

玉米自交系气生根性状与抗倒伏性的相关性及通径分析

王静 王志红 侯现军 艾振光 闫丽慧 王昌亮 张国合 常建智

(鹤壁市农业科学院, 458031, 河南鹤壁)

摘要 为了解不同遗传背景玉米自交系的气生根特性及其与抗倒伏性的关系,以56份玉米自交系为试验材料,运用相关性分析、通径分析和聚类分析等方法对8个气生根性状进行综合分析。利用植物茎秆强度测定仪测定植株的茎秆抗推力大小,并以此作为自交系抗倒伏性的评价指标,分析气生根性状与抗倒伏性的关系。结果表明,各气生根性状的变异系数均较大,其中气生根角度的变异系数最大(31.70%),气生根发生时间的变异系数最小(10.77%);气生根性状之间除气生根发生时间和抗穿刺强度与其他性状无显著相关性外,其余性状均存在显著相关性;气生根条数、气生根抓地半径与茎秆抗推力呈极显著正相关,相关系数分别为0.560和0.522;气生根抗穿刺强度、气生根层数与茎秆抗推力也存在显著正相关关系;通径分析结果显示,气生根条数和气生根抓地半径对抗倒伏性评价指标的直接作用和间接作用均较大,在抗倒伏育种中加强对气生根条数和气生根抓地半径的选择与改良有助于提高品种的抗倒伏能力;聚类分析将供试自交系分为4个类群,其中类群II的浚M6968和LH190等自交系具有茎秆抗推力和气生根性状均值较大的特点,可为抗倒伏新品种选育提供种质基础。

关键词 玉米;气生根;抗倒伏;通径分析;相关性分析

玉米是我国重要的粮食作物,其种植面积和产量均居首位,其高产稳产对保障国家粮食安全具有重要意义^[1]。目前,增加种植密度是提升玉米产量的主要途径,但密度的增加往往会增大植株发生倒伏的风险。植株倒伏不仅会造成玉米产量减少和品质降低,还会给机械化收获带来困难^[2-3]。近年来,由于玉米生长季暴雨以及大风等恶劣天气增多,导致倒伏现象更加严重^[4],因此,提高抗倒伏能力已经成为玉米品种选育的重要目标之一。目前,关于玉米抗倒伏方面的研究^[5-7]多集中在株型结构、茎秆机械强度和茎秆纤维成分等方面,根系方面因其结构复杂且易受基因型和环境影响,故相关报道较少。玉米气生根是根系的重要组成部分,对植株起着固定和支撑的作用,气生根的发育状况会对植株稳定性产生一定影响。白永新等^[8]通过鉴定不同玉米品种的抗倒伏关联性状发现,气生根的生长数量显著影响抗倒伏性。于大伟等^[9]研究指出,抗倒型玉米自交系的气生根角度和条数均大于易倒型。张桂萍等^[10]分析基部节间形态与根系性状的协同抗倒伏性后表明,气生根条数及粗

细均与抗倒伏性评价指标呈显著正相关。由此可见,气生根性状与植株抗倒伏性密切相关,但目前尚缺乏对气生根发生时间、直径、入土深度及抓地半径等形态和质量性状的系统研究。

本研究以56份不同遗传背景的玉米自交系为材料,在自然条件下无倒伏发生时,以测定植株茎秆抗推力作为评价自交系抗倒伏能力的指标,比较分析了多个气生根表型性状以及茎秆抗推力在玉米自交系间的遗传变异特征。同时,运用相关性分析、通径分析和聚类分析等方法,深入探究各气生根性状与茎秆抗推力之间的关系,筛选出与抗倒伏紧密相关的气生根指标以及抗倒能力突出的玉米自交系,以期对玉米抗倒伏种质资源的鉴定、筛选及遗传改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为56份玉米自交系(表1),包括鹤壁市农业科学院保存的49份外来自交系和课题组多年选育的7份稳定自交系,外来自交系中包

作者简介:王静,主要从事玉米栽培和遗传育种研究, E-mail: aywjing1102@163.com

常建智为通信作者,主要从事玉米新品种选育研究, E-mail: xxsy2666@163.com

基金项目:河南省重点研发专项“玉米高效精准育种方法的创制与优质、抗病、耐密玉米种质的选育及应用”(231111113400);国家现代农业产业建设基金项目(CARS-02-67);河南省科技攻关项目“基于密植滴灌技术的玉米单产提升关键技术研究与示范”(242102110153);河南省玉米遗传改良院士工作站(GZZ2011062)

收稿日期:2025-01-26;修回日期:2025-04-02;网络出版日期:2025-04-23

表 1 供试玉米自交系
Table 1 Tested maize inbred lines

编号 Number	材料名称 Material name	编号 Number	材料名称 Material name	编号 Number	材料名称 Material name	编号 Number	材料名称 Material name
1	CML324	15	CML491	29	LH220Ht	43	CML166
2	CML161	16	CML332	30	NS501	44	CML480
3	良玉 99 母本	17	CML492	31	LH205	45	CML186
4	M5972	18	P138	32	浚 NY65	46	CML172
5	52106	19	CLRCY022	33	White pearl pop	47	RS710
6	CML496	20	605 父本	34	HNL-132	48	吉 853
7	掖 478	21	S8324	35	LH209	49	91097 白
8	丹 598	22	Popcorn Seed II	36	浚 1541	50	衡白 522
9	CML144	23	09J468	37	白爆裂玉米	51	伟科 702 母本
10	CML359	24	HNL-150	38	浚 M6968	52	8902
11	78371A	25	LH190	39	蜜糯 8 号	53	LzD2
12	CML530	26	浚 NQ33	40	彩花糯玉米	54	1-148
13	浚 262	27	CML180	41	CLWN247	55	浚 658
14	浚 314	28	MEXp2	42	PHP85	56	21SQ2-159

含特用玉米 6 份。

1.2 试验设计

试验于 2022-2023 年在鹤壁市农业科学院试验园区 (35°43' N, 114°19' E) 进行, 该地土壤类型为黏质潮土, pH 7.6, 土壤基础理化性质为有机质含量 1.71%、碱解氮 115.43 mg/kg、速效磷 15.54 mg/kg 和速效钾 138.83 mg/kg。采用随机区组试验, 2 行区种植, 3 次重复。行长 4 m, 行距 60 cm, 密度 67 500 株/hm², 田间管理同一般大田。抽雄后, 每个材料选择生长健康且一致的 5 株挂牌标记, 后续进行田间性状调查。

1.3 测定项目与方法

田间性状调查方法参考于大伟^[1]和孔馨樱^[2]的方法, 略有改动。材料播种后, 从小喇叭口期开始观察, 记录第 1 层气生根的发生时间, 每个材料记录 5 株。气生根发生初期每隔 1 d 记录 1 次, 至后期第 1 层气生根发生基本完成时, 每 3 d 记录 1 次, 直至记录完成。用第 1 层气生根的发生日期距播种日期的天数, 即为气生根发生时间 (X_1)。于灌浆期测量最外层入土气生根的抗穿刺强度, 每份材料选取 5 株, 每株选取 3 条长势一致的气生根, 用 YYD-1B 型便携式茎皮强度测定仪 (托普云农科技股份有限公司, 浙江) 垂直对准气生根中部进行针刺测量, 记录瞬间压力值为气生根抗穿刺强度 (X_2)。于灌浆期至乳熟期调查供试材料的入土气生根层数 (X_3) 和各层入土气生根条数 (X_4)。于灌浆期用游标卡尺测量

地上最外层入土气生根中间部位的直径, 每株测量 3 根, 取平均值为气生根直径 (X_5)。用软尺测量气生根抓地周长, 忽略个别伸出较远的气生根, 计算每株的气生根抓地半径 (X_6): 气生根抓地半径=气生根抓地周长/ 2π 。用自制微型量角器测量最外层入土气生根和茎秆所成的夹角, 每株测量 3 根, 取平均值为气生根角度 (X_7)。玉米成熟收获后, 用铁钎将植株连根挖出, 用游标卡尺测量气生根入土部分的长度, 每株测量 3 根, 取平均值为气生根入土深度 (X_8)。于灌浆期使用 YYD-1B 型便携式茎皮强度测定仪测量茎秆抗推力 (X_9), 测量位置为茎秆地上部第 3 节间的中部, 将茎秆推倒至折断时读取瞬间值, 每个材料测定 3 株, 取平均值, 以此作为供试材料抗倒伏性参考指标。

1.4 数据处理

气生根各性状指标采用 2 年试验数据均值, 运用 Excel 2007 软件进行数据录入和整理, 使用 SPSS 软件进行描述性统计、相关性分析和通径分析, 使用 Origin 软件进行聚类分析并作图。

2 结果与分析

2.1 供试玉米自交系气生根和茎秆抗推力的变异分析

56 份玉米自交系的气生根性状和茎秆抗推力指标测量结果 (表 2) 表明, 自交系间的各个气生根性状变异程度均较大, 说明这些自交系在气生

根性状上存在较大遗传差异，具有遗传多样性强的特点。其中，气生根角度的变异系数最大，达到 31.70%；其次是抓地半径和气生根条数，分别为 30.21%和 29.53%；气生根抗穿刺强度、入土深度和直径变异程度差距较小，分别为 17.31%、16.78%和 15.78%；气生根发生时间的变异程度最小（10.77%）。茎秆抗推力的变异范围为 37.9~198.4 N，变异系数为 28.71%，变异程度也较大，说明供试自交系在抗倒伏能力方面差异较大，存

表 2 玉米气生根性状和茎秆抗推力的描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of aerial root traits and stalk anti-thrust in maize

性状 Trait	平均值 Mean	最小值 Min.	最大值 Max.	标准差 SD	变异系数 CV (%)
X ₁ (d)	40.1	31.7	51.7	4.32	10.77
X ₂ (N)	25.4	14.7	39.1	4.39	17.31
X ₃	2.0	1.2	3.0	0.36	17.98
X ₄	25.4	13.8	50.0	7.50	29.53
X ₅ (mm)	4.0	2.6	5.6	0.63	15.78
X ₆ (cm)	4.1	2.6	9.8	1.24	30.21
X ₇ (°)	44.9	15.0	81.4	14.23	31.70
X ₈ (cm)	14.9	10.1	24.2	2.50	16.78
X ₉ (N)	110.4	37.9	198.4	31.70	28.71

在不同的抗倒伏类型。

2.2 供试玉米自交系气生根和茎秆抗推力的相关性分析

2.2.1 各气生根性状间的相关性分析 对玉米自交系气生根各表型性状进行相关性分析（表 3），气生根抗穿刺强度和发生时间 2 个气生根质量性状与气生根角度、直径、抓地半径等气生根形态性状之间无明显的相关性；气生根角度与气生根抓地半径间呈显著正相关，相关系数为 0.301，说明当气生根由茎秆着生处向外生长张开的角度越大，气生根抓地的面积随之增大；气生根直径与气生根角度呈显著正相关，相关系数为 0.333；气生根抓地半径与气生根直径、气生根层数及气生根条数之间均呈极显著正相关，相关系数分别为 0.511、0.529 和 0.649；气生根条数与气生根层数呈极显著正相关，相关系数为 0.693；气生根条数与入土深度间也存在显著正相关关系，相关系数为 0.366。由此可见，气生根形态性状之间存在一定的相互影响，在鉴定与筛选抗倒伏种质资源时，对某个气生根形态性状进行遗传选择的同时能够改良与其相关联的性状。

表 3 玉米自交系抗倒伏性状间的相关系数

Table 3 Correlation coefficient among lodging resistance traits of maize inbred lines

性状 Trait	X ₂	X ₇	X ₅	X ₆	X ₄	X ₃	X ₁	X ₈	X ₉
X ₂	1.000								
X ₇	-0.208	1.000							
X ₅	-0.045	0.333*	1.000						
X ₆	0.065	0.301*	0.511**	1.000					
X ₄	0.091	-0.070	0.206	0.649**	1.000				
X ₃	0.044	0.014	0.052	0.529**	0.693**	1.000			
X ₁	0.060	0.133	-0.071	-0.041	-0.057	-0.012	1.000		
X ₈	0.034	0.078	0.188	0.277	0.366*	0.193	-0.291	1.000	
X ₉	0.242*	0.065	0.172	0.522**	0.560**	0.331*	-0.058	0.225	1.000

“*”表示在 P < 0.05 水平显著相关，“**”表示在 P < 0.01 水平极显著相关。

“*” indicates significant correlation at the P < 0.05 level, “**” indicates extremely significant correlation at the P < 0.01 level.

2.2.2 气生根和茎秆抗推力的相关性分析 气生根性状和茎秆抗推力相关性分析结果（表 3）表明，气生根抗穿刺强度和茎秆抗推力呈显著正相关，但相关系数较小（0.242）；气生根角度、气生根发生时间与茎秆抗推力相关性不显著；气生根直径、入土深度与茎秆抗推力均有一定正相关趋势，但相关性不显著；气生根抓地半径、气生根条数均与茎秆抗推力呈极显著正相关，相关系数分别为 0.502 和

0.491；气生根层数与茎秆抗推力呈显著正相关，相关系数为 0.305。综上，气生根条数、气生根抓地半径、气生根层数和气生根抗穿刺强度是影响茎秆抗推力的重要因素，增加气生根条数和气生根层数、增大气生根抓地半径和气生根抗穿刺强度有助于提高植株的抗倒伏能力。

2.3 气生根性状与茎秆抗推力的通径分析

气生根抗穿刺强度、气生根抓地半径、气生根

条数和气生根层数与茎秆抗推力有显著相关性，为进一步揭示这些性状对玉米抗倒伏性的作用大小，以茎秆抗推力为因变量（Y）、其他性状为自变量（X）进行途径分析。结果如表 4 所示，4 个气生根性状对茎秆抗推力的直接途径系数大小依次为气生根条数>气生根抓地半径>气生根抗穿刺强度>气生根层数，说明气生根条数对茎秆抗推力的直接作用最大，抓地半径的直接作用次之，气生根抗穿刺强度和气生根层数对茎秆抗推力的直接作用较小。由间接途径系数可以看出，气生根条数通过气生根层数对茎秆抗推力的间接作用最大，间接途径系数为 0.317，而抗穿刺强度对茎秆抗推力的间接作用相对最小。由此可知，气生根条数对抗倒伏性的直接和间接影响均较大，组配抗倒伏杂交种时可以着重选择气生根条数较多的种质资源。

表 4 玉米主要气生根性状对茎秆抗推力的途径系数
Table 4 Pathway coefficient of main aerial root traits to stalk anti-thrust in maize

性状 Trait	直接途径系数 Direct path coefficient	间接途径系数 Indirect path coefficient			
		X ₂ -Y	X ₆ -Y	X ₄ -Y	X ₃ -Y
X ₂	0.188		0.012	0.022	0.017
X ₆	0.292	0.019		0.190	0.154
X ₄	0.458	0.042	0.297		0.317
X ₃	0.149	0.007	0.079	0.103	

2.4 玉米自交系抗倒伏性状的聚类分析

以主要气生根性状及茎秆抗推力作为变量进行聚类分析，将 56 份玉米自交系划分为 4 个类群（图 1）。其中，类群 I 自交系数量最多，包含 34 个自交系，占比 60.7%；类群 II 包含 4 个自交系浚 M6968、LH190、CLRCY022 和 CML359；类群 III 包含浚 NQ33、CML180 和掖 478 等 9 个自交系；

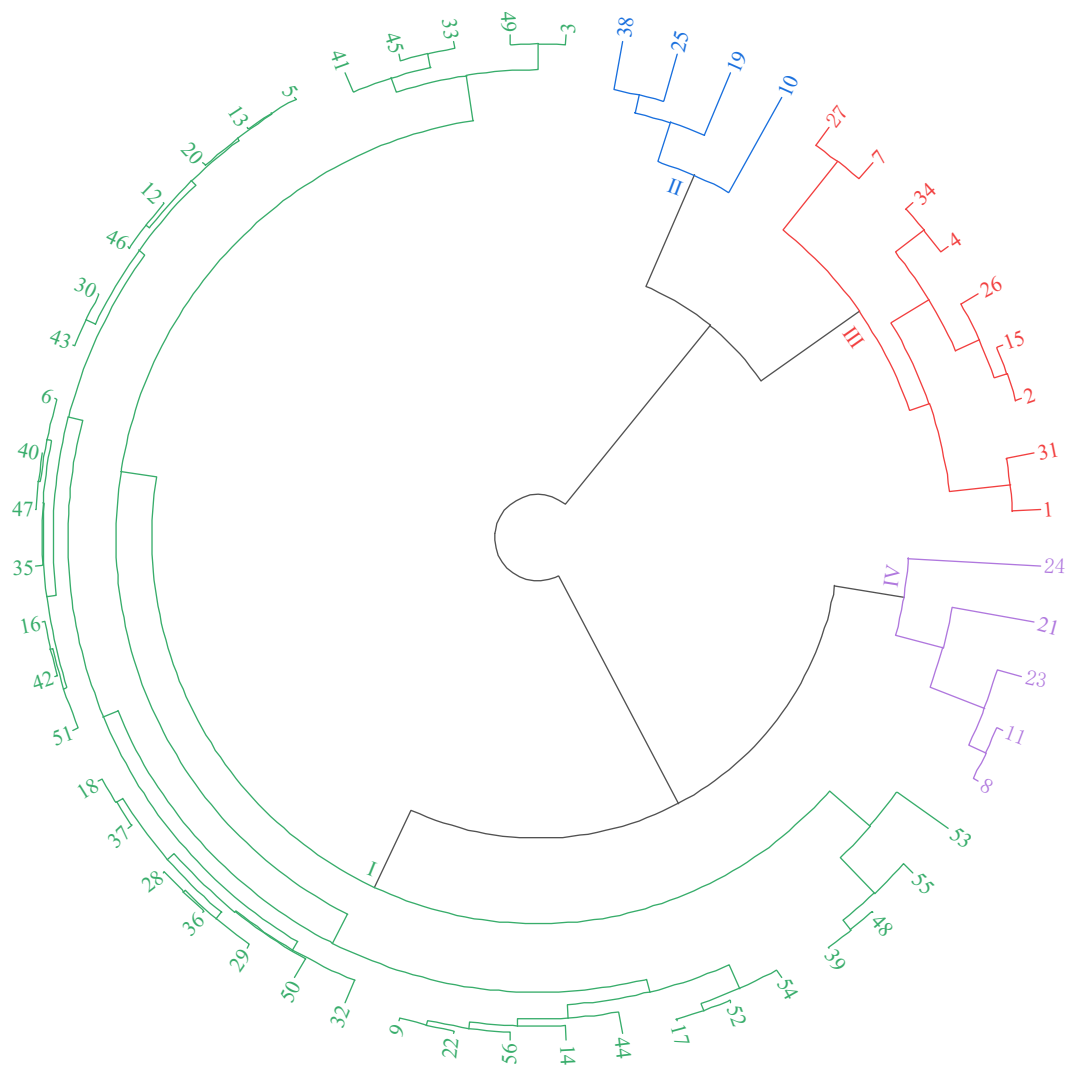


图 1 56 份玉米自交系聚类图
Fig.1 Cluster diagram of 56 maize inbred lines

类群IV包含 5 个自交系 HNL-150、S8324、093468、78371A 和丹 598。由表 5 可以看出,类群IV茎秆抗推力均值最小,为 65.0 N,属于抗倒伏性较弱的类群,该类群的气生根条数最少、抓地半径最小。类群II茎秆抗推力均值最大,为 185.4 N,气生根条

数、气生根层数、气生根抓地半径和气生根入土深度等性状表现较优异,属于抗倒伏性能较强的类群。类群III气生根条数均值为 28.7,抓地半径均值为 4.5 cm,茎秆抗推力均值为 144.6 N,抗倒伏性也较强。类群I的茎秆抗推力和各气生根性状均值

表 5 不同玉米自交系类群的各项性状均值
Table 5 Average values of various traits in different groups of maize inbred lines

类群 Group	X_1 (d)	X_2 (N)	X_3	X_4	X_5 (mm)	X_6 (cm)	X_7 (°)	X_8 (cm)	X_9 (N)
I	40.2	25.2	2.0	24.0	3.9	3.9	48.9	14.9	100.3
II	39.8	30.1	2.2	34.4	4.2	6.0	44.0	16.3	185.4
III	38.2	24.0	2.1	28.7	4.2	4.5	30.3	19.4	144.6
IV	38.7	25.9	2.0	22.8	3.9	3.5	32.4	14.0	65.0

位于中间水平,具有中等抗倒伏性能。

3 讨论

合理的株型结构、强韧的茎秆以及发达的根系等性状均有助于增强玉米的支撑能力,抵御倒伏风险。在抗倒伏育种中,需聚合更多能提升植株支撑力的性状,有利性状越多,品种抗倒能力越强。在玉米育种实践中,改良品种抗倒伏性常采用降低株高和穗位的方法,但过度降低株高和穗位高会对产量产生不利影响^[13]。气生根是玉米成株后根系的重要组成部分,对植株具有固着和稳定作用。因此,育种中可探索通过改良种质资源的气生根性状增强品种抗倒能力。本研究深入分析了不同类型玉米自交系气生根性状的差异与表现,结果发现各气生根性状变异系数均大于 10%,表明气生根性状在种质材料中存在丰富的遗传变异。其中,气生根角度、气生根抓地半径和气生根总条数的变异幅度更大,在育种过程中,对这些遗传变异系数较高的性状进行改良,相对更易达成目标^[14]。

倒伏率是评价玉米抗倒伏性最直接的指标,然而其受气候条件制约。对于自交系而言,由于株高较矮,通常不易发生倒伏。因此,在自然条件下无倒伏现象发生时,有必要参考其他非破坏性性状指标来筛选抗倒伏性种质材料或评价品种抗倒伏性^[15]。前人^[16-19]研究表明,茎秆抗穿刺力、拉倒力、压碎强度和抗推力等反映茎秆机械强度的力学性状与倒伏率存在极显著相关性,可作为衡量玉米抗倒伏性的评价指标。本研究采用茎秆

抗推力大小评价不同玉米自交系的抗倒伏性,主要考虑到测定茎秆抗推力时,其受力点接近根部,强度会受根系状态影响,因而更能体现气生根的固着能力。

前人研究普遍认为气生根条数和有效层数对玉米抗倒伏性具有重要影响,丰光等^[20]针对 3 个主推品种的倒伏相关性状展开研究,结果显示气生根层数与品种倒伏性呈显著负相关,即气生根层数增多有助于提升品种抗倒能力,本研究结论与其相符。于大伟^[11]通过列联表分析玉米入土气生根条数、气生根角度与倒伏级别的关系发现,入土气生根条数越多、气生根角度越大,玉米倒伏率越低。本研究中,气生根条数与抗倒伏性评价指标呈极显著正相关,但气生根角度与抗倒伏性评价指标无显著相关性。另有研究^[21]指出,气生根的形态建成时间和抗穿刺强度与玉米抗倒伏性密切相关。本研究表明,气生根抗穿刺强度与抗倒伏性呈显著正相关,但气生根发生时间对抗倒伏性无显著影响,后续需扩大群体进一步研究。王立剑^[22]以茎秆拉力作为抗倒伏指标,研究发现不同杂交组合的气生根抓地半径和气生根直径均与抗倒伏性呈显著正相关,与本研究结果部分一致,而差异可能归因于抗倒伏性评价指标的不同。

本研究通径分析结果显示,气生根条数对玉米抗倒伏性的贡献最为显著,这一结果与王永学等^[23]的研究类似。此外,气生根抓地半径对抗倒伏性也具有较大的直接作用。因此在抗倒伏育种中,可重点基于气生根条数与抓地半径进行种质筛选和利用。同时,气生根性状间的相关性分析

显示,气生根条数和抓地半径与其他气生根性状存在相关性,意味着通过对上述性状进行遗传选择能够同步改良其他相关联的气生根性状。茎粗对抗倒伏性也有较大影响,鉴于植株抗倒能力是茎秆与根系综合作用的结果,下一步可结合更多茎秆性状,开展多环境联合分析,筛选出有利于提升植株抗倒伏能力的综合性状指标,进而构建更为全面且准确的抗倒伏种质资源鉴定与评价体系。

优异的玉米自交系是新品种选育的种质基础,依据目标性状对自交系开展聚类分析,是筛选优良种质资源和提升育种效率的有效手段^[24]。本研究采用聚类分析方法,将56份自交系划分为4个类群。从不同类群的性状表现可知,茎秆抗推力均值较大的类群,其入土气生根条数和气生根层数更多且抓地半径更大,即抗倒伏性强的类群具备更为发达的气生根。本课题组自主选育的浚M6968和浚NQ33在聚类分析结果中被归为抗倒伏性强的类群,在育种中可作为抗倒伏骨干自交系,用于组配抗倒伏性强的杂交种。不过,气生根抗倒伏特性在自交系与杂交种间的遗传表现尚需进一步研究。

4 结论

56份玉米自交系在气生根性状上展现出广泛的遗传变异,气生根条数、气生根角度和气生根抓地半径的变异系数较大,在遗传改良过程中较易获得目标性状。不同气生根性状间存在一定内在关联,气生根条数与气生根抓地半径、气生根层数及气生根入土深度均呈显著正相关,在抗倒伏育种中通过对气生根条数进行选择,可同步改良其他气生根性状。以茎秆抗推力作为衡量自交系抗倒伏性的指标,对气生根性状与茎秆抗推力的相关性及通径分析发现,气生根条数、气生根抓地半径与茎秆抗推力呈极显著正相关,气生根层数、气生根抗穿刺强度与茎秆抗推力呈显著正相关,气生根条数和气生根抓地半径对茎秆抗推力的直接效应和间接效应均较大,表明气生根条数和抓地半径是影响玉米抗倒伏的重要因素,可作为抗倒伏种质资源选择的主要参考指标。聚类分析将56份自交系划分为抗倒伏性能强弱不同的4个类群,类群II茎秆抗推力均值最大,气生根各

表型性状表现最优,抗倒伏性较好,抗倒伏育种中可利用该类群材料改良根部性状,进而提升品种的抗倒能力。

参考文献

- [1] 刘真真,胡春辉,董永彬,等.不同来源玉米自交系植株性状特征分析.中国农学通报,2019,35(24):15-21.
- [2] 勾玲,赵明,黄建军,等.玉米茎秆弯曲性能与抗倒能力的研究.作物学报,2008,34(4):653-661.
- [3] 丰光,黄长玲,邢锦丰.玉米抗倒伏的研究进展.作物杂志,2008(4):12-14.
- [4] 李中建,许洛,郑书海,等.10个宜机收夏玉米品种茎秆抗倒特性比较.河北农业科学,2019,23(5):28-32.
- [5] 赵雪,周顺利.玉米抗茎倒伏能力相关性状与评价研究进展.作物学报,2022,48(1):15-26.
- [6] 卫晓轶,史大坤,魏锋,等.新单系列玉米品种抗倒相关性状的杂种优势分析.江苏农业科学,2023,51(8):67-73.
- [7] 马延华,孙德全,李绥艳,等.玉米茎皮抗穿刺强度与形态性状和化学成分含量间的相关分析.黑龙江农业科学,2012(4):1-4.
- [8] 白永新,张润生,李鹏,等.玉米品种抗倒伏关联特性的鉴定.山西农业科学,2016,44(11):1592-1596,1607.
- [9] 于大伟,朱猛,员海燕.玉米气生根性状与抗倒性的关系.西北农林科技大学学报(自然科学版),2022,50(1):91-97.
- [10] 张桂萍,Marasini M,李薇薇,等.玉米茎秆和根系的协同抗倒性分析.河北农业大学学报,2024,47(1):9-18.
- [11] 于大伟.玉米气生根性状与抗倒性的关系及其遗传研究.杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [12] 孔馨樱.利用GWAS解析玉米(*Zea mays* L.)气生根发生时间和抗穿刺强度的遗传基础.沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [13] 汪黎明,李建生,姚国旗,等.玉米茎秆与根系抗倒的特性研究.玉米科学,2012,20(2):69-74,81.
- [14] 马红珍,许海涛,王月,等.基于苞叶表型性状的玉米自交系遗传多样性及遗传距离分析.作物杂志,2024(3):54-63.
- [15] 李得孝.玉米抗倒性指标及其遗传研究.杨凌:西北农林科技大学,2001.
- [16] 刘卫星,王晨阳,王强,等.不同玉米品种茎秆抗倒特性及其与产量的关系.河南农业科学,2015,44(7):17-21.
- [17] 马青美,裴玉贺,葛兆鹏,等.玉米茎秆抗推力的遗传效应分析.西南农业学报,2017,30(11):2425-2428.
- [18] 李峰,赵东华,杨立全,等.玉米抗倒强度及其与植株性状相关性的初步研究.山东农业科学,2013,45(10):24-28.
- [19] Jampatong S, Darrah L L, Krause G F, et al. Effect of one-and two-eared selection on stalk strength and other characters in maize. Crop Science, 2000, 40(3): 605-611.
- [20] 丰光,景希强,李妍妍,等.玉米茎秆性状与倒伏性的相关和通径分析.华北农学报,2010,25(增1):72-74.
- [21] 朱延姝,孔馨樱,李涵,等.中国骨干玉米自交系气生根发生时间和抗穿刺强度差异分析.新疆农业大学学报,2017,40(6):397-402.
- [22] 王立剑.玉米气生根及抗倒伏相关性状研究.长春:吉林农业大学,2019.
- [23] 王永学,张战辉,刘宗华.玉米抗倒伏性状的配合力效应及通径分析.河南农业大学学报,2011,45(1):1-6.
- [24] Teng W T, Cao J S, Chen Y H, et al. Analysis of maize heterotic groups and patterns during past decade in China. Agricultural Sciences in China, 2004, 3(7): 481-489.

Correlation and Path Analysis of Aerial Root Traits and Lodging Resistance in Maize Inbred Lines

Wang Jing, Wang Zhihong, Hou Xianjun, Ai Zhenguang, Yan Lihui,
Wang Changliang, Zhang Guohe, Chang Jianzhi

(Hebi Academy of Agricultural Sciences, Hebi 458031, Henan, China)

Abstract To investigate the characteristics of aerial roots in maize inbred lines with different genetic backgrounds and their relationship with lodging resistance, 56 maize inbred lines were used as experimental materials. Eight aerial root traits were comprehensively analyzed using correlation analysis, path analysis, and cluster analysis. Stalk anti-thrust was measured using a plant stem strength tester as an evaluation index for lodging resistance, and the relationship between aerial root traits and lodging resistance was analyzed. The results showed that the coefficients of variation (*CV*) for all aerial root traits were relatively large, with the *CV* of the aerial root angle being the largest (31.70%) and that of the aerial root emergence time being the smallest (10.77%). Among the aerial root traits, all except emergence time and puncture resistance exhibited significant correlations with one another. Specifically, the number of aerial roots and the aerial root anchoring radius were highly significantly and positively correlated with stalk anti-thrust, with correlation coefficients of 0.560 and 0.522, respectively. Additionally, aerial root puncture resistance and the number of aerial root tiers also showed significant positive correlations with stalk anti-thrust. Path analysis indicated that both the direct and indirect effects of the number of aerial roots and the aerial root anchoring radius on the lodging resistance evaluation indicators were relatively large. Therefore, strengthening the selection and improvement of these two traits in lodging resistance breeding would help enhance the lodging resistance of maize varieties. Cluster analysis classified the tested inbred lines into four groups. Inbred lines in Group II, such as Xun M6968 and LH190, were characterized by high mean values for both stalk anti-thrust and aerial root traits, providing a germplasm foundation for the breeding of new lodging-resistant varieties.

Key words Maize; Aerial root; Lodging resistance; Path analysis; Correlation analysis