

DOI: 10.19462/j.cnki.zgzy.20240816002

基于 AMMI 模型和 GGE 双标图的湖北省糯高粱 区域试验综合评价

江良才¹ 张 硕² 李同洪¹ 杨晓龙² 喻 霞¹ 张世宏³ 肖江蓉⁴ 高广金⁵ 徐延浩²
(¹湖北省产品质量监督检验研究院鄂州分院,鄂州 436099;²湖北省农业科学院粮食作物研究所/粮食作物种质创新与遗传改良
湖北省重点实验室/农业农村部作物分子育种重点实验室,武汉 430064;³湖北省竹山县种子管理局,竹山 442299;
⁴武汉轻工大学,湖北武汉 430023;⁵湖北省农业农村厅,武汉 430064)

摘要:为了评价糯高粱材料在湖北不同生态区域的适应性和稳定性,筛选出高产稳产糯高粱材料和理想的种植点,对16个糯性高粱品种(系)在湖北省5个不同生态区域的产量进行了AMMI模型和GGE双标图分析。结果表明,环境、基因型×环境互作以及基因型对产量均有极显著影响,其中环境变异占主导地位(57.04%),其次为基因型×环境互作(31.27%);AMMI模型和GGE双标图综合分析表明,试点荆州(E1)被认为是理想试点,川糯梁2号(G1)和金皮糯1号(G8)具有较高的丰产性与稳定性。上述研究结果将为筛选适宜湖北省种植推广的糯高粱品种以及适宜种植区域的选择提供参考依据。

关键词:糯高粱;产量;稳定性;适应性;AMMI模型;GGE双标图

Comprehensive Evaluation of Regional Trials for the Glutinous Sorghum in Hubei Province Based on the AMMI Model and GGE Biplot

JIANG Liangcai¹, ZHANG Shuo², LI Tonghong¹, YANG Xiaolong², YU Xia¹,
ZHANG Shihong³, XIAO Jiangrong⁴, GAO Guangjin⁵, XU Yanhao²

(¹Hubei Institute of Quality Supervision and Inspection Ezhou Branch, Ezhou 436099, Hubei; ²Institute of Food Crops, Hubei
Academy of Agricultural Sciences/Hubei Key Laboratory of Food Crop Germplasm Innovation and Genetic Improvement/
Key Laboratory of Crop Molecular Breeding, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430064; ³Zhushan County Seed
Administration Bureau, Zhushan 442299, Hubei; ⁴Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023;
⁵Department of Agriculture and Rural Affairs of Hubei Province, Wuhan 430064)

高粱(*Sorghum bicolor* L.)是一种起源于非洲的古老作物,其种植历史已超过5000年,是世界第五大谷类作物^[1]。高粱是高光合效率的C4植物,具有耐高温、耐盐碱和耐瘠薄等特点,被广泛种植于热带、亚热带和温带地区^[2]。高粱是中国的主要谷类作物,2021年的种植面积超过67万hm²^[3]。高

粱不仅是粮食作物、饲料作物,还广泛用于酿造工业^[4],其中糯高粱是白酒生产的主要原料之一,我国约80%糯高粱被用于白酒酿造^[1]。随着我国白酒行业迈入高质量发展的新阶段,对优质酿造糯高粱原料需求量逐年增大,市场供不应求,提升糯高粱产量及品质已成为高粱产业的焦点。土壤、气候等非均质性环境因子是影响高粱产量及品质的重要因素^[5-6],深入了解糯高粱在不同区域的适应性和产量稳定性对提高高粱的产量和品质至关重要^[7]。

环境(E, Environment)、基因型(G, Genotype)

基金项目:湖北省支持种业高质量发展资金农业种质资源保护与利用项目(HBZY2023A001);湖北省市场监督管理局“万千百”质量提升行动项目

通信作者:徐延浩

和 $G \times E$ 交互作用是影响品种适应性和稳定性的核心因素。加性主效应和乘积交互作用 (AMMI, Additive main effects and multiplicative interaction model) 模型与基因型主效应和基因型环境交互 (GGE, Genotype main effects and genotype $\times$ environment interaction) 双标图模型常被用于揭示基因型与环境之间的交互模式。AMMI 模型将方差分析和主成分分析 (PCA) 结合在一个特定的单一分析中, 对不同品种在多环境中的稳定性、丰产性等进行精准的评价^[8]。GGE 双标图结合了多环境中的两个重要变量 (G 和 $G \times E$), 更直观地评价和展示基因型和试验点之间的关系, 找到品种适合种植的生态区^[9]。这两种分析模型被广泛用于高粱、玉米、甜菜和小麦等不同作物区域试验中的品种稳定性评价与理想试点筛选。Wang 等^[4]利用 GGE 双标图和 AMMI 模型分析, 从 13 个新审定的高粱品种中选择出了稳定性最好的 2 个品种, 并对其最适种植区域进行了分析。朱艳彬等^[10]利用 AMMI 模型和 GGE 双标图将西北春玉米区域试验中的 19 个试点分成了 3 个区域, 并对所有试点的代表性和参试品种的稳定性进行了评价, 为区域试点布局 and 结果评价提供了更多的信息。江婉玥等^[11]于 2021 年在东北 7 个生态试验点, 对 16 个甜菜品种进行了 AMMI 模型和 GGE 双标图分析, 筛选出高产稳产的品种 KWS7748-1 和最理想试点黑龙江。王丹等^[12]在濮麦 116 品种评价中使用了这两种分析方法, 为该品种的大面积推广应用奠定了基础。将 AMMI 模型和 GGE 双标图结合起来分析育种和区域试验数据, 有助于对不同高粱品种的生态适应性和稳定性做出精准的评价, 在指导糯高粱高效生产中具有重要作用。

湖北省位于我国长江中下游地区, 处于我国地势第二级阶梯向第三级阶梯过渡地带, 具有海拔跨度大、生态类型丰富等特点, 曾是全国白酒的重要发源地, 2022 年全省白酒生产数量 35870 万 L, 居全国第 3 位。近年来, 湖北高粱种植面积恢复到 2 万 hm^2 以上, 但除了红缨子等少数品种采用酒厂委托订单模式外, 市场上销售的品种均缺乏湖北省不同区域适应性和稳定性的评价, 种植存在盲目性, 潜在的种植风险较大。本研究利用 AMMI 模型和 GGE 双标图分析法, 对国内主要高粱育种单位提供

的 16 个糯高粱品种 (系) 的适应性、丰产性和稳产性以及 5 个试验点的代表性和区分力进行评估, 旨在筛选出高产、稳定性较好的高粱品种 (系) 与理想种植点, 促进湖北糯高粱产业的健康发展。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验材料共 16 个, 分别为川糯梁 2 号 (G1)、红珍珠 (G2)、辽糯 18 (G3)、辽糯 11 (G4)、红缨子 (G5)、辽糯 3 (G6)、辽糯 22 (G7)、金皮糯 1 号 (G8)、机糯梁 1 号 (G9)、郎糯红 19 号 (G10)、晋糯梁 10 号 (G11)、机糯梁 2 号 (G12)、晋糯 23-1 (G13)、辽糯 10 (G14)、鄂资梁 W10 (G15)、鄂资梁 W17 (G16), 供试品种 (系) 分别来源于四川 (G1、G8、G9、G10、G12)、贵州 (G2、G5)、辽宁 (G3、G4、G6、G7、G14)、山西 (G11、G13) 和湖北 (G15、G16)。

1.2 试验地点 2023 年湖北省内试验点共 5 个, 包括荆州 (E1)、竹山 (E2)、咸宁 (E3)、恩施 (E4)、兴山 (E5), 分别位于湖北省的中南部、西北部、东南部、西南部和西北部, 包含了平原、山地和丘陵地区的不同气候特点, 反映了湖北省的多样化气候特征。

1.3 试验设计 各试点统一采用随机区组排列, 3 次重复, 穴距 30cm, 每穴 2 苗, 种植密度为 8000 株 / 667m^2 。所有试点均严格按照相同试验方案进行设计、管理、收获、考种。成熟后收获测产, 每小区收获 50 m^2 , 并折合成每 667 m^2 产量。

1.4 数据分析 利用 Excel 2020 对数据进行统计和产量计算。运用 R 语言 “metan” 包进行方差分析和 AMMI 模型分析, 利用 “GGE Biplot GUI” 包进行 GGE 双标图统计分析和绘图。

2 结果与分析

2.1 AMMI 模型分析 对 16 个供试品种 (系) 在 5 个试点的产量进行方差分析和 AMMI 模型分析, 结果表明, 环境、基因型 $\times$ 环境交互以及基因型对产量的效应均达到了极显著水平 ($P < 0.001$), 4 个因子的平方和分别占总平方和的 57.04%、31.27%、10.50%、1.19%, 说明环境变异对产量的影响占主导因素, $G \times E$ 交互变异对产量变异的贡献次之, 基因型变异对产量形成的贡献相对较小 (表 1)。利用 AMMI 模型对交互效应的平方和进行分解, 得到 4 个极显著水平的主成分轴 ($P < 0.001$), 其中

PC1、PC2、PC3 和 PC4 分别占交互作用的 42.28%、33.49%、18.76% 和 5.47%，说明此 AMMI 模型可以较好地解释品种(系)和试点的互作效应。

如表 2 所示，16 个高粱品种(系)每 667m² 的平均产量在 312.66~438.12kg，顺序为 G1>G8>G3>G16>G11>G6>G10>G2>G5>G4>G13>G9>G7>G15>G12>G14。WAASBY 是一种优越的稳定性指数，根据稳定性和平均性能以不同权重对基因型进行排序，本研究中稳定性和平均性能同等重要(权重为 50/50)，因此具有高稳定性和产量的高粱品种

(系)被视为理想品种(系)。16 个高粱品种(系) WAASBY 指数分布在 2.99~79.90 之间，品种(系)稳定性排序为 G1>G11>G8>G10>G6>G2>G4>G13>G15>G16>G7>G3>G9>G5>G14>G12。因此 G1、G11 和 G8 被认为是理想的高粱品种(系)。

2.2 AMMI 双标图分析 在图 1a 中(AMMI1 双标图)，横坐标表示高粱品种(系)的产量，品种(系)离纵轴越远，其平均产量越高，G1、G2、G3、G6、G8、G10、G11 和 G16 的产量高于 16 个高粱品种(系)的平均产量，E1 试点平均产量高于 E2、E3、E4

表 1 参试品种(系)产量的方差分析和 AMMI 分析

变异来源	自由度	平方和	均方	解释变异比例(%)	F 值
重复	10	29309.29	2930.93	1.19	486.73***
基因型	15	257984.57	17198.97	10.50	2856.15***
试点	4	1402142.83	350535.70	57.04	119.60***
交互作用(G×E)	60	768728.87	12812.15	31.27	2127.65***
PC1	18	325030.35	18057.24	42.28	2998.68***
PC2	16	257457.11	16091.07	33.49	2672.17***
PC3	14	144213.69	10300.98	18.76	1710.64***
PC4	12	42027.72	3502.31	5.47	581.61***
残差	150	903.26	6.02	—	—

*** 表示在 0.001 水平上存在极显著差异

表 2 参试品种(系)在所有环境下的产量、PCA 值和 WAASBY 稳定指数

品种(系)	产量(kg/667m ²)	产量排序	相互作用主成分				WAASBY	WAASBY 排名
			PC1	PC2	PC3	PC4		
G1	438.12	1	1.71	5.15	-5.03	4.55	79.90	1
G2	365.75	8	-3.13	-0.60	-5.74	3.03	68.00	6
G3	405.26	3	8.63	-2.95	-0.78	1.43	43.10	12
G4	355.09	10	-3.57	-0.94	-5.06	-0.11	63.60	7
G5	358.61	9	-1.52	-8.45	3.89	1.85	35.40	14
G6	373.36	6	-3.85	-2.66	-1.10	-3.09	68.60	5
G7	339.04	13	2.09	-7.02	0.71	-2.23	43.30	11
G8	412.32	2	1.85	6.32	-2.15	-4.01	72.00	3
G9	343.11	12	-8.60	-0.70	-0.15	1.10	35.90	13
G10	371.94	7	-4.35	-1.53	1.13	-3.26	71.10	4
G11	377.46	5	-2.90	1.73	3.60	2.32	75.80	2
G12	320.17	15	8.68	-3.45	1.36	1.80	2.99	16
G13	346.17	11	-1.55	3.47	5.27	-0.96	58.50	8
G14	312.66	16	-0.49	5.90	6.00	3.52	32.60	15
G15	332.86	14	3.05	0.87	-4.95	-2.25	57.50	9
G16	382.08	4	3.95	4.85	2.99	-3.68	49.40	10

和 E5 试点。纵坐标轴与原点的距离意味着环境对产量的影响 (PC1), 离横坐标轴较远的品种 (系) 表明了环境对产量的影响更大, 因此稳定性更低。结果表明, G14 最接近横轴, 稳定性最好, 其次为 G5、G13、G1、G8、G9、G12 和 G3 稳定性较差。

AMMI2 双标图分析是一种基于 PC1 和 PC2 评分的方法, 用于可视化基因型和环境相互作用对基因型排名的影响^[13], 离坐标原点越近的基因型受环境相互作用的影响越小, 在环境中的稳定性更高。如图 1b 所示, G2 与双标图原点的距离最短, 表明 G2 在所有品种 (系) 中适应性最强, 其次是 G4、G11 和 G15、G5、G8、G9、G12、G14 等品种 (系) 离原点较远, 稳定性较差。另外, 试点 E1 距离原点最

远, 鉴别能力最强, 其次是 E3, E4 鉴别能力最差。

2.3 各试点相关性、区分力和代表性的 GGE 双标图分析 由图 2a 可知, PC1 和 PC2 分别解释了基因型 + 基因型 × 环境总变异的 35.29% 和 30.29%。两个环境试点到原点的向量之间的夹角越小, 表示两个环境之间的相关性越高, 反之则表示相关性较低。因此, E3 与 E4 环境相关性最高, 其次是 E4 与 E2, 角度 $<90^\circ$, 呈正相关; E5 与 E2、E3、E4 试点差异性最大, 角度 $>90^\circ$, 呈负相关。

每个环境的区分力可以通过环境向量来评估, 即连接原点和环境的线段长度, 向量的长度越长, 意味着对环境的区分度越强。在图 2b 中, E1 和 E3 的向量长度最长, 表明这些环境具有良好的区分力。

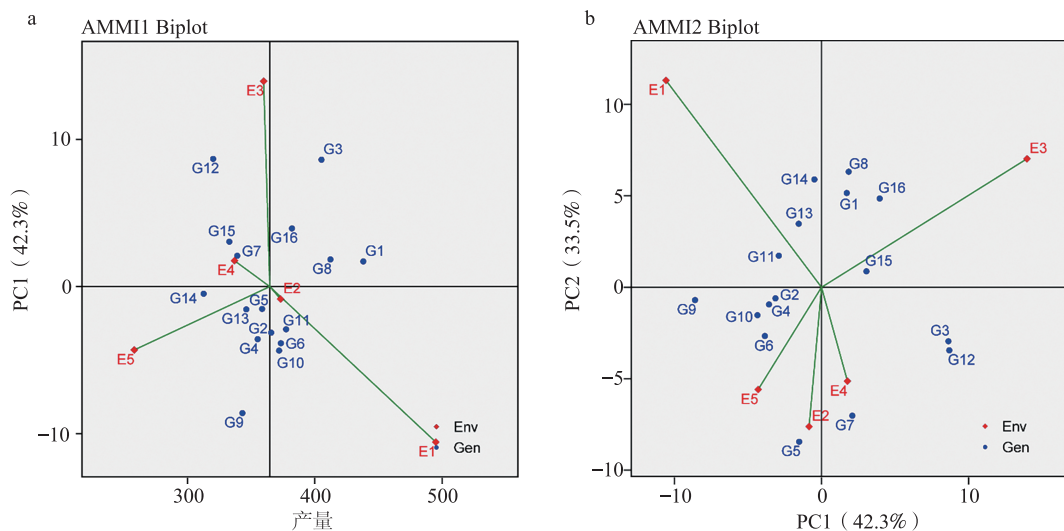


图 1 AMMI 双标图分析

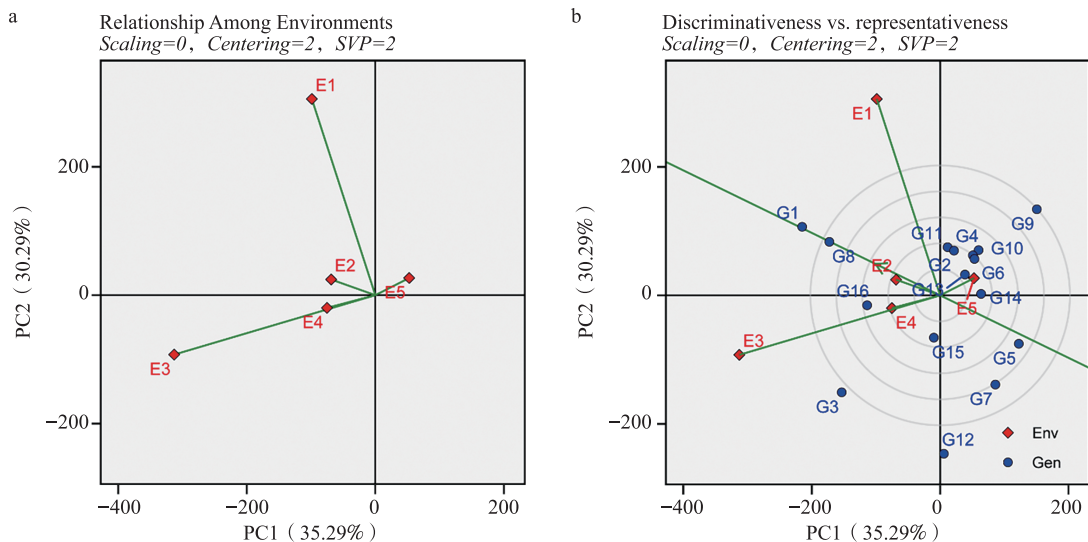


图 2 基于 GGE 双标图的环境相关性和试点的区分力及代表性分析

相比之下,E2、E4、E5的环境向量较短,是区分度较低的环境。带有箭头的线段以一定角度穿过双标图,被视为平均环境坐标轴。相对于平均环境坐标轴,E2的角度最小,意味着E2是最具代表性的环境,其次为E1、E3和E4,E5相对于平均环境坐标轴的角度较大,环境的代表性较差。综合区分力与代表性结果,E1为理想试点。

2.4 参试品种(系)丰产性、稳产性和适应性的 GGE 双标图分析 GGE 双标图中“Mean vs. Stability”是分析品种丰产性和稳产性的直观形式,与平均环境坐标轴方向一致的品种丰产性好,品种到平均环境坐标轴的垂线距离代表稳定性,其距离越长代表品种越不稳定。如图 3a 所示,G1 和 G8 的丰产性与稳定性均较好,其次是 G14 和 G16,G9 和 G12 距离平均环境坐标轴最远,丰产性差且不稳定。

使用“Which-won-where”功能图分析可反映

品种对区域的适应性,展示各组内最高产组合。如图 3b 所示,将同一方向距离原点最远的品种对应的点连线形成多边形,过原点作各边垂线,垂线将多边形分为若干个区域,多边形各区域内顶端的品种即为最适宜在该区域种植且丰产性最好的品种。因此,G1 适种于 E1 和 E2 生态区,G3 和 G12 适种于 E3 和 E4 生态区,G9 适种于 E5 生态区。

为了筛选既丰产又稳产的糯高粱品种(系),利用“理想品种”功能图对 16 个参试品种(系)进行综合排名。以平均环境线箭头所在位置为圆心画同心圆,离圆心越近的品种(系)理想程度越高。如图 3c 所示,G1 为最理想品种(系),其次为 G8 和 G16。同理,E1 为理想试点,其次是 E3 和 E2 (图 3d)。

3 讨论与结论

作物产量是基因型与环境因素共同作用的结果

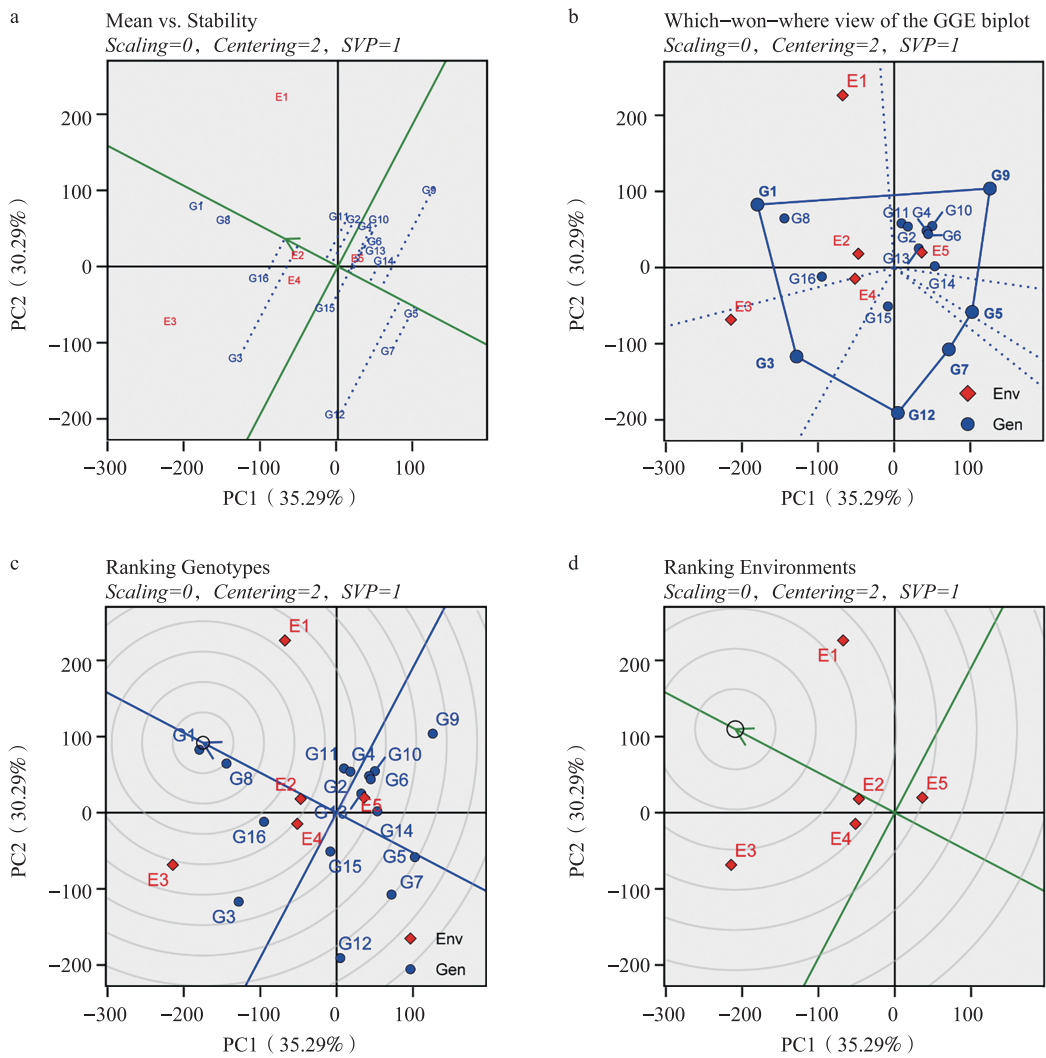


图 3 基于 GGE 双标图的品种(系)丰产性、稳产性和适应性分析

果。为确保作物推广与生产的顺利进行,对品种的丰产性、稳定性及适宜种植地区进行深入探究具有重要意义^[7,12]。数据分析中通常使用方差分析、回归分析等方法,但传统的方差分析只能给出品种产量高低的排名,而关于品种特殊适应性的信息较少,对试点选择的评价也缺乏相应的标准^[10]。回归分析中的回归系数和离差可以解释加性效应的互作部分,却无法解释非加性效应^[13]。AMMI模型和GGE双标图的出现一定程度上弥补了上述方法的不足,在品种评价方面表现出的显著优越性使其在区域试验数据分析中得到了更为广泛的应用。AMMI模型结合了方差分析、主成分分析的优点,能找到互作效应小、稳定性高的品种,同时GGE双标图能够更直观地将环境分为不同区域,合理地品种进行布局,使品种的最大潜力得到发挥^[13]。王星宇等^[14]应用AMMI模型和GGE双标图对6个裸燕麦参试品种和6个区域试验试点进行了联合分析与综合评价,结果表明,同时采用AMMI模型和GGE双标图分析评价裸燕麦区域试验结果更为准确,结论更为全面;6个品种中200910-28-4-3是籽粒丰产稳产性均较好的品种,其次是200910-5-2和200910-22-1;6个区域试验试点中,内蒙古乌兰察布试点既有很好的代表性又有较强的鉴别力,是最理想的试点。

本研究利用基于R语言软件的AMMI模型分析发现,糯高粱产量受环境、基因型以及基因型×环境互作的影响均达到极显著差异,其中环境对产量影响效应最大,其次是基因型×环境互作,该结果与前人^[10-12,15-16]研究结果一致,因此筛选适宜的种植环境对高粱生产十分重要。AMMI模型分析中WAASBY稳定性指数表明,G1、G11和G8被认为是理想的高粱品种(系),E1试点鉴别能力最强,这与GGE双标图分析结果相似,E1对16个参试品种(系)的区分力和代表性较好,是理想试点。同时G1和G8的丰产性与稳定性在16个参试品种(系)中表现较好,适宜在E1推广种植。

高粱的种植面积受其经济价值影响,波动较大,且高粱作为一种登记作物,市场上可供选择的品种较多。本研究对不同糯高粱材料在湖北不同区域适应性和稳定性的评价结果,将为湖北省糯高粱品种以及种植区域的选择提供理论参考,

降低农民种植风险,助力湖北省糯高粱产业健康发展。

参考文献

- [1] 王劲松,董二伟,刘秋霞,武爱莲,王媛,王立革,焦晓燕.行距和密度对籽粒饲用高粱产量和品质的影响.中国农业科学,2022,55(16): 3123-3133
- [2] Hao H Q, Li Z G, Leng C Y, Lu C, Luo H, Liu Y M, Wu X Y, Liu Z Q, Shang L, Jing H C. Sorghum breeding in the genomic era: opportunities and challenges. Theoretical and Applied Genetics, 2021, 134: 1899-1924
- [3] Chen X, Laborda P, Li C H, Zhao Y C, Liu F Q. First report of bacterial leaf blight caused by enterobacter asburiae on sorghum in Jiangsu province, China. Plant Disease, 2023, 107 (12): 4017
- [4] Wang R F, Wang H L, Huang S M, Zhao Y X, Chen E Y, Li F F, Qin L, Yang Y B, Guan Y A, Liu B, Zhang H W. Assessment of yield performances for grain sorghum varieties by AMMI and GGE biplot analyses. Frontiers in Plant Science, 2023, 14: 1261323
- [5] Enyew M, Feyissa T, Geleta M, Tesfaye K, Hammenhag C, Carlsson A S. Genotype by environment interaction, correlation, AMMI, GGE biplot and cluster analysis for grain yield and other agronomic traits in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). PLoS One, 2021, 16 (10): e0258211
- [6] Gao F C, Yan H D, Gao Y, Huang Y, Li M, Song G L, Ren Y M, Li J H, Jiang Y X, Tang Y J, Wang Y X, Liu T, Fan G Y, Wang Z G, Guo R F, Meng F H, Han F X, Jiao S J, Li G Y. Interpretation of genotype-environment-sowing date/plant density interaction in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] in early mature regions of China. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 1008198
- [7] 赵长延,段维,朱志锋,马宗兴,柳延涛,刘胜利,万素梅.基于AMMI模型和GGE双标图对油用向日葵多点试验稳定性和适应性分析.干旱区资源与环境,2023(11): 123-131
- [8] Gauch H G Jr. A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. Crop Science, 2013, 53 (5): 1860-1869
- [9] Yan W. GGE biplot—A Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal, 2001, 93 (5): 1111-1118
- [10] 朱艳彬,樊晓琴,吉闻天,宝春雨,徐长成,朱宏宇,李晓雯,邵睿,张琪,郭晋杰,郭延玲.基于AMMI模型和GGE双标图的西北春玉米品种区域试验综合评价.中国农业大学学报,2023,28(12): 15-24
- [11] 江婉玥,胡晓航,马亚怀,李彦丽.基于AMMI模型和GGE双标图在甜菜品种区试中的应用.分子植物育种,2024,5(1): 1-12
- [12] 王丹,程星,许国震,谢文芳,李华,岳云霞,戴妙飞,苏丽娜,郝晓昭.国审小麦品种濮麦116产量特性分析.中国种业,2024(6): 146-152
- [13] 戴习彬,王远,周志林,肖世卓,赵凌霄,王洁,王珅,李青莲,朱国鹏,曹清河.菜用甘薯产量稳定性及试验点鉴别力综合分析.江苏

不同高油酸花生品种(系)机械脱壳特性研究

王力夫¹ 于树涛¹ 张宇¹ 张诗行¹ 董敬超¹ 周文雨²

(¹ 辽宁省沙地治理与利用研究所,阜新 123000;² 辽宁省阜新市产业技术创新推广中心,阜新 123000)

摘要:为探究不同高油酸花生的机械脱壳效果,助力花生高效生产,选取10个适宜在辽宁省生产的高油酸花生品种(系)进行试验。结果表明,供试材料荚果与籽仁性状差异较大,脱净率为39.42%~68.74%,平均脱净率为57.65%,完整籽仁率和机械出米率分别为31.95%~64.74%、30.85%~62.69%,平均为52.53%、50.71%;机械损失率与籽仁长呈显著负相关,人工出米率与百仁重呈显著负相关;主成分分析共提取4个主成分,累计贡献率为87.839%,可代表12个性状的绝大部分信息,最终筛选出籽仁长、荚果长、荚果长宽比和机械损失率可作为花生机械脱壳性状评价的关键指标;适宜机械脱壳的花生品种(系)有2个,分别为冀花915和辽花608。研究结果可为适宜机械化种植品种的遗传研究提供参考。

关键词:花生;高油酸;荚果;机械脱壳;脱壳特性

Study on the Mechanical Shelling Characteristics of Different High-Oleic-Acid Peanut Varieties (Lines)

WANG Lifu¹, YU Shutao¹, ZHANG Yu¹, ZHANG Shihang¹, DONG Jingchao¹, ZHOU Wenyu²

(¹ Institute of Sandy Land Control and Utilization in Liaoning Province, Fuxin 123000, Liaoning;

² Fuxin Industrial Technology Innovation Promotion Center, Fuxin 123000, Liaoning)

花生是我国重要的油料作物和经济作物,对保障国家粮油安全具有重要的作用^[1]。食用花生,尤其是高油酸花生,有益于身体健康,可改善血清脂蛋白谱,调节人的身体机能,有利于控制体重和血糖,降低心血管疾病和代谢紊乱风险,增强大脑认知功能^[2]。花生收获以后,无论是食用、加工或是种植,

都需要先脱壳,传统手工脱壳的优点是出米率高,能够保障花生籽仁的完整性,但缺点是速度较慢、费用高,所以机械脱壳已成为必然趋势。然而,目前新选育的品种不能完全做到与农机有效配套,导致花生新品种在机械剥壳处理下籽仁的破损率较高,破损的花生籽仁因为缺少完整的种皮保护,容易导致脱脂、霉变,易遭受黄曲霉毒素的侵染^[3-4]。因此,花生产后加工中的脱壳环节对于花生技术水平的提升以及食品安全具有重要意义^[5]。

然而,目前生产上花生脱壳仍面临许多问题,

基金项目:财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系资助(CARS-13);辽宁省种质创新藏粮于技专项计划(2023JH1/10200002)

通信作者:于树涛

农业学报,2023,39(1):22-29

[14] 王星宇,程静,高生,李默涵,杨满霞,葛军勇,周海涛,李云霞,臧华栋,左文博.应用AMMI模型和GGE双标图评价裸燕麦品种(系)在华北高寒区的适应性.草业学报,2022,31(12):76-84

[15] Khan M M H, Rafii M Y, Ramlee S I, Jusoh M, Mamun M A. AMMI and GGE biplot analysis for yield performance and stability assessment of selected Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L.

Verde.) genotypes under the multi-environmental trials (METs). Scientific Reports, 2021, 11(1): 22791

[16] 李伟琦,支小刚,赵建华,孙建好,曹素珍,谷科强.基于AMMI模型和GGE双标图的玉米区域试验分析.寒旱农业科学,2023,2(7):607-610

(收稿日期:2024-08-16)