

利用 AMMI 模型分析陇东旱地冬小麦 新品种(系)丰产稳产性

施万喜

(陇东学院农林科技学院, 甘肃 西峰 745000)

摘 要: 为了评价陇东旱地冬小麦新品种(系)在不同生态条件下的丰产稳产性, 利用 AMMI 模型对 11 个品种(系)、6 个试点组成的 2005~2006 年度甘肃省陇东片冬小麦区域试验产量资料分析。结果表明, 试点间平均产量变幅 $2\,354.56 \sim 5\,045.47 \text{ kg/hm}^2$, 品种间的平均产量变幅 $2\,994.80 \sim 3\,756.68 \text{ kg/hm}^2$; 基因型间、环境间和 GEI 引起的产量变异达到极显著水平, 三者的变异平方和分别占总处理平方和的 5.19%、79.45%、15.36%, 表明环境和 GEI 对产量变化的影响远大于基因型。IPCA1、IPCA2、IPCA3 累计解释了 88.20% 的 GEI 信息, 用显著主成分计算基因型稳定性参数 (D_i), 其最大相差达 8.09 倍。属于丰产、稳产的品种有: 陇鉴 386、宁麦 5 号、陇育 216, 丰产、稳产性较差的品种有康庄 891、静 9717、陇原 031。试点以泾川、灵台分辨力较高, 西峰、镇原较低, 灵选 3 号在泾川、灵台、平凉, 陇麦 977 在静宁、平凉等县(市)具有特殊适应性, 可在适宜区域示范种植。

关键词: 冬小麦; 基因型与环境交互作用; AMMI 模型; 适应性; 陇东旱地

中图分类号: S512.103.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)03-0037-07

农作物品种区域试验是育种工作中的重要组成部分, 旨在评价品种的特征特性。但因其受环境影响较大, 采用适当而有效的分析方法有助于充分剖析和利用区域试验数据信息, 对参试品种做出客观评定^[1,2]。基因型与环境的互作 GEI (Genotype-Environment Interaction) 在生物界普遍存在, 是生态学研究的重要领域, 也是影响作物品种稳定性的基础, 二者互作效应越大, 品种稳定性越差。国内外大量研究表明, GEI 广泛存在于不同作物、不同性状中。Gauch H G 曾总结分析得出, 对作物产量等数量性状来讲, 环境、GEI 引起的产量差异远远大于基因型引起的差异, 变异分别来自 GEI、环境、基因型的比例大致为 20%、70%、10%^[3]。之后国内外学者对不同作物经济和生物产量的大量研究也证明了这一结论, 三者对产量变异的贡献基本围绕着上述比例波动^[4~6]。品种稳定性分析 (Stability analysis) 既可针对产量, 也可针对品质、抗性指标。作物稳定性分析针对产量通常采用多变环境下的产量数据进行分析。生产上既高产又稳产的品种一般具有较广泛的适应范围, 目前 GEI 效应及机制的研究逐渐成为生物界热点研究领域^[7]。

作物稳定性分析方法有多种, 国内外通过大量比较研究后认为 AMMI 模型是一种较理想的方

法^[8~13]。该模型又称主效可加互作可乘模型 (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model, 简称为 AMMI 模型), 它将方差分析和主成分分析有效结合在一起, 通过从加性模型的互作项中分离出若干个乘积项之和, 进一步提高了估计的准确性, 并借助双标图 (Biplot) 和互作效应值, 直观而定量地描绘 GEI, 对品种的稳定性、试点的分辨力等做出评价^[10]。AMMI 属非线性模型, 更符合生物界 GEI 的实际, 它比常规的线性回归模型如 Eberhart 和 Russell 模型、Perkins 和 Jinks 模型、Shukla 模型等能更有效地分析 GEI, 具有预测精度高、对数据适应性强、应用简便、信息量大、可减少试验重复次数和节约试验成本等诸多优点, 近年国内外愈来愈广泛地应用于作物品种和植物种质资源的稳定性研究和生态环境影响评价等方面。GEI 及引起的稳定性大小取决于环境和基因两个方面, 尤其是在大范围异质环境中采用合理的 GEI 分析模型来研究现代基因型与环境的耦合状况受到高度重视^[11,12]。

我国目前已将 AMMI 模型应用到小麦、水稻、甘蔗、棉花、马铃薯、大豆、芝麻等作物具有权威性的国家区域试验分析研究领域, 但针对旱地冬小麦省级区域试验还未见应用报道。陇东旱原冬麦区位于甘肃省东部, 包括平凉、庆阳市的大部分县区, 属我国

收稿日期: 2008-12-03

基金项目: 甘肃省科技支撑项目 (0804NCKM058); 庆阳市科技攻关 (GDK031-1-1); 陇东学院科技重点项目 (Szzk0304)

作者简介: 施万喜 (1965—), 男, 甘肃西峰人, 副研究员, 主要从事小麦遗传育种教学、科研工作。E-mail: shwx65@163.com。

北部冬麦区的边缘地带。区内水、热等环境因子复杂多变,品种生态型分异明显,通过 50 多年的广泛的基因交流和杂交重组,小麦品种的遗传背景和产量水平均发生了很大变化^[13]。本文采用 AMMI 模型对甘肃陇东旱地冬小麦区域试验产量资料进行分析,科学定量地报道陇东旱地冬小麦新品种的丰产、稳产状况及品种生态差异、不同因素(基因、环境及 GEI)对产量变异的相对贡献,研究结果将为品种的合理布局和评价、选择适宜的区试地点、确定育种上高遗传获得量的产量选择环境提供直接依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

2005~2006 年甘肃省陇东片冬小麦区域试验由 6 个试点、11 个参试品种(系)组成,以西峰 20 号为统一对照(CK)。品种、试点情况详见表 1。试验采用统一设计方案,随机区组,3 次重复,小区面积 13.34 m²,密度控制在 375 万苗/hm²,大田自然干旱条件下种植,土壤肥力和施肥水平同当地大田生产条件,成熟后单独脱粒计产。

1.2 分析方法

AMMI 模型中,主效应是可加的,而 GEI 是用若干个乘积项之和估算的。AMMI 模型方程式如下

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \sum_{r=1}^N \lambda_r \gamma_{ir} \delta_{jr} + \rho_{ij} + \zeta_{ijk}$$

式中, y_{ijk} 是第 i 个基因型在第 j 个环境的第 k 次重复的单位面积籽粒产量; μ 为产量总体平均值; α_i 为第 i 个基因型与总体均值的离差(即基因型主效应); β_j 为第 j 环境与总平均的离差(即环境主效应); λ_r 为第 r 个交互效应主成分轴(IPCA; Interaction Principal Component Axes)的特征值或奇异值(Singular value),代表交互作用平方和中可由该轴解释的部分; γ_{ir} 为第 r 轴的基因型特征向量值(Eigenvector value); δ_{jr} 为第 r 轴环境特征向量值; N 为保留在模型中的主分量轴的个数,即表示能包含大部分 GEI 交互作用信息所需要的乘积项数目; ζ_{ijk} 为试验误差。乘式参数的方便取值为 $\lambda^{0.5} \gamma_i$ 和 $\lambda^{0.5} \delta_j$, 分别为基因型和环境的“互作 IPCA 得分”或“IPCA 得分”,从它们的乘积直接得出互作期望值,无需再乘奇异值 λ 。IPCA 得分值的大小表示自身互作效应大小,基因型(或品种)在 IPCA 上得分越小品种越稳定,环境(试点)在 IPCA 上得分越大则对基因型分辨力越高。

AMMI 模型分析结果常用双标图(Biplot)来直观有效地表示,在双标图上可同时给出品种和试点图

标,通常采用两种双标图(AMMI1 和 AMMI2)。AMMI1 双标图直观地进行丰产和稳产的综合分析,横坐标是品种和试点的平均产量,纵坐标是品种和试点 IPCA1 得分;AMMI2 双标图可直观地比较各品种在各试点的交互作用大小和分析互作模式^[14],横坐标对应于品种和试点的 IPCA1 得分,纵坐标对应于 IPCA2 得分,在 AMMI2 双标图上越接近坐标原点的品种(试点)越稳定。如果品种在试点图标与原点的连线或外延线上的垂直投影距离越大(离坐标原点越远),则表明该品种与该试点的交互作用越大,反之亦然。如果投影落在连线上或穿过试点图标的外延线上,则该品种与该试点有正向交互作用,表明品种在该试点有一定的特殊适应性。如投影落在穿过原点的外延线上,则该品种与该试点有负交互作用,即意味着在该试点不利于该品种高产潜力的发挥。当统计检验显著的 IPCA 轴多于 2 个以上时,用一般的方法不可能做出像双标图那样直观的坐标图来分析^[15],并且为了更全面、定量地反映 GEI 信息,需要计算出一个能度量稳定性的综合指标 $D_{i(j)}$, $D_{i(j)}$ 就是在 IPCA 多维空间中品种(试点)离原点的距离(欧氏距离),计算公式如下

$$D_{i(j)} = \sqrt{\sum_{r=1}^N S_{i(j)r}^2}$$

式中, N 为显著的 IPCA 个数; $S_{i(j)r}$ 为第 i 基因型(第 j 试点)在 r 个 IPCA 上的得分。由于 $D_{i(j)}$ 实际上是在 N 个 IPCA 上得分的累加,因此 D_i 值越小,则品种越稳定。对应 D_j 值越大,则表示试点对品种差异的分辨力越强^[16]。为进一步检验 AMMI 模型分析结果的可靠性,同时进行了 Shukla 稳定性、Ebehart and Russell 稳定性、适应度分析,并进行了结果比较与相关分析。Ebehart-Russell 模型分析中回归系数越接近 1、回归离差越接近 0 的品种越稳定;Shukla 变异系数越小,则品种越稳定;适应度从生物学机制上也与稳定性有关,适应度指各品种在各试点超过该点平均产量的试点数占试点总数的百分比,适应度越大、则品种的广适性越好。

AMMI 模型分析及相关的联合方差分析和回归分析采用唐启义先生的 DPS 统计分析软件^[17],Ebehart-Russell 稳定性、Shukla 稳定性、适应度分析采用农业部全国区域试验统一分析软件。

2 结果与分析

2.1 品种、试点产量变异及丰产性分析

从表 1 可以看出,11 个参试品种中,平均较对照西峰 20 号增产的品种有宁麦 5 号、陇育 216、陇麦

977、陇鉴 386,增幅 0.07%~5.63%,其中增幅较大的品种为宁麦 5 号、陇育 216,较对照增产 5.63%和 5.22%,但增产均不显著;其余品系较对照西峰 20 号减产,减幅 2.65%~15.79%,其中灵选 3 号较对照西峰 20 号减产 2.65%,减产不显著,陇原 031 等 5 个品系比对照西峰 20 号减产差异显著或极显著。

进一步分析表明:陇东旱地冬小麦不同生态区地点间产量相差很大。从表 1 和图 1 可见,试点间

平均产量以 e1 最高(5 045.47 kg/hm²)、e5 最低(2 354.56 kg/hm²),高低相差 2.14 倍。11 个品种(系)、两年 12 个试点共 132 个产量数据的平均值为 3 415.31 kg/hm²,可代表目前陇东旱地冬小麦品种和产区的平均产量水平,其中最高单产由品种 g⁹ 在试点 e³(灵台)获得(5 775.00 kg/hm²),说明陇东旱地冬小麦产量“低而不稳”,旱作潜力较大的特点。

表 1 2005~2006 年甘肃省陇东片冬小麦区域试验品种(系)产量(kg/hm²)
Table 1 Yield traits of winter wheat cultivars(lines) in winter wheat regional trial of east Gansu in 2005~2006

品种(系) Cultivar /line	泾川(e1) Jingchuan	静宁(e2) Jingning	灵台(e3) Lingtai	平凉(e4) Pingliang	西峰(e5) Xifeng	镇原(e6) Zhenyuan	X_i	比对照土(%) Increase	位次 Order	多重比较* Multiple comparisons	
99—14 (g ¹)	5100.00	2374.95	4425.00	2400.00	1750.05	2888.70	3156.45	—12.25	9	c	D
静 2000—10 (g ²) Jing 2000—10	4825.05	2650.05	4500.00	2912.55	2275.05	2523.75	3281.08	—7.74	8	c	CD
静 9717 (g ³) Jing 9717	4825.05	2974.95	4000.05	2475.00	1600.05	2198.70	3012.30	—15.30	10	c	D
康庄 891 (g ⁴) Kangzhuang 891	4362.45	2475.00	4075.05	2025.00	2475.00	2556.30	2994.80	—15.79	11	c	D
灵选 3 号(g ⁵) Lingxuan No. 3	5425.05	2125.05	5625.00	2715.00	2149.95	2733.75	3462.30	—2.65	6	b	ABC
陇鉴 386 (g ⁶) Longjian 386	5025.00	2824.95	5050.05	2875.05	2350.05	3227.55	3558.78	0.07	4	ab	AB
陇麦 977 (g ⁷) Longmai 977	5475.00	3025.05	4999.95	2425.05	2650.05	3007.50	3597.10	1.14	3	ab	ABC
陇育 216 (g ⁸) Longyu 216	5275.05	3124.95	4875.00	2602.50	2950.05	3625.05	3742.10	5.22	2	a	A
陇原 031 (g ⁹) Longyuan 031	5400.00	2824.95	5775.00	2374.95	1849.95	2477.55	3450.40	—2.98	7	c	BCD
宁麦 5 号 (g ¹⁰) Ningmai No. 5	5273.55	2925.00	4549.95	3199.95	2875.04	3752.55	3756.68	5.63	1	ab	A
西峰 20(CK) (g ¹¹) Xifeng 20 (Control)	4549.95	2625.00	4825.05	2912.55	2974.96	3451.20	3556.45	—	5	ab	AB
X_j	5045.47	2722.72	4790.92	2628.87	2354.56	2949.33	3415.31	—	—	—	—

注:相同字母表示无显著差异,大写字母表示在 0.01 水平上极显著,小写字母表示在 0.05 水平上显著,多重比较采用 LSD 法。
Note: Same letters indicate no significant difference for the mean grain yield based on LSD method, capital letters mean significant difference at $P<0.01$, small letters mean significant difference at $P<0.05$.

联合方差及 AMMI 分析结果(表 2)表明,环境即试点间变异平方和(SS)占整个处理平方和的 79.45%,基因型即品种间的平方和仅占 5.19%,而品种和试点的交互作用的平方和却占 15.36%。说明试点间的变异占了主要部分,而交互作用的变异又明显大于品种间的变异,方差分析中对静态的品种和试点效应已能解释得比较详细,但对二者互作得出的仅是一个模糊、定性的结论,应对其进一步分析。

对交互主成分的分析 IPCA 的显著性进行近似

F 测验表明,3 项乘积项表达的 GEI 达显著或极显著水平,将剩余的不显著的 IPCA 合并为残差。IPCA1、IPCA2、IPCA3 的平方和分别占互作平方和的 57.88%、24.62%和 5.70%,而残差仅占 11.80%,即前 3 项互作主成分解释了 88.20%的互作平方和。由此可见,主成分分析比较透彻地分析了 GEI 信息。

2.2 品种稳定性和地点分辨力

AMMI 模型双标图(图 1)分析,试点图标比品种图标分散,表明试点间的产量变异大于品种间的变异,即同一品种在各地产量差异较大,同一试点各品

种产量差异相对较小。纵坐标方向反映的是 GEI 的差异,图标越接近 IPCA2 上的 0 值表示 GEI 越小、则品种的稳定性越好,或者试点对品种差异的分辨力越低。在 AMMI 模型双标图上,品种以 g⁶、g⁷、g¹、g²、g⁸ 稳定性较强,g⁹、g⁵、g³、g¹¹ 最差,试点以 e¹ 分辨力最高、e⁴、e⁶ 最低。综合产量及性状表现,g⁶、

g⁸、g¹⁰ 属于丰产、稳产型品种,g¹、g² 属稳产但丰产性较差的品种,g⁹、g⁵、g³、g¹¹ 丰产、稳产性均较差。利用 IPCA1、IPCA2 所做的 AMM 模型双标图,代表了大部分 GEI 变异信息(82.50%),据此推断不会犯很大错误。

表 2 产量联合方差分析、回归模型及 AMMI 模型分析结果
(品种固定、试点和区组随机的混合模型)

Table 2 The analysis results of combined ANOVA, regression model and AMMI model

模型 Model	变异来源 Source of variation	自由度 Degree of freedom (DF)	平方和 Sum of squares (SS)	均方 Mean Square (MS)	F 检验 F test
方差分析 Analysis of variance (ANOVA)	总方差 Total	197	274609990.45681		
	地点内区组 Location within the block	12	2199975.26895	183331.27241	
	处理 Treatment	65	255483829.11970	3930520.44615	62.14 **
	基因型 Genotype	10	13250422.65123	1325042.26512	2.68 *
	环境 Environment	5	202981902.22159	40596380.44712	221.44 **
	基因型×环境 GEI	50	39251504.24688	785030.08494	5.57 *
	误差 Error	120	16926186.06816	141051.55057	
回归分析 Regression analysis	GEI 回归 GEI Regression	20	23309990.5200	1165499.52600	20.55 **
	残差 Residues	72	20671123.6700	287098.94000	5.06 *
AMMI analysis	IPCA1	14	12367603.51724	2698530.43156	25.69 **
	IPCA2	12	5260718.70412	438393.22534	4.17 *
	IPCA3	10	1217956.80800	121795.68080	1.16 *
	残差 Residues	24	2521384.26923	105057.67788	

注: * 表示达到 5% 显著水平; ** 表示达到 1% 极显著水平。
Note: * and ** indicate significant level at $P<0.05$ and 0.01 respectively.

表 3 品种(系)稳定性参数及相关指标
Table 3 Stability parameter estimation and related indexes of cultivar(line)

品种/系 Cultivar/ line	AMMI 模型 AMMI model				Ebehart-Russell 模型 Ebehart-Russell model		Shukla 变异系数 SCV (%)	适应度 APS (%)
	IPCA1 得分 IPCA1 score	IPCA2 得分 IPCA2 score	IPCA3 得分 IPCA3 score	稳定参数 D_i	回归系数 B_i	回归离差 S^2_{di}		
g ¹	1.4406	−2.9771	−2.1268	3.9321	1.049	336.3273	9.18	25.00
g ²	4.5394	2.2641	−1.8945	5.4149	0.927	348.9178	9.48	16.67
g ³	20.5501	6.1616	−14.5878	25.9436	1.029	723.0884	13.32	16.67
g ⁴	5.7036	−6.6348	9.0926	12.6233	0.858	389.5007	11.02	15.00
g ⁵	−15.2300	−17.1508	10.5962	25.2662	1.207	681.0699	12.72	66.67
g ⁶	−1.4906	−0.5071	2.9568	3.3487	1.025	44.5510	3.94	83.33
g ⁷	−1.4741	2.2794	3.6875	3.8792	1.139	144.8307	7.03	75.00
g ⁸	2.1179	7.4562	6.6871	10.0095	0.869	297.4985	7.80	88.33
g ⁹	−0.6361	−21.7313	16.3542	27.2050	1.242	995.9613	16.39	33.33
g ¹⁰	1.0160	−10.3516	13.4568	17.0071	0.865	231.3556	7.44	91.67
g ¹¹	12.9414	−8.6099	15.9563	22.2706	0.791	436.1261	10.84	58.33

注: D_i : 基于 IPCA1~IPCA3 计算的稳定参数; B_i : Ebehart-Russell 模型分析的回归系数; S^2_{di} : Ebehart-Russell 模型分析的回归离差; APS: 适应度。
Note: D_i : Stability parameters of genotypes based on IPCA1~IPCA3; B_i : Coefficient of variation by Ebehart-Russell model analysis; S^2_{di} : Deviation from regression by Ebehart-Russell model analysis; APS: Adaptation percentage to all sites.

为了更全面准确地评判,利用 3 个 GEI 显著的主成分(IPCA1~IPCA3)上的得分,计算品种稳定性

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

参数 D_i , 其结果(表 3)与图 1 所示基本一致。从表 3 可见, 品种仍以 g^6 的 D_i 最小(3.3487), 即最稳定; g^9 的 D_i 最大(27.2050), 最不稳定, 品种间 D_i 最大相差 8.09 倍。综合产量与品种适应度分析, 属于高产、稳产、广适性好的品种有 g^6 、 g^7 、 g^8 , 丰产、稳产性较差的品种有 g^3 、 g^5 、 g^9 。

表 3 中各品种的 D_i 、SCV、 S^2_{di} 、回归系数的绝对值($|B_i-1|$)、APS 及平均产量共 6 个指标相关分析表明(表 4): D_i 与 SCV、 S^2_{di} 极显著正相关, 相关系数分别为 0.80904^{**} 和 0.84518^{**}, 且 3 种稳定性参

数所表征的品种稳定性大小趋势一致, 证明 AMMI 稳定性分析模型具有高度可靠性。品种产量与 D_i (-0.77900^{**})、SCV (-0.43337^{*})、 S^2_{di} (-0.34859^{*})、APS (0.91999^{**}) 极显著或显著相关, 表明品种稳定性越好、适应度越高、则产量越高。6 项指标所有相关中, 相关系数达到显著或极显著的还有: D_i 与 APS (-0.689^{*}), SCV 与 APS (-0.81534^{**}), S^2_{di} 与 APS (-0.75628^{**}), SCV 与 S^2_{di} (0.90511^{**}), 相关分析结果也符合生产实际。

表 4 D_i 、SCV、 S^2_{di} 、($|B_i-1|$)、APS 及平均产量 6 个指标相关分析
Table 4 Six related indexes of D_i , SCV, S^2_{di} , ($|B_i-1|$), APS and average value

相关系数 Correlation coefficient	$X_{(1)}$	$X_{(2)}$	$X_{(3)}$	$X_{(4)}$	$X_{(5)}$	$X_{(6)}$
$X_{(1)}$	1.00000	-0.77900^{**}	0.31642	-0.34859^{*}	-0.43337^{*}	0.91999^{**}
$X_{(2)}$	-0.07790	1.00000	0.60248	0.84518 ^{**}	0.80904 ^{**}	-0.68965^{*}
$X_{(3)}$	0.31642	0.60248	1.00000	0.50743	0.52851	0.18515
$X_{(4)}$	-0.34859	0.84518	0.50743	1.00000	0.27561	-0.75628^{**}
$X_{(5)}$	-0.43337	0.80904	0.52851	0.90511 ^{**}	1.00000	-0.81534^{**}
$X_{(6)}$	0.91999	-0.14865	0.18515	-0.48228	-0.58264	1.00000

注: $X_{(1)}$: 平均产量(kg/hm²); $X_{(2)}$: D_i , 基于 IPCA1~IPCA3 计算的稳定参数; $X_{(3)}$: B_i , Ebehart-Russell 模型分析的回归系数; $X_{(4)}$: S^2_{di} Ebehart-Russell 模型分析的回归离差; $X_{(5)}$: SCV, Shukla 变异系数; $X_{(6)}$: APS, 适应度。

Note: $X_{(1)}$: Average value(kg/hm²); $X_{(2)}$: D_i , Stability parameters of genotypes by AMMI model analysis; $X_{(3)}$: B_i , Coefficient of variation; $X_{(4)}$: S^2_{di} Deviation from regression by Ebehart-Russell model analysis; $X_{(5)}$: Shukla variation coefficient; $X_{(6)}$: APS, Adaptation percentage to all sites.

2.3 品种的特殊生态适应性

品种的特殊适应性指某品种在某些环境下产量表现好, 而在其它环境下则表现较差, 即该品种具有局部推广价值。特殊适应性大小取决于品种与试点正向交互作用的大小^[18], 反映在 AMMI 双标图与稳定性参数图上, 若品种在试点与原点连线或穿过试点外延线的垂直投影距原点越远, 则表明该品种在该试点特殊适应性越好。从图 1 中可看出, 品种 g^5

在试点 $e1$ 、 $e3$ 、 $e4$, g^3 在试点 $e2$ 、 $e4$ 均有特殊适应性。

图 2 所示的结果和品种在各试点与最优品种差异显著性分析结果有很大一致性(见表 5), 即在某试点有特殊适应性的品种往往也是该试点统计学上的最优品种, 这进一步表明了 AMMI 双标图的可靠性。当然图 1 和表 5 结果也有个别不尽一致之处, 这与分析方法本身的差异有关。最优品种的差异比较是基于两品种间的总体差异, 包括基因型主效差

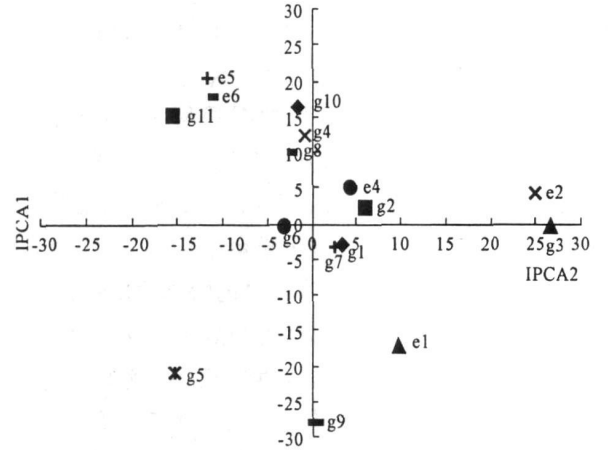


图 1 品种与试点 AMMI 模型双标图

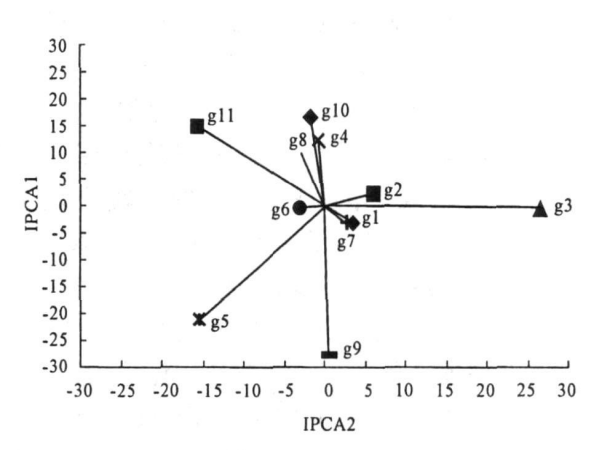


图 2 IPCA1、IPCA2 和 D_i 直线坐标图

异和不同品种对同一环境的反映差异,而特殊适应性只是反映了 GEI 正向效应的大小,并且 AMMI 双标图只利用了部分(85.23%)GEI 信息,也没有按两个主成分轴的贡献大小进行合理的权重分配。品种

在各点与最优品种的差异分析更进一步表明:g⁸、g¹⁰、g⁶ 分别在 66.67%、66.67%、50%的试点为最优品种,是丰产、稳产、广适性的优良品种,品种 g⁵ 在试点 e¹、e³、e⁴、g³ 在试点 e²、e⁴ 均有特殊适应性。

表 5 品种在各点与最优品种的差异
Table 5 Difference comparisons between the cultivar and the superiority of cultivars in each site

试点 Site	品种(系) Cultivar/line										
	g ¹	g ²	g ³	g ⁴	g ⁵	g ⁶	g ⁷	g ⁸	g ⁹	g ¹⁰	g ¹¹
e ¹	—	—	—	—	—	—	+	+	—	+	—
e ²	—	+	+	—	—	+	+	+	—	+	+
e ³	—	—	—	—	+	+	—	—	+	—	—
e ⁴	—	—	—	—	+	+	—	—	—	+	—
e ⁵	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	+
e ⁶	—	—	—	—	—	—	—	+	—	+	—
比例(%) Proportion	0.00	16.67	16.67	0.00	33.33	50.00	33.33	66.67	16.67	66.67	33.33

注: +表示与最优品种差异不显著(LSD 法);—表示与最优品种差异显著(LSD 法)。
Note: + means no significant difference between the cultivar and the superiority of cultivars based on LSD method; — means significant difference between the cultivar and the superiority of cultivars based on LSD method.

3 讨 论

1) 陇东旱地冬小麦丰产、稳产性分析结果表明:2005~2006 年度甘肃省陇东片冬小麦区域试验中,试点间平均产量235 4.56~5 045.47 kg/hm²,品种间的平均产量变幅为2 994.80~3 756.68 kg/hm²;基因型间、环境和 GEI 引起的产量变异达到极显著水平,三者的变异平方和分别占总处理平方和的 5.19%、86.45%、8.36%,环境和 GEI 对产量变化的影响远大于基因型。属于丰产、稳产的品种有:陇鉴 386、宁麦 5 号、陇育 216 应进一步扩大示范推广。灵选 3 号在泾川、灵台、平凉,陇麦 977 在静宁、平凉等县(市)具有特殊适应性,可在适宜区域示范种植。

2) AMMI 模型分析把方差分析和主成分分析综合在一起,兼具这两种分析方法的优点;利用基因型稳定性参数 D_i 和试点分辨力 D_j 计算,可直观形象地描绘和定量化地分析 GEI 效应以及评价品种的稳定性;从 GEI 效应中选取显著的 IPCA 轴,将不显著 IPCA 轴上的变异归结为参差,提高了相应参数的估计精度,使品种在各个试验点的适应性和稳定性更加形象化和定量化。但在应用中仍有不少需要注意和改进完善的地方。(1)各个互作效应主成分特征值(IPCA)所代表的变异信息比例不同,在计算稳定性参数 $Di_{(j)}$ 时应进行合理的权重,为此吴为人提出了权重分配的构造公式^[19];(2)稳定性分析模型本身只对 GEI 总体信息进行数学量化处理,要揭示具

体的互作机制还需借助其它方法。为确定何种环境因子为主要影响互作,有人对试点 IPCA 得分与具体环境因子进行相关分析^[9,20]、有人采用 PLS 法(Partial least squares)和因子回归法(Factorial Regression)^[21],还有人在 AMMI 分析基础上进行聚类分析。作者认为在揭示环境因子对互作影响的因果机制上,通径分析法应是一个值得采用的数学方法,但无论如何,利用数学方法揭示 GEI 互作机制仍然是有限的,还必须强化实验生物学的研究,进行环境调控条件下不同生物结构水平上的变化研究,环境→基因调控→生理生化代谢→互作表现连锁反应体系的追踪研究等。另外,我国旱地冬小麦区生态类型复杂,气候条件多变,年际之间环境因子差异较大,采用多年多点试验资料进行分析所得出的结论更可靠。

3) 品种稳定性和适应性密切相关,但并不等同,生产上适应性好坏的判定既要考虑稳定性、也要考虑丰产性,在高产前提下的稳产品种才具有广泛适应性。但有些多变环境下稳定性差的品种却在某些环境下丰产性突出,具有明显的特殊适应性,局部推广价值较大。品种生育期的长短和发育节律是否与当地气候因子的时空变化相吻合,是我国旱地冬小麦品种首要考虑的适应性特性。生育期偏晚、抗寒、抗旱性较差的品种,由于成穗不足,灌浆后期容易遭受高温干旱的危害,青干逼熟,一般很难在生产上发挥作用。生产实际和育种目标期望的是集高

产、稳产及适应性于一体的遗传类型。这就需要在兼顾品种高产性的同时,综合考察品种的稳产性和适应性,因而对区域试验新品系(种)做出全面、客观地评价,可以大大提高科技成果转化效率,加速丰产性好、稳产性强、适应性广的优良新品种在农业生产中的应用步伐。

致谢:我院乔岩老师参与了论文的部分计算和修改工作,在此深表谢意!

参 考 文 献:

[1] 胡秉民,耿旭.作物稳定性分析法[M].北京:科学出版社,1993,75—89.

[2] 黄英姿,毛盛贤.基因型与环境互作研究进展[J].作物学报,1992,18(2):116—125.

[3] Zobel R W, Wright M J, Gauch H G. Statistical analysis of a yield trial[J]. Agron, 1998, 24(3):388—393.

[4] 王磊,张群远,张晓冬.产量区域试验统计分析—因子设计的 AMMI 分析[M].北京:中国农业科技出版社,2001,123—159.

[5] 张群远,孔繁玲.作物品种区域试验统计分析模型的比较[J].中国农业科学,2002,35(4):365—371.

[6] 南志标,张吉宇.五个箭豌豆品系基因型与环境互作效应及农艺性状稳定性[J].生态学报,2004,24(3):395—401.

[7] 吴元奇,潘光堂,荣廷昭.作物稳定性研究进展[J].四川农业大学学报,2005,23(4):482—489.

[8] 张泽,鲁成,向中怀.基于 AMMI 模型的品种稳定性分析[J].作物学报,1998,24(3):304—309.

[9] 李本贵,阎俊.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.

[10] 王磊,杨仕华,谢美贤,等. AMMI 模型及其在作物区试中的应用[J].应用基础工程科学学报,1997,5(1):3—9.

[11] 李伟,郑有良,兰秀锦,等.小麦新品种川农 16 产量评价和分析[J].四川农业大学学报,2003,21(4):284—288.

[12] Eberhart S A, Russell W A. Stability parameters for comparing varieties [J]. Crop Sci, 1966, 28(5):36—40.

[13] 施万喜.陇东旱地“西峰号”小麦品种遗传基础及育种目标与策略[J].干旱地区农业研究,2008,26(4):180—184.

[14] Gauch H G, Zobel R W. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials[J]. Theor Appl Genet, 1988, (7):1—10.

[15] 伍玲,朱华中.小麦品种区域试验精确度及精度分析[J].西南农业学报,2002,15(2):13—15.

[16] 高海涛,王书子,王翠玲,等. AMMI 模型在旱地小麦区域试验中的应用[J].麦类作物学报,2003,23(4):43—46.

[17] 唐启义,冯明光.实用统计分析及其计算机处理平台[M].北京:中国农业出版社,2002,56—85.

[18] 王磊,杨仕华,谢美贤,等. AMMI 模型及其在作物区试中的应用[J].应用基础工程科学学报,1997,5(1):3—9.

[19] 吴为人.对基于 AMMI 模型的品种稳定性分析方法的一点改进[J].遗传,2000,22(1):31—32.

[20] Yan W K, Hunt L A. Interpretation of genotype $\times$ environment interaction for winter wheat yield in Ontario[J]. Crop Sci, 2001, 45(4):19—25.

[21] Mateo Vargas, Jose Grossa, Fred Avan Eeuwijk. Using partial least squares regression, factorial regression, and AMMI models for interpreting genotype $\times$ environment interaction [J]. Crop Sci, 1999, 39:955—967.

Analysis on high yield and stability of winter wheat cultivars in dryland of east Gansu by AMMI model

Shi Wan-xi

(College of Agriculture and Forestry, Longdong University, Xifeng, Gansu 745000, China)

Abstract: To evaluate high yield and stability characters of winter wheat cultivars under different ecological conditions in dry land, the yield data of 11 winter wheat genotypes at 6 sites grown in winter wheat regional trial of east Gansu Province were used for AMMI model analysis in 2005~2006. The average yield ranged from 2 354.56 kg/hm² to 5 045.47 kg/hm² in 6 sites, and cultivars (lines) ranged from 2 994.80~3 756.68 kg/hm². Highly significant variations existed in genotypes, environments and GEI. The three variances were 5.19%, 79.45% and 15.36% of total variance. The results showed that the environment and the GEI had greater effects on yield than genotypes. IPCA¹, IPCA² and IPCA³ accounted for 88.20% of total GEI variance. Based on calculation of genotype stability parameter (D (subscript i)) and site discrimination parameter (D(subscript i)) by using principal component analysis, the results showed that the difference of D (subscript i) among the genotypes was up to 8.09 times; Genotypes Longjian 386, Ningmai No. 5 and Longyu 216 had high and stabile yield. Kangzhuang 891, Jin 9717 and Longyuan 031 were low in yield and stability. The resolving ability of sites was high in Jingchuan and Lingtai but low in Xifeng and Zhenyuan. Lingxuan No. 3 had specific adaptability in Jingchuan, Lingtai and Pingliang; Longmai 977 had specific adaptability in Jinchuan and Jingning; These cultivars can be widely planted in certain dryland.

Keywords: winter wheat; genotype-environment interaction; AMMI model; adaptability; Longdong dryland

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>