



谢路,李健平,韩德志,等.东北春大豆萌发期耐冷性综合评价及优异种质筛选[J].黑龙江农业科学,2022(7):1-7.

东北春大豆萌发期耐冷性综合评价及优异种质筛选

谢路¹,李健平¹,韩德志²,谷勇哲³,邴植¹

(1.黑龙江大学 资源与环境学院,黑龙江 哈尔滨 150080; 2.黑龙江省农业科学院 黑河分院,黑龙江 黑河 164300; 3.中国农业科学院 作物科学研究所,北京 100081)

摘要:为筛选适宜黑龙江省推广种植的耐冷性大豆种质资源,以152份适于黑龙江省种植的大豆种质为材料进行15℃低温萌发处理,调查低温胁迫下大豆萌发期的相关指标。并对15℃胁迫下表现出耐冷特性的6份大豆种质进行6℃低温处理,调查其相对发芽率。结果表明,在15℃胁迫下不同种质萌发期耐冷性存在丰富的变异;相关性分析表明,发芽率、发芽势和发芽指数呈极显著正相关。通过隶属函数和聚类分析对不同种质萌发期耐冷性进行综合性评价,将152份参试种质分为三类,第一类为耐冷种质19份;第二类为中等耐冷种质51份;第三类为低温敏感种质82份。在6℃下的6份参试种质按照相对发芽率分级标准可分为3个等级,Ⅰ级耐冷种质2份;Ⅱ级中等耐冷种质3份;Ⅲ级敏感种质1份。综合15和6℃下的分类结果筛选出2份耐冷种质,为蒙豆14×711和蒙豆16×冀豆17。

关键词:大豆;萌发期;耐冷性;种质资源鉴定

大豆是我国重要的粮油兼用型经济作物,是植物油和植物蛋白的理想来源^[1],以其为原料加工的副产品豆粕更是理想的动物蛋白饲料。目前,我国大豆每年消费量约1.1亿t^[2],而自给率仅为15%左右,产需缺口巨大^[3]。黑龙江省大豆种植面积约占中国50%^[4],第四和第五积温带大豆种植面积在1000hm²以上^[5],此积温带属于湿润季风气候区,土质疏松肥沃,为大豆生长提供了适宜的气候条件^[6]。但是,大豆播种期最为集中的5月份气温变化幅度较大,低温冷害现象频发,严重影响了单产水平并限制了大豆种植区向北拓展和推广^[7]。因此,筛选萌发期耐冷大豆种质,可以为改良大豆萌发期耐冷性提供优异亲本,降低冷害对出苗环节的不利影响,有助于保证苗全苗齐,对大豆的高产与稳产具有重要意义。

大豆萌发期耐冷性研究对实际生产具有重要意义。单彩云^[8]对黑龙江和其他省份的大豆种质进行萌发鉴定,通过比较发芽率筛选出89份耐冷种质。顾增辉等^[9]对东北春大豆种质进行萌发鉴定,筛选出黑农26和逊78-1两个耐冷种质。郑莉萍等^[10]、李育军等^[11]和盖志佳等^[12]对东北、南

方以及国外大豆材料进行耐冷性鉴定,筛选377份耐冷型材料。张国栋等^[13]对东北和国外大豆种质进行萌发鉴定,筛选出14个耐冷种质。李瑞宁等^[14]对东北大豆和南方大豆材料进行低温处理,筛选出4份耐冷型材料。郭数进等^[15]对山西大豆进行低温处理得出晋豆70耐低温能力最强。前人对不同地域大豆种质萌发期耐冷性做了大量鉴定,并根据发芽率等指标筛选出多份耐冷种质。

本研究采用15和6℃进行低温处理,针对适于黑龙江高寒地区种植的152份大豆种质进行萌发期耐冷性鉴定,筛选耐冷种质以改良大豆萌发期耐冷性,对于应对气候变化带来的极端天气频发现象具有积极作用,以期为保障高寒地区大豆生产奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究以适于黑龙江省第四和第五积温带种植的152份东北春大豆种质为试验材料,其中66份是已通过审定的品种,86份为尚未审定的品系。种子由中国农业科学院作物科学研究所提供,试验材料于2020年种植于黑龙江省黑河市爱辉区,及时收获后保存于风干室。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 于2020年11月在黑龙江大学环境与资源学院作物育种栽培重点实验室进行萌发期耐冷性鉴定试验。首先根据种子外观进行

收稿日期:2022-04-25

基金项目:中国和乌拉圭联合实验室合作项目(2018YFE0116900);大豆种质资源保护与利用项目(19211205)。

第一作者:谢路(1998—),男,硕士研究生,从事大豆遗传育种研究。E-mail:1149815389@qq.com。

通信作者:邴植(1987—),男,博士,副研究员,从事功能基因组学研究。E-mail:2018060@hlju.edu.cn。

挑选,选取饱满、无破损、无病斑、大小一致的种子作为试验材料。种子萌发之前进行消毒处理,将所选取大豆置于 75% 酒精中浸泡 2 min,无菌水漂洗 3 次,将 20 粒消毒后的种子置于一个灭菌的 9 cm 培养皿中,培养皿中包含 1 层事先放置好的灭菌海绵垫,并加适量的蒸馏水。在常温条件下进行吸胀 12 h 后将培养皿中水倒掉,并加入 15 mL 无菌水,然后低温组转入 15 和 6 °C 培养箱,对照组则转入 25 °C 培养箱中培养^[16]。为了模拟萌发条件,培养箱中为黑暗处理,每 2 d 换一次水,以减少病原菌滋生,每个处理 2 次重复。

1.2.2 测定项目及方法 15 °C 下种子活力指标:种子萌发 1 d 后,在每天同一时间段调查发芽数,以芽长达到种脐 1/2 为发芽标准^[10]。根据每天的发芽数分别计算发芽势(Germination Energy, GE)、发芽率(Germination Rate, GR)和发芽指数(Germination Index, GI)。

$GE(\%) = (\text{前 } 5 \text{ d 内发芽种子数} / \text{供试种子数}) \times 100$

$GR(\%) = (\text{前 } 7 \text{ d 发芽种子数} / \text{供试种子数}) \times 100$

$$GI = \sum (Gt / Dt)$$

式中, Gt 为在不同时间(2, 3, 4, 5, 6 和 7 d)的发芽数,其中, Dt 为发芽日数^[10]。

耐冷性综合评价:利用隶属函数法对大豆耐冷性进行综合评价^[17]。

$$\mu(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中, X_j 为指标测定值, X_{\min} 和 X_{\max} 分别表示所有参试材料某一指标的最小值和最大值。隶属函数值越大,表示该品种耐冷性越强。

6 °C 下种子指标:种子萌发 3 d 后,每天在同一时间内调查种子发芽数量至 15 d。当参试种子有一半发芽率达 50% 以上时,则把这一天确定为最佳调查时间,本试验的最佳调查时间为低温处理 14 d,计算相对发芽率(Relative Germination Rate, RGR)。

$$RGR(\%) = (6 \text{ °C 发芽率} / 25 \text{ °C 发芽率}) \times 100$$

参照盖志佳等^[12,18]的相对发芽率分级标准,相对发芽率 $\geq 85.00\%$ 为耐冷型(R); $50.00\% \leq$ 相对发芽率 $< 85.00\%$ 为中等耐冷型(M); 相对发芽率 $< 50.00\%$ 为敏感型(S)。

1.2.3 数据分析 采用 Excel 2016 进行数据的整理,利用 SPSS 26.0 和 Origin 2021 软件进行相关性、T-检验以及隶属函数和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫对大豆萌发期形态指标的影响

2.1.1 发芽势 由图 1 可知,15 °C 低温下的大豆发芽势普遍低于常温 25 °C 条件下,15 和 25 °C 条件下的发芽势均值分别为 43.14% 和 70.33%。相较于 25 °C,15 °C 条件下发芽势降低 38.66%,差异显著性分析结果表明,15 °C 低温处理可显著降低大豆发芽势。

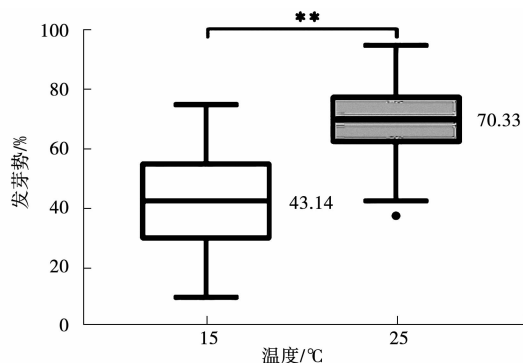


图 1 152 份大豆种质在 15 和 25 °C 条件下的发芽势
注: ** 表示存在显著性差异($P \leq 0.01$)。下同。

不同种质在低温 15 °C 条件下的发芽势存在丰富变异,变异幅度为 10.00% ~ 75.00%,低温条件下平均发芽势最好的种质为 07-1358 × 北疆 08-280,发芽势为 75.00%,而种质 2465 的发芽势最低,仅为 10.00%。华疆 4403、登科 6 号 × 登科 3 号、登科 6 号 × (登科 6 号 × 晋豆 25) 等 10 个品种(系)耐冷性较差,平均发芽势均低于 20.00%;而蒙豆 16 × 冀豆 17、登科 6 号 × (登科 6 号 × 汾豆 63)、07-1358 × 北疆 08-280、选 11(黑河 18 × 冀豆 17) × 黑河 18 等 10 个品种(系)平均发芽势 $\geq 65.00\%$,表明这些种质萌发期耐冷性较强(表 1)。

2.1.2 发芽率 由图 2 可知,15 °C 低温对萌发率有明显的抑制作用,与发芽势测定结果相似。15 和 25 °C 条件下的发芽率均值分别为 65.76% 和 90.94%,相较于 25 °C,15 °C 条件下发芽率降低 27.69%。

此外,不同种质在 15 °C 条件下发芽率差异较大,发芽率最低的仅为 20.00%,而发芽率最高的可达 100.00%。低温条件下发芽率最高的品种为蒙豆 14 × 711,平均发芽率为 100.00%,发芽率最低的是华疆 4403,平均发芽率仅为 20.00%。华疆 4403、登科 6 号 × (登科 6 号 × 晋豆 25)、丰收 18 等 10 个品种(系)耐冷性较差,平均发芽率均低于 45.00%,而蒙豆 14 × 711、蒙豆 16 × 冀豆 17、

黑农 60×登科 3 号等 10 个品种(系)耐冷性较好,平均发芽率均高于 85.00%(表 2)。

表 1 15 ℃低温胁迫下发芽势较高和较低的品种(系)		
序号	品种(系)	发芽势/%
1	07-1358×北疆 08-280	75.00
2	蒙豆 16×冀豆 17	75.00
3	选 11(黑河 18×冀豆 17)×黑河 18	75.00
4	蒙豆 14×711	75.00
5	合 05-729×黑河 43	72.50
6	蒙豆 28×黑河 43	70.00
7	登科 6 号×(登科 6 号×汾豆 63)	70.00
8	蒙豆 28×引北安	67.50
9	黑河 18×选 45(黑河 18×汾豆 65)	65.00
10	黑农 60×登科 3 号	65.00
11	蒙豆 9 号	17.50
12	登科 6 号×(登科 6 号×晋豆 25)	17.50
13	垦鉴豆 25	17.50
14	中作 90957	15.00
15	FC001	15.00
16	登科 6 号×登科 3 号	15.00
17	蒙豆 16×黑河 43	15.00
18	1358	15.00
19	华疆 4403	12.50
20	2465	10.00

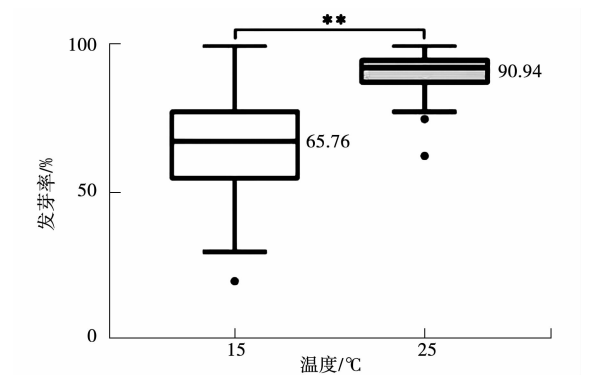


图 2 152 份大豆种质在 15 和 25 ℃条件下的发芽率

2.1.3 平均发芽指数 由图 3 可知,15 ℃条件下发芽指数均值较 25 ℃条件下降低 40.34%。不同种质在 15 ℃条件下发芽指数存在丰富变异,变异幅度介于 2.36~16.36 之间。15 ℃条件下平均发芽指数最高的品种为蒙豆 14×711,发芽指数均值为 16.36,而华疆 4403 的平均发芽指数最低,仅为 2.36。发芽指数与种子活力呈正相关,发芽指数越高,种子活力越强。华疆 4403、垦

鉴豆 25、登科 6 号×登科 3 号等 10 个品种(系)在 15 ℃条件下平均发芽指数均低于 4.5,说明这些品种(系)在低温条件下种子活力较低,耐冷性差;而蒙豆 14×711、蒙豆 16×冀豆 17、选 11(黑河 18×冀豆 17)×黑河 18 等 10 个品种(系)平均发芽指数均高于 14.00,表明这些品种(系)种子在低温条件下依然具有较高活力,耐冷性强(表3)。

表 2 15 ℃低温胁迫下发芽率较高和较低的品种(系)		
序号	品种(系)	发芽率/%
1	蒙豆 14×711	100.00
2	合 05-729×黑河 43	97.50
3	1438	95.00
4	蒙豆 16×冀豆 17	95.00
5	07-1358×北疆 08-280	92.50
6	蒙豆 28×引北安	90.00
7	蒙豆 28×黑河 43	90.00
8	黑农 60×登科 3 号	90.00
9	内豆 4 号×克交 05-95	87.50
10	登科 4 号×黑河 46	87.50
11	合航 2010239	40.00
12	登科 4 号×华疆 4 号	37.50
13	蒙豆 16×黑河 43	37.50
14	丰收 18	35.00
15	1358	35.00
16	垦鉴豆 25	32.50
17	蒙豆 16×黑河 43	15.00
18	登科 6 号×(登科 6 号×晋豆 25)	32.50
19	2465	30.00
20	华疆 4403	20.00

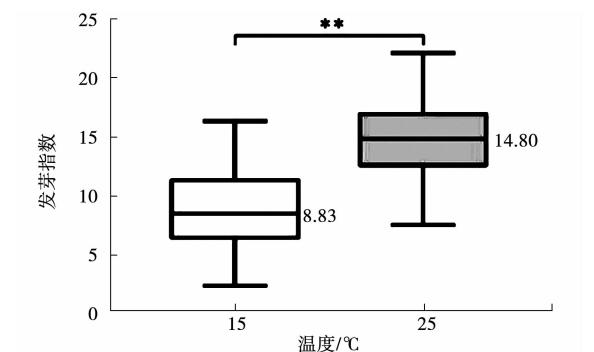


图 3 152 份大豆种质在 15 和 25 ℃条件下的发芽指数

表 3 15 ℃低温胁迫下发芽指数较高和较低的品种(系)

序号	品种(系)	发芽指数
1	蒙豆 14×711	16.36
2	蒙豆 16×冀豆 17	15.55
3	选 11(黑河 18×冀豆 17)×黑河 18	15.42
4	黑农 60×登科 3 号	14.96
5	登科 6 号×(登科 6 号×汾豆 63)	14.85
6	蒙豆 28×引北安	14.77
7	蒙豆 28×黑河 43	14.33
8	合 05-729×黑河 43	14.14
9	1438	14.05
10	登科 4 号×黑河 46	14.02
11	1358	4.35
12	蒙豆 9 号	4.09
13	登科 6 号×PI548641	3.89
14	中作 90957	3.89
15	FC001	3.64
16	登科 6 号×登科 3 号	3.62
17	蒙豆 16×黑河 43	3.59
18	垦鉴豆 25	3.30
19	2465	2.76
20	华疆 4403	2.36

2.2 大豆萌发期耐低温性综合评价

2.2.1 萌发相关指标差异性分析 由表 4 可知,根据 152 份大豆种质经过低温处理后 3 项指标均值的差异性分析及 T-检验结果,在 15 ℃低温处理下的 152 份大豆种质的发芽势、发芽率和发芽指数 3 项指标在各个品种间存在一定的差异,均值分别是 43.14%、65.76%和 8.83,各性状变异系数介于 24.16%~35.56%,而在常温 25 ℃条件下,3 项指标均值分别为 70.33%、90.94%和 14.80,各性状变异系数介于 7.27%~20.33%。相较于 25 ℃条件下,15 ℃条件下发芽势、发芽率和发芽指数均表现为大幅度下降,表明 15 ℃条件下对大豆发芽存在明显抑制作用。通过比较降低幅度,发现 15 ℃的抑制作用表现为发芽指数>发芽率>发芽势。

2.2.2 萌发相关指标相关性分析 152 份大豆种质在低温 15 ℃条件下发芽势、发芽率及发芽指数 3 项指标的相关系数均大于 0.9。其中发芽势和发芽指数的相关性最高,达 0.960,发芽率和发芽势的相关性次之,为 0.915,发芽率和发芽指数

的相关系数最低,但也大于 0.90(表 5)。说明在 15 ℃的低温条件下对发芽势、发芽率和发芽指数的抑制强度不同,但是三者高度相关,均可作为评价大豆萌发期耐冷性的指标。

表 4 萌发相关指标描述性统计分析

处理	项目	发芽势/%	发芽率/%	发芽指数
15 ℃	最大值	75.00	100.00	16.36
	最小值	10.00	20.00	2.36
	均值	43.14	65.76	8.83
	标准差	0.15	0.16	3.14
	变异系数/%	35.41	24.16	35.56
25 ℃	最大值	95.00	100.00	22.18
	最小值	37.50	62.50	7.54
	均值	70.33	90.94	14.80
	标准差	0.12	0.07	3.01
	变异系数/%	17.49	7.27	20.33
T-检验		3.29E-46	1.23E-49	1.49E-45

表 5 萌发期性状之间的相关性分析

参数	发芽势	发芽率	发芽指数
发芽势	1		
发芽率	0.915**	1	
发芽指数	0.960**	0.902**	1

注:*和**分别表示在 $P\leqslant 0.05$ 和 $P\leqslant 0.01$ 水平上显著相关。

2.2.3 各指标隶属函数值分析 为了综合评价不同大豆种质萌发期耐冷性,提高大豆耐冷性鉴定的可靠性,以发芽势、发芽率和发芽指数 3 个指标作为基础,进行隶属函数分析。结果表明在低温 15 ℃处理下,大豆品种(系)之间有着显著的差异。其中蒙豆 14×711 的平均隶属函数值为 1,其值最高,综合评价其耐冷性最好,而华疆 4403 的平均隶属函数值为 0.01,其值最低,综合评价其对低温表现最敏感(表 6)。

根据平均隶属函数值对不同种质进行了聚类分析,如图 4 所示按照欧氏距离可将 152 份大豆种质分成 3 类:第 I 类型为耐冷种质,包括蒙豆 16×冀豆 17、选 11(黑河 18×冀豆 17)×黑河 18和登科 6 号×(登科 6 号×汾豆 63)等 19 个品种(系);第 II 类型为中等耐冷种质,包括黑河 5 号、龙垦 306 和登科 1 号等 51 个品种(系);第 III 类型为低温敏感种质,包括华疆 4403、垦鉴豆 25 和丰收 18 等 82 个品种(系)。

表 6 15℃低温胁迫下平均隶属函数较高和较低的大豆种质

序号	品种(系)	平均隶属函数值	序号	品种(系)	平均隶属函数值
1	蒙豆 14×711	1.00	11	丰收 18	0.18
2	蒙豆 16×冀豆 17	0.96	12	中作 90957	0.17
3	选 11(黑河 18×冀豆 17)×黑河 18	0.93	13	FC001	0.16
4	合 05-729×黑河 43	0.92	14	登科 6 号×(登科 6 号×晋豆 25)	0.15
5	07-1358×北疆 08-280	0.91	15	登科 6 号×登科 3 号	0.14
6	蒙豆 28×黑河 43	0.88	16	1358	0.14
7	蒙豆 28×引北安	0.88	17	蒙豆 16×黑河 43	0.13
8	登科 6 号×(登科 6 号×汾豆 63)	0.88	18	垦鉴豆 25	0.11
9	黑农 60×登科 3 号	0.87	19	2465	0.05
10	1438	0.86	20	华疆 4403	0.01

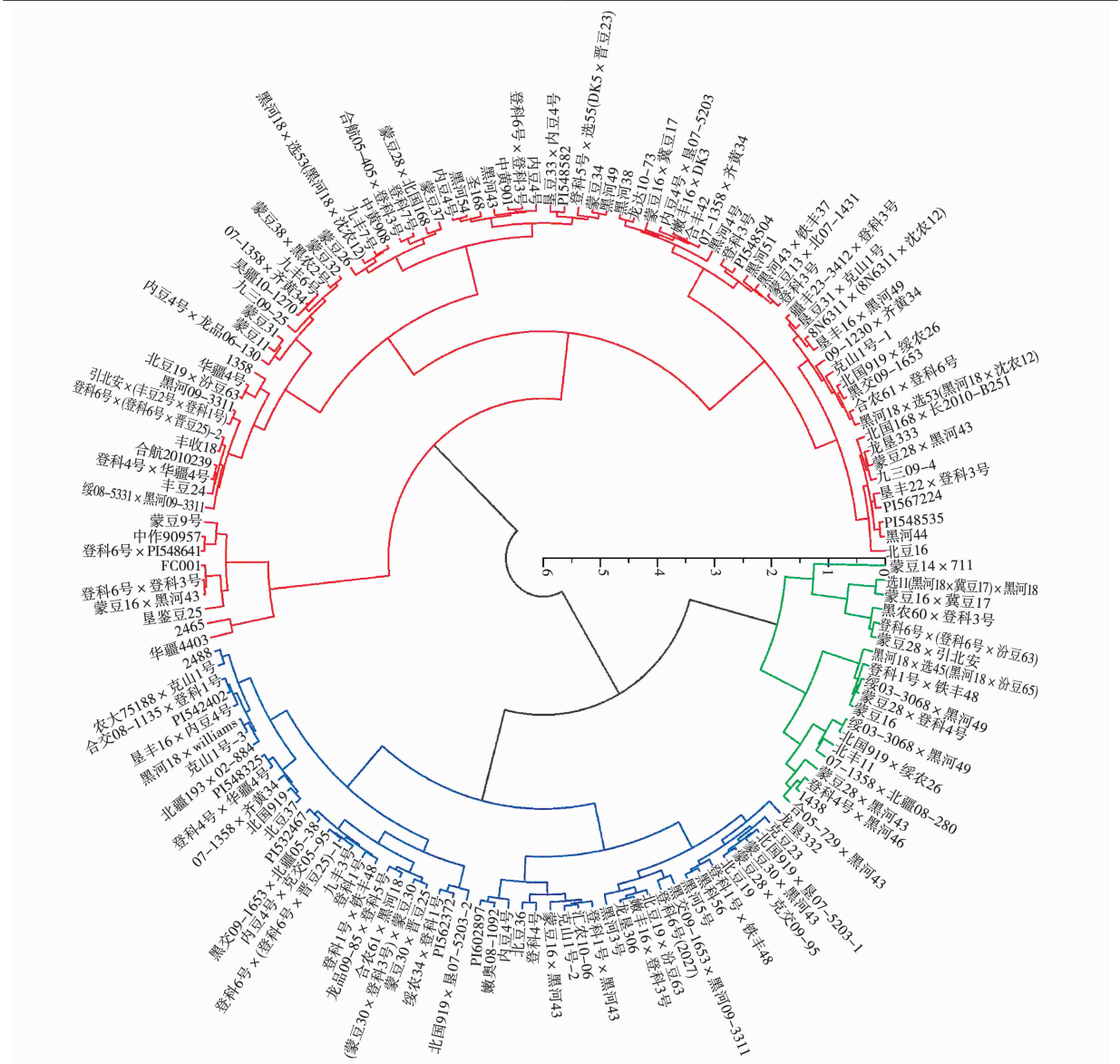


图 4 152 份大豆材料发芽形态指标的聚类分析图

注:绿色拓扑结构对应种质为耐冷种质,蓝色拓扑结构对应种质为中等耐冷种质,红色拓扑结构对应种质为低温敏感种质。

2.3 相对发芽率的分级分析

对 15℃下表现为耐冷特性的 6 份大豆种质进行 6℃低温处理,调查其相对发芽率。由表 7 可知,6 份种质在 6℃低温下依据相对发芽率耐冷等级分成三级:第Ⅰ级为耐冷型,包括蒙豆 14×711 和蒙豆 16×冀豆 17 两份种质;第Ⅱ级为中等

耐冷型,包括合 05-729×黑河 43、07-1358×北疆 08-280 和 1438 三份种质;第Ⅲ级为敏感型,包括选 11(黑河 18×冀豆 17)×黑河 18 一份种质(表 7)。说明在 15℃低温下表现耐冷性的种质在 6℃低温下不一定表现出较强的耐低温能力,筛选出了耐冷性更强的种质。

表 7 对 6 份大豆种质的相对发芽率分级分析

品种(系)	相对发芽率/%	定性描述	分级范围值/%	等级
蒙豆 14×711	90.00	R	$RGR \geq 80.00$	I
蒙豆 16×冀豆 17	85.00	R	$RGR \geq 80.00$	I
合 05-729×黑河 43	80.00	M	$50.00 \leq RGR < 80.00$	II
07-1358×北疆 08-280	68.42	M	$50.00 \leq RGR < 80.00$	II
1438	63.16	M	$50.00 \leq RGR < 80.00$	II
选 11(黑河 18×冀豆 17)×黑河 18	47.37	S	$RGR < 50.00$	III

3 讨论

本试验通过进行室内低温萌发鉴定,利用发芽指数、发芽率、发芽势分别对不同种质的耐冷性进行了评价。通过隶属函数法和聚类分析法对大豆品种(系)的指标进行分析和分类,综合考虑各性状间的差异,全面衡量低温对大豆种子活力的影响,减少单一性状指标的片面性,提高大豆萌发期耐冷性鉴定的可靠性。在土壤条件方面,本试验大豆种子一直处于培养皿黑暗条件下萌发,无种子外营养物质,同时也易产生发霉现象;在温度方面,本试验一直处于恒定低温 15 和 6℃,室外条件下温度不恒定,早晚温差大,对筛选种质产生较大影响;在种子萌发上,室外种植可使用抗寒剂增强种质的抗冷性^[19-20]。

根据前人对大豆萌发期耐冷性的研究,大豆萌发期耐冷性评价的低温处理介于 4~15℃之间^[8-15]。本研究通过预试验发现 6℃条件对种子萌发抑制作用严重,由于萌发率等指标较低,导致不同生物学重复间误差较大,鉴定群体偏离正态分布,不利于准确评价种质的耐冷性。基于前人研究和预试验结果,本研究以 15℃作为耐冷性鉴定的初筛标准,以降低误差的影响,提高鉴定结果准确性。同时,本研究对 15℃条件下表现出较强发芽能力的 6 份耐冷种质进行 6℃低温鉴定,并确定 6℃低温胁迫下最佳调查时间为第 14 天,这

与李育军等^[11]和盖志佳等^[12]对大豆耐冷性调查的时间相一致。

在第四和第五积温带种植或者杂交利用,还需要克服生育期的限制。本研究对适于黑龙江省第四和第五积温带种植的大豆种质进行了鉴定。筛选出的耐冷优异种质可以为遗传改良提供亲本,同时耐冷性较好的鉴定圃品系可以申请参加区域试验,对提高黑龙江地区大豆品种萌发期耐冷性具有重要意义。

4 结论

本研究以 152 份适于黑龙江地区种植的大豆种质为试验材料,通过在 15℃低温条件下对发芽势、发芽率和发芽指数等指标进行鉴定,发现不同种质间存在丰富变异,且发芽势、发芽率、发芽指数这 3 个指标之间呈显著正相关。通过隶属函数综合评价及聚类分析可将种质分 3 类,分别为耐冷种质 19 份,中等耐冷种质 51 份,低温敏感种质 82 份。通过对 15℃下表现为耐冷特性的 6 份大豆种质进行 6℃低温处理,调查其萌发期发芽数量,依据相对发芽率耐冷型分级标准将种质分为 3 类:分别为耐冷种质 2 份,中等耐冷种质 3 份,敏感种质 1 份。综合 15 和 6℃低温胁迫下的分类结果,筛选出 2 份耐冷种质为蒙豆 14×711 和蒙豆 16×冀豆 17,为改良东北主产区大豆种质萌发期耐冷性奠定材料基础。

参考文献:

[1] 赵晓晖. miR172 及其靶基因在大豆光周期调控开花中的功能研究[D]. 长春: 中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2015.

[2] 孙磊. 新时代背景下发展中国大豆科技和振兴大豆产业策略分析[J]. 大豆科技, 2020(4): 20-23, 31.

[3] 刘梅芳, 樊琦. 中国大豆消费、生产和进口现状及存在的问题[J]. 粮食科技与经济, 2021, 46(6): 28-35.

[4] 刘燕, 刘伟, 姜妍, 等. 黑龙江省“十三五”大豆生产现状及发展建议[J]. 大豆科技, 2021(3): 1-5.

[5] 闫洪睿. 浅谈黑龙江省北部高纬寒地早熟大豆种子生产基地建设[J]. 大豆科技, 1999(1): 21-21.

[6] 王倩. 气候变化背景下黑龙江省黑土区大豆气候生产潜力研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.

[7] 盖志佳. 黑龙江省大豆单产低的原因及应对措施[J]. 现代化农业, 2021(9): 7-9.

[8] 单彩云. 大豆耐低温资源筛选及蛋白质组学研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008.

[9] 顾增辉, 宋剑陶. 大豆抗冷性生理生化指标的筛选[J]. 中国农业科学, 1992(4): 15-23.

[10] 郑莉萍, 张云峰, 蒋洪蔚, 等. 大豆种质资源芽期耐低温综合评价及筛选[J]. 大豆科学, 2020, 39(6): 833-847.

[11] 李育军, 赵玉田, 常汝镇, 等. 大豆萌发期对 6 ℃ 低温的反应[J]. 大豆科学, 1990(2): 136-144.

[12] 盖志佳, 张敬涛, 刘婧琦, 等. 耐低温大豆品种(系)的筛选与研究[J]. 中国种业, 2018(6): 57-60.

[13] 张国栋, 龚文娟. 高寒地区大豆品种资源的研究——大豆品种的耐寒性及其鉴定[J]. 黑龙江农业科学, 1983(5): 14-19.

[14] 李瑞宁, 要旭阳, 赵桃弟, 等. 菜用大豆发芽期耐低温性鉴定及种质筛选[J]. 大豆科学, 2021, 40(6): 792-798.

[15] 郭数进, 李玮瑜, 马艳芸, 等. 山西不同生态型大豆品种苗期耐低温性综合评价[J]. 植物生态学报, 2014, 38(9): 990-1000.

[16] 郝晶, 张立军, 谢甫绵. 低温对大豆不同耐冷性中萌发期保护酶活性的影响[J]. 大豆科学, 2007, 26(2): 171-175.

[17] 祁旭升, 王兴荣, 许军, 等. 胡麻种质资源成株期抗旱性评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3076-3087.

[18] 季波, 时龙, 徐金鹏, 等. 10 种禾本科牧草种质资源萌发期抗旱性评价[J]. 种子, 2020, 39(7): 12-18.

[19] 周勋波, 王根林, 吴海燕, 等. 大豆应用抗寒剂抗寒效应的研究[J]. 杂粮作物, 2001(4): 34-35.

[20] 冯乃杰, 祖伟, 孙聪妹, 等. 化控种衣剂提高大豆幼苗抗寒性的机理研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4281-4286.

Comprehensive Evaluation of Cold Tolerance of Northeast Spring Soybean at Germination Stage and Excellent Germplasm Screening

XIE Lu¹, LI Jian-ping¹, HAN De-zhi², GU Yong-zhe³, PI Zhi¹

(1. College of Resources and Environment, Heilongjiang University, Harbin 150080, China; 2. Heihe Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heihe 164300, China; 3. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to screen out cold-tolerant soybean germplasm resources, 152 soybean germplasms suitable for planting in Heilongjiang Province were germinated at 15 ℃, and the related indexes of soybean germination period under low temperature stress were investigated in this study. Six soybean germplasms with cold tolerance at 15 ℃ were treated at 6 ℃ to investigate their relative germination rate. The results showed that there were abundant variations in cold tolerance of different germplasms during germination at 15 ℃. Correlation analysis showed that germination rate, germination potential and germination index were significantly positively correlated. The cold tolerance of different germplasms at germination stage was comprehensively evaluated by membership function and cluster analysis. 152 germplasms were divided into three categories, the first category was 19 cold tolerance germplasms, the second category was 51 medium cold tolerance germplasm and the third category was 82 low temperature sensitive germplasm. The 6 tested germplasms at 6 ℃ could be divided into 3 grades according to the relative germination rate classification standard, and 2 germplasms with grade I cold tolerance, Grade II medium cold tolerance germplasm 3, and one grade III sensitive germplasm. Based on the classification results at 15 and 6 ℃, two cold-tolerant germplasms were selected as Mengdou 14×711 and Mengdou 16×Jidou 17.

Keywords: soybean; germination; tolerance to cold stress; identification of germplasm resources