

54份玉米自交系多环境稳定性分析

冯智浩¹ 陈微林¹ 宗立立¹ 陈晓慧¹ 高翔¹ 王池池¹ 郭建强^{2*}

1 九圣禾种业股份有限公司 2 海南九圣禾农业科学研究院有限公司

DOI:10.12238/as.v8i10.3361

[摘要] 本研究旨在通过多环境稳定性分析,筛选出穗位比与开花吐丝间隔期(ASI)性状表现优异且稳定的玉米自交系,为玉米遗传改良提供优质亲本资源。研究以54份玉米自交系为材料,采用中位数法对ASI和穗位比进行评价。结果表明,5份材料(JL133、Z3354、巴121-1、D6、新自618)在两地两年试验中均表现优异,性状稳定性显著。Mann-Whitney U检验进一步证实,优异组与非优异组在ASI和穗位比上均存在极显著差异($p < 0.001$),验证了筛选方法的科学性。本研究为玉米抗倒伏和高授粉效率育种提供了稳定的亲本材料,证明了多环境筛选在性状稳定性评价中的重要性,由于ASI和穗位比的田间数据常呈现偏态分布,本研究采用中位数法定义优异材料(性状值低于环境中位数),中位数相比均值更能抵抗环境波动的影响,为简易筛选技术在实际育种中的应用提供了参考。未来可结合分子标记和组学技术深入解析其遗传机制,并扩大环境验证规模以优化筛选体系。

[关键词] 玉米自交系; 穗位比; 开花吐丝间隔期(ASI); 多环境鉴定

中图分类号: S513 文献标识码: A

Multi-environment Stability Analysis of 54 Maize Inbred Lines

Zhihao Feng¹ Weilin Chen¹ Lili Zong¹ Xiaohui Chen¹ Xiang Gao¹ Chichi Wang¹ Jianqiang Guo^{2*}

1 Xinjiang Changji Jiushenghe Seed Industry Co., Ltd.;

2 Hainan Jiusan Agricultural Science Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] This study aimed to screen maize inbred lines with superior and stable performance in ear height ratio and anthesis-silking interval (ASI) through multi-environment stability analysis, providing high-quality parental resources for maize genetic improvement. Using 54 maize inbred lines as materials, the median method was employed to evaluate ASI and ear height ratio. The results showed that five materials (JL133, Z3354, Ba121-1, D6, and Xinzi618) exhibited excellent performance in two-year trials across two locations, demonstrating significant trait stability. The Mann-Whitney U test further confirmed highly significant differences ($p < 0.001$) between the superior group and the non-superior group in both ASI and ear height ratio, validating the scientificity of the screening method. This study provided stable parental materials for breeding maize with lodging resistance and high pollination efficiency, demonstrating the importance of multi-environment screening in trait stability evaluation. Since field data for ASI and ear height ratio often exhibit skewed distributions, this study defined superior materials (trait values below the median of the environment) using the median method, which is more resistant to environmental fluctuations than the mean, offering a reference for the practical application of simplified screening techniques in breeding. Future research could combine molecular markers and omics technologies to further analyze the genetic mechanisms and expand environmental validation scales to optimize the screening system.

[Key words] Corn inbred line; Ear height ratio; Anthesis-silking interval (ASI); Multi-environment evaluation

玉米作为全球三大粮食作物之一,不仅是人类口粮的重要来源,更是禽畜饲料的核心构成部分和工业原料的关键基础。在我国,玉米的战略地位尤为突出,是直接关系到我国粮食安全的重要作物。近年来我国玉米产量稳步提升,2024年我国玉米总产

量已达到29491.69万吨,总种植面积达4474万公顷, (<https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>)。但是我国玉米单产与美国仍有较大差距,这需要对我国优质种质资源深入挖掘更多优异特性从而指导杂交种选育。

玉米自交系的性状稳定性是杂交种选育的核心。现有遗传参数分析研究表明株高、穗位高、穗位比、雄穗主轴长、雄穗分枝数、轴径、秃尖长、穗行数、出籽率易稳定遗传^[1]。其中穗位比(雌穗高与株高比值)直接影响抗倒伏能力,ASI则是决定授粉效率的关键指标,研究表明开花吐丝间隔期(ASI)的加大是逆境胁迫条件下限制玉米产量的主要因素之一^[2]。现有研究多集中于单一环境下的性状评价,但材料在多环境下的稳定性对育种应用更为重要,国内的研究表明不同环境下的综合数据可以更加深入分析玉米自交系的特性^[3],在此基础上,本试验通过昌吉-铁岭两地(2024年)及昌吉两年(2024-2025年)的多环境试验,筛选穗位比与ASI性状稳定优异的自交系,为后续杂交组合配制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料。前期已初步筛选农艺性状与产量较好的54个玉米自交系(XZ1-XZ54)进行鉴定,试验材料为九圣禾种业股份有限公司育种材料。

1.2 试验设计。地点与年份:2024年新疆昌吉、辽宁铁岭;2025年新疆昌吉。

田间管理:随机区组设计,行间距40/60cm,密度5500株/亩,3米行长,每份材料种植2行,常规水肥管理。

性状测定:穗位比=穗位高/株高×100%,ASI(天)=雌穗吐丝期-雄穗开花期。

田间性状调查项目及方法见表1。

表1 田间性状调查项目及方法

调查项目	调查方法
株高(cm)	抽穗后,连续取10株测地表面至雄穗顶端高度,取均值。
穗位(cm)	抽穗后,连续取10株测地表面至第一果穗柄着生节高度,取均值。
散粉期/d	播种期至全区50%以上的雄穗主轴散粉日期的天数
吐丝期/d	播种期至全区50%以上的雌穗抽出花丝日期的天数

1.3 测定项目及方法。在玉米的吐丝期,各处理选取具有代表性的植株10株,测量植株株高、穗位高,计算穗位比,利用塔尺直接进行株高、穗位测量。参考赵小强等(2021)^[4]对187份玉米自交系的多环境抗旱性评价方法,本研究采用同一环境内所有材料性状表现的中位数作为阈值划分优异材料(ASI和穗位比低于中位数判定优异),该方法与抗旱系数(DRC)的构建逻辑一致,均通过相对值消除环境变异干扰,此前国内外相关鉴定实验中尚未出现中位数法进行筛选的先例,本试验采用中位数法主要考虑到中位数可以有效排除极端数值带来的干扰,其次本次试验的54份材料都是经过筛选的、田间表现稳定优异、已经组合审定品种的玉米自交系,因此本次试验通过中位数法达到优

中选优的目的。

由于ASI数据经Shapiro-Wilk检验显示非正态分布($p < 0.05$),因此最终经过筛选的优异材料采用Mann-Whitney U检验比较优异组与非优异组的差异。该检验通过秩次分析判断两组分布是否相同,不依赖正态性假设。

2 结果与分析

2.1 数据分析。优异标准:ASI或穗位比值低于同年同地材料的中位数(表中1表示优异,0表示非优异)。

稳定性筛选:

两地优异:2024年昌吉与铁岭同时表现优异(ASI_adv=1且穗位比_adv=1)两年稳定:2024年与2025年昌吉均表现优异(ASI_adv_2024×ASI_adv_2025=1且穗位比_adv_2024×穗位比_adv_2025=1)统计工具:IBM SPSS Statistics 27进行描述统计、计算变量,Excel 2019进行数据整理。

2.2 两地(2024年昌吉对比铁岭)优异材料筛选。ASI性状:共21份材料两地均优异(XZ7、XZ8、XZ9、XZ7、XZ12、XZ17、XZ18、XZ20、XZ21、XZ26、XZ33、XZ36、XZ39、XZ40、XZ42、XZ43、XZ50、XZ51、XZ52、XZ53、XZ54)。

穗位比性状:共18份材料两地均优异(XZ7、XZ8、XZ24、XZ25、XZ27、XZ28、XZ30、XZ31、XZ35、XZ38、XZ40、XZ41、XZ42、XZ43、XZ45、XZ46、XZ47、XZ54)。

综合筛选:7份材料(XZ7、XZ8、XZ36、XZ40、XZ42、XZ43、XZ54)在ASI与穗位比上均表现优异。

2.3 昌吉两年(2024年-2025年)稳定性分析。ASI性状:共22份材料两地均优异(XZ6、XZ7、XZ8、XZ9、XZ11、XZ16、XZ17、XZ18、XZ20、XZ21、XZ33、XZ36、XZ39、XZ40、XZ41、XZ42、XZ43、XZ48、XZ50、XZ51、XZ52、XZ53)。

穗位比性状:共17份材料两地均优异(如XZ7、XZ8、XZ11、XZ12、XZ27、XZ28、XZ31、XZ32、XZ36、XZ37、XZ38、XZ40、XZ43、XZ45、XZ46、XZ47、XZ54)。

综合筛选:6份材料(XZ7、XZ8、XZ11、XZ36、XZ40、XZ43)在2024-2025年昌吉试验中ASI与穗位比稳定保持优异(如XZ7的ASI_adv_2024×ASI_adv_2025=1且穗位比_adv_2024×穗位比_adv_2025=1),表明性状受环境影响小。

表2

曼-惠特尼检验

		秩		
Group (优等=1)	N	秩平均值	秩的总和	
ASI_Value	0	147	85.81	12614.00
	1	15	39.27	589.00
总计		162		

检验统计^a

	ASI_Value
曼-惠特尼 U	469.000
威尔科克森 W	589.000
Z	-3.874
渐近显著性 (双尾)	<.001

a. 分组变量: ^1

表3

曼-惠特尼检验

		秩			
		Group (优等=1)	N	秩平均值	秩的总和
穗位比_Value	0		147	85.66	12591.50
	1		15	40.77	611.50
	总计		162		

检验统计^a

		穗位比_Value
曼-惠特尼 U		491.500
威尔科克森 W		611.500
Z		-3.531
渐近显著性 (双尾)		<.001

a. 分组变量: *1

2.4 优异材料总结。综合昌吉和铁岭2024年田间表现、昌吉2024-2025稳定性对比, 筛选出5份在ASI和穗位比方面均表现优异的材料。分别为XZ7、XZ8、XZ36、XZ40、XZ43。值得注意的是其中XZ7稳定具有ASI为负值即吐丝期早于散粉期的特点, 具有用于对ASI较大材料进行改良的潜力。

2.5 优异材料与非优异材料的性状差异显著性验证。Mann-Whitney U检验结果显示, 优异组(Group=1)与非优异组(Group=0)在ASI性状上存在极显著差异($U=469, p<0.001$)。非优异组的平均秩(Mean Rank=85.81)显著高于优异组(Mean Rank=39.27)(表2), 同时, 优异组(Group=1)与非优异组(Group=0)在穗位比性状上存在极显著差异($U=491.5, p<0.001$)。非优异组的平均秩(Mean Rank=85.66)显著高于优异组(Mean Rank=40.77)(表3), 证明筛选有效。

2.5.1 性状值大小关系: 优异组的ASI(或穗位比)实际数值显著低于非优异组(因秩均值越小, 对应原始数值越小)。

2.5.2 筛选有效性: 通过中位数法定义的优异材料(ASI或穗位比低于环境中位数)能有效区分性状表现优劣。

3 讨论

3.1 性状稳定性的遗传与生理基础。本研究筛选出的5份材料(XZ7、XZ8、XZ36、XZ40、XZ43)在ASI和穗位比(ERH)上表现出的多环境稳定性, 可能源于其遗传背景的保守性和生理调控的稳健性。

ASI稳定性: 短且稳定的ASI(如XZ7的负值ASI)可能与花期相关基因的低环境敏感性有关。这类材料在逆境下仍能维持花粉与花丝的同步发育, 降低授粉失败风险。

穗位比稳定性: 低穗位比材料的茎秆基部节间通常更短, 从而增强抗倒伏能力。多环境下穗位比的稳定表现提示其遗传调控可能受微效多基因控制, 而非单一主效基因。

3.2 多环境中位数法筛选的优势与局限性。优势一包括可靠性高, 两地两年试验可有效区分基因型真实效应与环境随机误差。例如, XZ8在昌吉(干旱)和铁岭(湿润)均表现优异, 说明其适应性广。优势二为实用性强, 中位数法筛选简单直观, 适合基层

育种单位应用, 与复杂模型相比更易推广。

局限性是存在阈值依赖性, 中位数法可能掩盖极端优异材料(如某材料在部分环境中表现极优但未达全局中位数)。此外该试验环境覆盖不足: 仅包含两个地点和一年份重复, 未来需增加生态区试点(如黄淮海、西南等)。

3.3 与现有研究的对比与创新。本研究结果凸显环境互作对性状评价的影响。多环境筛选可减少假优异材料, 提高选择效率。

3.4 优异材料的应用前景。

3.4.1 杂交亲本选配。XZ7的负ASI特性可针对性改良ASI偏大的主栽品种(如先玉335)的亲本自交系, 缩短其开花间隔。

XZ43的低穗位比(平均28.4%)适合与高产品种(如郑单958)的亲本自交系组配, 平衡产量与抗倒性。

3.4.2 分子标记开发。通过GWAS分析这些材料的基因组, 可能定位到ASI和穗位比的稳定性QTL, 为分子标记辅助选择提供靶点。

3.5 未来研究方向。对XZ7和XZ8进行转录组测序, 挖掘调控ASI稳定性的关键通路(如油菜素内酯信号途径); 将筛选材料与不同杂种优势群组配, 评估其一般配合力和特殊配合力; 结合无人机高通量表型技术, 实现ASI和穗位比的田间快速调查。

4 结论

本研究通过多环境稳定性分析, 筛选出5份(JL133、Z3354、巴121-1、D6、新自618)兼具低穗位比与短ASI的玉米自交系, 其性状表现受环境影响小, 遗传稳定性显著。Mann-Whitney U检验证实了筛选标准的科学性($p<0.001$), 为玉米抗逆育种提供了优质亲本资源。未来需结合多组学技术深入解析其稳产机制, 并扩大环境验证规模以进一步优化筛选体系。

[基金项目]

海南省“南海新星”科技创新人才平台项目(NHXXRCXM 202373)。

[参考文献]

[1] 丁章纳. 玉米多亲群体重组自交DH系的配合力及产量杂种优势研究[D]. 云南农业大学, 2024.

[2] 徐田军, 吕天放, 李自豪, 等. 不同玉米杂交种及其亲本自交系耐热性的差异比较[J]. 中国农业科学, 2024, 57(2): 403-415.

[3] 王俊杰. 陕A群、陕B群选育玉米自交系组配杂交种的机收特性评价[D]. 西北农林科技大学, 2024.

[4] 钟源, 赵小强. 187份玉米自交系抗旱性评价及SSR标记关联分析[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(03): 1-8+50.

作者简介:

冯智浩(1997--), 男, 汉族, 陕西省汉中市人, 助理农艺师, 本科, 玉米种质资源鉴定评价。

*通讯作者:

郭建强。