



菜用大豆发芽期耐低温性鉴定及种质筛选

李瑞宁, 要旭阳, 赵桃弟, 周玉丽, 何庆元, 黄守程, 舒英杰

(安徽科技学院 农学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要:大豆种子发芽易受低温条件的影响,造成出苗质量差,进而影响大豆的产量和质量。为比较不同菜用大豆品种在低温胁迫下的耐性,以 18 份菜用大豆品种为试验材料,在大豆种子萌发期进行 15 ℃ 恒定低温处理,测定其表型指标和抗氧化指标,采用隶属函数法综合评价发芽期不同品种菜用大豆的耐低温特性。结果表明:在 15 ℃ 的低温胁迫下,18 份菜用大豆品种的耐低温性差异较大,其中辽鲜、沈鲜 15 号、优系三和春棚特早发芽势和发芽率均大于 95%,具有较高的抗氧化酶活性,且丙二醛含量较低,较高的抗氧化酶活性有助于保护自身免受活性氧的损害,缓解自身的逆境损伤,具有较强的耐低温性;首农 8 号、沈鲜 3 号、春丰早早熟 60、新福特早、新鲜 1 号和龙泉神剑的发芽势和发芽指数相对较低,表明在低温环境下其种子发芽慢或者不发芽,萌发受抑制,具有较弱的耐低温性;其他菜用大豆品种的耐低温性均为中等。

关键词:菜用大豆;发芽期;低温胁迫;隶属函数值;种质筛选

Identification of Low Temperature Tolerance and Germplasm Screening in Germinating Stage of Vegetable Soybean

LI Rui-ning, YAO Xu-yang, ZHAO Tao-di, ZHOU Yu-li, HE Qing-yuan, HUANG Shou-cheng, SHU Ying-jie

(Anhui Science and Technology University, College of Agriculture, Fengyang 233100, China)

Abstract: Soybean seed germination period is easily affected by low temperature conditions, resulting in poor quality of seedling emergence, and then affect the yield and quality of soybean. To compare the resistance of different vegetable soybean varieties under low temperature stress, this study selected 18 vegetable soybean varieties as materials, and carried out 15 ℃ constant low temperature treatment in the germination stage. We measured the phenotypic indexes and antioxidant enzyme activities under different low temperature stress, and then comprehensive evaluated the low temperature tolerance of vegetable soybean of the varieties in the germination stage with membership function method. The results showed that the low temperature tolerance of 18 vegetable soybean varieties was significantly different under the low temperature stress of 15 ℃. The germination energy and germination rate of Liaoxian, Shenxian 15, Youxisan and Chunpengtezaao were greater than 95%, with high antioxidant enzyme activity and low MDA content. Higher antioxidant enzyme activity could help protect them from the damage of reactive oxygen species and alleviate the damage of its own stress, so they had a strong low temperature tolerance. The germination energy and germination rate of Shounong 8, Shenxian 3, Chunfengzaaozaoshu 60, Xinfutezaao, Xinxian 1 and Longquanshenjian were relatively low, indicating that its seeds germinated slowly or did not germinate under low temperature environment, the germination was inhibited, and they had weak low temperature tolerance. The low temperature tolerance of other vegetable soybean varieties were moderate.

Keywords: Vegetable soybean; Germination period; Low temperature stress; Membership function value; Germplasm screening

大豆是世界上重要的油料作物和人类最主要的植物蛋白质来源,在粮油供给和农业生产中占重要地位。菜用大豆俗称毛豆,是鲜食嫩荚的蔬菜大豆,属于大豆专用型资源^[1]。我国菜用大豆的产量普遍不高,水分、光照、温度等因素均影响菜用大豆的生长发育,进而影响其产量与品质^[2]。鉴定时期和鉴定指标的确定是评价植物抗性的基础和筛选优良种质资源的关键。研究表明,大豆种子发芽期抗性与植株生长后期的抗性高度一致^[3]。在发芽期对菜用大豆的抗性进行鉴定,即可确定菜用大豆全生育期抗性,且具有鉴定周期短,鉴定方法简便、

快捷的优势。菜用大豆是喜温作物,其最适生长温度为 20 ~ 30 ℃^[4]。研究表明,温度是影响植物种子萌发的主要环境因素,国内外很多学者针对低温胁迫对植物种子萌发的影响做了大量研究^[5-8]。低温会影响种子活力的高低,种子在萌发过程中受到低温的刺激,引起种子内部物质发生改变,导致种子活力降低,从而可能出现种子发芽缓慢、数量少以及质量差等问题。因此发芽势、发芽率、发芽指数等指标是鉴定种子耐低温性的重要指标,可以作为筛选耐低温种质的参考依据。而菜用大豆春季播种时,中国南方部分地区常常会出现阴雨天气,

收稿日期:2021-07-05

基金项目:安徽科技学院学术和技术带头人后备人选;安徽省自然科学基金(2008085MC72);安徽科技学院重点项目(2021zzzd13)。

第一作者:李瑞宁(1990—),女,博士,助教,主要从事植物光生物学研究。E-mail:linr@ahstu.edu.cn。

通讯作者:舒英杰(1977—),男,博士,教授,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:shuyj@ahstu.edu.cn。

低温和弱光照的不良气候条件降低了常规菜用大豆种子的萌发率,从而出现出苗缓慢或不出苗现象,进而制约了我国菜用大豆产业的发展^[9]。

逆境胁迫条件下,植物可通过维持较高的抗氧化酶活性从而增强活性氧清除能力,减轻活性氧伤害,因此抗氧化酶活性已成为作物抗逆境胁迫的重要生理指标。大量研究表明,植物的抗寒能力和抗氧化酶的活性密切相关,SOD、POD、CAT 等还原性酶可以减少植物细胞内活性氧的积累,减缓膜的氧化,从而减少低温环境对植物的损伤^[10-13]。有研究者对其他豆科植物种子在低温环境下萌发的研究发现,种子的发芽指标和抗氧化指标等都随着温度变化而变化^[14-17],而针对菜用大豆种子发芽期的耐低温性的鉴定研究较少^[18-19]。因此,鉴定不同菜用大豆品种的耐低温性,筛选耐低温型大豆种质资源,对于指导菜用大豆种植时期、扩大种植面积以及提高菜用大豆的产量和品质具有重要意义。

课题组之前的预试验结果表明,菜用大豆在春季 10 cm 土温低于 15 ℃ 时不能正常发芽。本研究通过人工模拟菜用大豆发芽期的低温胁迫,以江淮地区广泛种植的菜用大豆品种春丰早早熟 60、95-1、超级毛豆王、春棚特早、京鲜 3 号等 18 个品种为材料,测定恒定低温 15 ℃ 处理下的菜用大豆萌发期表型和抗氧化酶活性指标,并进行综合分析,以期为菜用大豆种植初期耐低温品种选择和选育提供參考和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菜用大豆品种为春丰早早熟 60、95-1、超级毛豆王、春棚特早、京鲜 3 号、理想 M-7、辽鲜、龙泉神剑、美极早生、沈鲜 11 号、沈鲜 15 号、沈鲜 3 号、首农 8 号、皖豆 15、新福特早、新鲜 1 号、优系三和早熟大荚,均由安徽科技学院种植园提供。

1.2 试验设计

每个菜用大豆品种挑选 150 粒大小适中、饱满、没有破损的种子置于发芽盒内备用。首先将菜用大豆种子分别放在 0.1% 高锰酸钾溶液中浸泡 5 min 进行消毒处理,倒出高锰酸钾溶液,用蒸馏水将种子冲洗 3~4 次直至颜色变清。之后用镊子将冲洗过的种子置于平铺有 3 层滤纸的发芽盒里,用适量蒸馏水湿润滤纸,每个发芽盒 50 粒种子,每个品种 3 次重复。置于人工气候培养箱中催芽,设定光照时间为 12 h/12 h (光照/黑暗),恒温恒湿(温度为 15 ℃、湿度为 70%)。催芽期间用蒸馏水保持发芽

床的湿润,模拟菜用大豆种子处于低温胁迫下。发芽标准为胚根突破种皮 1 mm,胚芽为种子长度的 1/2。从种子在培养箱培养时开始逐日统计种子的发芽数,至第 8 天结束。在第 5 天和第 8 天,将不同品种长势情况进行对比。测定每个品种种子叶苗的脱氢酶、过氧化物酶、过氧化氢等酶等的活性及丙二醛含量。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 种子活力相关指标的测定 根据菜用大豆发芽期间统计的种子发芽情况及相关公式^[20]计算发芽势(GE)、发芽率(GR)、发芽指数(GI)、活力指数(VI)。GE(%) = 1~5 d 发芽数 × 100 / 供试种子数。GR(%) = 第 8 天发芽总数 × 100 / 供试种子数。GI = Σ (DG/DT), DG 为逐日发芽数,DT 为相应 DG 的发芽天数。VI = GR × S, S 为幼苗重量或长度,单位为 g 或 cm。

1.3.2 酶活性及 MDA 含量的测定 参考《种子学实验技术》中的 TTC 定量法^[21],用氯化三苯基四氮唑(TTC)浓度表示脱氢酶(DH)活性。过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、脂肪酶(LPS)酶活及丙二醛(MDA)含量的测定均使用南京建成生物工程研究所的测试盒进行。

1.3.3 耐低温性综合评价 通过隶属函数法综合评定不同菜用大豆种子的耐低温性,将测定的菜用大豆品种发芽期的相关指标和所测的酶活性的数值转换为隶属函数值,转换方法为: $\mu(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$, $j = 1, 2, 3, \dots, n$, 其中, $\mu(X_j)$ 表示各品种 j 指标的隶属函数值, X_j 表示各品种 j 指标的指标值, X_{\min} 表示各品种 j 指标的最小值, X_{\max} 表示各品种 j 指标的最大值。然后对每个品种各性状隶属函数值求和,同样的温度处理,隶属函数值总和越大,说明该品种的耐低温性越强^[20]。

1.4 数据分析

用 Excel 2010 软件对数据进行处理和绘图,用 DPS 7.05 软件的 Duncan 新复极差法对数据进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫对菜用大豆发芽相关指标的影响

由表 1 可知,18 个菜用大豆品种在低温处理下发芽势为 31.11%~99.33%,发芽势为 90% 以上的品种有 9 个,其中春棚特早最高,为 99.33%,首农 8 号和沈鲜 3 号的发芽势显著低于其他品种。有 50% 的品种发芽率超过 95%,有 13 个品种的发芽率高于 90%,其中春棚特早最高,为 100%,而新鲜

1号最低,为72.00%,显著低于其他品种。种子的发芽指数与发芽势基本上呈正相关,春棚特早的发芽指数最高,而沈鲜3号的发芽指数最低。从活力指数看,不同品种之间差异显著,春棚特早显著高于其他品种,其次是早熟大荚和95-1。综合以上指

标分析可知,春棚特早发芽率、发芽指数和活力指数高,发芽势强,在低温条件下依然保持较高的活力,表现为强的耐低温性。发芽势强,发芽率、发芽指数和活力指数高,表明种子出苗快而整齐,苗壮;若发芽率高、发芽势弱,表明种子出苗不齐、弱苗多。

表1 低温胁迫对不同菜用大豆品种发芽期发芽指标的影响

Table 1 The effects of low temperature stress on the germination indexes at germination period of different vegetable soybean varieties

品种 Variety	发芽势 GE/%	发芽率 GR/%	发芽指数 GI	活力指数 VI
春棚特早 Chunpengtezao	99.33 a	100.00 a	64.36 a	78.40 a
辽鲜 Liaoxian	98.67 ab	98.67 ab	50.75 bc	56.44 de
优系三 Youxisan	98.67 ab	98.67 ab	47.66 cd	49.39 ef
沈鲜3号 Shenxian 3	34.00 h	84.67 d	15.37 h	11.03 m
沈鲜11号 Shenxian 11	73.33 e	97.33 ab	29.93 f	27.38 jk
沈鲜15号 Shenxian 15	98.00 abc	98.00 abc	52.41 bc	52.87 def
95-1	96.67 abc	98.00 ab	55.81 b	64.33 bc
京鲜3号 Jingxian 3	95.33 abc	96.00 ab	47.44 cd	54.35 de
理想 M-7 Lixiang M-7	93.33 abc	94.00 ab	43.38 de	39.42 hi
早熟大荚 Zaoshudajia	92.67 bc	96.00 ab	53.46 bc	70.05 b
美极早生 Meijizaosheng	92.00 c	95.33 ab	41.54 de	59.04 cd
皖豆15 Wandou 15	85.33 d	86.67 cd	42.94 de	33.65 ij
龙泉神剑 Longquanshenjian	74.00 e	78.67 e	39.29 e	41.03 gh
新鲜1号 Xinxian 1	74.00 e	72.00 f	37.42 e	39.28 hi
超级毛豆王 Chaojimaodouwang	68.00 e	94.00 ab	41.26 de	46.67 fg
新福特早 Xinfutezao	60.00 f	78.67 e	30.76 f	33.14 ijk
春丰早早熟 60 Chunfengzaozaoshu 60	50.67 g	94.00 ab	22.03 g	18.69 l
首农8号 Shounong 8	31.33 h	92.00 bc	23.27 g	26.38 k

同列不同小写字母代表在 $P\leq0.05$ 水平差异显著。下同。

Different lowercase in the same column represent significant differences at the $P\leq0.05$ level. The same below.

2.2 低温胁迫对菜用大豆发芽期抗氧化指标的影响

从表2可知,不同菜用大豆品种的种子在萌发过程中的抗氧化相关酶活性和MDA含量差异较大。春丰早早熟60、辽鲜具有较高的的CAT活性,大部分种子CAT活性为2~9 U·mg⁻¹,而春棚特早、沈鲜15号、京鲜3号、首农8号表现出较低的CAT活性,显著低于其他品种。超级毛豆王具有较高的POD活性,春棚特早京鲜3号 and 新鲜1号POD

活性均显著低于其他品种。优系三、沈鲜15号、超级毛豆王、新福特早的TTC浓度显著较高,表明其脱氢酶的活性较高,而早熟大荚、95-1、春棚特早的脱氢酶的活性较低。沈鲜11号和京鲜3号的脂肪酶活力较高,95-1、皖豆15、沈鲜3号的脂肪酶活力较低,其他品种脂肪酶活力为20~45 U·mg⁻¹。不同品种之间丙二醛含量差异显著,沈鲜11号和皖豆15的丙二醛含量较高,辽鲜、优系三、龙泉神剑、沈鲜15号、新鲜1号、早熟大荚的丙二醛含量较低。

表 2 低温胁迫对不同菜用大豆品种发芽期生理指标的影响

Table 2 The effects of low temperature stress on physiological indexes during germination of different vegetable soybean varieties

品种 Variety	CAT 活性 CAT activity /(U·mg ⁻¹)	POD 活性 POD activity /(U·mg ⁻¹)	TTC 浓度 TTC concentration /(μg·L ⁻¹)	LPS 活性 LPS activity /(U·mg ⁻¹)	MDA 含量 MDA content /(nmol·mL ⁻¹)
春棚特早 Chunpengtezao	0.33 i	18.21 i	18.91 gh	31.62 cdefgh	0.12 de
辽鲜 Liaoxian	13.35 a	39.57 de	30.52 cd	25.47 efgh	0.04 e
优系三 Youxisan	3.92 e	42.35 cde	53.79 a	23.72 fgh	0.05 e
沈鲜 3 号 Shenxian 3	8.63 c	48.49 abc	28.74 cde	20.20 gh	0.11 de
沈鲜 11 号 Shenxian 11	2.40 efg	29.48 gh	20.14 fgh	52.70 a	0.81 a
沈鲜 15 号 Shenxian 15	0.47 hi	32.16 fgh	53.03 a	37.77 bcde	0.06 de
95-1 95-1	1.20 ghi	37.65 ef	14.85 hi	18.44 h	0.20 cd
京鲜 3 号 Jingxian 3	0.61 hi	15.09 i	26.83 defg	49.19 ab	0.10 de
理想 M-7 Lixiang M-7	11.53 b	32.19 fgh	38.86 b	24.59 efgh	0.13 de
早熟大荚 Zaoshudajia	3.89 e	37.47 ef	10.44 i	36.01 cdef	0.05 e
美极早生 Meijizaosheng	6.01 d	49.51 ab	27.89 cdef	27.23 efgh	0.33 bc
皖豆 15 Wandou 15	2.02 fgh	46.05 bed	24.64 defg	21.95 gh	0.76 a
龙泉神剑 Longquanshenjian	6.74 d	31.39 fgh	22.02 efgh	40.40 abcd	0.05 e
新鲜 1 号 Xinxian 1	3.17 ef	19.14 i	35.35 bc	43.04 abc	0.05 e
超级毛豆王 Chaojimaodouwang	9.03 c	54.10 a	58.13 a	33.38 cdefg	0.13 de
新福特早 Xinfutezao	2.96 ef	26.58 h	52.67 a	29.86 defgh	0.12 de
春丰早早熟 60 Chunfengzaozaoshu 60	14.56 a	30.25 fgh	20.84 efgh	33.38 cdefg	0.12 de
首农 8 号 Shounong 8	0.61 hi	35.71 efg	22.58 defgh	43.92 abc	0.35 b

2.3 菜用大豆发芽期耐低温性的综合评价

研究采用隶属函数法,对菜用大豆种子的耐低温性进行综合评价。由表 3 可知,辽鲜、沈鲜 15 号和优系三隶属函数值均在 5.0 以上,且发芽指标和抗氧化指标也较高,MDA 含量较低,低温条件下依然保持较高的活力,表现为较强的耐低温性。其中,春棚特早发芽指标高于其他品种,而隶属函数综合值为 4.64,排在第 8 位,这与抗氧化指标较低有关,可能是由于在低温胁迫条件下,春棚特早能

够很好适应低温环境,无需提高自身抗氧化酶系统活性来应对低温胁迫,从而出现发芽指标较高,而抗氧化指标较低的现象。综合分析表 1、表 2 和表 3 数据可得出,耐低温性较强的菜用大豆品种有辽鲜、沈鲜 15 号、优系三和春棚特早,耐低温性较弱的菜用大豆品种有首农 8 号、沈鲜 3 号、春丰早早熟 60、新福特早、新鲜 1 号和龙泉神剑,其他菜用大豆品种的耐低温性均为中等。

表 3 低温胁迫下不同菜用大豆品种各指标隶属函数值综合评价

Table 3 The membership function value comprehensive evaluation of various indexes of different vegetable soybean varieties under low temperature stress										
品种 Variety	发芽势 GE	发芽率 GR	发芽指数 GI	活力指数 VI	脂肪酶 LPS	脱氢酶 DH	过氧化物酶 POD	过氧化氢酶 CAT	综合值 SV	排名 Ranking
辽鲜 Liaoxian	0.99	0.95	0.72	0.67	0.21	0.42	0.63	0.91	5.51	1
超级毛豆王 Chaojimaodouwang	0.54	0.79	0.53	0.53	0.44	1.00	1.00	0.61	5.43	2
沈鲜 15 号 Shenxian 15	0.98	0.93	0.76	0.62	0.56	0.89	0.44	0.01	5.19	3
优系三 Youxisan	0.99	0.95	0.66	0.57	0.15	0.91	0.70	0.25	5.19	4
美极早生 Meijizaosheng	0.89	0.83	0.53	0.71	0.26	0.37	0.88	0.40	4.88	5
早熟大荚 Zaoshudajia	0.90	0.86	0.78	0.88	0.51	0.00	0.57	0.25	4.75	6
理想 M-7 Lixiang M-7	0.91	0.79	0.57	0.42	0.18	0.60	0.44	0.79	4.69	7
春棚特早 Chunpengtezao	1.00	1.00	1.00	1.00	0.38	0.18	0.08	0.00	4.64	8
京鲜 3 号 Jingxian 3	0.94	0.86	0.65	0.64	0.90	0.34	0.00	0.02	4.36	9
95-1 95-1	0.96	0.93	0.83	0.79	0.00	0.09	0.58	0.06	4.24	10
沈鲜 11 号 Shenxian 11	0.62	0.90	0.30	0.24	1.00	0.20	0.37	0.15	3.78	11
龙泉神剑 Longquanshenjian	0.63	0.24	0.49	0.45	0.64	0.24	0.42	0.45	3.55	12
皖豆 15 Wandou 15	0.79	0.52	0.56	0.34	0.10	0.30	0.79	0.12	3.53	13
春风早早熟 60 Chunfengzaozao 60	0.28	0.79	0.14	0.11	0.44	0.22	0.39	1.00	3.36	14
新鲜 1 号 Xinxian 1	0.63	0.00	0.45	0.42	0.72	0.52	0.10	0.20	3.04	15
新福特早 Xinfutezao	0.42	0.24	0.31	0.33	0.33	0.89	0.29	0.18	3.00	16
首农 8 号 Shounong 8	0.00	0.71	0.16	0.23	0.74	0.25	0.53	0.02	2.65	17
沈鲜 3 号 Shenxian 3	0.04	0.45	0.00	0.00	0.05	0.38	0.86	0.58	2.37	18

3 讨 论

发芽势、发芽率和发芽指数等作为衡量种子发芽情况的重要指标,分别反映了种子的发芽速度、发芽能力以及出苗的整齐度。种子的正常萌发需要适宜的温度,低温会影响种子活力的高低,种子在萌发过程中受到低温的刺激,引起种子内部发生改变,导致种子活力降低,从而可能出现种子发芽缓慢、数量少以及质量差等问题。因此发芽势、发

芽率、发芽指数等指标是鉴定种子耐低温性的重要指标,可以作为筛选植物品种耐低温性的参考依据^[7]。种子的萌发过程需要经过吸水吸涨、代谢过程活化、胚的生长 3 个阶段^[22]。在低温环境下,植物体内酶活性降低,新陈代谢减慢,生长发育受到影响。张丽等^[23]认为低温胁迫条件下细胞膜结构和功能受损,细胞代谢紊乱,种子失水活力降低而抑制萌发能力,这与崔婷茹等^[24]在低温胁迫下植物种子吸水困难,种子发芽率降低,出苗时间延长的

研究结果相一致。而不同大豆品种对低温条件有不同程度的响应^[18],本研究选取 18 份菜用大豆品种,在低温条件下进行发芽试验,不同菜用大豆品种的发芽势和发芽率等种子活力相关指标差异较大,春棚特早、辽鲜、优系三、沈鲜 15 号、95-1、京鲜 3 号、理想 M-7、早熟大荚、美极早生 9 个品种的发芽势和发芽率均大于 80%,表明其在低温环境下具有较快的发芽速度、较强的发芽能力以及较好的出苗整齐度,生长指标反映出春棚特早、辽鲜、优系三、沈鲜 15 号、95-1、京鲜 3 号、理想 M-7、早熟大荚、美极早生 9 个品种具有较强的耐低温性。春丰早早熟 60、首农 8 号、新福特早、新鲜 1 号和沈鲜 3 号等发芽势和发芽指数相对较低,表明在低温环境下其种子发芽慢或者不发芽,萌发受抑制,具有较低的耐低温性。

持续的低温环境胁迫下,植物生理活性降低,细胞内的活性氧含量增加^[25],造成细胞膜受损破裂,甚至会导致植物组织萎蔫死亡^[26]。长期的自然环境选择下,植物体进化出了一套抵御低温环境的防御机制,通过产生一系列的抗氧化酶,清除机体内多余的活性氧自由基,因此植物体中抗氧化酶活性越高说明其对低温环境造成的氧化损伤越低,因此抗氧化酶活性已成为作物抗逆境胁迫的重要生理指标^[27]。低温胁迫条件下,菜用大豆抗氧化酶活性有助于保护自身免受活性氧的损害,缓解菜用大豆的逆境损伤。本研究结果表明在低温环境下,超级毛豆王、优系三具有较高的过氧化物酶和脱氢酶活性,辽鲜具有较高的过氧化氢酶和过氧化物酶活性,同时丙二醛含量相对较低,表明膜脂氧化程度低,对低温环境具有较高的抗性。综合来看,低温胁迫条件下,18 份菜用大豆品种中,优系三、辽鲜、沈鲜 15 号、超级毛豆王具有较高的发芽指标和抗氧化酶活性,且丙二醛含量较低,较高的抗氧化酶活性有助于保护自身免受活性氧的损害,缓解逆境损伤,从而具有较强的耐低温性。

根据隶属函数综合值大小排序从大到小为:辽鲜、超级毛豆王、沈鲜 15 号、优系三、美极早生、早熟大荚、理想 M-7、春棚特早、京鲜 4 号、95-1、沈鲜 11 号、龙泉神剑、皖豆 15、春风早早熟 60、新鲜 1 号、新福特早、首农 8 号、沈鲜 3 号。依据隶属函数值综合排名,辽鲜、沈鲜 15 号和优系三隶属函数值均为 5.0 以上,且发芽指标和抗氧化指标也较高,MDA 含量较低,产生以上试验结果的原因可能是在低温环境胁迫下,种苗体内进化出了一套抵御低温环境的防御机制,通过产生一系列的抗氧化酶,清除机体内多余的活性氧自由基,进而提高发芽势、发芽率与发芽指数等,从而使自身具有较强的耐低温

性。其中,春棚特早发芽指标高于其他品种,而隶属函数综合值为 4.64,排在第 8 位,这是由于抗氧化指标较低造成的,这可能是由于在低温胁迫条件下,春棚特早能够很好适应低温环境,无需提高自身抗氧化酶系统活性来应对低温胁迫,从而出现发芽指标较高,而抗氧化指标较低这一试验结果。基于表型和抗氧化酶活性指标,筛选出的辽鲜、沈鲜 15 号、优系三和春棚特早 4 份菜用大豆品种耐低温性强,能够适应较低的大田温度,在后续生产中可适当早播,以提高菜用大豆经济效益,而首农 8 号、沈鲜 3 号、春丰早早熟 60、新福特早、新鲜 1 号和龙泉神剑 6 份菜用大豆品种耐低温性较弱,在后续生产中可适当晚播或在温室中种植,以抵抗阴雨天气和低温不良环境,从而提高其产量和质量。

4 结 论

本研究模拟菜用大豆发芽期的低温胁迫,通过分析相关表型指标和抗氧化指标综合比较 18 份菜用大豆品种发芽期耐低温性。在 15 ℃ 低温胁迫条件下,18 份菜用大豆品种的耐低温性差异较大,耐低温性较强的菜用大豆品种有辽鲜、沈鲜 15 号、优系三和春棚特早,耐低温性较弱的菜用大豆品种有首农 8 号、沈鲜 3 号、春丰早早熟 60、新福特早、新鲜 1 号和龙泉神剑,其他 8 份菜用大豆品种的耐低温性均为中等,本研究结果为菜用大豆种植初期耐低温品种选择和选育提供参考和数据支撑,能够促进耐低温型大豆种质创新及优良亲本筛选。

参考文献

[1] 马丽萍,张彩英,张丽娟,等. 菜用大豆的研究进展[J]. 河北农业科学,2001,5(3):53-57. (Ma L P, Zhang C Y, Zhang L J, et al. Study of progress on vegetable soybean[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences,2001,5(3):53-57.)

[2] 吴早贵. 菜用春大豆高产栽培及生态型研究[D]. 杭州:浙江大学,2004:4-8. (Wu Z G. Study on production, plant physiology and ecotype of spring vegetable soybean[D]. Hangzhou: Zhejiang University,2004:4-8.)

[3] 李照君,田汝美,宫永超,等. 基于表型和抗氧化酶活性的大豆萌芽期耐盐性鉴定[J]. 大豆科学,2020,177(1):82-89. (Li Z J, Tian R M, Gong Y C, et al. Identification of salt tolerance of soybean in germination stage based on phenotype and antioxidant enzyme activity[J]. Soybean Science,2020,177(1):82-89.)

[4] 伍祥来,徐志福,李笑,等. 菜用大豆高效栽培技术的探讨[J]. 浙江农业科学,2006(6):621-623. (Wu X L, Xu Z F, Li X, et al. Discussion on efficient cultivation technology of vegetable soybean[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences,2006(6):621-623.)

[5] 李先民,卜朝阳,卢家仕,等. 4 种处理对杜鹃红山茶种子萌发的影响[J]. 西部林业科学,2020,49(2):75-81. (Li X M, Pu C Y, Lu J S, et al. Effect of 4 factors on seed germination of *Camellia azalea*[J].

Journal of West China Forestry Science,2020,49(2):75-81.)

[6] 赵云霞,裴红霞,高晶霞,等. 27种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. (Zhao Y X,Pei H X,Gao J X,et al. Evaluation of low temperature resistance of 27 tomato germplasm resources during seed germination[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2019,47(23):45-48.)

[7] 李波,高云鹏,徐艳霞. 91份玉米自交系种子耐低温等级的评价[J]. 种子,2016,35(12):74-77. (Li B,Gao Y P,Xu Y X. Evaluation of low temperature tolerance of 91 maize inbred lines seed[J]. Seed,2016,35(12):74-77.)

[8] 赵宏光,胡婉莹,郑宇婕,等. 不同储存温度和方式对丹参种子萌发的影响[J]. 种子,2020,39(11):14-18. (Zhao H G,Hu W Y,Zheng Y J,et al. Effects of different storage temperature and methods on seed germination of *Salvia miltiorrhiza* [J]. Seed, 2020,39(11):14-18.)

[9] 盖志佳,张敬涛,刘婧琦,等. 低温胁迫对大豆幼苗形态生理指标及籽粒产量的影响[J]. 农学学报,2019,9(12):6-9. (Gai Z J,Zhang J T,Liu J Q,et al. Cold stress affects morphological and physiological indexes of soybean seedling and seed yield [J]. Journal of Agriculture,2019,9(12):6-9.)

[10] 张影,张跃华,缪天琳,等. 低温处理对缬草种子萌发与生理活性的影响[J]. 中国林副特产,2019(4):14-16. (Zhang Y,Zhang Y H,Miao T L,et al. Effect of low temperature treatment on the germination and activity of *Valeriana officinalis* seeds [J]. Forest By-Product and Speciality in China,2019(4):14-16.)

[11] 夏军,时晓娟,郝先哲,等. 低温对不同基因型棉种萌发过程中酶活性及激素含量的影响[J]. 植物生理学报,2019,55(9):1291-1305. (Xia J,Shi X J,Hao X Z,et al. Effects of low temperature on enzyme activity and hormone content in germination of different genotypes of cotton seeds [J]. Plant Physiology Communications,2019,55(9):1291-1305.)

[12] 吕天放,徐田军,刘月娥,等. 低温斜坡对不同基因型玉米种子萌发特性的影响[J]. 玉米科学,2018,26(6):45-49. (Lyu T F,Xu T J,Liu Y E,et al. Effects of low temperature stress on seed germination of different maize [J]. Journal of Maize Sciences, 2018,26(6):45-49.)

[13] 高茜,徐洪雨,李振松,等. 低温斜坡对紫花苜蓿种子萌发的影响[J]. 草原与草坪,2020,40(4):34-39. (Gao Q,Xu H Y,Li Z S,et al. Effects of chilling stress on seed germination of alfalfa[J]. Grassland and Turf,2020,40(4):34-39.)

[14] 万茜,刘伟,陈昌友. 温度胁迫对豇豆种子萌发生理指标的影响[J]. 种子,2007,26(10):32-35. (Wan Q,Liu W,Chen C Y. The Effect of temperature stress on seed germination physiological indices in asparagus bean (*Vigna unguiculata* L. ssp. *Sesquipedalis* Verde.)[J]. Seed,2007,26(10):32-35.)

[15] 贾祥,陈盼盼,王艳琳,等. 4中豆科种子萌发期对低温胁迫的响应[J]. 高原农业,2020,4(2):137-142. (Jia X,Chen P P,Wang Y L,et al. Response of four legume species to cold stress during seed germination [J]. Journal of Plateau Agriculture,2020, 4(2):137-142.)

[16] 肖燕子,黄学文,乌仁其其格,等. 不同温度处理对呼伦贝尔天然草地3种野生豆科牧草种子萌发的影响[J]. 畜牧与饲料科学,2020,41(4):40-44. (Xiao Y Z,Huang X W,Wu R Q Q G, et al. Effects of different temperature treatments on seed germination of three species of wild leguminous forages in Hulun Buir natural grassland[J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2020,41(4):40-44.)

[17] 徐来仙,艾训儒,张应团,等. 温度及基质对羽扇豆种子发芽的影响[J]. 湖北农业科学 2020,59(17):75-79. (Xu L X,Ai X R,Zhang Y T,et al. Effect of temperature and matrix on seed germination of *Lupinus micranthus* [J]. Hubei Agricultural Sciences,2020,59(17):75-79.)

[18] 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. (Zheng L P,Zhang Y F,Jiang H W,et al. Comprehensively evaluation and screening on low temperature tolerance of soybean germplasm resources at bud stage [J]. Soybean Science, 2020, 39(6): 833-847.)

[19] 田鑫,何小玲,顾卫红,等. 5份春大豆苗期耐低温性的鉴定及评价[J]. 大豆科学,2013,32(6):755-762. (Tian X,He X L,Gu W H,et al. Identification and evaluation of seedling cold tolerance of five spring soybean germplasms[J]. Soybean Science, 2013,32(6):755-762.)

[20] 周玉丽,朱平,胡能兵,等. 不同大豆品种发芽期耐旱性评价及耐旱种质筛选[J]. 大豆科学,2015,34(4):616-623. (Zhou Y L,Zhu P,Hu N B,et al. Evaluation of drought resistance of different soybean at seed germination stage and the screening of germplasm[J]. Soybean Science,2015,34(4):616-623.)

[21] 尹燕桦. 种子学实验技术[M]. 北京:中国农业出版社,2008:69-70. (Yin Y P. Experimental techniques of seed science [M]. Beijing: Agricultural Press,2008:69-70.)

[22] 朱莹,孟昕,盖枫. 不同温度处理对7种丁香属植物种子萌发特性的影响[J]. 种子,2020,39(12):32-37. (Zhu Y,Meng X,Ge F,et al. Effects of different temperature treatments on seed germination characteristics of 7 species of *Springa* Linn. [J]. Seed,2020,39(12):32-37.)

[23] 张丽,贾志国. 低温对不同萌发状态裸燕麦种子生长生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(6):161-164. (Zhang L,Jia Z G. Effects of low temperature on growth physiological characteristics of naked oat seeds under different germination states[J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2016,44(6):161-164.)

[24] 崔婷茹,范志强,郭晋杰. 低温胁迫对玉米种子萌发和幼苗活力的影响[J]. 山西农业科学,2019,47(10):1695-1699. (Cui T R,Fan Z Q,Guo J J,et al. Effect of low temperature stress on seed germination and seedling vigor of maize [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences,2019,47(10):1695-1699.)

[25] 乌凤章,王柏臣,刘桂丰,等. 低温胁迫对白桦幼苗生长和生理的影响[J]. 东北林业大学学报,2008,36(9):8-10. (Wu F Z,Wang B C,Liu G F,et al. Growth and physiological responses of *Betula platyphylla* seedlings to low temperature stress[J]. Journal of Northeast Forestry University,2008,36(9):8-10.)

[26] 杨航宇,刘长仲. 低温胁迫对4种卫矛属植物抗寒生理指标的影响[J]. 草原与草坪,2020,40(2):94-100. (Yang Y H,Liu C Z. Effects of low temperature stress on physiological indexes of cold resistance of four species in the genus *Euonymus* [J]. Grassland and Turf,2020,40(2):94-100.)

[27] 姜述君,常纁,范文艳,等. 温度逆境锻炼对低温胁迫下番茄幼苗细胞膜脂质过氧化产物及抗氧化酶活性的影响[J]. 中国农学通报,2007,23(10):444-448. (Jiang S J,Chang Y,Fan W Y,et al. Effects of temperature stress acclimation on peroxidation product of membrane in lipids and anti-oxidative enzyme activities of tomato seedling under cold stress [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2007,23(10):444-448.)