



大豆种质资源芽期耐低温综合评价及筛选

郑莉萍^{1,2}, 张云峰², 蒋洪蔚², 王明亮², 邱红梅², 孙星邈², 朴锦¹, 王曙明²

(1. 延边大学 农学院, 吉林 延吉 133002; 2. 吉林省农业科学院 大豆研究所/大豆国家工程研究中心, 吉林 长春 130033)

摘要: 种子活力高低直接影响大豆出苗质量, 进而影响大豆的高产与稳产。为应对近年来东北地区低温胁迫对大豆种子活力的影响日趋严重的问题, 筛选低温胁迫下高活力的种质资源, 本研究鉴定 335 份大豆资源芽期的耐低温性, 分别设置 6 ℃ 和 20 ℃ 处理, 测定发芽势、发芽率、发芽指数及各指标的差异性和相关性, 利用隶属函数法对这些资源进行综合评价。结果表明: 6 ℃ 低温处理降低大豆种子的发芽势、发芽率和发芽指数, 且各指标在品种间差异显著 ($P < 0.01$); 相关性分析结果表明发芽势、发芽率和发芽指数彼此间在 0.01 水平上呈显著正相关, 且相关系数均大于 0.8; 隶属函数综合评价结果表明, 335 份大豆资源耐低温性存在不同程度差异; 聚类分析可将品种分为 3 类: 合农 97、吉林小粒豆 CK 和黑农 69 等 17 个品种耐低温性较强; 合农 76、SB8842 和垦鉴豆 43 等 161 个品种耐低温性次之; 公 05163-3、华庆豆 103 和龙黑大豆 1 号等 157 个品种耐低温性差。研究结果将为耐低温大豆品种的选育提供材料基础和理论依据。

关键词: 大豆; 芽期; 低温胁迫; 萌发; 隶属函数法; 聚类分析

Comprehensively Evaluation and Screening on Low Temperature Tolerance of Soybean Germplasm Resources at Bud Stage

ZHENG Li-ping^{1,2}, ZHANG Yun-feng², JIANG Hong-wei², WANG Ming-liang², QIU Hong-mei², SUN Xing-miao², PIAO Jin¹, WANG Shu-ming²

(1. Agronomy College, Yanbian University, Yanji 133002, China; 2. Soybean Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences/National Engineering Research Center for Soybean, Changchun 130033, China)

Abstract: Seed vigor directly affects the quality of soybean seedling, and then affects the high and stable yield of soybean. In order to deal with the problem of low temperature stress on soybean seed vigor in northeast China in recent years, and screen the germplasm resources with high vigor under low temperature stress, in this study, the low temperature resistance of the budding stage of 335 soybean resources were identified and treated at 6 ℃ and 20 ℃ respectively. The germination energy, germination rate and germination index were determined, and the difference and correlation of indexes were analyzed. Then, the membership function method was used to comprehensively evaluate these resources. The results showed that: 6 ℃ low temperature treatment reduced the germination energy, germination rate and germination index of soybean seeds, each index was significantly different among different varieties. The results of correlation analysis showed that the germination energy, germination rate and germination index were significantly positively correlated at the level of 0.01, and the correlation number was greater than 0.8. The comprehensive evaluation of membership function and cluster analysis results showed that 335 soybean varieties had significant differences. The cluster analysis of 335 soybean resources could be divided into three categories: 17 varieties, such as Henong 97, Jilinxiaolidou CK and Heinong 69, had strong low temperature tolerance, 161 varieties, such as Henong 76, sb8842 and Kenjiandou 43 were the second, 157 varieties such as Gong 05163-3, Huaqingdou 103 and Longheidadou 1 had poor low temperature tolerance. These results would provide material and theoretical basis for breeding of low temperature resistant soybean varieties.

Keywords: Soybean; Bud stage; Low temperature stress; Germination; Membership function method; Cluster analysis

大豆 (*Glycine max*) 起源于中国, 是重要的粮油作物, 也是世界上最大的植物蛋白来源, 在全国各地均有种植。东北地区是大豆的主产区, 并且是中国受全球气温变化影响最显著的地区之一^[1,2]。低温胁迫是作物生长发育和产量形成过程中主要的

非生物胁迫因素之一^[3,4], 在大豆播种期常遇阶段性低温, 严重影响大豆种子的萌发, 进而影响大豆的产量, 而且严重限制了大豆品种的分布和推广^[2,5]。近年来随着东北地区春季低温天气的频繁出现, 推广多年的品种也会表现出种子活力差、田

收稿日期: 2020-09-04

基金项目: 吉林省农业科技创新工程人才基金—研究生基金 (c02100413); 吉林省农业科技创新工程定向委托项目 (CXGC2020DX003); 2019 年度省科研院所引进高层次人才科技创新人才资助计划; 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-04-PS11)。

第一作者简介: 郑莉萍 (1997-), 女, 硕士, 主要从事大豆分子育种研究。E-mail: zlp2579509072@126.com。

通讯作者: 朴锦 (1973-), 女, 博士, 副教授, 主要从事药用植物栽培与育种研究。E-mail: piaojin@ybu.edu.cn;

王曙明 (1963-), 男, 博士, 研究员, 主要从事大豆遗传育种研究。E-mail: shumingw@263.net。

间出苗率低的问题。究其根本还在于现有的大量品种在低温胁迫条件下种子的活力弱。因此,通过筛选优异资源、培育耐性品种进而保障低温胁迫下大豆种子高活力是解决东北地区播期遭遇低温情况下大豆稳产的有效途径之一。

目前对作物在低温胁迫下的研究主要集中在水稻、小麦和番茄等作物上,对大豆种子耐低温萌发的研究相对较少^[6-10]。大豆对低温胁迫的反应表现在生理、生化等多个层面上,不能用单一指标评价大豆的耐低温性,所以关于筛选大豆芽期耐低温种质资源的研究主要是通过生理生化、形态以及理化指标等方面进行鉴定分析,进而筛选出所需要的耐低温大豆资源^[11]。张大伟等^[12]在低温胁迫下测定12个大豆品种萌发期的相对电导率、丙二醛、脯氨酸以及可溶性糖的含量,筛选出5个耐低温性强的品种。单彩云^[13]将相对发芽率作为耐低温指标,从470份大豆资源中筛选出89份耐低温性强的资源。低温胁迫会影响大豆种子萌发的ROS平衡,破坏种子内部正常的生理代谢,MAD积累加快,导致细胞损伤甚至死亡^[14-15]。宋剑陶等^[16]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含量的增加幅度也越小。这些研究多注重通过生理、生化指标或单一的形态指标筛选耐低温大豆资源,同时通过发芽势、发芽率、发芽指数及隶属函数综合评价指标开展大豆耐低温性鉴定的报道较少,而以上形态指标鉴定相比生理生化指标鉴定更为便捷、高效。

本研究通过对335份大豆资源分别进行6℃和20℃处理,在其芽期测定发芽势、发芽率和发芽指数,进行差异性和相关性分析,最后利用隶属函数法和聚类分析法进行综合评价。筛选出耐低温性较好的大豆资源,为解决大豆低温条件下种子活力问题及耐低温品种的选育提供良好的参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为来自国内外的335份大豆资源,其中黑龙江省191份、吉林省76份、辽宁省3份、内蒙古自治区20份、南方1份以及国外44份。2019年将各品种在吉林省农科院公主岭试验基地内同一地点种植,均在材料完全成熟后收获,保存条件一致,确保不影响种子活力。

1.2 试验设计

根据蒋洪蔚等^[17]和胡国玉等^[18]的研究,设置6℃(胁迫)和20℃(对照)温度处理,每个处理

3次重复。每种材料分别选择大小一致、圆润饱满无病、虫害种子,用1%的次氯酸钠溶液消毒后,用蒸馏水漂洗3次,每40粒置于1个灭菌的9cm培养皿中,上下各铺1层灭菌滤纸,放入20℃培养箱吸胀12h后取出换水,胁迫组转入6℃培养箱,对照组继续在20℃培养箱中培养^[19]。2d后每隔1d调查发芽数,以芽长达到种脐1/2为发芽标准,连续处理6d。

分别测定各品种发芽势(Germination Energy, GE)、发芽率(Germination Rate, GR)和发芽指数(Germination Index, GI),并对种子活力较好和较差品种的各指标进行对比分析。比较不同种子活力相关指标时,较好的材料分别选择低温胁迫下各指标前5%大豆种质(17份);为使较差的材料具有普遍代表性,选择低温胁迫下3个指标均为后30%中相对较好的大豆种质(17份)为较差材料。

1.3 方法

1.3.1 种子活力相关指标的测定 $GE(\%) = (\text{前4 d内发芽种子数} / \text{供试种子数}) \times 100$; $GR(\%) = (\text{前6 d发芽种子数} / \text{供试种子数}) \times 100$; $GI = \sum (Gt / Dt)$,其中,Gt为在不同时间(2,4和6d)的发芽数;Dt为发芽日数^[20]。

1.3.2 耐低温性综合评价 采用隶属函数法对大豆耐低温性进行综合评定^[21],公式为: $\mu(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$,其中, X_j 为指标测定值, X_{\min} 和 X_{\max} 分别为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,表示该品种耐低温性越强。

1.4 数据分析

采用Excel 2007进行数据的录入、整理和计算,用SPSS 23.0进行t检验、方差分析、隶属函数分析以及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫对大豆种子发芽指标影响的分析

2.1.1 发芽势 335份大豆资源6℃和20℃处理下的发芽势测定结果见附表1。大豆种子在经过6℃低温处理后,合丰30、绥无腥豆2号等12个品种的发芽势为0,而吉林小粒豆的发芽势最高,为69.17%;6℃处理胁迫组和20℃处理对照组的发芽势均值分别为17.02%和75.90%,说明6℃低温可显著降低335份大豆资源的发芽势。胁迫组的发芽势变化幅度大于对照组(图1),说明用6℃低温处理335份大豆材料可以导致发芽势的显著差异,有利于筛选出芽期耐低温大豆材料。

20℃处理时发芽势较好和较差品种的发芽势均值分别为81.91%和84.56%,差异不显著;但

6 ℃ 处理后发芽势较好品种的发芽势均值为 54. 12%,发芽势较差品种的均值为 6. 37%。对胁迫组和对照组的两组数据分别进行 t 检验,胁迫组

发芽势在 $P<0.01$ 水平上差异显著,20 ℃ 对照处理下发芽势较好和较差两组的发芽势差异不显著(表 1),说明发芽势的差异是由低温引起的。

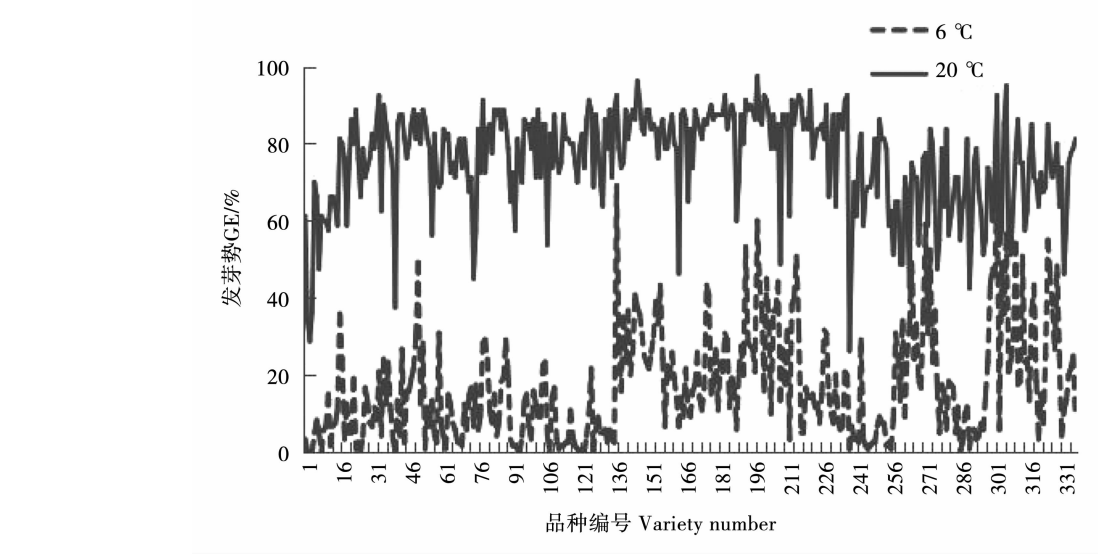


图 1 335 份大豆资源在 6 ℃ 和 20 ℃ 处理下的发芽势
Fig. 1 GE of 335 soybean resources at 6 ℃ and 20 ℃

表 1 发芽势较好和较差材料在不同温度处理下的发芽势

Table 1 GE of better and worse materials under different temperature treatments(%)

发芽势较好材料 Material with better GE			发芽势较差材料 Material with worse GE		
品种(系) Variety (Line)	6 ℃	20 ℃	品种(系) Variety (Line)	6 ℃	20 ℃
吉林小粒 Jilinxiaolidou	69. 17	92. 50	黑农 31 Heinong 31	5. 83	87. 50
合农 97 Henong 97	68. 33	92. 50	克豆 61 Kedou 61	0. 83	81. 25
合 9477F5 He 9477F5	60. 00	97. 50	合 00-584 He 00-584	0. 83	86. 25
合丰 52 Hefeng 52	59. 17	77. 50	垦丰 16 Kenfeng 16	7. 50	87. 50
黑农 69 Heinong 69	56. 67	95. 00	平安豆 49 Ping'andou 49	5. 00	86. 25
公 2002-339-2 Gong 2002-339-2	55. 00	85. 00	公 96179-7 Gong 96179-7	8. 33	86. 25
吉密豆 2 号 Jimidou 2	54. 17	77. 50	蒙豆 1137 Mengdou 1137	11. 67	87. 50
CΠ1271	53. 33	91. 25	吉育 303 Jiyu 303	5. 83	86. 25
吉林小粒豆 4 号 Jilinxiaolidou 4	52. 50	83. 75	吉林小粒豆 7 号 Jilinxiaolidou 7	9. 17	86. 25
BSR101	50. 83	90. 00	克豆 38 Kedou 38	12. 50	85. 00
军农 68 Junnong 68	50. 83	75. 00	吉育 108 Jiyu 108	7. 50	81. 25
东农 01003 Dongnong 01003	49. 17	87. 50	克 c14-732 Ke c14-732	0. 00	82. 50
中吉 605 Zhongji 605	49. 17	75. 00	垦丰 20 Kenfeng 20	10. 83	87. 50
黑农 61 Heinong 61	49. 17	57. 50	黑河 27 Heihe 27	2. 50	81. 25
SB8842	48. 33	80. 00	吉育 209 Jiyu 209	10. 83	81. 25
合农 85 Henong 85	47. 50	60. 00	黑农 37 Heinong 37	2. 50	81. 25
AsgrowA 1939	46. 67	75. 00	蒙豆 640 Mengdou 640	6. 67	82. 50

2. 1. 2 发芽率 335 份大豆资源 6 ℃ 和 20 ℃ 处理下的发芽率测定结果见附表 1。根据发芽率结果可知,6 ℃ 处理后品种间发芽率的变化幅度大于 20 ℃ 对照处理(图 2)。一些材料表现出低温敏感,如克

豆 64 和 Soja 77180 发芽率均为 5. 83%,而在对照处理中其发芽率分别为 81. 25% 和 82. 25%(附表 1)。胁迫处理时发芽率较好和较差大豆材料的发芽率均值分别为 75. 98% 和 23. 92%,在 $P<0.01$ 水

平上差异显著;对照处理时发芽率较好品种的发芽率均值为 89.63%,发芽率较差品种均值为 88.46%,差异不显著(表 2),说明发芽率的差异是

由低温引起的,发芽率是有效的芽期耐低温大豆的评价指标之一^[22]。

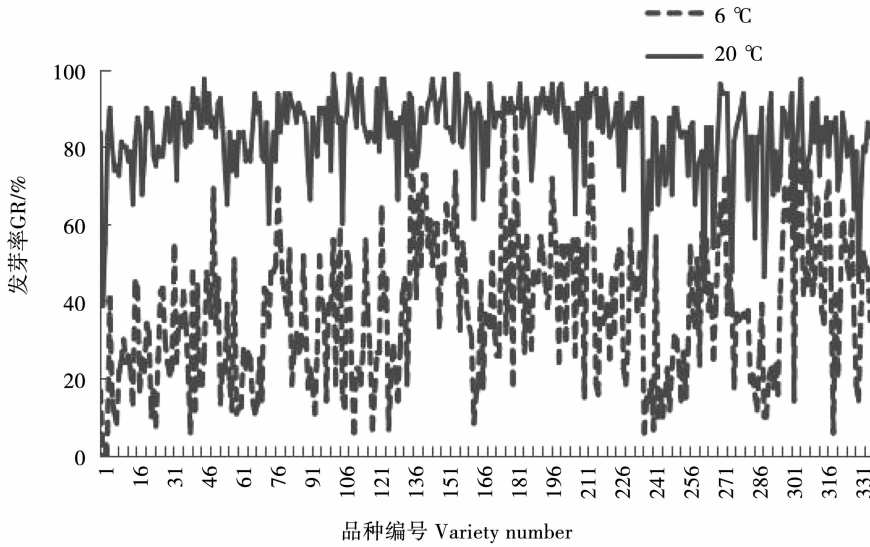


图 2 335 份大豆资源在 6 °C 和 20 °C 处理下的发芽率
Fig. 2 GR of 335 soybean resources at 6 °C and 20 °C

表 2 发芽率较好和较差材料不同温度处理下的发芽率

Table 2 GR of better and worse materials under different temperature treatments			(%)		
发芽率较好材料 Material with better GR			发芽率较差材料 Material with worse GR		
品种(系) Variety (Line)	6 °C	20 °C	品种(系) Variety (Line)	6 °C	20 °C
吉林小粒豆 Jiyuxiaolidou	88.33	92.50	黑农 31 Heinong 31	19.17	88.75
吉育 79 Jiyu 79	92.50	88.75	克豆 61 Kedou 61	18.33	87.50
垦鉴豆 43 Kenjiandou 43	87.50	90.00	合 00-584 He 00-584	13.33	92.50
合农 97 Henong 97	81.67	93.75	垦丰 16 Kenfeng 16	29.17	88.75
BSR101	80.83	93.75	平安豆 49 Ping'andou 49	34.17	90.00
黑农 69 Heinong 69	79.17	97.50	公 96179-7 Gong 96179-7	22.50	86.25
吉密豆 2 号 Jimidou 2	73.33	78.75	蒙豆 1137 Mengdou 1137	26.67	88.75
公 P04-2 Gong P04-2	73.33	98.75	吉育 303 Jiyu 303	28.33	87.50
Harlon	72.50	86.25	吉林小粒豆 7 号 Jilinxiaolidou 7	30.83	90.00
东农 59 Dongnong 59	72.50	86.25	克豆 38 Kedou 38	33.33	86.25
合 9477F5 He 9477F5	71.67	96.25	吉育 108 Jiyu 108	30.00	90.00
吉林小粒豆 4 号 Jilinxiaolidou 4	71.67	93.75	克 c14-732 Ke c14-732	12.50	86.25
绥农 26 Suinong 26	70.83	77.50	垦丰 20 Kenfeng 20	18.33	88.75
东农 01003 Dongnong 01003	69.17	87.50	黑河 27 Heihe 27	28.33	86.25
合农 76 Henong 76	69.17	88.75	吉育 209 Jiyu 209	25.83	88.75
Proto	69.17	93.75	黑农 37 Heinong 37	11.67	87.50
黑农 61 Heinong 61	68.33	80.00	蒙豆 640 Mengdou 640	24.17	90.00

2.1.3 发芽指数 参试 335 份大豆资源 6 °C 和 20 °C 处理下的发芽指数测定结果见附表 1。根据发芽指数结果可知,335 份大豆材料经过 6 d 的低温处理后,胁迫处理和对照处理的发芽指数均值分别为 4.68 和 21.47,差异显著,与发芽势和发芽率的

差异性一致,说明 6 °C 低温可显著降低供试材料的发芽势、发芽率和发芽指数。

在 6 °C 处理后,从 335 份大豆材料中筛选出发芽指数较好和较差大豆材料的发芽指数,均值分别为 12.83 和 2.30,差异显著;而对照处理下的均值

分别为 24.49 和 23.93,差异不显著(表 3)。两类材料在 6℃处理前后发芽指数变化差异也较大。发芽指数较高的材料中对照处理后发芽指数最高的是吉林小粒豆,为 31.67,低温处理后,发芽指数最高的材料是合农 97,为 17.28;发芽指数较差的材料对照处理后发芽指数最高的品种是蒙豆 1137,为 28.92,低温处理后,发芽指数最高的材料为吉林小粒豆 7 号和克豆 38,仅为 3.47(表 3)。对照组和胁

迫组之间发芽指数的差异表明,发芽较好和较差的大豆品种经过低温处理后,种子活力在一定程度上均有所降低。发芽指数较好材料的降低程度整体小于发芽指数较差材料。结合发芽势和发芽率结果,说明筛选的耐低温材料和敏感材料在低温处理前的种子活力相近,在 6℃低温刺激下才表现出差异。

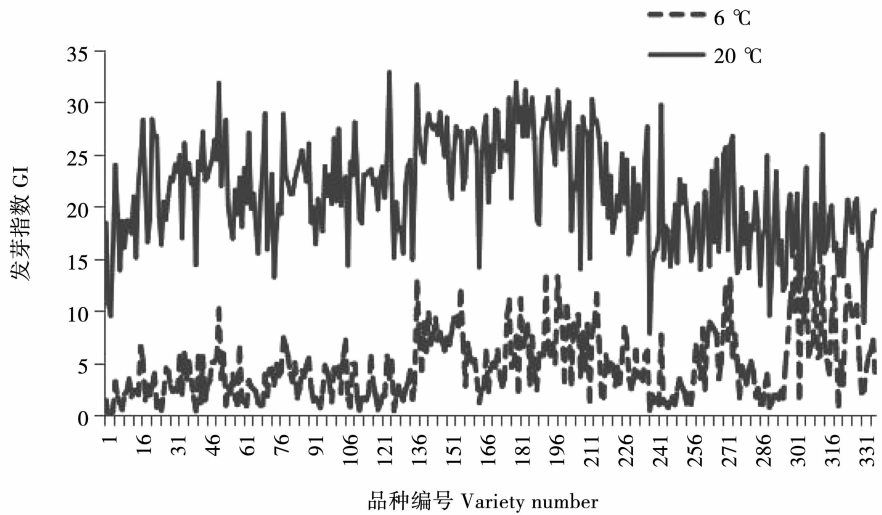


图 3 335 份大豆资源在 6℃和 20℃处理下的发芽指数
Fig. 3 GI of 335 soybean resources at 6℃ and 20℃

表 3 发芽指数较好和较差份材料不同温度处理下的发芽指数

发芽指数较好材料 Material with better GI			发芽指数较差材料 Material with worse GI		
品种(系) Variety (Line)	6℃	20℃	品种(系) Variety (Line)	6℃	20℃
吉林小粒豆 Jilinxiaolidou	12.81	31.67	黑农 31 Heinong 31	1.86	20.42
合农 97 Henong 97	17.28	21.25	克豆 61 Kedou 61	1.31	20.71
军农 68 Junnong 68	14.19	26.92	合 00-584 He 00-584	0.97	28.29
吉密豆 2 号 Jimidou 2	13.64	20.25	垦丰 16 Kenfeng 16	3.36	23.67
合 9477F5 He 9477F5	13.28	31.17	平安豆 49 Ping'andou 49	2.78	28.38
CΠ1271	13.28	28.54	公 96179-7 Gong 96179-7	2.33	23.38
绥农 26 Suinong 26	13.22	15.79	蒙豆 1137 Mengdou 1137	2.94	28.92
黑农 69 Heinong 69	13.11	23.75	吉育 303 Jiyu 303	2.47	21.96
吉林小粒豆 4 号 Jilinxiaolidou 4	13.03	25.88	吉林小粒豆 7 号 Jilinxiaolidou 7	3.47	22.63
合农 85 Henong 85	12.64	15.25	克豆 38 Kedou 38	3.47	23.25
公 2002-339-2 Gong 2002-339-2	12.39	20.67	吉育 108 Jiyu 108	2.75	20.38
合丰 52 Hefeng 52	12.25	25.67	克 c14-732 Ke c14-732	0.83	24.25
公 P04-2 Gong P04-2	11.89	27.21	垦丰 20 Kenfeng 20	2.31	28.17
BSR101	11.64	28.25	黑河 27 Heihe 27	2.14	23.38
垦鉴豆 43 Kenjiandou 43	11.17	29.50	吉育 209 Jiyu 209	2.81	26.29
黑农 61 Heinong 61	11.14	14.08	黑农 37 Heinong 37	1.03	20.21
吉育 79 Jiyu 79	11.08	30.42	蒙豆 640 Mengdou 640	2.28	22.50

2.2 不同温度处理下大豆芽期耐低温性综合评价

2.2.1 各指标均值差异性分析 对 335 份大豆资源在经过低温处理后 3 个指标的方差分析如表 4 所示,发芽势、发芽率和发芽指数在各个品种间差异均达到显著水平,均值分别为 17.02%、36.67% 和 4.68,各性状变异系数为 50.10% ~ 83.90%,具体表现为发芽势 > 发芽指数 > 发芽率。在对照组中,3 项指标均值分别为 75.90%、83.23% 和 21.47,变

异系数为 12.51% ~ 23.06%,具体表现为发芽指数 > 发芽势 > 发芽率。结合 335 份大豆品种的 3 个性状指标在胁迫前后的变异系数,所有大豆材料的耐低温性指标在整体上表现出较大的差异,说明在 6℃处理下,发芽势、发芽率和发芽指数适合作为筛选耐低温大豆资源的指标,并且发芽势和发芽指数较发芽率更好。

表 4 低温胁迫下大豆 3 个形态指标均值的差异性分析

Table 4 Mean difference analysis of three morphological indexes of soybean under low temperature stress				
处理 Treatment	项目 Item	发芽势 GE/%	发芽率 GR/%	发芽指数 GI
6℃	最大值 Max.	69.17	92.50	17.28
	最小值 Min.	0.00	0.00	0.00
	均值 Mean	17.02**	36.67**	4.68**
	标准差 SD	14.28	18.37	3.19
	变异系数 CV/%	83.90	50.10	68.16
20℃	最大值 Max.	97.5	98.75	32.88
	最小值 Min.	25.26	38.75	7.88
	均值 Mean	75.90**	83.23**	21.47**
	标准差 SD	12.71	10.41	4.95
	变异系数 CV/%	16.75	12.51	23.06

** 表示在 $P\leq0.01$ 水平上显著差异。下同。
** indicates significant difference at $P\leq0.01$ level. The same below.

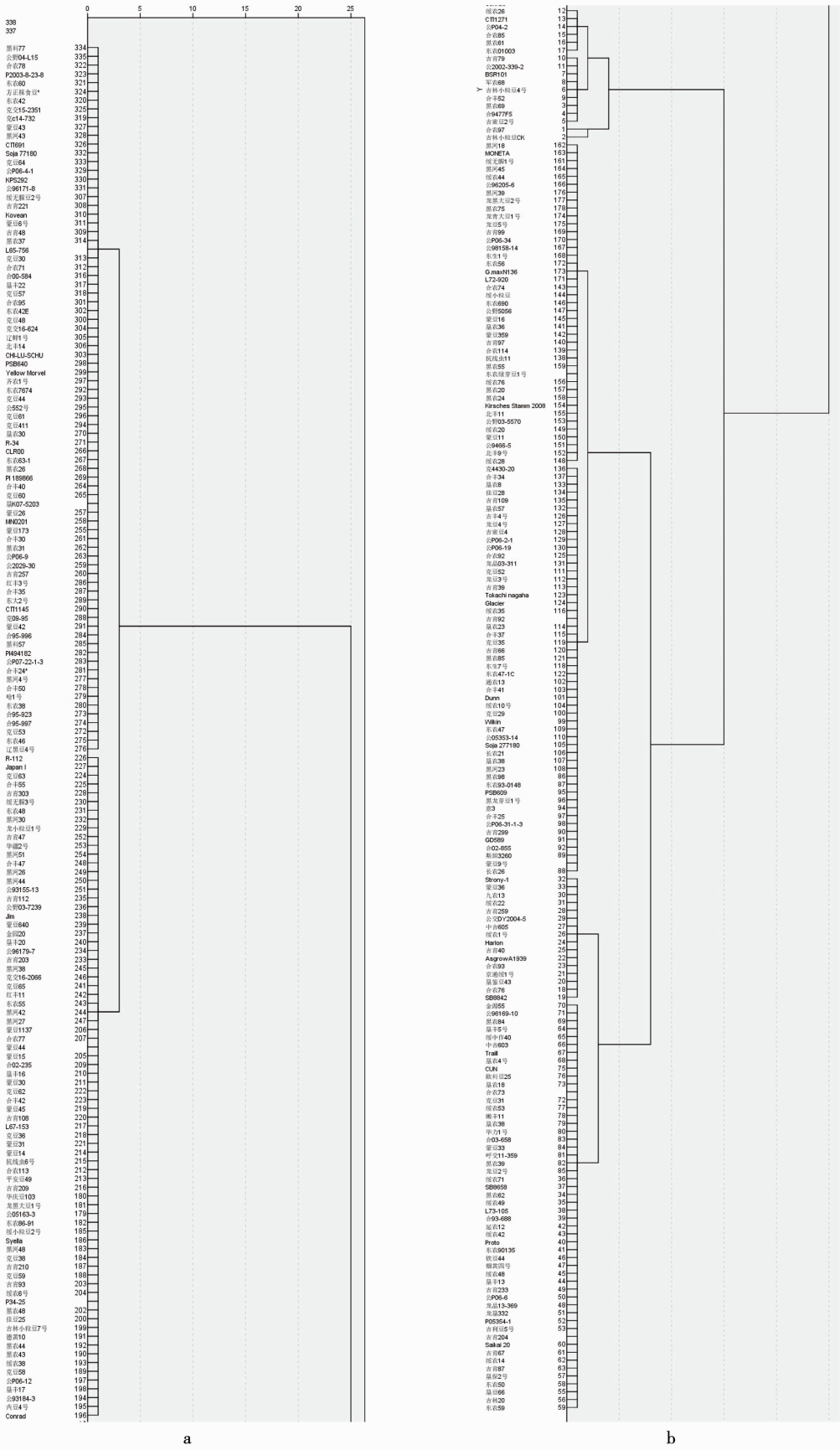
2.2.2 各指标相关性分析 低温处理后的 335 份大豆 3 个性状指标的相关性分析结果如表 5 所示,发芽势、发芽率及发芽指数 3 个性状在 $P\leq0.01$ 水平上分别两两显著相关,相关系数均大于 0.8,其中发芽势和发芽指数的相关性最高,相关系数可达 0.955,发芽率和发芽指数的相关性次之,相关系数为 0.915。同时,因为发芽势和发芽指标间的相关性可达 0.955,说明进行耐低温品种筛选时,为提高鉴定效率只测定发芽势或发芽指数中的 1 项指标即可。

表 5 大豆各性状之间的相关系数

Table 5 Correlation matrix of different characteristics			
参数 Parameter	发芽势 GE	发芽率 GR	发芽指数 GI
发芽势 GE	1		
发芽率 GR	0.834**	1	
发芽指数 GI	0.955**	0.915**	1

2.2.3 各指标隶属函数值分析 3 个性状指标的平均隶属函数值为 0.24 ~ 0.40,说明 335 份大豆资源多数对 6℃低温表现敏感。各品种的平均隶属函数值为 0.00 ~ 0.96,在全部大豆品种间在低温 6℃低温处理下表现差异极大;其中合农 97 号品种的发芽势、发芽率和发芽指数的隶属函数值均大于 0.85,且发芽指数隶属函数值为 1,平均隶属函数值最高,为 0.96,综合评价其耐低温性最好。

根据平均隶属函数值进行聚类分析,在欧式遗传距离 $D=10$ 左右,可将 335 份大豆资源分成 3 类:合农 97、吉林小粒豆 CK 和黑农 69 等 17 个品种耐低温性较强,为第 I 类型,占总体材料的 5.07%;合农 76、SB8842 和垦鉴豆 43 等 161 个品种耐低温性次之,为第 II 类型,占总体材料的 48.06%;公 05163-3、华庆豆 103 和龙黑大豆 1 号等 157 个品种耐低温性较差,为第 III 类型,占总体材料的 46.87%,为低温敏感材料(图 4)。



a 和 b 是同一张聚类分析图,a 为上半部分,b 为下半部分。
a and b are the same cluster analysis diagram, a is the upper part, b is the lower part.

图 4 335 份大豆资源种子发芽形态指标的聚类分析图
Fig. 4 Cluster analysis diagram of 335 soybean resources

3 讨论

发芽势、发芽率和发芽指数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^[23]。335 份大豆品种受到低温胁迫后,发芽势、发芽率和发芽指数 3 项性状指标均有所下降,就同一指标而言,不同材料下降程度显著不同,说明不同材料芽期低温处理后的种子活力存在显著差异。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,最终造成作物产量的下降。本研究对 335 份大豆种质进行 6℃ 低温处理,根据得到的发芽势、发芽率和发芽指数,最后进行综合评定,筛选出耐低温性较好的品种。研究结果显示,将发芽势、发芽率和发芽指数经过排序得到的数值靠前资源和靠后资源的胁迫值与其对照值分别进行比较,发现两组数据在 6℃ 低温胁迫下差异显著,而其对照值差异不显著,可以说明这些大豆资源在正常温度下种子活力相近,在 6℃ 处理后才表现出对低温耐性与敏感性的差异。低温处理后不同大豆品种间的发芽势、发芽率以及发芽指数均存在显著差异,而且 3 项性状指标的均值之间呈现显著相关,说明所用的大豆材料在低温处理后表现出品种间的差异和同一品种性状间的相关性。研究结果有利于筛选出耐低温性较好和对低温敏感的大豆资源。

目前,用于鉴定大豆种子耐低温性的指标包括形态、生理和生化指标等。顾增辉等^[24]为筛选大豆耐冷性生理生化指标,对 12 个大豆品种进行冷浸处理,结果显示 ATP 含量和电导率大小可以作为大豆抗冷性的评价指标。低温影响种子萌发的表型性状是多方面,所以在进行大豆种子的耐低温性评价时需要将各个指标进行综合考虑^[12],隶属函数分析方法为植物抗逆性的综合评定提供了重要的途径。本研究利用隶属函数法,将发芽势、发芽率和发芽指数作为综合评价指标,最终利用平均隶属函数值进行综合评价,隶属函数值越大,表明该大豆品种耐低温能力越强。最后将 335 份大豆资源进行聚类分析,分成 3 类,第Ⅰ类的 17 份材料耐低温性较强;第Ⅱ类的 161 份材料耐低温性次之;第Ⅲ类为 157 份低温敏感材料。对 335 份大豆资源发芽势、发芽率和发芽指数 3 项性状指标的平均隶属函数值进行

排序,根据隶属函数法和聚类分析法筛选出耐低温性较好的品种,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综合影响,可减少单一性状指标评价大豆耐低温性的片面性,提高了大豆芽期耐低温筛选的可靠性。

本研究中,当试验调查天数延长至 8 d 时,所有大豆材料的发芽率、发芽指数以及平均隶属函数值均发生改变,筛选出处理时间分别为 6 和 8 d 的耐低温大豆材料,对比显示前 5% 的 17 份资源中有 16 份是共有的,只是排序有细微的差异。说明本研究通过 6 d 的试验时间可以实现筛选耐低温大豆资源的目的,且更为高效。

4 结论

通过对 335 份大豆资源进行 20℃ 和 6℃ 低温胁迫处理 6 d,综合评价发芽势、发芽率和发芽指数并进行相关性分析,3 个指数两两间分别在 $P \leq 0.01$ 水平上显著正相关;隶属函数综合评价及聚类分析可以将资源分为耐低温型、中间型与敏感性 3 类,其中耐低温型大豆资源 17 份。这些大豆资源与鉴定数据将为大豆耐低温育种工作提供材料基础和理论依据。

参考文献

[1] 张永芳, 钱肖娜, 王润梅, 等. 不同大豆材料的抗旱性鉴定及耐旱品种筛选[J]. 作物杂志, 2019(5): 41-45. (Zhang Y F, Qian X N, Wang R M, et al. Identification of drought resistance of different soybean materials and selection of drought-tolerant varieties[J]. Journal of Crops, 2019(5): 41-45.)

[2] 刘志娟, 杨晓, 王文峰, 等. 气候变化背景下我国东北三省农业气候资源变化特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2199-2206. (Liu Z J, Yang X, Wang W F, et al. Change characteristics of agricultural climate resources in three northeastern provinces of China under the background of climate change[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(9): 2199-2206.)

[3] Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K. Characterization of the expression of a desiccation-responsive rd29A gene of *Arabidopsis thaliana* and analysis of its promoter in transgenic plants[J]. Molecular and General Genetics, 1993, 236(2-3): 331-340.

[4] Mullet J E, Whitsitt M S. Plant cellular responses to water deficit[J]. Plant Growth Regulation, 1996, 20(2): 119-124.

[5] 刘珍环, 唐鹏钦, 范玲玲, 等. 1980—2010 年东北地区种植结构时空变化特征[J]. 中国农业科学, 2016, 49(21): 4107-4119. (Liu Z H, Tang P Q, Fan L L, et al. Spatial and temporal variation characteristics of planting structure in northeast China from 1980 to 2010[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49

(21): 4107-4119.)

[6] 王州飞. 盐和低温胁迫下水稻种子萌发的遗传研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010. (Wang Z F. Genetic study on rice seed germination under salt and low temperature stress [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010.)

[7] Andaya V C, Tai T H. Fine mapping of the *qCTS4* locus associated with seedling cold tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Molecular Breeding, 2007(4): 349-358.

[8] Zeng Y, Yu J, Cang J, et al. Detection of sugar accumulation and expression levels of correlative key enzymes in winter wheat (*Triticum aestivum*) at low temperatures [J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2011, 75(4): 681-687.

[9] Qi H, Hua L, Zhao L, et al. Carbohydrate metabolism in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings and yield and fruit quality as affected by low night temperature and subsequent recovery[J]. African Journal of Biotechnology, 2013, 10 (30): 5743-5749.

[10] Liu Y F, Qi M F, Li T L. Photosynthesis, photoinhibition, and antioxidant system in tomato leaves stressed by low night temperature and their subsequent recovery [J]. Plant Science, 2012, 196(11): 8-17.

[11] Mizoi J, Ohori T, Moriwaki T, et al. GmDREB2A;2, a Canonical DEHYDRATION-RESPONSIVE ELEMENT- BINDING PROTEIN2-type transcription factor in soybean, is post translationally regulated and mediates dehydration-responsive element-dependent gene expression [J]. Plant Physiology, 2013, 161(1), 346-361.

[12] 张大伟, 杜翔宇, 刘春燕, 等. 低温胁迫对大豆萌发期生理指标的影响[J]. 大豆科学, 2010, 29(2): 229-232. (Zhang D W, Du X Y, Liu C Y, et al. Effect of low temperature stress on physiological indexes of soybean germination [J]. Soybean Science, 2010, 29(2): 229-232.)

[13] 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. (Shan C Y. Selection of soybean low-temperature resistant resources and proteomics research [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2008.)

[14] 胡俊杰, 张古文, 胡齐赞, 等. 低温胁迫对菜用大豆生长、叶片活性氧及多胺代谢的影响[J]. 浙江农业学报, 2011, 23(6): 1113-1118. (Hu J J, Zhang G W, Hu Q Z, et al. Effects of low temperature stress on the growth, leaf reactive oxygen species and polyamine metabolism of vegetable soybean[J]. Acta Agricultrae Zhejiang, 2011, 23(6): 1113-1118.)

[15] 宰学明, 吴国荣. 低温预处理对大豆萌芽活力及其活性氧代谢的影响[J]. 大豆科学, 2001, 20(3): 163-166. (Zai X M, Wu G R. Effects of low temperature pretreatment on germination activity and reactive oxygen metabolism of soybean [J]. Soybean Science, 2001, 20(3): 163-166.)

[16] 宋剑陶, 顾增辉. 大豆抗冷性生理生化指标的筛选[J]. 中国农业科学, 1992, 25(4): 15-23. (Song J T, Gu Z H. Screening of physiological and biochemical indexes of soybean cold resistance [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1992, 25(4): 15-23.)

[17] 蒋洪蔚, 李灿东, 刘春燕, 等. 大豆导入系群体芽期耐低温位点的基因型分析及 QTL 定位[J]. 作物学报, 2009, 35(7): 1268-1273. (Jiang H W, Li C D, Liu C Y, et al. Genotype analysis and QTL mapping of low temperature tolerance sites at bud stage of imported soybean populations [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(7): 1268-1273.)

[18] 胡国玉, 赵晋铭, 周斌, 等. 大豆耐低温出苗的遗传分析与分子标记[J]. 大豆科学, 2008, 27(6): 905-910. (Hu G Y, Zhao J M, Zhou B, et al. Genetic analysis and molecular markers of low temperature resistant seedling emergence of soybean [J]. Soybean Science, 2008, 27(6): 905-910.)

[19] 郝晶, 张立军, 谢甫绌. 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. (Hao J, Zhang L J, Xie F T. Effect of low temperature on the activity of protective enzyme during germination of soybean with different cold tolerance[J]. Soybean Science, 2007, 26(2): 171-175.)

[20] 石德成, 殷立娟. 盐(NaCl)与碱(Na₂CO₃)对星星草胁迫作用的差异[J]. 植物学报, 1993, 35(2): 144-149. (Shi D C, Yin L J. Differences in stress effects of NaCl and Na₂CO₃ on *Herba sinensis* [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 1993, 35(2): 144-149.)

[21] 祈旭升, 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. (Qi X S, Wang X R, Xu J, et al. Evaluation of drought resistance of flax germplasm resources in plant growth stage [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(15): 3076-3087.)

[22] Hodges D M, Andrews C J, Johnson D A, et al. Sensitivity of maize hybrids to chilling and their combining abilities at two developmental stages[J]. Crop Science, 1997, 37(3): 850-856.

[23] 唐桂香, 汪自强. 春播和秋播对南方春大豆种子活力的影响[J]. 作物学报, 1998, 24(2): 243-247. (Tang G X, Wang Z Q. Effects of spring and autumn sowing on seed vigor of southern spring soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 1998, 24(2): 243-247.)

[24] 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, 11(4): 15-23. (Gu Z H, Song J T. Screening of physiological and biochemical indexes of soybean cold resistance [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1992, 11(4): 15-23.)

附表 1 不同温度下 335 份大豆资源芽期发芽势、发芽率和发芽指数

Schedule 1 GE, GR and GI of 335 soybean resources at different temperatures

编号 Code	品种(系) Variety (Line)	6 ℃			20 ℃		
		发芽势	发芽率	发芽指数	发芽势	发芽率	发芽指数
		GE/%	GR/%	GI	GE/%	GR/%	GI
1	东大 2 号	3.33	16.67	1.44	61.25	83.75	18.46
2	黑科 77	0.00	0.00	0.00	33.75	38.75	10.71
3	公野 04-L15	0.00	0.00	0.00	28.75	55.00	9.54
4	Soja 77180	0.00	5.83	0.39	36.25	82.50	16.13
5	德黄 10	5.00	40.83	3.22	70.00	90.00	24.00
6	垦农 30	8.33	14.17	1.78	66.25	80.00	19.21
7	CHI-LU-SCHU	5.00	10.83	1.22	47.50	73.75	13.92
8	CⅡ691	0.00	8.33	0.56	61.25	75.00	18.63
9	黑河 51	5.83	21.67	2.03	60.00	72.50	16.08
10	Jim	6.67	24.17	2.28	60.00	81.25	18.67
11	黑河 48	15.00	30.00	3.50	57.50	80.00	18.58
12	合丰 40	1.67	24.17	1.78	66.25	80.00	17.46
13	黑河 30	6.67	25.83	2.39	66.25	76.25	20.96
14	黑河 42	7.50	22.50	2.25	63.75	78.75	15.13
15	MN0201	10.83	13.33	1.97	58.75	65.00	22.21
16	公 96169-10	35.83	45.00	6.58	81.25	81.25	24.54
17	垦农 38	24.17	43.33	5.31	80.00	87.50	28.33
18	CⅡ1145	3.33	16.67	1.44	76.25	85.00	22.04
19	合 02-235	12.50	25.00	2.92	58.75	67.50	16.63
20	垦 K07-5203	5.00	21.67	1.94	73.75	76.25	18.71
21	平安豆 49	5.00	34.17	2.78	86.25	90.00	28.38
22	MONETA	19.17	31.67	4.03	80.00	85.00	26.67
23	东农 60	0.83	10.00	0.75	88.75	88.75	26.79
24	东农 7674	2.50	16.67	1.36	76.25	77.50	19.04
25	黑河 43	0.00	7.50	0.50	66.25	75.00	16.38
26	黑河 44	4.17	25.00	2.08	78.75	80.00	20.46
27	垦农 36	16.67	42.50	4.50	71.25	77.50	18.79
28	北丰 11	13.33	43.33	4.22	73.75	77.50	21.04
29	蒙豆 45	7.50	30.00	2.75	76.25	85.00	22.79
30	蒙豆 640	6.67	24.17	2.28	82.50	90.00	22.50
31	R-112	11.67	20.83	2.56	78.75	81.25	24.04
32	公 96179-7	8.33	22.50	2.33	86.25	86.25	23.38
33	合 02-855	20.83	54.17	5.69	92.50	92.50	24.92
34	华疆 2 号	4.17	24.17	2.03	62.50	71.25	17.00
35	克豆 35	24.17	35.83	5.97	90.00	91.25	26.08
36	克豆 38	12.50	33.33	3.47	85.00	86.25	23.25
37	克豆 52	23.33	42.50	5.17	81.25	86.25	24.13
38	克豆 59	10.83	34.17	3.36	78.75	80.00	22.21
39	克豆 60	3.33	21.67	1.78	72.50	88.75	22.67
40	克豆 64	0.00	5.83	0.39	37.50	81.25	14.42
41	垦农 57	13.33	47.50	5.67	85.00	95.00	24.33
42	北丰 14	4.17	11.67	1.19	87.50	90.00	23.50
43	合丰 25	26.67	44.17	5.61	87.50	92.50	27.17
44	红丰 3 号	2.50	18.33	1.47	81.25	85.00	22.54
45	蒙豆 31	15.83	18.33	2.81	76.25	85.00	22.79
46	黑农 44	15.83	25.83	3.31	80.00	97.50	23.75
47	吉育 92	19.17	47.50	5.08	85.00	86.25	24.50
48	Glacier	21.67	42.50	5.17	88.75	93.75	26.38
49	Soja 277180	30.00	35.83	5.39	81.25	85.00	24.54
50	东农 01003	49.17	69.17	10.19	87.50	87.50	31.83
51	东农 86-91	12.50	34.17	3.53	80.00	82.50	22.00
52	东农 93-0148	28.33	45.83	5.89	88.75	91.25	25.46
53	合 00-584	0.83	13.33	0.97	86.25	92.50	28.29
54	合丰 42	11.67	23.33	2.72	81.25	85.00	20.04

续附表 1

编号 Code	品种(系) Variety (Line)	6 ℃			20 ℃		
		发芽势	发芽率	发芽指数	发芽势	发芽率	发芽指数
		GE/%	GR/%	GI	GE/%	GR/%	GI
55	黑河 26	6.67	21.67	2.11	78.75	73.75	18.29
56	黑河 45	13.33	39.17	3.94	56.25	65.00	16.96
57	黑河 4 号	4.17	18.33	1.64	82.50	83.75	21.58
58	克豆 30	2.50	11.67	1.03	71.25	73.75	19.29
59	克豆 31	30.83	50.83	6.47	68.75	81.25	22.79
60	克豆 44	6.67	10.83	1.39	70.00	72.50	18.08
61	克豆 48	4.17	12.50	1.25	83.75	83.75	23.71
62	克豆 57	0.83	12.50	0.92	81.25	82.50	20.38
63	克豆 58	15.00	27.50	3.33	82.50	83.75	27.08
64	克豆 62	12.50	22.50	2.75	72.50	76.25	19.83
65	克豆 63	7.50	26.67	2.53	75.00	78.75	21.25
66	克豆 65	5.83	25.00	2.25	71.25	76.25	18.21
67	克交 16-624	2.50	14.17	1.19	78.75	85.00	15.54
68	垦丰 22	2.50	10.83	0.97	81.25	93.75	20.88
69	蒙豆 6 号	1.67	13.33	1.06	73.75	88.75	23.54
70	公 P06-12	12.50	25.00	3.92	81.25	91.25	28.96
71	合丰 24	5.83	14.17	1.86	75.00	77.50	15.92
72	蒙豆 16	15.00	43.33	4.39	67.50	76.25	19.33
73	蒙豆 359	16.67	42.50	4.50	71.25	86.25	23.13
74	蒙豆 44	6.67	33.33	2.89	45.00	60.00	13.25
75	龙品 03-311	17.50	47.50	4.92	57.50	75.00	18.00
76	G. maxN136	5.83	47.50	3.75	83.75	83.75	20.21
77	Kirsches Stamm 2008	9.17	49.17	4.19	72.50	76.25	19.33
78	Proto	28.33	69.17	7.44	91.25	93.75	28.88
79	Traill	29.17	55.83	6.64	72.50	83.75	22.83
80	Wilkin	24.17	45.83	5.64	83.75	88.75	22.29
81	东生 1 号	10.83	40.83	3.97	85.00	93.75	21.25
82	公 93184-3	7.50	36.67	3.19	77.50	86.25	21.25
83	合丰 37	15.00	53.33	5.06	88.75	93.75	22.63
84	合丰 50	4.17	18.33	1.64	87.50	91.25	23.58
85	合丰 55	7.50	26.67	2.53	88.75	90.00	24.38
86	黑河 18	18.33	31.67	4.28	83.75	86.25	25.38
87	黑农 75	19.17	26.67	3.69	88.75	91.25	23.71
88	克 4430-20	29.17	28.33	4.81	85.00	88.75	22.42
89	克豆 29	20.00	51.67	5.44	78.75	88.75	26.04
90	克豆 36	3.33	35.83	2.72	65.00	86.25	18.50
91	克豆 411	1.67	17.50	1.33	72.50	73.75	19.92
92	克豆 53	1.67	22.50	1.67	57.50	66.25	16.42
93	克豆 61	0.83	18.33	1.31	81.25	87.50	20.71
94	克交 15-2351	0.00	10.83	0.72	73.75	83.75	19.21
95	克交 16-2066	4.17	26.67	2.19	70.00	77.50	17.67
96	垦农 8	13.33	51.67	4.78	86.25	90.00	23.88
97	绥农 76	15.00	40.00	4.17	83.75	88.75	21.04
98	Conrad	6.67	37.50	3.17	85.00	90.00	23.00
99	PSB640	3.33	14.17	1.28	78.75	81.25	20.29
100	北丰 9 号	15.83	39.17	4.53	86.25	92.50	26.54
101	公 P06-34	12.50	38.33	3.97	71.25	73.75	20.54
102	合丰 34	9.17	55.83	4.64	88.75	98.75	27.46
103	合丰 47	9.17	18.33	2.14	71.25	93.75	20.13
104	黑河 23	22.50	43.33	5.64	85.00	86.25	22.50
105	金源 55	23.33	58.33	7.22	85.00	87.50	22.83
106	克 09-95	4.17	15.00	1.58	53.75	60.00	14.38
107	克 c14-732	0.00	12.50	0.83	82.50	86.25	24.25
108	公 P06-19	14.17	52.50	4.92	73.75	88.75	23.04
109	吉丰 4 号	16.67	49.17	4.94	87.50	98.75	28.08
110	东农 46	3.33	20.00	1.67	76.25	95.00	23.21

续附表 1

编号 Code	品种(系) Variety (Line)	6 ℃			20 ℃		
		发芽势	发芽率	发芽指数	发芽势	发芽率	发芽指数
		GE/%	GR/%	GI	GE/%	GR/%	GI
111	公 P06-4-1	0. 83	5. 83	0. 47	72. 50	91. 25	18. 83
112	合 95-923	1. 67	22. 50	1. 67	75. 00	85. 00	18. 42
113	合 95-997	1. 67	22. 50	1. 67	87. 50	95. 00	23. 08
114	合丰 35	2. 50	18. 33	1. 47	81. 25	97. 50	23. 13
115	黑河 27	2. 50	28. 33	2. 14	81. 25	86. 25	23. 38
116	垦农 23	10. 83	55. 83	5. 64	80. 00	83. 75	23. 58
117	蒙豆 15	4. 17	36. 67	3. 03	80. 00	81. 25	22. 17
118	蒙豆 173	1. 67	26. 67	1. 94	75. 00	83. 75	22. 58
119	蒙豆 43	0. 83	6. 67	0. 53	70. 00	82. 50	19. 75
120	绥无腥豆 2 号	0. 00	16. 67	1. 11	78. 75	81. 25	22. 79
121	吉育 257	0. 83	26. 67	1. 86	82. 50	95. 00	23. 83
122	合丰 30	0. 00	26. 67	1. 94	73. 75	78. 75	20. 88
123	东生 7 号	4. 17	64. 17	5. 69	86. 25	97. 50	24. 88
124	公 05163-3	10. 00	38. 33	3. 56	91. 25	97. 50	32. 88
125	公 05353-14	21. 67	45. 83	5. 22	88. 75	90. 00	22. 13
126	公 96171-8	0. 00	6. 67	0. 44	68. 75	82. 50	15. 13
127	黑农 31	5. 83	19. 17	1. 86	87. 50	88. 75	20. 42
128	蒙豆 14	9. 17	28. 33	2. 81	80. 00	82. 50	17. 75
129	蒙豆 26	5. 00	21. 67	1. 94	70. 00	86. 25	18. 00
130	蒙豆 42	5. 00	14. 17	1. 44	63. 75	66. 25	15. 54
131	吉育 303	5. 83	28. 33	2. 47	86. 25	87. 50	21. 96
132	P34-25	2. 50	41. 67	3. 03	78. 75	86. 25	23. 88
133	公 98158-14	5. 83	45. 83	4. 31	88. 75	91. 25	24. 46
134	合 95-996	3. 33	18. 33	1. 56	71. 25	72. 50	14. 96
135	黑农 48	2. 50	41. 67	3. 03	88. 75	93. 75	22. 13
136	吉林小粒豆 CK	69. 17	88. 33	12. 81	92. 50	92. 50	31. 67
137	吉育 67	28. 33	56. 67	7. 44	78. 75	83. 75	26. 46
138	蒙豆 11	15. 83	40. 83	4. 31	73. 75	75. 00	25. 13
139	蒙豆 36	35. 00	67. 50	8. 83	75. 00	78. 75	24. 25
140	斯坦 3260	23. 33	49. 17	6. 11	88. 75	90. 00	27. 38
141	Harlon	36. 67	72. 50	9. 83	81. 25	86. 25	28. 88
142	东农 59	20. 00	72. 50	6. 83	86. 25	86. 25	27. 88
143	黑农 84	25. 83	54. 17	7. 53	88. 75	91. 25	27. 46
144	九农 13	40. 83	60. 83	9. 31	86. 25	92. 50	27. 79
145	垦豆 66	37. 50	49. 17	7. 19	96. 25	97. 50	26. 88
146	绥农 49	35. 83	60. 00	7. 92	91. 25	92. 50	29. 04
147	吉利豆 5 号	30. 83	60. 00	7. 08	83. 75	86. 25	26. 38
148	吉育 66	25. 00	33. 33	6. 22	82. 50	91. 25	24. 83
149	蒙豆 33	23. 33	49. 17	7. 44	88. 75	92. 50	28. 54
150	蒙豆 9 号	21. 67	46. 67	6. 78	88. 75	97. 50	22. 38
151	铁豆 44	25. 83	65. 00	7. 92	83. 75	85. 00	20. 79
152	SB8658	30. 00	60. 00	9. 33	85. 00	85. 00	25. 17
153	Strony-1	39. 17	60. 00	9. 42	83. 75	83. 75	27. 71
154	东农 90135	33. 33	55. 83	8. 56	76. 25	81. 25	26. 79
155	公 P04-2	43. 33	73. 33	11. 89	83. 75	98. 75	27. 21
156	合 03-658	24. 17	50. 00	7. 08	86. 25	98. 75	21. 71
157	蒙豆 30	6. 67	32. 50	2. 83	78. 75	81. 25	22. 79
158	嫩丰 11	22. 50	55. 00	6. 92	78. 75	80. 00	27. 21
159	绥农 10 号	19. 17	50. 83	5. 64	83. 75	86. 25	26. 13
160	绥农 35	25. 83	38. 33	5. 14	87. 50	93. 75	27. 50
161	绥小粒豆	19. 17	33. 33	5. 31	80. 00	92. 50	27. 17
162	绥小粒豆 2 号	14. 17	30. 83	3. 47	78. 75	88. 75	25. 29
163	辽鲜 1 号	6. 67	8. 33	1. 22	46. 25	61. 25	14. 21
164	东农 48	14. 17	15. 83	2. 47	87. 50	88. 75	23. 92
165	东农 55	9. 17	18. 33	2. 64	88. 75	91. 25	27. 46
166	合丰 41	21. 67	45. 00	6. 17	86. 25	87. 50	28. 71

续附表 1

编号 Code	品种(系) Variety (Line)	6 ℃			20 ℃		
		发芽势	发芽率	发芽指数	发芽势	发芽率	发芽指数
		GE/%	GR/%	GI	GE/%	GR/%	GI
167	黑河 38	10. 83	17. 50	2. 25	65. 00	66. 25	20. 42
168	黑河 39	9. 17	36. 67	4. 53	83. 75	86. 25	25. 88
169	黑农 20	15. 83	34. 17	5. 03	73. 75	75. 00	23. 38
170	黑农 55	17. 50	33. 33	4. 64	88. 75	96. 25	29. 29
171	呼交 11-359	25. 83	52. 50	6. 25	86. 25	90. 00	29. 13
172	华庆豆 103	14. 17	31. 67	3. 69	83. 75	85. 00	23. 79
173	吉育 209	10. 83	25. 83	2. 81	81. 25	88. 75	26. 29
174	吉育 210	16. 67	25. 83	3. 56	86. 25	88. 75	25. 79
175	吉育 40	43. 33	65. 83	9. 39	85. 00	87. 50	25. 33
176	吉育 79	40. 83	92. 50	11. 08	87. 50	88. 75	30. 42
177	吉育 99	15. 00	31. 67	4. 61	90. 00	91. 25	20. 83
178	佳豆 28	17. 50	45. 83	4. 81	86. 25	88. 75	28. 04
179	垦保 2 号	26. 67	60. 83	7. 56	87. 50	92. 50	31. 92
180	垦丰 20	10. 83	18. 33	2. 31	87. 50	88. 75	28. 17
181	垦鉴豆 43	23. 33	87. 50	11. 17	87. 50	90. 00	29. 50
182	垦农 18	20. 83	62. 50	6. 58	87. 50	90. 00	26. 75
183	垦农 38	30. 83	40. 00	7. 42	92. 50	96. 25	31. 17
184	龙垦 332	29. 17	54. 17	8. 69	83. 75	85. 00	26. 79
185	蒙豆 1137	11. 67	26. 67	2. 94	87. 50	88. 75	28. 92
186	绥农 53	19. 17	56. 67	7. 53	90. 00	92. 50	30. 42
187	绥无腥 1 号	16. 67	35. 00	4. 17	87. 50	87. 50	26. 58
188	绥无腥 3 号	5. 83	27. 50	2. 42	60. 00	71. 25	18. 75
189	通农 13	20. 83	47. 50	5. 92	70. 00	80. 00	18. 33
190	吉育 299	27. 50	45. 00	5. 75	87. 50	92. 50	26. 67
191	东农 47	20. 00	45. 00	5. 83	80. 00	88. 75	28. 42
192	CΠ1271	53. 33	56. 67	13. 28	91. 25	92. 50	28. 54
193	CUN	28. 33	52. 50	6. 33	88. 75	95. 00	30. 46
194	GD589	27. 50	45. 00	5. 75	90. 00	90. 00	28. 75
195	PSB609	26. 67	38. 33	6. 89	88. 75	92. 50	26. 04
196	公 P06-2-1	20. 83	43. 33	4. 97	86. 25	88. 75	24. 04
197	合 9477F5	60. 00	71. 67	13. 28	97. 50	96. 25	31. 17
198	京通绥 1 号	44. 17	60. 83	10. 47	86. 25	90. 00	27. 88
199	垦丰 13	36. 67	49. 17	8. 44	85. 00	86. 25	25. 50
200	垦丰 17	15. 83	24. 17	3. 19	92. 50	95. 00	28. 08
201	绥农 1 号	45. 00	54. 17	10. 44	91. 25	96. 25	29. 04
202	绥农 42	33. 33	54. 17	8. 61	87. 50	90. 00	30. 00
203	绥农 6 号	10. 00	30. 00	3. 00	78. 75	83. 75	17. 71
204	绥农 71	36. 67	54. 17	8. 78	87. 50	90. 00	22. 25
205	公 P06-6	36. 67	50. 83	7. 56	78. 75	80. 00	21. 71
206	公交 DY2004-5	44. 17	55. 83	9. 64	85. 00	88. 75	27. 67
207	内豆 4 号	13. 33	25. 83	3. 72	48. 75	62. 50	14. 04
208	绥农 14	26. 67	55. 83	7. 89	87. 50	91. 25	28. 58
209	绥农 28	17. 50	39. 17	4. 36	85. 00	87. 50	27. 08
210	绥农 48	31. 67	53. 33	8. 72	87. 50	92. 50	27. 17
211	公 552 号	3. 33	15. 00	1. 33	61. 25	70. 00	15. 04
212	延农 12	38. 33	51. 67	7. 94	91. 25	96. 25	30. 29
213	吉育 259	40. 00	66. 67	8. 78	85. 00	87. 50	28. 08
214	BSR101	50. 83	80. 83	11. 64	90. 00	93. 75	28. 25
215	P05354-1	31. 67	59. 17	7. 11	92. 50	93. 75	26. 75
216	PI 189866	5. 00	18. 33	1. 89	91. 25	95. 00	22. 96
217	PI494182	5. 00	15. 83	1. 72	83. 75	85. 00	20. 29
218	东农 47-1C	16. 67	46. 67	5. 78	86. 25	92. 50	26. 04
219	东农 56	14. 17	34. 17	4. 19	83. 75	83. 75	18. 96
220	东农绿芽豆 1 号	14. 17	35. 83	4. 97	93. 75	95. 00	22. 96
221	公 9466-5	15. 00	39. 17	4. 78	76. 25	88. 75	17. 54
222	合农 113	11. 67	25. 00	2. 83	80. 00	82. 50	19. 00

续附表 1

编号 Code	品种(系) Variety (Line)	6 ℃			20 ℃		
		发芽势	发芽率	发芽指数	发芽势	发芽率	发芽指数
		GE/%	GR/%	GI	GE/%	GR/%	GI
223	合农 74	12.50	45.83	4.64	83.75	85.00	21.04
224	合农 77	7.50	31.67	3.03	83.75	86.25	19.63
225	合农 92	15.00	49.17	5.44	85.00	91.25	25.08
226	吉育 233	31.67	53.33	8.39	81.25	75.00	20.38
227	吉育 87	30.83	52.50	7.42	90.00	93.75	24.50
228	佳豆 25	15.00	22.50	3.50	66.25	68.75	15.46
229	金园 20	10.00	18.33	2.56	78.75	86.25	16.63
230	垦丰 16	7.50	29.17	3.36	87.50	88.75	23.67
231	龙豆 2 号	20.00	58.33	6.22	63.75	85.00	17.54
232	龙豆 5 号	8.33	43.33	3.72	87.50	91.25	22.08
233	龙青大豆 1 号	5.83	45.83	3.97	87.50	91.25	18.83
234	绥农 38	6.67	37.50	3.33	83.75	85.00	19.79
235	意 3	20.83	52.50	5.75	91.25	92.50	24.54
236	Dunn	20.00	47.50	6.17	92.50	92.50	27.67
237	KPS292	0.83	5.83	0.47	26.25	41.25	7.88
238	R-34	6.67	15.00	2.00	53.75	57.50	14.21
239	Yellow Morvel	3.33	14.17	1.28	70.00	76.25	15.58
240	东农 38	3.33	19.17	1.61	61.25	63.75	15.88
241	东农 42	2.50	6.67	1.03	76.25	87.50	17.46
242	东农 50	29.17	56.67	7.69	82.50	86.25	29.75
243	合农 71	3.33	10.00	1.17	58.75	65.00	14.96
244	齐农 1 号	1.67	16.67	1.28	67.50	76.25	18.08
245	合农 78	0.83	10.00	0.75	68.75	80.00	17.71
246	合农 95	1.67	15.83	1.22	68.75	70.00	14.29
247	黑农 26	2.50	22.50	1.75	72.50	73.75	16.42
248	黑农 37	2.50	11.67	1.03	81.25	87.50	20.21
249	红丰 11	6.67	22.50	2.50	66.25	67.50	14.63
250	吉林小粒豆 7 号	9.17	30.83	3.47	86.25	90.00	22.63
251	吉育 108	7.50	30.00	2.75	81.25	90.00	20.38
252	吉育 112	7.50	23.33	2.31	81.25	85.00	22.04
253	吉育 221	1.67	14.17	1.11	78.75	82.50	19.63
254	吉育 47	2.50	26.67	2.03	58.75	83.75	17.96
255	吉育 48	0.83	15.00	1.08	62.50	83.75	14.83
256	抗线虫 6 号	8.33	27.50	3.17	51.25	72.50	15.96
257	垦丰 5 号	30.83	54.17	6.69	65.00	85.00	19.92
258	龙豆 3 号	25.00	37.50	5.67	65.00	86.25	20.25
259	龙黑大豆 1 号	13.33	33.33	3.56	48.75	65.00	13.96
260	龙品 13-369	34.17	50.83	8.31	48.75	75.00	16.88
261	龙小粒豆 1 号	9.17	23.33	2.47	71.25	76.25	21.46
262	绥中作 40	25.00	57.50	7.50	67.50	78.75	19.00
263	烟黄四号	33.33	49.17	8.94	42.50	42.50	14.33
264	中吉 605	49.17	55.83	8.64	75.00	85.00	23.42
265	长农 26	24.17	37.50	8.25	71.25	75.00	16.63
266	中吉 603	33.33	44.17	7.78	71.25	85.00	24.54
267	Syella	18.33	25.00	3.50	53.75	53.75	15.71
268	东农 690	16.67	38.33	4.89	66.25	73.75	19.54
269	合 93-688	36.67	54.17	8.61	76.25	83.75	24.96
270	合丰 52	59.17	65.00	12.25	77.50	96.25	25.67
271	吉林 20	30.83	57.50	7.25	58.75	93.75	15.88
272	吉林小粒豆 4 号	52.50	71.67	13.03	83.75	93.75	25.88
273	吉密豆 4	23.33	36.67	5.61	80.00	93.75	26.75
274	吉育 204	36.67	48.33	7.72	65.00	65.00	18.33
275	抗线虫 11	16.67	39.17	5.28	47.50	47.50	13.67
276	辽黑豆 4 号	5.00	17.50	1.67	55.00	81.25	14.17
277	绥农 20	17.50	36.67	4.69	78.75	85.00	21.79
278	绥农 44	15.83	35.00	4.08	63.75	87.50	16.46

续附表 1

编号 Code	品种(系) Variety (Line)	6 ℃			20 ℃		
		发芽势	发芽率	发芽指数	发芽势	发芽率	发芽指数
		GE/%	GR/%	GI	GE/%	GR/%	GI
279	吉育 93	5. 83	35. 83	2. 97	83. 75	90. 00	19. 38
280	公野 03-5570	18. 33	36. 67	4. 28	56. 25	93. 75	14. 13
281	公野 5056	17. 50	35. 83	5. 14	61. 25	83. 75	18. 21
282	黑农 24	16. 67	37. 50	4. 17	66. 25	66. 25	17. 79
283	CLR00	5. 00	19. 17	1. 78	71. 25	82. 50	21. 38
284	Japan I	11. 67	20. 83	2. 56	71. 25	82. 50	18. 63
285	Kovean	0. 00	15. 83	1. 06	55. 00	56. 25	12. 50
286	L65-756	2. 50	11. 67	1. 03	63. 75	82. 50	17. 13
287	L67-153	10. 00	26. 67	2. 78	67. 50	81. 25	17. 92
288	L72-920	11. 67	39. 17	3. 94	81. 25	90. 00	24. 88
289	P2003-8-23-8	0. 83	10. 00	0. 75	42. 50	46. 25	9. 58
290	东农 42E	5. 83	10. 00	1. 25	57. 50	62. 50	13. 42
291	公 2029-30	5. 83	20. 00	1. 92	75. 00	87. 50	18. 83
292	公 P06-9	3. 33	22. 50	1. 83	78. 75	93. 75	23. 38
293	公 P07-22-1-3	4. 17	17. 50	1. 58	67. 50	67. 50	14. 50
294	公野 03-7239	7. 50	23. 33	2. 31	62. 50	78. 75	16. 75
295	哈 1 号	5. 83	15. 83	1. 64	51. 25	68. 75	11. 96
296	合农 114	15. 00	42. 50	5. 00	55. 00	72. 50	12. 58
297	合农 73	23. 33	55. 00	7. 33	73. 75	90. 00	19. 38
298	合农 76	43. 33	69. 17	10. 78	70. 00	88. 75	21. 17
299	合农 85	47. 50	63. 33	12. 64	60. 00	82. 50	15. 25
300	合农 93	45. 83	60. 83	9. 97	75. 00	86. 25	18. 25
301	合农 97	68. 33	81. 67	17. 28	92. 50	93. 75	21. 25
302	黑科 57	5. 83	14. 17	1. 69	53. 75	56. 25	11. 88
303	黑农 61	49. 17	68. 33	11. 14	57. 50	80. 00	14. 08
304	黑农 62	35. 83	54. 17	9. 03	85. 00	87. 50	20. 08
305	黑农 69	56. 67	79. 17	13. 11	95. 00	97. 50	23. 75
306	黑农 85	20. 83	41. 67	5. 69	53. 75	76. 25	13. 46
307	黑农 98	24. 17	48. 33	6. 64	51. 25	68. 75	12. 21
308	华力 1 号	29. 17	44. 17	7. 03	65. 00	76. 25	14. 58
309	吉密豆 2 号	54. 17	73. 33	13. 64	77. 50	78. 75	20. 25
310	吉育 109	17. 50	41. 67	5. 53	86. 25	91. 25	17. 46
311	吉育 39	18. 33	45. 83	5. 72	75. 00	81. 25	14. 67
312	军农 68	50. 83	66. 67	14. 19	75. 00	92. 50	26. 92
313	垦农 4 号	23. 33	60. 83	7. 06	57. 50	72. 50	15. 58
314	龙豆 4 号	24. 17	37. 50	5. 25	62. 50	85. 00	16. 17
315	龙黑大豆 2 号	13. 33	34. 17	3. 94	76. 25	81. 25	19. 04
316	绥农 22	36. 67	66. 67	9. 11	85. 00	87. 50	20. 08
317	绥农 26	43. 33	70. 83	13. 22	71. 25	77. 50	15. 79
318	长农 21	18. 33	45. 83	6. 39	70. 00	86. 25	16. 50
319	方正秣食豆	3. 33	5. 83	0. 89	63. 75	83. 75	13. 46
320	吉育 97	15. 00	41. 67	5. 11	72. 50	87. 50	15. 83
321	吉育 203	7. 50	20. 83	2. 97	67. 50	68. 75	13. 33
322	欧科豆 25	25. 00	40. 00	9. 50	68. 75	73. 75	17. 54
323	公 2002-339-2	55. 00	65. 83	12. 39	85. 00	88. 75	20. 67
324	AsgrowA1939	46. 67	55. 83	10. 72	75. 00	83. 75	18. 83
325	L73-105	36. 67	50. 00	9. 50	71. 25	77. 50	17. 54
326	Saikai 20	26. 67	45. 83	9. 89	75. 00	80. 00	20. 33
327	SB8842	48. 33	60. 83	10. 56	80. 00	82. 50	20. 75
328	Tokachi nagaha	25. 00	36. 67	5. 44	63. 75	63. 75	15. 88
329	东农 63-1	4. 17	18. 33	2. 14	73. 75	78. 75	16. 38
330	公 93155-13	10. 83	14. 17	2. 36	46. 25	45. 00	8. 88
331	公 96205-6	13. 33	36. 67	4. 28	58. 75	67. 50	15. 38
332	公 P06-31-1-3	20. 00	52. 50	5. 67	75. 00	80. 00	16. 58
333	黑龙芽豆 1 号	21. 67	49. 17	6. 11	77. 50	78. 75	16. 25
334	黑农 39	25. 00	48. 33	7. 22	78. 75	86. 25	19. 38
335	黑农 43	8. 33	35. 00	3. 50	81. 25	82. 50	19. 63