

利用 R 语言 GGE 双标图进行黄淮海区 玉米新组合评价分析

孙 佩 张培风 张玉红 周联东 李 栋 王 蕊 王文洁
张瑞平 李 祥 马朝阳 李合顺 王学军
(河南省新乡市农业科学院, 新乡 453002)

摘要:以 20 个玉米新组合为试验材料,利用 R 语言 GGE 双标图对不同地点的产量和籽粒含水量结合组合的杂种优势模式进行分析,结果表明,以 PB 种质组配出的杂交组合 P128×B7,在各个地点的平均产量比对照郑单 958 高 13.0%,增减点数为 7 增 1 减,为丰产性和稳产性均较好的组合。属于 Reid×塘四平头杂种优势模式的杂交组合有 9 个,其在不同地点收获期的籽粒含水量均相对较高,其中,组合 1785×F20、T1746×Y20、T1728×B5346 平均产量较高,表现出较好的丰产性,1785×F20 还表现出较好的稳产性。美系群体选系×塘四平头杂种优势模式的组合 R198×H138、R1×B072、R36×B627、R1181×B8923 和 R1929×L957,不同程度地表现出籽粒含水量相对较低。综合各试验点的鉴别力和代表性,驻马店、荥阳、周口是本试验中最好的试验点,既有很好代表性又有很强的鉴别力;鹤壁是比较理想的试验点。

关键词:玉米;杂种优势类群;R 语言;GGE 双标图

Evaluate and Analysis of Maize Combination of Different Heterosis Groups in Huang-huai-hai Area by Application of GGE Biplot Based on R Language

SUN Pei, ZHANG Pei-feng, ZHANG Yu-hong, ZHOU Lian-dong, LI Dong, WANG Rui,
WANG Wen-jie, ZHANG Rui-ping, LI Xiang, MA Chao-yang, LI He-shun, WANG Xue-jun
(Xinxiang Academy of Agricultural Sciences, Henan Xinxiang 453002)

玉米是我国重要的粮食作物,也是饲料和工业原料的重要来源,在我国粮食安全中占有重要地位^[1]。依据亲缘关系以及遗传成分将玉米自交系划分为不同的杂种优势类群是玉米育种研究的重要内容^[2-5]。根据远缘杂种优势理论,Bouchez 等^[6]划分了 Reid 群和非 Reid 群 2 个杂种优势类群。2007 年 Jones 等^[7]构建了 Lancaster×Reid 杂种优势模式,已成为美国玉米育种的主要杂种优势模式。欧洲把玉米自交系主要划分为硬粒型和马齿型 2 个杂种优势

类群,墨西哥和南美洲主要以 Tuxpeno×ETO 杂种优势模式为主^[8-9]。Fan 等^[10]将玉米自交系划分为 3 个杂种优势群,即 Suwan1 群、Reid 群和非 Reid 群,构建了三角形杂种优势模式。我国温带玉米主产区主要以 Reid、Lancaster、塘四平头、旅大红骨和 P 群 5 个杂种优势群相互杂交为主^[11]。张世煌^[12]对我国常用玉米自交系的杂种优势群进行分析,主要划分为 3 个杂种优势群(国内种质、Reid 群和非 Reid 群)或 6 个亚群(塘四平头亚群、旅大红骨亚群、Reid 亚群、PA 亚群、Lancaster 亚群和 PB 亚群),目前我国多数玉米育种家认同这种划分方法^[13-14]。

本研究采用不同杂种优势模式的玉米新组合

基金项目:河南省科技攻关项目(212102110283);河南省重大科技专项(201300111100);河南省农业良种联合攻关项目(2022010201);新乡市科技攻关计划项目(GG2020026)

通信作者:周联东

为材料,通过对一年多收获期产量和籽粒含水量分析,同时利用 R 语言 GGE 双标图对不同杂种优势类群的丰产性和稳产性,以及试验点的代表性和鉴别力进行了评价分析,以期为指导玉米育种改良和创新的方向提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料 本研究以河南省新乡市农业科学院选育的 20 个玉米新组合作为供试材料,郑单 958 作对照。组合的编号、名称及在育种中的杂种优势类群划分见表 1。

表 1 组合名称及杂种优势类群划分

编号	组合	杂种优势模式	编号	组合	杂种优势模式
CK	郑单 958	Reid × 塘四平头	11	T1747 × B032	Reid × 塘四平头
1	T1709 × H1909	Reid × 塘四平头	12	R1 × B072	美系群体选系 × 塘四平头
2	P128 × B7	PB × 塘四平头	13	R36 × B627	美系群体选系 × 塘四平头
3	T1763 × H1921	Reid × 塘四平头	14	T1728 × B5346	Reid × 塘四平头
4	1785 × F20	Reid × 塘四平头	15	T1715 × B7721	Reid × 塘四平头
5	T1746 × Y20	Reid × 塘四平头	16	R1181 × B8923	美系群体选系 × 塘四平头
6	T1755 × H1915	Reid × 塘四平头	17	T1792 × L5542	Reid × 塘四平头
7	R198 × H138	美系群体选系 × 塘四平头	18	P159 × L175	PB × 塘四平头
8	P156 × L5847	PB × 塘四平头	19	R1929 × L957	美系群体选系 × 塘四平头
9	P1305 × H1122	PB × 塘四平头	20	P99 × H1593	PB × 塘四平头
10	P366 × LH222	PB × 塘四平头			

1.2 试验设计 试验于 2022 年夏在河南省驻马店、新乡、荥阳、周口、鹤壁、商丘、开封、洛阳共 8 个地点进行,各个试验点均采用随机区组试验设计,3 次重复,共 63 个小区。每个小区种植 5 行,行长 6.7m,行距 0.6m,种植密度 75000 株 /hm²。

1.3 试验实施情况 试验均于 6 月上中旬播种,田间管理同一般大田生产。成熟期每个小区收获中间 3 行进行测产,同时采用 PM8188 谷物水分测定仪测定籽粒的含水量,计算折合 14% 水分的产量。

1.4 数据分析 采用 Microsoft Excel 2007、SPSS17.0 以及 R 语言的 GGE Biplot GUI 程序包对 20 个组合和 8 个试验点的数据进行综合分析与评价^[15]。

2 结果与分析

2.1 不同组合在各个地点间平均产量及变异系数

表 2 为不同组合在 8 个地点间平均产量及变异系数,可以看出,组合 2 (P128 × B7) 在 8 个地点的每 hm² 平均产量最高,为 9682.5kg,其次为组合 10 (P366 × LH222)、组合 12 (R1 × B072)、组合 4 (1785 × F20),平均产量分别为 9166.5kg、9094.5kg、

9087.0kg,说明这些组合的丰产性相对较好。组合 1 (T1709 × H1909)、组合 9 (P1305 × H1122)、组合 19 (R1929 × L957)、组合 10 (P366 × LH222)、组合 2 (P128 × B7) 等 10 个组合的变异系数均低于对照的变异系数,说明这些组合的稳产性相对较好。

2.2 20 个组合在不同地点产量较对照增(减)幅表现

从表 3 可以看出,11 个组合平均产量增产率为正值,9 个组合为负值,其中组合 2 (P128 × B7)、组合 10 (P366 × LH222)、组合 4 (1785 × F20) 在不同地点比对照增幅的平均值较高,分别为 13.0%、7.9%、7.9%,增减点数分别为 7 增 1 减、5 增 3 减、5 增 3 减,说明这 3 个组合的稳产性相对较好。组合 18 (P159 × L175)、组合 7 (R198 × H138) 平均增产率最低,分别为 -19.5%、-9.9%,增减点数分别为 1 增 7 减、2 增 6 减,说明这 2 个组合的稳产性相对较差。

2.3 不同新组合产量与籽粒含水量的分布

20 个玉米新组合在不同地点收获期的平均产量和平均籽粒含水量分布表现见图 1,可以看出 18 个组合的平

表2 不同组合在各个地点间平均产量及变异系数

编号	产量范围 (kg/hm ²)	平均产量 (kg/hm ²)	变异系数 (%)
18	5182.5~8529.0	6862.5	19.9
7	5205.0~9658.5	7570.5	23.8
11	6213.0~10623.0	7903.5	20.6
19	6609.0~10536.0	8004.0	15.3
17	4995.0~10228.5	8049.0	22.1
20	4560.0~10797.0	8290.5	26.1
1	6640.5~10434.0	8320.5	13.0
6	5818.5~11122.5	8337.0	24.0
3	6792.0~11706.0	8368.5	19.8
15	5313.0~10849.5	8571.0	21.8
CK	6288.0~11739.0	8647.5	21.5
13	6234.0~12198.0	8652.0	22.7
9	7143.0~10101.0	8707.5	14.1
16	5946.0~10656.0	8712.0	19.3
14	5340.0~11254.5	8857.5	23.9
8	6313.5~11143.5	8943.0	21.7
5	5980.5~12393.0	8968.5	26.6
4	5485.5~11451.0	9087.0	21.3
12	5133.0~12409.5	9094.5	23.1
10	6985.5~11205.0	9166.5	16.8
2	7410.0~12990.0	9682.5	18.7

均籽粒含水量低于对照郑单958的含水量(26.5%), 10个组合的平均产量高于对照郑单958产量(8647.5kg/hm²)。共有10个组合位于第I象限,收获期籽粒含水量低于对照,且产量高于对照,分别为:组合2(P128×B7)、组合4(1785×F20)、组合5(T1746×Y20)、组合8(P156×L5847)、组合9(P1305×H1122)、组合10(P366×LH222)、组合12(R1×B072)、组合13(R36×B627)、组合14(T1728×B5346)、组合16(R1181×B8923)。

2.4 不同地点收获期籽粒含水量表现 表4为收获期在不同地点各个组合的籽粒含水量表现,可以看出,组合12(R1×B072)、组合2(P128×B7)、组合16(R1181×B8923)等组合在各个地点的籽粒含水量均相对较低,荥阳和周口组合13(R36×B627)的籽粒含水量相对较低,商丘和开封组合19(R1929×L957)的籽粒含水量相对较低。新乡、荥阳和开封组合8(P156×L5847)的籽粒含水量均相对较高,周口、开封和洛阳组合9(P1305×H1122)的籽粒含水量均相对较高,驻马店、新乡、荥阳、商丘4个地点组合20(P99×H1593)的籽粒含水量均相对较高。

表3 20个组合在不同地点产量较对照增(减)幅

(%)

编号	驻马店	新乡	荥阳	周口	鹤壁	商丘	开封	洛阳	平均值	位次	增产减点数
2	8.9	5.1	25.8	30.3	10.7	-4.3	18.3	9.3	13.0	1	7增1减
10	-10.2	4.4	32.8	39.0	-4.6	-3.8	4.5	1.3	7.9	2	5增3减
4	16.9	4.0	38.1	50.2	-2.5	-17.7	7.7	-33.6	7.9	2	5增3减
12	4.0	-27.2	22.9	47.0	5.7	-10.4	10.2	-1.0	6.4	4	5增3减
5	17.9	-15.2	28.1	42.7	5.6	-35.5	23.9	-21.2	5.8	5	5增3减
8	26.3	-7.1	32.4	19.0	-7.0	3.8	-6.0	-23.5	4.7	6	4增4减
14	-10.1	11.5	23.8	28.9	-9.3	4.9	15.4	-35.3	3.7	7	5增3减
9	-6.6	1.3	23.7	36.6	-13.9	-9.2	0.4	-8.2	3.0	8	4增4减
16	2.8	0.9	27.3	37.9	-9.2	-1.2	-8.2	-28.0	2.8	9	4增4减
13	-4.5	-0.4	18.9	18.5	-14.5	-11.7	29.0	-24.5	1.4	10	3增5减
15	15.9	-2.9	14.7	22.3	-7.6	-13.5	11.5	-35.7	0.6	11	4增4减
6	-2.4	-4.4	33.5	24.0	-12.8	-35.9	17.6	-29.5	-1.2	12	3增5减
3	8.2	6.1	-1.8	15.6	-0.3	-36.7	5.3	-8.0	-1.5	13	4增4减
1	9.1	-5.8	6.9	21.3	-11.1	-27.1	-7.9	2.1	-1.6	14	4增4减
20	-17.7	-35.3	29.6	39.0	-13.7	-34.5	14.2	2.6	-2.0	15	4增4减
17	1.3	-0.2	22.7	23.6	-12.9	-8.3	-47.2	-15.6	-4.6	16	3增5减
19	0.4	4.1	12.3	20.3	-10.2	-38.4	-13.3	-13.6	-4.8	17	4增4减
11	-20.1	-8.7	11.7	24.6	-9.5	-41.4	0.6	-9.0	-6.5	18	3增5减
7	-23.2	-26.2	11.1	49.4	-29.4	-10.0	-16.2	-35.0	-9.9	19	2增6减
18	-13.4	-18.7	4.4	-17.6	-29.4	-36.1	-9.8	-35.3	-19.5	20	1增7减

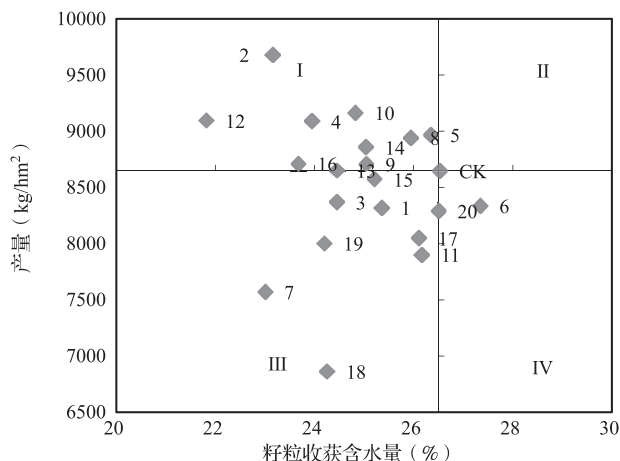


图1 20个玉米新组合收获期产量和籽粒含水量的分布

表4 不同地点收获期各个组合的籽粒含水量表现

地点	籽粒含水量排序
驻马店	12<2<7<...<20<11<6<5
新乡	16<7<12<2<...<6<8<20<5<CK
荥阳	12<10<2<13<7<...<20<8<15<CK<17
周口	12<13<10<...<6<7<11<9<5
鹤壁	7<12<16<9<...<17<6<10<13<CK
商丘	4<7<2<16<19<12<...<20<5<6<CK<18
开封	3<12<19<7<2<...<9<8<17<CK<10
洛阳	1<17<18<2<12<...<14<16<3<9<7

2.5 玉米品种的适应性划分 利用R语言GGE双标图对玉米组合的丰产性和稳产性,以及试验地点的代表性和鉴别力可以进行更加准确和直观的分析。图2为各试验点的分组情况,本试验的试验点分布在3个扇区里,新乡、商丘为第1组,驻马店、荥阳、周口、鹤壁为第2组,开封、洛阳定义为第3组。根据严威凯^[16]的分析结果,各扇区位于多边形顶角上的组合即为在该区内各试验点产量最高的组合。由图2可以看出,组合8(P156×L5847)是第1组产量最高的组合,组合2(P128×B7)是第2组产量最高的组合,组合5(T1746×Y20)是第3组产量最高的组合。

2.6 各试验点间的关系 图3中可以看出,多数试验点之间存在正相关,开封、洛阳之间及驻马店、荥阳、周口之间存在紧密正相关,商丘与开封、洛阳之间存在微弱负相关。试验点间紧密正相关表示一些试验点有重复设置的可能性,比如驻马店和周口均

位于河南省的东南部,只分析其中一个试验点的数据,并不影响对试验的整体评价。

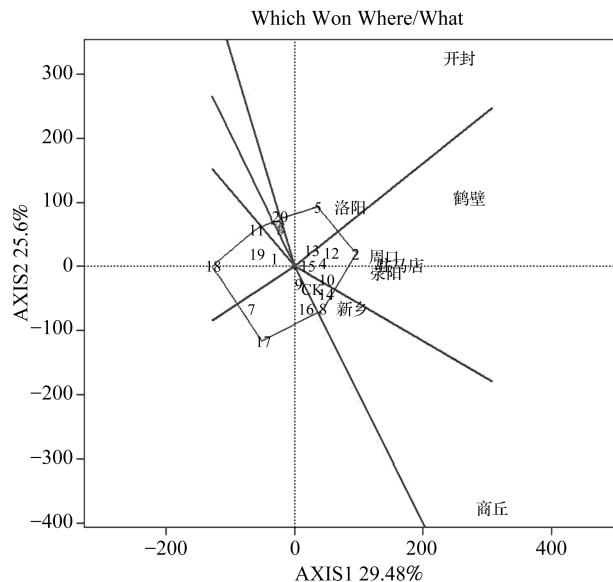
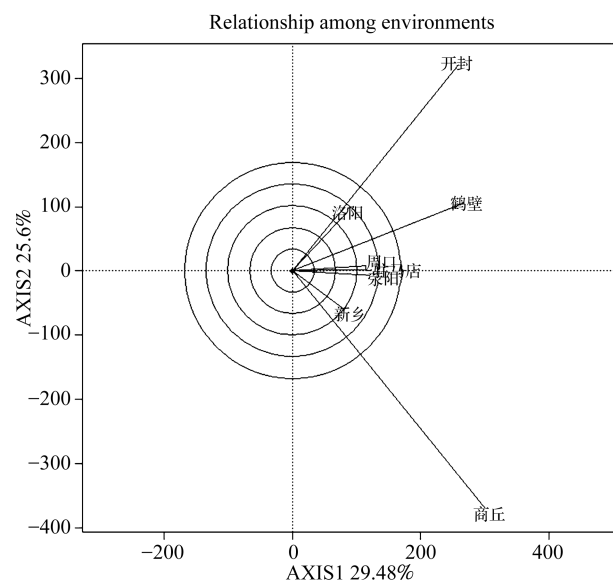


图2 各试验点的分组情况



任意2个环境向量间的夹角的余弦值与他们之间的遗传相关系数相类似,夹角是锐角代表有正相关关系,角度越小相关系数越接近1;钝角代表有负相关关系,接近直角代表不相关。

图3 各试验点间的关系

2.7 各试验点的代表性、鉴别力评价 由图4可以看出,驻马店、荥阳、周口、鹤壁4个试验点代表性较好。商丘环境向量最长,鉴别力最强,但其代表性较差。综合代表性与鉴别力,驻马店、荥阳、周口是本试验中最好的试验点,既有很好代表性又有很强的鉴别力。鹤壁也是比较理想的试验点。

2.8 组合丰产性和稳产性评价 从图5可以看出,

交点在平均环境向量正方向上的组合其产量高于试验平均产量,从丰产性考虑,本次试验中组合2 (P128×B7)、组合12 (R1×B072)、组合4 (1785×F20)产量较高,其中最高的是组合2 (P128×B7)。交点在平均环境向量负方向上的组合其产量低

于试验平均产量,组合18 (P159×L175)、组合7 (R198×H138)、组合11 (T1747×B032)、组合19 (R1929×L957)、组合17 (T1792×L5542)等产量较低,组合18 (P159×L175)最低。从稳产性考虑,组合2 (P128×B7)和组合4 (1785×F20)的稳产性较好。从丰产性和稳产性综合评价,组合2 (P128×B7)是本试验中最理想的品种,其次为组合4 (1785×F20)。

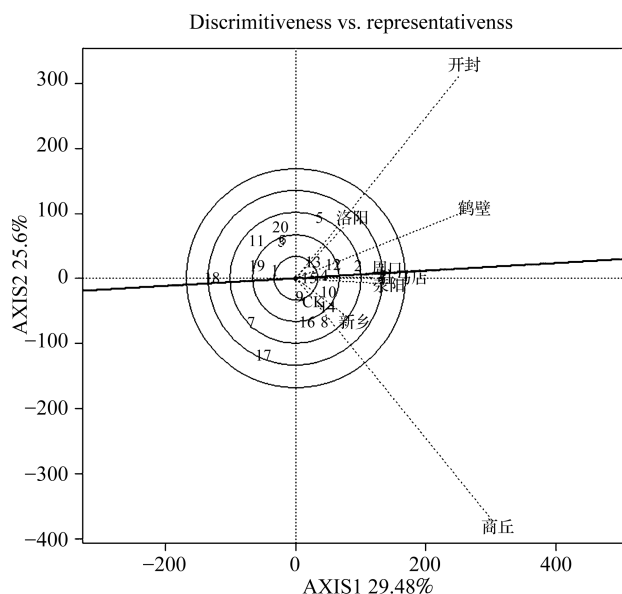
3 讨论与结论

美系群体选系所组配的杂交组合与其他杂种优势类群组配的杂交组合相比,其收获期的含水量均相对较低,是因为美系群体的原始材料均为引进的早熟材料,它具有熟期早、后期籽粒脱水快、适宜机械化收获等特点^[17]。本研究中,R198×H138、R1×B072、R36×B627、R1181×B8923和R1929×L957均属于美系群体选系×塘四平头杂种优势模式,在各个地点不同程度的表现出籽粒含水量相对较低。

有报道认为PB种质含有热带亚热带血缘,具有抗性强、熟期相对较晚等特点^[18-19],由于黄淮海近几年夏季持续高温干旱天气,以PB种质组配出的杂交组合P128×B7、P366×LH222,在各个地点的平均产量比对照郑单958分别高13.0%、7.9%,且变异系数较小,增减点数分别为7增1减和5增3减,表现出丰产性和稳产性均相对较好。P156×L5847、P1305×H1122、P99×H1593因熟期较晚,收获时籽粒含水量均相对较高。

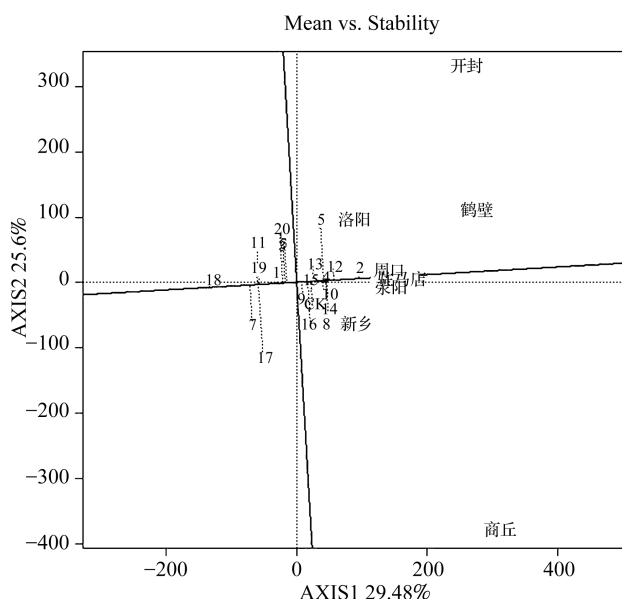
Reid×塘四平头杂种优势模式是黄淮海地区最具有代表性的一种模式,郑单958作为代表性的杂交种,因其适应黄淮海年际间复杂多变的逆境气候,已经大面积推广种植20年^[20]。本研究中,属于Reid×塘四平头杂种优势模式的杂交组合有9个,在不同地点其收获期的籽粒含水量均相对较高,其中1785×F20、T1746×Y20、T1728×B5346在不同地点的产量平均值较高,表现出较好的丰产性。从变异系数可以看出,1785×F20表现出较好的丰产性和稳产性。

采用R语言GGE双标图对20个组合的丰产性和稳产性进行评价,P128×B7是本试验中最理想的品种,其次为1785×F20。这与变异系数和平均增产幅度分析结果一致。说明R语言GGE双标图



平均环境向量与各试验点间夹角的余弦值可以用来衡量试验点的代表性。环境向量的长度代表试验点在试验中对品种筛选的鉴别力,环境向量越长表示鉴别力越强,环境向量越短表示鉴别力越弱。

图4 试验点的鉴别力和代表性评价



通过品种向平均环境向量作垂线,交点在平均环境向量正方向上的品种其产量高于试验平均产量,线段越长表示产量越高。从品种点向平均环境向量作垂线,其垂线长度代表品种在试验中的稳定性,长度越短代表越稳定。

图5 参试组合丰产性和稳产性评价

作为评价品种丰产性和稳产性的一种方法,具有很好的代表性。

对各试验点的代表性和鉴别力进行综合评价,驻马店、荥阳、周口是本试验中最好的试验点,既有很好代表性又有很强鉴别力,鹤壁也是比较理想的试验点。本研究仅以一年的产量数据进行分析,筛选优良玉米新组合,需多年多点鉴定结果,才能选育出大面积推广应用的玉米新品种。

参考文献

- [1] 熊伟伦,徐开未,刘明鹏,肖华,裴丽珍,彭丹丹,陈远学. 不同氮用量对四川春玉米光合特性、氮利用效率及产量的影响. 中国农业科学,2022,55(9): 1735-1748
- [2] 夏远峰,许明学,于明彦,代秀云,刘爱华,岳尧海,柳迎春. 玉米基础种质杂种优势模式分析. 玉米科学,2008,16(5): 29-32,36
- [3] 孟一江,高进军. 中国玉米优势群划分和利用研究. 玉米科学,2006,14(1): 16-17
- [4] 李新海,傅俊骅,张世煌,袁力行,李明顺. 利用 SSR 标记研究玉米自交系的遗传变异. 中国农业科学,2000,33(2): 1-9
- [5] 吴敏生,王守才,戴景瑞. AFLP 分子标记在玉米优良自交系优势类群划分中的作用. 作物学报,2000,26(1): 9-13
- [7] Jones E, Sullivan H, Bhattaramakki D, Smith J S C. A comparison of simple sequence repeat and single nucleotide polymorphism marker technologies for the genotypic analysis of maize (*Zea mays* L.). Theoretical and Applied Genetics, 2007, 115(3): 361-371
- [6] Bouchez A, Gallais A. Efficiency of the use of doubled-haploids in recurrent selection for combining ability. Crop Science, 2000, 40(1): 23-29
- [8] Saghai Maroof M A, Soliman K M, Jorgensen R A, Allard R W. Ribosomal DNA spacer length polymorphisms in barley: mendelian inheritance, chromosomal location, and population, and population dynamics. Proceedings of the National Academy of Sciences of the

United States of America, 1984, 81(24): 8014-8018

- [9] Jones L, Ennos A R, Turner S R. Cloning and characterization of *irregular xylem4* (*irx4*): a severely lignin-deficient mutant of *Arabidopsis*. Plant Journal, 2001, 26: 205-216
- [10] Fan X M, Zhang Y D, Yao W H, Bi Y Q, Liu L, Chen H M, Kang M S. Reciprocal diallel crosses impact combining ability, variance estimation, and heterotic group classification. Crop Science, 2014, 54(1): 89-97
- [11] 王懿波,王振华,陆利行,王永普,张新,田曾元. 中国玉米种质基础、杂种优势群划分与杂优模式研究. 玉米科学,1998(1): 13-28
- [12] 张世煌. 玉米的杂种优势群和杂种优势模式. 作物杂志,1998(5): 84-85
- [13] 袁力行,傅俊骅, Warburton M, 李新海, 张世煌, Khairallah M, 刘新芝, 彭泽斌, 李连城. 利用 RFLP、SSR、AFLP、RAPD 标记分析玉米自交系遗传多样性的比较研究. 遗传学报, 2000, 27(8): 725-733
- [14] 袁力行, 张世煌, 傅俊骅, 李新海, 彭泽斌, 田志国, 李明顺. 玉米遗传多样性与杂种优势群的研究. 中国农业科学, 2000, 33(5): 9-14
- [15] 曾旭辉, 彭宏, 蒋厚良, 张婕, 王波. 利用 R 语言 GGE 双标图评价玉米区域试验——以 2018 年江苏淮北玉米区域试验为例. 玉米科学, 2020, 28(5): 60-66
- [16] 严威凯. 双标图分析在农作物品种多点试验中的应用. 作物学报, 2010, 36(11): 1805-1819
- [17] 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
- [18] 陈喜明, 侯有良, 韩云丽, 卢保红, 钟改荣, 高克昌, 赵随堂, 程宏. P 群种质在山西玉米育种中的作用与展望. 山西农业科学, 2008(1): 30-33
- [19] 王元东, 段民孝, 邢锦丰, 王继东, 张春原, 郭景伦, 赵久然, 陈绍江. P 群种质在玉米杂种优势利用和种质创新中的作用及展望. 玉米科学, 2004, 12(2): 10-12, 15
- [20] 佟屏亚. 横亘 20 年郑单 958 依然市场唱主角. 种子科技, 2020, 38(21): 1-2

(收稿日期: 2022-11-24)

(上接第 84 页)

3 小结

本研究发现,半冬性和春性两种类型小麦生育期随着播期的推迟而推迟,次年 1 月份及之后播种的处理晚熟明显,半冬性品种已不能正常成熟;灌浆高峰随着播期的推迟而推迟,但峰值有所增加;小麦成产要素及产量随着播期的推迟持续下降。建议生产上 11 月份及之前播种选用半冬性小麦品种,12 月份及之后播种选用弱春性小麦品种。半冬性小麦品种新麦 45 的晚播极限为次年 1 月底,弱春性小麦品种新麦 29 的晚播极限为次年 2 月中旬。

参考文献

- [1] 王崇爱,方波,崔香连,徐健,张辉. 免耕晚播小麦生育特点及高产栽培技术. 山东农业科学,2005(3): 30-32
- [2] 潘玉良,熊圣国,郭晨成,张卫清,胥益锋,郭兆兄,凌桂鸿. 晚播小麦生育特点及适宜密度研究. 大麦与谷类科学,2011(3): 25-30
- [3] 李友军,谷登斌. 晚播小麦高产栽培途径与技术研究. 麦类作物学报,1997,17(5): 46-49
- [4] 王振林,贺明荣,尹燕桦,曹鸿鸣. 晚播小麦灌浆期光合物质同化、分配及群体调节的效应. 作物学报,1997,23(3): 257-262
- [5] 刘淑君,牛秋萍,马正树,张占胜,侯莉莉. 晚播小麦的生育特点及应变管理措施. 河南农业科学,2005,34(11): 115

(收稿日期: 2022-12-15)