

# 基于 AMMI 模型和 GGE 双标图的河北省冬小麦品系稳定性及适应性分析

刘志芳<sup>1</sup>, 王广才<sup>2</sup>, 刘兵兵<sup>3</sup>, 王延兵<sup>4\*</sup>

(1. 河北省种子总站, 石家庄 050031; 2. 河北省农林科学院旱作农业研究所/河北省农作物抗旱研究重点实验室, 河北衡水 053000; 3. 河北万盛种业有限公司, 石家庄 050011; 4. 河北省农林科学院粮油作物研究所, 石家庄 050035)

**摘要:**本研究综合利用 AMMI 模型和 GGE 双标图两种最新分析方法对 2009~2010 年河北省冬小麦冀中北水地组和冀中南水地组两组区域试验参试品种产量进行丰产性、稳定性和适应性分析。结果表明:参试品种产量在不同品种、试点以及品种和试点互动方面均存在极显著差异( $P<0.01$ )。SX653 和 ND399 分别是冀中北水地组和冀中南水地组两个综合表现突出的品种, HN5840、WF6728、KN1006 和 YB66180 也有较好的表现。因此, 综合利用 AMMI 模型和 GGE 双标图可以更直观方便地对参试品种丰产性、稳定性和适应性进行分析评价。

**关键词:**冬小麦; 区域试验; AMMI 模型; GGE 双标图; 稳定性

中图分类号: S512.1+1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)03-0026-07

## AMMI and GGE Biplot Analysis of Yield Performance and Adaptability of Winter Wheat Varieties in Regional Trials of Hebei Province

LIU Zhifang<sup>1</sup>, WANG Guangcai<sup>2</sup>, LIU Bingbing<sup>3</sup>, WANG Yanbing<sup>4\*</sup>

(1. Hebei Seed General Station, Shijiazhuang 050031; 2. Dryland Farming Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Hebei Provincial Key Laboratory of Crops Drought Resistance Research, Hengshui 053000; 3. Hebei Wansheng Seed Co., Ltd., Shijiazhuang 050011; 4. Institute of Cereal and Oil Crops of Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050035, China)

**Abstract:** In this study, we evaluated the stability and adaptability of winter wheat varieties using the additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) and genotype main effect (G) plus genotype-environment (GE) interaction (G+GE) biplot models in Hebei province from 2009 to 2010. The results showed that the yields of the tested varieties were significantly different in genotypes, environments, and the interaction between genotypes and environments ( $P<0.01$ ). SX653 and ND399 were two varieties with outstanding comprehensive performance in Hebei north central water group and south-central water group, respectively. while HN5840, WF6728, KN1006, and YB66180 also performed well. Therefore, the comprehensive application of the AMMI model and GGE biplot can more intuitively and conveniently analyze and evaluate the high yield, stability and adaptability of the tested varieties and discrimination of the pilots.

**Key words:** Winter wheat; Regional trials; AMMI model; GGE biplot; Stability

小麦 (*Triticum aestivum* L.) 是禾本科小麦属植物, 作为全世界 1/3 以上人口的口粮, 小麦是世界上分布最广、种植面积最大、商品利用率最高的粮食作物。

如何筛选丰产、广适型小麦新品种(系)是国家 and 省级区域试验评价体系的重要指标<sup>[1-2]</sup>。目前, 作物品种区域试验分析主要是对参试品种进行丰产性的比较, 往往忽视了品种的稳产性分析<sup>[3]</sup>。基因型与环境互作效应的进一步研究和分析, 可为新品种的合理布局以及推广应用提供直接依据。关于基因型与环境互作分析方法国内外开展了大量研究<sup>[4-7]</sup>。近年来, AMMI 模型 (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model) 和 GGE 双标图 (Genotype plus Genotype by

收稿日期: 2020-07-17

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0101602); 河北省国际合作项目(16396317D)

作者简介: 刘志芳 (1979-), 女, 高级农艺师, 硕士, 主要从事农作物品种审定与管理工作。

通讯作者: 王延兵, 男, 副研究员, E-mail: wybseed@163.com

Environment interaction)是用来进行作物品种基因型与环境互作分析较为理想的两种方法。AMMI模型是将方差分析与主成分分析相结合的一种分析多环境数据的重要工具,除了能进行基因型与环境互作分析,还能对互作效应的特点和形态进行估算<sup>[8]</sup>,现已被中外学者广泛运用于水稻<sup>[9]</sup>、玉米<sup>[10]</sup>、谷子<sup>[11]</sup>和高粱<sup>[12]</sup>等农作物基因型与环境互作分析中。严威凯<sup>[13]</sup>首次提出 GGE 双标图概念并逐渐用于多种作物新品种多点鉴定试验的数据分析,GGE 双标图是通过二维图的方式直观明了地展现出新品种的最佳适应区域、参试品种的稳定性强弱,是区域试验互作分析的常用工具之一<sup>[14]</sup>。

河北省冬小麦分布于不同的生态种植区,环境复杂多样,是对冬小麦品种丰产性、稳产性和适应性要求较严格的区域,也是研究冬小麦品种基因型与环境互作分析的理想区域。目前尚无采用 AMMI 模型和 GGE 双标图来分析河北省特定区域冬小麦参试品种稳定性以及适合种植区域的研究报道。本研究综合利用 AMMI 模型和 GGE 双标

图两种分析方法,在大环境尺度下分析 2009~2010 年河北省冬小麦区域试验品种(系)基因型与环境互作模式,对参试品种丰产性、稳产性、适应性进行评判,旨在为河北省冬小麦新品种(系)生产上进一步合理利用以及区试数据基因型与环境互作分析提供理论指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料与设 计

本试验于 2009 年 10 月到 2010 年 6 月分别在河北省北部的保定、沧州、丰南、清苑、滦县、文安、徐水、易县、永清,河北省中南部的马头、深州、堤上、鹿泉、新河、邢台、赵县等地共计 16 个试验点进行。分为冀中北水地组和冀中南水地组两组试验,共有 20 个参试品种,试验点和参试品种信息详见表 1 和表 2。试验采用随机区组设计,3 次重复,10 行区,小区面积 13.33 m<sup>2</sup>,全区收获测产。试验地周围设 4 行以上的保护行,试验的一侧设置 1.2 m 左右的观察道。

表 1 2009~2010 年河北省冬小麦区域试验参试品种信息表

组别	品种(系)	简称	参试单位
冀中北水地组	保 4377	B4377	保定市农业科学研究所
	沧麦 2007-102	CM2007-102	沧州市农林科学院
	河农 5480	HN5480	河北农业大学
	农大 212	ND212	中国农业大学
	农大 3432	ND3432	中国农业大学
	石 03-Y119	S03-Y119	石家庄市农林科学研究院
	石新 653	SX653	石家庄市小麦新品种新技术研究所
	万丰 6728	WF6728	石家庄市万丰种业有限公司
	京冬 8 号(CK)	JD8	北京市农科院作物所
	DH155	DH155	中国农业科学院作物科学研究所
冀中南水地组	YB66180	YB66180	邢台市大曹庄管理区农业总公司
	邯 03-5054	H03-5054	邯郸市农业科学院
	衡 05-4444	H05-4444	河北省农林科学院旱作农业研究所
	衡 4422	H4422	河北省农林科学院旱作农业研究所
	衡 5364	H5364	河北省农林科学院旱作农业研究所
	冀麦 518	JM518	河北省农林科学院粮油作物研究所
	科农 1006	KN1006	中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心
	农大 399	ND399	中国农业大学
	邢 05-1241	X05-1241	邢台市农业科学研究所
	石 4185(CK)	S4185	石家庄市农林科学研究院

表 2 2009~2010 年河北省冬小麦区域试验承试单位信息表

组别	试点	简称	东经	北纬	海拔(m)	年降雨量(mm)	年平均温度(°C)	无霜期(d)
冀中北	保定	BD	115°45'	38°83'	13	440.0	14.1	213
水地组	沧州	CZ	116°76'	38°23'	8	553.3	12.7	196

续表 2

组别	试点	简称	东经	北纬	海拔(m)	年降雨量(mm)	年平均温度(°C)	无霜期(d)
冀中北 水地组	丰南	FN	118°10'	39°54'	5	619.0	10.8	190
	清苑	QY	115°42'	38°82'	20	440.0	12.0	213
	滦县	LX	118°83'	39°57'	27	680.4	10.5	175
	文安	WA	116°45'	38°88'	5	594.0	12.4	183
	徐水	XS	115°60'	39°09'	30	546.9	11.9	184
	易县	YX	115°63'	38°42'	72	600.0	11.9	186
	永清	YQ	116°51'	39°20'	10	540.0	11.5	183
	马头	MT	114°67'	36°60'	54	519.5	13.6	180
冀中南 水地组	深州	SZ	115°70'	37°90'	19	510.0	12.6	200
	堤上	DS	114°71'	37°94'	65	494.0	12.5	196
	鹿泉	LQ	114°42'	37°93'	66	536.0	12.6	197
	新河	XH	115°21'	37°49'	26	510.3	12.7	192
	邢台	XT	114°65'	37°10'	30	498.2	13.0	197
	赵县	ZX	114°82'	37°83'	43	498.0	12.0	198

## 1.2 分析方法

利用 Excel 2010 软件进行数据汇总, DPS V18.0 高级版<sup>[15]</sup>进行 AMMI 模型分析, Genstat 18.0 进行 GGE 双标图分析<sup>[16]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 参试品种产量变异特征

AMMI 模型分析表明(表 3), 冀中北水地组参

表 3 参试品种籽粒产量 AMMI 模型分析

组别	变异来源	自由度	平方和	均方	占总平方和百分比(%)	占交互作用百分比(%)	F 值
冀中北水地组	总的	80	74 278 949	928 486			
	基因型(G)	8	13 772 095	1 721 512	18.54		9.34**
	环境(E)	8	48 716 766	6 089 596	65.59		33.06**
	G×E	64	11 790 134	184 221	15.87		1.02**
	PCA <sub>1</sub>	15	4 819 204	321 280		40.87	11.46**
	PCA <sub>2</sub>	13	3 496 045	268 927		29.65	9.59**
	PCA <sub>3</sub>	11	1 653 933	150 358		14.03	5.36**
	PCA <sub>4</sub>	9	1 203 998	133 778		10.21	4.77*
	PCA <sub>5</sub>	7	364 629	52 090		3.09	1.86ns
	残差	9	252 325	28 036		2.14	
冀中南水地组	总的	76	35 886 760	472 194			
	基因型(G)	10	3 478 748	347 875	9.69		2.70**
	环境(E)	6	24 685 813	4 114 302	68.79		31.97**
	G×E	60	7 722 199	128 703	21.52		2.09**
	PCA <sub>1</sub>	15	4 453 943	296 930		57.68	14.52**
	PCA <sub>2</sub>	13	1 297 936	99 841		16.81	4.88*
	PCA <sub>3</sub>	11	980 234	89 112		12.69	4.36*
	PCA <sub>4</sub>	9	484 471	53 830		6.27	2.63ns
	PCA <sub>5</sub>	7	403 353	57 622		5.22	2.82ns
	残差	5	102 262	20 452		1.32	

注: “\*”和“\*\*”分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著, “ns”表示差异不显著

试品种产量在不同基因(G)不同环境(E)以及基因型与环境互作效应(G×E)方面均存在极显著差

异( $P<0.01$ ), 3 个变量因素所产生的产量变异平方和分别占总平方和的 18.54%、65.59% 和

15.87%,说明环境因素是影响品种产量的主要因素,其次是基因型效应,基因型与环境互作效应与基因型效应对产量的影响相差不大。通过将基因型与环境互作效应分解为5个互作主成分得分(PCA),前3个PCA达到了极显著水平( $P<0.01$ ), $PC_4$ 也达到了显著水平( $P<0.05$ ), $PC_5$ 未达到显著水平,前5个PCA共计解释了97.85%的互作平方和。

冀中南水地组试验中,环境效应和基因型与环境互作效应分别解释了68.79%和21.52%平均产量变异,而基因型效应仅占9.69%,3个效应均达到了极显著水平。环境变异远高于基因型变异,在总变异中占主导地位,基因型与环境互作变异是基因型变异的2.22倍,说明互作效应也是影响小麦产量的重要因素。将PCA的显著性检测, $PCA_1$ 达到了极显著水平, $PCA_2$ 和 $PCA_3$ 也达到了显著水平,前5项PCA共计解释了基因与环境交互作用的98.67%。

## 2.2 参试品种的 AMMI 模型稳定性分析

由表4可知,冀中北水地组参试品种产量由

高到低的顺序依次为: SX653、HN5480、WF6728、B4377、ND3432、ND212、JD8、S03-Y119 和 CM2007-102,品种稳定性由好到差的排序为: HN5480、JD8、SX653、B4377、CM2007-102、WF6728、ND3432、S03-Y119 和 ND212。由此可知,既丰产又稳产的品种有 SX653、HN5480 和 B4377,WF6728 属于丰产性好但稳定性较差的品种,对照品种 JD8 属于稳定性较好但丰产性一般的品种。冀中南水地组参试品种丰产性由高到低的排序为 ND399、JM518、KN1006、YB66180、DH155、H05-4444、H5364、X05-1241、H4422、S4185 和 H03-5054,品种稳定性由好到差的排序为: H05-4444、S4185、H5364、DH155、YB66180、X05-1241、KN1006、H03-5054、ND399、HM518 和 H4422。冀中南水地组丰产稳产的品种有 H05-4444 和 DH155,丰产性好但稳定性差的品种有 ND399、HM518,对照品种 S4185 属于稳定性好但丰产性较差的品种,H5364 属于丰产性和稳定性均较差的品种。

表4 参试品种产量在主成分轴上得分和稳定性参数

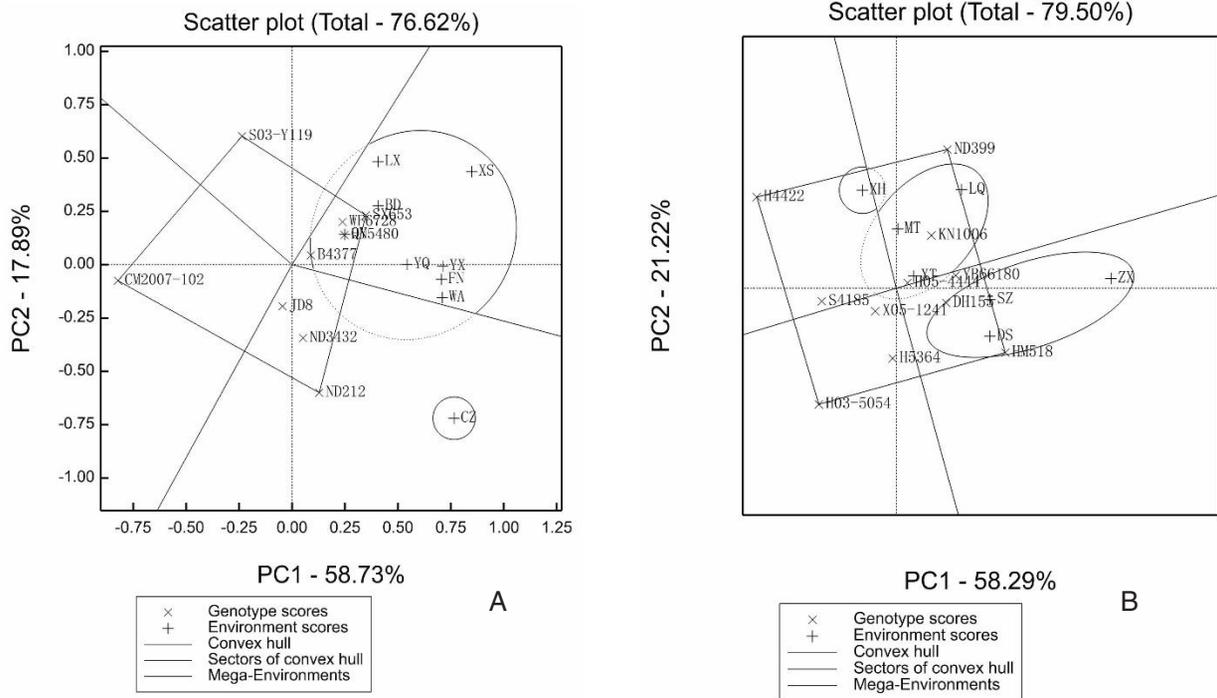
区组	品种	平均产量 (t/hm <sup>2</sup> )	第一主成分轴 PCA <sub>1</sub>	第二主成分轴 PCA <sub>2</sub>	第三主成分 轴PCA <sub>3</sub>	第四主成分 轴PCA <sub>4</sub>	第五主成分 轴PCA <sub>5</sub>	稳定性参数 (D <sub>g</sub> )
冀中北水地组	B4377	6.14	2.24	7.54	-15.52	-12.95	6.00	21.69
	CM2007-102	4.99	8.68	11.06	-17.47	11.79	9.95	25.34
	HN5480	6.34	3.78	2.38	4.32	-4.48	-0.98	7.66
	ND212	6.06	-32.23	-19.16	3.17	6.29	8.39	38.15
	ND3432	6.11	-11.79	24.95	3.79	11.81	-12.43	30.26
	S03-Y119	5.76	28.77	-10.27	16.03	11.33	3.96	36.31
	SX653	6.45	5.25	-2.90	3.22	-20.03	-3.76	21.15
	WF6728	6.30	2.97	-22.44	-13.37	3.35	-14.26	26.50
	JD8	5.92	-7.67	8.84	15.83	-7.12	3.14	20.94
	DH155	7.05	9.44	-2.12	-3.15	10.80	0.58	14.84
冀中南水地组	H03-5054	6.55	-3.63	-15.25	-2.76	-18.56	2.24	24.45
	H05-4444	6.96	1.29	2.14	-8.07	4.07	-18.67	9.38
	H4422	6.69	-33.73	1.89	-10.55	4.15	5.54	35.64
	H5364	6.85	4.27	-12.39	-3.48	2.55	5.35	13.80
	HM518	7.11	25.52	2.89	-14.98	0.39	6.47	29.73
	KN1006	7.11	0.60	-0.19	16.75	8.94	9.57	18.99
	ND399	7.20	-1.60	24.48	2.65	-8.83	1.94	26.21
	X05-1241	6.85	-2.69	-9.82	12.82	0.55	-8.67	16.39
	YB66180	7.08	9.98	4.98	10.38	-5.76	-2.13	16.29
	S4185	6.61	-9.45	3.40	0.37	1.69	-2.22	10.19

## 2.3 参试品种适应性 GGE 双标图分析

### 2.3.1 冀中北水地组

由图1A可知,处于各个扇区顶角位置的品种有4个,分别为 S03-Y119、SX653、ND212 和

CM2007-102,这样可以将多边形分为4个扇区,9个试点分布在其中的2个扇区中,即9个试点可以分为2个生态类型区。LX、XS、BD、QY、YQ、YX、FN 和 WA 处于第1扇区,该扇区中 SX653 是



注: A为冀中北水地组, B为冀中南水地组, 下同

图1 2009~2010年河北省冬小麦参试品种 GGE 双标图适应性分析

上述试点表现最好的品种。CZ位于第2扇区, 顶角品种是ND212, 说明ND212在CZ表现最好。第3扇区和第4扇区中没有试点分布, 说明CM2007-102和S03-Y119在所有试点表现均不理想。

### 2.3.2 冀中南水地组

图1B展现了冀中南水地组参试品种产量适应性划分。11个品种将双标图分为4个扇区, 7个试点分别分布在多边形的第1、第2和第4扇区中, ND399、JM518、H03-5054和H4422分别是4个扇区的顶角品种。其中ND399在第1扇区的LQ、MT和XT试点, NS518在第2扇区的SZ、ZX和DS试点, H4422在第4扇区的XH试点分别表现出较强的适应性。第3扇区中没有试点分布, 说明该扇区中的H03-5054、H5364和X05-1241在所有试点表现均不理想。

## 2.4 冬小麦参试品种 GGE 双标图丰产性和稳定性分析

### 2.4.1 冀中北水地组

通过GGE双标图(图2A)可以清楚看出冀中北水地组参试品种产量第1主成分(PC<sub>1</sub>)解释了G+GE交互信息的58.73%, 第2主成分(PC<sub>2</sub>)解释了G+GE交互信息的17.89%, GGE双标图共计解释了G与GE交互信息的76.62%。丰产性较好的品种有SX653、HN5480、WF6728和B4377等品种, 这4个参试品种产量均高于对照JD8, CM2007-

102和S03-Y119这两个品种产量低于JD8。

结合稳定性分析可知, SX653、HN5480、B4377这3个参试品种属于产量较高且稳定性较好的品种, S03-Y119属于既不丰产稳定性又较差的品种, GGE双标图分析和表4分析结果基本一致。

### 2.4.2 冀中南水地组

由图2B可知, 冀中南水地组冬小麦参试品种PC<sub>1</sub>和PC<sub>2</sub>分别占G+GE交互信息的58.29%和21.22%, 前两个主成分(PC<sub>1</sub>+PC<sub>2</sub>)解释了基因型与环境交互效应的79.50%。ND399丰产性最好, 其次是JM518、KN1006、DH155和H05-4444。KN1006、S4185、H4422和H03-5054等品种丰产性较差。各参试品种稳定性表现为: H05-4444、S4185、H05-4444和DH155到平均环境轴的垂线较短, 说明这4个品种的稳定性好于其余品种, 而ND399、HM518和H4422这3个品种稳定性较差。综合分析, DH155和H05-4444丰产性和稳定性较其余品种表现突出。

## 2.5 参试品种与理想品种的关系

由图3A可知, 冀中北水地组SX653位于最内侧同心圆, 距离理想品种最近, 说明SX653属于高产、稳产的品种, 综合表现最好。HN5840和WF6728较为理想, CM2007-102距离圆心位置最远, 综合表现最差。

由图3B可知, 冀中南水地组ND399靠近最小

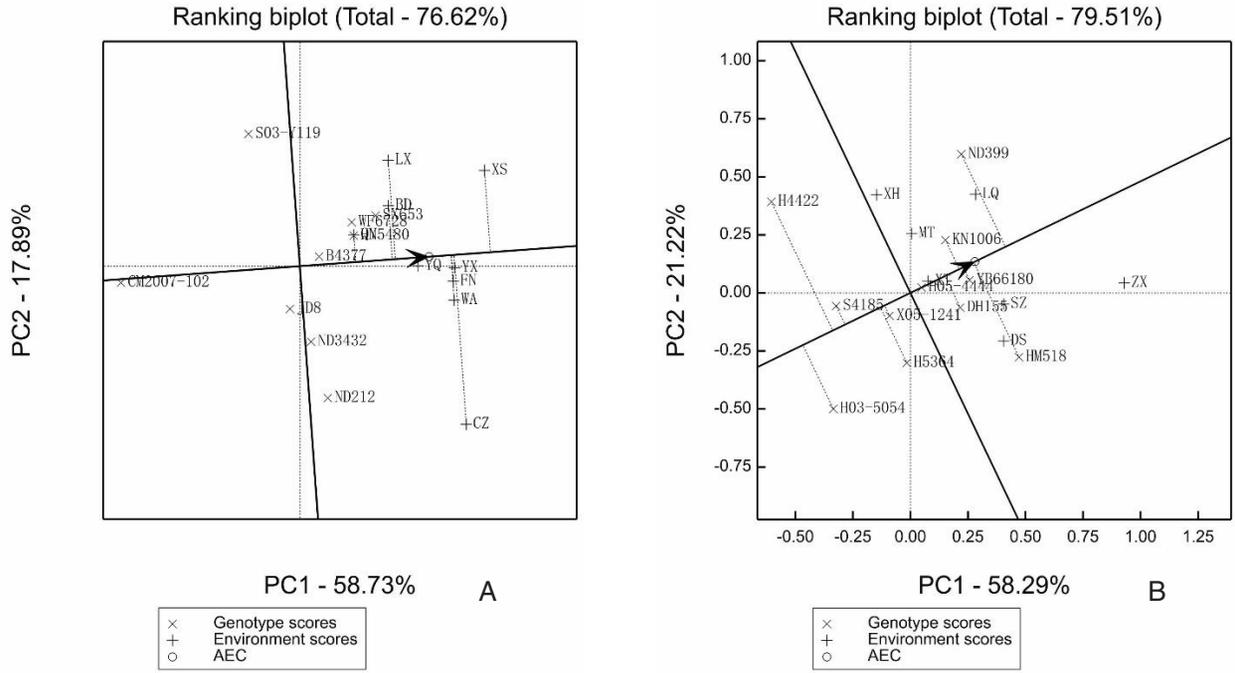


图2 河北省冬小麦参试品种丰产性和稳定性分析

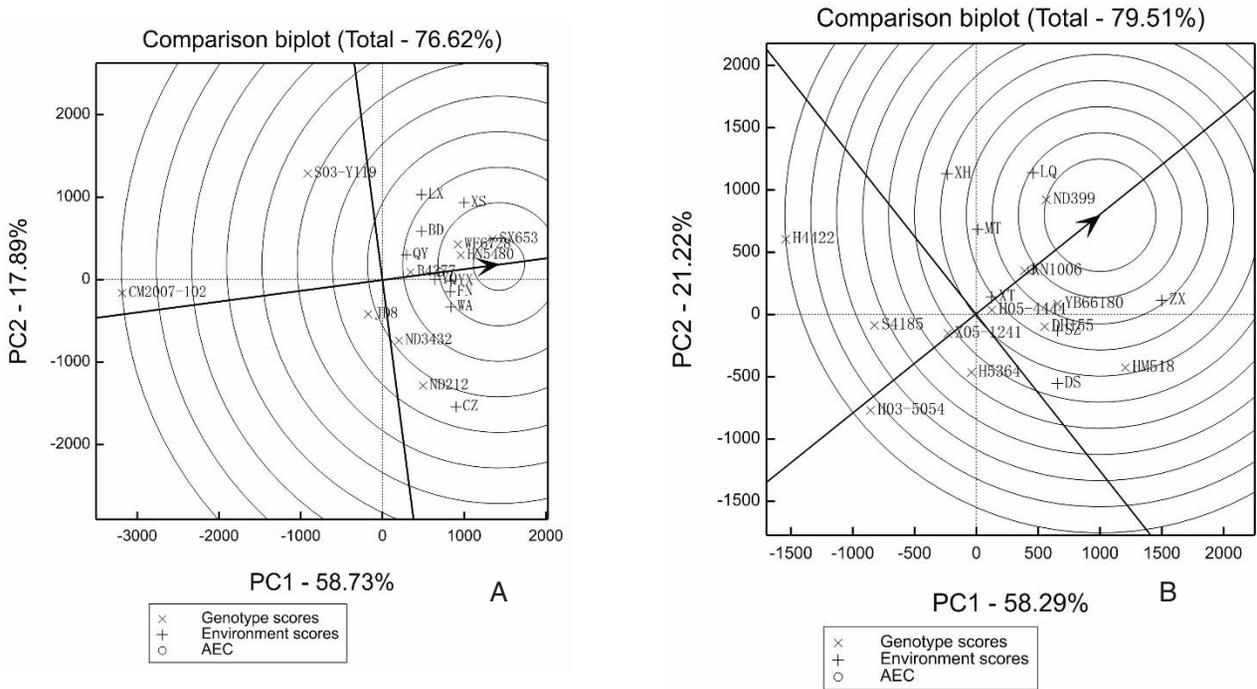


图3 河北省冬小麦理想品种分析

同心圆,丰产性和稳定性较好,综合表现最好。其次是 KN1006、YB66180、DH155 和 H05-4444, H03-5054 和 H4422 综合表现较差。

### 3 讨论与结论

自然界中互作效应普遍存在,农作物产量、品质等诸多性状的表达都显著受到基因型与环境互作的影响,同一个品种在不同环境条件下产量表现差异很大,这就给育种家选育高产广适的新品

种带来难度,因此农作物品种区域试验数据分析评价过程中,简单的“品种-产量”二维数据表达难以满足育种家的要求,这样往往会忽略掉基因型与环境之间的互作关系,不能充分发挥品种区域试验在新品种选育过程中的评价作用。而采用科学、合理的评价分析方法有助于充分解析试验数据所带来的信息,能为新品种合理布局提供理论依据<sup>[17]</sup>。AMMI 模型是将方差分析和主成分分析相结合,并整合两者优点,在各种作物基因型

与环境互作分析中广泛使用<sup>[18-19]</sup>。GGE 双标图通过将基因型主效应和基因型与环境互作效应相结合,从而完成对区域试验参试品种丰产性、稳定性和适应性的同步评价<sup>[20]</sup>。本研究同时使用 AMMI 模型和 GGE 双标图两种分析方法对 2009~2010 年河北省冬小麦冀中北水地组和冀中南水地组区域试验品种产量数据进行分析评价,两种分析方法在丰产性、稳定性、适应性以及试点鉴别力等方面分析结果基本一致,可以优势互补,作为区域试验数据分析的理想统计方法。

本研究 AMMI 模型表明,环境因素是引起品种产量变化的主要因素,远高于基因型与环境互作效应和基因型效应,冀中南水地组中基因型与环境互作效应是基因型效应的 2.22 倍,和前人在不同作物上的研究结论一致<sup>[21-23]</sup>,预示着冬小麦品种筛选和推广种植时,首先是利用当地资源环境条件,并且要重视品种与环境之间的互作效应,综合筛选适宜当地环境的品种。

GGE 双标图中的理想品种在实际生产上是不存在的,育种工作中很难选育出丰产性好同时又具有较强稳定性的品种,稳定性只有在高产的前提下才具有推广价值。本研究冀中北水地组 SX653、HN5840、WF6728 和冀中南水地组 ND399、KN1006、YB66180 属于产量较高、稳定性较好、适应性较广的品种,有待于进一步的试验比较。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 杨永明.河北省小麦生产现状与比较优势分析[D].保定:河北农业大学,2014.
- [ 2 ] 柳娜,曹东,王世红,等.基于 GGE 双标图的甘肃春小麦区试品系稳产性和试点代表性分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(4):39-48.
- [ 3 ] 闫长生,游光霞,张秀英,等.做好小麦品种区域试验工作的体会[J].作物杂志,2014,30(2):70-72.
- [ 4 ] 岳海旺,李春杰,李媛,等.河北省春播玉米品种产量稳定性及试点鉴别力综合分析[J].核农学报,2018,32(7):1267-1280.
- [ 5 ] 常磊,柴守玺. GGE 双标图在我国旱地春小麦稳产性分析中的应用[J].中国生态农业学报,2010,18(5):988-994.
- [ 6 ] Aastveit A H, Martens H. ANOVA interactions interpreted by partial least-squares regression [J]. Biometrics, 1986, 42(4): 829-844.
- [ 7 ] Ssemakula G, Dixon A G O, Maziya-Dixon B. Stability of iron and zinc concentrations in selected genotypes of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) tuberous roots [J]. Journal of Food Agriculture and Environment. 2008, 6(3): 362-367.
- [ 8 ] 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.
- [ 9 ] Abamu F J, Alluri K. AMMI analysis of rainfed low-land rice (*Oryza sativa*) trials in Nigeria [J]. Plant Breeding, 1998, 117(4): 395-397.
- [ 10 ] 叶美金,卜俊周,魏建伟,等.河北省夏玉米品种基因型与环境互作综合分析[J].玉米科学,2020,28(1):72-78.
- [ 11 ] 王军,郭二虎,袁峰,等.基于 AMMI 模型分析谷子基因型与环境互作效应[J].河北农业科学,2010,14(11):113-117.
- [ 12 ] Adugna A. Assessment of yield stability in sorghum using univariate and multivariate statistical approaches [J]. Hereditas, 2008, 145(1): 28-37.
- [ 13 ] 严威凯.双标图分析在农作物品种多点试验中的应用[J].作物学报,2010,36(11):1805-1819.
- [ 14 ] 许乃银,李健.基于 GGE 双标图的长江流域国审棉花品种分类特征评价[J].中国农业科学,2014,47(24):4780-4789.
- [ 15 ] 唐启义. DPS 数据处理系统:实验设计、统计分析 & 数据挖掘(第二版)[M].北京:科学出版社,2010:558-566.
- [ 16 ] 马静,严长虹,谷增辉,等.多点鉴定试验中玉米品种稳定性和试点分辨力分析[J].东北农业科学,2019,44(4):6-10.
- [ 17 ] Koundinya A V V, Pandit M K, Ramesh D, et al. Phenotypic stability of eggplant for yield and quality through AMMI, GGE and cluster analyses [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 247: 216-223.
- [ 18 ] 冀建华,刘光荣,李祖章,等.基于 AMMI 模型评价长期定位施肥对双季稻总产量稳定性的影响[J].中国农业科学,2012,45(4):685-696.
- [ 19 ] 李亚杰,范士杰,张俊莲,等. AMMI 模型在马铃薯产量及农艺性状分析中的应用[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):48-59.
- [ 20 ] 宋慧,刘金荣,王素英,等. GGE 双标图评价谷子‘豫谷 18’的丰产稳产性和适应性[J].中国农业大学学报,2020,25(1):29-38.
- [ 21 ] 李辛村,张恩和,董孔军,等.用 AMMI 双标图分析糜子品种的产量稳定性及试点代表性[J].中国生态农业学报,2012,20(4):422-426.
- [ 22 ] 罗俊,张华,阙友雄,等.甘蔗品种主要性状的基因型与环境及其互作效应分析[J].热带亚热带植物学报,2012,20(5):445-454.
- [ 23 ] 宿飞飞,陈伊里,吕典秋.用 AMMI 模型分析马铃薯淀粉品质性状的稳定性[J].东北农业大学学报,2009,40(11):18-22.

(责任编辑:刘洪霞)