

白菜型油菜品种萌发期的抗旱性鉴定与筛选

陈致富, 李勤菲, 张永晶, 崔艺馨, 许汪洁, 贺亚军, 万华方, 李晓荣, 钱伟

(西南大学农学与生物科技学院/重庆市油菜工程技术研究中心/南方山地农业教育部工程研究中心, 重庆 400715)

摘要:秋旱影响我国长江流域油菜的播种和生长。从遗传基础广泛的白菜型油菜资源中筛选抗旱材料, 对于培育抗旱油菜品种具有重要意义。以不同浓度的 PEG-6000 溶液于萌发期对 5 份不同遗传背景的白菜型油菜进行模拟干旱胁迫处理, 并测定种子萌发抗旱指数、相对发芽率、相对发芽势、相对根长、相对芽长。与对照相比, 干旱胁迫下各指标均有显著差异, 对各指标进行主成分分析, 确定了抗旱性鉴定参数, 并确立了白菜型油菜资源抗旱性筛选的工作液为 200 g/L 的 PEG-6000。选用该工作液于萌芽期对 203 份白菜型油菜资源进行了抗旱筛选, 结果表明, 模拟干旱胁迫下, 大部分材料的抗旱性与对照有显著差异, 用隶属函数法和聚类分析对抗旱性鉴定指标进行分析, 并对所有供试材料的抗旱性进行了排序, 鉴定出了抗旱性最强的 PI226505 白菜型油菜, 其来源为 Iran, 为油菜下一步抗旱性遗传改良奠定了基础。

关键词:白菜型油菜; 抗旱性; PEG 胁迫; 主成分分析

Identification and Screening of Resources with Tolerance against Drought Stress in *Brassica rapa* during Germination Stage

CHEN Zhi-fu, LI Qin-fei, ZHANG Yong-jing, CUI Yi-xin, XU Wang-jie, HE Ya-jun,

WAN Hua-fang, LI Xiao-rong, QIAN Wei

(College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University/Chongqing Rapeseed Engineering & Technology Research Center/Engineering Research Center of South Upland Agriculture, Ministry of Education, Chongqing 400715)

Abstract: Drought in autumn has negative effect on germination and growth of rapeseed in Yangtze River valley. It is critical to identify drought tolerance resource in *Brassica rapa* for rapeseed breeding. The drought tolerance among five *B. rapa* accessions with different genetic background were evaluated using seven treatments concentration of PEG-6000, ranging from 0 to 300 g/L during germination stage. Significant differences were detected for drought tolerance among seven treatments, and optimum concentration of PEG-6000 was 200 g/L based on the principal components analysis for five indexes related to drought tolerance, including drought resistance index, relative germination rate, relative sprout potential, relative root length, and relative shoot length. Subsequently, 203 *B. rapa* collected worldwide were screened for drought tolerance with 200 g/L PEG-6000. Based on the result of membership function value analysis and cluster analysis, we prioritized all the experimental materials according to the drought stress. Additionally, PI226505 from Iran possessed the strongest drought tolerance, which would be helpful for drought tolerance improvement in oilseed rape.

Key words: *Brassica rapa*; drought tolerance; PEG stress; principal components analysis

油菜是当今世界主要的油料作物之一, 我国油菜种植面积、产量总和分别约占全世界的 1/3^[1]。

近年来, 随着国内植物油消费量的大幅提高, 我国油料呈现出供给严重不足、进口压力增加的局面。提

收稿日期: 2014-03-13 修回日期: 2014-06-09 网络出版日期: 2014-12-11

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20141211.2231.029.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31171585)

第一作者主要从事作物遗传育种研究。E-mail: chenzhifu6526804@126.com

通信作者: 李晓荣, 主要从事生物化学和分子生物学研究。E-mail: henryqian2013@gmail.com

高油菜单产是解决目前油菜供需矛盾的重要途径之一。长江流域是世界上最大的油菜产区,其总产量约占世界的1/4。然而,该地区的秋旱严重影响油菜的营养生长,可导致总产量减少25%~32%^[2-4]。开展油菜抗旱资源的筛选,培育抗旱品种对于提高该区域油菜产量、缓解我国油料供需矛盾具有重要意义。白菜型油菜具有许多优良性状,如耐瘠薄、耐干旱、抗寒性强等,具有甘蓝型油菜所不可替代的优良特性^[5]。国内外研究学者将白菜型油菜的优良性状转移到甘蓝型油菜中,选育了许多优良甘蓝型油菜^[6-7],为白菜型油菜抗旱性利用提供了参考。

本研究中,首先以本实验室前期选择的抗旱性不同的5份白菜型油菜为材料,于萌发期采用不同质量浓度的PEG-6000溶液模拟干旱胁迫,分析干旱胁迫处理对白菜型油菜的影响,确定了200 g/L的PEG-6000为最适胁迫浓度。选用该浓度于萌发期对本实验室在世界范围内广泛收集的203份白菜型油菜进行干旱胁迫处理,依据萌发抗旱指数、相对发芽率和相对发芽势三者的总隶属函数值的平均值将203份白菜型油菜的抗旱性的强弱进行了排序,以期利用白菜型油菜抗旱基因培育抗旱甘蓝型油菜奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

208份白菜型油菜由西南大学农学与生物科技学院重庆市油菜工程技术研究中心收集、保存、提供(表3、表4)。

1.2 方法

1.2.1 PEG-6000模拟干旱胁迫 设0(CK)、50 g/L、100 g/L、150 g/L、200 g/L、250 g/L、300 g/L 7个PEG-6000质量浓度,于萌发期对遗传背景不同的5份白菜型油菜进行干旱胁迫处理,筛选PEG-6000最佳胁迫浓度,并确定该胁迫浓度下油菜萌芽期抗旱性评价指标。

萌发期胁迫实验于培养皿中进行,将定性滤纸用10 mL PEG溶液浸透,平铺于直径9 cm的培养皿中,挑选大小一致、饱满、无病害的油菜种子50粒,摆放到培养皿中,于25℃光照培养箱中萌发,期间每天向各皿中加入1 mL PEG溶液,每个处理2个重复。

203份白菜型油菜抗旱资源筛选的操作同上。

1.2.2 测定指标 每天记录种子发芽的数量,以胚芽长度为种子直径的1/2为发芽标准;在第3天计

算发芽势及相对发芽势;于第8天测定发芽率及相对发芽率,并随机取10株萌发的幼苗,测量其根长和芽长,计算相对根长和相对芽长。

种子萌发抗旱指数的计算参照孙彩霞等^[8]的方法进行,种子萌发抗旱指数=水分胁迫下种子萌发指数(PIS)/对照种子萌发指数(PIC),萌发指数(PI) = $1nd_2 + 0.75nd_4 + 0.5nd_6 + 0.25nd_8$ (nd_2 、 nd_4 、 nd_6 、 nd_8 分别代表第2、4、6、8天的种子萌发率)。

发芽率 = 正常萌发种子数/供试种子数

相对发芽率 = (处理发芽率/对照发芽率) × 100

发芽势 = 达到高峰时正常发芽的种子数/供试种子数

相对发芽势 = (处理发芽势/对照发芽势) × 100

相对根长 = (处理根长/对照根长) × 100

相对芽长 = (处理芽长/对照芽长) × 100

1.3 数据分析与处理

1.3.1 数据分析 数据采用SPSS 11.5和SAS 8.0分析软件进行方差分析和主成分分析。

1.3.2 隶属函数值的计算 运用综合隶属函数值法^[9-10]评价白菜型油菜抗旱性,隶属函数计算公式为 $R(X_i) = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$;反隶属函数值计算公式为 $R(X_i) = 1 - (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$,式中 X_i 为指标测定值, X_{min} 、 X_{max} 分别为供试材料相应指标的最小值和最大值。

2 结果与分析

2.1 PEG-6000胁迫浓度筛选

首先以本实验室前期选择的抗旱性不同的5份白菜型油菜为材料,于第8天测定相对发芽率,并随机取10株萌发的幼苗,测量其根长和芽长,计算相对根长和相对芽长。

2.1.1 PEG-6000胁迫对油菜种子发芽率的影响

试验结果表明,油菜种子在不同质量浓度的PEG-6000溶液处理下,发芽均受到不同程度的抑制,随PEG-6000质量浓度的不断增大,种子的相对发芽率呈下降的趋势(图1),这与已研究的结果相似^[11-12]。当PEG-6000溶液浓度达到200 g/L时,5个供试材料相对发芽率都受到显著的影响,其中7F065和7F079材料的相对发芽率都只有58%,随着PEG-6000溶液浓度的升高,所有供试材料的相对发芽率都下降,当浓度达到250 g/L或更高时,只有少数几颗种子的胚根突破种皮,相对发芽率下降到1%甚至更低。

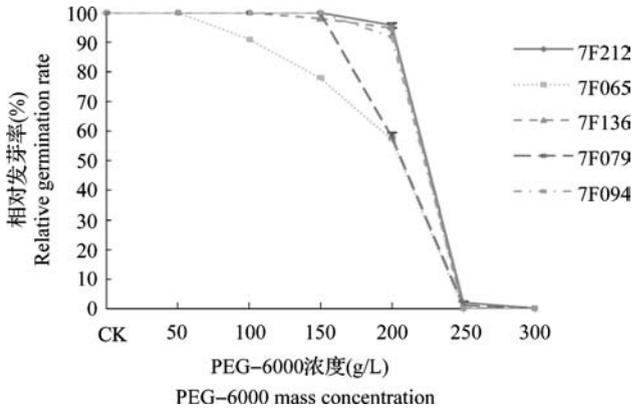


图 1 不同 PEG-6000 浓度对油菜种子相对发芽率的影响

Fig. 1 Effects of PEG-6000 mass concentration on relative germination rate in *B. rapa*

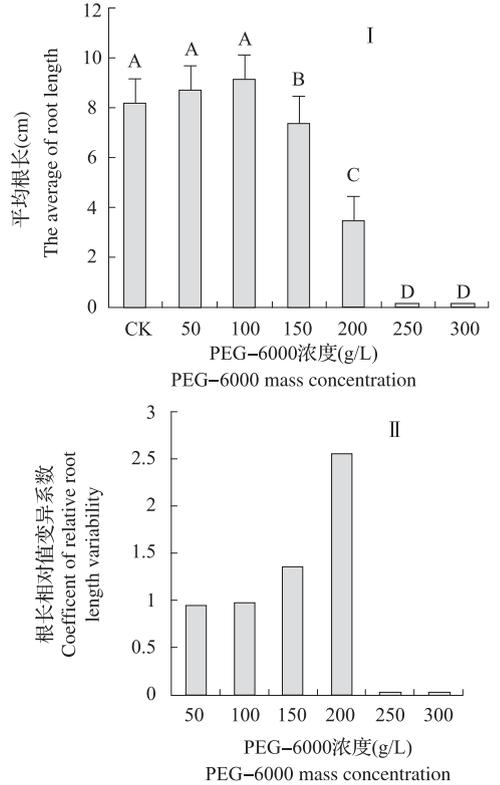
2. 1. 2 PEG-6000 胁迫对油菜种子萌发期形态指标的影响

2. 1. 2. 1 PEG-6000 胁迫对油菜根长的影响 如图 2- I 所示,50 g/L、100 g/L 的 PEG-6000 处理后,油菜根长与对照没有显著差异,150 g/L 的 PEG-6000 处理后,油菜根长与对照出现较小的差异,但 200 g/L 的 PEG-6000 胁迫显著抑制了油菜根长,约为对照的 40%,这与王道杰等^[13]研究的结果相似。变异系数分析表明,50 g/L、100 g/L、150 g/L 的 PEG-6000 处理后,材料间的相对根长变化不显著,但胁迫浓度达到 200 g/L 时,不同材料的根长有显著差异(图 2- II)。

2. 1. 2. 2 PEG-6000 胁迫对油菜芽长的影响 由图 3- I 可以看出,用 200 g/L 的 PEG-6000 处理时,芽长比对照降低了 50%,与王道杰等^[13]的研究相似。由变异系数分析(图 3- II)可以看出,200 g/L 的 PEG-6000 处理对油菜芽长影响最大,表明该浓度下的处理效果最明显。

综合分析发芽率、根长和芽长 3 项指标受到的影响,认为 200 g/L 的 PEG 浓度为白菜型油菜萌发期耐旱性鉴定的最适处理浓度。

2. 1. 3 油菜萌发期抗旱性相关指标及其主成分的分析 从 PEG-6000 浓度对供试材料的相对发芽率、相对芽长和相对根长的结果可知,200 g/L 的 PEG-6000 处理对油菜萌发期的影响最适合抗旱材料的筛选,以下相关指标的分析选用 200 g/L 的 PEG-6000 处理,其具体结果见表 1,在该浓度的处理下,各材料的生长发育指标均发生一系列的变化,进一步将这些指标综合起来进行抗旱性的评价。



不同的大写字母表示差异达极显著水平 ($P < 0.01$), 下同
Different capital letters indicate significant difference at 0.01 level, the same as below

图 2 不同 PEG-6000 的质量浓度对油菜根长的影响
Fig. 2 Effects of drought stress on root length in different PEG-6000 mass concentration

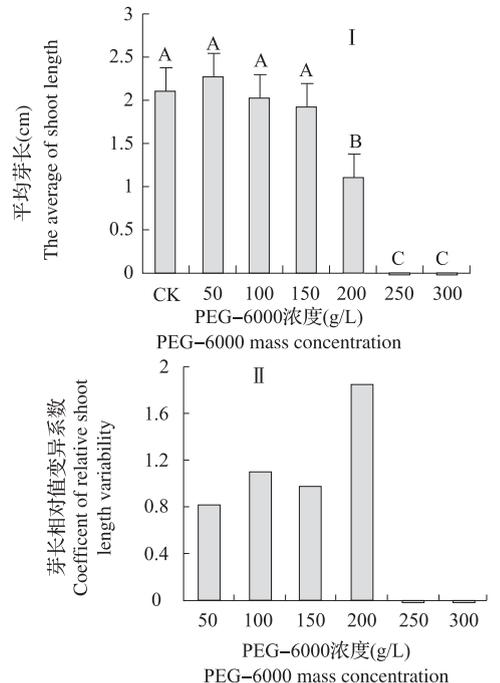


图 3 不同 PEG-6000 的质量浓度对油菜芽长的影响
Fig. 3 Effects of drought stress on shoot length in different PEG-6000 mass concentration

表 1 各测定指标的抗旱胁迫系数

Table 1 The drought stress resistance coefficient of measured indicators

| 品种(来源) | 萌发抗旱指数 | 相对发芽率 | 相对发芽势 | 相对根长 | 相对芽长 |
|------------------|--------|-------|-------|------|------|
| Variety (Origin) | DRI | RGR | RSP | RRL | RSL |
| 7F212(China) | 0.37 | 0.96 | 0.38 | 0.31 | 0.53 |
| 7F065(China) | 0.51 | 0.58 | 0.89 | 0.5 | 0.75 |
| 7F136(China) | 0.42 | 0.96 | 0.44 | 0.57 | 0.45 |
| 7F079(China) | 0.2 | 0.58 | 0.34 | 0.35 | 0.34 |
| 7F094(China) | 0.35 | 0.94 | 0.37 | 0.4 | 0.56 |

DRI, RGR, RSP, RRL, and RSL represent seed germination drought resistance index, relative germination rate, relative sprout potential, relative root length, relative shoot length, respectively, the same as below

用 200 g/L 的 PEG-6000 对材料进行胁迫处理, 选用 5 个指标的相对值进行主成分分析, 表 1 构成了主成分分析的原数据矩阵。由表 2 可知, 第一、第二和第三主成分的贡献率分别为 50.78%、39.11% 和 10.11%, 三者的贡献率已基本代表了所测指标的信息, 可反映影响萌发期白菜型油菜抗旱性主导因素。从各个指标在综合指标的贡献率及主成分特征向量值(表 2)可以看出, 第一主成分中相对发芽

率占的比重较大; 第二主成分中萌发抗旱指数和相对根长所占的比重较大; 第三主成分中相对发芽势和相对芽长所占的比重较大。结果表明, 这 3 个主成分所包含的信息集中反映了构成白菜型油菜萌发期抗旱性的各项指标在干旱胁迫环境下的相互关系, 由此建立的评价指标体系可以较好地评价油菜种子萌发期抗旱能力。

表 2 各综合指标的特征值, 贡献率和主成分特征向量值

Table 2 Eigen values and variance contribution ratio of measured indicators and characteristic value of principal components

| 主成分 | 特征值 | 贡献率(%) | 累计贡献率(%) | 所测指标的特征向量值 | | | | |
|---------------------|-------------|-----------------------------|---|-------------------------------------|--------|--------|-------|--------|
| | | | | Eigen vector of measured indicators | | | | |
| Principal component | Eigen value | Variance contribution ratio | Accumulated variance contribution ratio | DRI | RGR | RSP | RRL | RSL |
| 1 | 2.539 | 50.78 | 50.78 | -0.323 | 0.562 | -0.581 | 0.103 | 0.481 |
| 2 | 1.956 | 39.11 | 89.89 | 0.613 | 0.248 | -0.231 | 0.649 | -0.296 |
| 3 | 0.505 | 10.11 | 100 | 0.021 | -0.391 | 0.278 | 0.543 | 0.689 |

2.1.4 油菜芽期抗旱性隶属函数分析 隶属函数值在植物的抗旱评价中是较为综合的一种评价方法^[14]。本文运用隶属函数法, 选用 5 个指标对 5 个

材料的抗旱性进行了综合评估、排序(表 3), 其抗旱性差异与前期的抗旱性筛选结果一致, 这表明本研究中选用的抗旱性指标是可行的。

表 3 各项指标的隶属函数值和抗旱性综合评价结果

Table 3 Membership function value of the indicators and evaluation results of drought resistance

| 品种(来源) | 所测指标的隶属值 | | | | | 均值 |
|------------------|---|------|------|------|------|------|
| | Membership value of measured indicators | | | | | |
| Variety (Origin) | DRI | RGR | RSP | RRL | RSL | Mean |
| 7F212(China) | 0.55 | 1 | 0.09 | 0 | 0.46 | 0.42 |
| 7F065(China) | 1 | 0 | 1 | 0.74 | 0.75 | 0.75 |
| 7F136(China) | 0.72 | 1 | 0.19 | 1 | 0.27 | 0.64 |
| 7F079(China) | 0 | 0 | 0 | 0.16 | 0 | 0.03 |
| 7F094(China) | 0.49 | 0.95 | 0.07 | 0.33 | 0.55 | 0.48 |

2.2 白菜型油菜资源抗旱性评估

基于上述的结果,用 200 g/L 的 PEG-6000 对 203 份不同遗传背景的白菜型油菜进行干旱胁迫处理,通过对萌发抗旱指数、相对发芽率和相对发芽势三项指标进行评估,综合隶属函数平均值进行抗旱

筛选,获得了 203 份白菜型油菜萌发期的抗旱性差异,其中抗旱性最好的为 PI226505,该材料的来源为 Iran,其余材料依据隶属函数值的平均值排于其后,具体的结果见表 4。

表 4 各指标的隶属函数值和抗旱综合评价结果

Table 4 Membership function value of the indicators and evaluation results of drought resistance

| 品种/来源 Variety/Origin | 所测指标的隶属值 Membership value of measured indicators | | | 均值 Mean | 排序 Sort | 品种/来源 Variety/Origin | 所测指标的隶属值 Membership value of measured indicators | | | 均值 Mean | 排序 Sort |
|-------------------------|--|------|------|------------|------------|-------------------------|--|------|------|------------|------------|
| | DRI | RGR | RSP | | | | DRI | RGR | RSP | | |
| | PI226505/Iran | 1.00 | 0.76 | | | | 0.67 | 0.81 | 1 | | |
| CGN06841/China | 0.16 | 1.00 | 1.00 | 0.72 | 2 | 鄞县土油菜/China | 0.01 | 0.42 | 0.35 | 0.26 | 35 |
| PI254543/Afghanistan | 0.23 | 0.76 | 0.71 | 0.57 | 3 | OLQ562/China | 0.03 | 0.42 | 0.32 | 0.26 | 36 |
| Green globe/New Zealand | 0.01 | 0.76 | 0.63 | 0.47 | 4 | Manga/New Zealand | 0.03 | 0.40 | 0.30 | 0.24 | 37 |
| BROWN SARSON/Pakistan | 0.01 | 0.72 | 0.56 | 0.43 | 5 | 3X363/Foreign | 0.01 | 0.45 | 0.27 | 0.24 | 38 |
| OLQ533/China | 0.15 | 0.60 | 0.53 | 0.43 | 6 | CR2889/Italy | 0.01 | 0.49 | 0.22 | 0.24 | 39 |
| OLQ525/China | 0.15 | 0.60 | 0.48 | 0.41 | 7 | 6Y744F/China | 0.01 | 0.42 | 0.27 | 0.24 | 40 |
| 于潜土种/China | 0.02 | 0.64 | 0.56 | 0.41 | 8 | BCb20/India | 0.04 | 0.38 | 0.27 | 0.23 | 41 |
| OLQ521/China | 0.07 | 0.58 | 0.49 | 0.38 | 9 | 藏油 5 号/China | 0.01 | 0.68 | 0.00 | 0.23 | 42 |
| PI222236/Iran | 0.04 | 0.58 | 0.47 | 0.36 | 10 | BRA2792/Indonesia | 0.03 | 0.42 | 0.24 | 0.23 | 43 |
| PI268369/Afghanistan | 0.02 | 0.55 | 0.48 | 0.35 | 11 | 仓社矮油菜/China | 0.02 | 0.62 | 0.04 | 0.23 | 44 |
| York globe/New Zealand | 0.03 | 0.64 | 0.37 | 0.35 | 12 | OLQ553/China | 0.04 | 0.44 | 0.18 | 0.22 | 45 |
| 油白菜/China | 0.18 | 0.46 | 0.37 | 0.34 | 13 | 长宁黄油菜/China | 0.00 | 0.52 | 0.11 | 0.21 | 46 |
| NU51637/Sweden | 0.06 | 0.60 | 0.34 | 0.33 | 14 | OLQ224/China | 0.10 | 0.35 | 0.18 | 0.21 | 47 |
| OLQ515/China | 0.04 | 0.54 | 0.40 | 0.33 | 15 | NU51569/Guatemala | 0.02 | 0.58 | 0.02 | 0.21 | 48 |
| PI204683/Turkey | 0.19 | 0.43 | 0.36 | 0.33 | 16 | OLQ500/China | 0.02 | 0.34 | 0.26 | 0.21 | 49 |
| 乡拉地村小油菜/China | 0.01 | 0.58 | 0.39 | 0.33 | 17 | 黄岩宁波种/China | 0.02 | 0.34 | 0.25 | 0.20 | 50 |
| P242/China | 0.03 | 0.62 | 0.31 | 0.32 | 18 | 68-5301/Sweden | 0.04 | 0.36 | 0.20 | 0.20 | 51 |
| PI250004/Egypt | 0.02 | 0.56 | 0.38 | 0.32 | 19 | PI303135/Netherlands | 0.06 | 0.40 | 0.12 | 0.19 | 52 |
| OLQ519/China | 0.07 | 0.56 | 0.31 | 0.32 | 20 | CrGC-1/United States | 0.01 | 0.56 | 0.00 | 0.19 | 53 |
| CANA ECHO/Canada | 0.07 | 0.50 | 0.37 | 0.32 | 21 | 余井花籽/China | 0.01 | 0.42 | 0.12 | 0.18 | 54 |
| OLQ549/China | 0.03 | 0.48 | 0.43 | 0.31 | 22 | 隆回甜油菜/China | 0.00 | 0.36 | 0.18 | 0.18 | 55 |
| 日当村小油菜/China | 0.00 | 0.56 | 0.37 | 0.31 | 23 | Ames 24530/Pakistan | 0.03 | 0.32 | 0.20 | 0.18 | 56 |
| OLQ534/China | 0.26 | 0.43 | 0.24 | 0.31 | 24 | 77-837/Afghanistan | 0.05 | 0.27 | 0.22 | 0.18 | 57 |
| BRA1590/Japan | 0.41 | 0.34 | 0.18 | 0.31 | 25 | 汉川油菜/China | 0.03 | 0.44 | 0.06 | 0.18 | 58 |
| 治城小花油菜/China | 0.05 | 0.53 | 0.34 | 0.31 | 26 | PI268371/Afghanistan | 0.09 | 0.30 | 0.14 | 0.18 | 59 |
| PI251326/Iran | 0.06 | 0.66 | 0.18 | 0.30 | 27 | OLQ516/China | 0.30 | 0.16 | 0.06 | 0.17 | 60 |
| BAU-M/38/Bangladesh | 0.05 | 0.45 | 0.39 | 0.30 | 28 | OLQ481/China | 0.04 | 0.28 | 0.20 | 0.17 | 61 |
| OLQ510/China | 0.16 | 0.44 | 0.25 | 0.28 | 29 | 岔河 5 号/China | 0.01 | 0.35 | 0.14 | 0.17 | 62 |
| CR1478/USA | 0.04 | 0.48 | 0.33 | 0.28 | 30 | SARSON/Afghanistan | 0.00 | 0.27 | 0.21 | 0.16 | 63 |
| 海盐黄菜籽/China | 0.17 | 0.42 | 0.24 | 0.28 | 31 | 诸儿土种油菜/China | 0.08 | 0.23 | 0.18 | 0.16 | 64 |
| OLQ482/China | 0.09 | 0.46 | 0.25 | 0.27 | 32 | OLQ531/China | 0.03 | 0.31 | 0.14 | 0.16 | 65 |
| NABO/Argentina | 0.15 | 0.36 | 0.29 | 0.27 | 33 | 湘乡油菜/China | 0.00 | 0.47 | 0.00 | 0.16 | 66 |

表 4(续)

| 品种/来源 Variety/Origin | 所测指标的隶属值 Membership value of measured indicators | | | 均值 Mean | 排序 Sort | 品种/来源 Variety/Origin | 所测指标的隶属值 Membership value of measured indicators | | | 均值 Mean | 排序 Sort |
|-----------------------------|--|------|------|------------|------------|--------------------------|--|------|------|------------|------------|
| | DRI | RGR | RSP | | | | DRI | RGR | RSP | | |
| | 云梦伏地油菜 /China | 0.00 | 0.34 | | | | 0.12 | 0.15 | 67 | | |
| 前峰 12 号 /China | 0.00 | 0.26 | 0.20 | 0.15 | 68 | 长沙姑香 /China | 0.00 | 0.16 | 0.00 | 0.05 | 112 |
| SARSON/India | 0.01 | 0.40 | 0.04 | 0.15 | 69 | OLQ488/China | 0.00 | 0.16 | 0.00 | 0.05 | 113 |
| 文成土种油菜 /China | 0.01 | 0.36 | 0.08 | 0.15 | 70 | 毕节油菜 /China | 0.02 | 0.12 | 0.02 | 0.05 | 114 |
| PI263055/Russian Federation | 0.01 | 0.26 | 0.17 | 0.15 | 71 | BRA1298/Korea | 0.01 | 0.15 | 0.00 | 0.05 | 115 |
| OLQ514/China | 0.03 | 0.24 | 0.16 | 0.14 | 72 | OLQ517/China | 0.01 | 0.08 | 0.06 | 0.05 | 116 |
| OLQ475/China | 0.09 | 0.22 | 0.12 | 0.14 | 73 | OLQ478/China | 0.01 | 0.12 | 0.02 | 0.05 | 117 |
| OLQ509/China | 0.01 | 0.42 | 0.00 | 0.14 | 74 | 丰城孙渡油菜 /China | 0.00 | 0.14 | 0.00 | 0.05 | 118 |
| PI419212/Hong Kong | 0.01 | 0.34 | 0.07 | 0.14 | 75 | 堆龙高油 /China | 0.00 | 0.14 | 0.00 | 0.05 | 119 |
| PI179181/Turkey | 0.07 | 0.24 | 0.10 | 0.14 | 76 | 1V235/China | 0.00 | 0.14 | 0.00 | 0.05 | 120 |
| 06Y261/China | 0.01 | 0.36 | 0.04 | 0.14 | 77 | SARSON/Afghanistan | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 0.05 | 121 |
| 77-73/United States | 0.01 | 0.34 | 0.06 | 0.14 | 78 | 藏油 9 号/China | 0.00 | 0.14 | 0.00 | 0.05 | 122 |
| 高棋种 /China | 0.01 | 0.30 | 0.10 | 0.14 | 79 | 铅山油菜 /China | 0.00 | 0.12 | 0.00 | 0.04 | 123 |
| DICHOTOMA/India | 0.00 | 0.36 | 0.04 | 0.13 | 80 | K-569/Pakistan | 0.01 | 0.10 | 0.00 | 0.04 | 124 |
| 南和县野菜籽 /China | 0.00 | 0.31 | 0.07 | 0.13 | 81 | BCT32/India | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.03 | 125 |
| 6Y754F/China | 0.01 | 0.24 | 0.12 | 0.12 | 82 | 新津大黑菜子 /China | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.03 | 126 |
| 大冶矮脚白油菜 /China | 0.01 | 0.24 | 0.12 | 0.12 | 83 | BAU-M/41/Bangladesh | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.03 | 127 |
| 自贡白油菜 /China | 0.01 | 0.26 | 0.08 | 0.12 | 84 | 藏油 6 号/China | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.03 | 128 |
| 77-1075/India | 0.01 | 0.24 | 0.08 | 0.11 | 85 | Ames 30081/United States | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 129 |
| CHIFFU/China | 0.01 | 0.28 | 0.02 | 0.10 | 86 | 宜宾黑菜子 /China | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.03 | 130 |
| 青菜 /China | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 0.10 | 87 | 宜昌三区油菜 /China | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.03 | 131 |
| 永结油菜 /China | 0.02 | 0.23 | 0.04 | 0.10 | 88 | OLQ501/China | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.03 | 132 |
| 榕江苏州油菜 /China | 0.01 | 0.26 | 0.02 | 0.10 | 89 | CGN06838/China | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.03 | 133 |
| SARSON/Pakistan | 0.00 | 0.24 | 0.03 | 0.09 | 90 | 6Y705/China | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.03 | 134 |
| 藏油 3 号 /China | 0.01 | 0.25 | 0.02 | 0.09 | 91 | OLQ522/China | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.03 | 135 |
| OLQ671/China | 0.00 | 0.26 | 0.00 | 0.09 | 92 | OLQ446-11/China | 0.01 | 0.07 | 0.00 | 0.03 | 136 |
| 武冈油白菜 /China | 0.00 | 0.24 | 0.02 | 0.09 | 93 | Ames 30082/United States | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.02 | 137 |
| Solo/Sweden | 0.00 | 0.20 | 0.06 | 0.09 | 94 | NU52003/Sweden | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.02 | 138 |
| OLQ483/China | 0.01 | 0.20 | 0.04 | 0.08 | 95 | 6Y704/China | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.02 | 139 |
| 6Y714F/China | 0.00 | 0.24 | 0.00 | 0.08 | 96 | PI254542/Afghanistan | 0.02 | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 140 |
| OLQ480/China | 0.00 | 0.18 | 0.06 | 0.08 | 97 | RapidoIII/Sweden | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.02 | 141 |
| OLQ476/China | 0.01 | 0.18 | 0.04 | 0.08 | 98 | OLQ492/China | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.02 | 142 |
| 巢湖油菜 /China | 0.00 | 0.22 | 0.00 | 0.07 | 99 | 6Y717/China | 0.00 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 143 |
| OLQ484/China | 0.01 | 0.14 | 0.06 | 0.07 | 100 | 6Y726/China | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.02 | 144 |
| OLQ486/China | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.07 | 101 | 随县大油菜 /China | 0.00 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 145 |
| 陇油 9 号 /China | 0.00 | 0.18 | 0.02 | 0.07 | 102 | Ames24530/Pakistan | 0.01 | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 146 |
| 德清金菜籽 /China | 0.00 | 0.14 | 0.06 | 0.07 | 103 | BAU-M/90/Bangladesh | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 147 |
| 6Y756F/China | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.07 | 104 | Torpe/Sweden | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 148 |
| 云梦半直立油菜 /China | 0.00 | 0.11 | 0.08 | 0.07 | 105 | 阳新辣油菜 /China | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 149 |
| SHALGHEM/Iran | 0.02 | 0.16 | 0.02 | 0.07 | 106 | 1075/China | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 150 |
| PR. RAS1/Netherlands | 0.01 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 107 | 6Y736F/China | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 151 |
| OLQ502/China | 0.01 | 0.12 | 0.06 | 0.06 | 108 | CGN06840/China | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 152 |
| PI176885/Turkey | 0.02 | 0.10 | 0.06 | 0.06 | 109 | 川油 III-36/China | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 153 |
| OLQ226/China | 0.01 | 0.16 | 0.00 | 0.06 | 110 | 曙光一号 /China | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 154 |

表 4(续)

| 品种/来源 Variety/Origin | 所测指标的隶属值 Membership value of measured indicators | | | 均值 Mean | 排序 Sort | 品种/来源 Variety/Origin | 所测指标的隶属值 Membership value of measured indicators | | | 均值 Mean | 排序 Sort |
|--------------------------|--|------|------|------------|------------|--------------------------|--|------|------|------------|------------|
| | DRI | RGR | RSP | | | | DRI | RGR | RSP | | |
| | 藏油 1 号/China | 0.00 | 0.04 | | | | 0.00 | 0.01 | 155 | | |
| 6Y723F/China | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 156 | Ames 30080/United States | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 181 |
| 0LQ504/China | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 157 | BCt35/India | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 182 |
| PI254450/Irap | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.01 | 158 | Ames 30079/United States | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 183 |
| 浠山油菜/China | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.01 | 159 | CGN06842/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 184 |
| 青油 13/China | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.01 | 160 | CGN07224/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 185 |
| 5K1002/China | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 161 | CGN06830/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 186 |
| G23106/France | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 162 | 0LQ706/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 187 |
| 大梧洋白菜/China | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 163 | 6Y708F/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 188 |
| 0LQ689/China | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 164 | 6Y710/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 189 |
| NU 49303/India | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 165 | 6Y732F/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 190 |
| BCT9/India | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 166 | 绥阳油菜/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 191 |
| 6Y724F/China | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 167 | 长顺大白油菜/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 192 |
| 7M1175/China | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 168 | 0LQ487/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 193 |
| 1V237/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 169 | 0LQ491/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 194 |
| 1V232/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 170 | 0LQ507/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 195 |
| 1V233/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 171 | 0LQ607/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 196 |
| 1V236/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 172 | 9B05-3/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 197 |
| 陇油 6 号/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 173 | 6R092/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 198 |
| 天油 4 号/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 174 | 苏州青/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 199 |
| MOSA/Netherlands | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 175 | 秦油 4 号/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 200 |
| BAU-M/39/Bangladesh | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 176 | 0LQ235/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 201 |
| PI205283/Turkey | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 177 | HORIZON/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 202 |
| SNOWBALL/Netherlands | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 178 | 1V223/China | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 203 |
| Ames 30083/United States | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 179 | | | | | | |

2.3 油菜抗旱性品种筛选

通过对 203 份材料进行抗旱性评估,根据隶属函数值进行抗旱性的排序,选取位于前 20 位的材料进行聚类分析。由图 4 可以看出,综合各个指标分析结果可将 20 个品种划分为 4 个类群,第 I 类群抗旱性最强,包含 PI226505 品种;第 II、III 类群包含 CGN06841、PI254543、Green globe、BROWN SARSON 品种,其抗旱性中等;其余材料可划分为第 IV 类群,抗旱性较弱。

3 讨论

由于 PEG-6000 无毒,且不易被植物体所吸收,已被广泛用于多种作物抗旱性的鉴定,对于不同的作物、不同的方法,选用的 PEG-6000 的浓度有所不同。王贺正等^[15]运用 250 g/L 的 PEG-6000 对水稻品系进行抗旱性的鉴定与研究,张霞等^[16]对甘蓝型油菜萌发期的抗旱性进行研究,认为 100 g/L 的 PEG-6000 可作为最适处理质量浓度。本试验选用了 7 个 PEG-6000 质量浓度梯度对白菜型油菜进行

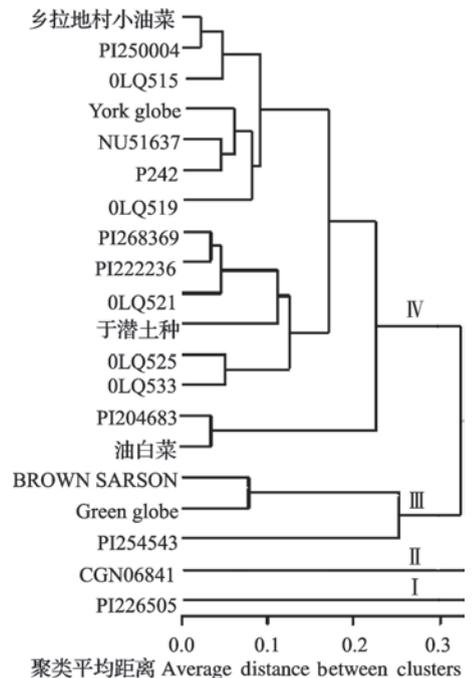


图 4 20 个油菜品种芽期指标相对值聚类分析
Fig. 4 Cluster analysis of relative indexes of 20 cultivars at germination stage in *B. rapa*

抗旱性鉴定,认为 200 g/L 为最适处理浓度,与前人的研究结果有差异,可能的原因有:(1)选取的研究对象不同,前者选用的是甘蓝型油菜品种,本试验选取了白菜型油菜,材料在性状上有差异,可能会导致不一样的结果;(2)试验前期处理上也有所不同,前者浸种 24 h 后再进行 PEG-6000 的胁迫处理,而本试验清洗干净后直接进行处理,种子在萌发时会产生一定的差异。

本试验中模拟干旱胁迫处理下,大多数白菜型油菜种子发芽率、发芽势、萌发抗旱指数、根长和芽长都有不同程度的下降,说明干旱胁迫抑制了白菜型油菜萌发,但在轻度的胁迫下有个别材料某些测定指标较对照有所提高,可能是一定程度干旱胁迫促进了种子的某些萌发过程,这与前人研究的低浓度处理可以促进根的生长具有相似之处^[17]。

通过对萌发抗旱指数、相对发芽率、相对发芽势、相对根长和相对芽长 5 个抗旱指标进行主成分分析,最终确定相对发芽率为主要抗旱性鉴定指标,相对根长和萌发抗旱指数、相对发芽势和相对芽长为次要抗旱性鉴定指标,进一步应用隶属函数值对总体的 203 个白菜型油菜进行了综合的评估,通过隶属函数值的排序选取 20 个材料进行聚类分析,将其分为 4 个类群,综合各个指标从第 I 类群中选出了抗旱性最强的 PI226505 白菜型油菜,其来源为 Iran,结果分析也可以看出,来自国外的材料具有较好的抗旱性,因此可以引进国外材料来提高本土油菜的抗旱性,并充分利用其优良的性状培育高抗旱的油菜,为后续的研究奠定基础。

作物的抗旱性是一个复杂的综合性状,不同的品种具有不同的抗旱机制,即使是同一品种在不同的时期也不会有不同的差异^[18-19],本试验在油菜芽期探究了其抗旱性,为综合考虑油菜抗旱性提供了基础。

参考文献

- [1] Fu T D. Welcome address by the president at the opening ceremony of the 12th rapeseed congress[C]//Wuhan:Proceedings of the 12th international rapeseed congress,2007
- [2] Santos M G, Ribeiro R V, Machado E C, et al. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common bean genotypes under mild water deficit[J]. *Biologia Plantarum*,2009,53(2):229-236
- [3] 戴清明,吕爱钦,何维君,等.洞庭湖区油菜主要气象灾害发生规律与减灾避灾对策[J].*作物研究*,2006(1):60-65
- [4] 蒙祖庆,宋丰萍,刘振兴,等.干旱及复水对油菜苗期光合及叶绿素荧光特性的影响[J].*中国油料作物学报*,2012,34(1):40-47
- [5] 何余堂,涂金星,傅廷栋,等.中国白菜型油菜种质资源的遗传多样性的研究[J].*作物学报*,2002,28(9):697-703
- [6] Qian W, Sass O, Meng J. Heterotic patterns in rapeseed(*Brassica napus* L.): I. Crosses between spring and Chinese semi-winter lines[J]. *Theor Appl Genet*,2007,115:27-34
- [7] Bus A, Körber N, Snowdon R J, et al. Patterns of molecular variation in a species-wide germplasm set of *Brassica napus*[J]. *Theor Appl Genet*,2011,123:1413-1423
- [8] 孙彩霞,沈秀瑛.作物抗旱性鉴定指标及数量分析方法的研究进展[J].*中国农学通报*,2002,18(1):49-51
- [9] 兰巨生,胡福顺,张景瑞,等.作物抗旱指数的概念和统计方法[J].*华北农学报*,1990,5(2):20-25
- [10] Bouslama M. Stress tolerance in soybeans[J]. *Eval Crop Sci*,1984,24:933-937
- [11] 杨春杰,张学昆,邹崇顺,等. PEG-6000 模拟干旱胁迫对不同甘蓝型油菜品种萌发的幼苗生长的影响[J].*中国油料作物学报*,2007,29(4):425-430
- [12] 符明联,李根泽,杨清辉,等. PEG-6000 模拟干旱胁迫处理在筛选油菜抗(耐)旱材料中的应用分析[J].*中国农业科技导报*,2009,11(S2):60-62
- [13] 王道杰,杨翠玲,桂月靖,等.油菜抗旱性及鉴定方法与指标 I.油菜早期抗旱性鉴定模拟技术体系构建[J].*西北农业学报*,2011,20(12):77-82
- [14] 陶向新.模糊数学在农业科学中的初步应用[J].*沈阳农业大学学报*,1982,4(2):96-107
- [15] 王贺正,马均,李旭毅,等.水稻种质芽期抗旱性和抗旱性鉴定指标的筛选研究[J].*西南农业学报*,2004,17(5):594-599
- [16] 张霞,谢小玉. PEG 胁迫下甘蓝型油菜种子萌发期抗旱鉴定指标的研究[J].*西北农业学报*,2012,21(2):72-77
- [17] 石贵玉,廖文雪,秦丽凤,等. PEG 模拟水分胁迫对香椿种子萌发的生理生化指标影响[J].*福建林业科技*,2009,36(4):142-145
- [18] 王道杰,杨翠玲,桂月靖,等.油菜抗旱性及鉴定方法与指标 II.油菜芽期抗旱性鉴定指标的研究[J].*西北农业学报*,2012,21(3):84-91
- [19] 王道杰,杨翠玲,桂月靖,等.油菜抗旱性及鉴定方法与指标 III.油菜苗期抗旱性及鉴定指标筛选[J].*西北农业学报*,2012,21(5):108-113