文章编号：1005-0906(2020)05-0020-07 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20200504

81份玉米杂交种萌发期耐冷性的鉴定和评价

刘 杰[1,2],张春宵[2],李淑芳[2],曹铁华[3],梁烜赫[3],刘学岩[2],
马永鑫[2],郑大浩[1],李晓辉[2]

(1.延边大学农学院,吉林 延吉 133002；2.吉林省农业科学院作物资源研究所,吉林 公主岭 136100；
3.吉林省农业科学院农业资源与环境研究所,长春 130033)

摘 要：通过对吉林省公主岭市10年(2009～2018)4月20日～5月10日期间地下10 cm平均地温进行统计分析,确立玉米萌发期耐冷鉴定的适宜温度为10℃。以81份玉米杂交种为试材,测定10℃低温胁迫下种子的发芽率、发芽指数、平均发芽时间以及相对值等6个性状,运用主成分分析计算耐冷综合D值,基于D值和相对发芽率综合评价玉米杂交种耐冷性。结果表明,主成分分析将6个萌发期低温下的单项指标综合成2个独立的综合指标,基于耐冷性综合评价D值和相对发芽率对81份杂交种进行聚类分析,均划分为耐冷性强、较强、中等、较弱、弱5类,二者吻合度较高,筛选出先玉1225、省原80、禾育35、翔玉998和良玉66等5份耐冷性极强的玉米杂交种,提出基于相对发芽率的单指标粗略鉴评和基于综合耐冷D值的多指标精准鉴评相结合策略。

关键词：玉米;萌发期;耐冷性;鉴定;评价

中图分类号：S513.037 **文献标识码**：A

Identification and Evaluation of Eighty-one Hybrids for Chilling Tolerance at Maize Germination Stage

LIU Jie[1,2], ZHANG Chun-xiao[2], LI Shu-fang[2], CAO Tie-hua[3], LIANG Xuan-he[3], LIU Xue-yan[2], MA Yong-xin[2], ZHENG Da-hao[1], LI Xiao-hui[2]

(1. *Agricultural College, Yanbian University, Yanji* 133002; 2. *Crop Germplasm Resources Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling* 136100; 3. *Institute of Agricultural Resources and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun* 130033, China)

Abstract: The appropriate temperature for the identification of chilling tolerance at maize germination stage was established as 10℃, based on a statistical analysis of the average ground temperature of 10 cm underground in Gongzhuling, Jilin during April 20 th to May 10 th, 2009-2018. The germination rate, germination index, average germination time and relative values of 81 maize hybrids were measured under low temperature stress. Principal component analysis was used to calculate the comprehensive cold tolerance D value. Based on D value and relative germination rate, chilling tolerance of maize hybrids was comprehensively evaluated. The results showed that six single indicators at germination stage were synthesized into two independent comprehensive indicators by principal component analysis. Based on the D value of comprehensive evaluation of cold resistance and the relative germination rate, 81 hybrids were all divided into 5 categories by cluster analysis, which included excellent cold resistance, strong cold resistance, medium cold resistance, weak cold resistance and very weak cold resistance. Both have a high degree of coincidence. Five hybrids with strong cold resistance were screened out, including Xianyu1225, Shengyuan 80, Heyu 35, Xiangyu998 and Liangyu 66. A strategy was finally proposed to combine the rough evaluation based on relative germination rate with the precise evaluation based on comprehensive cold tolerance D value.

Key words: Maize; Germination stage; Chilling tolerance; Identification; Evaluation

录用日期：2020-1-19

基金项目：吉林省科技厅重点研发项目(20200402024NC)、吉林省农业科技创新工程人才基金项目(C92072212)、国家重点研发计划(2017YFD0300605)、人社部2016年高层次留学人才回国工作资助项目

作者简介：刘 杰(1993-),女,山东滨州人,在读硕士,主要从事玉米耐冷研究。Tel:18366887077 E-mail:18366887077@163.com
郑大浩和李晓辉为本文通讯作者。

玉米在低温下易遭受冷害[1]。低温冷害成为限制玉米产量提高的一个重要因素[2]。萌发期是玉米生长发育的关键时期,对低温十分敏感,种子萌发时温度越低,则萌发率越低、萌发时间越长[3]、出苗延迟和幼苗活力降低[4,5]。因此,通过对萌发期低温胁迫条件下多个指标的测定,筛选耐冷优异种质并培育耐冷玉米品种,对确保我国的粮食安全具有重要意义。

田间鉴定不可控因素较多,易受环境影响,重复性差[6]。为获得相对稳定的试验结果,通常需要利用人工培养箱等可控光温湿条件进行萌发期耐冷室内鉴定[7,8]。近年来,国内外学者主要应用单一指标进行玉米早期耐冷性评价[9,10]。一些研究者对多个耐冷单一指标进行综合分析,确定各指标所占的权重,通过主成分、聚类等分析方法综合评价玉米耐冷性[11~13]。玉米耐冷性是受多基因调控的复杂数量性状,利用单一指标的鉴评结果易受环境影响往往具有片面性[14],利用隶属函数法进行多指标评价时又会因为单项指标间的相关性导致信息重叠,影响耐冷鉴定效果[15]。基于主成分分析和聚类分析,开展玉米杂交种萌发期耐冷鉴评的研究报道较少。本研究通过对吉林省公主岭市10年(2009~2018)4月20日~5月10日期间地下10 cm平均地温进行分析,选择玉米萌发期耐冷鉴定的最适温度,测定低温下多项耐冷相关性状,整合相关性分析、主成分分析及聚类分析等多种统计方法,对81份杂交种萌发期耐冷性进行鉴评,筛选耐冷玉米品种,为冷作条件下精准播种玉米、筛选与改良耐冷品种提供方法和理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验材料为近年来国审及省级审定的81份玉米杂交种(表1)。供试材料由吉林省农业科学院作物资源研究所提供。

表1　玉米萌发期耐冷鉴定的杂交种

Table 1　Maize hybrids used in the identification of cold tolerance at germination stage

序号 No.	材料名称 Material	相对发芽率 RGR	D值 D value	序号 No.	材料名称 Material	相对发芽率 RGR	D值 D value
1	德禹101	0.23	0.193	26	吉单513	0.76	0.555
2	泽玉8911	0.30	0.216	27	富民985	0.76	0.575
3	吉单33	0.33	0.255	28	中玉990	0.76	0.605
4	九单318	0.36	0.263	29	吉农大889	0.77	0.584
5	吉单524	0.48	0.318	30	吉农大778	0.78	0.600
6	吉单50	0.49	0.377	31	德美亚1号	0.78	0.625
7	恒单188	0.51	0.401	32	吉农大212	0.80	0.600
8	屿城1号	0.51	0.386	33	吉农玉719	0.81	0.665
9	高民108	0.55	0.418	34	宏兴1号	0.82	0.632
10	良玉918	0.59	0.419	35	吉单511	0.83	0.680
11	优迪919	0.61	0.451	36	德单129	0.84	0.599
12	吉单27	0.64	0.508	37	大民899	0.84	0.643
13	吉通77	0.65	0.530	38	农华205	0.85	0.686
14	通玉9585	0.65	0.482	39	京科968	0.85	0.645
15	吉单502	0.68	0.498	40	MC278	0.86	0.692
16	良玉188	0.68	0.513	41	吉单618	0.87	0.712
17	翔玉218	0.70	0.548	42	德育919	0.89	0.670
18	恒育218	0.70	0.545	43	吉单1402	0.89	0.728
19	吉单631	0.71	0.542	44	吉单551	0.89	0.726
20	红旗688	0.71	0.522	45	吉农大988	0.90	0.717
21	翔玉198	0.72	0.543	46	吉单53	0.90	0.688
22	松育108	0.73	0.558	47	吉单505	0.90	0.709
23	宏兴528	0.75	0.565	48	吉单558	0.90	0.778
24	农华101	0.75	0.564	49	吉单38	0.91	0.745
25	桥玉8号	0.76	0.618	50	德美亚2号	0.91	0.728

续表1 Continued 1

序 号 No.	材料名称 Material	相对发芽率 RGR	D值 D value	序 号 No.	材料名称 Material	相对发芽率 RGR	D值 D value
51	金产5	0.91	0.735	67	吉农大935	0.98	0.788
52	吉单441	0.91	0.714	68	迪卡517	0.98	0.788
53	良玉208	0.91	0.681	69	先达203	0.98	0.830
54	克玉17	0.91	0.771	70	雄玉581	0.98	0.776
55	先玉335	0.92	0.741	71	吉单209	0.98	0.810
56	天农九	0.92	0.703	72	科玉15	0.99	0.744
57	郑单958	0.94	0.736	73	禾育89	0.99	0.820
58	迪卡159	0.94	0.764	74	金园15	0.99	0.806
59	德单1108	0.94	0.748	75	吉单96	0.99	0.778
60	德美亚3号	0.95	0.781	76	良玉66	0.99	0.812
61	登海605	0.96	0.777	77	翔玉998	1.00	0.816
62	吉单66	0.97	0.757	78	新和916	1.00	0.794
63	平安169	0.97	0.781	79	禾育35	1.00	0.823
64	吉单56	0.97	0.788	80	省原80	1.00	0.804
65	东农254	0.97	0.833	81	先玉1225	1.00	0.847
66	志合411	0.97	0.562				

1.2 试验方法

选择饱满的玉米种子，用0.1%的氯化汞溶液对种子消毒10 min，再使用去离子水洗去种子表面残存的溶液。每份材料进行低温胁迫(10℃)和正常对照(25℃)两种处理。每份杂交种100粒种子，3次重复。将种子放置于铺有湿润海绵和滤纸的消毒培养皿内，每皿20粒，然后分别放置于10℃、25℃的智能光照培养箱中进行避光发芽，定期加入适量蒸馏水。以萌发出的幼根达到粒长、胚芽达到粒长1/2为发芽标准[16]，每日对发芽种子数进行记录，直至28 d为止。

1.3 测定指标与方法

对81份杂交种，于7 d、28 d后分别测定胁迫组、对照组的种子发芽率、发芽指数、平均发芽时间及其相对值6个性状。其中，发芽指数和平均发芽时间基于每天发芽数的统计结果计算得出。

种子发芽率(GR)=发芽终期(规定日期内)全部正常发芽种子数/供试种子数×100%；

发芽指数(GI)=∑Gt/Dt，其中，Dt为发芽日数，Gt为Dt相对应的每日发芽种子数；

平均发芽时间(MGT)＝∑(D×n)/∑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。

性状相对值=X_L/X_N，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。

1.4 数据统计与分析

采用下述公式计算每一基因型各综合指标的隶属函数值[17]。

$$U(X_j)=\frac{X_j-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}} \quad j=1,2\cdots\cdots n \tag{1}$$

$$W_j=\frac{P_j}{\sum_{j=1}^{n}P_j} \quad j=1,2\cdots\cdots n \tag{2}$$

$$D=\sum_{j=1}^{n}\left[U(X_j)\times W_j\right] \quad j=1,2\cdots\cdots n \tag{3}$$

式中，X_j表示第j个综合指标；Xmin表示第j个综合指标的最小值；Xmax表示第j个综合指标的最大值；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值为在低温胁迫条件下用综合指标评价所得的耐冷性综合评价值。

采用Excel 2010、SPSS 24.0软件完成相关性分析、主成分分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 玉米萌发期耐冷鉴定适宜温度的确立

《地面气象观测规范》[18]中将地温定义为地面和地中不同深度的土壤温度。对吉林省公主岭市2009～2018年10个年份的播种期间(4月20日至5月10日)10 cm平均地温进行统计分析，结果如图1所示。10年中平均地温变化范围为9.21℃～15.44℃，其中2010年、2011年和2013年3个极端冷害年份的平均地温为10℃左右。本试验选择10℃作为玉米萌发期耐冷鉴定胁迫温度，符合实际大田生产的自然条件。

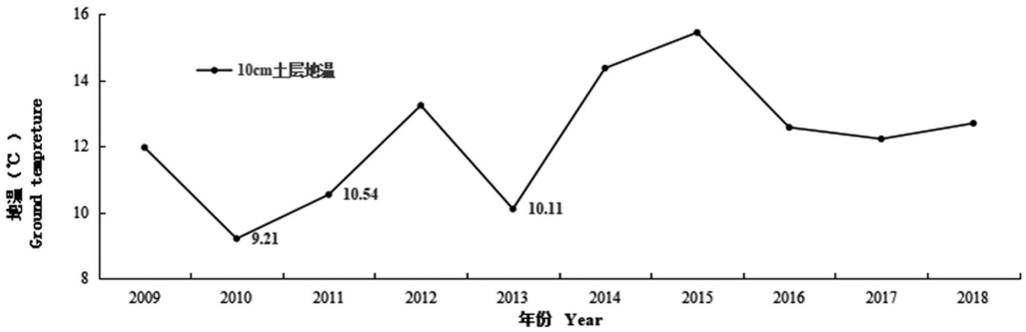


图1　2009～2018年公主岭市4～5月地下10 cm平均地温

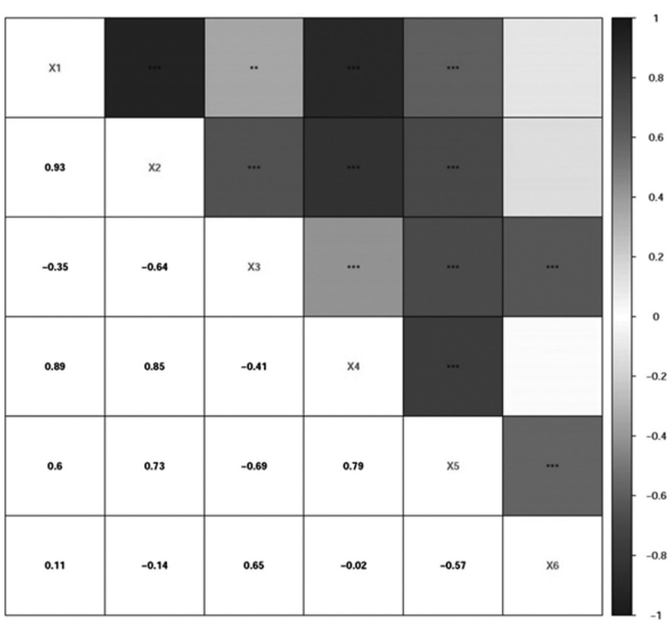
Fig.1　Average ground temperature of 10 cm underground in Gongzhuling from April to May of 2009 to 2018

2.2　低温胁迫对萌发相关性状的影响与性状间相关性分析

表2　不同温度处理下萌发相关性状的表型值统计分析

Table 2　Variation analysis of related traits for different environments at maize germination stage

处 理 Treatment	性 状 Phenotype	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均 Average	变异系数(%) CV
正常对照	发芽率(%)	95.00	100.00	97.00	2
	发芽指数	27.80	49.17	39.01	14
	平均发芽时间(d)	2.04	3.54	2.60	13
冷害胁迫	发芽率(%)	21.00	100.00	78.00	24
	发芽指数	0.76	5.89	3.84	30
	平均发芽时间(d)	16.70	27.81	21.28	12
相对值	相对发芽率	0.23	1.00	0.81	22
	相对发芽指数	0.02	0.16	0.10	27
	相对平均发芽时间	5.53	11.58	8.31	17



注:**和***分别表示在1%水平显著性和0.1%水平显著性;空白为不显著。

Note: ** and *** significant at 1% level and 0.1% level, respectively; Blank, no significant.

图2　玉米杂交种萌发期耐冷性状相关系数矩阵

Fig.2　Correlation matrix of related traits for maize hybrids under cold tolerance at germination stage

分别以10℃和25℃为低温胁迫和正常对照，对81份杂交种的6个萌发相关性状进行测量和分析。在正常条件下，所有材料的发芽率最小值为95%(表2)。与对照相比，低温胁迫下种子发芽率下降，发芽指数显著降低，平均发芽时间显著增加，其中，种子发芽率的变异系数增幅最大。从这些性状的相对值来看，种子发芽率、发芽指数和平均发芽时间均受到低温胁迫不同程度的影响。其中，发芽指数和平均发芽时间两个性状相对值的平均值分别为0.10和8.31，种子发芽率这一性状相对值的平均值为0.81，说明萌发期低温在降低种子萌发率的同时，更显著地延长了发芽时间和阻碍了发芽速度。

$X_1 \sim X_6$分别代表胁迫发芽率、胁迫发芽指数、胁迫平均发芽时间、相对发芽率、相对发芽指数、相对平均发芽时间。从图2可以看出，各性状间都具有一定水平的相关性。X_1与X_2、X_4、X_5极显著正相关，相关系数分别为0.93、0.89、0.60；X_1与X_3极显著负相关，相关系数为−0.35；X_1与X_6相关性不显著，相关系数为0.11。X_2与X_4极显著正相关，相关系数为0.85；X_2与X_5极显著正相关，相关系数为0.73；X_2与X_3极显著负相关，相关系数为−0.64；X_2与X_6相关性不显著，相关系数为−0.14。X_3与X_4、X_5极显著负相关，相关系数为−0.41、−0.69；X_3与X_6极显著正相关，相关系数为0.65。X_4与X_5极显著正相关，相关系数为0.79；X_4与X_6相关性不显著，相关系数为−0.02。X_5与X_6极显著负相关，相关系数为−0.57。因此，采用隶属函数法等方式开展多指标鉴评时会由于各指标间存在一定程度的相关性，导致信息重叠，不能客观准确地评价各材料萌发期的耐冷性。

2.3 低温胁迫下萌发相关性状的主成分分析

利用SPSS软件对萌发期低温胁迫的6个相关性状进行主成分分析(表3)，第一主成分和第二主成分的贡献率分别为65.025%和26.451%，其累计贡献率达到了91.476%。2个主成分涵盖了6个相关性状90%以上的数据信息，可以分别用两个主成分对81份材料萌发期耐冷性进行概括分析。

将耐冷相关性状$X_1 \sim X_6$数据标准化后，依据特征向量可求出主成分表达式。第一主成分的表达式为 $Y_1=0.432X_1+0.481X_2-0.37X_3+0.456X_4+0.453X_5-0.178X_6$，其中$X_1$、$X_2$、$X_4$、$X_5$权重系数比较大，所以决定第一主成分大小的主要是胁迫发芽指数、相对发芽指数、胁迫发芽率和相对发芽率。第二主成分的表达式为 $Y_2=0.388X_1+0.16X_2+0.425X_3+0.297X_4-0.212X_5+0.714X_6$，其中$X_3$、$X_6$权重系数比较大，所以决定第二主成分大小的主要是胁迫平均发芽时间和相对平均发芽时间。种子发芽率是评价玉米萌发期耐冷性最基础和最重要的指标，根据发芽率高低可以推断种子的发芽能力。与胁迫发芽率相比，相对发芽率能够去除因品种自身制种导致对照条件下发芽率的差异。发芽指数和平均发芽时间，反映的是在特定时间段内萌发种子数，实际上是对低温条件下种子的萌发速率及生长能力的描述。

表3 玉米杂交种萌发期低温胁迫主成分特征向量及贡献值

Table 3 Eigenvectors and percentage of accumulated contribution of principal components for maize hybrids under cold stress at germination stage

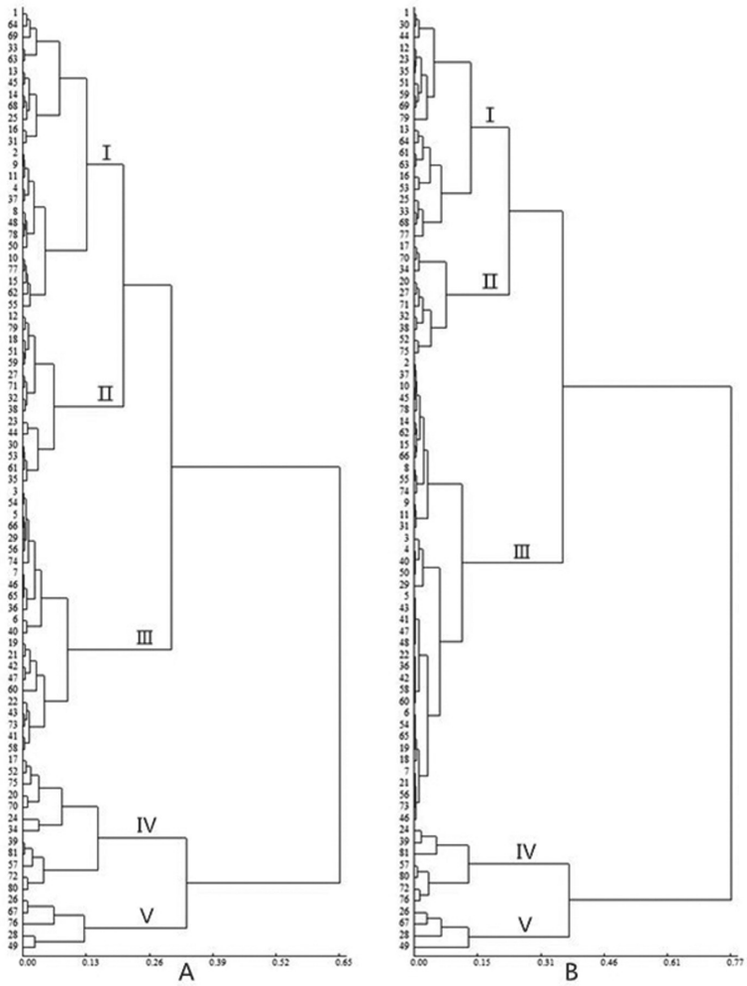
指 标 Index		成分1 Component 1	成分2 Component 2
胁迫发芽率	X_1	0.432	0.388
胁迫发芽指数	X_2	0.481	0.16
胁迫平均发芽时间	X_3	−0.37	0.425
相对发芽率	X_4	0.456	0.297
相对发芽指数	X_5	0.453	−0.212
相对平均发芽时间	X_6	−0.178	0.714
特征值		3.902	1.587
贡献率(%)		65.025	26.451
累计百分率(%)		65.025	91.476

2.4 基于综合D值和相对发芽率的玉米杂交种耐冷性综合评价

依据公式(1)得出低温胁迫后综合指标的隶属函数值；再以各个综合指标贡献率的大小为依据，采用公式(2)可运算得出综合指标的权重；依据综合指标的U值和权重，使用公式(3)求得耐冷性综合评价D值(表1)。

分别基于耐冷综合D值和相对种子发芽率指

标,采用欧氏距离及最大距离法对81份玉米杂交种进行萌发期耐冷能力聚类分析和综合评价,聚类结果如图3所示。图3中A和B分别表示以耐冷综合D值和相对种子发芽率所做的聚类图,两者均将81份材料分为5个类群,第1类属于耐冷性较强的,这一类群在低温胁迫中相关性状表现较好;第2类属于中等耐冷型;第3类属于耐冷性强的,该类群受低温抑制小,在低温处理下发芽率较高且平均发芽时间相对较短;第4类属于耐冷性较弱的;第5类属于耐冷性弱的,该类群受低温抑制极大,在冷胁迫逆境条件下发芽率极低且平均发芽时间十分漫长。比较A、B两者聚类图,尽管对应类群所包含的材料数量存在差异,但聚类结果有较高的吻合度,其中,先玉系列(先玉335、先玉1225、先达203)、迪卡系列(迪卡517、迪卡159)、郑单958、德美亚3号、吉单66、登海605等杂交种耐冷性表现突出。



注:图3的数字是表1的序号。

Note: The number in Fig.3 is the No. in table 1.

图3　81份玉米杂交种萌发期耐冷性聚类分析

Fig.3　Cluster analyses of cold tolerance of 81 maize hybrids at germination stage

3　结论与讨论

3.1　玉米萌发期耐冷性鉴定温度的选择

前人研究表明,玉米萌发所需的最低温度为5℃~15℃,由于子粒成熟度及基因型差异,不同品系之间的温度适应范围也会不同[19]。本试验选择10℃作为玉米萌发期低温胁迫温度。

3.2　玉米萌发期耐冷性鉴评策略

玉米耐冷性是受多基因调控的数量性状,因此不宜选用单一指标进行精准鉴评[20]。为使结果更加准确可靠,需通过多项指标进行耐冷性综合评价。隶属函数法由于很难克服单一指标之间的信息重叠问题,评价结果往往存在片面性[21]。主成分分析用少数综合变量表示多个变量从而达到将数据降维,

能清除品种间固有差异，使研究结果更为准确[22]。系统聚类分析是以样品距离为基础，定义类与类之间的距离，通过将个体逐步整合，明确种间关系远近，指出品种所属类型，最后形成一张聚类分析图，得到更简洁、直观的评价结果[23]。目前，对耐冷相关指标开展主成分分析、隶属函数分析及聚类分析，并进行全面鉴评以鉴别耐冷种质，已经在一些作物上得到初步应用[24-26]，但对于玉米杂交种萌发期耐冷鉴评的研究报道较少。

本研究以81份玉米杂交种为试材，测定低温胁迫下种子的发芽率、发芽指数、平均发芽时间以及相对值等6个性状，运用主成分分析求算耐冷综合D值，基于D值和相对发芽率综合评价玉米杂交种耐冷性。基于D值，将81份杂交种划分为耐冷性强、耐冷性较强、中等耐冷、耐冷性较弱、耐冷性弱5类，5类数目分别为23、26、15、12、5份；基于相对发芽率，同样将81份杂交种划分为上述5类，5类数目分别为40、20、10、7、4份。二者吻合度较高，提出基于相对发芽率的单指标粗略鉴评和基于综合耐冷D值的多指标精准鉴评相结合策略。因此，大量材料的粗略鉴评时，可采用相对发芽率作为鉴定指标；少量材料的精准鉴评时，综合评价的优势得以体现。

参考文献：

[1] Peter R, Eschholz T W, Stamp P, et al. Swiss Flint maize landraces--a rich pool of variability for early vigour in cool environments [J]. Field Crops Research, 2009, 110(2): 157-166.

[2] 王 琪，马树庆，郭建平，等．温度对玉米生长和产量的影响[J]．生态学杂志，2009，28 (2)：255-260．
Wang Q, Ma S Q, Guo J P, et al. Effects of air temperature on maize growth and its yield[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(2): 255-260. (in Chinese)

[3] Stamp P. Chilling tolerance of young plants demonstrated on the example of maize[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 1984, 7: 1-83.

[4] 郝 楠．温度对不同玉米种子萌发及生理特性的影响[D]．北京：中国农业科学院，2011．

[5] Landi P, Frascaroli E, Lovato A. Divergent full-sib recurrent selection for germination at low temperature in a maize population[J]. Euphytica, 1992, 64: 21-29.

[6] 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．

[7] Hodges D M, Andrews C J, Johnson D A, et al. Antioxidant enzyme responses to chilling stress in differentially sensitive inbred maize lines[J]. Journal of Experimental Botany, 1997, 48(5): 1105-1113.

[8] 张晓聪，雍洪军，张焕欣，等．玉米芽期和苗期耐冷性研究进展[J]．作物杂志，2012(6)：8-14．
Zhang X C, Yong H J, Zhang H X, et al. Cold tolerance at germination and seedling stages in maize[J]. Crops, 2012(6): 8-14. (in Chinese)

[9] 郑昀晔，胡 晋，张 胜，等．玉米自交系发芽期和苗期耐寒性的鉴定[J]．浙江大学学报(农业与生命科学版)，2006，32(1)：41-45．
Zheng Y Y, Hu J, Zhang S, et al. Identification of chilling-tolerance in maize inbred lines at germination and seedling growth stages[J]. Journal of Zhejiang University, 2006, 32(1): 41-45. (in Chinese)

[10] 杨 光，刘宏魁，李世鹏，等．玉米抗冷种质资源的筛选与鉴定[J]．玉米科学，2012，20(1)：57-60，66．
Yang G, Liu H K, Li S P, et al. Screening and identification of chilling resistant germplasm resources in maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(1): 57-60, 66. (in Chinese)

[11] 贺正华，黄益勤，万正煌．特用玉米苗期耐冷种质的鉴定与筛选[J]．湖北农业科学，2008，47(11)：1257-1260．
He Z H, Huang Y Q, Wan Z H. Identification and selection of chilling tolerant special corn germplasms at seedling stage[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2008, 47(11): 1257-1260. (in Chinese)

[12] Verheul M J, Picatto. Growth and development of maize seedlings under chilling conditions in the field[J]. European Journal of Agronomy, 1996, 5(S1 - 2): 31-43.

[13] 伊凡(Ali Raza Irfan)．玉米自交系耐冷性生理机制与调控效应研究[D]．哈尔滨：东北农业大学，2018．

[14] 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．
Cao S L, Yu T, Hu G H, et al. Research progress on identification methods for maize cold tolerance at germination period[J]. China Seed Industry, 2018(8): 29-33. (in Chinese)

[15] 赵玉田，梁博文，张晓玲，等．我国寒冷地区玉米品种(系)抗冷性筛选原理与技术体系的应用研究[J]．中国农学通报，1993(2)：23-27．
Zhao Y T, Liang B W, Zhang X L, et al. Application of cold resistance screening principle and technical system of maize varieties (lines) in cold regions of China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 1993(2): 23-27. (in Chinese)

[16] 河南工业大学．粮油检验发芽试验: GB/T 5520-2011[S]．北京：中国标准出版社，2011．

[17] 朱宗河，郑文寅，张学昆．甘蓝型油菜耐旱相关性状的主成分分析及综合评价[J]．中国农业科学，2011，44(9)：1775-1787．
Zhu Z H, Zheng W Y, Zhang X K. Principal component analysis and comprehensive evaluation on morphological and agronomic traits of drought tolerance in rapeseed[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(9): 1775-1787. (in Chinese)

[18] 中国气象局．地面气象观测规范[M]．北京：气象出版社，2003．

[19] 李俊明．玉米自交系苗期耐冷性鉴定[J]．华北农学报，1988(1)：7-12．
Li J M. Identification of cold tolerance at seedling stage in maize inbred lines[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1988(1): 7-12. (in Chinese)

[20] Hu G, Li Z, Lu Y, et al. Genome-wide association study identified multiple genetic loci on chilling resistance during germination in maize[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 10840. (in Chinese)

[21] 霍仕平，张兴端，向振凡，等．玉米种子萌发阶段的吸水率研究[J]．玉米科学，2004，12(4)：54-56，59．

(下转第31页)

Wang X Q, Yue Y H, Dong Y L, et al. Analysis of genetic background and inducing rate of 21 haploid inducers[J]. Journal of Northeast Agricultural, 2019, 44(6): 15-19. (in Chinese)

[11] 李向永,姜　龙,王薪淇,等 . 糯玉米单倍体诱导和加倍的研究[J] . 西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(8):90-96 .
Li X Y, Jiang L, Wang X Q, et al. Haploid inducing and doubling of waxy maize[J]. Journal of Northwest A&.F University(Nat. Sci. Ed.), 2016, 44(8): 90-96. (in Chinese)

[12] Chase S S. Monoploids and Monoploid derivatives of maize(*Zea mays* L.)[J]. Bot Review, 1969, 35: 117-167.

[13] 刘志增,宋同明 . 玉米单倍体雌雄育性的自然恢复以及染色体的化学加倍[J] . 作物学报,2000,26(6):947-952 .
Liu Z Z, Song T M. Fertility spontaneously restoring of inflorescence and chromosome doubling by chemical treatment in maize haploid[J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26(6): 947-952. (in Chinese)

[14] 刘传兵,王黎明,朱祥芬,等 . 玉米单倍体诱导系及其杂交种对不同类型F1的诱导率评价与应用[J] . 湖北农业科学,2015,54(18):4398-4400,4411 .
Liu C B, Wang L M, Zhu X F, et al. Comments and application of maize haploid inducer and its Coeno-species for the induction rate of different F_1[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 54(18): 4398-4400, 4411. (in Chinese)

[15] Rotarenco V, Dicu G, Armaniuc M, 等 . 玉米杂交诱导单倍体机理探析[J] . 玉米科学,2010,18(6):27-30 .
Rotarenco V, Dicu G, Armaniuc M, et al. Induction of maternal haploids in maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2010, 18(6): 27-30. (in Chinese)

[16] 邓昆鹏,李向永,景桂昕,等 . 高效糯玉米单倍体加倍方法研究[J] . 种子,2017,36(1):82-85 .
Deng K P, Li X Y, Jing G X, et al. Preliminary study on efficient waxy maize haploid doubling method[J]. Seed, 2017, 36(1): 82-85. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)

(上接第26页)

Huo S P, Zhang X D, Xiang Z F, et al. Study on the rates of sucking up moisture with maize seeds during their germination[J]. Journal of Maize Sciences, 2004, 12(4): 54-56, 59. (in Chinese)

[22] 林海明,杜子芳 . 主成分分析综合评价应该注意的问题[J] . 统计研究,2013,30(8):25-31 .
Lin H M, Du Z F. Principal component analysis comprehensive evaluation should pay attention to the problem[J]. Statistical Research, 2013, 30(8): 25-31. (in Chinese)

[23] 王江民,肖植文,张建华,等 . 聚类分析法在28个玉米杂交种筛选中的应用[J] . 西南农业学报,2014,27(2):480-484 .
Wang J M, Xiao Z W, Zhang J H, et al. Application of cluster analysis in screening of maize hybrid varieties[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(2): 480-484. (in Chinese)

[24] 赵鹏涛,赵卫国,罗红炼,等 . 小麦主要品质性状相关性及主成分分析[J] . 中国农学通报,2019,35(21):7-13 .
Zhao P T, Zhao W G, Luo H L, et al. The main quality traits of wheat: correlation analysis and principal components analysis[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(21): 7-13. (in Chinese)

[25] 林文磊,吕美琴,李明松,等 . 39份春大豆种质资源的主成分分析及其聚类分析[J] . 福建农业学报,2018,33(10):1016-1022 .
Lin W L, Lü M Q, Li M S, et al. Principal component analysis and cluster analysis of 39 spring soybean germplasm Resources[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2018, 33(10): 1016-1022. (in Chinese)

[26] 孙开利,李清超,马　俊,等 . 玉米杂交种主要农艺性状的系统聚类分析[J] . 安徽农学通报,2015,21(14):28-29,50 .
Sun K L, Li Q C, Ma J, et al. Systematic cluster analysis of main agronomic characters of maize hybrids[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2015, 21(14): 28-29, 50. (in Chinese)

(责任编辑:栾天宇)