

基于 Genstat 的 AMMI 模型和 GGE 双标图在玉米区域试验分析中的应用

朱艳彬¹, 孙九超¹, 王显², 李海峰¹, 宝春雨¹, 郭延玲², 齐望¹, 刘露¹, 薛明¹, 张华微³, 朱宏宇^{1*}

(1. 辽宁东亚种业有限公司/玉米生物育种国家重点实验室/农业农村部东北主要作物遗传育种重点实验室, 辽宁沈阳 110164; 2. 辽宁东亚农作物种子质量检验检测有限公司, 辽宁沈阳 110164; 3. 朝阳师范高等专科学校, 辽宁朝阳 122000)

摘要 利用 Genstat 软件的 AMMI 模型和 GGE 双标图对玉米区域试验中 15 个品种在 20 个试点的产量变异和高产稳产性进行分析, 评价试点的区分力和代表性。结果表明, 品种、试点、品种与试点交互作用均达到了极显著水平, 试点间的差异是变异的主要来源。品种富尔 1602 和中单 4387 具有较强的高产、稳产性。品种屯玉 639、东单 9573、富育 1509、秋乐 308 适合在吉林九台、吉林陶家、吉林东丰、辽宁本溪、辽宁昌图、辽宁阜新、河北唐山、内蒙巴林左旗、内蒙开鲁种植, 且东单 9573 在这些地区种植可获得高产; 品种德单 1108 和乐农 79 适合在吉林双辽、吉林德惠、辽宁沈阳、辽宁抚顺、辽宁喀左、河北滦平、山西屯留、山西襄汾、山西忻府、陕西渭南地区种植, 且乐农 79 在这些地区种植可获得高产。吉林九台和吉林双辽、辽宁沈阳、辽宁昌图的生态区域差异较大, 理想的试点为陕西渭南、河北滦平、山西忻府。AMMI 模型和 GGE 双标图在品种评价方面结果基本一致, 前者能够明确划分平方和, 后者则在评价试点的区分力和代表性方面有显著优势。

关键词 玉米; 区域试验; AMMI 模型; GGE 双标图; 产量分析

中图分类号 S513 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)06-0049-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.06.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of AMMI Model and GGE-biplot Based on Genstat in the Analysis of Maize Regional Experiment

ZHU Yan-bin¹, SUN Jiu-chao¹, WANG Xian² et al (1. Liaoning Dongya Seed Co., Ltd./State Key Laboratory of Maize Bio-Breeding, State Key Laboratory of Genetics and Breeding of Major Crops in Northeast China/Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shenyang, Liaoning 110164; 2. Liaoning Dongya Crop Seed Quality Inspection and Testing Co., Ltd., Shenyang, Liaoning 110164)

Abstract The AMMI model and GGE biplot of Genstat software were used to analyze yield variability, high-yield and stability of 15 varieties in 20 testing sites in the regional trial, and to evaluate the regional strength and representativeness of the testing sites. The results showed that varieties, testing sites and the interaction between varieties and testing sites reached extremely significant level, and the difference between testing sites was the main source of variation. Fier 1602 and Zhongdan 4387 had a strong high yield, stable yield. Tunyu 639, Dongdan 9573, Fuyu 1509 and Qiule 308 were suitable for planting in Jiutai of Jilin, Taojia of Jilin, Dongfeng of Jilin, Benxi of Liaoning, Changtu of Liaoning, Fuxin of Liaoning, Tangshan of Hebei, Balin zuoqi of Inner Mongolia, and Kailu of Inner Mongolia, and Dongdan 9573 could be planted in these areas for high yield. Dedan 1108 and Lenong 79 were suitable for planting in Shuangliao of Jilin, Dehui of Jilin, Shenyang of Liaoning, Fushun of Liaoning, Kazuo of Liaoning, Luanping of Hebei, Tunliu of Shanxi, Xiangfen of Shaanxi, Xinfu of Shaanxi and Weinan of Shanxi. Lenong 79 could be planted in these areas for high yield. Jiutai of Jilin was in the different ecological region from Shuangliao of Jilin, Shenyang of Liaoning, Changtu of Liaoning. And the ideal pilots were Weinan of Shanxi, Luanping of Hebei and Xinfu of Shanxi. The results of AMMI model and GGE biplot were basically same in terms of variety evaluation. The former could clearly divide square sum, while the latter has a distinct advantage in evaluating the differentiation and representativeness of the testing sites.

Key words Maize; Regional trial; AMMI model; GGE biplot; Yield analysis

品种是决定玉米高产和优质的关键因素, 区域试验能够综合评价参试品种的丰产性、稳产性、抗逆性和适应性, 是品种审定和推广应用的前提和重要环节^[1-2]。玉米区域试验产量数据分析方法包括方差分析^[3-5]、线性回归模型、AMMI 模型^[6-10]及 GGE 双标图模型等。方差分析法一直是最常用的方法^[11], 它主要以参试品种在各试验点的平均产量为依据, 显示基因型、环境、品种×环境互作主效应, 但是不能进一步划分和解释品种和环境互作效应。线性回归方法是用两个线性参数来描述和评价品种和环境的互作关系, 但因品种对环境反应的复杂性, 同样存在很大的局限性^[12-13]。

AMMI 模型是在常规的基因型和环境的加性模型中加入多种形式的交互作用因子, 不仅能够分析交互作用的显著

性, 并且能够估计出交互作用的特点及形态, 有助于进一步建立可解释的生物学模型, 其应用范围较方差分析法和线性回归法更有效, 已广泛应用于水稻^[13]、小麦^[14-15]、玫瑰^[16]、西瓜^[17]、马铃薯^[18]等植物中。GGE 双标图分析法同时考虑了基因型和 G×E 效应, 能更直观高效的评价和展示 G×E^[19], 在小麦、油菜等区域试验中的品种评价、试点评价和品种生态区划分同样得到了广泛的应用。

目前 AMMI 模型和 GGE 双标图在玉米区试研究上公开的资料比较少, 研究的品种和试点数量也较少。何代元等^[20]采用 AMMI 模型对 14 个玉米品种的稳定性 and 22 个参试地点对品种的鉴别力做出分析评价; 梁黔云等^[21]通过 GGE 双标图法分析了 7 个玉米新品种在贵州省高海拔地区生态条件下的丰产性、稳定性和适应性, 以及 5 个参试地点的鉴别力和代表性; 张赟勇^[22]用 GGE 双标图分析了 10 个玉米新组合在四川省甘孜州高海拔地区环境条件下的丰产性、稳定性和适应性, 同时鉴别各试验点对参试组合的分辨力和代表性。然而同时利用 AMMI 模型和 GGE 双标图联合分析

基金项目 国家重点研发计划(2016YFD0101803); 沈阳市科技计划(Y19-3-028)。

作者简介 朱艳彬(1989—), 男, 河南宝丰人, 高级农艺师, 在读博士, 从事玉米分子育种研究。* 通信作者, 正高级农艺师, 博士, 从事农作物生物育种研究。

收稿日期 2020-08-19

区域试验中参试品种的丰产稳产性、试点区分力及生态区域划分的研究鲜有报道。Genstat 统计分析软件最早由洛桑试验站开发,历史悠久,并且不断地更新,始终活跃在生物统计学技术的最前沿。其中,GGE-Biplot 是基于菜单操作的,简单方便,因此在多环境试验中应用较多。

笔者运用 AMMI 模型和 GGE 双标图分析了东华北春玉米区 20 个试点的区分力、代表性和生态区域分类,阐述了 13 个参试品种的适应性、丰产性和稳产性,为精准地评估优异品种和试点的有效性提供重要依据,为品种能否晋级提供决策支持。

1 材料与方法

1.1 参试品种与试验设计 以 2015 年辽宁东亚种业有限公司承担的中玉科企联合体东华北中晚熟春玉米品种区域试验一组 20 个试点、15 个玉米品种(含 2 个对照品种:郑单 958 和先玉 335)产量数据为材料(表 1)。试验采用随机区组设计,3 次重复,5 行区,小区面积 20 m²,实收中间 3 行(面积 12 m²)计产;试验四周设置不少于 4 行的保护行;种植密度 67 500 株/hm²,播种期同当地生产,对照品种成熟时所有品种全部收获;分析数据时,将 3 次重复的小区标准产量折合成单产(表 2)。

表 1 参试品种、试点名称及代号			
Table 1 Names and codes of varieties and testing sites			
品种代号 Variety code	品种名称 Variety name	试点代号 Testing site code	试点名称 Testing site name
G1	DM3210	E1	吉林九台
G2	屯玉 639	E2	吉林双辽
G3	富尔 1602	E3	吉林陶家
G4	大民 8805	E4	吉林东丰
G5	德单 1108	E5	吉林桦甸
G6	东单 9573	E6	吉林德惠
G7	富育 1509	E7	辽宁本溪
G8	乐农 79	E8	辽宁沈阳
G9	龙垦 116	E9	辽宁昌图
G10	秋乐 308	E10	辽宁抚顺
G11	豫研 1503	E11	辽宁阜新
G12	中单 4374	E12	辽宁喀左
G13	中单 882	E13	河北滦平
G14	郑单 958(CK)	E14	河北唐山
G15	先玉 335(CK)	E15	山西屯留
		E16	山西襄汾
		E17	山西忻府
		E18	内蒙巴林左旗
		E19	内蒙开鲁
		E20	陕西渭南

表 2 15 个品种在 20 个试点的平均单产
Table 2 Average yield of 15 varieties in 20 testing sites

试点 Testing site	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	平均 Average
E1	6 337	10 923	10 361	10 525	9 723	10 923	11 328	9 748	10 038	9 784	9 932	9 847	9 391	11 904	11 956	10 181
E2	12 523	12 234	11 027	11 108	14 031	11 277	12 070	13 815	10 695	9 151	9 970	10 783	13 588	11 058	11 717	11 670
E3	10 807	12 606	11 951	11 343	11 239	12 976	12 746	13 116	12 262	11 427	11 559	10 869	12 560	12 584	11 189	11 949
E4	11 520	12 673	14 564	13 062	13 445	14 110	13 606	12 878	12 355	13 755	11 570	12 757	12 656	11 886	11 580	12 828
E5	7 981	9 033	10 792	8 239	8 203	10 540	8 202	9 439	8 729	8 447	8 482	7 458	9 308	10 585	10 378	9 054
E6	12 798	13 695	13 870	11 956	14 625	14 892	12 153	14 171	12 865	10 689	11 546	13 535	12 648	12 430	9 417	12 753
E7	10 740	12 242	10 578	12 162	12 084	12 652	11 788	11 645	12 050	11 275	10 752	11 768	12 065	12 434	11 844	11 739
E8	8 109	7 375	8 629	7 441	9 243	8 925	8 898	10 485	8 334	9 264	7 621	9 601	9 276	7 109	8 989	8 620
E9	10 693	11 876	10 813	10 733	10 948	10 525	10 578	11 454	11 301	10 520	9 412	11 260	8 959	10 111	8 211	10 493
E10	12 697	13 178	13 237	8 023	13 986	12 163	14 130	12 996	12 961	14 586	12 179	12 382	12 762	12 194	12 203	12 645
E11	11 397	12 344	12 615	11 646	11 934	11 415	11 141	12 168	10 760	12 245	11 769	12 604	10 270	11 308	10 859	11 632
E12	11 169	11 824	11 900	12 480	11 802	10 622	11 166	12 290	10 235	11 740	9 476	10 917	11 289	11 836	10 890	11 309
E13	15 471	15 218	14 806	12 153	15 322	15 432	14 176	14 668	13 348	15 896	10 380	15 431	16 699	12 439	12 568	14 267
E14	10 604	12 914	11 547	11 750	12 657	13 643	11 778	11 659	13 097	13 237	11 084	11 767	11 728	11 852	12 387	12 114
E15	11 324	11 771	13 252	11 049	13 215	11 032	12 311	13 022	11 828	10 945	11 008	11 888	12 275	11 793	11 803	11 901
E16	12 174	12 022	12 231	9 724	11 645	12 809	12 379	12 129	10 865	11 172	10 336	11 829	12 279	7 509	9 501	11 240
E17	12 115	12 845	12 172	9 667	11 586	12 749	12 320	12 070	10 807	11 113	10 279	7 397	12 220	9 674	7 873	10 992
E18	10 085	12 587	10 528	11 143	11 816	10 793	11 896	11 651	11 991	12 198	11 073	10 718	11 163	11 720	11 541	11 394
E19	11 000	11 175	12 663	11 174	12 922	12 585	11 725	10 751	10 563	13 794	11 486	10 910	13 160	14 097	14 469	12 165
E20	8 530	10 590	10 236	6 454	9 603	9 330	9 976	9 920	9 556	9 785	5 796	13 457	9 760	11 366	11 680	9 736
平均 Average	10 904	11 956	11 889	10 592	12 001	11 970	11 718	12 004	11 232	11 551	10 286	11 359	11 703	11 294	11 053	11 434

1.2 数据分析方法 利用 Excel 2010 整理和计算产量数据。运用 Genstat 软件中的混合线性模型和 GGE-Biplot 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 AMMI 模型分析结果

2.1.1 AMMI 模型解析变异。用 AMMI 模型分析品种产量(表 3),结果表明品种(即基因 G)、试点(即环境 E)、品种与试点互作效应(即基因与环境交互作用 G×E)均达到了极显著水平,三者的平方和分别占总平方和的 8.56%、80.52%、10.92%,说明试点间的差异是变异的主要来源。贡献了 G×E 分解的 IPCA1 和 IPCA2 分别占 G×E 的 29.07%和 16.35%,共

解释了 G×E 的 45.42%,这说明 AMMI 模型能够有效剖分 G×E 互作效应的平方和(SS)。

2.1.2 AMMI 模型分析品种的产量特性。X 轴显示品种小区平均产量,Y 轴代表 G×E 分解的 IPCA1,以 IPCA1 值为 0 作一条水平线,以所有品种的小区平均产量均值作一条垂直线(图 1)。横坐标越大,说明品种的产量越高;纵坐标越接近水平线,说明品种越稳产。由图 1 可看出,比 2 个对照产量高的品种有 9 个:G8>G2>G5>G6>G3>G7>G13>G10>G12>G14(郑单958_CK)>G15(先玉 335_CK),比对照产量低的品种为G11<G4<G1<G9<G15(先玉335_CK)<G14(郑单958_

表 3 方差分析和 AMMI 模型变异分析

Table 3 ANOVA and AMMI model analysis of variance					
变异来源 Source of variation	自由度 Degree of freedom	平方和 SS	均方 Mean squares	F 值 F value	变异所占 百分数 Percentage of variation//%
方差分析 Variance analysis					
基因 G	14	88.6	6.327	230.22***	8.56
环境 E	19	833.1	43.840	91.39***	80.52
交互作用 G×E	266	113.0	0.425	5.09***	10.92
AMMI 模型					
第一主成分轴 PCA1	32	32.8	1.027		3.17 (29.07%)
第二主成分轴 PCA2	30	18.5	0.616		1.79 (16.35%)
残差 Residual	204	61.7	0.302		5.96

注: *** 表示差异达到极显著水平 ($P<0.001$)
Note: *** represents extremely significant difference at 0.001 level

CK);稳产性比对照好的品种有 G3>G15(先玉 335_ CK)>G7>G12>G2>G14(郑单 958_ CK)。由此说明:相对于先玉 335, 高产稳产品种是 G3;相对于郑单 958, 高产稳产的品种有 G2、G7 和 G12。

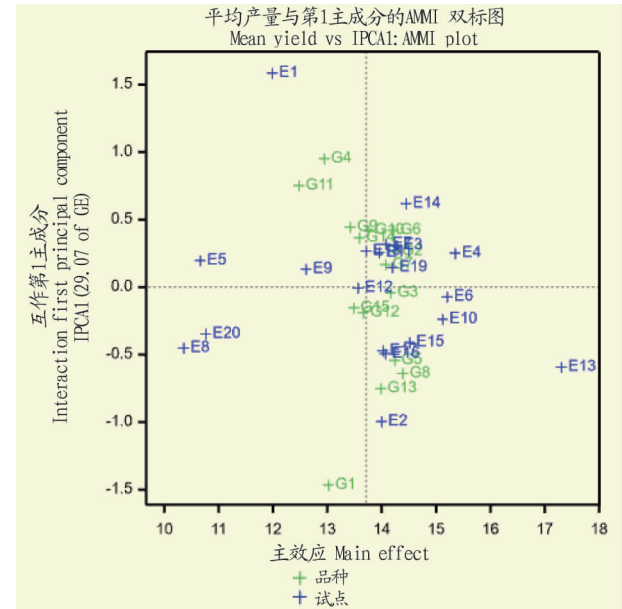


图 1 AMMI1 模型双标图
Fig.1 Biplot of AMMI1 model

试点在水平方向上比品种分散,说明试点间比品种间的变异大;位于水平线上下的品种分别与同侧的试点有正向交互,即对品种产量的提高有积极作用。品种 G2、G4、G6、G7、G9、G10、G11 和 G14 在试点 E1、E3、E4、E5、E7、E9、E11、E14、E18 和 E19 适应性更好,品种 G1、G3、G5、G8、G12、G13 和 G15 在试点 E2、E6、E8、E10、E12、E13、E15、E16、E17 和 E20 的适应性更好。

从图 2 可看出,品种 G4、G6、G11 在试点 E1 的图标与原点的连线上垂直投影最长,表明这 3 个品种在试点 E1 具有特殊的适应性,同样在图 2 中也可以找到各个品种类似的最佳种植地区。另外仅从稳产性上看,G1、G4、G6 等品种离原点较远,表明这些品种稳产性较差;G3 最接近原点,稳产性

非常突出。

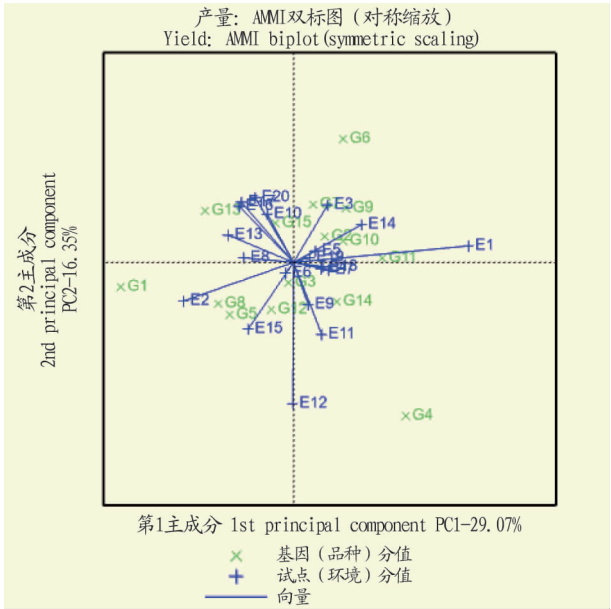


图 2 AMMI2 模型双标图
Fig.2 Biplot of AMMI2 model

2.2 GGE 双标图的分析结果

2.2.1 GGE 双标图分析参试品种的适应性。把试点分组,先将最外围的品种顺序连接成一个多边形,再由原点发出垂直于各边的多条射线,这样多边形被分割为 5 个扇区,试点 E1、E3、E4、E5、E7、E9、E11、E14、E18、E19 在其中一个扇区,为一组;试点 E2、E6、E8、E10、E12、E13、E15、E16、E17、E20 在另一个扇区,为另一组(图 3)。划分到同一组的试点所在生态区域相似,划分到不同组的试点存在生态差异。各扇区内的试点比较适合其区内的品种,且位于多边形顶角的品种就是该区内的高产品种。如 E1、E3、E4、E5、E7、E9、E11、E14、E18、E19 区域中比较适合种植的品种是 G2、G6、G7 和 G10,其中

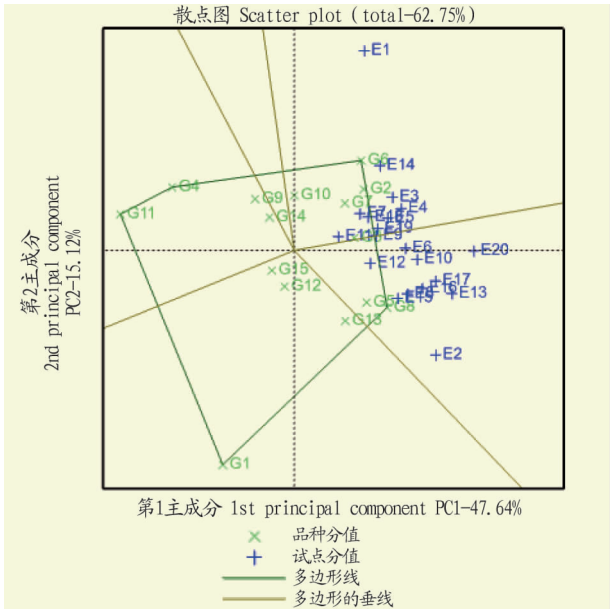


图 3 品种适应性的 GGE 双标图分析
Fig.3 GGE biplot analysis of the variety adaptability

G6 为高产品种;E2、E6、E8、E10、E12、E13、E15、E16、E17、E20 区域中比较适合种植的品种是 G5 和 G8,其中 G8 为高产品种。G3 这个品种在两个区域分界线上,说明其适应性非常广,稳产性较好。

2.2.2 GGE 双标图分析试点间的相关性。图 4 显示,连接试点 E1 到原点的向量,分别与连接 E2、E8、E19 到原点的向量夹角都大于 90°,呈现负相关,表明试点 E1 与 E2、E8、E19 有一定的生态区域差别。其他试点到原点的向量夹角基本上都小于 90°,存在正相关,甚至多数试点间之间存在紧密的正相关,如 E3 和 E7、E6、E20 等,说明这些试点间生态区域相近。

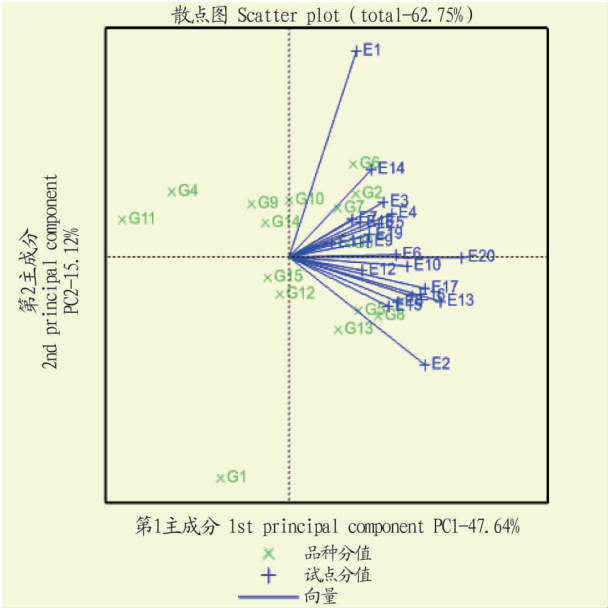


图 4 GGE 双标图分析试点的环境相关性

Fig.4 Environmental relevance analysis of the GGE biplot for testing sites

2.2.3 GGE 双标图综合分析试点的区分力和代表性。以平均环境点为圆心画圆,可综合考虑环境的区分力和代表性(图 5),越靠近中心圆的环境其区分力和代表性越好,所以试点的综合顺序为 E20>E13>E17>E10>E16>E6>E4>E8>E3>E5>E19>E9>E15>E12>E14>E7>E2>E11>E1,其中 E20、E13、E17 是较为理想的试点,E1、E11、E2 是相对较差的试点。

2.2.4 GGE 双标图分析参试品种的丰产性和稳产性。图 6 中平均环境轴的箭头所在位置代表品种在所有环境下的近似平均产量,越往箭头方向产量越高;通过原点且与平均环境轴垂直的直线代表各品种与各环境相互作用的倾向性,越靠近平均环境轴越稳定。由图 6 可看出,各品种产量排序如下:G8>G2>G6>G5>G7>G13>G10>G12>G14(郑单 958,CK)>G15(先玉 335,CK)>G9>G1>G4>G11;稳产性较差的品种有 G1、G4、G6、G13,稳产性排前五名的品种是 G3>G15(先玉 335_CK)>G12>G14(郑单 958_CK)>G7;综合以上结果得出,高产稳产品种是 G3 和 G12。

3 讨论

品种的丰产性、稳定性是决定其推广应用价值的主要指

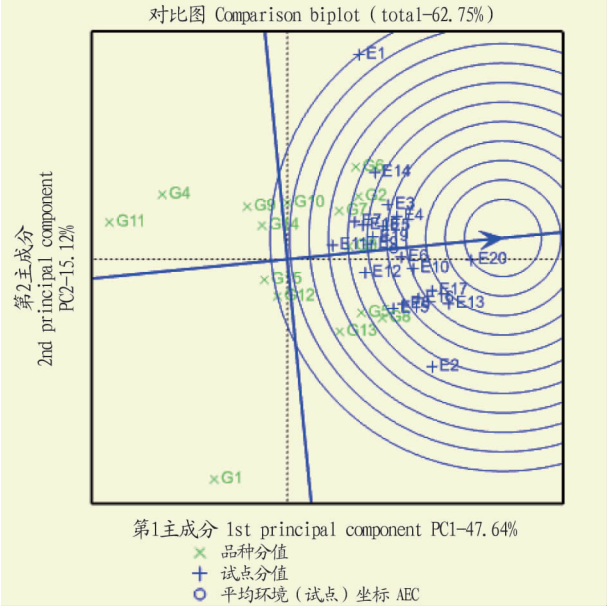


图 5 GGE 双标图分析试点的综合排名

Fig.5 The comprehensive ranking analysis of the GGE biplot for testing sites

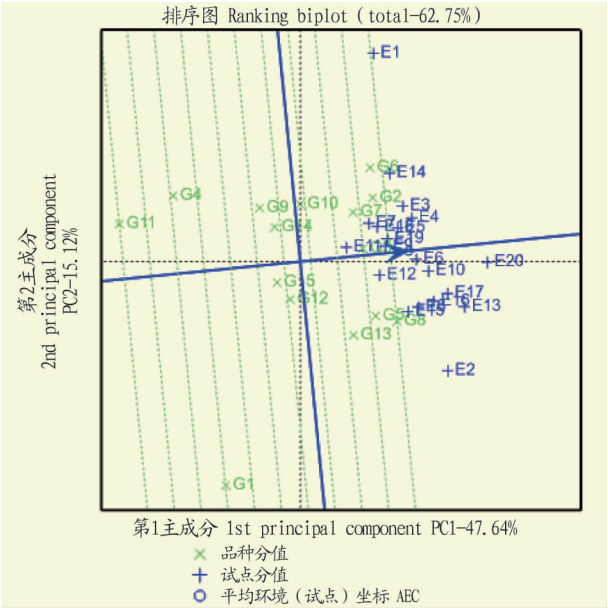


图 6 GGE 双标图分析品种的丰产性和稳产性

Fig.6 Productivity and stability analysis of the GGE biplot

标,区域试验是鉴定新品种丰产性、稳定性的重要途径之一,决定其推广应用的价值^[23]。区试品种在不同地点的产量表现往往是不一致的,表明品种的 G×E 交互作用的存在,当显著的 G×E 交互作用存在时,简单地比较品种间的平均产量是不够全面的。传统的方差分析方法,只能给出品种产量高低的排名,而对于品种的特殊适应性信息给出的不多,对试点选择的评价也缺乏相应的标准^[24]。AMMI 模型能够明显地鉴别玉米区试地点区分力的大小,评价其在年内、年际的重演性。笔者利用基于 Genstat 软件的 AMMI 模型和 GGE 双标图同时评价了玉米区域试验中品种的适应性、丰产性和稳产性,以及试点的区分力和代表性,为品种的晋级或淘汰提

供了更全面的参考,在有关品种评价方面,二者结果基本一致,但 GGE 双标图在生态区划分和试点区分力方面,比 AMMI 模型阐释的更加详细,功能更加全面。该研究使用了混合线性模型,检测到多环境下的误差不满足齐性假定,不能进行联合方差分析,且该文中环境效应的平方和占总平方和的 80.52%,说明环境对品种产量的影响最大,这可能是选择的 20 个试点分布分散,且试点 E1(吉林九台)、E11(辽宁阜新)、E2(吉林双辽)的区分力和代表性相对较差,在以后的试验方案制订时可以考虑去除或更换成其他试点,如去除吉林九台试点,保留该生态区内地理位置离它较近的 E3(吉林陶家)试点。从该研究 AMMI 模型和 GGE 双标图的结果来看,两者一致认为高产稳产的玉米品种为 G3(富尔 1602)和 G12(中单 4387),富尔 1602 进入了下一年的生产试验并最终通过审定,中单 4387 晋级第 2 年的区域试验和下一年的生产试验。

参考文献

- [1] 许乃银,张国伟,李健,等.基于 GGE 双标图和比强度选择的棉花品种生态区划分[J].中国生态农业学报,2012,20(11):1500-1507.
- [2] 赵铁锁.玉米区试中常见问题和解决办法[J].中国种业,2014(7):31-33.
- [3] 陈就就.玉米区域试验分析模型与方法的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [4] 刘建新,李清超,王锦,等.主成分分析在玉米区域试验中的应用[J].农业科技通讯,2015(11):42-45.
- [5] 刘玉爱,侯建华,高志军,等.玉米引种材料的主成分分析和聚类分析[J].玉米科学,2006,14(2):16-18.
- [6] 李本贵,阎俊,何中虎,等.用 AMMI 模型分析作物区域试验中的地点鉴别力[J].作物学报,2004,30(6):593-596.
- [7] 杨锦忠,郝建平,姚宏亮,等.基于 AMMI 模型的玉米区域试验地点鉴别力的重演性研究[J].玉米科学,2011,19(4):145-148.
- [8] 余先驹,王秀全,刘昌明,等.AMMI 模型在玉米区域试验中的应用[J].绵阳经济技术高等专科学校学报,2000,17(1):14-19.

(上接第 48 页)

长度增大抗拉力值减小。由图 10 可知,烤烟上部叶叶片长度在 20~73 cm 范围内,主要集中在 54~65 cm 范围内。在旺长初期,上部叶抗拉力值随叶片长度增加而迅速增大;在旺长中后期,随叶片长度增大烤烟上部叶抗拉力值趋于稳定。

3 讨论与结论

该试验表明,鲜叶重、茎叶夹角等与抗拉力值存在二次多项式关系。在一定范围内,不同部位烟叶抗拉力值都随鲜叶重增加而增大,超过一定范围后随鲜叶重增加而减小。因此,在烤烟农业生产过程中要注意水肥管理,保证烤烟不同部位烟叶的鲜叶重在适当的范围内,避免出现烟叶折断。茎叶夹角对于烤烟的生长有很大影响。王怀珠等^[10]的研究表明,在烟叶成熟过程中可定量地用茎叶夹角大小反映烤烟不同部位烟叶的成熟程度。该试验研究表明,在一定范围内,不同部位烟叶抗拉力值都随茎叶夹角增加而增大,超过一定范围后随茎叶夹角增加而减小;烟叶长度对烤烟的抗拉力值也有一定的影响,在一定范围内,不同部位烟叶抗拉力值都随叶片长度增加而增大;超过一定范围后,上部叶抗拉力值趋于稳定,中、下部叶抗拉力值随叶片长度增加而减小。研

- [9] 胡希远,尤海磊,任长宏,等.基于协方差阵结构优选的作物品种区域试验分析[J].作物学报,2009,35(11):1981-1989.
- [10] 张恩盈,魏志刚,宋希云.AMMI 模型在鲜食糯玉米区域试验中的应用[J].安徽农业科学,2011,39(28):17206-17208,17236.
- [11] CROSSA J.Statistical analyses of multilocation trials[J].Advances in agronomy,1990,44:55-85.
- [12] FREEMAN G H.Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions[J].Heredity,1973,31(3):339-354.
- [13] 王磊,程本义,鄂志国,等.基于 GGE 双标图的水稻区试品种丰产性、稳产性和适应性评价[J].中国水稻科学,2015,29(4):408-416.
- [14] CROSSA J,FOX P N,PFEIFFER W H,et al.AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial[J].Theoretical and applied genetics,1991,81(1):27-37.
- [15] LI W,YAN Z H,WEI Y M,et al.Evaluation of genotype $\times$ environment interactions in Chinese spring wheat by the AMMI model,correlation and path analysis[J].Journal of agronomy and crop science,2006,192(3):221-227.
- [16] 李艳艳,丰霞,赵兰勇.用 AMMI 模型分析玫瑰品种产花量的稳定性[J].中国农业科学,2008,41(6):1761-1766.
- [17] 王志强,刘声锋,郭守金,等.用 AMMI 双标图分析西瓜品种的产量稳定性及试点分辨力[J].干旱地区农业研究,2013,31(4):89-93.
- [18] MWOLOLO J K,MUTURI P W,MBURU M W K,et al.Additive main effects and multiplicative interaction analysis of genotype $\times$ environmental interaction among sweetpotato genotypes[J].Journal of animal & plant sciences,2009,2(3):148-155.
- [19] YAN W K,HUNT L A,SHENG Q L,et al.Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot [J].Crop science,2000,40(3):597-605.
- [20] 何代元,胡宁,马兆锦,等.AMMI 模型在玉米区域试验中的应用[J].玉米科学,2009,17(4):144-147,152.
- [21] 梁黔云,李清超,吴瑞,等.GGE 双标图在玉米品种区域实验中的应用[J].中国农学通报,2014,30(6):224-228.
- [22] 张祯勇,高明文,徐国伦,等.基于 R 语言的 GGE 双标图在玉米品种区域试验中的应用[J].中国农学通报,2014,30(34):238-243.
- [23] 聂迎彬,穆培源,桑伟,等.AMMI 模型和 GGE 双标图法在新疆冬小麦区域试验产量分析上的应用[J].新疆农业科学,2012,49(9):1569-1575.
- [24] 王磊,杨仕华,谢英贤,等.AMMI 模型及其在作物区试数据分析中的应用[J].应用基础与工程科学学报,1997,5(1):39-46.

究发现,各部位叶片抗拉力值大小都表现为下部叶>中部叶>上部叶,而事实证明,下部叶折断程度比中、上部叶严重,因此推测抗拉力值大小不是决定烟叶是否折断的主要因素。

参考文献

- [1] 王浩雅,向海英,刘晶,等.造纸法再造烟叶抗张强度测定方法的研究[J].现代科学仪器,2013(2):133-136.
- [2] 王娟,周丽娟,张晓龙,等.烟叶抗张强度与烟叶质量评价指标的关系研究[J].科技资讯,2012(20):216-217.
- [3] 陈红丽,王盼盼,崔登科,等.烤烟抗破碎性与常规化学成分的关系[J].浙江农业科学,2010,51(3):567-569,647.
- [4] 杨悦章,胡小曼,李佛琳,等.施钙对烟叶拉断强度、拉伸强度的效应[J].云南农业大学学报,2011,26(S2):74-76,83.
- [5] 赖李振,黄珍平,阴长林,等.氮、氯、硼对烟叶断叶的影响[J].安徽农业科学,2014,42(35):12476-12478,12482.
- [6] WANG B Y,SUN T T,ZHANG G S,et al.Construction of anti-breaking models of the main veins of flue-cured tobacco leaves and principal component analysis[J].Agricultural science & technology,2011,12(11):1615-1616,1656.
- [7] 胡青青,沈强,陈飞,等.重构土壤垂直剖面重金属 Cd 赋存形态及影响因素[J].环境科学,2020,41(6):2878-2888.
- [8] 牛玉德,杜鸿波,李金峰,等.不同生物炭施用量及类型对汉中烤烟生长发育及产量、产值的影响[J].安徽农业科学,2015,43(11):35-38.
- [9] 潘明华.基于图像处理技术的宝石重心寻找方法及推广[J].沿海企业与科技,2015(3):22-25.
- [10] 王怀珠,汪健,胡玉录,等.茎叶夹角与烤烟成熟度的关系[J].烟草科技,2005,38(8):32-34.