

不同杂种优势群玉米子粒脱水速率分析

郭晋杰, 赵永锋, 张冬梅, 祝丽英, 黄亚群, 陈景堂

(河北农业大学农学院/国家玉米改良中心河北分中心/河北省作物种质资源实验室, 保定 071000)

摘要: 采用烘干法测定 170 份玉米自交系的子粒的脱水速率及其相关性状, 利用覆盖玉米全基因组的 210 对 SSR 标记对试验材料进行全基因组扫描, 通过 Structure V2.3.4 软件揭示其群体结构。对不同杂种优势群平均子粒脱水速率进行方差分析, 并筛选出各个类群中子粒脱水速率快的自交系。结果表明: 子粒脱水速率在不同自交系间存在显著差异, 与穗轴和子粒的含水率等性状间存在显著相关性。试验共筛选到子粒脱水速率大于 1% 的自交系 20 个; 授粉后 40 d 子粒含水率低于 21% 的自交系 10 个。参试自交系分成 P、旅大红骨、瑞德、兰卡斯特和唐四平头 5 个杂种优势群; 授粉后 40 d 子粒脱水速率依次是瑞德群 0.92%、兰卡斯特群 0.85%、旅大红骨群 0.82%、混合群 0.80%、P 群 0.76%、唐四平头群 0.56%。本文旨在通过研究不同杂种优势群玉米自交系子粒脱水速率的特性, 筛选子粒脱水速率快的自交系, 为选育适应机械化作业的玉米杂交种提供借鉴。

关键词: 玉米; 自交系; 杂种优势群; 脱水速率

Analysis of Grain Dehydration Rate in Different Maize Heterotic Groups

GUO Jin-jie, ZHAO Yong-feng, ZHANG Dong-mei, ZHU Li-ying, HUANG Ya-qun, CHEN Jing-tang

(College of Agronomy, Hebei Agricultural University/Hebei Sub-center of National Maize Improvement Center/Key Laboratory for Crop Germplasm Resources of Hebei, Baoding 071000)

Abstract: In this study, we used drying method to research the grain dehydrating rate of 170 maize inbred lines, a genome-wide scan was performed on the material by using 210 pairs of SSR markers covering maize genome, and the population structure of these materials was revealed by Structure V2.3.4. The main results were as follows: The clustering analysis showed that these maize inbred lines could be divided into 5 heterotic groups which were PB, Lvdahonggu (LRC), Reid, Lancaster and Tangsipingtou (TangSPT) group, the grain dehydration rate was striking difference in different inbred lines, and it also had significant correlation among cob and grain moisture content. Grain dehydration rate of 20 inbred lines were screened out with more than 1%, and grain moisture content of 10 inbred lines were obtained after pollination 40 d with below 21%. 170 maize inbred lines could be clustered into 5 sub-groups. On the basis of known pedigree information and breeding history of these lines, the five sub-groups were denoted as Lancaster, Reid, TangSPT, P group and LRC. Reid had the fastest average dehydration rate (0.92%) 40 days after pollination among them, the others in order were Lancaster 0.85%, LRC 0.82%, MIX 0.80%, PB 0.76%, TangSPT 0.56%. The objective of this experiment was to study the characteristics of grain dehydrating rate of different maize heterotic groups and to select the excellent inbred lines with fast grain dehydrating rate, and to providing the suitable maize hybrids for mechanization.

Key words: maize; inbred lines; heterotic group; dehydration rate

收稿日期: 2017-07-04 修回日期: 2017-07-25 网络出版日期: 2017-10-11

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20171011.1425.002.html>

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD01101202); 河北省高等学校科学技术研究重点项目(ZD2017037); 河北省现代农业技术体系玉米创新团队项目(HBCT2013020204)

第一作者研究方向为玉米分子生物学。E-mail: guojinjie512@163.com

通信作者: 陈景堂, 研究方向为玉米遗传育种。E-mail: chenjingtang@126.com

在黄淮海地区,受农时的影响,成熟期子粒脱水速率快的玉米,不仅满足了农民提前播种冬小麦的种植习惯,而且这样的玉米品种更适合大面积的机械化收获,提高工作效率,符合国家提倡的玉米走规模化和机械化发展之路,所以选育适宜机械化收获的子粒脱水速率快的玉米新品种势在必行。优良种质资源的发掘则是玉米育种的基础。对玉米子粒脱水速率这一性状,国外学者进行过相当的研究。J. L. Purdy 等^[1]认为亲本的一般配合力较组合的特殊配合力重要。霍仕平等^[2]指出,生理成熟后子粒脱水速率品种间存在很大差异,遗传上受加性效应基因支配。蔡润深^[3]研究指出,作物成熟时子粒快速脱水是由遗传决定的,且主要是由基因加性效应控制,但是基因非加性效应也起一定的作用,遗传率高达 95%,并且性状表现稳定,选择有效。张立国等^[4]认为生理成熟后子粒脱水速率广义遗传力和狭义遗传力均较高,其受遗传尤其受基因加性效应影响较大,受非加性效应影响较小。刘显君等^[5]和丁佳琦^[6]研究认为,生理成熟后玉米子粒脱水速率是由多基因控制的数量性状,受加-显性基因控制,其广义、狭义遗传力均较高,但以基因加性效应为主,因此早代选择有效。杨村等^[7]研究指出玉米子粒含水量主要受加性基因控制。Z. Wang 等^[8]使用

280 份 RIL 群体,对生理成熟后田间子粒干燥速率进行了 QTL 定位研究。尽管国内外关于玉米子粒脱水速率的研究很多,但多集中在生产上应用的杂交种,而关于玉米自交系及不同杂种优势群子粒脱水速率的研究鲜见报道。本研究对来源广泛、基因型丰富的 170 份玉米自交系不同授粉时期子粒的脱水速率及其相关性状的测定,并结合杂种优势群的划分进行研究,旨在分析不同杂种优势群玉米自交系子粒脱水速率的变化趋势,筛选脱水速率快的育种资源,为进一步选育脱水速率快适合机械化作业优良杂交种提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

研究材料由 170 份玉米自交系(表 1)构成,这些自交系大部分为温带种质,较为广泛地代表了中国玉米主产区在生产上应用的种质基础。

1.2 试验设计

所有自交系分别于 2012 年、2013 年 5 月上旬种植于河北农业大学国家玉米改良中心河北分中心实验基地;采用完全随机试验设计,单行种植,行长 4 m,株距 25 cm,行距 60 cm,种植区域周边种植保护行。田间水、肥管理等同于大田生产。

表 1 170 份玉米自交系名称和来源

Table 1 The name and pedigree or origin of 170 maize inbred lines

序号 ID	自交系名称 Germplasm identity	系谱来源 Pedigree/Origin	序号 ID	自交系名称 Germplasm identity	系谱来源 Pedigree/Origin
1	P25	美国衍生系	17	SS99	美国衍生系
2	R25	美国衍生系	18	XF117	美国衍生系
3	沈 977	美国衍生系	19	XF134	美国衍生系
4	619	美国衍生系	20	La2-4	美国衍生系
5	R98	美国衍生系	21	e 群 3	美国衍生系
6	DM07	美国衍生系	22	DH864	美国衍生系
7	D33A	美国衍生系	23	DH854	美国衍生系
8	953	美国衍生系	24	DH1049	美国衍生系
9	Lo415	美国衍生系	25	DH869	美国衍生系
10	Beck	美国衍生系	26	W668	美国衍生系
11	Z31B	美国衍生系	27	P138	美国衍生系
12	BM	美国衍生系	28	697	美国衍生系
13	DH138	美国衍生系	29	Maxa	美国衍生系
14	D1139	美国衍生系	30	5032	美国衍生系
15	D20	美国衍生系	31	CN104	美国衍生系
16	3335	美国衍生系	32	SC11-1	美国衍生系

表 1(续)

序号	自交系名称	系谱来源	序号	自交系名称	系谱来源
ID	Germplasm identity	Pedigree/Origin	ID	Germplasm identity	Pedigree/Origin
33	17564	美国衍生系	73	B76	美国公开种质
34	R31	美国衍生系	74	Sg1533	美国公开种质
35	2FACC	美国过品种保护系	75	W2H03	美国公开种质
36	LH127	美国过品种保护系	76	802	国内系
37	LH162	美国过品种保护系	77	C521	国内系
38	RS710	美国过品种保护系	78	SC-9	国内系
39	SG17	美国过品种保护系	79	R150	国内系
40	207	美国过品种保护系	80	y9961	国内系
41	6103	美国过品种保护系	81	68122	国内系
42	IB014	美国过品种保护系	82	陈 322	国内系
43	WIL900	美国过品种保护系	83	196	国内系
44	L127	美国过品种保护系	84	琼 51	国内系
45	L135	美国过品种保护系	86	武 109	国内系
46	PHJ33	美国过品种保护系	87	GY3	国内系
47	PHM10	美国过品种保护系	88	DF32	国内系
48	PHN82	美国过品种保护系	89	DF27	国内系
49	PHP55	美国过品种保护系	90	ys06	国内系
50	PHR62	美国过品种保护系	91	468-3	国内系
51	LH194	美国过品种保护系	92	757	国内系
52	PHG86	美国过品种保护系	93	98F1	国内系
53	PHW20	美国过品种保护系	94	Los-6	国内系
54	6M502	美国过品种保护系	95	昌 K	国内系
55	PHT22	美国过品种保护系	96	SC30-1	国内系
56	W64a	美国公开种质	97	1610	国内系
57	Ms71	美国公开种质	98	L473	国内系
58	W182bn	美国公开种质	99	鉴 1495b	国内系
59	A619	美国公开种质	100	S311	国内系
60	Va26	美国公开种质	101	E588	国内系
61	Mo17	美国公开种质	102	E601	国内系
62	B95	美国公开种质	103	海 014	国内系
63	W9706	美国公开种质	104	方引	国内系
64	B100	美国公开种质	105	d140	国内系
65	M101	美国公开种质	106	7236	国内系
66	N68a	美国公开种质	107	433-7	国内系
67	B37	美国公开种质	108	浚 971	国内系
68	A679	美国公开种质	109	SC24-1	国内系
69	B394	美国公开种质	110	W238	国内系
70	M22	美国公开种质	111	R1656	国内系
71	XOP2	美国公开种质	112	698-3	美国杂交种选系
72	A554	美国公开种质	113	海 9-21	美国杂交种选系

表 1(续)

序号 ID	自交系名称 Germplasm identity	系谱来源 Pedigree/Origin	序号 ID	自交系名称 Germplasm identity	系谱来源 Pedigree/Origin
114	P007	美国杂交种选系	142	南 21-3	南斯拉夫种质
115	Y223	美国杂交种选系	143	黄野四 3	国内系
116	M101 ⁶	美国杂交种选系	144	806A	1688 × 黄早四
117	P167	美国杂交种选系	145	丹 598	OH43H3 改良系
118	G966	美国杂交种选系	146	沿 812	U8112 改良系
119	G967	美国杂交种选系	147	昌 72	唐四平头
120	w499	美国杂交种选系	148	Q1261	K12 改良系
121	7922	美国杂交种选系	149	旅 28	旅大红骨
122	9058	美国杂交种选系	150	掖 52106	掖 1075 × 掖 106 × 矮金
123	18-599	美国杂交种选系	151	200B	自 330 × 187-2
124	丹 599	美国杂交种选系	152	丹 9046	沈 5003 × 铁 7922
125	沈 137	美国杂交种选系	153	B97	BSCB1(R)C9
126	7884	美国杂交种选系	154	吉 63	(127-32 × 铁 84) × (潍 24 × 潍 20)
127	宋 1145	美国杂交种选系	155	郑 58	掖 478
128	掖 8112	美国杂交种选系	156	C8605-2	铁 7922 × 沈 5003
129	郑 32	美国杂交种选系	157	掖 478	U8112 × 沈 5003
130	R08	美国杂交种选系	158	自 330	OH43 × KeLi67
131	掖 832	美国杂交种选系	159	K10	昌 3 × 沈 5003
132	PH6WC	先锋种质	160	齐 205	(潍矮 141 × 中系 017) × 群体 70
133	PH4CV	先锋种质	161	3H2	潍单 202 × 自 330 × H84
134	E600	综合种	162	苏湾 1611	苏湾 2
135	D88	综合种	163	郑 22	丹 340 × E28
136	E200	综合种	164	浚 928	唐四平头
137	928	唐四平头	165	H21	黄早四 × H84
138	926	唐四平头	166	AHU1	秀清 73-1
139	W172	法国种质	167	AHU4	2105(大 38)
140	L-1	法国种质	168	AHU11	(P53 × ETO) × P53
141	KP3130	韩国种质	169	AHU16	邢 K36 × 郑

1.3 试验方法

1.3.1 田间试验方法 播种后开始记录每天的最高、最低气温,并记录吐丝期等不同的物候期。选取行内长势整齐一致的单株,吐丝前统一套硫酸纸袋隔离;全部采用人工自交授粉;每个自交系在同一天进行授粉;对不同自交系授粉日期进行记录,以便记录取样时间。对行首和行尾的植株不作取样处理。

1.3.2 实验室测定方法 授粉后 10、20、30、40、50 d(取样时间)分别取样,每次选取 2 个长势一致的果穗(2 次重复)。每天 7:00-8:00 取样,迅速脱粒。采用烘干法测定各试验指标。取果穗中部 100 颗子粒称鲜重,然后迅速转入 106 °C 烘箱,到子粒干重不

再变化时称干重。参考石云素^[9]的方法测定苞叶数,50 d 的穗轴长、穗轴粗,40 d、50 d 子粒含水率、脱水速率,穗轴含水率、脱水速率,计算 40~50 d 子粒脱水速率和穗轴脱水速率。

1.3.3 DNA 提取与基因型鉴定 2012 年,每个自交系选取 5 株 3 展叶取同一叶位等量的叶片混合,采用 CTAB 法^[10]提取玉米基因组 DNA,经纯化与浓度检测后,保存于 4 °C 条件下备用。在 MaizeGDB 网站(<http://www.maizegdb.org/ssr.php>)上选取均匀分布在玉米 10 条染色体上的 210 对 SSR 标记进行基因型分析。

1.3.4 数据分析方法 应用 Microsoft Excel 2007

对子粒脱水速率、子粒含水率进行整理计算及作图。计算公式如下:

$$\text{子粒脱水速率} = (V_1 - V_2) / t$$

$$\text{子粒含水率} = (G_1 - G_2) / G_1 \times 100\%$$

其中, V_1 : 前一次取样子粒含水率, V_2 : 后一次取样子粒含水率, t : 取样时间间隔, G_1 : 鲜重, G_2 : 烘干重。

使用 SAS^[11] 对子粒脱水速率、子粒含水率进行年份、自交系、取样时间、重复、年份与自交系间、自交系与取样时间、年份与自交系和取样时间的互作联合方差分析。

应用基于数学模型的 Structure V2.3.4 软件对 170 份自交系进行聚类分析。

使用 SPSS. 17.0^[12] 对不同杂种优势群间子粒脱水速率、子粒含水率进行整体的方差分析。

2 结果与分析

2.1 子粒含水率和脱水速率的联合方差和相关分析

不同自交系不同取样时间的子粒含水率和子粒脱水速率在重复间差异不显著。对于子粒脱水速率而言: 不同自交系在年份、重复、年份 × 自交系间的差异不显著; 在不同自交系间、取样时间、自交系 × 取样时间、年份 × 自交系 × 取样时间在 $P = 0.01$ 水平上差异极显著(表 2)。子粒的含水率除重复外 ($P = 0.8567$), 其余均达到了极显著水平(表 3)。

表 2 170 份玉米自交系子粒脱水速率的联合方差分析

Table 2 Combined variance analysis of the grain dehydration rate about 170 maize inbred lines

来源 Source	自由度 <i>df</i>	离均差平方和 SS	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
年份 Year	1	0.1058935	0.1058935	0.91	0.3400
自交系 Lines	169	54.3500270	0.3197060	2.75	<0.0001
取样时间 Time	3	764.5456911	254.8485637	2192.52	<0.0001
重复 Repeat	1	0.0630744	0.0630744	0.54	0.4615
年份 × 自交系 Year × lines	169	16.4231691	0.0966069	0.83	0.9382
自交系 × 取样时间 Lines × time	507	242.5933724	0.4756733	4.09	<0.0001
年份 × 自交系 × 取样时间 Year × lines × time	507	194.8032040	0.3797333	3.27	<0.0001

表 3 170 份玉米自交系子粒含水率的联合方差分析

Table 3 Combined variance analysis of the average grain moisture content about 170 maize inbred lines

来源 Source	自由度 <i>df</i>	离均差平方和 SS	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
年份 Year	1	2392.996	2392.996	394.39	<0.0001
自交系 Lines	169	40297.821	237.046	39.07	<0.0001
取样时间 Time	4	1438160.406	359540.101	59256.00	<0.0001
重复 Repeat	1	0.198	0.198	0.03	0.8567
年份 × 自交系 Year × lines	169	4865.936	28.623	4.72	<0.0001
自交系 × 取样时间 Lines × time	676	24533.902	36.079	5.95	<0.0001
年份 × 自交系 × 取样时间 Year × lines × time	676	12789.965	18.699	3.08	<0.0001

相关分析表明:授粉后 40 d 时子粒的含水率与苞叶数、授粉后 40 d 及收获时轴含水率、轴长、轴粗均达到了显著或极显著正相关,与授粉后 40 ~ 50 d 轴脱水速率达到了极显著负相关(-0.330);50 d 子粒的含水率与授粉后 40 d 及收获时 50 d 轴含水率、轴长、轴粗、授粉后 40 d 时子粒含水率均达到了极显

著正相关,与授粉后 40 ~ 50 d 轴脱水速率达到了极显著负相关(-0.667);授粉后 40 ~ 50 d 子粒的脱水速率与授粉后 40 ~ 50 d 轴的脱水速率、授粉后 40 d 时子粒的含水率分别达到了极显著和显著正相关,与收获时轴的含水率、收获时子粒的含水率达到了极显著的负相关(-0.401 和 -0.506)(表 4)。

表 4 子粒含水率、脱水速率及其相关性状间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis for grain moisture content,dehydration rate and their correlated traits

性状 Trait	苞叶数 NH	40 d 轴 含水率 40 d CMC	50 d 轴 含水率 50 d CMC	轴长 CL	轴粗 CD	40 ~ 50 d 轴 脱水速率 40-50 d CDR	40 d 子粒 含水率 40 d GMC	50 d 子粒 含水率 50 d GMC	40 ~ 50 d 子粒脱水速率 40-50 d GDR
苞叶数 NH	1								
40 d 轴含水率 40 d CMC	0.262 **	1							
50 d 轴含水率 50 d CMC	0.14	0.601 **	1						
轴长 CL	-0.024	0.001	0.158 *	1					
轴粗 CD	0.223 **	0.222 **	0.299 **	0.155 *	1				
40 ~ 50 d 轴脱水速率 40-50 d CDR	-0.017	-0.034	-0.798 **	-0.193 *	-0.240 **	1			
40 d 子粒含水率 40 d GMC	0.193 *	0.597 **	0.630 **	0.172 *	0.308 **	-0.330 **	1		
50 d 子粒含水率 50 d GMC	0.115	0.462 **	0.820 **	0.253 **	0.305 **	-0.667 **	0.756 **	1	
40 ~ 50 d 子粒脱水速率 40-50 d GDR	0.082	0.091	-0.401 **	-0.154	-0.052	0.568 **	0.181 *	-0.506 **	1

* 表示在 0.05 水平上显著相关; ** 表示在 0.01 水平上显著相关

* indicated significant at 0.05 levels, ** indicated significant at 0.01 levels, NH: Number of husk, CMC: Cob moisture content, CL: Cob length, CD: Cob diameter, CDR: Cob dehydration rate, GMC: Grain moisture content, GDR: Grain dehydration rate

2.2 群体结构分析

选取 210 对 SSR 标记、应用基于数学模型的 STRUCTURE V2.3.4 软件对 170 份玉米自交系进行群体结构分析。设定 $K = 2 \sim 15$, 参数 iterations 和 burn-inperiod 分别设为 300000、500000, 每个设定的 K 值均独立运行 3 次^[13]。

根据 STRUCTURE 的输出结果 LnP(D) 计算真正的群体数目, 当 $K = 5$ 时, 其峰值最大, 即 170 份自交系可被分为 5 个类群。根据每个自交系在各个

群间的遗传组成, 将 50% 作为划分群体的遗传相似比例^[14]; 同时根据这些自交系的系谱信息, 这 5 个类群分别是 P 群、唐四平头群、旅大红骨群、兰卡斯特群和瑞德群(图 1)。将遗传相似比在各个群间均小于 50% 的自交系划分到中间类群中^[15-16]。

2.3 温度对子粒含水率的影响

不同年份间各杂种优势群的子粒含水率有着较为一致的变化趋势, 整体观察发现 2013 年的稍低于 2012 年的(图 2)。

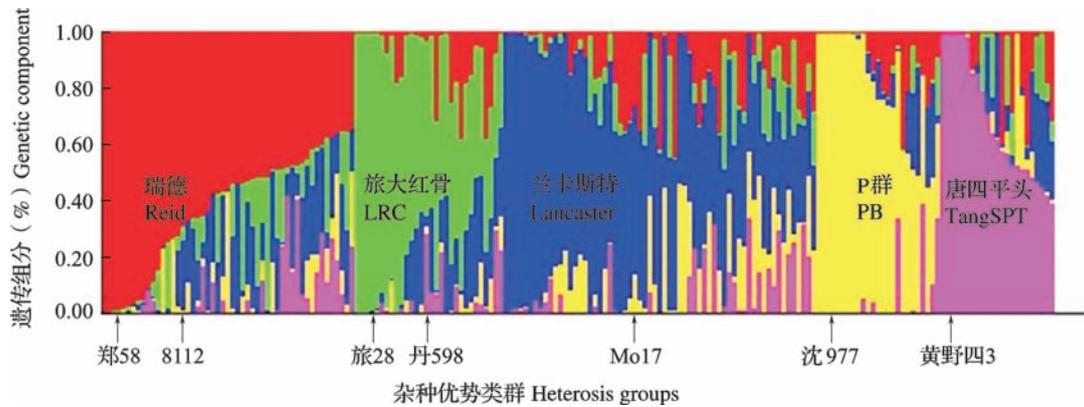


图1 170份玉米自交系材料的群体结构

Fig.1 Population structure of 170 maize inbred lines

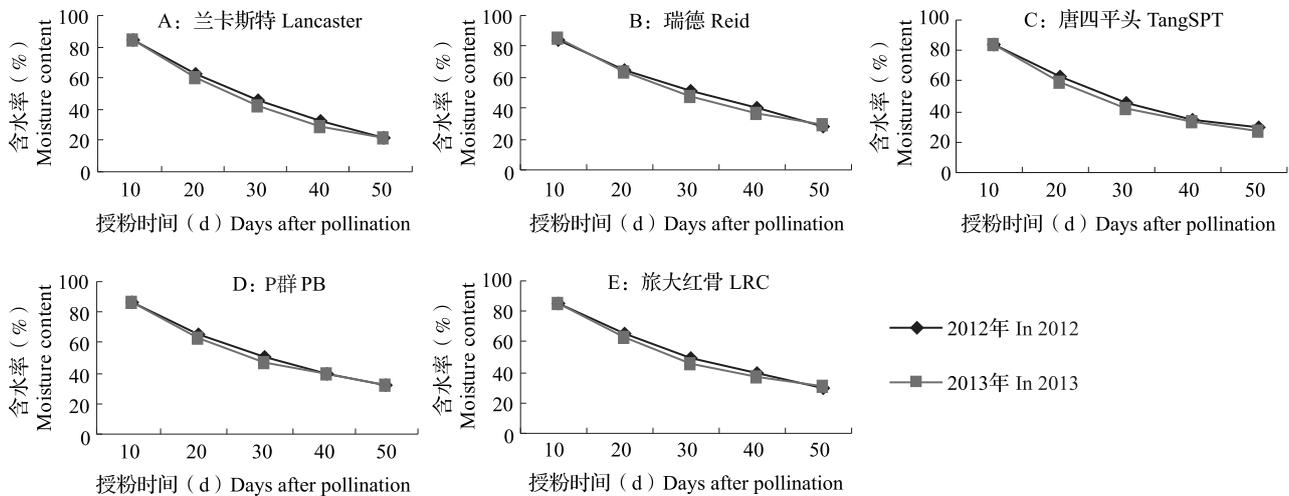


图2 2012年、2013年各杂种优势群不同授粉时间平均子粒含水率

Fig.2 The average grain moisture content at different pollination time of five heterotic groups in 2012 and 2013

2.4 不同杂种优势群子粒平均含水率、平均子粒脱水速率分析

2.4.1 兰卡斯特群 从图2可知,兰卡斯特群中授粉后40 d的平均子粒含水率较低,2012年、2013年分别是32.29%、28.77%;收获时平均子粒含水率分别是21.90%、22.16%,十分相近。收获时子粒含水率低于21%的自交系有11份,分别是DF27、W64a、Ms71、W182bn、LH127、LH162、RS710、IB014、L127、L135、PHP55。两年中授粉后40 d子粒脱水速率均高于1%的自交系差异很大。

2.4.2 瑞德群 从图2可知,瑞德群中,授粉后40 d子粒的平均含水率较高,2012年为40.15%、2013年为35.98%,二者差异较大;收获时子粒的含水率也很高,平均值分别为28.38%、29.27%。子粒收获时含水率低的自交系在两年中均有极端表型的个体,但变动很大。子粒的脱水速率均高于1%

的自交系有1610、W499、468-3、郑32、3335。

2.4.3 唐四平头群 从图2可知,唐四平头群授粉后40 d子粒含水率两年的平均值分别为35.04%、33.15%。两年中黄野四3在授粉后40 d子粒含水率之前均低于其他自交系,但其收获时子粒含水率不是最低的。AHU25在两年中收获时的子粒含水率是最低的,其他取样时间该自交系也相对优于其他自交系。子粒脱水速率方面该群表现为中等。

2.4.4 P群 从图2可知,P群授粉后40 d时子粒含水率较高,两年的平均值分别是40.09%、38.99%。两年中沈977授粉后40 d的子粒含水率相近且较低,但收获时的子粒含水率、授粉后40 d子粒脱水速率相差很大。两年中子粒脱水速率高于1%的分别有DH138、802、619、P138、P25、E600。

2.4.5 旅大红骨群 从图2可知,旅大红骨群授粉后40 d时子粒平均含水率在两年中分别为39.66%、

36.65%,子粒含水率较高。该群中2012年、2013年收获时子粒平均含水率分别是29.37%、30.62%,变幅分别为17.75%~38.86%、14.50%~42.32%。该组中授粉后40 d子粒脱水速率大于1%的有E601、953、200B、丹9046、海9-21、A619。

2.5 各杂种优势群间子粒脱水速率描述性分析

在取样的各个时间段平均子粒脱水速率均表现出差异。兰卡斯特群的几乎是直线下下降的,斜率很大,子粒脱水速率很快,授粉后40 d子粒平均每天的脱水速率是0.85%。唐四平头群虽然子粒脱水速率趋势也接近直线,但斜率很小,该群整体上的子粒脱水都很慢。P群在授粉后40 d之前子粒脱水速率几乎与唐四平头群平行,但授粉40 d后其子粒脱水表现出明显加快的优势。瑞德群在授粉后10~20 d时的子粒脱水虽是最慢的,但每次取样间隔其斜率都在增大,使得该群授粉后40 d子粒脱水速率最快为0.92%。旅大红骨群子粒脱水表现出快-慢-快的模式(图3)。

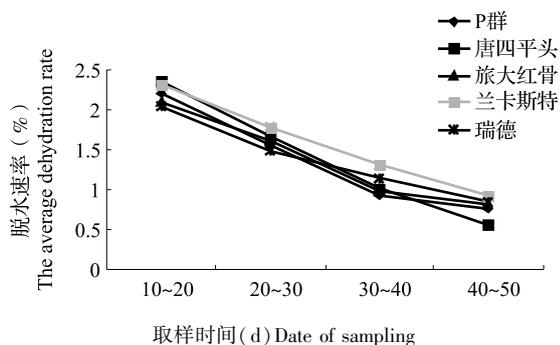


图3 各杂种优势群2年平均子粒脱水速率

Fig.3 The average grain dehydration rate of two years among the five heterotic groups

2.6 各杂种优势群间的平均子粒含水率和子粒脱水速率整体方差分析

对不同杂种优势群进行整体方差分析表明,瑞德

群、旅大红骨群间的子粒平均含水率差异不显著,但分别与其他3个群及3个群间差异显著,兰卡斯特群的平均子粒含水率最低,P群的最高;P群、旅大红骨群、瑞德群、唐四平头群间平均子粒脱水速率差异不显著,它们与兰卡斯特之间差异均显著(表5)。

表5 各杂种优势群间的平均子粒含水率和子粒脱水速率整体方差分析

Table 5 Variance analysis about the kernels average grain moisture content and grain dehydration rate among five heterotic groups

杂种优势群 Heterotic groups	平均含水率(%) The average moisture content	平均脱水速率(%) The average dehydration rate
P群 P group	54.2204 d	1.3636 a
瑞德 Reid	53.0722 c	1.3970 a
旅大红骨 LRC	53.1579 c	1.3829 a
唐四平头 TangSPT	50.3679 b	1.3974 a
兰卡斯特 Lancaster	48.4513 a	1.5637 b

数据后不同字母表示在0.05水平下差异显著

Means followed by different letters within a column are significantly different at 0.05 levels

2.7 筛选子粒含水率低及子粒脱水速率快的玉米种质资源

本试验选取的170份自交系,两年均有10份自交系W182bn、RS710、W64a、L127、L135、PHP55、LH162、98F1、B37、697在收获时子粒的含水率低于21%(表6)。两年子粒脱水速率均大于1%的自交系20份,它们是953、W499、1610、郑22、3335、A619、La2-4、Z31B、468-3、丹9046、E601、698-3、郑32、9058、海9-21、L135、200B、海014、802、苏湾1611(表7)。

表6 2012年、2013年收获时子粒含水率均低于21%的自交系

Table 6 Lines with grain moisture content at harvest lower than 21% in 2012 and 2013

自交系名称 Lines name	2012年子粒含水率(%) GMC in 2012	2013年子粒含水率(%) GMC in 2013	自交系名称 Lines name	2012年子粒含水率(%) GMC in 2012	2013年子粒含水率(%) GMC in 2013
W182bn	14.01	11.66	PHP55	17.82	18.99
RS710	15.03	14.18	LH162	16.31	19.14
W64a	15.92	15.79	98F1	15.44	20.66
L127	13.80	17.46	B37	18.47	17.10
L135	17.30	17.61	697	19.63	20.88

表7 2012年、2013年授粉后40 d子粒脱水速率均高于1%的自交系

Table 7 Lines with grain dehydration rate after physiological maturity higher than 1% in 2012 and 2013

自交系名称 Lines name	2012年子粒脱水速率(%) GDR in 2012	2013年子粒脱水速率(%) GDR in 2013	自交系名称 Lines name	2012年子粒脱水速率(%) GDR in 2012	2013年子粒脱水速率(%) GDR in 2013
W499	1.13	1.91	953	1.26	2.37
郑32	3.33	1.15	E601	1.20	1.19
1610	1.01	1.69	698-3	1.24	1.15
468-3	1.29	1.22	A619	1.21	1.29
3335	1.13	1.37	丹9046	1.36	1.20
郑22	1.28	1.67	海9-21	1.13	1.11
La2-4	1.30	1.24	200B	1.95	1.07
9058	1.37	1.11	Z31B	1.36	1.23
海014	1.88	1.06	L135	1.36	1.10
苏湾1611	1.61	1.01	802	1.04	1.04

3 讨论

本研究中的试验田水肥条件良好,种植密度适宜。试验采用两年一点种植,根据授粉日期严格控制取样时间,虽然这两年平均气温有差异,但其他环境相对来讲还是比较稳定的。为了更好地说明处在同一时期的子粒含水率和脱水速率,将授粉后40 d(子粒含水率2012年、2013年变幅分别为22.47%~49.87%、16.53%~51.59%)作为授粉后40 d期;将授粉后50 d作为收获期。根据丁佳琦^[6]玉米子粒完全成熟收获时的最适含水率为23%~24%,将自交系低含水率标准上限定为21%。参考王振华等^[17]对黑龙江省38个玉米自交系自然脱水速率的研究,将脱水速率快的下限定为1%。对于子粒的含水率和脱水速率来讲,二者在重复间差异不显著,说明取样材料基本一致及方法的可靠性。

本研究着重从子粒含水率及脱水速率两个方面进行低水分玉米自交系的筛选,同时分析不同年份温度对其影响。在两年的7月底到取样结束,2013年的平均气温明显高于2012年,使得授粉后20~40 d之间2013年子粒的平均含水率显著低于2012年,而收获时子粒的含水率并没有差异,说明高温使灌浆期子粒含水率降低,对收获时子粒的含水率没有影响^[18-19]。这可能的解释是子粒的灌浆过程伴随着子粒的脱水过程,高温使脱水速率加快^[20]。

在授粉后的前20 d,子粒的平均含水率在杂种优势群间几乎没有差异,授粉后30 d开始出现差异,40 d时差异显著,说明授粉后40 d是临界的子

粒含水率点。授粉后40 d时不同群间、不同基因型间子粒含水率显著不同。对于平均子粒脱水速率而言,各杂种优势群各具特色。兰卡斯特群自始至终子粒脱水都很快。瑞德群子粒脱水则随着子粒灌浆过程呈加快趋势。同样混合群子粒脱水表现出一直加快的趋势,但加快的幅度很小。唐四平头群子粒脱水速率从开始到结束都较慢。旅大红骨群则呈现出快-慢-快的子粒脱水模式。各杂种优势群授粉后40 d、收获时子粒含水率、授粉后40 d子粒的脱水速率进行分析比较得出:授粉后40 d时子粒含水率低的自交系,其收获时含水率并不一定低,授粉后40 d子粒的脱水速率也不一定快,这与前人的研究不尽相同。

自交系、取样时间、自交系×取样时间、年份×自交系×取样时间的差异均达到了极显著的水平,说明不同自交系、不同的取样时间、不同年际间的子粒脱水速率存在真实差异。子粒的含水率除重复外,其余均达到了极显著的水平,说明自交系间子粒含水率受环境条件的影响较大^[21]。因此对子粒脱水速率而言早代选择有效,对子粒含水率的筛选要综合考虑环境条件因素的影响^[22-23]。本试验选取的170份自交系,两年均有的10份自交系在收获时子粒的含水率低于21%。两年均有的子粒脱水速率大于1%的自交系20份。例如:L135既有低的子粒含水率又有快的子粒脱水速率,两年的表型分别是17.30%、1.36%和17.61%、1.10%,是改良玉米子粒含水率和脱水速率优良等位基因的供体亲本。

4 结论

对于平均子粒脱水速率而言,各杂种优势群各具特色。兰卡斯特群自始至终子粒脱水都很快。瑞德群则随着灌浆过程而呈加快趋势。唐四平头群脱水速率从开始到结束都较慢。旅大红骨群则呈现出快-慢-快的脱水模式。兰卡斯特群中收获时子粒含水率低于21%的自交系有11份,分别是DF27、W64a、Ms71、W182bn、LH127、LH162、RS710、IB014、L127、L135、PHP55,两年中授粉后40 d子粒脱水速率均高于1%的自交系差异很大。瑞德群中子粒的脱水速率均高于1%的有1610、W499、468-3、郑32、3335。唐四平头群中子粒脱水速率方面该群表现平平。P群中两年中子粒脱水速率高于1%的分别有DH138、802、619、P138、P25、E600。旅大红骨群中授粉40 d后子粒脱水速率大于1%的有E601、953、200B、丹9046、海9-21、A619。

参考文献

- [1] Purdy J L, Crane P L. Inheritance of drying rate in mature corn (*Zea mays* L.) [J]. *Crop Sci*, 1967, 7(4): 294-297
- [2] 霍仕平,晏庆九. 玉米生理成熟后籽粒快速脱水的意义及其研究进展综述[J]. *四川农业大学学报*, 1993, 4(4): 626-629
- [3] 蔡润深. 玉米子粒水分动态[J]. *国外农学-杂粮作物*, 1995, 3(3): 53-54
- [4] 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(3): 52-55
- [5] 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
- [6] 丁佳琦. 我国不同年代玉米单交种及其亲本灌浆和脱水速率的研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2012: 17-23
- [7] 杨村,徐志达. 玉米子粒水分含量的遗传研究[J]. *国外农学-杂粮作物*, 1998, 2(2): 12-15
- [8] Wang Z, Wang X, Zhang L, et al. QTL underlying field grain drying rate after physiological maturity in maize (*Zea mays* L.) [J]. *Euphytica*, 2012, 185(3): 521-528
- [9] 石云素. 玉米种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社, 2006
- [10] Doyle J. DNA protocols for plants-CTAB total DNA isolation [J]. *Mol Tech Tax*, 1991, 57: 283-293
- [11] SAS Institute Inc. *Applied Clinical Trials*, 2010, 19(12): 131
- [12] George D. *SPSS for Windows Step by Step: A Simple Study Guide and Reference*, 17.0 Update [J]. *Comp Soft*, 2010, 100: 357
- [13] Liu K, Goodman M, Muse S, et al. Genetic structure and diversity among maize inbred lines as inferred from DNA microsatellites [J]. *Genetics*, 2003, 165(4): 2117-2128
- [14] 刘志斋,吴迅,刘海利,等. 基40个核心SSR标记揭示的820份中国玉米重要自交系的遗传多样性与群体结构[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(11): 2107-2138
- [15] 任安然,武丽芬,关红辉,等. 不同种植密度下玉米茎秆纤维性状和抗倒性相关分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(4): 653-664
- [16] 张静,王彩虹,赵永锋,等. 玉米种质资源子粒容重和品质性状差异分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2016, 17(5): 832-839
- [17] 王振华,张忠臣,常华章,等. 黑龙江省38份玉米自交系授粉后40 d期及子粒自然脱水速率的分析[J]. *玉米科学*, 2001, 9(2): 53-55
- [18] Kang M S, Zuber M S, Colbert T R, et al. Effects of certain agronomic traits on and relationship between rates of grain-moisture reduction and grain fill during the filling period in maize [J]. *Field Crop Res*, 1986, 14: 339-347
- [19] 孙月轩,姜先梅,张作木,等. 夏玉米灌浆与温度、子粒含水率关系的初步探讨[J]. *玉米科学*, 1994, 2(1): 54-58
- [20] 王丰,程方民,刘奕,等. 不同温度下灌浆期水稻子粒内源激素含量的动态变化[J]. *作物学报*, 2006, 32(1): 25-29
- [21] 袁刘正,柳家友,付家峰,等. 玉米倒伏后子粒灌浆特性的比较分析[J]. *作物杂志*, 2010, 2(2): 38-40
- [22] 张战辉. 玉米子粒灌浆速率及其相关性状的QTL分析[D]. 郑州:河南农业大学, 2011: 24-30
- [23] 张冬梅,刘洋,赵永锋,等. 不同杂种优势群玉米子粒灌浆速率分析[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(17): 3323-3335