



穆兰海,常克勤,杜燕萍,等. AMMI 模型和 GGE 双标图对宁夏不同气候类型区苦荞品种稳产性适应性分析[J]. 黑龙江农业科学, 2024(2):8-14.

AMMI 模型和 GGE 双标图对宁夏不同气候类型区苦荞品种稳产性适应性分析

穆兰海,常克勤,杜燕萍,杨崇庆,陈一鑫

(宁夏农林科学院 固原分院 / 宁夏旱作农业工程技术研究中心,宁夏 固原 756000)

摘要:为准确评价参试苦荞新品种的丰产性、稳产性和生态适应性,利用 AMMI 模型和 GGE 双标图对 5 个参试品种在宁夏南部山区的半干旱区、半干旱易旱区和干旱区的 6 县(区)多年多点试验数据进行了品种的丰产性、稳产性、适应性和试点代表性分析及综合评价。通过主成分 PCA 与品种的稳定性(Dg)和试点的稳产性(De)分析,筛选出适宜在宁夏南部山区种植的丰产性稳定性和适应性好的品种为晋苦荞 2 号和川荞 3 号,晋苦荞 2 号产量为 1 671~2 593 kg·hm⁻²,比对照平均增产 17.3%。川荞 3 号的产量为 1 474~2 513 kg·hm⁻²,与对照相比平均增产 7.5%;试点辨别力代表性以半干旱易旱区的海原县,中部干旱带的同心县及半干旱区的西吉县比较理想;试验经历了干旱年份、正常年份和丰水年份,参试品种在干旱年份较丰水年份产量减产 28.0%~45.3%。

关键词:苦荞品种;AMMI 模型;GGE 双标图;丰产性;稳定性;生态适应性

宁南山区 8 县(区)气候类型区由南向北为阴湿区、半干旱区、半干旱易旱区和中部干旱带,适宜苦荞种植,是我国北方重要苦荞种植区,连同甜荞每年种植面积在 5.85 万 hm²左右,面积和产量分别占全国的 15.1%和 6.7%^[1]。筛选高产、稳产和适应性广的苦荞品种并在生产中推广应用,不断推动苦荞特色产业快速发展是育种者追求的目标。要对选育或引进苦荞品种(系)进行多年多点试验资料统计分析和综合评价丰产稳产性及生态适应性,并进行品种间差异显著性比较,由于品种(品系)基因型与试点环境普遍存在互作^[2],因而对参试品种的丰产稳定性和适应性评价具有重要意义。

近年来,国内外应用 AMMI(Additive Main Effects and Multiplicative Interaction)和 GGE(Genotypemain Effects and Genotype×Environmentinteraction)等模型来分析多点试验,AMMI 模型能较客观地分析基因型(G)与环境(E)的互作效应(G×E)^[1-3],而 GGE 双标图能够同时考虑基因型和环境互作对品种、试点和划分生态区域进行有效评价,是利用多点试验数据进行品种和试验点评价的理想方法^[4-5]。GGE 双标图法已在燕麦、花生、油菜、大豆和马铃薯等作物品种试验中广泛应用^[6-8]。但采用 AMMI 模型和 GGE 双

标图进行荞麦品种丰产性、稳定性和试点代表性辨别力综合性评价的文献相对较少。

本研究拟利用 R 语言支持下 GGE-Biplo 软件进行双标图分析与 AMMI 模型评估 5 个苦荞品种在 6 个试点的丰产稳定性、适应性和试点代表性,为科学布设试验点和合理优化品种种植区域,筛选适合各区域大面积推广应用的苦荞品种提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

2017—2019 年在宁南山区 6 县(区)布设试验点。其中原州区头营、西吉县马建和彭阳县城阳代表半干旱区,海原县树台代表半干旱区易旱区,同心县预旺和盐池县花马池代表中部干旱带,每个试点参试品种和田间设计相同。由表 1 和图 1 可以看出,宁南山区半干旱区(原州区、西吉县和彭阳县)、半干旱区易旱区(海原县)和中部干旱带(同心县、盐池县)多年年均降水量分别为 416.6~450.0 mm、350.0 mm 和 215.1~255.6 mm,多年平均气温分别为 6.2~7.2 °C、7.1 °C 和 8.6 °C;苦荞品种生育期降水量为 280.9~391.9 mm、345.1 mm 和 210.6~251.2 mm,生育期平均气温分别为 16.7~19.4 °C、18.7 °C 和 21.3~22.0 °C。

收稿日期:2023-08-23

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFD1602503);宁夏农林科学院科技成果转化院地合作项目(NNKZZCGZH-2021-04);宁夏科技攻关项目(YES-16-18)。

第一作者:穆兰海(1966—),男,高级农艺师,从事荞麦和燕麦作物新品种选育及高效节水种植技术与示范。E-mail:gymhlhai@163.com。

通信作者:常克勤(1965—),男,学士,研究员,从事荞麦和燕麦作物新品种选育。E-mail:nxgchqk@163.com。

表1 宁南山区不同气候类型区苦荞作物生长期降水量及平均气温

气候类型区	试验地	编号	降水量/mm		平均气温/℃	
			年均值	生育期	年均值	生育期
半干旱区	原州区	E1	450.0	391.9	6.2	18.5
	西吉县	E2	416.6	280.9	5.9	16.7
	彭阳县	E3	418.3	297.5	7.2	19.4
半干旱偏旱区	海原县	E4	350.0	345.1	7.1	18.7
中部干旱带	同心县	E5	215.1	210.6	8.6	22.0
	盐池县	E6	255.6	252.2	8.6	21.3

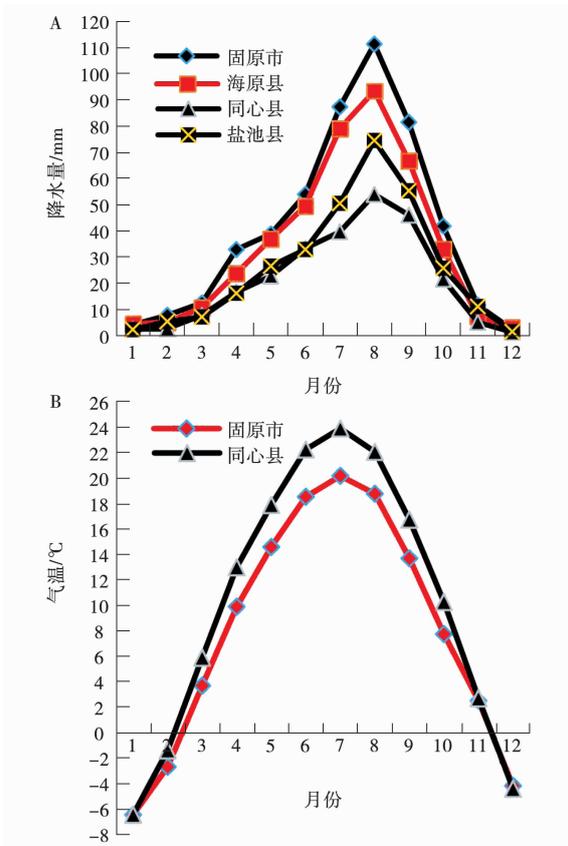


图1 宁南山区各市县各月降水量(A)和平均气温变化(B)

1.2 材料

参试品种名称及选育单位见表2。2021—2022年完成品种生产示范和品种审定。

表2 参试品种名称及选育单位

品种(系)	编号	选育单位
晋苦荞2号	KV1	山西省农业科学院
川荞3号	KV2	四川省凉山州西昌农业科学研究所
云荞2号	KV3	云南省农业科学院
黔黑荞5号	KV4	贵州省威宁县农业科学研究所
固原当地苦荞(CK)	KV5	宁夏农林科学院固原分院

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验采用随机区组设计,6个试验点统一田间设计方案,小区面积 10 m^2 (长 $5\text{ m}\times$ 宽 2 m),每个小区种植7行区,平均行距 30 cm ,留苗密度控制在每小区 $1\ 050$ 株左右,3次重复,随机排列。播种前整地结合旋耕统一基肥磷酸二铵肥料 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。5月下旬播种,6月中旬定苗并调查基本苗,其他田间管理同大田。每小区收获全部植株进行脱粒,各试验点品种考种样取中间 1 m 行长植株,其中选代表性15株进行考种,并计算样段内平均株高,主茎分枝数、节间数、单株粒重、粒数及千粒重等。

1.3.2 方差分析和AMMI模型分析 本研究采用DPS 9.5和Excel 2010软件进行数据分析。利用AMMI模型分析其品种及试验点间的稳定性和丰产性参数及综合评价^[9-12]。利用AMMI模型和R语言软件包GGE作图进行产量数据方差分析和主成分特征值分析^[13-14],计算品种的丰产性稳定性参数(Dg)和试点稳定性参数(De)。AMMI模型的主要特点是将方差分析和主成分分析有机结合在一起,公式如下:

$$y_{ge} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_{i=1}^n \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{gn} + \theta_{ge} \epsilon_{ger} \quad (1)$$

式中, y_{ge} 表示在某试点 e 中某一基因型 g 的平均产量; μ 为总体平均值; α_g 为基因型平均偏差(基因型平均值减去总的平均值); β_e 为环境的平均偏差(各个环境的平均值减去总的平均值); λ_n 为第 n 个主成分特征值的平方根; γ_{gn} 为第 n 个主成分的环境得分; δ_{gn} 为第 n 个主成分的基因型主成分得分; θ_{ge} 为残差。3次重复,则误差项为 ϵ_{ger} ,它等于 γ_{gn} 平均值与 r 个重复的单个观察值之间的偏差,并满足可加性。

1.3.3 品种稳定性与适应性分析 采用 GGE 运用 R 语言支持下的 GGE-Biplo 软件包功能进行双标图分析^[11-13], 分别评价各品种的丰产性和稳产性、各试点的区分力与代表性、品种生态适应性等。

稳定性参数是品种或试验点的交互效应主成分值(Interaction Principal Component Axis, IPCA)在多维空间中图标与原点的欧氏距离^[14], 公式如下:

$$D_{g(e)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (IPCA)_2 z_{g(e)i}} \quad (2)$$

式中, n 表示达到显著水平的 IPCA 个数; $D_{g(e)}$ 用来度量品种基因型或在环境相对稳定性条件下的参数, 即为基因型或环境在 n 个 IPCA 上的

欧式距离。

2 结果与分析

2.1 苦荞品种产量的方差和 AMMI 模型分析

宁南山区苦荞多年多点品种区域试验中, 苦荞品种产量受制于基因(Genotype, G)、环境(Environment, E)以及基因与环境互作效应(G×E)的影响^[15-17]。由表 3 可知, 环境及基因和交互作用变异占总平方和的比例从小到大排序为: 环境(56.3%)>基因(24.0%)>基因与环境互作效应(19.8%)。相同的苦荞品种在不同气候类型区种植, 其产量表现差异显著, 其中处理和环境(地点)达到极显著。由此也可以看出, 品种对生态环境的适应性至关重要。

表 3 参试品种产量的方差分析和 AMMI 分析

变异来源	df	SS	MS	F	P	变异占总平方和的百分比/%
总的	269	65801570.1	244615.5			
处理	29	13116416.1	452290.2	2.06**	0.0018	
基因(G)	4	3142772.5	785693.1	3.58	0.0073	24.0
环境(E)	5	7379458.1	1475891.6	6.72**	0.0001	56.3
G×E	20	2594185.5	129709.3	0.59	0.9170	19.8
PCA1	8	1528321.3	191040.2	512.57**	0.0001	58.9
PCA2	6	658785.6	109797.6	294.59**	0.0001	25.4
PCA3	4	406333.2	101583.3	272.55**	0.0001	15.7
误差	240	52685154.0	219521.5			

注: ** 表示在 0.001 水平下显著。

AMMI 模型主成分分析中, 基因型和环境互作效应可以进一步分解达到显著水平的 3 个互作效应主成分轴 PCA1 (Interaction Principle Component Axis)、PCA2 和 PCA3 的变异平方和分别占互作量的 58.9%、25.4% 和 15.7%, 且 F 值均达到极显著。说明此 AMMI 模型可以较好地解释品种和试点互作效应。

2.2 参试品种与试点 GGE 双标图分析

2.2.1 品种的丰产性稳产性 由表 4 和图 2 可知, 参试品种在所有试验点的平均产量依次为 KV1 (晋苦荞 2 号) $2\ 188\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ > KV2 (川荞 3 号) $2\ 004\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ > KV4 (黔黑荞 5 号) $1\ 956\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ > KV3 (云荞 2 号) $1\ 944\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ > KV5 (固原当

地苦荞) $1\ 865\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 根据参试品种的互作效应达到显著的主成分 PCA1、PCA2 和 PCA3 可分别计算出各参试品种的稳产性参数 D_g 值, 其 D_g 值越小, 表示品种的稳定性越好。其品种的稳定性参数 D_g 值依次为 KV1 (晋苦荞 2 号) 7.80 < KV3 (云荞 2 号) 11.80 < KV2 (川荞 3 号) 12.97 < KV5 (固原当地苦荞) 14.76 < KV4 (黔黑荞 5 号) 17.57 , 苦荞品种的丰产性稳定性与品种在多年多点平均产量排名基本一致。因此, 依照不同苦荞麦品种在不同气候资源类型和生产条件下对产量的影响程度看, 新品种(系)选育应重点考虑既有丰产性又具备稳产性作为理想目标。

表4 参试品种主成分PCA和稳产性Dg值分析

品种(系)编号	平均产量/(kg·hm ⁻²)	交互主成分值			稳产性参数	Dg位次	产量位次
		PCA1	PCA2	PCA3	Dg值		
KV1	2188	3.6890	-1.0899	6.7869	7.80	1	1
KV2	2004	-0.6650	7.0754	-10.8485	12.97	3	2
KV4	1956	-17.0829	-3.7118	1.7834	17.57	5	3
KV3	1944	5.1088	8.9365	5.7733	11.80	2	4
KV5(CK)	1865	8.9504	-11.2101	-3.4952	14.76	4	5

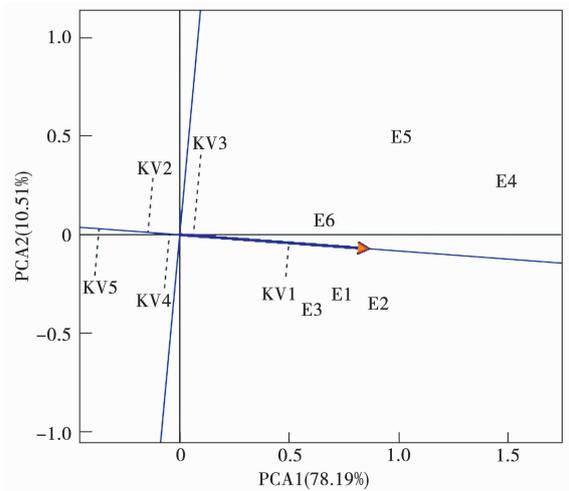


图2 苦荞品种与试点GGE双标图的丰产性与稳产性功能图

2.2.2 试点代表性与稳定性 参试地点交互主成分值(PCA)与试点辨别力的稳定性(De),其值越大,表明试点的稳定性较好。由表5可知,苦荞品种的区试点稳定性De值依次为E4(海原县)18.32>E5(同心县)14.65>E2(西吉县)11.96>E3(彭阳县)9.20>E6(盐池县)8.54>E1(原州区)6.64。说明苦荞品种在代表试点E2(或E3)、E4和E5的稳定性和代表性比较好。各参试地点苦荞的产量依次表现为E₁>E₃>E₂>E₄>E₅>E₆。

另外,苦荞品种的生产能力在半干旱区试点E1、E2和E3平均产量为2139 kg·hm⁻²;半干旱易旱区的试点E4平均产量为1987 kg·hm⁻²;中部干旱带E5和E6平均产量为1772 kg·hm⁻²左右,较半干旱区和半干旱易旱区分别减产17.2%和10.8%。

表5 参试地点苦荞产量主成分PCA与稳定性De值分析

试验地编号	平均产量/(kg·hm ⁻²)	交互主成分			稳定性参数	De位次	产量位次
		PCA1	PCA2	PCA3	De值		
E1	2177	-5.3170	-3.7111	1.4387	6.64	6	1
E2	2115	-0.5871	-1.7286	11.8246	11.96	3	3
E3	2124	-3.8959	-7.5946	-3.4425	9.20	4	2
E4	1987	18.2372	0.3600	-1.7243	18.32	1	4
E5	1779	-4.4443	13.9419	-0.6580	14.65	2	5
E6	1765	3.9929	-1.2676	-7.4386	8.54	5	6

2.2.3 试点代表性与辨别力 利用R语言的GGE-Biplot软件包对参试品种在6个试点进行代表性和辨别力GGE双坐标图分析(图3)。图中带箭头的直线是平均环境轴,试点线段和平均环境之间的夹角表示该试点的代表性^[18-21],角度越小,代表性越强。如果一个试验点和平均环境轴夹角为钝角,则表示该试点不适合作为试验点。各试点线段的长短表示该试点的辨别力。

由图3可知,通过试点代表性和辨别力GGE双坐标图分析,试点E1、E2和E3环境轴线段均

同处于半干旱区,为了减少设置试点费用成本,半干旱区的苦荞试点以选择原州区或西吉县比较好,半干旱易旱区的试点选择E4(海原县),而中部干旱带的E5(同心县)与E6(盐池县)虽然处于相同气候环境,但试点E6却与平均环境轴的夹角最小,而且试点E6亦是宁夏荞麦杂粮作物规模化种植和产业化经营的重要基地。因此中部干旱带苦荞试点选择盐池县荞麦品种试验点比较理想。

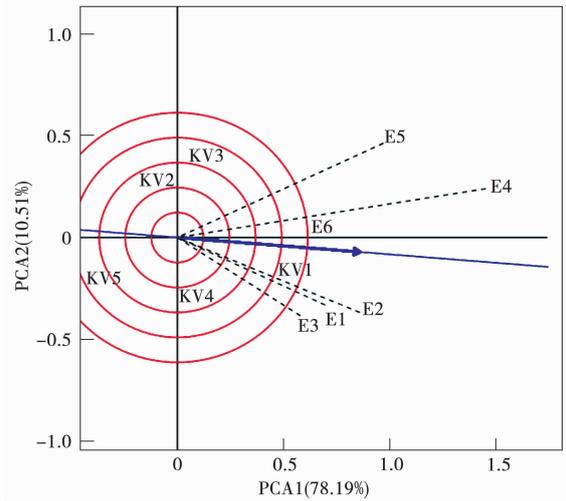


图3 苦荞品种与试点 GGE 双标图的代表性与辨别力功能图

2.2.4 参试品种生态适应性 利用 R 语言中的 GGE-Biplot 软件包对 5 个品种在 6 个试点数据进行生态适应性分析(图 4)可以看出,在 GGE 双标图的横坐标品种基因与环境试点的互作成分(PCA1)与纵坐标互作成分(PCA2)可以解释 78.19% 和 10.51%,使基因(G)与环境(E)互作变异信息达到 88.7%。

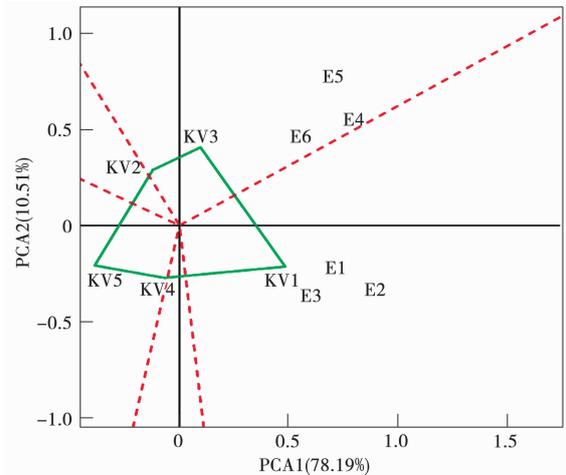


图4 苦荞品种与试点 GGE 双标图的产品适应性功能图

从参试品种在不同生态类型区适应性定位看,以中心圆点为坐标轴,围绕纵横坐标距离原点将所有品种与试点形成散状分布点,以最远的品种与试点连成一个多边形,过原点形成多边扇形图^[22-23],将双标图内的品种和试点分成若干个区域,处于多边形顶端的品种则是各区域内表现最好的品种。由图 4 看出,第一扇区为品种 KV3(云荞 2 号)和 KV2(川荞 3 号)适合在试点 E4(海原县)、E5(同心县)和 E6(盐池县)推广种植;第二扇区品种 KV1(晋苦荞 2 号)生态适应性最好,适合在试点 E1(原州区)、E2(西吉县)、E3(彭阳县)地区进行大面积种植。

2.2.5 不同降水年份苦荞品种产量差异及适应性 苦荞品种在不同试点和不同降水年份条件下的适应性差异明显(表 6),对品种×年份产量交互效应差异及适应性进行了分析。由表 6 可知,品种 KV1(晋苦荞 2 号)在干旱年、正常年和丰水年的产量最高,分别为 1 671~2 593 kg·hm⁻²,平均产量 2 187.6 kg·hm⁻²,较 KV5(CK)品种增产 17.3%。产量排第二位的品种 KV2(川荞 3 号)产量为 1 474~2 513 kg·hm⁻²,平均产量 2 004.7 kg·hm⁻²,较对照品种增产 7.5%。而品种 KV3(云荞 2 号)、KV4(黔黑荞 5 号)产量分别为 1 465~2 310 kg·hm⁻² 和 1 358~2 483 kg·hm⁻²,较 CK 品种增产 4.2%~4.9%。所有参试品种干旱年份较丰水年份减产 28.0%~45.3%。

品种 KV1(晋苦荞 2 号)和 KV2(川荞 3 号)在正常年份和丰水年份的产量分别达到 2 299~2 593 kg·hm⁻² 和 2 027~2 513 kg·hm⁻²,说明这两个品种在 E1~E6 区可进行大面积推广种植。KV3(云荞 2 号)为中晚熟品种,适宜在热量条件较好的 E4(海原县)和 E6(盐池县)丰水年份种植,KV4(黔黑荞 5 号)仅适宜在半干旱区 E1(原州区)和 E3(彭阳县)水年份种植,干旱年份不宜种植,而 KV5(固原苦荞)可选择性地在半干旱区种植。

表 6 苦荞品种与不同年份产量差异及适应性

品种(系)编号	产量/(kg·hm ⁻²)			平均	增产率/%	排名	适应种植地区
	干旱年份	正常年份	丰水年份				
KV1	1671	2299	2593	2187.6	17.3	1	E1~E6 大面积推广
KV2	1474	2027	2513	2004.7	7.5	2	E1~E6 大面积推广
KV3	1465	2056	2310	1943.6	4.2	4	可在 E4、E6 丰水年份种植
KV4	1358	2026	2483	1955.6	4.9	3	可在 E1、E3 丰水年份种植
KV5(CK)	1507	1993	2094	1864.7	—	5	选择性应用
平均	1495	2080	2399	—			

3 讨论

作物品种的稳产性和适应性是决定其推广应用价值的重要指标^[24],本文基于AMMI模型和GGE双标图分析了宁南山区的半干旱区、半干旱区易旱区和中部干旱区的5个苦荞品种在6个试点环境的丰产稳定性,适应性和试点代表性。试验经受了干旱年份、正常年份和丰水年份,AMMI综合了主成分分析和方差分析的优点是将基因与环境($G \times E$)效应中选取达到显著的主成分PCA1、PCA2和PCA3互作下的稳定性值(Dg),一定程度提高了品种丰产性和稳定性参数估计精度。Dg值越小,表示品种的稳定性越好,参试品种Dg值依次为,晋苦荞2号7.80、云荞2号11.80、川荞3号12.97、固原当地苦荞14.76和黔黑荞5号17.57。品种的丰产性稳定性与品种在多年多点平均产量排名基本一致。对参试地点互作主成分值(PCA)与试点辨别力的稳定性(De)进行了分析,其De值越大,表明试点的稳定性较好。代表苦荞品种的区试点稳定性De值依次为,E4(海原县)18.32>E5(同心县)14.65>E2(西吉县)11.96>E3(彭阳县)9.20>E6(盐池县)8.54>E1(原州区)6.64。依据苦荞品种的稳定性(Dg)与试点辨别力的稳定性(De)综合判断,筛选出适宜在宁夏南部山区种植的品种为晋苦荞2号和川荞3号,其丰产性和稳定性最好,云荞2号和黔黑荞5号品种的丰产性、稳定性适应性次之。试点辨别力和代表性以半干旱易旱区的海原县,中部干旱带的同心县和半干旱区的西吉县比较好,其次为原州区和盐池县。

生产中推广应用的苦荞品种,必需要考虑其品种在某个地区的丰产性、稳产性和适应性。本研究认为,试点环境效应(E)是影响起品种产量变化的主要原因,远高于基因(G)及基因与环境($G \times E$)互作效应,其研究结果与前人研究部分结论基本一致^[25-26]。如5个苦荞品种在宁南山区不同试点环境下进行多年试验,其环境效应(E)占总变异平方和56.3%>基因(G)24.0%>基因与环境($G \times E$)互作效应19.8%。由此看出,试点环境是影响品种适应性的主要因素。GGE坐标图能够充分考虑环境对基因型的影响,已被广泛应用于作物多年多点的试验分析中。因此,AMMI方法能更准确地解释环境和基因的互作,对提高品种丰产性稳定性判断和综合评价将起到积极作用。

本研究参试品种经历了干旱年份、正常年份和丰水年份,因此利用AMMI模型和GGE双标

图对品种的丰产性、稳产性、生态适应性和试点代表性分析及综合评价对研究该地区苦荞品种对不同气候的响应有一定指导意义。但就苦荞作物品种在不同气候类型区生长期对气温、光照、降水量,耗水量与生长期水分满足程度及品种的丰产性稳定性的影响有待进一步研究。另外,苦荞品种在同一试点不同年份间也存在较大的差异,为了更准确地反映品种实质,在推广之前要进行多年多点生产性能和适应性试验,然后根据品种的丰产稳定性和适应性,结合当地的生态环境进行品种的综合评价,充分发挥气候资源对生产潜力的贡献,才能实现高产高效。

4 结论

利用GGE双坐标图和AMMI模型依据苦荞品种的稳定性(Dg)与试点辨别力的稳定性(De)综合判断,筛选出适宜在宁夏南部山区种植的品种为晋苦荞2号和川荞3号,其丰产性和稳定性最好。试点辨别力和代表性以半干旱易旱区的海原县,中部干旱带的同心县和半干旱区的西吉县比较好,其次为原州区和盐池县。

不同降水年份对参试品种产量差异及适应性分析结果表明,晋苦荞2号在经历干旱年、正常年和丰水年产量为1 671~2 593 kg·hm⁻²,较对照品种增产17.3%,其次为川荞3号产量为1 474~2 513 kg·hm⁻²,较对照品种增产7.5%,而品种KV3(云荞2号)和KV4(黔黑荞5号)产量分别为1 465~2 310 kg·hm⁻²和1 358~2 483 kg·hm⁻²,较CK品种增产4.2%~4.9%,所有参试品种在干旱年份较丰水年份减产28.0%~45.3%。

参考文献:

- [1] 李旭霞,刘晶,师静.宁夏地区荞麦栽培现状调查研究[J].安徽农学通报,2023,29(10):20-22.
- [2] 谢锐,路致远,金晓蕾,等.基于AMMI模型的内蒙中西部地区马铃薯品种(系)稳定性和适应性分析[J].北方农业学报,2022,50(1):18-24.
- [3] 黄大明,谢雄泽,白桂萍,等.AMMI模型和GGE双标图在湖北省油菜区域试验中的应用[J].湖北农业科学,2018,57(12):24-29.
- [4] 步清,鲁月,郝德荣,等.AMMI模型和GGE双标图在江苏省糯玉米品种区域试验中的应用[J].分子植物育种,2022,20(22):7628-7636.
- [5] 吴曹阳,梁诗涵,邱军,等.基于连续12年国家苦荞区域试验的中国苦荞品种选育现状分析[J].中国农业科学,2020,53(19):3878-3894.
- [6] 魏常敏,许卫猛,邢永锋,等.AMMI模型和GGE双标图在黄淮海甜玉米中的应用[J].分子植物育种,2021,19(17):5909-5916.
- [7] 郭敏杰,邓丽,任丽,等.基于R语言的AMMI和GGE双标图在花生区试中的应用[J].花生学报,2017,46(2):24-31.
- [8] 袁金海,贾多英,刘续汉,等.GGE双标图在马铃薯产量及

- 试验点评价分析中的应用[J]. 中国种业, 2018(8):56-59.
- [9] 李亚杰, 李德明, 范士杰, 等. GGE 双标图在马铃薯品种适应性及产量稳定性分析中的应用评价[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2016, 52(5): 617-622.
- [10] 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.
- [11] 管凯, 陈亚光, 徐淑霞, 等. 基于 R 语言的 GGE 双标图在大豆区试中的应用[J]. 大豆科技, 2019(4): 16-20.
- [12] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统: 实验设计、统计分析 & 数据挖掘[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [13] 王育才, 王化俊, 李葆春, 等. 基于 GGE 双标图对青稞区试点代表性及品质稳定性的分析[J]. 草原与草坪, 2018, 38(5): 22-27.
- [14] 王迪. GGE 双标图分析黑龙江省甜瓜区域试验品种适应性和稳定性[J]. 黑龙江农业科学, 2021(10): 64-68.
- [15] 张志芬, 任长忠, 杨海顺, 等. 基于 SD-GGE 双标图进行饲草燕麦品种归类和区域划分[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(5): 10-21.
- [16] 张大爱, 赵绪明, 钱一萍, 等. 用 GGE 双标图分析苦荞品种的产量稳定性及试验地点相似性[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(7): 101-108.
- [17] 李琴琴, 高乙萍, 张志芬, 等. 甜荞品种稳定性和试验地点相似性的 GGE 双标图分析[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 67-70, 121.
- [18] 魏鹏程, 陈社, 罗英舰, 等. 基于 AMMI 和 GGE 双标图的贵州不同生态区春玉米丰产性稳产性和试点辨别力评价[J]. 玉米科学, 2023, 31(1): 22-31.
- [19] 刘志芳, 王广才, 刘兵兵, 等. 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[J]. 东北农业科学, 2023, 48(3): 26-32.
- [20] 李建武, 李高峰, 文国宏, 等. 甘肃省多点联合试验马铃薯产量要素稳定性及试点鉴别力分析[J]. 西北农业学报, 2022, 31(11): 1422-1434.
- [21] 王星宇, 程静, 高生, 等. 应用 AMMI 模型和 GGE 双标图评价裸燕麦品种在华北高寒区的适应性[J]. 草业学报, 2022, 31(12): 76-84.
- [22] 肖继兵, 刘志, 辛宗绪, 等. 基于 GGE 双标图的谷子种质资源耐旱性鉴定[J]. 华北农学报, 2022, 37(5): 87-96.
- [23] 慕平, 赵桂琴, 柴继宽. 基于 GGE-Biplot 的甘肃省不同生态区燕麦生产性能及适应性分析[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(6): 705-712.
- [24] 柴继宽, 慕平, 赵桂琴. 8 个燕麦品种在甘肃的产量稳定性及试点代表性研究[J]. 草地学报, 2016, 24(5): 1100-1107.
- [25] 崔同霞, 张保军, 姚友旭, 等. 基于 GGE 双标图法的甘肃省西片区域春小麦新品种的丰产性及适应性评价[J]. 甘肃农业大学学报, 2022, 57(3): 58-65.
- [26] 岳海旺, 魏建伟, 卜俊周, 等. 河北省春播玉米品种产量和主要穗部性状 GGE 双标图分析[J]. 玉米科学, 2018, 26(4): 28-35.

Analysis of Stable Yield Adaptability of *Fagopyrum tataricum* Varieties in Different Climate Regions of Ningxia Using AMMI Model and GGE Double Label Map

MU Lanhai, CHANG Keqin, DU Yanping, YANG Chongqing, CHEN Yixin

(Guyuan Branch, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences/Dry Farming Agricultural Engineering Technology Research Center of Ningxia, Guyuan 756000, China)

Abstract: In order to accurately evaluate the high-yield, stable yield, and ecological adaptability of the new varieties of *Fagopyrum tataricum*, the AMMI model and GGE double label map were used to analyze the mprehensively evaluate the high-yield, stable yield, and pilot representativeness of five *Fagopyrum tataricum* varieties in six counties (districts) of semi-arid areas, semi-arid prone areas, and central arid zones in southern Ningxia. By analyzed the stability (Dg) of principal component PCA and ariety, as well as the yield stability (De) of experimental points, suitable varieties with high yield stability and good adaptability for planting in the southern mountainous areas of Ningxia were selected as Jinkuqiao 2 and Chuanqiao 3. The yield of Jinkuqiao 2 was $1\ 671-2\ 593\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, with an average increase of 17.3% compared to the control variety. The yield of Chuanqiao 3 was $1\ 474-2\ 513\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, with an average increase of 7.5% compared to the control variety. The experimental sites were ideal for Haiyuan County, which represents the semi-arid and drought prone areas, Tongxin County in the central arid zone, and Xiji County in the semi-arid areas. The experiment went through drought years, normal years, and flood years and the tested varieties experienced a 28.0%—45.3% reduction in yield compared to flood years in drought years.

Keywords: *Fagopyrum tataricum* varieties; AMMI model; GGE double label diagram; high yield; stable yield; ecological adaptability