



马雪娜,于滔,张建国,等. 52 份玉米新材料萌发期耐冷性鉴定与评价[J]. 黑龙江农业科学, 2025(3):1-6,7.

52 份玉米新材料萌发期耐冷性鉴定与评价

马雪娜,于滔,张建国,曹士亮,杨耿斌,李文跃

(黑龙江省农业科学院 玉米研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为了系统解析玉米种质资源的耐冷萌发特性差异,筛选优异耐低温种质资源,以 52 份玉米新材料为试验材料,分别测定 5℃ 和 25℃ 条件下玉米种子发芽率、发芽指数、平均发芽时间和发芽势及其性状相对值等 8 个耐冷性相关指标,并运用相关性分析、主成分分析、隶属函数赋值及聚类分析等,对玉米材料的耐冷性进行综合剖析与评估。结果表明,在参试的 52 份玉米材料中,耐冷萌发能力呈现出十分丰富的遗传变异情况。相关性分析表明,8 个耐冷性相关性状间呈显著正相关;通过主成分分析将 8 个单项指标划分为 3 个综合指标,累计贡献率达到 93.84%,基于耐冷性综合 D 值对 52 份玉米新材料进行聚类分析,将其划分为 4 个耐低温等级,其中,耐低温性强的有 19 份,较强的有 19 份,较弱的材料有 11 份,弱的材料有 3 份。

关键词:玉米;萌发期;耐冷性;主成分分析;聚类分析

玉米源于热带和亚热带区域,属于典型的喜温作物。其对于低温冷害的耐受能力相对薄弱,一旦处于低温条件下,便极易受到冷害的不良影响^[1]。东北地区是我国玉米主产区,由于地理和气候的原因,低温冷害频繁发生,导致玉米产量和品质大幅度下降^[2-4],玉米种子萌发期对低温胁迫较为敏感,萌发期温度过低会导致种子萌发率降低、萌发时间增长,导致出苗时间延迟,且阻碍光合作用,进而降低幼苗活力,严重冷害甚至可导致种子腐烂和幼苗死亡^[5-7]。因此,通过对萌发期低温胁迫下多个指标的测定,鉴定和筛选耐冷优异种质并培育玉米耐冷品种,对确保我国粮食安全具有重要意义。

玉米种质耐冷性的鉴定方式主要有田间鉴定和室内鉴定两种类型。其中,田间鉴定由于易受到外部环境条件的干扰,存在着较多难以控制的因素。因此,通常需要在多个地点进行重复鉴定工作,并且该鉴定方式的重复性表现欠佳^[8],因此,为了获得较稳定的试验结果,通常需要进行室内鉴定试验,可利用室内可控光温湿条件进行玉米萌发期耐冷性室内鉴定^[9]。玉米种质的耐冷性是受多基因调控的复杂数量性状,利用单一指标进行评价往往具有片面性^[10],玉米在低温胁迫环

境下,其生理生化过程、形态结构等多个方面都会发生变化,而单一指标只能反映其中的某一方面。近年来,国内外科研工作者通常采取多个性状指标联合主成分分析、隶属函数分析和聚类分析等方法综合评价不同玉米材料的耐冷性。主成分分析可以将多个相互关联的性状指标转化为少数几个相互独立的综合指标,这些主成分能够最大限度地保留原始数据的信息,从而简化数据结构,便于对玉米耐冷性进行分析和评价^[11-12]。隶属函数分析则是用于计算元素隶属度的数学函数,根据不同性状指标对耐冷性的贡献程度,赋予相应的隶属函数,通过计算隶属函数值来确定玉米材料的耐冷性等级,为玉米的耐冷性等复杂性状的综合评价提供了有效的工具^[13]。聚类分析是将具有相似耐冷性的玉米材料归为一类,把耐冷性差异较大的材料区分开来,从而对玉米材料的耐冷性进行分类和筛选^[14-15]。

本研究以 52 份玉米新材料为试验材料,系统测定了发芽率、发芽指数、平均发芽时间和发芽势及其相对值等萌发期耐冷性相关指标,将室内可控环境鉴定与多指标联合相结合,通过相关性分析、主成分分析、隶属函数分析和聚类分析构建多维度综合评价体系,突破传统田间鉴定重

收稿日期:2024-10-24

基金项目:黑龙江省科研业务费项目(CZKYF2025-1-B002);黑龙江省农业科学院创新工程资助项目(CX23ZD05,CX23JQ04);黑龙江省种业创新发展项目;国家玉米产业技术体系项目(CARS-02-07);科技创新 2030-重大项目(2023ZD0402702)。

第一作者:马雪娜(1992—),女,硕士,研究实习员,从事玉米抗逆分子育种研究。E-mail:xuena19920207@163.com。

通信作者:于滔(1982—),女,博士,副研究员,从事玉米抗逆分子育种研究。E-mail:yutaoeweiwei@163.com。

复性差、单一指标评价不全面的瓶颈,深度解析 52 份玉米新材料的耐冷性遗传差异,筛选耐冷玉米种质资源,为玉米耐冷育种提供材料基础和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为 52 份玉米新材料,均由黑龙江省农业科学院玉米研究所提供(表 1)。

表 1 玉米萌发期鉴定的新材料名称

材料编号	材料名称	材料编号	材料名称	材料编号	材料名称	材料编号	材料名称
1	JD24001	14	JD24014	27	JD24027	40	JD24040
2	JD24002	15	JD24015	28	JD24028	41	JD24041
3	JD24003	16	JD24016	29	JD24029	42	JD24042
4	JD24004	17	JD24017	30	JD24030	43	JD24043
5	JD24005	18	JD24018	31	JD24031	44	JD24044
6	JD24006	19	JD24019	32	JD24032	45	JD24045
7	JD24007	20	JD24020	33	JD24033	46	JD24046
8	JD24008	21	JD24021	34	JD24034	47	JD24047
9	JD24009	22	JD24022	35	JD24035	48	JD24048
10	JD24010	23	JD24023	36	JD24036	49	JD24049
11	JD24011	24	JD24024	37	JD24037	50	JD24050
12	JD24012	25	JD24025	38	JD24038	51	JD24051
13	JD24013	26	JD24026	39	JD24039	52	JD24052

1.2 方法

各参试玉米材料选择大小一致,整齐饱满的无破损种子,每份材料 180 粒,用 1% 的次氯酸钠溶液对种子消毒 10 min,用去离子水冲洗种子表面残存的溶液。将消毒处理完的种子放置于铺有湿润滤纸的消毒培养皿内,每皿放 30 粒种子,3 次重复,分别放置于 25 和 5℃ 的智能光照培养箱中进行避光培养发芽,定期加入适量蒸馏水^[16]。以玉米胚芽鞘突破种皮 0.5 cm 作为发芽标准,每天对发芽种子数进行记录,对照组和处理组分别于 7 d 后和 14 d 后统计发芽率、发芽指数、平均发芽时间和发芽势。

1.3 测定项目及方法

农艺性状鉴定:以鉴定指标简单易行为原则,参照王欢^[16]的方法测定玉米种子发芽率、发芽指数、平均发芽时间和发芽势及其相对值 8 个性状指标,对 52 份玉米材料进行萌发期耐冷性鉴定。

发芽率($GR, \%$)=发芽终期(规定日期内)全部正常发芽的种子数/供试种子数 $\times 100$

发芽指数(GI)= $\sum G_i / D_i$

式中, G_i 为 D_i 相对应的每日发芽数, D_i 为发芽日数。

平均发芽时间 (MGT) = $\sum (D \times n) / \sum n$

式中, D 为从发芽试验开始计算的天数, n 为第 D 天新萌发的种子数。

发芽势($GP, \%$)=发芽初期(规定日期内)正常发芽种子数/供试种子数 $\times 100$

性状相对值($\%$)= $X_L / X_N \times 100$

式中, X_L 为低温胁迫下测得的各性状值, X_N 为对照条件下测得的各性状值^[16]。

隶属函数值综合评价:

$U(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \times 100,$
 $j = 1, 2, \dots, n$ (1)

式中, X_j 表示第 j 个指标值; X_{\min} 表示某品种第 j 个综合指标的最小值; X_{\max} 表示第 j 个综合指标的最大值; $U(X_j)$ 为第 j 个综合指标的隶属函数值^[16]。

$W_j = P_j / \sum_j^n = | P_j |, j = 1, 2, \dots, n$ (2)

式中, W_j 表示第 j 个综合指标在所有综合指标中的重要程度即权重; P_j 为各基因型第 j 个综合指标的贡献率。

$D = \sum_{j=1}^n [U(X_1) \times W_1], j = 1, 2, \dots, n$ (3)

式中, D 表示综合评价指数 D 值。

1.4 数据分析

采用 Excel 2020 对试验数据进行初步整理,

计算平均数、变异系数以及隶属函数值等,使用SPSS 25.0 软件对数据进行主成分分析和相关性分析,使用 R 软件进行聚类分析,基于聚类分析遗传距离结果使用 MEGA11 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫对玉米萌发相关性状的影响

由表 2 可知,参试的 52 份玉米新材料在耐低温萌发能力方面展现出了丰富多样的遗传变异特征。而且,各鉴定指标所对应的变异系数均大于

10%。与常温对照相比,低温胁迫处理下参试玉米材料的发芽率平均值从 88.08%下降到 63.06%,发芽指数平均值从 8.00 下降到 1.91,平均发芽时间平均值从 3.55 d 增加到 9.62 d,发芽势平均值从 49.63%下降到 26.20%。同时低温胁迫处理下各性状指标的变异系数均出现较大增幅,且发芽率、发芽指数、平均发芽时间和发芽势的相对数值分析可知,低温胁迫处理下种子发芽率降低,发芽指数下降,发芽速率降低同时发芽时间延长。

表 2 不同温度处理下玉米萌发相关性状表型分析

性状	发芽率/%		相对发芽率/%	发芽指数		相对发芽指数/%	平均发芽时间/d		相对平均发芽时间/%	发芽势/%		相对发芽势/%
	对照	处理		对照	处理		对照	处理		对照	处理	
最小值	10	0		0.72	0		2.16	0		2.22	0	
最大值	100	100		13.89	3.26		4.59	11.42		97.78	88.89	
平均值	88.08	63.06	71.59	8.00	1.91	23.88	3.55	9.62	2.71	49.63	26.20	52.79
变异系数/%	22.14	46.25		29.38	47.82		13.58	22.78		51.78	87.52	

2.2 低温胁迫下玉米萌发相关性状的相关性分析

由表 3 可知,低温胁迫处理下玉米种子发芽率与低温胁迫发芽指数、低温胁迫平均发芽时间、低温胁迫发芽势和其他 4 个相对性状之间均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.993,0.427,0.648,0.977,0.915,0.556 和 0.551;低温胁迫发芽指数与低温胁迫平均发芽时间、低温胁迫发芽势和其他 4 个相对性状之间呈极显著正相关,相

关系数分别为 0.384,0.732,0.965,0.889,0.556 和 0.612;低温胁迫平均发芽时间与相对发芽率、相对发芽指数和相对平均发芽时间之间呈极显著正相关,相关系数分别为 0.486,0.495 和 0.822;低温胁迫发芽势与 4 个相对性状之间呈显著正相关的,相关系数分别为 0.606,0.470,0.429 和 0.763;4 个相对性状间均呈显著正相关。

表 3 玉米萌发期耐冷性性状相关性分析

项目	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
X ₁	1							
X ₂	0.993***	1						
X ₃	0.427**	0.384**	1					
X ₄	0.648***	0.732***	0.065	1				
X ₅	0.977***	0.965***	0.486***	0.606***	1			
X ₆	0.915***	0.889***	0.495***	0.470***	0.954***	1		
X ₇	0.556***	0.556***	0.822***	0.429**	0.572***	0.435**	1	
X ₈	0.551***	0.612***	0.220	0.763***	0.541***	0.533***	0.295*	1

注:*,**,*** 分别表示在 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 和 $P<0.001$ 水平显著和极显著相关。X₁~X₈ 分别为低温胁迫发芽率、低温胁迫发芽指数、低温胁迫平均发芽时间、低温胁迫发芽势、相对发芽率、相对发芽指数、相对平均发芽时间和相对发芽势。

2.3 低温胁迫下玉米萌发相关性状的主成分分析

对 52 份玉米新材料的 8 个耐低温性相关性状进行主成分分析,主成分特征向量及贡献值如表 4 所示。通过主成分分析得到前 3 个主成分累计的贡献率达到 93.84%,其中第一主成分、第二

主成分、第三主成分的贡献率分别为 67.17%、16.82%和 9.84%,所以这三个主成分涵盖了大部分的数据信息,能够反映 8 个耐低温性相关性状。

根据特征向量可求出主成分,第一主成分表达式为 $Y_1 = -0.414X_1 - 0.417X_2 - 0.242X_3 -$

$0.314X_4 - 0.414X_5 - 0.388X_6 - 0.295X_7 - 0.296X_8$,其中发芽指数的权重系数较大,表明第一主成分大小的决定因素主要是发芽指数;第二主成分表达式为 $Y_2 = 0.057X_1 + 0.120X_2 - 0.667X_3 + 0.408X_4 + 0.003X_5 - 0.005X_6 - 0.493X_7 + 0.356X_8$,其中平均发芽时间的权重系数较大,说明第二主成分大小的决定因素主要是平均发芽时间。第三主成分表达式为 $Y_3 = -0.261X_1 - 0.165X_2 + 0.182X_3 + 0.463X_4 - 0.285X_5 - 0.412X_6 + 0.417X_7 + 0.482X_8$,其中相对发芽势的权重系数较大,说明第三主成分大小的决定因素主要是相对发芽势。

表 4 玉米低温胁迫处理下萌发期
主成分特征向量及贡献值

指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3
发芽率 (X_1)	-0.414	0.057	-0.261
发芽指数 (X_2)	-0.417	0.120	-0.165
平均发芽时间 (X_3)	-0.242	-0.667	0.182
发芽势 (X_4)	-0.314	0.408	0.463
相对发芽率 (X_5)	-0.414	0.003	-0.285
相对发芽指数 (X_6)	-0.388	-0.005	-0.412
相对平均发芽时间 (X_7)	-0.295	-0.493	0.417
相对发芽势 (X_8)	-0.296	0.356	0.482
特征值	5.374	1.346	0.787
贡献率/%	67.17	16.82	9.84
累计贡献率/%	67.17	83.99	93.84

2.4 玉米新材料耐冷温性的综合评价

已有研究表明,隶属函数值可用于鉴定植物的耐冷性。为了更精准地评估玉米材料耐受低温的能力,本次研究采用综合系数法,对玉米材料在低温环境下的萌发能力展开综合评价^[16]。综合评价 D 值反映的是玉米材料耐低温能力的大小,根据 D 值排序,数值越大,表明耐低温萌发能力越强;数值越小,表明耐低温能力越弱。根据公式(1)得出低温胁迫后综合指标的隶属函数值;再根据公式(2)求出综合指标的权重;根据综合指标的 U 值和权重,利用公式(3)求出耐冷性综合评价 D 值(表 5)。

由表 5 可知,将 52 份玉米新材料划分为四大类,其中耐冷性强的材料有 19 份, D 值范围为 $0.83\sim0.86$;耐冷性较强的材料有 19 份, D 值范围为 $0.77\sim0.82$;耐冷性较弱的材料有 11 份, D 值

范围为 $0.67\sim0.76$;耐冷性弱的材料有 3 份, D 值范围为 $0\sim0.25$,其中耐冷性最好的前 10 份玉米材料分别为编号 45,3,34,10,28,20,27,41,38 和 51, D 值范围为 $0.84\sim0.86$ 。

表 5 52 份玉米材料耐冷性汇总及评价

编号	D 值	耐低温性	排序	编号	D 值	耐低温性	排序
45	0.86	强	1	2	0.80	较强	27
3	0.86	强	2	26	0.80	较强	28
34	0.86	强	3	8	0.80	较强	29
10	0.86	强	4	29	0.79	较强	30
28	0.85	强	5	22	0.79	较强	31
20	0.85	强	6	31	0.79	较强	32
27	0.85	强	7	23	0.78	较强	33
41	0.84	强	8	42	0.78	较强	34
38	0.84	强	9	13	0.78	较强	35
51	0.84	强	10	43	0.78	较强	36
11	0.84	强	11	6	0.77	较强	37
48	0.84	强	12	16	0.77	较强	38
44	0.84	强	13	46	0.76	较弱	39
5	0.84	强	14	4	0.76	较弱	40
9	0.83	强	15	40	0.76	较弱	41
7	0.83	强	16	19	0.75	较弱	42
12	0.83	强	17	36	0.75	较弱	43
50	0.83	强	18	30	0.74	较弱	44
39	0.83	强	19	35	0.73	较弱	45
17	0.82	较强	20	52	0.71	较弱	46
1	0.82	较强	21	25	0.69	较弱	47
32	0.82	较强	22	24	0.68	较弱	48
21	0.82	较强	23	47	0.67	较弱	49
18	0.81	较强	24	15	0.25	弱	50
33	0.81	较强	25	14	0	弱	51
49	0.80	较强	26	37	0	弱	52

利用欧式距离法对 52 份玉米新材料的 D 值耐冷性进行聚类分析(图 1),可将 52 份玉米新材料划分为四大类,其中耐冷性最强的材料有 19 份,分别为编号 12,39,50,38,41,7,9,5,44,51,11,48,3,45,20,27,28,10 和 34;耐冷性较强的材料有 19 份,分别为编号 18,33,21,32,1,17,22,29,8,26,2,49,31,23,42,13,43,6 和 16;耐冷性较弱的材料有 11 份,分别为编号 47,24,25,30,36,19,40,4,46,35 和 52;耐冷性最弱的材料有 3 份,分别为编号 15,14 和 37。

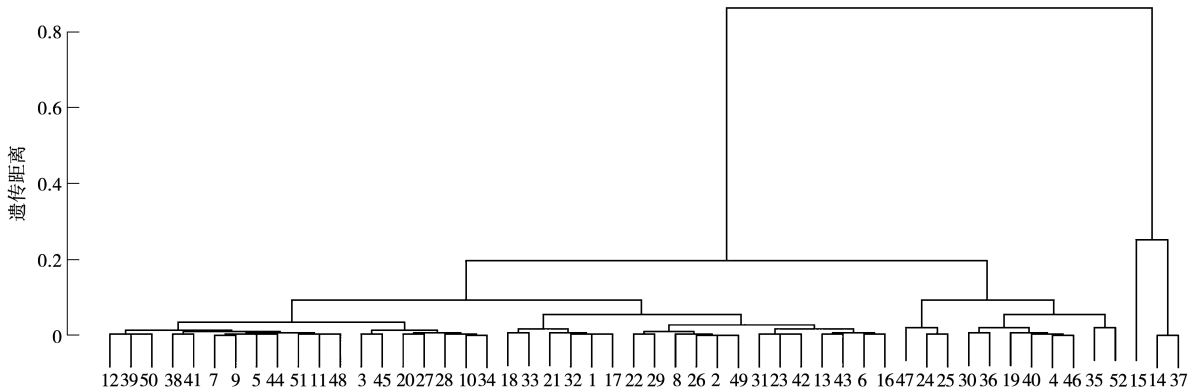


图 1 52 份玉米材料耐低温性聚类分析

3 讨论

在对玉米进行耐低温性鉴定时,首要步骤便是确定适宜的温度。温度过低导致种子难以发芽,温度过高难以区分不同材料的耐低温性能力。研究表明,玉米萌发所需的最低温度为 5~15℃^[17],低温胁迫下发芽率、发芽势等指标与田间株高、生物量显著相关,京科 968 等品种在 5℃ 下表现出稳定优势,验证了萌发期耐冷性与成株抗逆性的关联性^[18-20]。本研究发现低温胁迫显著抑制发芽率、发芽势等指标,且相对值指标的变异系数更高,进一步支持其作为关键评价参数。刘春香等^[21]通过低温活力测定,提出 5℃ 低温处理可有效区分种子活力差异,与本研究胁迫温度选择一致。张海燕等^[22]进一步发现低温胁迫诱导的氧化应激反应(如 SOD、CAT 活性升高)与胚根生长抑制密切相关,提示生理指标与萌发性状的协同响应机制。课题组前期研究表明 5℃ 处理下不同基因型材料的耐低温能力差异显著^[22],因此,本研究选择 5℃ 作为玉米室内萌发期耐低温性鉴定的胁迫处理温度。

筛选适宜的鉴定指标在玉米低温性鉴定中尤为重要。由于玉米的耐低温是受多基因控制的数量性状,单一指标不能精准鉴评材料的耐低温性,因此需要通过与耐低温性相关的多项指标进行综合评价。在室内萌发过程中,种子发芽率反映种子的发芽能力,发芽指数反映种子快速萌发和生长的能力,发芽势反映种子发芽的整齐度,平均发芽时间反映种子发芽时间的长短,以上这些性状常作为种子综合活力的指标^[23-26]。相较于前人研究多采用单一温度或 3~5 个指标,本研究为使结果更加客观准确合理,通过 5℃ 和 25℃ 双温对

照测定 8 个指标(发芽率、发芽指数、平均发芽时间和发芽势及其性状相对值),并结合隶属函数构建 D 值量化模型,与王成^[27]的三级分类相比,本研究的分级精读显著提升,主成分分析提取 3 个综合指标(累计贡献率 93.84%)与王成基于 20 份材料的结果(累计贡献率 88.5%)趋势相符,但解释力更优。

筛选出的 19 份强耐冷材料占比(36.5%)高于郑婷婷^[28]研究中强耐冷自交系比例(7.5%),可能与供试材料遗传多样性差异相关。筛选出的 19 份强耐冷材料建议优先在东北早春低温频发区试种,同时结合地膜覆盖等农艺措施,可降低低温导致的出苗率损失。耐冷性极弱材料(编号 15)可作为敏感型对照,用于 QTL 定位群体构建;强耐冷自交系可与高产但不耐冷品种(如郑单 958)杂交,有望创制抗逆高产新种质。本研究的局限性在于仅聚焦萌发期耐冷性,未衔接苗期至成株期的抗逆性动态变化;未解析关键指标(如相对发芽势)与抗氧化酶活性、膜脂过氧化程度的分子调控网络;52 份样本量虽高于部分同类研究,但对复杂数量性状仍显不足。今后的研究方向应开展多生育期耐冷性联合鉴定,构建“萌发-苗期-抽雄”全周期评价模型,同时整合转录组与代谢组学,挖掘 D 值相关耐冷功能基因,扩大供试材料至 200 份以上,覆盖我国主要玉米生态区种质资源,增强结论普适性。本研究实现了玉米萌发期耐冷性的精准分级,但筛选出的强耐冷材料的生产潜力需通过多生态点田间试验验证。未来研究应注重抗逆性与丰产性的协同改良,推动耐冷性从“实验室指标”向“田间生产力”的有效转化。

4 结论

本研究结果表明,玉米的各个耐低温性相关指标之间存在显著或极显著的相关性。采用主成分分析将 8 个指标整合为 3 个主成分,累计贡献率达到 93.84%,其中低温胁迫发芽率、低温胁迫发芽指数和相对发芽势起主要决定作用。通过综合耐冷性 *D* 值聚类分析将 52 份玉米自交系共分为 4 个等级,其中耐低温性强的材料有 19 份;耐低温性较强的材料有 19 份;耐低温性较弱的材料有 11 份;耐低温性弱的材料有 3 份。

参考文献:

[1] MA Y, TAN R X, ZHAO J R. Chilling tolerance in maize: insights into advances-toward physio-biochemical responses' and QTL/genes' identification[J]. *Plants*, 2022, 11(16): 2082.

[2] 杨浩,曹庆军,杨粉团,等. 低温胁迫下不同类型玉米品种萌发的生理响应[J]. *玉米科学*, 2023, 31(3): 74-82.

[3] 姜丽霞,李树岭,张雪梅,等. 黑龙江省玉米干旱与低温冷害复合发生的温水特征及产量分析[J]. *灾害学*, 2022, 37(2): 29-35.

[4] KOPECKÁ R, KAMENIAROVÁ M, ČERNÝM, et al. Abiotic stress in crop production[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24(7): 6603.

[5] 吴振兴,陈坚剑,王婷甄,等. 低温胁迫对不同甜玉米品种萌发和生理特性的影响[J]. *种子科技*, 2024, 42(8): 20-22, 38.

[6] 陈紫欣. 低温胁迫对玉米幼苗生长发育的影响研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2022.

[7] 韩登旭,杨杰,王业建,等. 国内外骨干玉米自交系耐低温萌发能力综合评价[J]. *新疆农业科学*, 2021, 58(3): 401-411.

[8] 张郑伟. 玉米耐冷性鉴定及调控效应研究[D]. 哈尔滨:黑龙江大学, 2016.

[9] 曹士亮,于滔,扈光辉,等. 玉米萌发期耐冷性鉴定方法研究进展[J]. *中国种业*, 2018(8): 29-33.

[10] 段雅娟. 玉米芽苗期耐冷性全基因组关联分析及全基因组预测研究[D]. 哈尔滨:黑龙江大学, 2022.

[11] ROJAS-VALVERDE D, PINO-ORTEGA J, et al. A systematic review of methods and criteria standard proposal for the use of principal component analysis in team's Sports

Science[J]. *International Journal Environmental Research Public Health*, 2020, 17(23): 8712.

[12] 张华崇,闫振华,赵树琪,等. 46 份棉花杂交组合主要性状主成分和聚类分析[J]. *种子*, 2022, 41(5): 60-65.

[13] 徐奕琳,徐东东,张盼盼,等. PEG 模拟干旱胁迫下不同玉米品种萌芽期及苗期抗旱性鉴定[J]. *中国农学通报*, 2025, 41(1): 13-18.

[14] 曾德志,刘然方,李霖超,等. 玉米自交系表型性状主成分聚类分析研究[J]. *现代农业科技*, 2014(21): 26-28.

[15] 贺韵涵. 玉米骨干自交系萌芽期耐冷性鉴定及全基因组关联分析[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2020.

[16] 王欢. 玉米萌芽期耐冷性种质筛选及其全基因组关联分析[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2019.

[17] 曹士亮,于滔,李文跃,等. 玉米自交系萌发期耐冷性鉴定研究[J]. *黑龙江农业科学*, 2022(10): 1-6.

[18] 李俊明,欧庆汉. 玉米种子的低温发芽临界温度研究[J]. *种子*, 1989, 8(4): 22-24, 78.

[19] 张海娇,邹原东,李志强,等. 低温胁迫对不同基因型玉米幼苗的影响[J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(20): 48-50, 127.

[20] 周羽,李锋,刘显君,等. 部分青贮玉米自交系萌发期耐低温性评价[J]. *中国种业*, 2020(12): 54-57.

[21] 刘春香,张新. 玉米种子的低温活力测定研究[J]. *潍坊学院学报*, 2013, 13(4): 42-45.

[22] 张海燕,杨克军,何海军,等. 冷处理对玉米种子生长的影响[J]. *安徽农学通报*, 2013, 19(11): 17-18, 82.

[23] YU T, ZHANG J G, CAO J S, et al. Metabolic insight into cold stress response in two contrasting maize lines[J]. *Life*, 2022, 12(2): 282.

[24] 赵云霞,裴红霞,高晶霞,等. 27 份番茄种质资源种子萌发期耐低温性评价[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(23): 45-48.

[25] 董潇潇. 玉米萌发期和苗期耐冷基因的初步鉴定与分析[D]. 武汉:华中农业大学, 2022.

[26] 刘杰,张春宵,李淑芳,等. 95 份玉米自交系萌发期耐冷性鉴定与遗传基础分析[J]. *分子植物育种*, 2021, 19(7): 2391-2401.

[27] 王成,李月明,郝楠,等. 玉米自交系发芽期至苗期耐冷性鉴定[J]. *种子*, 2019, 38(12): 6-12.

[28] 郑婷婷. 吉林省玉米骨干自交系耐冷性的鉴定与筛选[D]. 长春:吉林农业大学, 2017.

Identification and Evaluation of Low Temperature Tolerance of 52 New Maize Materials at Germination Stage

MA Xuena, YU Tao, ZHANG Jianguo, CAO Shiliang, YANG Gengbin, LI Wenye

(Maize Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)



王然,隋冬华,张冬雪,等.利用 SSR 技术鉴定玉米杂交种乡糯 4 的种子纯度[J].黑龙江农业科学,2025(3):7-11.

利用 SSR 技术鉴定玉米杂交种乡糯 4 的种子纯度

王 然,隋冬华,张冬雪,武新娟,高佳缘,李 鑫,唐 贵

(黑龙江省农业科学院 乡村振兴科技研究所,黑龙江 哈尔滨 150023)

摘要:种子纯度关乎农作物产量、质量和抗病能力,对农业可持续性、市场准入至关重要。乡糯 4 是黑龙江省农业科学院 2023 年选育成功的高产优质鲜食玉米杂交种。为促进黑龙江省鲜食玉米分子标记辅助育种,以乡糯 4 玉米杂交种及其亲本、近似品种乡糯 7 杂交组合为材料,从 40 对玉米 SSR 核心引物中筛选出在乡糯 4 双亲之间多态性明显、重复性较好的 2 对引物 bnlgl671y17、umc1936k4 用于纯度鉴定,并利用田间小区种植方法鉴定乡糯 4 纯度。结果表明,SSR 分子标记鉴定的纯度为 98.96%,而田间小区鉴定的纯度为 96.97%。田间小区鉴定的纯度略低于 SSR 分子标记鉴定的纯度,说明 SSR 分子标记可以为快速有效地鉴定生产中杂交种乡糯 4 的纯度增加准确性、可靠性及实用性。

关键词:玉米;SSR 标记;纯度鉴定;杂交种

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



玉米是全球最早利用杂种优势进行生产的作物之一,目前中国超过 90% 的生产使用单交种^[1-2]。因此,在玉米生产和种子质量控制体系中,快速、准确、简便且经济地鉴定杂交种子纯度是关键。传统形态鉴定方法受到品种表型差异、环境影响、工作量大、周期长、成本高和季节限制等因素的制约,不利于种子的市场推广。生理生化标记方法中同工酶和种子贮藏蛋白存在多态性不足、组织和器官特异性差、稳定性不佳等问题,

限制了其在玉米杂交种纯度鉴定中的应用^[3]。随着分子生物学技术的进步,作物种子纯度检测方法已经从传统的外观和生理生化水平鉴定发展到了分子水平鉴定。分子标记技术因其多态性高、遗传稳定、不受环境条件影响等优点,已经广泛应用于玉米品种鉴定和纯度检测^[4]。简单重复序列(Simple Sequence Repeats, SSR)分子标记技术作为一种 DNA 指纹技术,具有可靠性强、重复性好、多态性丰富等优点。由于 SSR 标记属于共显

收稿日期:2024-09-09

基金项目:黑龙江省农业科学院科技创新跨越工程农业特色产业项目(CX23TS02)。

第一作者:王然(1998—),女,硕士,研究实习生,从事玉米育种和高产栽培技术研究。E-mail: 13904527805@163.com。

通信作者:唐贵(1977—),男,硕士,副研究员,从事玉米育种和高产栽培技术研究。E-mail: hailuntangui@163.com。

Abstract: In order to systematically analyze the differences in cold germination tolerance characteristics of maize germplasm resources and screen the excellent low temperature tolerance germplasm resources, 52 new maize materials were used as experimental materials, and 12 indexes related to cold tolerance of maize seeds, such as germination rate, germination index, average germination time, germination potential and relative value of traits, were determined at 5 °C and 25 °C respectively. The cold resistance of maize materials was analyzed and evaluated comprehensively by using correlation analysis, principal component analysis, membership function analysis and cluster analysis. The results showed that the cold germination tolerance of 52 maize materials showed very rich genetic variation. Correlation analysis showed that there were significant positive correlations among the 8 cold tolerance traits. Principal component analysis divided 8 individual indicators into 3 independent comprehensive indicators, with a cumulative contribution rate of 93.84%. Based on the comprehensive *D* value of cold resistance, cluster analysis was conducted on 52 new maize materials, and they were divided into 4 low temperature resistance grades, among which 19 were the strongest, 19 were strong, 11 were weak and 3 were the weakest. This study provided the core parental selection basis for the innovation of cold tolerant germplasm and methodological reference for crop stress resistance evaluation.

Keywords: maize; germination stage; cold resistance; principal component analysis; cluster analysis