Zheng11、La619158、Zheng6以外,其他均为正效应,GCA效应最小自交系为LH202,最大为ZhengT22。授粉后41~50 d,各自交系之间GCA效应差异明显,其中,LH202、PHR55、Zheng645、Zheng12、La619158和Zheng1798均表现为负效应,其他均为正效应。授粉后51 d~成熟期,亲本GCA效应为负值的自交系,依据其GCA效应从小到大依次为LH202、Zheng12、PHR55、Zheng645、

Zheng1798和La619158,而其他均为正值。与授粉后51 d~成熟期相比较,授粉后40 d~成熟期各亲本GCA效应值均高于授粉后51 d~成熟期的,而且亲本之间差异显著性与其相同。授粉后35 d~成熟期,亲本GCA效应表现最小为LH202,其次为Zheng12,而ZhengH71表现最大。由此说明,不同亲本脱水速率GCA效应大小不同,其中,自交系LH202在5个阶段均表现最小;同一亲本各发育阶段GCA效应也不相同,如PHR55、Zheng1798、Zheng645等;各亲本之间的差异在授粉后40 d~成熟期和50 d~成熟期GCA效应值比较稳定一致。

182个杂交组合子粒各发育阶段脱水速率SCA效应分析表明(表3),在授粉后35~40 d,SCA效应值组合ZhengT22×ZhengH71最小,而效应值最大的组合为ZhengT22×Zheng645。授粉后41~50 d,SCA效应值最小组合为ZhengA88×ZhengH71,其次为Zheng58×ZhengH71,而组合ZhengT22×Zheng645效应值最大。授粉后51 d~成熟期,SCA效应组合ZhengA88×ZhengH71表现最小,而组合ZhengT22×ZhengH71表现最大。授粉后40 d~成熟期,SCA效

应值最小组合为 ZhengA88×ZhengH71,其次为 Zheng58×PHJ65,而最大为 ZhengT22×Zheng645。授粉后 35 d~成熟期,SCA 效应值组合 Zheng58×PHJ65、Zheng6×Zheng1798 较小,而组合 ZhengT22×Zheng645 效应值最大。综合各发育阶段结果发现,ZhengA88×ZhengH71 组合在授粉后 41~50 d、40 d~成熟期及 51 d~成熟期的 SCA 效应值均表现最小,而 ZhengT22×Zheng645,除授粉后 51 d~成熟期以外在

其他阶段 SCA 效应值均表现最大。同时,对各自交系不同发育阶段子粒脱水速率的 GCA 效应与其组合的 SCA 效应值比较发现,两者之间并没有很强的相关性。以授粉后 40 d~成熟期为例,SCA 效应值最小组合 ZhengA88×ZhengH71,其亲本自交系 GCA 效应表现为大×大组合,而 SCA 表现最大组合 ZhengT22×Zheng645,其亲本 GCA 表现大×小组合。

表2 玉米子粒各发育阶段 14 份亲本脱水速率一般配合力效应

Table 2 Effect of general combining ability for kernel dehydration rate of 14 parents at each development stage of maize kernel

自交系	35 ~ 40 d		41 ~ 50 d		51 d ~ 成熟期	40 d ~ 成熟期	35 d ~ 成熟期
Inbred line					51 d-Maturity	40 d-Maturity	35 d-Maturity
PHR55	18.26 A	ab	-29.23 G	g	-37.42 E e	-66.65 E e	-48.39 F g
LH202	-31.52 D	e	-55.33 H	h	-65.63 F f	-120.95 F f	-152.47 G h
Zheng1798	11.43 AB	ab	-12.14 F	f	-19.07 D d	-31.21 D d	-19.78 DEF ef
ZhengA88	1.52 ABC	bc	20.23 C	c	30.35 B b	50.59 B b	52.11 B c
Zheng58	0.01 ABC	bc	2.36 E	e	10.16 C c	12.52 C c	12.53 C d
ZhengT22	22.04 A	a	25.80 BC	c	31.03 B b	56.83 B b	78.87 AB ab
La619158	-12.55 BCD	cde	-13.14 F	f	-11.50 D d	-24.64 D d	-37.19 EF fg
Chang7-2	11.72 AB	ab	20.46 C	c	27.67 B b	48.13 B b	59.84 B bc
ZhengH71	12.62 AB	ab	32.20 AB	b	46.64 A a	78.84 A a	91.46 A a
Zheng645	13.62 AB	ab	-25.45 G	g	-34.87 E e	-60.32 E e	-46.70 F g
Zheng12	11.63 AB	ab	-23.58 G	g	-37.76 E e	-61.34 E e	-49.71 F g
Zheng6	-10.71 BCD	cd	10.62 D	d	5.24 C c	15.86 C c	5.15 CD d
PHJ65	-27.38 D	de	39.30 A	a	49.70 A a	89.00 A a	61.63 AB bc
Zheng11	-20.70 CD	de	7.91 DE	de	5.46 C c	13.37 C c	-7.33 CDE de

注:各列数据后不同大、小写字母表示在 0.01、0.05 水平差异显著。
Note: Different capital and small letters followed by data within a column mean significantly different at 0.01, 0.05 levels.

表3 182 份杂交组合子粒授粉后 40 d~成熟期脱水速率特殊配合力效应

Table 3 Effect of specific combining ability for kernel dehydration rate of 182 combinations at 40 d-maturity after pollination of maize kernel

组 合 Combination	40 d ~ 成熟期 40 d-Maturity	组 合 Combination	40 d ~ 成熟期 40 d-Maturity	组 合 Combination	40 d ~ 成熟期 40 d-Maturity	组 合 Combination	40 d ~ 成熟期 40 d-Maturity
1×2	11.48	4×9	33.29	8×2	26.51	11×9	-17.65
1×3	51.05	4×10	-5.44	8×3	2.55	11×10	24.45
1×4	-13.78	4×11	12.32	8×4	-14.65	11×12	-5.04
1×5	3.89	4×12	-5.36	8×5	24.62	11×13	10.58
1×6	7.18	4×13	3.80	8×6	64.75	11×14	2.78
1×7	3.85	4×14	44.27	8×7	-52.16	12×1	26.86
1×8	-3.18	5×1	4.19	8×9	-93.11	12×2	16.73
1×9	-6.85	5×2	18.63	8×10	-8.19	12×3	-28.28
1×10	-18.19	5×3	-52.58	8×11	0.26	12×4	-10.44
1×11	-2.72	5×4	-33.56	8×12	13.40	12×5	6.01
1×12	-21.84	5×6	14.24	8×13	-11.60	12×6	15.48
1×13	7.12	5×7	39.95	8×14	-25.75	12×7	35.22
1×14	-30.50	5×8	-3.13	9×1	16.60	12×8	-15.40
2×1	36.01	5×9	1.32	9×2	13.08	12×9	-10.88

续表3 Continued 3

组 合	40 d ~ 成熟期	组 合	40 d ~ 成熟期	组 合	40 d ~ 成熟期	组 合	40 d ~ 成熟期
Combination	40 d-Maturity	Combination	40 d-Maturity	Combination	40 d-Maturity	Combination	40 d-Maturity
2×3	-27.08	5×10	-31.04	9×3	-37.75	12×10	-17.65
2×4	-21.37	5×11	21.00	9×4	-27.54	12×11	-21.36
2×5	30.96	5×12	23.22	9×5	-13.55	12×13	-13.69
2×6	-2.68	5×13	17.65	9×6	-5.75	12×14	-26.05
2×7	-21.17	5×14	-21.96	9×7	44.90	13×1	24.62
2×8	-21.14	6×1	-5.50	9×8	16.77	13×2	-4.96
2×9	-40.59	6×2	-9.51	9×10	60.08	13×3	-33.41
2×10	-0.82	6×3	-74.74	9×11	-14.18	13×4	28.10
2×11	-3.56	6×4	-19.64	9×12	7.78	13×5	-7.15
2×12	-15.55	6×5	-26.04	9×13	17.52	13×6	-2.59
2×13	34.43	6×7	-28.02	9×14	63.61	13×7	-18.95
2×14	7.62	6×8	-15.17	10×1	-6.28	13×8	6.80
3×1	-50.87	6×9	-63.94	10×2	19.26	13×9	-25.14
3×2	-4.41	6×10	-28.12	10×3	57.90	13×10	5.15
3×4	12.24	6×11	-7.70	10×4	-18.88	13×11	-0.55
3×5	4.18	6×12	20.21	10×5	-2.64	13×12	8.42
3×6	-14.52	6×13	4.10	10×6	0.53	13×14	-25.39
3×7	-23.03	6×14	-12.39	10×7	-9.23	14×1	9.86
3×8	-0.08	7×1	-26.17	10×8	1.08	14×2	10.63
3×9	-32.54	7×2	5.19	10×9	0.08	14×3	-54.97
3×10	6.51	7×3	17.10	10×11	-9.08	14×4	-26.91
3×11	21.25	7×4	45.25	10×12	-27.43	14×5	-11.10
3×12	-25.77	7×5	-39.67	10×13	-27.68	14×6	25.78
3×13	-9.61	7×6	-11.78	10×14	-0.21	14×7	-35.69
3×14	54.43	7×8	10.30	11×1	-17.28	14×8	-23.92
4×1	2.69	7×9	58.04	11×2	13.79	14×9	-53.79
4×2	-0.07	7×10	72.31	11×3	-17.51	14×10	38.59
4×3	2.19	7×11	-16.68	11×4	10.60	14×11	-16.19
4×5	1.57	7×12	-28.50	11×5	6.09	14×12	-41.00
4×6	12.40	7×13	7.47	11×6	-12.56	14×13	-0.98
4×7	-37.55	7×14	-25.65	11×7	-11.45		
4×8	-1.78	8×1	32.52	11×8	5.95		

2.3 玉米子粒各发育阶段遗传参数估计

对不同发育阶段子粒脱水速率遗传参数估计显示(表4),各阶段子粒脱水速率加性方差均明显大于显性方差,说明这些阶段子粒脱水速率遗传均以加性效应为主,另外环境方差所占比例也较大,尤其在授粉后35~40 d。遗传力分析显示,授粉后35~40 d子粒脱水速率的广义遗传力(11.95%)或狭义遗传力(6.94%)均表现最低;其次为授粉后35 d~成熟期遗传力;授粉后41~50 d、51 d~成熟期及40 d~成熟期子粒脱水速率遗传力均表现较高,其中40 d~成熟期最高,为68.04%。这说明子粒脱水速率在授粉后35~40 d不能稳定遗传,授粉后40 d~成熟期可

稳定遗传。

2.4 玉米子粒各发育阶段脱水速率相关分析

子粒各发育阶段之间脱水速率相关性分析显示(表5),授粉后35~40 d子粒脱水速率分别与授粉后41~50 d、51 d~成熟期和40 d~成熟期的相关性均未达显著性水平;但与授粉后35 d~成熟期相关性呈极显著正相关($r=0.43, P<0.01$);子粒脱水速率在授粉后41~50 d、51 d~成熟期、40 d~成熟期及35 d~成熟期之间均呈极显著正相关。由此说明,授粉后35~40 d子粒脱水速率与授粉后41~50 d、51 d~成熟期和40 d~成熟期子粒脱水速率关系不密切,而后三者之间的关系密切。与成熟期子粒含

水率相关性分析表明,除授粉后 35 ~ 40 d 以外,其他子粒各发育阶段脱水速率与成熟期子粒含水率均呈极显著正相关。同时,对 182 个组合与其父母本相关分析,除 35 ~ 40 d 以外,其他各发育阶段杂交组合的脱水速率与其父母本均呈极显著正相关,而且与父本相关程度略高于与其母本相关水平。

表4 玉米子粒各发育阶段脱水速率遗传参数估计

Table 4 Estimation of genetic parameter for kernel dehydration rate at each development stage of maize kernel

方差组分 Variance component	35 ~ 40 d	41 ~ 50 d	51 d ~ 成熟期 51 d-Maturity	40 d ~ 成熟期 40 d-Maturity	35 d ~ 成熟期 35 d-Maturity
加性方差	466.96	1 455.35	2 426.14	7 624.60	8 472.98
显性方差	336.88	202.87	497.68	1 217.95	1 093.69
环境方差	5 924.42	523.87	875.16	2 363.47	7 882.24
表型方差	6 728.26	2 182.09	3 798.97	11 206.03	17 448.91
广义遗传力(%)	11.95	75.99	76.96	78.91	54.83
狭义遗传力(%)	6.94	66.70	63.86	68.04	48.56

表5 各发育阶段脱水速率与成熟期子粒含水率及杂交组合与亲本相关性

Table 5 Correlation of the kernel dehydration rate at each development stage with the kernel moisture content at maturity and the combinations with their parents

性 状 Trait		各发育阶段脱水速率 Kernel dehydration rate at each development stage				成熟期子粒 含水率	母 本 Female	父 本 Male
		41 ~ 50 d	51 d ~ 成熟期	40 d ~ 成熟期	35 d ~ 成熟期	Kernel moisture content at maturity	parent	parent
			51 d-Maturity	40 d-Maturity	35 d-Maturity			
各发育阶段	35 ~ 40 d	0.03	-0.04	-0.01	0.43**	0.02	0.13	-0.05
脱水速率	41 ~ 50 d		0.94**	0.98**	0.90**	0.85**	0.51**	0.55**
	51 d ~ 成熟期			0.99**	0.87**	0.95**	0.49**	0.55**
	40 d ~ 成熟期				0.90**	0.92**	0.51**	0.57**
	35 d ~ 成熟期					0.84**	0.46**	0.47**

3 结论与讨论

3.1 玉米子粒脱水速率鉴定时期

本研究通过对玉米授粉后 35、40、50 d 和成熟期子粒含水率测定,发现在授粉后 35 ~ 40 d 子粒脱水速率遗传力极低,而授粉后 41 ~ 50 d 和 51 d ~ 成熟期及 40 d ~ 成熟期的子粒脱水速率遗传力较高,因此认为授粉后 35 ~ 40 d 不适合鉴定玉米子粒脱水速率,而授粉后 40 d ~ 成熟为鉴定子粒脱水速率适宜阶段。与关宇等^[13]研究结果相似,与向葵^[14]、谭福忠等^[15]研究报道的授粉后 35 d 为起始点存在差异。本研究在一般配合力分析中各亲本间 GCA 效应值差异在授粉后 40 d ~ 成熟期和 51 d ~ 成熟期稳定一致也证明了这一结论。

3.2 玉米子粒脱水速率表现为动态发展过程

玉米子粒脱水过程是一个子粒含水率持续下降的动态过程,是子粒进入不同成熟时期的重要标志^[16]。有关田间玉米子粒脱水速率估算方法,大多

数研究通过日平均水分损失率来计算玉米子粒脱水速率^[17]或以热单位或日为单位对果穗水分进行线性回归^[18]。本研究利用 AUDDC 方法对玉米子粒各发育阶段脱水速率进行分析,发现授粉后 35 ~ 40 d 与其他阶段子粒脱水速率或成熟期含水率相关性均表现较低,而授粉后 41 ~ 50 d 和 51 d ~ 成熟期或 40 d ~ 成熟期脱水速率之间或其与成熟期子粒含水率之间相关性均表现较高,因此,认为在子粒发育过程中,子粒脱水速率变化是一个动态发展曲线。同时,各阶段子粒脱水速率的 GCA 或 SCA 效应值也表现为动态遗传,如同一自交系不同阶段 GCA 效应值或同一组合不同阶段 SCA 不仅存在大小差异,有些甚至表现在正负效应性质上的不同,这说明子粒脱水是一个动态的发展过程。

3.3 玉米子粒脱水速率遗传特性

前人研究认为,玉米从授粉至生理成熟(黑胚层出现)为生理脱水阶段,受植株自身生长发育控制,是由基因型决定的,可高度遗传^[19]。本研究通过对

授粉后 35~40、41~50 d、51 d~成熟期、40 d~成熟期和 35 d~成熟期子粒脱水速率遗传分析,发现在授粉后 40 d~成熟期子粒脱水速率遗传力最高,而且在各发育阶段子粒脱水速率遗传均以加性效应为主,但也存在非加性作用。本研究发现,杂交组合脱水速率与其父母本均呈极显著正相关,而且与父本相关程度略高于与其母本相关水平。

参考文献:

- [1] 阮 龙,王 俊,陈义红,等. 玉米子粒干物质积累、含水量及其对机收影响的研究[J]. 农业科学与技术, 2011, 12(12): 1857-1860.
Ruan L, Wang J, Chen Y H, et al. Dry matter accumulation, moisture content in maize kernel and their influences on mechanical harvesting[J]. Agricultural Science & Technology, 2011, 12(12): 1857-1860. (in Chinese)
- [2] 马 晶,刘海天,刘武仁. 降低玉米收获期子粒含水量关键技术研究[J]. 农业与技术, 2016, 36(11): 29-30.
Ma J, Liu H T, Liu W R. The key techniques of reducing grain moisture content in harvest[J]. Agriculture & Technology, 2016, 36(11): 29-30. (in Chinese)
- [3] Brooking I R. Maize ear moisture during grain-filling, and its relation to physiological maturity and grain-drying[J]. Field Crops Research, 1990, 23(1): 55-68.
- [4] 李淑芳,王 欢,张春宵,等. 玉米单交种子粒自然脱水速率测定方法及应用[J]. 分子植物育种, 2018, 16(15): 5040-5045.
Li S F, Wang H, Zhang C X, et al. Measurement of kernel natural dehydration rate after physiological maturity in maize single-cross hybrids and its application[J]. Molecular Plant Breeding, 2018, 16(15): 5040-5045. (in Chinese)
- [5] 李凤海,郭佳丽,于 涛,等. 不同熟期玉米杂交种及其亲本子粒脱水速率的比较研究[J]. 玉米科学, 2012, 20(6): 17-20, 24.
Li F H, Guo J L, Yu T, et al. Comparative study on dehydration rate of kernel among maize hybrids and parents with different maturity periods[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(6): 17-20, 24. (in Chinese)
- [6] 赵 伟. 我省常用玉米杂交种及其亲本灌浆期子粒脱水速率的研究[J]. 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[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2003(1): 18-20. (in Chinese)
- [7] 郭晋杰,赵永锋,张冬梅,等. 不同杂种优势群玉米子粒脱水速率分析[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(1): 39-48.
Guo J J, Zhao Y F, Zhang D M, et al. Analysis of grain dehydration rate in different maize heterotic groups[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(1): 39-48. (in Chinese)
- [8] 贾腾蛟,李平芳,王利锋,等. 428 份玉米自交系子粒脱水速率的比较分析[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(2): 406-411.
Jia T J, Li P F, Wang L F, et al. Investigation of grain dehydration rate in 428 inbred maize lines[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(2): 406-411. (in Chinese)
- [9] 张立国,王振华,张 林,等. 玉米生理成熟后子粒脱水速率的配合力分析[J]. 作物杂志, 2007(3): 52-55.
Zhang L G, Wang Z H, Zhang L, et al. Analysis of combining ability of dewatering rate of corn after physiological maturation[J]. Crops, 2007(3): 52-55. (in Chinese)
- [10] 刘显君,王振华,王 霞,等. 玉米子粒生理成熟后自然脱水速率 QTL 的初步定位[J]. 作物学报, 2010, 36(1): 47-52.
Liu X J, Wang Z H, Wang X, et al. Primary mapping of QTL for dehydration rate of maize kernel after physiological maturing[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(1): 47-52. (in Chinese)
- [11] Yang J, Carena M J, Uphaus J. Area under the dry down curve (AUDDC): a method to evaluate rate of dry down in maize[J]. Crop Science, 2010, 50(6): 2347-2354.
- [12] 张凤启,张 君,丁 勇,等. 玉米自交系子粒脱水相关性状配合力分析[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(4): 871-879.
Zhang F Q, Zhang J, Ding Y, et al. Combining ability analysis of kernel dehydration related traits in maize inbred lines[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(4): 871-879. (in Chinese)
- [13] 关 宇. 玉米子粒自然脱水速率测评体系构建与种质筛选[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- [14] 向 葵. 玉米子粒脱水速率测定方法优化及遗传研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2011.
- [15] 谭福忠,韩翠波,邹双利,等. 极早熟玉米品种子粒脱水特性的初步研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(7): 161-168.
Tan F Z, Han C B, Zou S L, et al. Elementary study on kernel dry-down traits in earliest-maturity maize hybrid[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(7): 161-168. (in Chinese)
- [16] 王志红,周福民,郭 华,等. 玉米子粒脱水速率研究分析及种质改良策略[J]. 农学学报, 2015, 5(7): 15-18.
Wang Z H, Zhou F M, Guo H, et al. Research and analysis on dehydration rate of maize grain and germplasm improvement tactics[J]. Journal of Agriculture, 2015, 5(7): 15-18. (in Chinese)
- [17] Kang M S, Board J E, Aminha N, et al. Diallel analysis of ear moisture loss rate, SPAD chlorophyll, and harvest index in maize with the leafy (*lfy*) gene[J]. Journal of New Seeds, 2005, 7(2): 1-16.
- [18] Cavalieri A J, Smith O S. Grain filling and field drying of a set of maize hybrids released from 1930 to 1982[J]. Crop Science, 1985, 25: 856-860.
- [19] 李淑芳,张春宵,路 明,等. 玉米子粒自然脱水速率研究进展[J]. 分子植物育种, 2014, 12(4): 825-829.
Li S F, Zhang C X, Lu M, et al. Research development of kernel dehydration rate in maize[J]. Molecular Plant Breeding, 2014, 12(4): 825-829. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)