

甘芥种间杂交后代 DH 系花期抗旱性评价

原小燕¹, 铁朝良², 符明联¹, 李根泽¹, 字德华³, 张云云¹, 王敬乔¹

(1. 云南省农业科学院经济作物研究所, 云南 昆明 650205; 2. 寻甸县农技推广站, 云南 寻甸 655200;

3. 云南省临翔区农业技术推广站, 云南 临沧 677099)

摘要: 本试验以 22 份甘蓝型油菜和芥菜型油菜种间杂交后代 DH 株系为供试材料, 在油菜花期降雨量约 5.7 mm、6.7 mm 的情况下, 连续两年设置正常灌水、花期干旱胁迫 2 个处理, 考察产量及与产量相关农艺性状, 应用抗旱指数法、灰色关联度综合分析法结合聚类分析, 筛选优异的抗旱种质资源。结果表明, 多数甘芥杂交后代材料抗旱性高于常规甘蓝型品种, 共获得 7 份抗旱性较强的材料; 无论采用直接评价或关联系数综合评价, 两种不同程度的干旱胁迫条件下, 约有 42.55% 的材料抗旱等级分类一致, 同一材料在不同程度干旱胁迫条件下, 其抗旱性表现有差别, 通过不同程度干旱胁迫条件下综合评价其抗旱性结果更可靠。

关键词: 甘芥杂交后代; DH 株系; 干旱胁迫; 抗旱指数; 关联系数

中图分类号: S311 **文献标志码:** A

Drought resistance evaluation of DH lines from interspecific hybrid of *B. napus* and *B. juncea* in flowering stage

YUAN Xiao-yan¹, TIE Chao-liang², FU Ming-lian¹, LI Gen-ze¹,

ZI De-hua³, ZHANG Yun-yun², WANG Jing-qiao¹

(1. Industrial Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650205, China;

2. Xundian Agricultural Technology Extension Station, Xundian, Yunnan 655200, China;

3. Linxiang Agricultural Technology Extension Station, Linxiang, Yunnan 677099, China)

Abstract: In this study, 22 doubled haploid (DH) lines from interspecific hybrid of *B. napus* and *B. juncea* were planted under both conditions of drought stress and normal irrigation at flowering stage in 2013 and 2015, during which the rainfall was 5.7 mm and 6.7 mm. The yield and yield-related agronomic traits were observed, and the drought-resistance of different lines was evaluated by adopting drought resistance index method, gray relevancy method and cluster analysis. The results showed that the drought resistance of most interspecific hybrids was stronger than that of conventional *B. napus* cultivars, and 7 strong drought-resistant materials were screened. No matter the direct evaluation method or the comprehensive method of correlation coefficient was adopted, the classification consistent rate of drought-resistance level was about 42.55% under two different conditions of drought stress. The drought resistance of same materials was inconsistent under different conditions of drought stress. Therefore, it is more reliable to evaluate the drought resistance of crops with comprehensive evaluation method under various extents of drought stress.

Keywords: interspecific hybrid of *B. napus* and *B. juncea*; doubled haploid lines; drought stress; drought resistance index; correlation coefficient

干旱是影响植物生长发育最重要的非生物胁迫因子, 是所有非生物胁迫中对农作物产量影响最大的因素之一^[1]。近年来, 随着全球变暖, 旱灾在全球范围内呈频发趋势, 全球 100 多个国家遭遇不同程度的旱灾, 俄罗斯、美国、法国、德国等灾情严重, 粮

食严重减产, 并引发全球粮食安全隐忧^[2]。目前, 干旱已成为影响我国北方地区全局性的自然灾害, 而在南方, 季节性干旱的程度也在不断加剧^[3]。

油菜是我国第一大油料作物, 每年旱灾导致的油菜总产损失平均达 20% 以上^[4]。冬春季是云南

收稿日期: 2015-12-03

基金项目: 云南省自然科学基金(2014FB161); 云南科技惠民计划(2014RA052); 国家现代农业油菜产业技术体系昆明综合试验站(NY-CYTX-00564); 云南省现代农业油菜产业技术体系建设

作者简介: 原小燕(1984—), 女, 副研究员, 主要从事油料作物品种选育及配套技术研究应用。E-mail: yuanxiaoyan69604@163.com。

通信作者: 符明联, 研究方向为油料作物品种选育及配套技术研究应用。E-mail: 1191655813@qq.com。

的季节性干早期,严重影响云南省油菜生产,2009年的干旱气候造成云南全省油菜单产损失达60%^[5-6]。虽然可以采取多种农业措施减轻干旱,但都不能从根本上解决干旱对农业生产带来的影响。创制新的抗旱种质材料,发掘利用干旱基因,进而选育抗旱品种是从源头上降低干旱对油菜产业影响的有效方法。

芥菜型油菜具有甘蓝型油菜没有的许多优良特性,如耐旱耐瘠、抗裂荚、黄籽、含油率高等^[7]。国内外学者对芥菜型油菜进行了大量研究,通过远缘杂交已将其一些优良性状导入甘蓝型油菜栽培种中^[8-11],如澳大利亚广泛利用印度、中国芥菜型油菜种质作早熟性和降低株高的亲本^[9-10],印度利用芥菜型油菜的杂种优势提高产量,加拿大利用甘芥杂交创制的材料作为抗白锈病 2V 生理小种亲本^[12],但国内外对于甘芥杂交后代抗旱性的相关研究鲜有报道。

目前油菜耐旱性研究主要集中在对甘蓝型油菜种子萌发期、苗期等某个生育期抗旱性指标及种质的筛选等方面^[13-16],对新的抗旱性种质资源的创制及产量形成关键时期花期抗旱性研究较少。同时各个研究者对于干旱胁迫程度设置也不同,除了萌发期及幼苗期采用多个不同水平干旱胁迫外,其他生育期多数仅在一个干旱胁迫条件下进行抗旱性鉴定,而花期不同程度干旱胁迫研究还未见报道。我们前期的研究表明,在苗期、花期、角果生长期,任何一时期发生干旱均能严重影响油菜地上部鲜重、株高、芥酸及油酸含量,花期发生干旱对产量影响最大,其次为苗期^[17]。

试验对 3 份抗旱性较好的甘蓝型和芥菜型油菜种间杂交后代,经小孢子培养获得的 22 份双单倍体(DH)株系在油菜花期降水量约 5.7 mm、6.7 mm 的情况下,连续两年设置正常灌水、花期干旱胁迫 2 个处理,在花期进行两年不同程度干旱胁迫,通过成熟期产量、产量相关性状,采用经典抗旱指数法、灰色关联度综合分析法结合聚类分析,对 24 份材料在花期抗旱性进行鉴定,为利用甘芥种间杂交获得抗旱性较强的油菜种质奠定基础。

1 材料和方法

1.1 材料

本文甘芥种间杂交后代材料由云南省农科院经作所提供,均为甘蓝型油菜和芥菜型油菜杂交后代(F5),于 2007、2008 年进行连续两年的田间初步抗旱性鉴定试验,筛选出 3 份抗旱性较好的种间杂交后代,2009 年进行小孢子培养获得种间杂交 DH 株系,于 2010 年进行套袋自交,共获得 22 份甘芥种间杂交后代 DH 株系,文中序号 3-24,以云南省近年来生产上主推常规甘蓝型油菜品种,花油 3 号、云油双 1 号为对照品种,(生产示范中花油 3 号抗旱性一般、云油双 1 号抗旱性较好)。

1.2 方法

1.2.1 试验方法 2012—2013 年,在云南省农科院昆明小哨基地进行试验,该试验地海拔 1 897 m,设正常灌溉(出苗期浇透水 1 次保证出苗、苗期浇透水 2 次、花期浇透水 1 次,绿熟期浇透水 3 次)和花期干旱胁迫处理,油菜全生育期内,云南昆明地区,总降水量为 61.4 mm,油菜抽薹至成熟期,降水量仅 14.7 mm,远不能满足油菜正常生长开花结实的水分需求,造成自然条件下严重的水分胁迫,为重度干旱。24 份材料顺序排列,每个小区种 5 行,每行 6 塘,每塘留苗 3 株,共 90 株。区组间间隔 6 m 宽的油菜带做防渗透隔离,在油菜成熟时收获,称地上部鲜重,并考察株高、总分枝数及有效分枝数及小区籽粒产量。

2014—2015 年,在云南省农科院昆明小哨基地进行试验。设正常灌溉和花期干旱胁迫两个处理,根据生育期自然降水情况(表 1),对照正常灌溉在出苗期浇透水 1 次保证出苗,苗期、花期、绿熟期各浇透水 1 次,花期干旱胁迫处理在花期不进行灌溉。油菜花期,自然降雨很少,造成自然条件下的水分胁迫,由于前期降雨较多,土壤含水量较 2012—2013 年高,为中度干旱。试验采用随机区组设计,四次重复,每个小区种 5 行,每行 6 塘,每塘留苗 3 株,共 90 株。区组间间隔 6 m 做防渗透隔离。

表 1 油菜不同生育期干旱胁迫处理方法及不同生育期的降水量

Table 1 Drought stress treatments and natural rainfall in different growth stages

| 时间 Time | 出苗期/mm Emergence stage | 苗期/mm Seedling stage | 蕾苔期/mm Bud stage | 花期/mm Flowering stage | 角果生长期/mm Podding stage |
|-----------------|---------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|
| 2014-10—2015-04 | 118.1 | 44.2 | 80.4 | 6.7 | 40.3 |
| 2012-10—2013-04 | 4.0 | 42.7 | 2.0 | 5.7 | 7.0 |

1.2.2 性状指标考察 在油菜成熟收获前 7 天内,每个小区取 10 株,用电子称称地上部鲜重、单株根系鲜重并考察株高、总分枝数、有效分枝部位、一次有效分枝数、主茎角果密度、主茎荚果数、主茎有效长、单株有效角果数、每角果粒数(第一年仅考察了地上部鲜重、株高、总分枝数、有效分枝数),角果晒干后,脱粒测定小区籽粒产量及千粒重,以 4 次重复平均值作为各处理考察性状指标的代表值。

1.3 数据处理与统计分析

1.3.1 抗旱性直接评价 本文以经典的抗旱指数作为抗旱性直接评价方法。以干旱胁迫与正常灌水的小区产量为依据,试验数据运用 Microsoft Excel 2007 软件,计算各个品种的抗旱系数、抗旱指数。

计算公式如下:

$$\text{抗旱系数}(DC) = Y_D / Y_P \quad (1)$$

式中, Y_D 为干旱胁迫处理下的产量或性状; Y_P 为正常灌水条件下的产量或性状。

$$\text{抗旱指数}(DI) = D_C \times Y_D / \overline{Y_D} \quad (2)$$

式中, D_C 、 Y_D 同上, $\overline{Y_D}$ 为所有 Y_D 的平均值。

1.3.2 抗旱性综合评价 本文以灰色关联度法^[14-16]作为抗旱性综合评价方法,以 12 个产量相关性状和产量为基础数据,应用 SPSS16.0 软件,按灰色关联理论要求^[16],将 24 个材料及 13 个性状(株高、有效分枝部位、总分枝数、一次有效分枝数、主茎角果密度、主茎荚果数、主茎有效长、每角果粒数、千粒重、单株有效角果数、单株地上部鲜重、单株根系重、小区产量)视为一个总体,即灰色系统,对照区的材料为相应鉴定区的材料的参考品种。每个品种对照区的性状列为该品种的参考数据列 Y_l , 鉴定

区的性状数列为被比较数列 X_l 。首先对原始数据进行无量纲化处理,然后由下列公式计算出关联系数 $\epsilon_i(k)$ 及关联度 r_i 。

$$\epsilon_{0i(k)} = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_i(k) + \rho \Delta_{\max}}$$

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$$

式中, $\epsilon_{0i(k)}$ 为鉴定品种鉴定区品种与参考品种(对照区品种)在 k 点(性状)的关联系数; Δ_{\min} 为所有比较序列各个时刻绝对值的最小值; Δ_{\max} 为所有比较序列各个时刻绝对值的最大值; $\Delta_i(k)$ 为 K 时刻两比较序列的绝对差; ρ 为分辨系数,取 $\rho = 0.1$ 。

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \epsilon_{i(k)}$$

2 结果与分析

2.1 不同干旱胁迫对不同油菜品种(种)系产量的影响

与正常灌水条件相比,不同程度干旱胁迫均能影响油菜产量,24 份参试材料在中度、重度干旱条件下抗旱系数变化趋势基本一致(图 1),24 份参试材料在 2014—2015 年,中度干旱胁迫处理条件下,有 41.67% 的材料产量下降(表 2),其中对照品种花油 3 号产量下降 37.31%,云油双 1 号产量基本不变,22 份甘芥杂交后代 DH 株系中有 40.91% 的材料产量下降,平均下降 12.49%。2012—2013 年重度干旱胁迫处理条件下,96% 的参试材料产量大幅下降,其中 2 个对照品种产量分别下降 87.09%、2.89%,22 份甘芥杂交后代 DH 株 21 份产量下降,平均下降 74.79%。

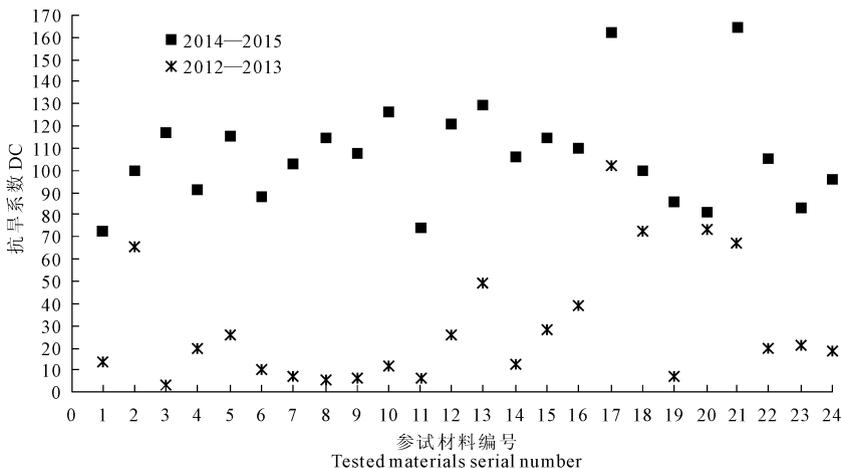


图 1 不同干旱胁迫条件下材料抗旱系数

Fig.1 Drought resistance coefficient (DC) of tested materials under different drought stress conditions

表 2 不同供试品种(系)在花期干旱胁迫条件下抗旱性直接评价

Table 2 Drought resistance identification of tested materials under different drought stress conditions

| 参试材料 Tested materials | 序号 Serial number | 2014—2015 | | | 2012—2013 | | | | |
|---|---------------------------|--------------|------------|---|--------------|------------|---|---------|--|
| | | 抗旱系数 DC/% | 抗旱指数 DI | 抗旱性直接评价 Drought resistance identification | 抗旱系数 DC/% | 抗旱指数 DI | 抗旱性直接评价 Drought resistance identification | | |
| 对照品种 Control varieties | 花油 3 号 Huayou 3 | 1 | 72.69 | 0.58 | 抗旱差 WDR | 12.91 | 0.06 | 耐旱 DT | |
| | 云油双 1 号 Yunyoushuang 1 | 2 | 100.21 | 1.19 | 耐旱 DT | 65.12 | 0.96 | 抗旱 DR | |
| 甘芥杂交后 代 DH 株系 Interspecific hybrids from <i>B. napus</i> and <i>B. juncea</i> | 12xs242-3-3 | 3 | 116.72 | 1.33 | 抗旱 DR | 3.32 | 0.01 | 抗旱差 WDR | |
| | 12XS247-2-2 | 4 | 91.28 | 0.77 | 抗旱差 WDR | 20.32 | 0.09 | 耐旱 DT | |
| | 12XS247-4-1 | 5 | 115.34 | 1.20 | 耐旱 DT | 26.12 | 0.16 | 耐旱 DT | |
| | 12XS247-5-3 | 6 | 88.50 | 0.75 | 抗旱差 WDR | 10.09 | 0.03 | 抗旱差 WDR | |
| | 12XS247-7-1 | 7 | 103.00 | 0.79 | 抗旱差 WDR | 6.64 | 0.01 | 抗旱差 WDR | |
| | 12XS265-3-3 | 8 | 114.45 | 0.99 | 耐旱 DT | 5.48 | 0.01 | 抗旱差 WDR | |
| | 12XS274-1-2 | 9 | 107.98 | 0.79 | 抗旱差 WDR | 6.00 | 0.01 | 抗旱差 WDR | |
| | 12XS274-2-1 | 10 | 125.83 | 1.48 | 抗旱 DR | 11.22 | 0.04 | 抗旱差 WDR | |
| | 12XS274-4-1 | 11 | 74.23 | 0.56 | 抗旱差 WDR | 6.36 | 0.02 | 抗旱差 WDR | |
| | 12XS247-6 | 12 | 121.14 | 1.39 | 抗旱 DR | 26.35 | 0.23 | 耐旱 DT | |
| | 12XS256-6-1 | 13 | 129.21 | 1.47 | 抗旱 DR | 49.14 | 1.18 | 抗旱 DR | |
| | 12XS256-1-1 | 14 | 106.33 | 1.06 | 耐旱 DT | 12.36 | 0.06 | 耐旱 DT | |
| | 12XS274-3-2 | 15 | 114.30 | 1.17 | 耐旱 DT | 28.46 | 0.22 | 耐旱 DT | |
| | 12XS282-1-2 | 16 | 110.03 | 0.91 | 耐旱 DT | 38.93 | 0.52 | 抗旱 DR | |
| | 12XS282-2-1 | 17 | 162.11 | 1.60 | 抗旱 DR | 121.35 | 3.01 | 抗旱 DR | |
| | 12XS282-3-3 | 18 | 99.98 | 0.76 | 抗旱差 WDR | 71.95 | 0.97 | 抗旱 DR | |
| | 12XS242-5-3 | 19 | 85.82 | 0.71 | 抗旱差 WDR | 6.80 | 0.01 | 抗旱差 WDR | |
| | 12XS247-9-3 | 20 | 80.73 | 0.73 | 抗旱差 WDR | 72.75 | 1.70 | 抗旱 DR | |
| | 12XS256-5-3 | 21 | 164.89 | 1.47 | 抗旱 DR | 66.91 | 0.99 | 抗旱 DR | |
| | 12XS256-8-1 | 22 | 105.04 | 1.19 | 耐旱 DT | 19.95 | 0.13 | 耐旱 DT | |
| | 12XS256-9-1 | 23 | 83.42 | 0.64 | 抗旱差 WDR | 21.48 | 0.12 | 耐旱 DT | |
| | 12XS265-4-3 | 24 | 96.15 | 0.88 | 耐旱 DT | 18.82 | 0.09 | 耐旱 DT | |
| | 均值 Mean | | | 108.93 | 1.03 | | 26.35 | 0.06 | |

注: DR—抗旱; DT—耐旱; WDR—抗旱差; DC—抗旱系数; DI—抗旱指数。下同。

Note: DR—Drought-resistant; DT—Drought-tolerant; WDR—Weak drought-resistance; DC—Drought coefficient; DI—Drought resistance index. The same below.

2.2 不同程度干旱胁迫下油菜不同品(种)系抗旱性直接评价

2 个对照品种在 2014—2015 年中度干旱胁迫处理条件下,其抗旱指数分别为 0.58、1.19(表 2),22 份甘芥杂交后代 DH 株系,有 95% 的材料抗旱指数显著高于对照品种花油 3 号,有 36.36% 的材料大于对照品种云油双 1 号,有 27.27% 的材料抗旱指数 ≥ 1.33 ,表现出较好的抗旱性(图 2);2 个对照品种在 2012—2013 年重度干旱胁迫处理条件下,其抗旱指数分别为 0.06、0.96(表 2),22 份甘芥杂交后代 DH 株系,有 59.09% 的材料抗旱指数显著高于对照品种花油 3 号,有 18.18% 的材料大于对照品种云油

双 1 号,有 13.64% 的材料抗旱指数 ≥ 1.00 ,表现出较好的抗旱性(图 2)。

24 份参试材料的抗旱指数经卡方距离可变类平均法连锁聚类分析(图 3、图 4),参试材料的抗旱性可归为三个类群,抗旱(DR)、耐旱(DT)、抗旱差(WDR)。对照花油 3 号、云油双 1 号在中度干旱条件下,分别表现为抗旱性差、耐旱;在重度干旱条件下,分别表现为耐旱、抗旱。

在中、重度干旱胁迫条件下,24 份参试材料的抗旱指数变化趋势基本一致(图 2),有 57.21% 的材料抗旱性分类一致(图 3、图 4),其中 6 份在中度干旱胁迫下表现为抗旱的材料,在重度干旱胁迫下抗

旱性表现如下:3 份为抗旱,1 份为耐旱,2 份抗旱差;8 份在中度干旱胁迫下表现为耐旱的材料,在重度干旱胁迫下抗旱性表现如下:2 份为抗旱,5 份为耐旱,1 份为抗旱差;10 份在中度干旱胁迫下表现为抗旱差的材料,在重度干旱胁迫下抗旱性表现如下:2 份为抗旱,3 份为耐旱,5 份为抗旱差。在中度及重度干旱胁迫条件下,22 份甘芥杂交后代 DH 株系

均有 27.27% 的材料表现为抗旱,尤其在中度干旱条件下,有 36.36% 的材料抗旱指数高于对照中抗旱性较好的云油双 1 号,总体看来,与甘蓝型油菜相比,甘芥杂交后代材料中,抗旱材料比例较高,因此通过甘芥种间杂交创制新的油菜抗旱种质进而选育抗旱品种是一种可行的方法。

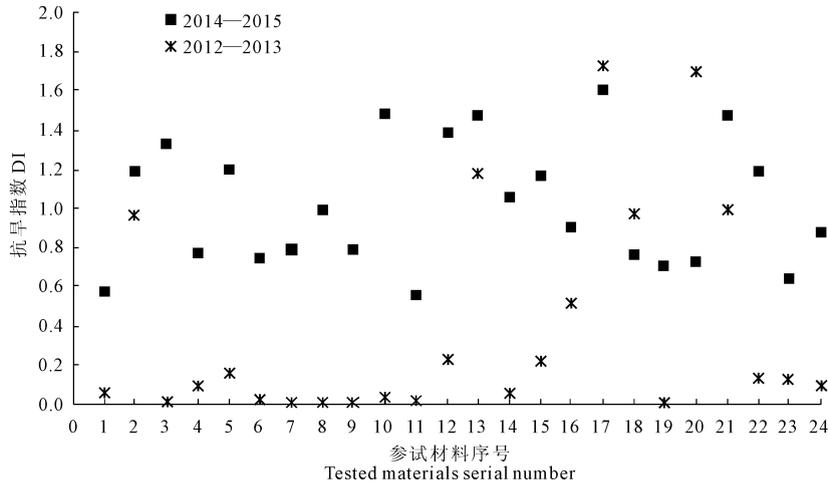


图 2 不同干旱胁迫条件下材料抗旱指数

Fig.2 Drought resistance index (DI) of tested materials under different drought stress conditions

表 3 中度干旱胁迫条件下抗旱系数及抗旱指数方差分析

Table 3 Variance analysis of drought coefficient and drought resistance index under moderate drought stress

| 项目 Item | 变异来源 Source of variation | 平方和 Sum of squares | 自由度 DF | 均方 Mean square | F 值 F - value | P 值 P - value |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|-------------------|------------------|------------------|
| 抗旱系数 Drought coefficient | 区组间 Interblock | 0.0917 | 3 | 0.0306 | 1.115 | 0.3492 |
| | 处理间 Inter-treatment | 4.9848 | 23 | 0.2167 | 7.901 | 0 |
| | 误差 Error | 1.8926 | 69 | 0.0274 | | |
| | 总变异 Total variation | 6.9692 | 95 | | | |
| 抗旱指数 Drought resistance index | 区组间 Interblock | 0.0634 | 3 | 0.0211 | 0.198 | 0.8973 |
| | 处理间 Inter-treatment | 9.7959 | 23 | 0.4259 | 3.991 | 0 |
| | 误差 Error | 7.3628 | 69 | 0.1067 | | |
| | 总变异 Total variation | 17.2222 | 95 | | | |

2.3 采用灰色关联度法评价油菜不同品(种)系的抗旱性

从农业意义上讲,植物的抗旱性是指植物在干旱时,依靠某些性状和特性来提供栽培目的产品的能力,产量下降越少,则抗旱性越强。灰色关联度分析法是对系统发展动态的量化比较,关联度反映这种密切程度的大小,关联度越大,说明因素间变化的势态越接近。本文采用灰色关联理论,分析 2014—2015 年各材料在花期中度干旱条件下抗旱性的强弱,将 24 份材料及 13 个性状视为一个总体,即灰色系统;分析 2012—2013 年各材料在花期重度干旱条

件下抗旱性的强弱,将 24 份材料及 5 个性状视为一个总体,对照区的品种为相应鉴定区的品种的参考品种。

不同参试材料的关联系数值(表 4),反映其在不同时期抗旱性的强弱。2014—2015 年中度干旱胁迫条件下,22 份甘芥杂交后代 DH 株系,分别有 13.64% 的材料关联系数大于对照品种中的最高值(0.8247)。24 份参试材料的关联系数经卡方距离可变量平均法连锁聚类分析,参试材料的抗旱性可归为三个类群,抗旱(DR)、耐旱(DT)、抗旱差(WDR)。24 份甘芥杂交后代 DH 株系,表现为抗旱的材料占

到 18.18%，有 13.64% 的材料关联系数大于对照品种中的最高值(0.82)；2012—2013 年重度干旱胁迫条件下，24 份参试材料的关联系数经卡方距离可变类平均法连锁聚类分析，也分为三个类群，抗旱 (DR)、耐旱 (DT)、抗旱差 (WDR)。24 份甘芥杂交后代 DH 株系，表现为抗旱的材料占到 20.83%，其中对照云油双 1 号关联系数最高。

在中、重度干旱胁迫条件下，24 份参试材料的

关联系数变化趋势如图 5，仅有 27.89% 的材料抗旱性分类一致。在重度干旱胁迫下有 5 份材料表现为抗旱，其中 1 份在中度干旱胁迫下也表现为抗旱，4 份为耐旱；11 份为耐旱，其中 3 份在中度干旱胁迫下表现为抗旱，6 份为抗旱差；8 份为抗旱差，其中 2 份在中度干旱胁迫下表现为抗旱，2 份表现为耐旱 (表 4)。

表 4 不同供试品种(系)在不同干旱胁迫条件下与正常灌水条件下的关联系数

Table 4 Correlation coefficient of tested materials under different drought stress conditions and normal irrigation

| 参试材料 Tested materials | 材料序号 Serial number | 2014—2015 | | 2012—2013 | |
|---|--------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|--|
| | | 关联系数 Correlation coefficient | 抗旱性评价 Drought resistance identification | 关联系数 Correlation coefficient | 抗旱性评价 Drought resistance identification |
| 对照品种 Control varieties | 花油 3 号 Huayou 3 | 1 | 0.82 | 抗旱 DR | 耐旱 DT |
| | 云油双 1 号 Yunyouhuang 1 | 2 | 0.77 | 耐旱 DT | 抗旱 DR |
| 甘芥杂交后代 DH 株系 Interspecific hybrids from <i>B. napus</i> and <i>B. juncea</i> | 12xs242-3-3 | 3 | 0.83 | 抗旱 DR | 抗旱差 WDR |
| | 12XS247-2-2 | 4 | 0.67 | 抗旱差 WDR | 抗旱差 WDR |
| | 12XS247-4-1 | 5 | 0.73 | 抗旱差 WDR | 耐旱 DT |
| | 12XS247-5-3 | 6 | 0.78 | 耐旱 DT | 抗旱差 WDR |
| | 12XS247-7-1 | 7 | 0.58 | 抗旱差 WDR | 抗旱差 WDR |
| | 12XS265-3-3 | 8 | 0.64 | 抗旱差 WDR | 抗旱差 WDR |
| | 12XS274-1-2 | 9 | 0.78 | 耐旱 DT | 抗旱差 WDR |
| | 12XS274-2-1 | 10 | 0.83 | 抗旱 DR | 抗旱差 WDR |
| | 12XS274-4-1 | 11 | 0.68 | 抗旱差 WDR | 抗旱差 WDR |
| | 12XS247-6 | 12 | 0.81 | 抗旱 DR | 耐旱 DT |
| | 12XS256-6-1 | 13 | 0.79 | 耐旱 DT | 抗旱 DR |
| | 12XS256-1-1 | 14 | 0.74 | 抗旱差 WDR | 耐旱 DT |
| | 12XS274-3-2 | 15 | 0.74 | 抗旱差 WDR | 耐旱 DT |
| | 12XS282-1-2 | 16 | 0.80 | 耐旱 DT | 耐旱 DT |
| | 12XS282-2-1 | 17 | 0.80 | 耐旱 DT | 抗旱 DR |
| | 12XS282-3-3 | 18 | 0.83 | 抗旱 DR | 抗旱 DR |
| | 12XS242-5-3 | 19 | 0.75 | 抗旱差 WDR | 耐旱 DT |
| | 12XS247-9-3 | 20 | 0.80 | 耐旱 DT | 抗旱 DR |
| | 12XS256-5-3 | 21 | 0.79 | 耐旱 DT | 耐旱 DT |
| | 12XS256-8-1 | 22 | 0.82 | 抗旱 DR | 耐旱 DT |
| | 12XS256-9-1 | 23 | 0.75 | 抗旱差 WDR | 耐旱 DT |
| | 12XS265-4-3 | 24 | 0.73 | 抗旱差 WDR | 耐旱 DT |

2.4 两种不同抗旱性评价方法综合分析评价材料的抗旱性

采用经典的抗旱指数法及灰色关联度综合评价法对材料抗旱性的鉴定结果并不完全一致。采用以上两种方法进行抗旱等级评定，2012—2013 年重度干旱胁迫条件下有 83.33% 材料抗旱等级一致，其中抗旱 25.00%、耐旱 40.00%、抗旱差 35.00%；2014—2015 年中度干旱胁迫条件下有 41.67% 材料

抗旱等级一致，其中抗旱 33.33%、耐旱 20.00%、抗旱差 50.00%。说明两种评价方法存在不同之处，采用两种方法综合评价，可起到互补作用，鉴定结果更可靠。

在用经典的抗旱指数法及灰色关联系数评价的基础上，对中度、重度干旱条件下参试材料的抗旱指数及关联系数进行标准化处理，利用 DPS 软件对各品种(系)进行了抗旱性聚类分析，结果见图 6。由

聚类结果可知:参试的 24 个品种(系)可分为 3 大
类,A 类包括在中度、重度干旱胁迫条件下,综合抗

旱性好的 7 份材料;B 类包括综合抗旱性中等的 7
份材料;C 类包括综合抗旱性差的 10 份材料。

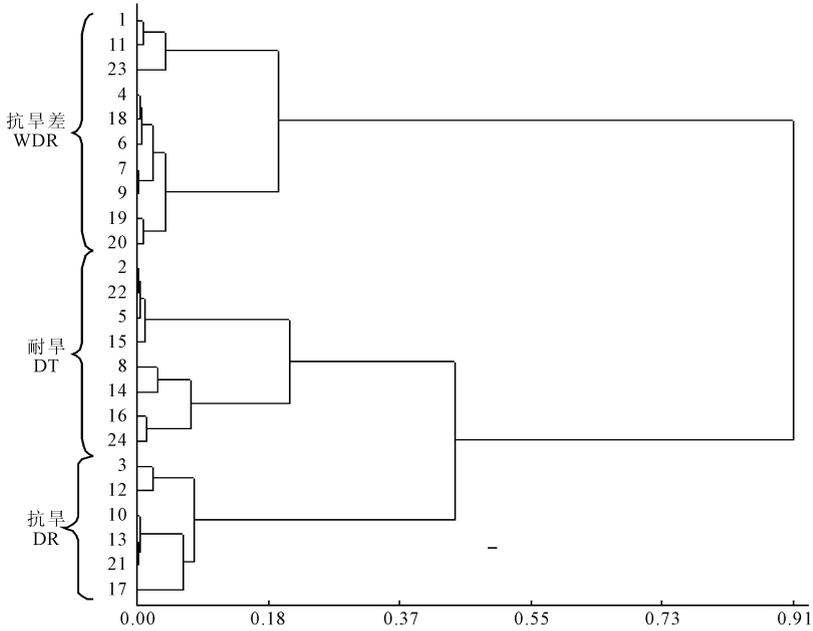


图 3 不同供试材料 2014—2015 年抗旱指数可变类平均法连锁聚类分析结果

Fig.3 Clustering analysis of tested materials based on drought resistance index in 2014—2015

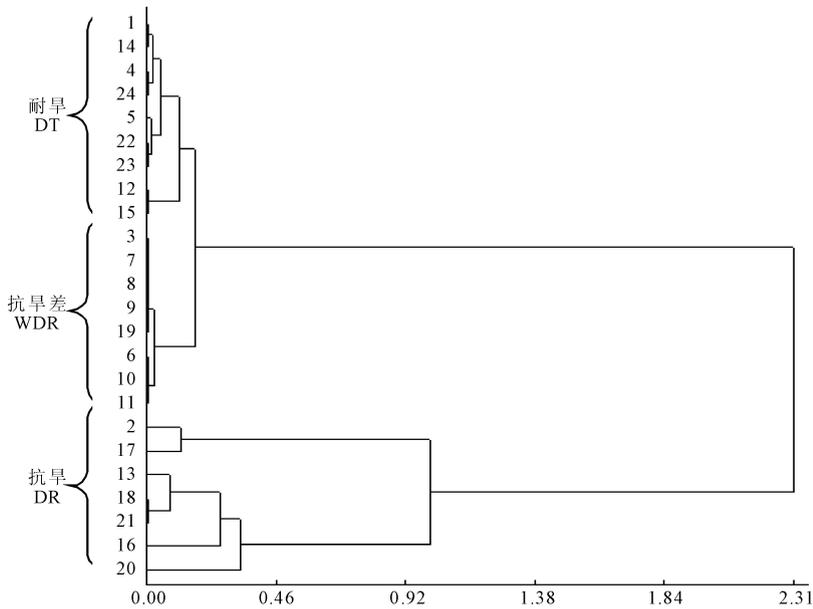


图 4 不同供试材料 2012—2013 年抗旱指数可变类平均法连锁聚类分析结果

Fig.4 Clustering analysis of tested materials based on drought resistance index in 2012—2013

2.5 不同程度干旱胁迫条件下参试材料抗旱性表现

在中、重度干旱胁迫条件下,24 份参试材料的
抗旱指数及关联系数变化趋势基本一致(图 2)。采用直接评价法,有 57.21%的材料在在中、重度干旱

胁迫条件下抗旱性分类一致,其中有 66.67%的抗
旱材料分类一致,58.82%的耐旱材料一致,46.15%
的抗旱差材料分类一致;采用灰色关联度法仅有
27.89%的材料抗旱性分类一致,其中有 44.44%的

抗旱材料分类一致, 21.05% 的耐旱材料一致, 18.18% 的抗旱差材料分类一致。两种方法综合分析评价约有 42.55% 的材料抗旱性在中、重度干旱胁迫条件下抗旱等级分类一致(图 3、图 4), 其中 55.55% 的抗旱材料分类一致。

3 讨论与结论

干旱是影响油菜生产的重要限制性因素之一, 抗旱种质资源对于油菜抗旱育种是十分重要的, 只有充分改良、鉴定种质的抗旱性, 才能为开展抗旱育种提供可用的材料。国内学者已筛选鉴定出许多油菜抗旱种质资源。李淑娟^[18]以 40 个不同甘蓝型油菜品种(系)为材料, 采用 PEG-6000 模拟生理干旱

胁迫和盆栽极限干旱胁迫等方法, 筛选鉴定出一批耐旱性甘蓝型油菜品种: YAU200908、湘油 15 号、YAU200903、YAU200907、YAU200906、YAU200904。朱宗河等^[19]对 49 份甘蓝型油菜进行花前和花后耐旱性鉴定, 筛选出 2 个耐旱品种(中油杂 11、中双 11 选系)在花前和花后 2 个时期干旱胁迫均表现高度耐旱。李真等^[16]对甘蓝型油菜 DH 群体的 118 个株系及其亲本进行苗期抗旱性评价, 筛选出 3 个(032、034、035)极端抗旱基因型。胡承伟等^[20]利用 PEG-6000 对 39 份甘蓝型油菜进行萌发期干旱胁迫, 筛选出 3 份抗旱性较强的材料(OR918、OR805 和 OR2025)。

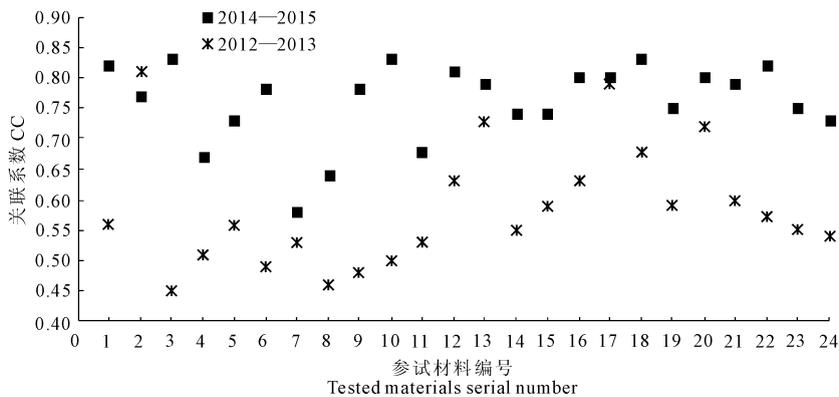


图 5 不同程度干旱胁迫条件下参试材料关联系数

Fig.5 Correlation coefficient (CC) of tested materials under different drought stress conditions

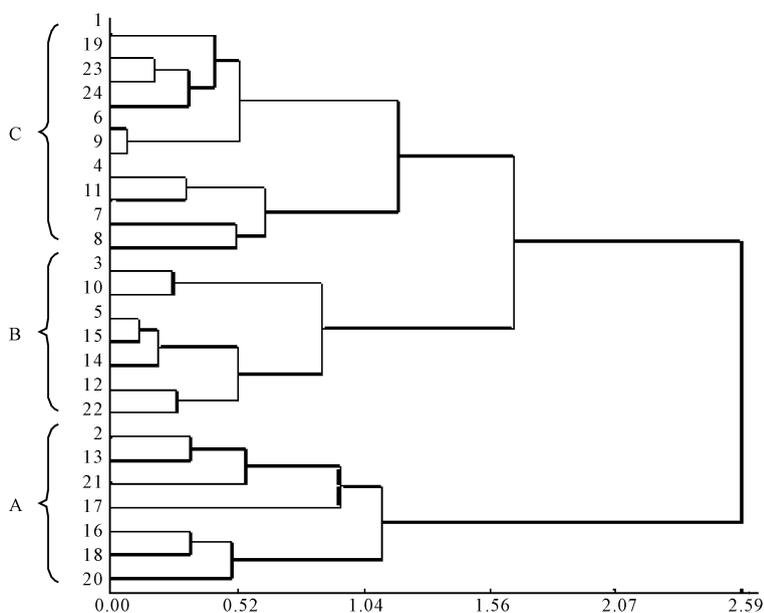


图 6 不同供试品种(系)抗旱指数、关联系数可变类平均法连锁聚类分析结果

Fig.6 Clustering analysis of tested materials based on drought resistance index and correlation coefficient

表 5 不同年度花期干旱胁迫对不同供试品种(系)部分农艺性状的影响

Table 5 Agronomic traits of tested materials under drought stress in flowering stage in different years

| 性状 Traits | 种植年份 Planting year | 参试材料编号 Tested materials serial No. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 株高 PH/% | 2014 | 102 | 116 | 106 | 100 | 98 | 108 | 110 | 104 | 105 | 115 | 111 | 104 | 109 | 111 | 100 | 105 | 123 | 107 | 104 | 117 | 106 | 96 | 104 | 111 |
| | 2012 | 69 | 80 | 52 | 80 | 78 | 77 | 63 | 60 | 71 | 65 | 70 | 77 | 82 | 76 | 92 | 76 | 91 | 79 | 116 | 92 | 93 | 72 | 80 | 77 |
| 总分枝数 BN/% | 2014 | 103 | 93 | 118 | 97 | 104 | 112 | 74 | 110 | 114 | 143 | 128 | 94 | 121 | 123 | 109 | 133 | 123 | 89 | 108 | 97 | 91 | 91 | 145 | 108 |
| | 2012 | 86 | 75 | 32 | 89 | 54 | 80 | 44 | 129 | 62 | 100 | 75 | 83 | 44 | 64 | 50 | 47 | 64 | 78 | 64 | 113 | 73 | 73 | 80 | 67 |
| 一次有效分 枝数 EBN/% | 2014 | 103 | 93 | 122 | 93 | 96 | 100 | 74 | 110 | 114 | 140 | 129 | 116 | 124 | 132 | 113 | 130 | 127 | 89 | 83 | 97 | 88 | 91 | 152 | 100 |
| | 2012 | 57 | 60 | 43 | 75 | 45 | 75 | 67 | 175 | 100 | 117 | 71 | 33 | 38 | 67 | 60 | 47 | 45 | 56 | 60 | 133 | 86 | 71 | 71 | 75 |
| 单株地上部 鲜重 FW/% | 2014 | 103 | 117 | 118 | 63 | 77 | 106 | 68 | 122 | 159 | 304 | 158 | 72 | 97 | 145 | 85 | 207 | 175 | 77 | 96 | 146 | 104 | 80 | 133 | 95 |
| | 2012 | 19 | 65 | 19 | 20 | 66 | 23 | 34 | 18 | 24 | 25 | 18 | 32 | 28 | 28 | 58 | 56 | 84 | 101 | 69 | 60 | 40 | 31 | 27 | 33 |
| 有效分枝部 位 EBP/% | 2014 | 114 | 120 | 111 | 187 | 79 | 102 | 78 | 81 | 85 | 90 | 88 | 121 | 105 | 95 | 104 | 66 | 113 | 130 | 82 | 80 | 81 | 108 | 77 | 167 |
| | 2012 | 114 | 120 | 111 | 187 | 79 | 102 | 78 | 81 | 85 | 90 | 88 | 121 | 105 | 95 | 104 | 66 | 113 | 130 | 82 | 80 | 81 | 108 | 77 | 167 |
| 每角粒数 SPS/% | 2014 | 94 | 93 | 114 | 147 | 77 | 106 | 99 | 105 | 125 | 98 | 106 | 109 | 86 | 104 | 109 | 96 | 106 | 99 | 122 | 101 | 102 | 128 | 99 | 89 |
| | 2012 | 94 | 93 | 114 | 147 | 77 | 106 | 99 | 105 | 125 | 98 | 106 | 109 | 86 | 104 | 109 | 96 | 106 | 99 | 122 | 101 | 102 | 128 | 99 | 89 |
| 千粒重 TKW/% | 2014 | 96 | 98 | 106 | 109 | 102 | 105 | 101 | 101 | 102 | 106 | 106 | 105 | 101 | 105 | 97 | 99 | 98 | 104 | 101 | 104 | 104 | 96 | 103 | 105 |
| | 2012 | 96 | 98 | 106 | 109 | 102 | 105 | 101 | 101 | 102 | 106 | 106 | 105 | 101 | 105 | 97 | 99 | 98 | 104 | 101 | 104 | 104 | 96 | 103 | 105 |
| 单株有效角 果数 PNPP/% | 2014 | 83 | 66 | 129 | 56 | 135 | 128 | 193 | 232 | 77 | 44 | 183 | 53 | 100 | 152 | 58 | 157 | 112 | 95 | 95 | 128 | 140 | 110 | 130 | 78 |
| | 2012 | 83 | 66 | 129 | 56 | 135 | 128 | 193 | 232 | 77 | 44 | 183 | 53 | 100 | 152 | 58 | 157 | 112 | 95 | 95 | 128 | 140 | 110 | 130 | 78 |
| 单株根系重 RWPP/% | 2014 | 110 | 181 | 110 | 49 | 165 | 193 | 257 | 162 | 96 | 117 | 156 | 108 | 69 | 135 | 69 | 105 | 139 | 155 | 166 | 132 | 126 | 81 | 185 | 39 |
| | 2012 | 110 | 181 | 110 | 49 | 165 | 193 | 257 | 162 | 96 | 117 | 156 | 108 | 69 | 135 | 69 | 105 | 139 | 155 | 166 | 132 | 126 | 81 | 185 | 39 |
| 主茎荚果数 PNMS/% | 2014 | 93 | 111 | 107 | 102 | 106 | 113 | 145 | 109 | 102 | 103 | 111 | 89 | 66 | 101 | 101 | 81 | 107 | 85 | 94 | 74 | 123 | 91 | 107 | 86 |
| | 2012 | 93 | 111 | 107 | 102 | 106 | 113 | 145 | 109 | 102 | 103 | 111 | 89 | 66 | 101 | 101 | 81 | 107 | 85 | 94 | 74 | 123 | 91 | 107 | 86 |
| 主茎有效长 ELMS/% | 2014 | 87 | 101 | 97 | 93 | 125 | 112 | 120 | 144 | 125 | 106 | 116 | 84 | 76 | 110 | 199 | 98 | 90 | 92 | 115 | 115 | 125 | 103 | 113 | 96 |
| | 2012 | 87 | 101 | 97 | 93 | 125 | 112 | 120 | 144 | 125 | 106 | 116 | 84 | 76 | 110 | 199 | 98 | 90 | 92 | 115 | 115 | 125 | 103 | 113 | 96 |
| 主茎角果密 度 PDMS/% | 2014 | 107 | 111 | 109 | 110 | 82 | 100 | 123 | 76 | 83 | 97 | 95 | 106 | 87 | 91 | 60 | 83 | 119 | 92 | 81 | 65 | 98 | 88 | 95 | 90 |
| | 2012 | 107 | 111 | 109 | 110 | 82 | 100 | 123 | 76 | 83 | 97 | 95 | 106 | 87 | 91 | 60 | 83 | 119 | 92 | 81 | 65 | 98 | 88 | 95 | 90 |

注:表中所有数据,均为相应的性状相对值。PH:株高;BN:总分枝数;EBN:一次有效分枝;FW:单株地上部鲜重;EBP:有效分枝部位;SPS:每角粒数;TKW:千粒重;PNPP:单株有效角果数;RWPP:单株根系重;GWPP:单株籽粒重;PNMS:主茎荚果数;ELMS:主茎有效长;PDMS:主茎角果密度。

Note: All data in the table are the relative value of corresponding traits. PH: Plant height; BN: branch number; EBN: effective branch number; FW: fresh weight; EBP: effective branch position; SPS: seeds per silique; TKW: thousand kernel weight; PNPP: pod number per plant; RWPP: root weight per plant; GWPP: grain weight per plant; PNMS: pod number of main stem; ELMS: effective length of main stem; PDMS: pod density of main stem.

然而,目前油菜耐旱性研究主要集中在对甘蓝型油菜种子萌发期、苗期、花期等某个生育期抗旱性指标及种质的筛选等方面,对新的抗旱性种质资源的创制及筛选鉴定研究较少。芥菜型油菜在我国西部地区种植,具有甘蓝型油菜没有的许多优良特性,如耐旱耐瘠、抗裂荚、黄籽、含油率高、等,远缘杂交可将芥菜型油菜中的优良性状导入甘蓝型油菜中,Roy等^[8]用芥菜型油菜与甘蓝型油菜品种杂交,成功将芥菜型油菜对黑胫病的完全抗性转移到甘蓝型油菜中。本文对通过前期间抗旱性鉴定,筛选出的3份抗旱性较好的甘蓝型和芥菜型油菜种间杂交后代,经小孢子培养获得的22份双单倍体(DH)株系分别在产量形成关键时期花期进行两年不同程度的干旱胁迫,对其在不同程度干旱胁迫条件下的抗旱性进行鉴定,以期获得抗旱性较好的种质资源,本

试验共获得7份综合抗旱性较好的材料,在中度及重度干旱胁迫条件下,22份甘芥杂交后代DH株系均有27.27%的材料表现为抗旱,尤其在中度干旱条件下,有36.36%的材料抗旱指数高于对照中抗旱性较好的云油双1号,总体看来,与甘蓝型油菜相比,甘芥杂交后代材料中,筛选抗旱材料比例较高,因此通过甘芥种间杂交创制新的油菜抗旱种质,进而选育抗旱品种是一种可行的方法,与目前云南省主推常规甘蓝型品种相比,多数甘芥杂交后代材料在干旱条件下,仍能获得相对较高的产量。

作物的抗旱性是由多种因素相互作用而构成一个较为复杂的综合性状,不同性状对于干旱胁迫的敏感性存在很大差异,根据干旱条件下,作物的产量和减产百分率来判定作物品种或品系的抗旱性,是传统抗旱育种的经典方法,但有些学者认为,作物

的抗旱性是受多基因控制,利用单一性状指标鉴定作物的抗旱性局限性很大,因此,近年来,对耐旱相关性状进行灰色关联度分析、隶属函数分析、回归分析及聚类分析等方法,进行综合评价以鉴定耐旱种质,已在玉米^[21]、大豆^[22]、油菜^[23]、等作物上得到初步应用,本文采用经典抗旱指数法、灰色关联度综合分析法结合聚类分析综合评价甘芥油菜种间杂交后代的抗旱性。本研究表明,采用经典的抗旱指数法及灰色关联度综合评价法对材料抗旱性的鉴定结果并不完全一致,两种评价方法存在不同之处,采用两种方法综合评价,可起到互补作用,鉴定结果更可靠。本研究针对甘芥油菜种间杂交后代在花期中度、重度干旱胁迫条件下,通过抗旱指数法、灰色关联度综合分析法结合聚类分析综合评价其抗旱性,筛选出 7 份抗旱材料。

目前多数关于苗中后期、花期、角果成熟期等时期的抗旱性相关研究仅在一种干旱胁迫条件下进行鉴定。本试验表明无论采用抗旱指数直接评价或关联系数综合评价,在中、重度干旱胁迫条件下,24 份参试材料在两种不同程度的干旱胁迫条件下,约有 42.55% 的材料抗旱等级分类一致,其中 55.55% 的抗旱材料分类一致,说明同一材料在不同程度干旱胁迫条件下,其抗旱性表现有差别,通过不同程度干旱胁迫条件下综合评价其抗旱性结果更可靠。

本试验以 22 份甘芥种间杂交后代 DH 株系为供试材料,连续两年设置正常灌水、花期干旱胁迫 2 个处理,在花期进行两年不同程度干旱胁迫。通过成熟期产量、产量相关性状,采用经典抗旱指数法、灰色关联度综合分析法结合聚类分析,筛选出优异的抗旱种质资源 7 份为下一步油菜抗旱性研究打下基础,但本试验重度干旱胁迫条件下考察的产量相关性状有限,同时试验仅进行了两年,试验结果有待于进一步的验证。

参考文献:

- [1] Li Z K, Dwivedi D, Gao Y M, et al. Improving drought tolerance of rice by designed QTL pyramiding [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2007, 5(2): 205-206.
- [2] 聂凤英,王永春.旱灾危及世界粮食安全[J].*中国畜牧业*, 2012, (15): 40-41.
- [3] 周曙东,周文魁,林光华,等.未来气候变化对我国粮食安全的影响[J].*南京农业大学学报(社会科学版)*, 2013, 13(1): 56-65.
- [4] 熊洁,邹晓芬,邹小云,等.耐旱性油菜品种的筛选及干旱胁迫对油菜生理特性的影响[C]//中国作物学会.2014年全国青
年作物栽培与生理学术研讨会论文集.扬州:中国作物学会, 2014.
- [5] 吕爱民,董延军,贾春强.2009—2011年云南干旱时空演变特征分析[J].*广东水利水电*, 2013, (6): 38-41.
- [6] 符明联,李根泽,杨清辉,等.利用隶属函数法鉴定油菜甘芥种间杂交后代的抗旱性[J].*中国油料作物学报*, 2011, 33(4): 368-373.
- [7] 钱秀珍,胡琼,伍晓明.中国芥菜型油菜的主要特征[J].*作物品种资源*, 1991, (2): 14-15.
- [8] Roy N N. Interspecific transfer of Brassica juncea-type high blackley resistance to Brassica napus [J]. *Euphytica*, 1984, 33: 295-303.
- [9] Oram R N, Kirk J T O, Veness P E, et al. Breeding Indian mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern.) for cold-pressed, edible oil production - a review [J]. *Aust J Agric Res*, 2005, 56: 581-596.
- [10] Burton W A, Ripley V L, Potts D A, et al. Assessment of genetic diversity in selected breeding lines and cultivars of canola quality Brassica juncea and their implications for canola breeding [J]. *Euphytica*, 2004, 136: 181-192.
- [11] Prakash S, Chopra V I. Introgression of resistance to shattering in Brassica napus from B. juncea through non-homologous recombination [J]. *Plant Breed*, 1998, 101(2): 167-168.
- [12] 刘淑艳,刘忠松,官春云.芥菜型油菜种质资源研究进展[J].*植物遗传资源学报*, 2007, 8(3): 351-358.
- [13] 王道杰,桂月靖,杨翠玲,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.
- [14] 张弢.PEG6000模拟干旱胁迫对油菜幼苗生理生化指标的影响[J].*安徽农业科学*, 2012, 40(20): 10363-10364, 10379.
- [15] 郭雪松.油菜种质资源耐旱性的鉴定[D].昆明:西南大学, 2009: 1-42.
- [16] 李真.甘蓝型油菜苗期耐湿性和抗旱性相关 QTL 分析[D].华中农业大学, 2008.
- [17] 原小燕,符明联,李根泽,等.甘蓝型与芥菜型油菜种间杂交后代 DH 系抗旱性评价[J].*中国油料作物学报*, 2015, 37(1): 62-71.
- [18] 李淑娟,程量,彭少丹,等. Screening of drought-tolerant brassica napus L. varieties and analysis on their physiologic and biochemical variations under drought stress [J]. *Agricultural Science & Technology*, 2014, 15(4): 596-604, 615.
- [19] 朱宗河,郑文寅,张学昆.甘蓝型油菜耐旱相关性状的主成分分析及综合评价[J].*中国农业科学*, 2011, 44(9): 1775-1787.
- [20] 胡承伟,张学昆,邹锡玲,等.PEG模拟干旱胁迫下甘蓝型油菜的根系特性与抗旱性[J].*中国油料作物学报*, 2013, (35): 048-053.
- [21] 徐蕊,王启柏,张春庆,等.玉米自交系抗旱性评价指标体系的建立[J].*中国农业科学*, 2009, 42(1): 72-84.
- [22] 孟庆立,关周博,冯佰利,等.谷子抗旱相关性状的主成分与模糊聚类分析[J].*中国农业科学*, 2009, 42(8): 2667-2675.
- [23] 原小燕,符明联,何晓莹.不同抗旱性油菜种子萌发期抗旱指标比较研究[J].*干旱地区农业研究*, 2012, 35(5): 77-81.