

428 份玉米自交系籽粒脱水速率的比较分析

贾腾蛟¹, 李平芳², 王利锋¹, 张艳丽², 李晶晶¹, 曹言勇¹, 马娟¹, 李会勇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 河南省郸城农业科学研究所, 周口 477150)

摘要: 玉米籽粒的脱水速率是决定收获期籽粒含水量的关键因素。本研究同时在新乡原阳、商丘虞城和周口郸城调查 428 份玉米自交系在授粉后 35~55 d 不同时期的籽粒脱水速率及相关农艺性状。结果表明: 428 份自交系的籽粒脱水速率在三地均表现出丰富的遗传多样性, 与穗轴含水量、苞叶含水量呈显著相关, 与籽粒含水量呈极显著相关, 与穗位高、株高、雄穗分枝数、抽雄期、吐丝期无显著相关, 但与苞叶数及生理成熟期的相关性并不明确; 在 428 份玉米自交系中, 授粉后 35~55 d 籽粒脱水速率仅与授粉后 35~40 d 籽粒脱水速率(生理成熟期前)存在极显著相关, 与 50~55 d 的籽粒脱水速率(生理成熟期后)无显著相关。这表明生理成熟期前的籽粒脱水速率对授粉后 35~55 d 籽粒脱水速率的影响更为显著。依据生育期、授粉后 35~55 d 籽粒脱水速率及授粉后 55 d 的籽粒含水量, 共筛选出生育期不同、籽粒含水量低(低于 25%)、籽粒脱水速率快(大于 1%)的玉米自交系共计 42 份。

关键词: 玉米; 自交系; 籽粒含水量; 籽粒脱水速率; 相关性

Investigation of Grain Dehydration Rate in 428 Inbred Maize Lines

JIA Teng-jiao¹, LI Ping-fang², WANG Li-feng¹, ZHANG Yan-li², LI Jing-jing¹,
CAO Yan-yong¹, MA Juan¹, LI Hui-yong¹

(¹ Cereal Crop Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences/Henan Provincial Key Laboratory of Maize Biology, Zhengzhou 450002; ² Dancheng Institute of Agriculture Science, Zhoukou 477150)

Abstract: The dehydration rate plays a central role in determining moisture content of grain at harvest. In this study, we investigated the grain dehydrate rate (GDR) from 35-55 d after pollination and other correlative traits in 428 maize inbred lines at three locations (Yuanyang, Yucheng, Dancheng) of Henan province. The results presents GDR shows abundant genetic diversity in three locations, which correlates with the moisture content of cob, bract and significantly relates with grain at 35-55 d after pollination, un-relates with plant height, ear height, tasseling branch, tasseling stage, silking stage. However, the correlation between GDR and physiological mature period and bract number is not clear. In 428 maize inbred lines, GDR at 35-55 d after pollination only significantly correlates with that at 35-40 d after pollination (before physiological maturing period), but, no correlates to GDR at 50-55 d after pollination. This indicates that GDR before physiology maturing period influenced remarkably GDR 35-55 d after pollination as comparison with in other stage. By growth period, grain dehydration rate (>1%) and grain moisture content (<25%) at 55 d after pollination, 42 elite inbred lines with different growth period, low grain moisture content and high grain dehydration rate were identified.

Key words: maize; inbred lines; grain moisture content; grain dehydration rate; correlation

收稿日期: 2018-07-20 修回日期: 2018-08-17 网络出版日期: 2018-10-18

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.s.20181017.1429.006.html>

第一作者研究方向为植物生理, E-mail: jiatengjiao1983@126.com

通信作者: 李会勇, 研究方向为玉米种质资源, E-mail: lihuiyong1977@126.com

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD100103-10-2); 河南省重大科技专项(161100110500)

Foundation project: National Key Research and Development Program of China(2016YFD100103-10-2), Major Scientific and Technological Projects in Henan Province(161100110500)

随着我国城镇化发展及农村劳动力转移,玉米的生产方式逐步向机械化迈进。在不断提高产量的同时,“籽粒机收”已然提到日程^[1]。然而,玉米籽粒在收获期的含水量偏高成为限制“籽粒机收”的重要因素之一,这在黄淮海玉米主产区显得尤为突出^[2]。当地普遍采用“一年两熟”的农业生产方式,使当下应用较为广泛的玉米品种在生理成熟后得不到充分脱水,导致收获时籽粒含水量偏高,不仅无法满足“籽粒机收”的要求,对后期的储运、加工和品质也会产生很大影响^[3-5]。研究表明,玉米籽粒在生理成熟期前后的脱水速率对收获时籽粒含水量起决定作用,与生育期、苞叶含水量、穗轴含水量、灌浆期、穗位高、籽粒果皮透性等农艺性状存在显著相关性^[6-7]。不同玉米自交系间的籽粒脱水速率存在显著差异,并表现出较高的遗传力^[8-9],目前,已通过 QTL 技术初步定位了多个对籽粒脱水速率贡献率较高的遗传位点^[10]。另有研究认为玉米籽粒脱水速率具有较强的遗传与环境互作效应,环境条件对籽粒到达生理成熟的时间和含水量有极显著的影响^[11-12]。Brooking^[13]认为,生理成熟期前的籽粒脱水速率主要由生长发育控制,环境因素对该时期的脱水速率的影响并不显著,但在生理成熟期后,籽粒脱水速率与空气湿度、温度、日辐射、风速及降雨有关,即气候干燥、温度高时籽粒脱水速率升高,而在低温条件下则会减慢^[13-14]。通过比较不同时期的籽粒脱水速率可知,在生理成熟期前后,不同玉米品种的籽粒脱水速率均存在不同程度的差异,但在生理成熟期后,籽粒脱水速率差异较小,且容易受环境的影响^[15-18]。显然,籽粒脱水速率在生理成熟期前后对收获时籽粒含水量的贡献率存在差异,可能遵循着不同的遗传机制,这使得有关玉米籽粒脱水速率的研究变得更加复杂。因而,研究玉米籽粒不同时期的籽粒脱水速率显得尤为必要。

与欧美发达国家相比,我国推广玉米“籽粒机收”技术起步较晚。目前,在黄淮海地区推广的玉米品种还不能完全满足机械化粒收技术的要求。本研究所选用的玉米自交系生育期跨度较大、籽粒脱水速率变异丰富。通过对授粉后 35~55 d 期间的籽粒脱水速率及授粉后 55 d 的籽粒含水量进行分析,筛选出一批适宜玉米籽粒机收的玉米自交系,为后期玉米品种的遗传改良及 GWAS 关联群体的分析、优异等位基因发掘提供良好的材料基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用中国玉米自交系材料 189 份,主要包括中国玉米核心种质(来自中国农业科学院作物科学研究所玉米种质资源课题组)、黄淮海区骨干玉米自交系(包括年种植面积在 6600 hm² 杂交种的亲本自交系及河南省农业科学院收集保存的常用玉米自交系);美国玉米自交系 239 份,主要包括 36 份美国 GEM 种质(BC1-DH 世代,由美国爱荷华州立大学农学院提供)和 203 份知识产权保护过期的玉米自交系(由国家玉米产业技术体系提供)。

1.2 试验设计

试验于 2017 年夏分别在新乡(原阳)、商丘(虞城)、周口(郸城)同时进行田间播种,大田种植采用完全随机区组设计,2 行区,双粒播,行距 60 cm,株距 25 cm,每行 15 株,共设 3 个重复。

1.3 性状调查、籽粒含水量及脱水速率的测定

在玉米生长期调查过程中,当每份玉米自交系中 50% 的植株开始抽雄、吐丝时,即定为抽雄期、吐丝期;授粉后 15 d,从第 3 株开始,连续调查 3 株,测量从地面至植株雄穗顶端的高度,求其平均值为株高;测量从地面至最上部果穗着生节位的高度,求其平均值为穗位高;调查 3 株的一级雄穗分枝数量,求其平均值为雄穗分枝数;3 株代表性果穗苞叶的片数,求其平均值为苞叶数。当同一自交系中 3 个果穗的籽粒都出现黑粉层时,即确定为进入生理成熟期。

同时,分别在授粉后 35 d、40 d、45 d、50 d、55 d 收获果穗(每份自交系选取 3 个果穗),采用烘干减重法测定籽粒含水量、穗轴含水量及苞叶含水量,并计算不同时期的籽粒脱水速率。计算公式如下:

$$\text{籽粒脱水速率} = [(\text{籽粒含水量}(m) - \text{籽粒含水量}(n)) / (n - m)] \times 100\%$$

$$\text{籽粒含水量}(\%) = (\text{鲜重} - \text{干重}) / \text{鲜重} \times 100\%$$

其中, m 及 n 分别代表果穗授粉后的天数,苞叶含水量、穗轴含水量的调查及换算同上。

1.4 数据统计分析

通过 Excel 记录及整理数据。利用 SPSS 20.0 软件进行相关分析及方差分析。

2 结果与分析

2.1 428 份玉米自交系相关农艺性状的调查

分别在原阳、郸城、虞城调查 428 份玉米自交系的穗位高、株高、雄穗分枝数、抽雄期、吐丝期、

生理成熟期、苞叶数及授粉后 55 d 的籽粒含水量、苞叶含水量、穗轴含水量, 计算授粉后 35~55 d 的籽粒脱水速率。结果表明: 上述性状在三地均表现出丰富的遗传多样性(表 1), 其中, 授粉后 35~

55 d 籽粒脱水速率在三地的平均变化范围分别为 $0.82\% \pm 0.36\%$ 、 $0.80\% \pm 0.30\%$ 、 $0.82\% \pm 0.30\%$ (表 1), 玉米自交系间表现出广泛的变异, 这为后期对该性状进行关联分析提供了良好的材料基础。

表 1 428 玉米自交系的性状调查

Table 1 Trait investigation in 428 inbred maize lines

性状 Traits	原阳 YY	郸城 DC	虞城 YC
穗位高 (cm) EH	75.00 \pm 5.80a	76.00 \pm 6.60a	81.00 \pm 8.50a
株高 (cm) PH	163.00 \pm 12.30a	169.00 \pm 9.10a	170.00 \pm 9.50a
苞叶数 BN	8.70 \pm 3.50a	7.30 \pm 3.30a	7.90 \pm 4.20a
雄穗分枝数 TB	9.30 \pm 4.50a	8.43 \pm 3.30a	8.20 \pm 4.60a
抽雄期 (d) TS	55.30 \pm 4.90a	57.40 \pm 8.20a	54.50 \pm 6.30a
吐丝期 (d) SS	62.40 \pm 5.50a	61.40 \pm 5.60a	63.70 \pm 5.60a
生理成熟期 (d) PMS	109.00 \pm 8.20a	106.00 \pm 6.30a	108.00 \pm 5.40a
穗轴含水量 (%) CMC	57.40 \pm 6.21a	54.40 \pm 8.50a	53.60 \pm 8.50a
苞叶含水量 (%) BMC	44.44 \pm 15.10a	46.40 \pm 10.20a	45.60 \pm 7.80a
籽粒含水量 (%) GMC	28.04 \pm 6.50a	25.04 \pm 5.60a	26.23 \pm 5.20a
籽粒脱水速率 (%) GDR	0.82 \pm 0.36a	0.80 \pm 0.30a	0.82 \pm 0.30a

相同字母代表在不同地点无显著差异

The same letter displays no significant difference in different sites. YY: Yuanyang, DC: Dancheng, YC: Yucheng, EH: Ear height, PH: Plant height, BN: Bract number, TB: Tassel branch, TS: Tasseling stage, SS: Silking stage, PMS: Physiological mature stage, CMC: Cob moisture content, BMC: Bract moisture content, GMC: Grain moisture content, GDR: Grain dehydration rate. The same as below

2.2 428 份玉米自交系籽粒脱水速率的相关性分析

利用 SPSS 20.0 软件, 对 428 份玉米自交系授粉后 35~55 d 籽粒脱水速率与穗位高、株高、雄穗分枝数、抽雄期、吐丝期、生理成熟期、苞叶数、穗轴含水量 (55 d)、苞叶含水量 (55 d)、籽粒含水量 (55 d) 进行相关性分析。结果表明: 在原阳、郸城、虞城三地, 玉米自交系的籽粒脱水速率 (35~55 d) 与株高、穗位高、雄穗分枝数、抽雄期、吐丝期均无显著相关,

与穗轴含水量 (55 d)、苞叶含水量 (55 d) 显著相关, 与籽粒含水量 (55 d) 呈极显著相关(表 2); 由于籽粒脱水速率与生理成熟期、苞叶数的相关性在不同地点不一致, 还需进一步调查。上述结果表明籽粒脱水速率是影响籽粒含水量的关键因素, 而穗部性状如苞叶含水量 (55 d)、穗轴含水量 (55 d) 可能对籽粒脱水速率产生影响。

表 2 428 玉米自交系籽粒脱水速率的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of grain dehydration rate in relative to other traits in 428 inbred maize lines

籽粒脱水速率 (35~55 d) GDR	穗位高 EH	株高 PH	雄穗分枝数 TB	抽雄期 TS	吐丝期 SS	生理 成熟期 PMS	苞叶数 BN	穗轴含水量 (55 d) CMC	苞叶含水量 (55 d) BMC	籽粒含水量 (55 d) GMC
原阳 YY	0.109	0.091	0.027	-0.240	-0.220	0.031	-0.213*	-0.208*	-0.246*	-0.578**
郸城 DC	0.087	0.030	0.060	0.121	-0.041	0.267*	0.362**	-0.324*	-0.246*	-0.587**
虞城 YC	0.178	0.185	0.008	0.134	-0.009	-0.136	-0.212	-0.252*	-0.288*	-0.726**

*, ** 分别代表相关性的显著性水平为 0.05 和 0.01, 下同

*, ** indicates the correlation based on significant levels of 0.05 and 0.01, the same as below

2.3 428 份玉米自交系在不同阶段籽粒脱水速率的相关性分析

利用 SPSS 20.0 软件, 对 428 份玉米自交系授

粉后 35~55 d 籽粒脱水速率与其他时期的籽粒脱水速率 (35~40 d、40~45 d、45~50 d、50~55 d) 进行相关性分析可知: 在原阳、郸城、虞城三地, 玉米自

交系在授粉后 35~55 d 的籽粒脱水速率与授粉后 35~40 d 的籽粒脱水速率存在极显著相关,但与授粉后 50~55 d 籽粒脱水速率无显著相关,而与授粉后 40~45 d、45~50 d 籽粒脱水速率的相关性在不同地点表现不同(表 3)。在授粉后 35~40 d,所有玉米自交系皆未进入生理成熟期,该阶段为淀粉累积时期,籽粒体积和鲜重快速增加,受环境因素影响较小;但授粉后 50~55 d 所有玉米进入生理成熟期,籽粒脱水速率受环境影响较大,可见,生理成熟期前的籽粒脱水速率对授粉后 35~55 d 期间籽粒脱水速率及籽粒含水量的影响较大,在未来可将该阶段作为评价玉米籽粒脱水性的关键时期。

表 3 428 份玉米自交系不同时期籽粒脱水速率的相关性分析
Table 3 Correlation analysis of grain dehydration rate at different dehydration stages in 428 inbred maize lines

籽粒脱水速率(35~55 d) GDR	籽粒脱水速率 GDR			
	35~40 d	40~45 d	45~50 d	50~55 d
原阳 YY	0.580**	0.164*	0.050	0.299
郸城 DC	0.431**	0.096	0.160*	0.101
虞城 YC	0.248**	0.035	0.147	0.152

2.4 籽粒高脱水速率、籽粒低含水量玉米自交系的筛选

以授粉后 55 d 籽粒含水量(低于 25%)为标准,同时参考生育期(100~115 d)及授粉后 35~55 d 的籽粒脱水速率(大于 1%),共筛选出籽粒含水量

低、授粉后 35~55 d 籽粒脱水速率快的玉米自交系 42 份(表 4),其中来自于中国的材料为 8 份,来自于美国的材料为 34 份;其中生育期为 100~105 d 的材料为 30 份,生育期为 106~110 d 的材料为 7 份,生育期为 111~115 d 的材料仅为 5 份。

表 4 籽粒低含水量、籽粒高脱水速率的玉米自交系
Table 4 Inbred maize lines with low grain moisture and high grain dehydration rate

系谱 Accession	生育期(d) Growth period	籽粒脱水速率 (%) GDR	籽粒含水量 (%) GMC	来源 Origin	系谱 Accession	生育期(d) Growth period	籽粒脱水速率 (%) GDR	籽粒含水量 (%) GMC	来源 Origin
G80	100	1.161	16.658	美国	PB80	103	1.659	21.016	美国
U794	101	1.014	21.254	美国	LH213	104	1.060	23.127	美国
PHR62	101	1.043	17.100	美国	LH163	104	1.153	15.686	美国
PHG71	101	1.146	19.579	美国	U7810	104	1.452	20.654	美国
B93	101	1.180	23.020	美国	PHK76	104	1.612	16.848	美国
PHT77	101	1.248	10.213	美国	NS501	105	1.328	18.000	美国
B107	101	1.637	13.666	美国	LX9801	102	1.119	17.470	中国
ML606	102	1.075	13.701	美国	A370	102	1.198	10.500	中国
PHN66	102	1.077	17.488	美国	A445	104	1.245	18.038	中国
LH74	102	1.107	19.319	美国	LH206	108	1.097	24.390	美国
L139	102	1.482	20.000	美国	LH128	108	1.156	18.838	美国
L135	103	1.002	22.318	美国	U779	108	1.282	23.865	美国
U790	103	1.010	20.800	美国	B120	109	1.371	16.484	美国
PHK35	103	1.086	20.996	美国	LH127	110	1.292	22.220	美国
LH38	103	1.203	18.161	美国	A428	108	1.132	19.225	中国
B103	103	1.211	19.970	美国	A1393	109	1.798	10.623	中国
PHM10	103	1.231	15.207	美国	LH60	112	1.076	18.337	美国
IBB14	103	1.300	19.436	美国	LH149	114	1.588	22.368	美国
LH143ma	103	1.332	22.366	美国	A301	113	1.001	24.081	中国
IRF252	103	1.358	20.789	美国	吉 880	113	1.125	20.775	中国
LH52	103	1.484	20.327	美国	A382	114	1.409	18.200	中国

3 讨论

玉米品种在收获期籽粒含水量偏高是限制籽粒机收的重要因素,研究玉米籽粒的脱水速率、筛选籽粒脱水速率快的自交系可为选育籽粒机收新品种提供理论参考及材料基础。研究表明,玉米籽粒在收获期的含水量主要由生理成熟前后籽粒脱水速率控制,在不同玉米自交系之间存在着显著差异,且遗传力较高^[18-20]。王振华等^[21]对黑龙江省 38 份玉米自交系生理成熟期籽粒含水率及自然脱水速率研究表明,供试自交系的籽粒自然脱水速率日变幅为 0.32%~1.37%,不同自交系间差异显著。在本研究中,428 份玉米自交系的籽粒脱水速率及含水量在三地并无显著差异,但自交系间的变异范围较大,具有丰富遗传多样性。这表明 428 份玉米自交系的籽粒脱水速率具有丰富的遗传多样性及较高的遗传力,为后续对 GWAS 关联群体的分析及优异等位基因的发掘提供了充分的材料基础。玉米的籽粒脱水速率与多个农艺性状存在相关性,Crane^[22]研究发现,玉米籽粒在生理成熟期后,籽粒脱水速率与果皮透性、苞叶和果柄短、籽粒形状和大小有关;Kang 等^[23]认为,苞叶含水量、灌浆期与收获时籽粒含水量呈显著正相关,而脱水速率与收获时籽粒含水量呈极显著负相关;另有研究表明生理成熟时籽粒含水量还与穗位高、出苗期、吐丝散粉时间呈显著正相关,吕香玲等^[24]研究表明果穗在田间的脱水速率与植株的株高、穗位高、开花期绿叶片数相关。然而,本研究发现,428 份玉米籽粒的脱水速率在三地均与雄穗分枝数、穗位高、株高、抽雄期、吐丝期、无显著相关性,与仅与苞叶含水量、穗轴含水量呈显著相关、与籽粒含水量存在极显著相关,但与生理成熟期及苞叶数的相关性并不明确。可见,籽粒脱水速率是决定收获时籽粒含水量的关键因素,穗部性状如苞叶含水量、穗轴含水量与籽粒脱水速率存在相关性,并在一定程度上影响着籽粒脱水速率,在未来选育籽粒脱水快的材料时,可将穗部性状作为重要的选择依据之一^[20]。

玉米籽粒在生理成熟期前后的脱水速率存在不同的遗传机制,即在生理成熟前期为生理脱水阶段,脱水速率主要受内部生长发育控制,生理成熟后则为自然脱水阶段,除受生长发育控制外,还受环境因素的影响,有较强的环境互作效应^[12,25],当玉米籽粒进入发育后期时,不同天气条件下籽粒脱水速率表现出较大的差异,即空气中相对湿度下降时,籽粒

脱水速率呈升高趋势^[12-13]。本研究发现,籽粒进入生理成熟期后,籽粒的脱水速率因受到降雨、空气湿度、温度的影响而发生变化,在三地存在差异,而生理成熟期前的籽粒脱水速率在三地则相对一致。张亚军等^[16]发现不同玉米品种在授粉后 55~60 d 的籽粒脱水速率的差异达极显著;Hallauer 等^[26]认为生理成熟后至收获期籽粒脱水速率快的玉米品种,收获时籽粒含水量低;但也有研究认为,生理成熟后玉米品种间的籽粒脱水速率的差异较小,生理成熟前籽粒脱水速率的差异显著大于生理成熟后的脱水速率^[18-19];冯健英^[27]报道先玉 335 生理成熟期前后的籽粒脱水速率均快于郑单 958,收获时籽粒含水量低。在本研究中发现授粉后 35~55 d 的籽粒脱水速率仅与授粉后 35~40 d 的籽粒脱水速率(生理成熟期前)存在极显著相关,但与授粉后 50~55 d 的籽粒脱水速率则无显著相关性,与其他时期的籽粒脱水速率的相关性并不明确。由于在授粉后 35~40 d 期间,428 份玉米自交系均未进入生理成熟期,可见生理成熟期前的籽粒脱水速率是决定玉米籽粒脱水快慢的关键时期,并最终影响着收获时的籽粒含水量。

本研究筛选出的材料包括来源于美国的材料为 34 份,中国的材料为 8 份,因而,在未来的育种实践中应进一步加大对美国材料的利用,来改良中国种质的脱水速率。

参考文献

- [1] 朱培,段雅洁,梁玉超,郭庆辰,刘洪泉,张鹏羽. 黄淮海地区玉米机收籽粒的探讨. 中国种业, 2015(5): 13-14
Zhu P, Duan Y J, Liang Y C, Guo Q C, Liu H Q, Zhang P Y. Discussion on machined grain harvesting of maize in Huang-huai-hai region. China Seed Industry, 2015(5): 13-14
- [2] 郑天存,戴景瑞,马志强,邱军,邓士政,谷登斌,王天宇. 黄淮海区域小麦、玉米双机收籽粒实施措施及建议. 农学学报, 2016, 6(8): 1-3
Zheng T C, Dai J R, Ma Z Q, Qiu J, Deng S Z, Gu D B, Wang T Y. Strategy and suggestion achieving wheat-maize both mechanically harvesting grain in Huang-Huai-Hai region. Journal of Agriculture, 2016, 6(8): 1-3
- [3] 倪长安,李心平,刘师多,师清翔. 机收玉米破损的危害及预防. 农机化研究, 2009, 31(8): 221-224
Ni C A, Li X P, Liu S D, Shi Q X. Corn machine income of harm and damage prevention. Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(8): 221-224
- [4] 李川,乔江方,谷利敏,夏来坤,朱卫红,黄璐,刘京宝. 影响玉米籽粒直接机械化收获质量的生物学性状分析. 华北农学报, 2015, 30(6): 164-169
Li C, Qiao J F, Gu L M, Xia L K, Zhu W H, Huang L, Liu J B. Analysis of maize biological traits which affected corn kernel

- mechanically harvesting qualities. *Acta Agriculture Boreali Sinica*, 2015, 30(6): 164-169
- [5] 党政平, 雷力, 李向宏, 安萌, 党立胜. 收获期玉米品种子粒含水量与破损率关系研究. *中国种业*, 2016(6): 46-49
- Dang Z P, Lei L, Li X H, An M, Dang L S. Research on relation between grain moisture content and damage rate of maize hybrids at harvest. *China Seed Industry*, 2016(6): 46-49
- [6] Purdy J D, Crane P L. Inheritance of drying rate in mature corn (*Zea mays* L.). *Crop Science*, 1967, 7(4): 294-297
- [7] 张立国, 张林, 管春云, 金益, 王振华, 任晓亮, 官纪娟. 玉米生理成熟后籽粒脱水速率与品质性状的相关分析. *东北农业大学学报*, 2007, 38(5): 582-585
- Zhang L G, Zhang L, Guan C Y, Jin Y, Wang Z H, Ren X L, Guan J J. Correlation analysis on dry down rate and quality traits in maize after physiological maturity. *Journal of Northeast University*, 2007, 38(5): 582-585
- [8] 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
- [9] 代力强, 吴律, 董青松, 吴楠, 张卓, 王丕武. 玉米生理成熟后子粒自然脱水速率的遗传变异与相关性分析. *吉林农业大学学报*, 2016, 38(3): 261-265
- Dai L Q, Wu L, Dong Q S, Wu N, Zhang Z, Wang P W. Analysis of genetic variation and correlation of dehydration rate of maize after physiological maturity. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2016, 38(3): 261-265
- [10] Sala R G, Andrade F H, Camadro E L, Ceroni J C. Quantitative trait loci for Grain moisture at harvest and field grain drying rate in maize. *Theoretical and Applied Genetics*, 2006, 112(3): 462-471
- [11] 李璐璐, 谢瑞芝, 王克如, 明博, 侯鹏, 李少昆. 黄淮海夏玉米生理成熟期子粒含水率研究. *作物杂志*, 2017(2): 88-92
- Li L L, Xie R Z, Wang K R, Ming B, Hou P, Li S K. Kernel moisture content of summer maize at physiological maturity in Huanghuaihai region. *Crops*, 2017(2): 88-92
- [12] Cross H Z. Leaf expansion rate effects on yield and yield components in early maturing maize. *Crop Science*, 1991, 31(3): 579-583
- [13] Brooking I R. Maize ear moisture during grain-filling, and its relation to physiological maturity and grain-drying. *Field Crop Research*, 1990, 23(1): 55-67
- [14] Eyherabide G H, Hallauer A R. Reciprocal full-sib recurrent selection in maize I: direct and indirect response. *Crop Science*, 1991, 31(4): 952-959
- [15] 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. 北京: 中国农业科学院, 2012
- Ding J Q. A study of grain filling and dehydration of rate for different period of maize single-cross hybrids and their parents in China. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science, 2012
- [16] 张亚军, 张林, 周艳春, 王振华. 玉米杂交种生理成熟后子粒田间自然脱水速率差异分析. *作物杂志*, 2010(2): 58-61
- Zhang Y J, Zhang L, Zhou Y C, Wang Z H. Analysis of dehydration rate after physiological maturity in maize hybrids. *Crops*, 2010(2): 58-61
- [17] 赵霞, 司雪琴, 蔺锋, 房志勇, 刘京宝, 黄璐, 夏来坤. 河南夏玉米不同品种脱水速率研究. *江西农业学报*, 2010, 22(3): 32-33
- Zhao X, Si X Q, Lin F, Fang Z Y, Liu J B, Huang L, Xia L K. Studies on kernel dehydration rate of summer maize hybrids in Henan province. *Acta Agriculture Jiangxi*, 2010, 22(3): 32-33
- [18] 卫勇强, 雷晓兵, 梁晓伟, 李林, 赵保献, 陈润玲, 赵合林. 不同夏玉米品种籽粒自然脱水速率的研究. *江苏农业科学*, 2011, 39(6): 167-168
- Wei Y Q, Lei X B, Liang X W, Li L, Zhao B X, Chen R L, Zhao H L. Study on kernel naturally dehydration rate of different summer maize hybrids varieties. *Journal of Jiangsu Agricultural Sciences*, 2011, 39(6): 167-168
- [19] 谭福忠, 韩翠波, 邹双利, 刘振江, 籍依安. 极早熟玉米品种籽粒脱水特性的初步研究. *中国农学报*, 2008, 24(7): 161-168
- Tan F Z, Han C B, Zou S L, Liu Z J, Ji Y A. Element study on kernel-down traits in earliest maturity maize hybrid. *Chinese Agricultural Bulletin*, 2008, 24(7): 161-168
- [20] 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): 2017-2035
- Wang K R, Li S K. Analysis of influencing factors on kernel dehydration rate of maize hybrids. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(11): 2017-2035
- [21] 王振华, 张忠臣, 常华章, 金益, 王立丰. 黑龙江省 38 个玉米自交系生理成熟期及子粒自然脱水速率的分析. *玉米科学*, 2001, 9(2): 53-55
- Wang Z H, Zhang Z C, Chang H Z, Jin Y, Wang L F. Analysis of physiological mature stage and kernel naturally dry down rate in 38 corn inbred in Heilongjiang. *Corn Sciences*, 2001, 9(2): 53-55
- [22] Crane P L. Factors associated with varietal differences in rate of field drying in corn. *Agronomy Journal*, 1959, 51(6): 318-320
- [23] Kang M S, Zuer M S, Horrocks R D. An electronic probe for estimating ear moisture content of maize. *Crop Science*, 1978, 18(6): 1083-1084
- [24] 吕香玲, 兰进好, 张宝石. 玉米果穗脱水速率的研究. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2006, 34(2): 48-52
- Lv X L, Lan J H, Zhang B S. Study on ear moisture loss rate in maize. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2006, 34(2): 48-52
- [25] Magari R, Kang M S, Zhang Y. Sample size for evaluating field ear moisture loss rate in maize. *Maydica*, 1996, 41(1): 19-24
- [26] Hallauer A R, Russell W A. Estimates of maturity and its inheritance in maize. *Crop Science*, 1962, 2(4): 289-294
- [27] 冯健英. 美国先锋玉米种质在黄淮海地区的利用现状和前景. *河北农业科学*, 2011, 15(9): 57-59, 68
- Feng J Y. Utilization status and prospects of US pioneer maize germplasm in Huanghuaihai region. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2011, 15(9): 57-59, 68