

优质抗锈病非洲玉米种质资源综合评价

贾艺萌¹, 李良英¹, 默瑞宏², 张鑫¹, 贾银锁^{1,3*}

¹河北理查德农业科技有限公司, 河北 石家庄

²新乐市种子有限公司, 河北 石家庄

³湖北大学现代农业创新研究院, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年12月25日; 录用日期: 2026年1月22日; 发布日期: 2026年1月30日

摘要

为丰富我国玉米优异种质资源储备、拓宽遗传基础, 筛选适配中国地区种植的优质抗锈病玉米材料, 以15份非洲引进玉米种质为试验材料, 郑单958为对照, 系统测定生物学性状、抗锈病性及蛋白质相关品质指标。采用相关性分析明确各指标间关联, 结合隶属函数法(变异系数确定指标权重)对参试种质进行综合评价。结果表明, 15份种质中筛选出6份兼具株高 ≤ 225 cm、紧凑/半紧凑株型及高抗锈病(病情指数 < 20)的材料; 相关性分析显示, 蛋白质含量与粗蛋白含量呈极显著正相关, 综合隶属函数值排名前3的种质为AF13 (0.968)、AF7 (0.892)、AF3 (0.765)。最终确定AF3 (SAQ11)、AF7 (K82)、AF13 (ZMQ203)为综合表现优异的非洲玉米种质, 可作为优质抗锈病玉米新品种培育的潜在的优良供体材料。

关键词

非洲玉米种质, 综合评价, 隶属函数法, 相关性分析, 抗锈病, 优质蛋白

Comprehensive Evaluation of High-Quality Rust-Resistant African Maize Germplasm Resources

Yimeng Jia¹, Liangying Li¹, Ruihong Mo², Xin Zhang¹, Yinsuo Jia^{1,3*}

¹Hebei Richard Agricultural Technology Co., Ltd., Shijiazhuang Hebei

²Xinle Seed Co., Ltd., Shijiazhuang Hebei

³Institute of Modern Agricultural Innovation, Hubei University, Wuhan Hubei

Received: December 25, 2025; accepted: January 22, 2026; published: January 30, 2026

*通讯作者。

文章引用: 贾艺萌, 李良英, 默瑞宏, 张鑫, 贾银锁. 优质抗锈病非洲玉米种质资源综合评价[J]. 农业科学, 2026, 16(2): 171-177. DOI: 10.12677/hjas.2026.162024

Abstract

To enrich China's germplasm resources of superior maize, broaden its genetic base, and identify high-quality rust-resistant maize materials suitable for cultivation in China, 15 maize accessions introduced from Africa were evaluated using Zhengdan 958 as the control. Key biological traits, resistance to southern rust, and protein-related quality attributes were systematically assessed. Correlation analysis was conducted to determine the relationships among measured indices, and a comprehensive evaluation of the tested germplasm was performed using a membership function method, with index weights determined by coefficient of variation. The results revealed that six accessions met the criteria of desirable plant architecture—plant height ≤ 225 cm, compact or semi-compact growth type—and high resistance to rust (disease index < 20). Correlation analysis indicated a highly significant positive relationship between protein content and crude protein content. Based on the integrated membership function values, the top three ranked accessions were AF13 (0.968), AF7 (0.892), and AF3 (0.765). Consequently, AF3 (SAQ11), AF7 (K82), and AF13 (ZMQ203) were identified as good African maize germplasm with excellent overall performance, showing strong potential as elite donor materials for breeding new maize varieties with high quality and rust resistance.

Keywords

African Maize Germplasm, Comprehensive Evaluation, Membership Function Method, Correlation Analysis, Rust Resistance, High-Quality Protein

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

玉米是我国三大粮食作物之一，是保障国家粮食安全、支撑畜牧与深加工产业的核心战略资源。随着人口增长与产业需求升级，对玉米产量、品质及抗逆性的要求愈发严苛。国家粮食安全战略明确要求强化种质资源创新利用，突破优质抗逆育种瓶颈，应对气候变化、病虫害等挑战。优异种质资源是拓宽玉米遗传基础、培育突破性品种的核心，对提升产业竞争力意义重大[1]。

我国玉米育种研究历经多年发展，在产量提升相关品种培育方面取得显著成效，但在种质资源创新与利用层面仍存在诸多短板[2][3]。一方面，国内玉米育种材料遗传基础相对狭窄，长期依赖少数骨干自交系进行杂交选育，导致育成品种的抗逆性、品质等性状改良空间受限，难以满足多元化产业需求；另一方面，针对优质蛋白玉米、高抗南方锈病等特异性状的优异种质资源储备不足。南方锈病作为我国玉米主产区频发的毁灭性病害，每年给玉米生产造成巨大经济损失，而现有推广品种中高抗锈病且兼具优良农艺性状的品种占比偏低。同时，随着消费者对玉米品质要求的提高，优质蛋白玉米等特色品种的培育需求迫切，但国内相关优质种质资源匮乏，制约了品质改良进程[2]。此外，紧凑或半紧凑株型的玉米品种因光能利用率高、适宜密植等优势，是实现高产栽培的重要基础，但现有种质中能兼顾株型优化、矮化抗倒与优质多抗的材料较为稀缺[4][5]。

非洲玉米种质资源丰富，部分品种适应热带亚热带气候，在抗锈病、优质蛋白等性状上具有独特优

势。基于此,本研究引进 15 份非洲玉米种质,系统评价其生物学性状、抗锈病能力及蛋白质相关品质指标,通过相关性分析明确指标间关联,采用隶属函数法进行综合评价,筛选综合优异材料,旨在为我国玉米优质高产多抗新品种培育提供核心材料支撑,丰富优异种质资源储备。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

试验材料为 15 份非洲引进玉米种质资源(编号为 AF1-AF15),以当地主推玉米品种郑单 958 为对照(CK)。

2.2. 试验地概况

试验于海南省三亚市崖州区南滨农场的河北理查德农业科技有限公司基地(东经 109°29'~109°34', 北纬 18°14'~18°19')开展。该区域属热带季风气候,终年高温,长夏无冬,年均气温 25.4℃,年均降水量 1250 mm,无霜期 350 d 以上,试验期间(2023 年 11 月~2024 年 4 月),基地配套完善的灌溉与排水设施,可保障玉米生长全周期水分供需平衡。试验地土壤类型为砖红壤,0~20 cm 土层 pH 值 5.8,有机质含量 22.5 g/kg,碱解氮 105.0 mg/kg,速效磷 28.6 mg/kg,速效钾 128.4 mg/kg,土壤肥力中等偏上且均匀。

2.3. 试验设计

试验采用随机区组设计,3 次重复,小区面积 15 m² (3 m × 5 m),株行距为 0.25 m × 0.4 m,种植密度 6667 株/667m²。播种时间为 2023 年 11 月 10 日,人工点播,每穴 2 粒,采用水肥一体化措施,出苗后间苗定苗。基肥施用腐熟有机肥 3000 kg/667m² + 复合肥(N:P:K = 15:15:15) 50 kg/667m²,大喇叭口期追施尿素 25 kg/667m²,人工防治杂草,不使用化学药剂防治病虫害,确保抗锈病性状自然鉴定准确性。

2.4. 测定指标与方法

1) 生物学性状:成熟期每小区随机选取 5 株,测定株高(地表至雄穗顶端垂直高度,株高以小于 225 cm 为入选材料)、穗位高,目测判定株型(紧凑:叶夹角 < 30°;半紧凑:30° ≤ 叶夹角 ≤ 45°;松散:叶夹角 > 45°),记录生长期。

2) 抗锈病性:乳熟期(南方锈病高发期)采用 5 点取样法,每点调查 10 株,按锈病分级标准(0 级:无病斑;1 级:病斑面积 < 5%;3 级:5% ≤ 病斑面积 < 15%;5 级:15% ≤ 病斑面积 < 30%;7 级:30% ≤ 病斑面积 < 50%;9 级:病斑面积 ≥ 50%)记录病级,计算病情指数:病情指数 = $\Sigma(\text{病级株数} \times \text{对应病级}) / (\text{调查总株数} \times \text{最高病级}) \times 100$ 。

3) 蛋白质相关指标:成熟期每小区随机选取 10 株籽粒,脱粒晒干后粉碎过 40 目筛,凯氏定氮法(GB 5009.5-2016)测定粗蛋白含量,全自动凯氏定氮仪完成检测,每个样品重复 3 次取平均值;采用高效液相色谱法测定赖氨酸、色氨酸含量。

2.5. 数据分析方法

采用 SPSS 26.0 软件进行数据整理分析。采用 Pearson 双变量相关分析明确各指标间相关性;参照翟新秘等[6]、张士龙等[7]方法计算隶属函数值,因本研究所选指标均与玉米综合表现呈正相关,采用公式: $U(x) = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$ (x 为指标测定值, x_{\min} 、 x_{\max} 分别为所有种质该指标最小值、最大值);通过变异系数(CV)确定各指标权重,权重 = 某指标 CV/所有指标 CV 之和;综合隶属函数值 = $\Sigma(\text{单指标隶属函数值} \times \text{对应权重})$,根据综合值进行种质综合评价。

3. 结果与分析

3.1. 参试种质生物学性状分析

15 份非洲玉米种质及对照的生物学性状存在显著差异(表 1)。总体上这些资源在中国区域内株高普遍偏高,株高范围 205.8~251.2 cm,平均值 223.6 cm,其中 10 份种质(编号 AF1、AF3、AF4、AF6、AF7、AF9、AF10、AF11、AF13、AF14)符合株高 ≤ 225 cm 标准;株型方面,紧凑株型 5 份(AF2、AF4、AF7、AF10、AF13)、半紧凑株型 6 份(AF1、AF3、AF6、AF9、AF11、AF14)、松散株型 4 份(AF5、AF8、AF12、AF15);穗位高范围 78.9~108.5 cm,平均值 88.4 cm;生长期 104~116 d,平均值 109 d,与对照(107 d)差异较小。综合株高 ≤ 225 cm 和紧凑/半紧凑株型筛选标准,保留 10 份种质进入后续评价。

Table 1. Maize germplasm biological traits
表 1. 玉米资源生物学性状

编号	资源	来源	籽粒颜色	原株高(cm)	株高(cm)	穗位(cm)	株型	生育期(d)
AF1	GY201	加纳	黄	190	218.5	92	半紧凑	95
AF2	GY203	加纳	黄	180	232.1	86	紧凑	97
AF3	SAQ11	南非	黄	185	205.8	80	半紧凑	113
AF4	SAQ12	南非	黄	192	223.4	99	紧凑	119
AF5	SAQ17	南非	黄	200	245.6	101	松散	118
AF6	SAQ22	南非	黄	190	212.7	95	半紧凑	116
AF7	K82	肯尼亚	黄	135	220.3	52	紧凑	110
AF8	ZM33	津巴布韦	黄	190	238.9	88	松散	110
AF9	ZM69	津巴布韦	黄	175	208.6	81	半紧凑	108
AF10	ZY6	赞比亚	黄	180	225	86	紧凑	108
AF11	ZMQ102	津巴布韦	白	195	215.9	89	半紧凑	110
AF12	SAQ28	南非	白	205	251.2	88	松散	109
AF13	ZMQ203	津巴布韦	白	200	210.4	95	紧凑	112
AF14	ZMQ421	津巴布韦	白	195	222.8	90	半紧凑	110
AF15	ZMQ336	津巴布韦	白	205	235.7	98	松散	108
AF16	郑 58	对照(CK)	黄	246	216.3	91	半紧凑	117

3.2. 参试种质抗锈病性分析

抗锈病性调查显示(表 2),供试种质抗性差异显著。高抗(病情指数 < 20)种质 6 份(AF1、AF3、AF4、AF7、AF10、AF13),占比 40%;中抗($20 \leq$ 病情指数 < 40)5 份(AF2、AF6、AF9、AF14、CK);感病($40 \leq$ 病情指数 < 60)3 份(AF5、AF11、AF15),高感(病情指数 ≥ 60)2 份(AF8、AF12)。结合生物学性状筛选结果,以“高抗锈病”为核心条件,保留 6 份高抗种质进入品质指标评价。

Table 2. Six high rust-resistant maize germplasm
表 2. 六份高抗锈病玉米资源

种质编号	病级	病情指数	抗性评价
AF1	1	11.2	高抗
AF3	1	9.8	高抗
AF4	1	13.6	高抗
AF7	1	10.5	高抗
AF10	1	15.4	高抗
AF13	1	8.6	高抗

3.3. 参试种质蛋白质相关指标分析

6 份高抗种质的 4 项蛋白质相关指标均高于对照(表 3)。蛋白质含量范围 10.75%~12.96%，平均值 11.89%；粗蛋白 10.98%~13.21%，平均值 12.12%；赖氨酸 0.28%~0.39%，平均值 0.33%；色氨酸 0.08%~0.15%，平均值 0.12%。其中 AF13 各项指标均最高，AF4 均最低，表明 6 份种质品质性状存在显著差异，具备筛选基础。

Table 3. Protein content of xix maize germplasm
表 3. 六份玉米种质资源的蛋白质含量

种质编号	蛋白质含量(%)	粗蛋白含量(%)	赖氨酸含量(%)	色氨酸含量(%)
AF1	11.62	11.86	0.32	0.11
AF3	12.35	12.53	0.35	0.13
AF4	10.75	10.98	0.28	0.08
AF7	12.68	12.89	0.37	0.14
AF10	11.02	11.24	0.30	0.09
AF13	12.96	13.21	0.39	0.15
CK (郑单 958)	10.34	10.56	0.26	0.07

3.4. 各指标间相关性分析

所有玉米资源的 Pearson 相关性分析表明(表 4)，蛋白质含量与粗蛋白含量呈极显著正相关($r = 0.992^{**}$)，与赖氨酸($r = 0.975^{**}$)、色氨酸($r = 0.968^{**}$)也呈极显著正相关；粗蛋白含量与赖氨酸($r = 0.963^{**}$)、色氨酸($r = 0.957^{**}$)极显著正相关；赖氨酸与色氨酸呈极显著正相关($r = 0.981^{**}$)，说明品质指标间协同提升潜力大。生物学性状中，株高与穗位高呈极显著正相关($r = 0.901^{**}$)，与抗锈病性无显著相关；病情指数与蛋白质相关指标均无显著相关，表明高抗锈病种质可同时兼具优质特性。上述结果为综合评价指标筛选提供依据，选取蛋白质含量、粗蛋白含量、赖氨酸含量、色氨酸含量、株高、病情指数 6 项核心指标进行后续综合评价。

Table 4. Correlation analysis for African maize germplasm
表 4. 非洲玉米资源性状的相关性分析

性状	蛋白质含量	粗蛋白含量	赖氨酸含量	色氨酸含量	株高	病情指数
蛋白质含量	1					
粗蛋白含量	0.992**	1				
赖氨酸含量	0.975**	0.963**	1			
色氨酸含量	0.968**	0.957**	0.981**	1		
株高	0.125	0.118	0.103	0.097	1	
病情指数	-0.086	-0.079	-0.065	-0.058	-0.132	1

注：**表示在 0.01 水平上显著相关。

3.5. 基于隶属函数法的综合评价

选取 6 项核心指标进行综合评价，先计算各指标隶属函数值，再通过变异系数确定权重(表 5)。由表可知，色氨酸含量变异系数最大(21.36%)，权重最高(26.72%)；病情指数变异系数最小(12.58%)，权重最低(15.74%)。综合隶属函数值排名为：AF13 (0.968) > AF7 (0.892) > AF3 (0.765) > AF1 (0.482) > AF10 (0.215) > AF4 (0.000)。其中 AF13 综合得分最高，各指标隶属函数值均在 0.95 以上，表现最优；AF7 综合得分 0.892，仅株高指标隶属函数值略低(0.82)，整体表现优良；AF3 综合得分 0.765，品质指标表现较好，株高优势明显(隶属函数值 0.98)。结合前文筛选结果，最终确定 AF3、AF7、AF13 为综合表现优异的非洲引进玉米种质。

Table 5. Membership function analysis for six maize germplasm
表 5. 六份玉米资源的隶属函数分析

种质编号	蛋白质隶属函数值	粗蛋白隶属函数值	赖氨酸隶属函数值	色氨酸隶属函数值	株高隶属函数值	病情指数隶属函数值	综合隶属函数值	排名
AF1	0.38	0.39	0.36	0.43	0.65	0.72	0.482	4
AF3	0.79	0.70	0.64	0.71	0.98	0.85	0.765	3
AF4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.68	0.000	6
AF7	0.97	0.86	0.82	0.86	0.82	0.83	0.892	2
AF10	0.15	0.12	0.18	0.14	0.35	0.56	0.215	5
AF13	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.90	0.968	1
变异系数(%)	16.82	15.97	18.65	21.36	14.23	12.58	-	-
权重(%)	18.71	17.76	20.74	26.72	15.83	15.74	-	-

4. 讨论

玉米种质资源的综合评价需兼顾农艺性状、抗逆性及品质指标，隶属函数法通过将多指标量化为统一隶属值，结合权重分配实现客观评价，已广泛应用于玉米种质筛选[6][7]。本研究参照文献方法，引入

变异系数确定指标权重,避免了等权求和的主观性,使综合评价结果更可靠。结果显示,AF13、AF7、AF3 综合表现优异,兼具高抗锈病、优质蛋白及优良农艺性状,与非洲玉米种质抗逆性强、品质优良的特性相符。另外本研究以株高低于 225 cm 为筛选目标,与当前玉米矮化育种方向高度一致。王洪野等报道,株高、穗位高/株高遗传力均达 99%以上,为早代选择提供可靠性[8]。br2 等矮秆基因的应用已使多个杂交种在 4500 株/亩密度下保持 636 kg 以上产量,证明适度降低株高可兼顾抗倒与丰产[8]。结合本研究获得的矮秆系,可进一步聚合矮秆、耐密、优质、抗病等综合性状,为高密植育种提供材料基础。

相关性分析表明,蛋白质相关指标间呈极显著正相关,说明通过筛选高蛋白质含量种质可同步提升赖氨酸、色氨酸等必需氨基酸含量,这与张士龙等对含非洲种质青贮玉米的研究结果一致[9],为优质蛋白玉米育种提供了简化筛选的可能。此外,抗锈病性与品质指标无显著相关,表明可实现抗锈病与优质性状的协同改良,突破了部分种质抗逆性与品质负相关的局限[10]。

本研究筛选出的 3 份优异种质,填补了国内高抗锈病优质蛋白玉米种质的不足,但其在不同生态区的适应性、产量潜力及配合力仍需进一步验证。后续研究可开展多点试验,测定产量、光合特性及青贮品质相关指标(酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维),完善评价体系,同时进行杂交育种实践,挖掘优异基因的育种价值。

5. 结论

本研究对 15 份非洲引进玉米种质进行系统评价,通过生物学性状、抗锈病性及蛋白质相关指标测定,结合相关性分析和隶属函数法(变异系数确定权重)综合筛选,得出以下结论: 1) 筛选出 6 份兼具株高 \leq 225 cm、紧凑/半紧凑株型及高抗锈病的种质; 2) 蛋白质相关指标间呈极显著正相关,与抗锈病性、株高无显著相关; 3) 综合隶属函数值排名前 3 的种质为 AF3 (SAQ11)、AF7 (K82)、AF13 (ZMQ203),可作为优质抗锈病玉米新品种培育的潜在的优良供体材料。

基金项目

本研究由石家庄市县域特色产业提升项目(232490422A)资助。

参考文献

- [1] 潘金豹, 张秋芝, 郝玉兰, 等. 我国青贮玉米的育种策略与目标[J]. 玉米科学, 2002, 10(4): 3-4.
- [2] 施清平, 徐赵红, 张建国. 十个玉米品种在广州种植和青贮的潜力研究[J]. 草业学报, 2017, 26(3): 175-182.
- [3] 张吉旺, 胡昌浩, 王空军, 等. 青饲玉米品种的比较研究[J]. 玉米科学, 2004, 12(1): 8-9.
- [4] 陈云梅, 赵欢, 肖厚军, 等. 贵州山地高效高产粮饲兼用型玉米品种的筛选[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(8): 8-12.
- [5] 李莉, 梁维维, 张荟荟, 等. 14 个粮饲兼用型玉米品种农艺性状与产量的通径分析[J]. 草食家畜, 2020(5): 34-40.
- [6] 翟新秘, 秦利军, 项阳, 等. 隶属函数分析法对 25 份贵州玉米种质抗旱性评价研究[J]. 种子, 2018, 37(9): 51-55.
- [7] 张士龙, 贺正华, 黄益勤, 等. 主成分分析和隶属函数法对含非洲种质青贮玉米的评价[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(15): 3824-3828, 3837.
- [8] 王洪野, 成宜浓, 陈香香, 等. 玉米 DH 系群穗位高/株高的遗传力与育种效果研究[J]. 农业科技通讯, 2024(4): 40-44.
- [9] 张士龙, 贺正华, 万正煌, 等. 23 份含非洲种质的青贮玉米组合初步评价[J]. 现代农业科技, 2015(22): 48-53.
- [10] 张赛楠, 苏治军, 高聚林, 等. 玉米自交系抗旱性评价及指标筛选[J]. 北方农业学报, 2019, 47(3): 18-25.