

# 中欧大豆种质资源耐冷性综合评价

韩德志<sup>1</sup>, 孙如建<sup>2</sup>, 徐江源<sup>3</sup>, 闫晓飞<sup>1</sup>, 贾鸿昌<sup>1</sup>, 柴 桑<sup>2</sup>, 刘章雄<sup>3</sup>,  
鲁玉清<sup>3</sup>, 孙宾成<sup>2</sup>, 鹿文成<sup>1</sup>, 邱丽娟<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 黑龙江省农业科学院黑河分院 / 农业农村部国家农业科学土壤质量爱辉观测实验站, 黑河 164300; <sup>2</sup> 呼伦贝尔市农牧科学研究所, 内蒙古呼伦贝尔 021000; <sup>3</sup> 中国农业科学院作物科学研究所 / 国家农作物基因资源与遗传改良重大科学工程重点实验室, 北京 100081)

**摘要:** 为筛选适合黑龙江北部耐冷性国内外优异大豆种质资源, 拓宽大豆品种遗传基础, 解决低温冷害对大豆出苗的不利影响, 本研究利用 158 份中欧大豆种质, 采用人工低温胁迫处理与田间早播低温胁迫验证试验, 通过不同时期出苗率、最终出苗率、相对出苗率及出苗指数进行综合分析, 综合评价参试种质的耐冷性。结果如下: 初步确定人工耐冷以相对出苗率为评价指标, 经过田间验证其鉴定效率高达 60%。人工耐冷鉴定将参试种质分成 4 类: 第 I 类 (高耐冷型) 包含 10 份, 75% < 相对出苗率 ≤ 100%; 第 II 类 (较耐冷型) 包含 22 份, 45% < 相对出苗率 ≤ 75%; 第 III 类 (较敏感型) 包含 33 份, 20% < 相对出苗率 ≤ 45%; 第 IV 类 (高敏感型) 包含 93 份, 0 ≤ 相对出苗率 ≤ 20%。人工耐冷鉴定最终出苗率与相对出苗率呈显著线性正相关, 田间验证试验黑河试验点相对出苗率与出苗指数呈显著正相关。综合评价表明, 该批次资源欧方种质耐冷性显著优于中方; 综合筛选耐冷种质 6 份, 其中, 欧方 5 份: A28 (ES Senator)、A54 (Tajfun)、A65 (AUGUSTA)、A75 (GL Hermine)、A76 (Josefine), 中方 1 份: C63 (黑河 5 号)。鉴定出的耐冷大豆种质资源, 为早熟区培育耐冷大豆品种及挖掘耐冷相关基因提供材料基础。

**关键词:** 中欧大豆; 耐冷性; 鉴定

## Comprehensive Evaluation of Soybean Germplasm Resources Collected from China and Europe under Cold Conditions

HAN De-zhi<sup>1</sup>, SUN Ru-jian<sup>2</sup>, XU Jiang-yuan<sup>3</sup>, YAN Xiao-fei<sup>1</sup>, JIA Hong-chang<sup>1</sup>, CHAI Shen<sup>2</sup>,  
LIU Zhang-xiong<sup>3</sup>, LU Yu-qing<sup>3</sup>, SUN Bin-cheng<sup>2</sup>, LU Wen-cheng<sup>1</sup>, QIU Li-juan<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> Heihe Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/National Agricultural Science Soil Quality Aihui Observation Experiment Station of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Heihe 164300; <sup>2</sup> Hulunbuir Institute of Agriculture and Animal Husbandry, Inner Mongolia Hulunbuir 021000; <sup>3</sup> Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences / National Key Facility for Crop Gene Resources and Genetic Improvement, Beijing 100081)

**Abstract:** To identify elite soybean germplasm resources showing cold tolerance at the seedling stage in the northern part of China's Heilongjiang Province, in this study 158 soybean germplasm resources from China and Europe were evaluated through a comprehensive analysis of seedling emergence rate, final seedling emergence

收稿日期: 2022-03-05 修回日期: 2022-04-18 网络出版日期: 2022-06-23

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220305004>

第一作者主要研究方向为早熟大豆育种及种质创新, E-mail: handezhi2008@163.com; 孙如建为共同第一作者

通信作者: 邱丽娟, 主要从事大豆基因资源挖掘与利用研究, E-mail: qjulijuan@caas.cn

鹿文成, 主要从事早熟大豆育种与高产栽培研究, E-mail: 13845674288@163.com

**基金项目:** 国家重点研发中欧国际合作项目 (2019YFE0105900); 黑龙江省“揭榜挂帅”科技攻关 (2021ZXJ05B011); 黑龙江省省属科研院所科研业务费项目 (CZKYF2021-2-C019); 国家大豆产业技术体系资金资助项目 (CARS-04-05B); 黑龙江省农业科学院院级科研项目 (TGY-2021-08)

**Foundation projects:** National Key Rresearch and Development Program of China Europe International Cooperation Project (2019YFE0105900); “Opening the List” in Charge of the Science and Technology Project of Heilongjiang Province (2021ZXJ05B011); Scientific Research Funds of Heilongjiang Provincial Scientific Research Institutes (CZKYF2021-2-C019); National Soybean Industry Technology System Fund Project (CARS-04-05B); College Level Scientific Research Project of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences (TGY-2021-08)

rate, relative seedling emergence rate, and seedling emergence index under artificial low-temperature stress treatment conditions and early low-temperature stress treatment conditions in the field. With the preliminary results, the relative seedling emergence rate might be deployed as an index for evaluating artificial cold tolerance with an efficiency up to 60%. We suggested four grades with variations on cold tolerance: grade I (high cold tolerance) containing 10 accessions, with a relative seedling emergence rate of 75-100%; grade II (moderate cold tolerance) containing 22 accessions, with a relative seedling emergence rate of 45-75%; grade III (moderate cold sensitivity) containing 33 accessions, with a relative seedling emergence rate of 20-45%; and grade IV (high cold sensitivity) containing 93 accessions, with a relative seedling emergence rate of 0-20%. A highly significant linear positive correlation between the final emergence rate and relative emergence rate in artificial cold tolerance identification experiment was observed, and a significant positive correlation between relative emergence rate and emergence index (EI) in the Heihe experimental site was observed. The European germplasms showed cold tolerance better than that of Chinese germplasms. Except one Chinese germplasm (C63, Heihe 5), in six cold-tolerant germplasms five were from Europe (A28, ESSenator; A54, Tajfun; A65, AUGUSTA; A75, GLHermine; A76, Josefine). These cold-tolerant soybean germplasms may provide a material basis for cold-tolerant soybean varieties breeding and mining the functional genes with cold tolerance in the early-maturing cultivation areas of China.

**Key words:** Chinese and European soybeans; cold resistance; identification

大豆起源于中国<sup>[1]</sup>,而后我国大豆种质资源直接或间接地被引种到世界各地,对世界大豆生产快速发展起到了重要作用。二战后,美国大豆产业飞速发展,1954年美国大豆总产量超越中国。1974年巴西大豆产量跃居全球第二,阿根廷位居第三,而原产国的中国大豆产量退居全球第四。美国北方大豆品种含有中国的 Man-darin 等祖先亲本 50% 以上的遗传物质,而美国南方品种含有中国南方的 CNS 的血缘。中国大豆对日本、欧洲品种遗传改良也发挥了重要作用。可见,引种对全球大豆发展做出了重要贡献<sup>[2]</sup>。20 世纪 80 年代初,美国从引进的中国、朝鲜、日本和前苏联种质资源中筛选出特异性种质,这些种质含有抗病、抗逆性(耐冷)等优异性状,有利于研究其遗传规律及在育种中进行利用<sup>[3]</sup>。由此可见,引种鉴定、创新利用可有效发挥资源的潜力,对于育种定向改良具有重要意义。

黑龙江省北部是我国重要的大豆商品粮基地,北部大豆播种后萌发期低温冷害是制约大豆出苗的关键因素。因此引进国内外优异耐冷种质,改良及拓宽早熟区抗逆品种的遗传基础至关重要。早在 1981 年郑光华等<sup>[4]</sup>研究表明,低温冷害对大豆萌发期出苗影响较大,可直接影响大豆出苗或造成弱苗。张国栋等<sup>[5-6]</sup>最早在 20 世纪 80 年代初开展了大豆耐冷相关研究探索,提出了低温与出苗率及相对出苗率呈极显著负相关。1987 年张德荣等<sup>[7-8]</sup>以

人工气候箱控制温度的方法,发现花芽分化时期对低温处理最敏感,该阶段遇低温可减产 60% 以上。1987-1988 年李育军等<sup>[9-10]</sup>利用人工气候箱对 1910 份东北春大豆品种(系)进行了萌发期耐冷性的筛选,两年共筛选出 358 个高抗耐冷材料,占参试材料的 18.7%,结果表明不同品种在 6℃ 条件下发芽率变化很大,其范围分布在 0~100%,且黑龙江材料在 6℃ 下发芽速率最快;同时还提出黑种皮、深褐脐、肾状、扁椭圆粒、种皮无光泽的种子表现出较强的耐冷性,百粒重与耐冷性呈极显著的负相关,种子的蛋白质含量与耐冷性关系不大,粗脂肪含量与耐冷性呈极密切的负相关,亚油酸与油酸的比值与抗冷性呈极显著的正相关。在耐冷性鉴定中,通常将低温与常温下测定值的比值(相对值)作为耐冷性强弱的评价指标,宋友等<sup>[11]</sup>以低温与常温下测定值的比值(相对值)作为耐冷性评价指标,将参试品种分成了耐冷、中等耐寒、低温敏感 3 类。郭数进等<sup>[12]</sup>利用人工气候箱保持恒温低温胁迫,筛选出耐冷性品种晋大 70。盖志佳等<sup>[13]</sup>选用 11 个大豆品种(系)进行萌发期耐低温(6℃)试验,筛选出耐冷型大豆品种金源 55 和合农 60,敏感型品种黑农 48。以上研究表明,耐冷是多基因与环境互作的复杂性状,不同鉴定方法和鉴定时期对鉴定结果影响较大,目前普遍认为萌发期耐冷对出苗的影响是大豆生产的关键。选育耐冷品种是减少冷害的重要途径之一,而耐冷资源的筛选鉴定是培育耐冷品种的基础,因此,

如何有效模拟田间低温环境,准确筛选耐冷性种质资源是耐冷品种选育的关键。

本研究通过国际合作项目引进了欧洲大豆种质资源,其来源地纬度与中国东北生态类型相似。以引进的 79 份欧洲种质和 79 份中国种质为研究对象,利用黑龙江黑河、内蒙古呼伦贝尔高纬寒地独特的早春低温气候特点,采用人工盆栽试验模拟田间极端低温胁迫,结合田间早播低温胁迫验证试验,通过详细测定不同时期的出苗率、出苗指数等指标,深入研究中欧大豆种质耐冷性差异,精准筛选耐冷种质,为培育耐冷大豆新品种,解决黑龙江省北部春季低温造成大豆出苗不齐、苗势不一的瓶颈难题提供种质资源及理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

中欧大豆种质资源 158 份,双方各 79 份,其中 A 系列代表欧方种质,C 系列代表中方种质,种质信息详见 <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jjgr.20220305004>,附表 1,试验前人工精选种子。

### 1.2 人工耐冷鉴定

试验地点为黑龙江省黑河市,在 2021 年 4 月 10 日进行播种。低温胁迫处理,置于室外最低气温 0℃环境;正常对照处理,置于恒温培养室控制 20℃恒温环境。试验均利用无菌土育苗盒盆栽种植,均采用 3 次重复,每盆精选 10 粒种子,灌水后播种,覆干土 3 cm。

### 1.3 田间耐冷验证

2021 年 5 月在黑龙江省农业科学院黑河分院科研基地(127°27'E, 50°15'N)、呼伦贝尔市农牧科学研究所基地(122°36'E, 47°40'N)同期播种。低温胁迫处理 5 月 8 日(地温 6℃以下)播种;正常对照试验 5 月 15 日(地温 8℃以上)播种。田间设计均采用顺序排列,每行 40 粒,单行区,2 米行长,3 次重复,四周设保护行。

### 1.4 测定项目与方法

人工耐冷鉴定调查出苗数,调查日期为 5 月 7-13 日(前期)、5 月 14-20 日(中期)、5 月 21-27 日(后期),直至不再出苗为止。田间验证试验调查出苗率,出苗后,5 月 20 日开始调查,每间隔 2 d 调查 1 次,直至不再出苗为止。计算相对出苗率、最终出苗率、出苗指数 3 项指标,评价大豆田间萌发期耐冷性<sup>[14-15]</sup>。利用统计学软件 WPS、SPSS 19.0、Origin 2021 进行统计作图分析。

$$\text{相对出苗率} = \frac{\text{低温胁迫出苗率}}{\text{正常播种出苗率}} \times 100\%$$

$$\text{最终出苗率} = \frac{\text{最终出苗总数}}{\text{播种总数}} \times 100\%$$

$$\text{出苗指数} = \sum \frac{\text{第 } i \text{ 天的出苗率}(E_i)}{\text{从播种至出苗的相应天数}(D_i)}$$

## 2 结果与分析

### 2.1 中欧大豆种质人工耐冷比较

统计人工耐冷鉴定前期、中期、后期的出苗率、最终出苗率,结合对照组出苗率计算耐冷相对出苗率,比较中欧参试材料的耐冷差异(表 1)。结果表明参试材料的出苗率的变异系数均接近 1 或者大于 1,属于强变异,证明人工低温胁迫处理使参试材料出苗率离散程度较大,有利于耐冷种质评价及筛选。同时对中欧参试材料各出苗率指数进行 *t* 测验,表明欧方种质在中期出苗率、后期出苗率、最终出苗率、相对出苗率均显著高于中方,说明引进的欧方种质耐冷性显著优于中方。进一步对参试材料前、中、后期出苗率差异进行单因素方差分析(图 1A),表明参试材料人工耐冷胁迫下不同时期出苗率差异显著,不同时期出苗率的异常值为差异极端种质。在耐冷种质中,前期出苗率高的代表材料 A52,前期出苗率 66.67%、中期出苗率 20%、后期出苗率 6.67%;中期出苗率高的代表材料 A76,前期出苗率 0、中期出苗率 93.33%、后期出苗率 0;后期出苗率高的代表材料 A75,前期出苗率 0、中期出苗率 66.67%、后期出苗率 20.00%,参试材料萌发动态图(图 1B)显示,参试材料在冷胁迫出苗过程中,前期、后期出苗率低于中期出苗率,且中期出苗率较高的材料最多。

### 2.2 人工耐冷鉴定出苗率表型相关性分析

利用出苗率性状进行矩阵散点共线性分析(图 2),表明参试材料冷胁迫前、中、后期出苗率、最终出苗率及相对出苗率均呈对数正态分布,能够进一步进行相关性及线性回归分析。通过相关性分析,前、中、后期出苗率、最终出苗率及相对出苗率均呈显著正相关。相对出苗率与最终出苗率相关系数最高( $r=0.99924$ ),说明参试材料种子质量控制较好,提高了试验精度,使对照组最终出苗率结果对相对出苗率影响较小,因此,人工耐冷鉴定 10 粒检测也可保证试验的准确性。通过线性回归分析,相对出苗率与最终出苗率决定系数  $R^2=0.99847$ ,说明冷胁迫的最终出苗率与相对出苗率具有较好的共线性。因此,筛选种质时,可使用最终出苗率、相对出苗率指标作为分类依据。

表 1 中欧大豆种质人工耐冷鉴定出苗率性状的差异比较  
Table 1 Differences between Chinese and European soybean germplasms under artificial cold conditions

性状 Trait	来源 Source	平均值 ± 标准差 Mean ± standard deviation	标准误差 Standard error	中位数 Median	变异系数(%) CV	置信度(95%) Confidence		<i>t</i>	<i>P</i>
						下限 Lower limit	上限 Upper limit		
前期出苗率(%) EER	欧方	8.14 ± 12.15	1.37	3.33	1.49	0.83	2.03	0.98	0.33
	中方	6.37 ± 10.65	1.20	0.00	1.67				
中期出苗率(%) MTER	欧方	19.11 ± 21.92	2.47	10.00	1.15	5.54	16.66	3.94	0.00*
	中方	8.02 ± 12.06	1.36	3.33	1.50				
后期出苗率(%) LER	欧方	2.62 ± 3.91	0.44	0.00	1.49	0.36	2.51	2.63	0.01*
	中方	1.18 ± 2.88	0.32	0.00	2.44				
最终出苗率(%) FEP	欧方	29.87 ± 28.37	3.19	23.33	0.95	6.48	22.13	3.61	0.00*
	中方	15.57 ± 20.87	2.35	6.67	1.34				
相对出苗率(%) RFEP	欧方	30.41 ± 28.44	3.20	25.93	0.94	6.85	22.55	3.70	0.00*
	中方	15.71 ± 20.94	2.36	7.41	1.33				

\*表示  $P<0.05$  水平差异显著,下同  
\*Indicates a significant difference at  $P<0.05$  level; EER: Early emergence rate; MTER: Medium term emergence rate; LER: Late emergence rate; FEP: Final emergence rate; RFEP: Relative final emergence rate; The same as below

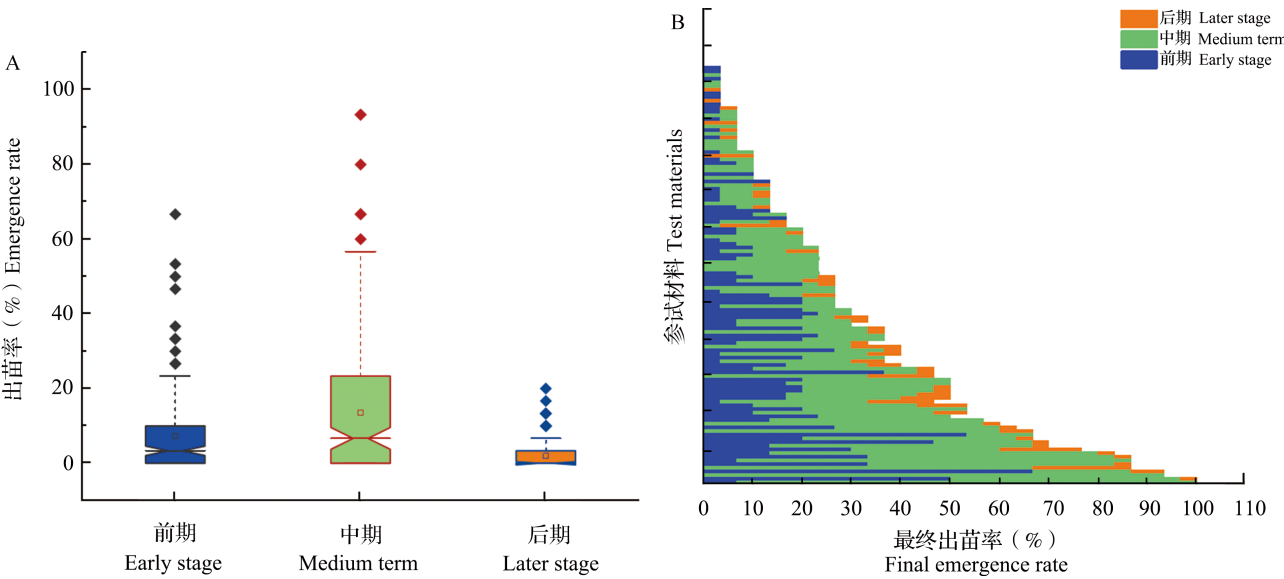
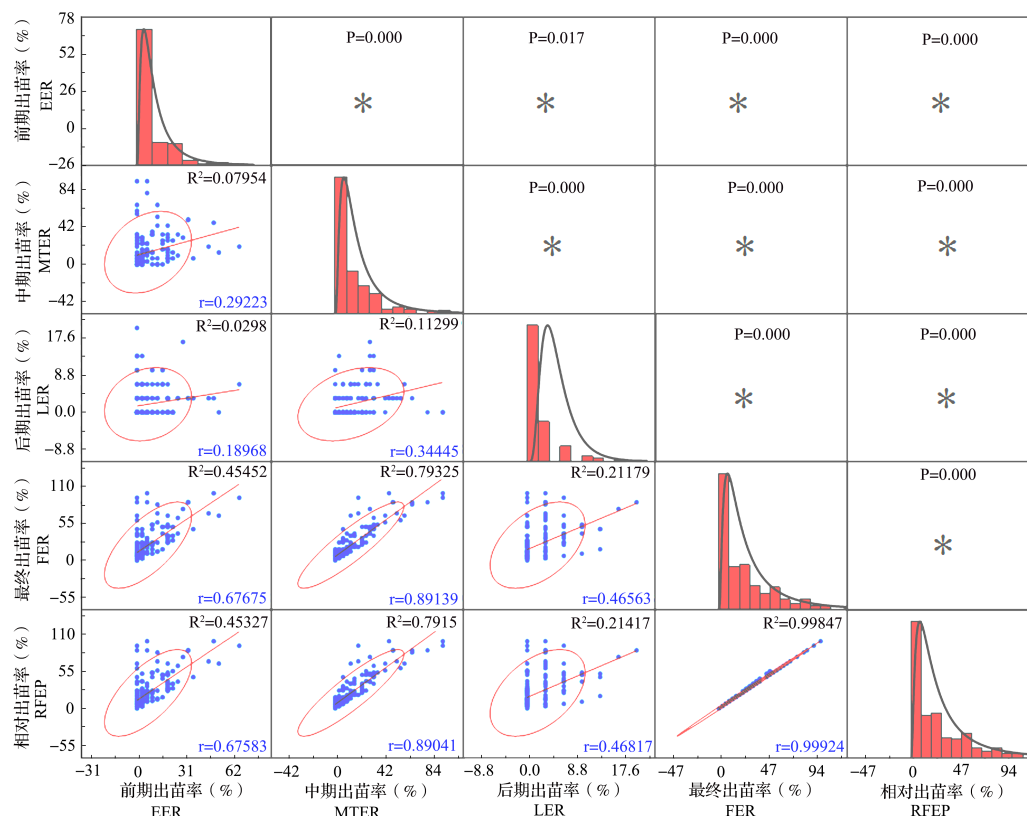


图 1 不同时期出苗率差异比较及累计动态  
Fig.1 Difference comparison and cumulative dynamics of seedling emergence rate in different periods

2.3 人工耐冷鉴定系统聚类分析

利用冷胁迫最终出苗率与相对出苗率进行系统聚类分析(图3),在欧式距离为20时,可将参试资源分成4类:第Ⅰ类(高耐冷型)共10份,75% < 相对出苗率 ≤ 100%;第Ⅱ类(较耐冷型)共22份,

45% < 相对出苗率 ≤ 75%;第Ⅲ类(较敏感型)共33份,20% < 相对出苗率 ≤ 45%;第Ⅳ类(高敏感型)共93份,0 ≤ 相对出苗率 ≤ 20%。初步筛选出耐冷种质10份:其中包含欧方种质A65、A54、A76、A52、A75、A28、A29、A48,中方种质C57、C63。



$R^2$ : 决定系数;  $r$ : 相关系数; 下同

$R^2$ : The coefficient of determination;  $r$ : The correlation coefficient; The same as below

图 2 中欧大豆种质人工耐冷出苗率矩阵散点分析

Fig.2 Scatter point analysis of artificial cold tolerance seedling emergence rate matrix of Chinese and European soybean germplasm

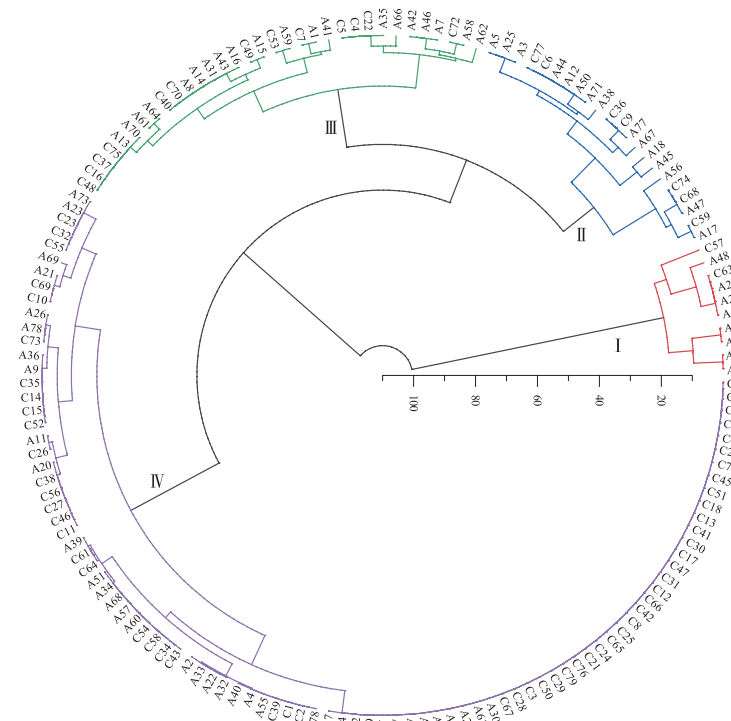


图 3 人工耐冷鉴定系统聚类结果

Fig.3 Hierarchical clustering results of artificial cold-resistant lines

## 2.4 田间耐冷验证结果

通过黑河和呼伦贝尔两点田间低温早播试验,进一步验证人工耐冷鉴定结果,同时结合参试材料田间生育期、产量、抗病等综合表现,筛选出综合性状优良、耐冷的大豆种质资源。利用田间验证试验的最终出苗率计算耐冷最终出苗率、对照最终出苗率、相对出苗率及出苗指数(详见 <http://dor.org/10.13430.j.cnki.jpgr.20220305004>,附表1)。比较两点参试材料萌发期耐冷表现(表2),表明黑河点出苗率相关性状的变异系数均大于呼伦贝尔点,说明黑河点的参试材料出

苗率相关性状离散程度较大,早播低温胁迫效果相对呼伦贝尔点较好。进一步对两点鉴定结果进行  $t$  测验,得出两点的耐冷最终出苗率、对照最终出苗率在  $P<0.05$  水平上差异显著,说明田间耐冷试验受系统误差及环境影响较大,田间鉴定耐冷性具有一定难度。而两点间接指标相对出苗率和出苗指数在  $P<0.05$  水平上差异不显著,说明通过计算相对出苗率可有效消除部分系统误差,初步确定相对出苗率和出苗指数作为耐冷种质评价指标。

表2 田间验证试验出苗率相关指标比较

Table 2 Seedling emergence rate-related index of field validation test

性状 Trait	来源 Source	平均值 $\pm$ 标准差 Mean $\pm$ standard deviation	标准误差 Standard error	中位数 Median	变异系数 (%) CV	置信度 (95%) Confidence		$t$	$P$
						下限 Lower limit	上限 Upper limit		
耐冷最终出苗率 (%) CTFEP	黑河	0.49 $\pm$ 0.22	0.02	0.50	0.44	-0.12	-0.05	-4.42	0.00 *
	呼伦贝尔	0.57 $\pm$ 0.10	0.01	0.58	0.18				
对照最终出苗率 (%) CKFEP	黑河	0.63 $\pm$ 0.11	0.01	0.63	0.17	-0.16	-0.11	-10.80	0.00*
	呼伦贝尔	0.76 $\pm$ 0.09	0.01	0.76	0.11				
相对出苗率 (%) RFEP	黑河	0.78 $\pm$ 0.33	0.03	0.78	0.43	-0.04	0.07	0.42	0.68
	呼伦贝尔	0.76 $\pm$ 0.16	0.01	0.75	0.21				
出苗指数 EI	黑河	4.97 $\pm$ 2.51	0.20	4.73	0.50	-0.59	0.25	-0.78	0.43
	呼伦贝尔	5.14 $\pm$ 0.97	0.08	5.11	0.19				

CTFEP: Cold-resistant final emergence rate; CKFEP: CK final emergence rate; RFEP: Relative final emergence rate; EI: Emergence index; The same as below

通过以上结论,对两点鉴定结果的相对出苗率、出苗指数进行矩阵散点相关性分析(图4),参试种质两点相对出苗率、出苗指数均呈正态分布,满足相关性及线性回归分析条件。通过相关性分析,黑河相对出苗率与两点出苗指数显著相关,且两点间出苗指数显著相关。黑河点相对出苗率与出苗指数皮尔逊相关系数最高( $r=0.88692$ ),其他指标相关性均较低。通过线性回归,得出黑河点的相对出苗率和出苗指数线性回归决定系数  $R^2=0.78525$ ,说明黑河点相对出苗率与出苗指数具有较好的共线性。因此,采用黑河点相对出苗率、出苗指数作为验证试验评价指标更为科学。

利用黑河点相对出苗率与出苗指数数据进行归一化系统聚类分析(图5),在欧式距离为0.3时,可将参试资源分成4类:第Ⅰ类(最终出苗率高、出苗指数相对较高)1份:中方C1;第Ⅱ类(最终出苗率较高、出苗指数高)共37份:欧方31份,分别

是A11、A13、A14、A18、A2、A21、A22、A24、A25、A28、A32、A33、A34、A45、A46、A49、A54、A56、A58、A6、A62、A64、A65、A66、A68、A70、A72、A73、A75、A76、A79,中方6份分别是C3、C59、C69、C70、C74、C79;第Ⅲ类(最终出苗率低、出苗指数相对低)共38份;第Ⅳ类(最终出苗率低、出苗指数低)共82份。田间验证分类结果中第Ⅰ、Ⅱ类为较耐冷种质,通过与人工耐冷初筛结果比较(表3),共筛选耐冷种质6份,其中,欧方5份:A28(ES Senator)、A54(Tajfun)、A65(AUGUSTA)、A75(GL Hermine)、A76(Josefine),中方1份:C63(黑河5号)。黑河5号虽然田间验证结果未在耐冷种质中,但黑河点相对出苗率高达96%,出苗指数为6.82,呼伦贝尔点相对出苗率83%,综合两点田间实际出苗情况,推荐C63(黑河5号)为耐冷种质。初步验证人工鉴定的有效率达到60%左右,耐冷优异种质具体数据见表4。

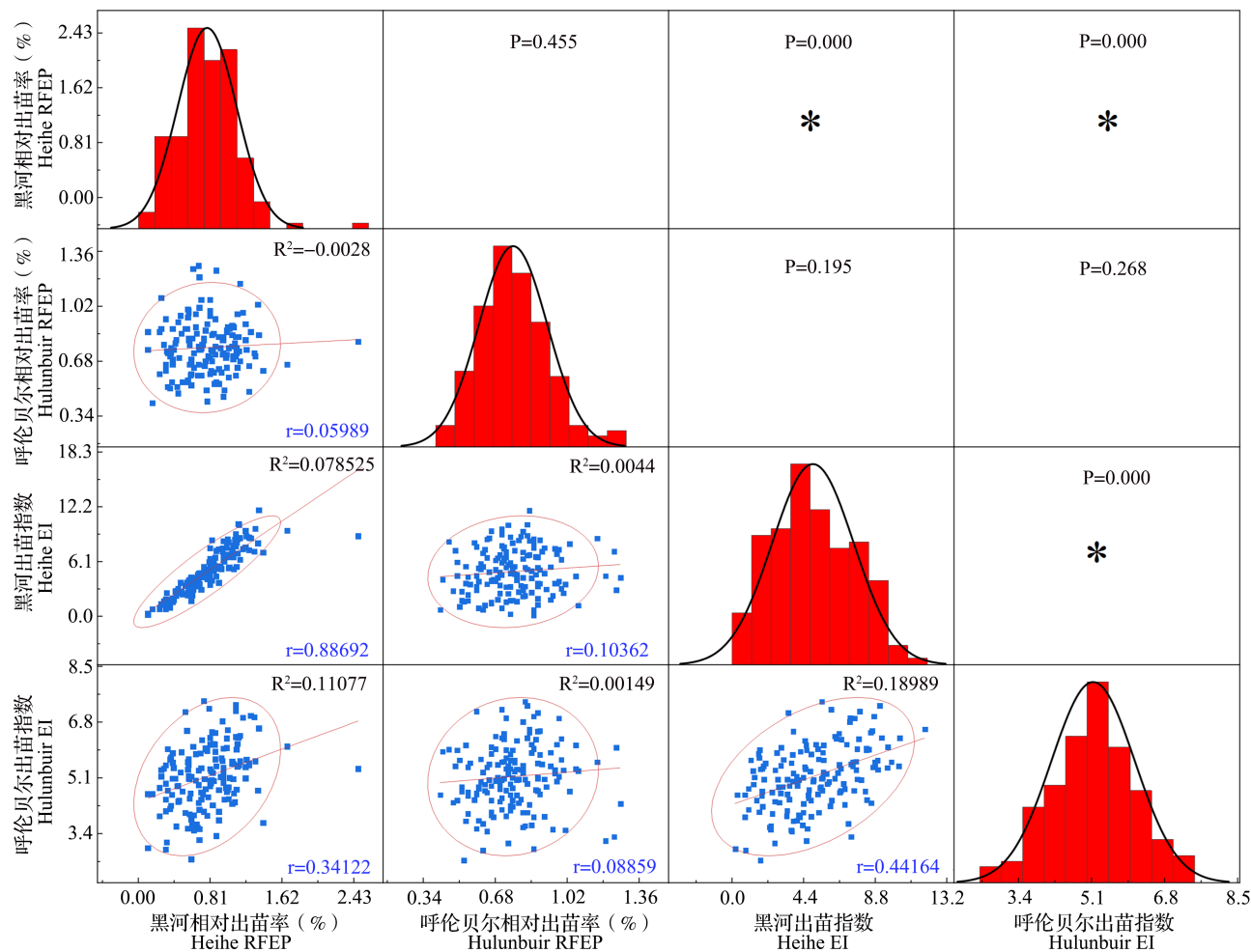


图 4 中欧大豆种质田间验证两点出苗相关性状矩阵散点分析

Fig.4 Scatter analysis of seedling emergence related trait matrix in field validation at two locations for Chinese and European soybean germplasm

表 3 耐冷种质综合鉴定结果

Table 3 Comprehensive identification of cold-tolerant germplasms

试验 Test	不同方法耐冷评价结果 Evaluation results of cold resistance by different methods		综合评价结果 Comprehensive results of cold resistance	
			欧方 Europe	中方 Europe
			欧方 Europe	中方 Europe
人工耐冷 Artificial cold resistance	A28、A29、A48、A52、A54、A65、A75、A76	C57、C63	A28、A54、A65、A75、A76	C63
田间验证 Field verification	A6、A11、A13、A14、A18、A2、A21、A22、A24、A25、A28、A32、A33、A34、A45、A46、A49、A54、A56、A58、A62、A64、A65、A66、A68、A70、A72、A73、A75、A76、A79	C1、C3、C59、C69、C70、C74、C79		

表 4 耐冷优异种质综合性状表型  
Table 4 Comprehensive trait phenotype of excellent cold tolerance germplasm

代号 Code	名称 Name	人工耐冷		田间验证		出苗指数 EI		农艺性状				
		Artificial cold resistance		Field verification		Heihe		Agronomic traits				
		相对出苗率 (%) Relative emergence rate	聚类 Clustering	相对出苗率 (%) Relative emergence rate	聚类 Clustering	黑河 Heihe	呼伦贝尔 Hulunbuir	花色 Suit	叶形 Leaf shape	茸毛 色 Fur color	结荚 习性 Pod habit	生育期 (d) Growth period
A28	ES Senator	86.67	I	100.00	II	9.53	6.05	紫花	圆叶	棕	亚	109
A54	Tajfun	100.00	I	100.00	II	8.67	6.99	紫花	圆叶	棕	无	130
A65	AUGUSTA	100.00	I	81.00	II	7.58	5.36	紫花	圆叶	棕	亚	105
A75	GL Hermine	86.67	I	91.00	II	7.46	4.73	紫花	圆叶	灰	无	125
A76	Josefine	93.33	I	100.00	II	9.15	6.34	白花	圆叶	棕	无	118
C63	黑河 5 号	86.67	I	96.00	IV	6.82	4.94	紫花	圆叶	灰	亚	100

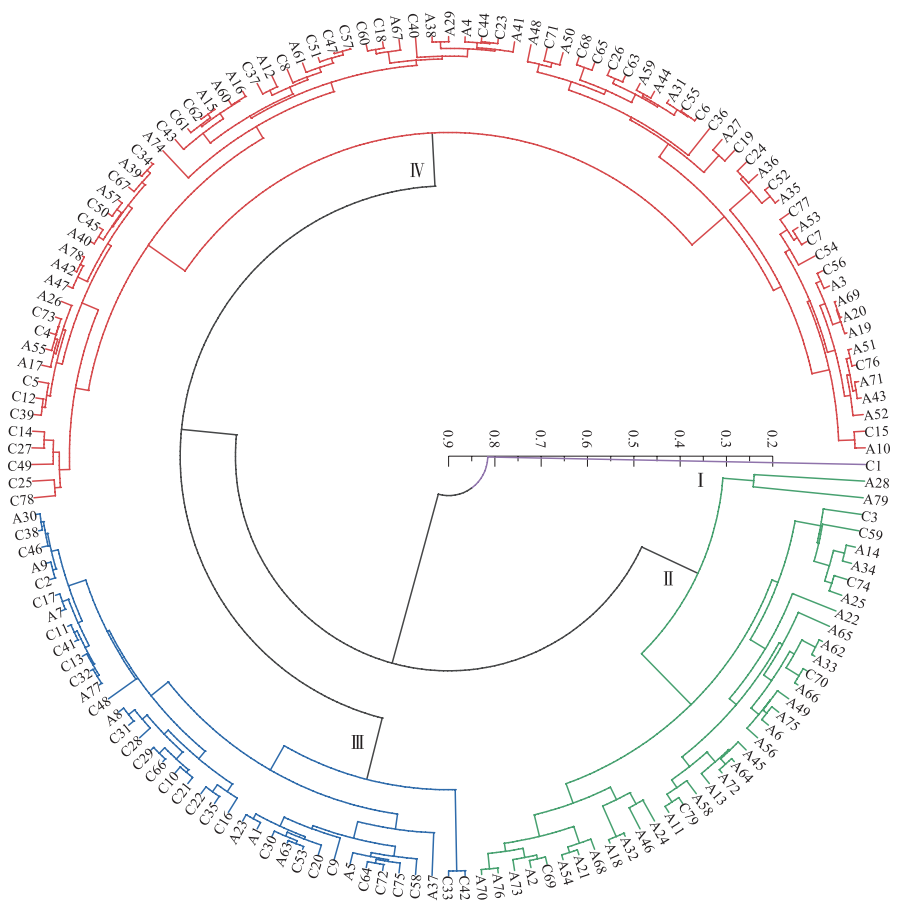


图 5 田间耐冷验证系统聚类结果  
Fig.5 Clustering results of field cold tolerance verification system

3 讨论

3.1 耐冷种质鉴定指标的选择

我国大豆耐冷性研究从 20 世纪 80 年代初开始,研究较少且不够系统。大豆耐冷性研究中使用

单一指标评价耐冷性并不科学,除表型鉴定外还应包括生理指标。顾增辉等<sup>[16]</sup>对大豆抗冷性生理生化指标进行筛选,指出抗冷性越强的品种,SOD 酶活性越高,MDA 含量越低,且低温导致 MDA 含量的增加幅度也减小。张大伟等<sup>[17]</sup>利用相对电导率、

丙二醛、脯氨酸和可溶性糖等生理指标,成功将供试品种萌发期的耐冷性分为 3 类,完善了大豆耐冷性生理生化指标。王新欣等<sup>[18]</sup>研究低温对大豆花期不同冠层叶片叶绿素、蔗糖、淀粉、淀粉酶及产量的影响,表明随着低温胁迫处理时间的延长,不同冠层叶绿素、淀粉和蔗糖含量逐渐降低,淀粉酶活性逐渐增加,自然恢复过程中上述指标呈相反的变化趋势。田鑫等<sup>[19]</sup>也成功利用相对电导率、丙二醛鉴定 5 份种质的耐冷性。耐冷表型鉴定相比生理生化指标鉴定更为直观、便捷、高效。因此,以表型指标鉴定为主,生理指标为辅的综合耐冷鉴定体系有待完善<sup>[20]</sup>。本研究属于耐冷种质的初步筛选,下一步将根据初筛结果进行表型及生理指标的验证工作。

### 3.2 耐冷大豆种质鉴定有助于耐冷性相关基因挖掘

大豆种质的耐冷性与自身遗传基础密切相关。本研究通过统计参试材料的生育期,发现生育期越早,耐冷性越好,这一规律与张国栋等<sup>[5]</sup>、李育军等<sup>[9]</sup>的观点基本一致。欧洲种质的百粒重偏小、褐种脐,可能是耐冷显著优于中方的原因,与前人研究观点相符合<sup>[9-10,21]</sup>。由此推测,萌发期耐冷相关基因与生育期、籽粒外观等调控相关基因密切连锁。综上所述,不同遗传背景种质的耐冷性存在显著差异,耐冷性与遗传密切相关。通过完善耐冷表型的鉴定方法,精准筛选耐冷种质,为下一步解析大豆耐冷性状遗传规律,大豆耐冷相关性状 QTLs 定位及挖掘基因具有重要作用。胡国玉等<sup>[22]</sup>以前期筛选的敏感型周 9311-3 × 耐冷型徐 9125 构建群体为材料,采用主基因 - 多基因混合遗传模型分离方法进行分析,表明大豆耐冷出苗性状是受一对主基因控制,主基因呈超显性,并筛选到与大豆耐冷出苗性状紧密连锁的 SSR 标记 *Satt157* 和 *Satt562*, QTL 初步定位于 D1b 和 I 连锁群,可解释遗传变异分别为 3.4% 和 13.9%。蒋洪蔚等<sup>[23]</sup>利用前期耐冷鉴定结果,以美国 Clark(敏感型)与红丰 11(耐冷型)构建回交导入系,检测到分布于大豆 8 个连锁群的 12 个与大豆芽期耐低温相关的 QTL,共同检测到 2 个位点 *Satt237* 和 *SOYPRP1*。邱鹏程等<sup>[24]</sup>利用耐冷型红丰 11 回交导入系为材料,定位到分布于 A1、B2、C2、E、J 和 O 连锁群上的 7 个 QTL 位点。综上所述,本研究引进及筛选的耐冷种质为今后大豆耐冷相关基因的挖掘奠定材料基础,建立的表型评价方法为下一步构建耐冷评价技术体系提供了依据。

### 3.3 中欧大豆种质交流促进中国大豆研究

播种保苗是大豆生产中的重要环节,俗语“见苗

三分喜”就是这个道理。东北的“倒春寒”时有发生,因此,选育萌发期耐冷好的品种是解决大豆低温出苗不齐的关键。未来在培育耐冷品种时还要兼顾全生育期耐冷性,特别是花期障碍型冷害严重制约大豆的产量<sup>[7-8,25-26]</sup>。本研究以中欧大豆种质为材料,采用人工耐冷鉴定与田间验证试验相结合,筛选出的 5 份欧方萌发期耐冷种质均属于高耐类型,下一步将对耐冷种质进行田间综合农艺性状分析,结合生育期、抗病及产量性状筛选亲本,通过地理远缘杂交等手段拓宽本地大豆遗传基础,有效促进我国耐冷大豆新品种的创制。除耐冷研究外,中欧大豆项目还深入开展了产量、品质等其他重要性状鉴定,通过中欧大豆资源交流搭建了中欧科技数据交流平台,为建立中欧大豆科技合作长效机制打下坚实基础,对促进我国大豆科研与生产发展具有极其重要的意义。

### 参考文献

- [1] 常汝镇. 关于栽培大豆起源的研究. 中国油料, 1989(1): 3-9  
Chang R Z. Study on the origin of cultivated soybean. Chinese Journal of Oil Crop Science, 1989(1): 3-9
- [2] 邱丽娟, 常汝镇, 袁翠平, 关荣霞, 刘章雄, 李英惠. 国外大豆种质资源的基因挖掘利用现状与展望. 植物遗传资源学报, 2006, 7(1): 1-6  
Qiu L J, Chang R Z, Yuan C P, Guan R X, Liu Z X, Li Y H. Prospect and present statue of gene discovery and utilization for introduced soybean germplasm. Journal of Plant Genetic Resources, 2006, 7(1): 1-6
- [3] 盖钧镒. 美国大豆育种的进展和动向. 大豆科学, 1983(4): 327-341  
Gai J Y. The progress of soybean improvement and its potential direction in the United States. Soybean Science, 1983(4): 327-341
- [4] 郑光华, 顾增辉, 徐本美. 大豆种子萌发过程中冷害问题的研究. 中国农业科学, 1981, 2(2): 65-72  
Zheng G H, Gu Z H, Xu B M. A physiological study on the chilling injury in germinating soybean seeds. Scientia Agricultura Sinica, 1981, 2(2): 65-72
- [5] 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. 黑龙江农业科学, 1983(5): 14-19  
Zhang G D, Gong W J. Research on soybean variety resources in alpine regions-cold tolerance and identification of soybean varieties. Heilongjiang Agricultural Sciences, 1983(5): 14-19
- [6] 张国栋, 罗教芬. 国外大豆品种资源在高寒地区研究与利用. 中国油料, 1984(1): 10-14  
Zhang G D, Luo J F. Research and utilization of foreign soybean variety resources in alpine regions. Chinese Journal of Oil Crop Science, 1984(1): 10-14
- [7] 张德荣, 张学君, 孟祥盟, 郭法申. 大豆低温冷害敏感时期试验研究报告. 吉林农业科学, 1987(1): 37-39  
Zhang D R, Zhang X J, Meng X M, Guo F S. Primary study on the key time for soybean plants to be injured by the lower temperature. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 1987(1): 37-39
- [8] 张德荣, 张学君. 大豆低温冷害试验研究报告. 大豆科学,

- 1988, 7(2): 125-132  
Zhang D R, Zhang X J. Study on cool injury of soybean. Soybean Science, 1988, 7(2): 125-132
- [9] 李育军, 赵玉田, 常汝镇, 梁博文, 孙建英. 大豆萌发期对 6 °C 低温的反应. 大豆科学, 1990, 9(2): 136-144  
Li Y J, Zhao Y T, Chang R Z, Liang B W, Sun J Y. Germination phase of soybean responses to temperature stress at 6 °C. Soybean Science, 1990, 9(2): 136-144
- [10] 李育军, 常汝镇, 赵玉田, 孙建英. 大豆室内耐冷筛选及其在田间的应用研究. 大豆科学, 1992, 11(1): 49-57  
Li Y J, Chang R Z, Zhao Y T, Sun J Y. Laboratory screening on tolerance to cold in soybean and application in field. Soybean Science, 1992, 11(1): 49-57
- [11] 宋友, 王继安. 早熟大豆发芽期和苗期耐寒性鉴定. 大豆科学, 2006, 5(3): 299-303  
Song Y, Wang J A. Identification of chilling tolerance in early soybean varieties at germination and seedling growth stages. Soybean Science, 2006, 5(3): 299-303
- [12] 郭数进, 李玮瑜, 马艳芸, 赵恒, 乔玲, 李贵全. 山西不同生态型大豆品种苗期耐低温性综合评价. 植物生态学报, 2014, 38(9): 990-1000  
Guo S J, Li W Y, Ma Y Y, Zhao H, Qiao L, Li G Q. Comprehensive evaluation of low temperature tolerance in soybean cultivars of different eco types at seedling stage in Shanxi province. Chinese Journal of Plant Ecology, 2014, 38(9): 990-1000
- [13] 盖志佳, 张敬涛, 刘婧琦, 蔡丽君, 杜佳兴, 陈磊. 耐低温大豆品种(系)的筛选与研究. 中国种业, 2018(6): 57-60  
Gai Z J, Zhang J T, Liu J Q, Cai L J, Du J X, Chen L. Screening and research of low temperature tolerant soybean varieties( lines ). China Seed Industry, 2018(6): 57-60
- [14] 单彩云. 大豆耐低温资源筛选及蛋白质组学研究. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008  
Shan C Y. Screening and proteome research of soybean low temperature tolerance germplasm. Harbin: Northeast Agricultural University, 2008
- [15] 郑莉萍, 张云峰, 蒋洪蔚, 王明亮, 邱红梅, 孙星邈, 朴锦, 王曙明. 大豆种质资源芽期耐低温综合评价及筛选. 大豆科学, 2020, 39(6): 833-847  
Zheng L P, Zhang Y F, Jiang H W, Wang M L, Qiu H M, Sun X M, Piao J, Wang S M. Comprehensively evaluation and screening on low temperature tolerance of soybean germplasm resources at bud stage. Soybean Science, 2020, 39(6): 833-84
- [16] 顾增辉, 宋剑陶. 大豆抗冷性生理生化指标的筛选. 中国农业科学, 1992, 25(4): 15-23  
Gu Z H, Song J T. Studies on screening for physiological and biochemical indicators of chilling resistance of soybean. Scientia Agricultura Sinica, 1992, 25(4): 15-23
- [17] 张大伟, 杜翔宇, 刘春燕, 单大鹏, 吴铮, 陈庆山, 胡国华. 低温胁迫对大豆萌发期生理指标的影响. 大豆科学, 2010, 29(2): 228-232  
Zhang D W, Du X Y, Liu C Y, Shan D P, Wu Z, Chen Q S, Hu G H. Effect of low-temperature stress on physiological indexes of soybean at germination stage. Soybean Science, 2010, 29(2): 228-232
- [18] 王新欣, 赵晶晶, 冯乃杰, 郑殿峰. 低温胁迫对大豆花期不同冠层叶片生理活性及产量的影响. 大豆科学, 2020, 39(2): 252-259  
Wang X X, Zhao J J, Feng N J, Zheng D F. Effects of low temperature stress on physiological activity and yield of different soybean canopy leaves of flowering stage. Soybean Science, 2020, 39(2): 252-259
- [19] 田鑫, 何小玲, 顾卫红, 麻浩. 5 份春大豆苗期耐低温性的鉴定及评价. 大豆科学, 2013, 32(6): 755-762  
Tian X, He X L, Gu W H, Ma H. Identification and evaluation of seedling cold tolerance of five spring soybean germplasms. Soybean Science, 2013, 32(6): 755-762
- [20] 郝晶, 张立军, 谢甫缙. 低温对大豆不同耐冷性中萌发期保护酶活性的影响. 大豆科学, 2007, 26(2): 171-175  
Hao J, Zhang L J, Xie F T. Effects of the low temperature on defense enzyme activities of different chilling-tolerant soybean cultivars during the germination. Soybean Science, 2007, 26(2): 171-175
- [21] 于奇, 曹亮, 金喜军, 邹京南, 王孟雪, 张明聪, 任春元, 张玉先. 低温胁迫下褪黑素对大豆种子萌发的影响. 大豆科学, 2019, 38(1): 56-62  
Yu Q, Cao L, Jin X J, Zou J N, Wang M X, Zhang M C, Ren C Y, Zhang Y X. Effects of melatonin on seed germination of soybean under low temperature stress. Soybean Science, 2019, 38(1): 56-62
- [22] 胡国玉, 赵晋铭, 周斌, 左巧美, 盖钧镒, 喻德跃, 邢邯. 大豆耐低温出苗的遗传分析与分子标记. 大豆科学, 2008, 27(6): 905-910  
Hu G Y, Zhao J M, Zhou B, Zuo Q M, Gai J Y, Yu D Y, Xing H. Inheritance and molecular marker of chilling tolerance of soybean in early stage. Soybean Science, 2008, 27(6): 905-910
- [23] 蒋洪蔚, 李灿东, 刘春燕, 张闻博, 邱鹏程, 李文福, 高运来, 胡国华, 陈庆山. 大豆导入系群体芽期耐低温位点的基因型分析及 QTL 定位. 作物学报, 2009, 35(7): 1268-1273  
Jiang H W, Li C D, Liu C Y, Zhang W B, Qiu P C, Li W F, Gao Y L, Hu G H, Chen Q S. Genotype analysis and QTL mapping for tolerance to low temperature in germination by introgression lines in soybean. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(7): 1268-1273
- [24] 邱鹏程, 张闻博, 蒋洪蔚, 刘春燕, 李灿东, 范冬梅, 曾庆力, 韩冬伟, 胡国华, 陈庆山. 大豆芽期耐盐和耐低温位点的遗传重叠. 中国农业科学, 2011, 44(10): 1980-1988  
Qiu P C, Zhang W B, Jiang H W, Liu C Y, Li C D, Fan D M, Zeng Q L, Han D W, Hu G H, Chen Q S. Genetic overlap between salt and low-temperature tolerance loci at germination stage of soybean. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(10): 1980-1988
- [25] 盖志佳, 张敬涛, 刘婧琦, 蔡丽君, 杜佳兴, 孟庆英, 谷维, 陈磊. 低温胁迫对大豆幼苗形态生理指标及籽粒产量的影响. 农学学报, 2019, 9(12): 1-4  
Gai Z J, Zhang J T, Liu J Q, Cai L J, Du J X, Meng Q Y, Gu W, Chen L. Cold stress affects morphological and physiological indexes of soybean seedling and seed yield. Journal of Agriculture, 2019, 9(12): 1-4
- [26] 桑树鹏. 大豆不同生育期内应对低温冷害措施的研究. 大豆科技, 2013, 2(1): 53-54  
Sang S P. Study on measures to deal with low temperature and chilling injury in soybean in different growth periods. Soybean Science & Technology, 2013, 2(1): 53-54

附表 1 中欧大豆种质人工耐冷鉴定及田间验证试验结果

Supplemental Table 1 Artificial cold tolerance identification and field verification test results of soybean germplasm in China and Europe

代号 Code	名称 Name	人工耐冷鉴定结果 Artificial cold resistance identification results						黑河田间验证试验 Heihe field validation experiment				呼伦贝尔田间验证试验 Hulun Buir field validation experiment			
		前期出苗率 (%) EER	中期出苗率 (%) MTER	后期出苗率 (%) FER	最终出苗率 (%) FEP	相对出苗率 (%) RFEP	聚类结果 Clustering results	耐冷最终 出苗率 CTFEP	对照最终 出苗率 CKFEP	相对出 苗率 RFEP	出苗指数 均值 Mean value of EI	耐冷最终 出苗率 CTFEP	对照最终 出苗率 CKFEP	相对出 苗率 RFEP	出苗指数 均值 Mean value of EI
A40	NS Kaća	0.00	0.00	3.33	3.33	3.33	IV	49.00	71.00	69.00	4.54	70.00	58.00	120.00	3.20
A1	CH22172 / OBELIX	23.33	6.67	0.00	30.00	30.00	III	31.00	67.00	46.00	2.61	51.00	73.00	70.00	4.40
A37	Oriana	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	20.00	33.00	60.00	1.71	41.00	77.00	53.00	2.61
A51	NS-L-401156	3.33	0.00	3.33	6.67	6.67	IV	55.00	66.00	84.00	5.99	48.00	63.00	75.00	4.26
A77	CH22172 / OBELIX 重复	10.00	36.67	6.67	53.33	53.33	II	21.00	57.00	37.00	1.84	59.00	78.00	76.00	4.25
A74	Christine	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	39.00	55.00	71.00	2.95	43.00	74.00	59.00	4.65
A73	Regina	6.67	13.33	0.00	20.00	20.00	IV	83.00	73.00	115.00	8.72	73.00	63.00	116.00	5.60
A38	TriaDa	3.33	30.00	13.33	46.67	51.85	II	37.00	65.00	56.00	3.61	47.00	85.00	56.00	5.57
A26	Buenos	13.33	0.00	0.00	13.33	14.81	IV	43.00	53.00	81.00	4.51	77.00	72.00	106.00	6.11
A71	Ancona	16.67	23.33	10.00	50.00	50.00	II	54.00	66.00	82.00	5.81	55.00	74.00	75.00	4.93
A2	CH21912 / PROTEIX	3.33	0.00	0.00	3.33	3.70	IV	77.00	68.00	112.00	8.61	50.00	78.00	64.00	5.44
A72	Angelica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	73.00	73.00	100.00	8.22	73.00	85.00	86.00	6.01
A49	NS-L-401088	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	63.00	72.00	88.00	7.27	74.00	60.00	124.00	3.32
A11	Atlanta	0.00	10.00	0.00	10.00	11.11	IV	66.00	60.00	110.00	7.80	41.00	69.00	59.00	7.14
A4	CH22177 / GALICE	0.00	3.33	0.00	3.33	3.33	IV	35.00	61.00	58.00	3.48	54.00	68.00	80.00	4.46
A34	GK SPIRIT	0.00	6.67	0.00	6.67	6.67	IV	76.00	64.00	118.00	7.48	64.00	65.00	98.00	6.93
A36	Khutorianochka	3.33	10.00	0.00	13.33	13.33	IV	53.00	48.00	111.00	5.50	59.00	80.00	73.00	4.74
A3	CH22138 / AMANDINE	0.00	33.33	13.33	46.67	46.67	II	58.00	71.00	82.00	5.56	49.00	79.00	62.00	5.29
A75	GL Hermine	0.00	66.67	20.00	86.67	86.67	I	70.00	77.00	91.00	7.46	47.00	75.00	63.00	4.73
A70	Alexa	0.00	23.33	0.00	23.33	23.33	III	81.00	73.00	110.00	9.03	70.00	84.00	83.00	7.31
A10	CH50051 / PACO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	53.00	71.00	74.00	5.48	55.00	67.00	82.00	7.44
A33	GK MEDAL	0.00	0.00	3.33	3.33	3.70	IV	73.00	69.00	106.00	7.37	69.00	90.00	77.00	5.59
A68	Abelina	3.33	0.00	3.33	6.67	6.67	IV	69.00	57.00	122.00	8.89	58.00	78.00	75.00	5.65
A55	Valjevka	0.00	3.33	0.00	3.33	3.33	IV	48.00	60.00	79.00	4.67	48.00	67.00	71.00	4.50

代号 Code	名称 Name	人工耐冷鉴定结果 Artificial cold resistance identification results						黑河田间验证试验 Heihe field validation experiment				呼伦贝尔田间验证试验 Hulun Buir field validation experiment			
		前期出苗率 (%)	中期出苗率 (%)	后期出苗率 (%)	最终出苗率 (%)	相对出苗率 (%)	聚类结果 Clustering results	耐冷最终 出苗率	对照最终 出苗率	相对出 苗率	出苗指数 均值	耐冷最终 出苗率	对照最终 出苗率	相对出 苗率	出苗指数 均值
		EER	MTER	FER	FEP	RFEP		CTFEP	CKFEP	RFEP	Mean value of EI	CTFEP	CKFEP	RFEP	Mean value of EI
A28	ES Senator	33.33	50.00	3.33	86.67	86.67	I	88.00	53.00	168.00	9.53	50.00	76.00	66.00	6.05
A25	BLANCAS	36.67	6.67	3.33	46.67	46.67	II	74.00	57.00	131.00	7.21	54.00	74.00	73.00	6.94
A64	Victoria	6.67	16.67	0.00	23.33	25.93	III	81.00	79.00	102.00	8.24	44.00	76.00	58.00	4.45
A19	AMMA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	58.00	67.00	86.00	5.59	50.00	91.00	54.00	6.11
A17	ERICA	13.33	53.33	3.33	70.00	70.00	II	45.00	62.00	73.00	4.65	57.00	74.00	78.00	4.59
A50	NS-L-401145	16.67	26.67	6.67	50.00	50.00	II	71.00	63.00	112.00	7.00	63.00	65.00	97.00	6.13
A66	Amadea	6.67	23.33	3.33	33.33	37.04	III	71.00	71.00	100.00	7.75	59.00	82.00	72.00	6.30
A29	ES Gladiator	6.67	80.00	0.00	86.67	86.67	I	40.00	73.00	55.00	3.73	67.00	76.00	88.00	6.53
A13	ADA TD	0.00	23.33	0.00	23.33	23.33	III	73.00	73.00	101.00	8.55	75.00	84.00	89.00	6.55
A79	smsr 17046	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	100.00	73.00	136.00	11.82	68.00	81.00	84.00	6.60
A69	Albenga	0.00	3.33	13.33	16.67	18.52	IV	58.00	67.00	87.00	5.58	59.00	76.00	77.00	5.66
A22	Prana	3.33	0.00	0.00	3.33	3.70	IV	73.00	88.00	83.00	8.47	60.00	72.00	84.00	6.50
A78	SM SR16050	6.67	3.33	3.33	13.33	14.81	IV	52.00	74.00	70.00	4.83	58.00	78.00	75.00	5.84
A39	Vezha	0.00	6.67	0.00	6.67	7.41	IV	51.00	72.00	71.00	4.48	62.00	59.00	106.00	5.39
A7	CH22429	3.33	30.00	6.67	40.00	40.00	III	23.00	61.00	37.00	1.64	64.00	88.00	73.00	5.73
A35	PANNONIA KINCSE	20.00	16.67	0.00	36.67	36.67	III	57.00	55.00	103.00	5.47	67.00	76.00	88.00	5.09
A32	ES Mediator	3.33	0.00	0.00	3.33	3.70	IV	88.00	78.00	114.00	10.19	47.00	64.00	74.00	5.48
A9	CH50111	3.33	6.67	3.33	13.33	13.33	IV	21.00	68.00	31.00	1.89	67.00	71.00	94.00	5.48
A16	MIRUNA	20.00	6.67	0.00	26.67	26.67	III	42.00	73.00	57.00	3.93	67.00	69.00	98.00	5.16
A47	NS Atlas 重复	20.00	43.33	3.33	66.67	66.67	II	54.00	80.00	68.00	4.77	53.00	69.00	77.00	5.32
A67	Antonia	23.33	26.67	0.00	50.00	55.56	II	40.00	65.00	62.00	2.98	76.00	61.00	125.00	6.04
A65	AUGUSTA	6.67	93.33	0.00	100.00	100.00	I	71.00	88.00	81.00	7.58	81.00	84.00	96.00	5.36
A43	NS Atlas	13.33	6.67	6.67	26.67	26.67	III	63.00	76.00	84.00	5.78	51.00	69.00	74.00	5.24
A24	Avatar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	91.00	75.00	121.00	9.50	62.00	77.00	81.00	5.43
A15	FELIX	3.33	23.33	0.00	26.67	29.63	III	52.00	88.00	58.00	4.07	64.00	82.00	78.00	5.06
A6	CH21265 / ORION	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	68.00	72.00	95.00	7.56	53.00	74.00	72.00	5.61
A53	NS-L-501012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	63.00	68.00	91.00	5.30	59.00	71.00	83.00	4.06
A58	NS Kraljica	3.33	26.67	6.67	36.67	40.74	III	88.00	79.00	111.00	8.22	52.00	69.00	76.00	5.96
A20	Ananda	0.00	10.00	0.00	10.00	10.00	IV	58.00	67.00	87.00	5.54	79.00	84.00	94.00	5.89
A31	ES Indicator	3.33	23.33	0.00	26.67	26.67	III	72.00	72.00	100.00	6.58	45.00	71.00	64.00	4.67

代号 Code	名称 Name	人工耐冷鉴定结果 Artificial cold resistance identification results						黑河田间验证试验 Heihe field validation experiment				呼伦贝尔田间验证试验 Hulun Buir field validation experiment			
		前期出苗率 (%)	中期出苗率 (%)	后期出苗率 (%)	最终出苗率 (%)	相对出苗率 (%)	聚类结果 Clustering results	耐冷最终 出苗率	对照最终 出苗率	相对出 苗率	出苗指数 均值	耐冷最终 出苗率	对照最终 出苗率	相对出 苗率	出苗指数 均值
		EER	MTER	FER	FEP	RFEP		CTFEP	CKFEP	RFEP	Mean value of EI	CTFEP	CKFEP	RFEP	Mean value of EI
A41	Favorit	6.67	23.33	0.00	30.00	33.33	III	39.00	73.00	53.00	3.41	75.00	86.00	88.00	7.10
A27	Guru	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	64.00	79.00	81.00	6.36	70.00	70.00	99.00	6.31
A23	ADONAI	3.33	16.67	0.00	20.00	20.00	IV	30.00	61.00	49.00	2.71	58.00	68.00	85.00	5.88
A76	Josefine	0.00	93.33	0.00	93.33	93.33	I	83.00	75.00	110.00	9.15	60.00	85.00	71.00	6.34
A14	CRISTINA TV	0.00	26.67	0.00	26.67	26.67	III	76.00	63.00	121.00	7.66	61.00	68.00	91.00	5.08
A21	BAHIA	3.33	10.00	3.33	16.67	16.67	IV	87.00	69.00	125.00	8.75	44.00	67.00	65.00	5.54
A45	NS Mercury	0.00	56.67	3.33	60.00	60.00	II	74.00	78.00	96.00	8.36	33.00	72.00	46.00	5.98
A63	Ventis	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	30.00	68.00	44.00	2.82	31.00	60.00	52.00	4.84
A30	ES Tenor	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	18.00	53.00	33.00	1.66	65.00	89.00	73.00	5.97
A57	NS HOGAR	0.00	6.67	0.00	6.67	6.67	IV	53.00	78.00	68.00	4.35	70.00	55.00	127.00	4.33
A18	PEPITA	13.33	43.33	0.00	56.67	56.67	II	88.00	78.00	113.00	10.26	69.00	83.00	83.00	6.33
A46	NS Princeza	26.67	10.00	3.33	40.00	40.00	III	85.00	64.00	132.00	9.75	49.00	69.00	71.00	5.60
A54	Tajfun	50.00	46.67	3.33	100.00	100.00	I	75.00	59.00	127.00	8.67	63.00	73.00	86.00	6.99
A48	NS-L-201458	13.33	66.67	3.33	83.33	83.33	I	72.00	67.00	107.00	6.55	57.00	83.00	69.00	5.52
A60	Sava	0.00	0.00	6.67	6.67	6.67	IV	46.00	76.00	60.00	3.95	44.00	74.00	60.00	3.82
A56	NS Fantast	26.67	33.33	3.33	63.33	63.33	II	75.00	79.00	95.00	7.19	54.00	66.00	81.00	6.82
A42	Galina	0.00	30.00	10.00	40.00	40.00	III	54.00	77.00	71.00	4.81	59.00	78.00	76.00	4.43
A5	CH22315 / MARQUISE	10.00	33.33	3.33	46.67	46.67	II	37.00	65.00	56.00	2.62	65.00	65.00	100.00	5.35
A62	Venera	16.67	16.67	6.67	40.00	44.44	III	78.00	73.00	106.00	7.28	63.00	71.00	90.00	5.53
A59	NS Zita	6.67	23.33	3.33	33.33	33.33	III	68.00	71.00	96.00	6.45	57.00	70.00	81.00	5.27
A8	CH22015 / CASTETIS	20.00	3.33	3.33	26.67	26.67	III	18.00	49.00	36.00	1.13	33.00	64.00	51.00	5.66
A12	Mavka	20.00	26.67	3.33	50.00	50.00	II	41.00	59.00	69.00	3.34	48.00	64.00	75.00	4.12
A61	Trijumf	0.00	23.33	0.00	23.33	25.93	III	39.00	57.00	69.00	3.60	69.00	68.00	101.00	3.53
A52	NS-L-401157	66.67	20.00	6.67	93.33	93.33	I	58.00	72.00	80.00	6.04	61.00	86.00	71.00	7.20
A44	NS Maximus	20.00	26.67	3.33	50.00	50.00	II	72.00	75.00	96.00	6.64	49.00	67.00	73.00	5.40
C68	北豆 40	53.33	13.33	0.00	66.67	66.67	II	58.00	59.00	97.00	6.08	33.00	66.00	50.00	4.43
C75	北丰 17	6.67	16.67	0.00	23.33	23.33	III	33.00	59.00	56.00	2.34	69.00	73.00	95.00	3.55
C59	北丰 16	46.67	20.00	3.33	70.00	70.00	II	69.00	49.00	141.00	7.09	50.00	80.00	62.00	3.72
C63	黑河 5 号	33.33	50.00	3.33	86.67	86.67	I	64.00	67.00	96.00	6.82	55.00	67.00	83.00	4.94
C9	黑河 49	20.00	33.33	0.00	53.33	53.33	II	26.00	60.00	43.00	2.27	56.00	69.00	81.00	3.61

代号 Code	名称 Name	人工耐冷鉴定结果 Artificial cold resistance identification results						黑河田间验证试验 Heihe field validation experiment				呼伦贝尔田间验证试验 Hulun Buir field validation experiment			
		前期出苗率 (%)	中期出苗率 (%)	后期出苗率 (%)	最终出苗率 (%)	相对出苗率 (%)	聚类结果 Clustering results	耐冷最终 出苗率	对照最终 出苗率	相对出 苗率	出苗指数 均值	耐冷最终 出苗率	对照最终 出苗率	相对出 苗率	出苗指数 均值
		EER	MTER	FER	FEP	RFEP		CTFEP	CKFEP	RFEP	Mean value of EI	CTFEP	CKFEP	RFEP	Mean value of EI
C67	克豆 28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	44.00	60.00	74.00	4.34	60.00	74.00	81.00	4.06
C69	华疆 1 号	16.67	0.00	0.00	16.67	16.67	IV	71.00	65.00	109.00	8.51	55.00	70.00	79.00	4.35
C10	东农 55	10.00	6.67	0.00	16.67	16.67	IV	16.00	51.00	31.00	1.28	58.00	92.00	63.00	4.92
C28	绥农 26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	13.00	43.00	31.00	0.80	50.00	81.00	62.00	2.91
C37	黑河 39	10.00	13.33	0.00	23.33	23.33	III	37.00	58.00	63.00	3.32	54.00	74.00	73.00	3.95
C39	合丰 55	3.33	0.00	0.00	3.33	3.33	IV	50.00	64.00	78.00	4.82	59.00	65.00	91.00	3.94
C6	黑河 43	16.67	33.33	0.00	50.00	50.00	II	67.00	67.00	100.00	6.68	71.00	81.00	87.00	6.29
C3	东农 58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	77.00	57.00	135.00	8.13	72.00	70.00	103.00	4.71
C35	合丰 35	3.33	6.67	3.33	13.33	13.33	IV	10.00	43.00	24.00	0.76	61.00	71.00	86.00	3.93
C61	丰收 26	0.00	6.67	0.00	6.67	7.41	IV	40.00	67.00	60.00	4.13	55.00	81.00	67.00	3.93
C50	垦保 1 号	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	40.00	61.00	66.00	4.30	67.00	78.00	85.00	3.68
C29	绥农 27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	13.00	51.00	26.00	1.25	75.00	70.00	107.00	5.33
C79	黑农 22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	67.00	63.00	107.00	7.89	55.00	78.00	71.00	5.06
C76	北丰 4 号	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	53.00	62.00	85.00	5.92	58.00	95.00	61.00	5.00
C23	登科 2 号	0.00	20.00	0.00	20.00	20.00	IV	33.00	58.00	57.00	3.37	64.00	79.00	82.00	5.07
C21	克山 1 号	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	13.00	43.00	31.00	1.47	59.00	89.00	66.00	4.43
C38	合丰 48	0.00	10.00	0.00	10.00	10.00	IV	17.00	53.00	31.00	1.64	50.00	76.00	66.00	4.08
C57	丰收 25	30.00	30.00	16.67	76.67	76.67	I	38.00	59.00	65.00	3.68	63.00	70.00	89.00	5.82
C56	丰收 22	6.67	3.33	0.00	10.00	10.00	IV	50.00	62.00	81.00	5.42	56.00	93.00	60.00	4.85
C70	丰收 12	6.67	13.33	6.67	26.67	26.67	III	68.00	68.00	100.00	7.65	65.00	76.00	86.00	6.00
C73	丰收 11	0.00	13.33	0.00	13.33	14.81	IV	46.00	59.00	77.00	4.55	39.00	78.00	50.00	5.96
C74	丰收 13	0.00	60.00	6.67	66.67	66.67	II	72.00	58.00	125.00	7.37	43.00	87.00	49.00	5.48
C24	蒙豆 30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	55.00	51.00	108.00	5.23	60.00	67.00	89.00	4.62
C36	合农 61	10.00	33.33	10.00	53.33	53.33	II	64.00	56.00	115.00	6.29	60.00	87.00	68.00	6.38
C7	黑河 36	20.00	10.00	0.00	30.00	30.00	III	49.00	53.00	94.00	5.27	58.00	94.00	61.00	5.69
C14	黑河 45	3.33	10.00	0.00	13.33	13.33	IV	38.00	49.00	78.00	4.16	35.00	81.00	43.00	5.92
C22	登科 1 号	23.33	13.33	0.00	36.67	36.67	III	13.00	52.00	24.00	0.97	49.00	82.00	60.00	4.79
C26	绥农 23	10.00	0.00	0.00	10.00	11.11	IV	59.00	60.00	99.00	6.89	49.00	70.00	70.00	4.78
C15	黑河 52	0.00	10.00	3.33	13.33	13.33	IV	49.00	65.00	76.00	5.24	53.00	78.00	68.00	6.00
C65	北豆 44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	58.00	61.00	96.00	6.26	58.00	81.00	72.00	5.10

代号 Code	名称 Name	人工耐冷鉴定结果 Artificial cold resistance identification results						黑河田间验证试验 Heihe field validation experiment				呼伦贝尔田间验证试验 Hulun Buir field validation experiment			
		前期出苗率 (%)	中期出苗率 (%)	后期出苗率 (%)	最终出苗率 (%)	相对出苗率 (%)	聚类结果 Clustering results	耐冷最终 出苗率	对照最终 出苗率	相对出 苗率	出苗指数 均值	耐冷最终 出苗率	对照最终 出苗率	相对出 苗率	出苗指数 均值
		EER	MTER	FER	FEP	RFEP		CTFEP	CKFEP	RFEP	Mean value of EI	CTFEP	CKFEP	RFEP	Mean value of EI
C54	黑河 51	3.33	3.33	0.00	6.67	6.67	IV	48.00	57.00	85.00	5.11	54.00	63.00	85.00	6.13
C25	绥农 22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	35.00	43.00	81.00	3.50	55.00	78.00	70.00	4.87
C1	东农 54	0.00	3.33	0.00	3.33	3.33	IV	83.00	33.00	248.00	8.92	66.00	82.00	80.00	5.37
C8	黑河 44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	41.00	60.00	68.00	3.98	49.00	74.00	66.00	4.88
C42	合丰 39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	4.00	39.00	11.00	0.18	59.00	68.00	86.00	2.95
C2	东农 53	3.33	0.00	0.00	3.33	3.33	IV	15.00	46.00	33.00	1.81	49.00	95.00	52.00	4.71
C66	丰收 27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	15.00	58.00	26.00	1.34	75.00	85.00	88.00	5.14
C12	合丰 51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	51.00	63.00	81.00	4.93	53.00	76.00	70.00	5.01
C49	垦农 36	20.00	6.67	0.00	26.67	29.63	III	47.00	53.00	88.00	4.43	50.00	91.00	55.00	5.45
C31	绥农 32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	18.00	48.00	36.00	0.97	63.00	88.00	71.00	4.15
C4	东农 50	0.00	33.33	3.33	36.67	36.67	III	50.00	66.00	76.00	4.69	64.00	73.00	87.00	4.75
C58	垦丰 20	0.00	6.67	0.00	6.67	6.67	IV	29.00	48.00	61.00	2.35	64.00	78.00	82.00	3.66
C47	合农 62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	33.00	52.00	65.00	3.70	69.00	72.00	97.00	5.01
C72	合丰 54	20.00	16.67	0.00	36.67	40.74	III	28.00	52.00	53.00	2.45	47.00	85.00	55.00	4.03
C53	黑河 48	20.00	6.67	6.67	33.33	33.33	III	28.00	61.00	45.00	2.87	43.00	90.00	48.00	4.37
C32	绥农 33	6.67	10.00	3.33	20.00	20.00	IV	20.00	53.00	38.00	1.79	53.00	95.00	55.00	4.58
C17	黑农 61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	21.00	53.00	39.00	1.59	46.00	70.00	66.00	5.85
C30	绥农 29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	28.00	67.00	42.00	2.78	57.00	72.00	79.00	5.07
C41	黑农 52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	19.00	49.00	39.00	1.92	59.00	85.00	69.00	5.07
C78	绥农 7 号	3.33	0.00	0.00	3.33	3.33	IV	41.00	45.00	91.00	3.73	47.00	86.00	54.00	3.80
C13	东农 51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	19.00	48.00	40.00	1.82	65.00	86.00	75.00	5.40
C55	黑农 53	6.67	13.33	0.00	20.00	20.00	IV	62.00	61.00	101.00	6.64	64.00	73.00	88.00	4.72
C40	合农 60	10.00	13.33	3.33	26.67	26.67	III	35.00	73.00	48.00	3.73	71.00	74.00	96.00	5.26
C16	黑农 51	3.33	13.33	6.67	23.33	23.33	III	8.00	53.00	16.00	0.76	34.00	80.00	42.00	4.60
C18	黑农 64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	30.00	53.00	57.00	3.13	74.00	74.00	99.00	5.67
C34	绥农 35	3.33	3.33	0.00	6.67	6.67	IV	43.00	60.00	72.00	4.44	68.00	88.00	78.00	6.25
C43	合丰 56	3.33	0.00	3.33	6.67	6.67	IV	39.00	66.00	60.00	4.34	57.00	82.00	69.00	5.13
C51	垦丰 16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	33.00	53.00	63.00	3.64	47.00	73.00	64.00	3.49
C27	绥农 24	3.33	6.67	0.00	10.00	10.00	IV	33.00	40.00	83.00	3.99	59.00	87.00	68.00	5.03
C46	合丰 57	0.00	0.00	10.00	10.00	10.00	IV	14.00	49.00	29.00	1.71	61.00	78.00	78.00	5.38

代号 Code	名称 Name	人工耐冷鉴定结果 Artificial cold resistance identification results						黑河田间验证试验 Heihe field validation experiment				呼伦贝尔田间验证试验 Hulun Buir field validation experiment			
		前期出苗率 (%)	中期出苗率 (%)	后期出苗率 (%)	最终出苗率 (%)	相对出苗率 (%)	聚类结果 Clustering results	耐冷最终 出苗率	对照最终 出苗率	相对出 苗率	出苗指数 均值	耐冷最终 出苗率	对照最终 出苗率	相对出 苗率	出苗指数 均值
		EER	MTER	FER	FEP	RFEP		CTFEP	CKFEP	RFEP	Mean value of EI	CTFEP	CKFEP	RFEP	Mean value of EI
C45	合丰 50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	44.00	66.00	67.00	4.58	50.00	84.00	59.00	3.57
C64	北豆 30	0.00	6.67	0.00	6.67	7.41	IV	27.00	53.00	50.00	2.42	45.00	81.00	55.00	4.68
C71	合丰 49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	69.00	65.00	106.00	6.89	60.00	72.00	84.00	4.30
C77	垦丰 13	20.00	30.00	0.00	50.00	50.00	II	59.00	63.00	93.00	5.53	65.00	86.00	76.00	5.12
C20	吉育 95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	33.00	73.00	45.00	3.06	63.00	68.00	92.00	4.85
C44	合农 59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	40.00	68.00	59.00	3.36	44.00	75.00	59.00	4.62
C60	垦丰 17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	36.00	63.00	57.00	2.97	63.00	78.00	81.00	5.49
C11	黑农 68	3.33	6.67	0.00	10.00	10.00	IV	28.00	73.00	39.00	2.01	59.00	67.00	88.00	5.56
C5	东农 52	20.00	13.33	3.33	36.67	36.67	III	49.00	66.00	75.00	4.98	57.00	88.00	65.00	5.06
C19	黑农 69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	57.00	65.00	87.00	6.54	54.00	76.00	72.00	6.47
C62	合丰 53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	38.00	64.00	58.00	4.06	45.00	68.00	66.00	3.98
C33	绥农 34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	IV	4.00	38.00	11.00	0.30	63.00	85.00	75.00	4.60
C52	黑农 63	13.33	0.00	0.00	13.33	13.33	IV	51.00	50.00	102.00	5.37	61.00	80.00	76.00	4.81
C48	合农 58	10.00	13.33	0.00	23.33	23.33	III	28.00	88.00	32.00	2.58	53.00	72.00	74.00	3.13