

熊 洁, 邹晓芬, 邹小云, 等. 干旱胁迫对不同基因型油菜农艺性状和产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(3): 494-499.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.03.005

## 干旱胁迫对不同基因型油菜农艺性状和产量的影响

熊 洁, 邹晓芬, 邹小云, 李书宇, 陈伦林, 宋来强

(江西省农业科学院作物研究所/农业部长江中下游作物生理生态与耕作重点实验室, 江西 南昌 330200)

**摘要:** 研究干旱胁迫下初花期油菜的农艺性状和产量, 为油菜耐旱机制研究和耐旱新品种选育奠定基础。在人工控水条件下, 以 30 个油菜品种(品系)为材料, 研究初花期干旱胁迫对不同基因型油菜株高、分枝数、主花序长、角果数、角果粒数、千粒质量、产量等的影响。结果表明, 干旱胁迫下, 油菜株高、一次分枝数、主花序长、主花序角果数、单株角果数、角果粒数、单株产量显著减小, 而千粒质量表现出增加的趋势。株高、一次分枝数、主花序长、主花序角果数、角果长度、单株角果数、角果粒数、单株产量的耐旱系数与耐旱性综合评价呈极显著相关, 这些指标可以作为耐旱性鉴定的辅助指标。以耐旱性综合评价值为标准进行聚类分析, 将供试 30 个品种(品系)划分为耐旱型、较耐旱型、不耐旱型 3 种类型, 其中耐旱型品种为丰油 730、阳光 2009、浔油 8 号。

**关键词:** 油菜; 基因型; 干旱胁迫; 耐旱性

**中图分类号:** S565.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2015)03-0494-06

## Effects of drought stress on agronomic traits and yield of different rapeseed genotypes

XIONG Jie, ZOU Xiao-fen, ZOU Xiao-yun, LI Shu-yu, CHEN Lun-lin, SONG Lai-qiang

(*Institute of Crops, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System for the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, Ministry of Agriculture, Nanchang 330200, China*)

**Abstract:** The agronomic traits and yield components of rapeseed under drought stress during early flowering stage were studied for drought-tolerance breeding. Thirty genotypes of rapeseed were measured for plant height, number of branches, inflorescence length, number of pods, number of seeds per pod, weight of 1 000 seeds and yield. The plant height, number of primary branches, inflorescence length, number of pods on main inflorescence, number of pods per plant, number of seeds per pod and yield per plant decreased under drought stress, however, the weight of 1 000 seeds increased. The drought tolerance coefficients of plant height, number of primary branches, inflorescence length, number of pods on main inflorescence, pod length, number of pods per plant, number of seeds per pod and yield per plant showed highly significant correlations with the comprehensive evaluation value of drought tolerance, indicating that these traits can be used as indicators for drought tolerance identification. Thirty genotypes of rapeseed were clustered into three groups based on the comprehensive evaluation value of drought tolerance, which were tolerant, moderately tolerant and sensitive. Three varieties,

Fengyou730, Yangguang2009 and Xunyou8 are drought tolerant.

**Key words:** rapeseed; genotype; drought stress; drought tolerance

收稿日期: 2014-09-16

基金项目: 国家油菜产业技术体系项目(CARS-13); 国家“863”计划项目(2011AA10A104)

作者简介: 熊 洁(1984-), 女, 河南郑州人, 博士, 助理研究员, 主要从事作物栽培与生理生态研究。(Tel) 0791-87090476; (E-mail) xiongjie@163.com

通讯作者: 宋来强, (Tel) 0791-87090476

油菜是中国第一大油料作物, 中国长江流域油菜主产区虽然降雨充沛, 但全年降水不均匀, 季节性

干旱频繁发生<sup>[1-3]</sup>。干旱胁迫导致油菜出苗不齐、出叶缓慢、绿叶面积小、植株矮小,严重影响油菜的产量和品质<sup>[4-5]</sup>。干旱导致的油菜总产损失每年平均达 20% 以上<sup>[6]</sup>。开展耐旱性品种筛选和选育,是提高油菜耐旱性的基础。

国内外对玉米<sup>[7-8]</sup>、大豆<sup>[9]</sup>、小麦<sup>[10-11]</sup>、水稻<sup>[12]</sup>等作物的抗旱性进行了系统深入地研究,从生理、生化、形态、产量等方面提出了多种耐旱性鉴定方法<sup>[7,9,12-13]</sup>。但由于作物抗旱性是一个复杂的综合性状,发生在生长发育的各个阶段,作物在不同生育时期对于干旱胁迫的反应不同,抵抗干旱胁迫的内在机制也不同。前人对油菜耐旱性的研究主要集中在苗期<sup>[6,14-16]</sup>,而对初花期干旱胁迫的研究较少。本试验研究了干旱胁迫对不同基因型初花期油菜农艺性状和产量的影响,以耐旱性综合评价值为标准进行聚类分析,旨在筛选出耐旱性较强的油菜品种,为开展油菜耐旱机制研究和耐旱新品种选育奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为 25 个江西省近年来生产上大面积应用的双低油菜品种,以及 5 个江西省农业科学院作物研究所选育的双低油菜品系。供试品种(品系)为:浙油 50、中油杂 12 号、南油 68、丰油 730、南油杂 1 号、华湘油 12 号、华油杂 13 号、中双 11 号、德杂油 18 号、创杂油 5 号、华赣油 1 号、华油杂 14 号、秦优七号、蓉油 10 号、油研 50、湘油 15 号、中双 9 号、华油杂 9 号、德油 5 号、华油杂 62、浔油 8 号、湘杂油 2 号、沪油 21、浙油 5002、阳光 2009、283B、R210、19-110、19-103、9M-049。

### 1.2 试验设计

试验于 2012 年 9 月—2013 年 5 月在江西省农业科学院防雨棚内进行。供试土壤为粘壤土,含有有机质 23.4 mg/kg、碱解氮 133.4 mg/kg、速效磷 18.2 mg/kg、速效钾 94.8 mg/kg,土壤田间持水量为 25.45%。试验所用盆钵直径 30 cm,高 40 cm,每盆装土 15 kg,土壤经自然风干、过筛去杂后装盆。9 月 30 日将各品种播种于苗床,11 月 10 日将各品种移栽种植于盆钵中,每盆 3 株苗,次年 5 月 2 日至 7 日成熟收获。移栽前,每盆基施尿素 3.48 g、钙镁磷肥 7.78 g、氯化钾 2.22 g;返青后每盆追施尿素 1.16 g;薹期每盆追施尿素 1.16 g、钙镁磷肥 3.33 g,叶面喷施硼砂。

各品种于播种后均匀浇透水,每隔 2~3 d 浇水 1 次,确保土壤含水量为田间最大持水量的 80%~85%,直至初花期。初花期分别对各品种进行干旱处理,直至终花,土壤含水量为田间最大持水量的 45%~50%,对照为正常浇水处理(CK),土壤含水量为田间最大持水量的 80%~85%。采用称重法控制各处理土壤含水量使之恒定,其他管理同常规大田。各品种每处理种 4 桶,3 次重复。

### 1.3 测定项目与方法

成熟后,按常规考种方法测定株高、分枝高度、一次有效分枝数、主花序长、主花序角果数、角果长度、单株角果数、每角粒数、千粒质量、单株产量等。

### 1.4 数据处理与分析

耐旱系数 = 干旱胁迫下的指标值 / 非胁迫下的指标值 (1)

$$U(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad j=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

用公式(2)求得各油菜基因型每个综合指标的隶属函数值[指标值,  $U(X_j)$ ],式中  $X_j$  表示第  $j$  个综合指标,  $X_{\min}$  表示第  $j$  个综合指标的最小值,  $X_{\max}$  表示第  $j$  个综合指标的最大值。

$$W_j = P / \sum_{j=1}^n P_j \quad j=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中,  $W_j$  表示第  $j$  个综合指标在所有综合指标中的重要程度即权重;  $P_j$  为各油菜基因型第  $j$  个综合指标的贡献率。

$$D = \sum_{j=1}^n [U(X_j) \times W_j] \quad j=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中,  $D$  为各油菜基因型在干旱胁迫条件下的耐旱性综合评价值,其计算方法参照朱宗河等<sup>[17]</sup>的方法。

采用 DPS 进行数据处理、统计分析和聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫对油菜农艺性状的影响

由表 1 可以看出,不同基因型间株高、一次分枝数的耐旱系数差异极显著,而分枝高度的差异未达显著水平。浙油 50 株高、一次分枝数的降幅最大,减少了 55.7%、91.7%,浔油 8 号的株高降幅最小,减少了 19.2%,丰油 730 的一次分枝数降幅最小,减少了 12.0%;不同基因型间分枝高度的下降幅度为 2.1%~45.0%。

30 个油菜品种(品系)的主花序长、主花序角果数、角果长度对于干旱胁迫的反应不同,其中不同基因

型间主花序长的耐旱系数差异极显著(表1)。干旱胁迫下,除浔油8号的主花序长略有增加外,其余品种(品系)的主花序长均明显减小,浙油50的降幅最大,达65.5%。浔油8号和阳光2009的主花序角果数在干旱处理下有所增加,分别增加了23.8%和6.2%,其余品种均表现出不同程度的减小趋势。各油菜品种(品系)的角果长度在干旱胁迫下,总体呈下降的趋势,其中南油68的降幅最大,减少了19.8%;但湘油15号和阳光2009的角果长度明显增加,这可能是因为干旱胁迫影响了角果内源激素的相互协调,

内源激素产生含量上的变化,导致角果长度上的差异,此方面有待进一步研究。

干旱胁迫对油菜农艺性状各指标总体上表现出抑制的作用,株高、分枝高度、一次分枝数、主花序长、主花序角果数、角果长度的平均值比非胁迫条件下均有所下降。从变异系数来看,角果长度耐旱系数的变异幅度最小,一次分枝数、主花序长耐旱系数的变异幅度相对较大,这表明不同油菜基因型间角果长度耐旱系数的差异较小,而一次分枝数、主花序长耐旱系数的差异较大。

表1 不同基因型油菜农艺性状的耐旱系数

Table 1 Drought tolerance coefficients of agronomic traits of different genotypes of rapeseed

品种(品系)	株高	分枝高度	一次分枝数	主花序长	主花序角果数	角果长度
浙油50	0.443	0.630	0.083	0.345	0.530	0.874
中油杂12号	0.538	0.691	0.143	0.436	0.799	0.887
南油68	0.757	0.907	0.538	0.575	0.598	0.802
丰油730	0.729	0.825	0.880	0.634	0.975	0.914
南油杂1号	0.635	0.732	0.778	0.558	0.943	0.973
华湘油12号	0.458	0.656	0.479	0.363	0.633	1.053
华油杂13号	0.544	0.757	0.613	0.470	0.628	0.832
中双11号	0.541	0.836	0.487	0.536	0.751	1.045
德杂油18号	0.578	0.907	0.300	0.441	0.667	0.855
创杂油5号	0.691	0.979	0.712	0.646	0.955	0.857
华赣油1号	0.633	0.793	0.529	0.721	0.893	0.855
华油杂14号	0.600	0.797	0.550	0.468	0.557	0.905
秦优七号	0.647	0.550	0.690	0.682	0.707	0.915
蓉油10号	0.599	0.653	0.510	0.732	0.906	0.947
油研50	0.667	0.823	0.300	0.456	0.691	1.122
湘油15号	0.589	0.921	0.760	0.600	0.916	0.936
中双9号	0.655	0.761	0.686	0.647	0.835	1.027
华油杂9号	0.586	0.797	0.450	0.671	0.860	0.950
德油5号	0.550	0.784	0.673	0.406	0.705	0.869
华油杂62	0.609	0.751	0.514	0.571	0.772	0.953
浔油8号	0.808	0.759	0.742	1.048	1.238	1.083
湘杂油2号	0.526	0.747	0.554	0.449	0.641	0.854
沪油21	0.715	0.808	0.356	0.842	0.773	0.907
283B	0.735	0.792	0.783	0.780	0.789	0.940
R210	0.762	0.889	0.520	0.677	0.764	0.918
浙油5002	0.734	0.793	0.750	0.678	0.912	0.919
19-110	0.756	0.844	0.231	0.611	0.844	1.005
19-103	0.696	0.962	0.710	0.591	0.792	0.947
9M-049	0.743	0.778	0.316	0.653	0.857	0.943
阳光2009	0.779	0.609	0.809	0.638	1.062	1.238
平均值	0.643	0.784	0.548	0.598	0.800	0.944
变异幅度	0.443~0.808	0.550~0.979	0.083~0.880	0.345~1.048	0.530~1.238	0.802~1.238
变异系数	15.1	12.9	37.7	25.1	19.4	9.9
F值	3.23**	1.22	2.70**	2.31**	2.00*	1.67*

\*\*表示差异达0.01显著水平,\*表示差异达0.05显著水平。

## 2.2 干旱胁迫对油菜产量及产量构成的影响

干旱胁迫在一定程度上影响油菜的产量构成,不同基因型间单株角果数、角果粒数、千粒质量的耐旱系数差异较大(表2)。干旱胁迫下,各油菜品种的单株角果数均显著下降,下降幅度为20.7%~75.9%;浔油8号和阳光2009的角果粒数略有增加,其余品种的角果粒数均明显减少,德油5号的降幅最大,下降了51.1%。干旱胁迫有利于油菜千粒质量的增加,除华油杂13号、中双11号品种的千粒质量略有降低外,其余品种(品系)的千粒质量均呈

增加趋势,平均增加了24.2%。从变异系数来分析,单株角果数耐旱系数的变异系数最大,角果粒数的次之,千粒质量的最小,这表明不同油菜基因型间单株角果数的耐旱系数差异较大,而千粒质量的耐旱系数差异较小。

产量是评价油菜各品种干旱条件下生产效益的重要指标。从表2中可以看出,不同油菜品种产量的耐旱系数差异极显著。干旱胁迫下,30个油菜品种(品系)的产量均明显降低,华油杂13号的产量降幅最大,下降了81.9%;丰油730的降幅最小,下降了9.4%。

表2 不同基因型油菜产量及产量构成的耐旱系数

Table 2 Drought tolerance coefficients of yield and yield components of different genotypes of rapeseed

品种(品系)	单株角果数	角果粒数	千粒质量	单株产量	耐旱性综合评价值
浙油50	0.241	0.700	1.306	0.272	0.268
中油杂12号	0.425	0.792	1.351	0.461	0.410
南油68	0.519	0.655	1.036	0.369	0.400
丰油730	0.771	0.950	1.350	0.906	0.724
南油杂1号	0.401	0.815	1.212	0.355	0.498
华湘油12号	0.464	0.885	1.153	0.283	0.371
华油杂13号	0.431	0.625	0.921	0.181	0.238
中双11号	0.452	0.664	0.992	0.333	0.371
德杂油18号	0.364	0.698	1.382	0.301	0.443
创杂油5号	0.602	0.694	1.138	0.440	0.544
华赣油1号	0.393	0.611	1.427	0.333	0.509
华油杂14号	0.463	0.793	1.069	0.354	0.348
秦优七号	0.539	0.819	1.222	0.391	0.436
蓉油10号	0.459	0.907	1.206	0.392	0.464
油研50	0.390	0.899	1.277	0.535	0.536
湘油15号	0.698	0.886	1.175	0.764	0.601
中双9号	0.579	0.722	1.273	0.301	0.525
华油杂9号	0.424	0.797	1.287	0.325	0.473
德油5号	0.489	0.489	1.458	0.443	0.476
华油杂62	0.333	0.771	1.399	0.363	0.484
浔油8号	0.766	1.153	1.079	0.814	0.810
湘杂油2号	0.386	0.534	1.289	0.245	0.337
沪油21	0.478	0.758	1.342	0.567	0.542
283B	0.649	0.772	1.339	0.616	0.611
R210	0.595	0.666	1.247	0.513	0.533
浙油5002	0.667	0.991	1.111	0.725	0.594
19-110	0.793	0.919	1.098	0.670	0.585
19-103	0.602	0.820	1.067	0.402	0.526
9M-049	0.659	0.891	1.246	0.676	0.561
阳光2009	0.702	1.030	1.229	0.819	0.751
平均值	0.525	0.790	1.223	0.472	0.499
变异幅度	0.241~0.793	0.489~1.153	0.921~1.458	0.181~0.906	0.238~0.810
变异系数	27.2	18.6	11.0	41.1	26.1
F值	2.06**	1.19	58.24**	5.05**	4.76**

\*\*表示差异达0.01显著水平,\*表示差异达0.05显著水平。

### 2.3 不同基因型油菜耐旱性综合评价值的差异

以耐旱性综合评价值作为判断各基因型耐旱强弱的指标,采用欧氏距离对耐旱性综合评价值进行聚类分析(图 1)。取截距距离 0.07,将 30 个品种(品系)分为 3 类。第一类为浙油 50、华油杂 13 号 2 个品种(品系),占 6.7%,属于不耐旱型;第二类为湘油 15 号、中油杂 12 号、南油 68、南油杂 1 号、华湘油 12 号、中双 11 号、德杂油 18 号、创杂油 5 号、华赣油 1 号、华油杂 14 号、秦优七号、蓉油 10 号、油研 50、中双 9 号、华油杂 9 号、德油 5 号、华油杂 62、湘杂油 2 号、沪油 21、283B、R210、浙油 5002、19-110、19-103、9M-049 25 个品种(品系),占 83.3%,属于较耐旱型;第三类为丰油 730、阳光 2009、浔油 8 号 3 个品种(品系),占 10%,属于耐旱型。

### 2.4 农艺性状、产量构成指标与耐旱性的相关关系

从不同基因型油菜农艺性状、产量构成等指标的耐旱系数与耐旱性综合评价值的相关系数(表 3)可以看出,除分枝高度、千粒质量外,其余指标的耐旱系数与耐旱性综合评价值呈极显著正相关。可见,株高、一次分枝数、主花序长、主花序角果数、角果长度、单株角果数、角果粒数、单株产量的耐旱系数均可较好地反映油菜品种耐旱性的强弱。

表 3 农艺性状、产量构成各指标与耐旱性的相关系数

Table 3 Correlations between drought tolerance coefficients of agronomic traits and yield components and comprehensive evaluation value of drought tolerance

项目	PH	BH	PBN	IL	PMIN	PL	PN	SN	WTS	YP
CEV	0.785 **	0.147	0.478 **	0.697 **	0.848 **	0.516 **	0.778 **	0.674 **	0.148	0.875 **

CEV:耐旱性综合评价值;PH:株高;BH:分枝高度;PBN:一次分枝数;IL:主花序长;PMIN:主花序角果数;PL:角果长度;PN:单株角果数;SN:角果粒数;WTS:千粒质量;YP:单株产量。\*\*分别表示相关性达 0.01 显著水平。

## 3 讨论

干旱胁迫是所有非生物胁迫中对作物产量影响最大的胁迫之一<sup>[18]</sup>。近年来,国内外学者对油菜苗期的耐旱性相关指标开展了大量研究。研究认为种子的发芽指数<sup>[6,14]</sup>、活力指数<sup>[3,19]</sup>,叶片中过氧化氢酶、脯氨酸、丙二醛、叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白的含量<sup>[15]</sup>,侧根数、根长<sup>[14,16]</sup>,冠层温度、离体叶片脱水速率<sup>[20]</sup>,角果渗透条件能力<sup>[21]</sup>等都可作为鉴定油菜耐旱性的指标。油菜不同基因型间、同一基因型不同发育阶段耐旱机制不尽相同,耐旱相关性表现也不尽相同<sup>[17]</sup>。利用单一指标鉴定耐旱性

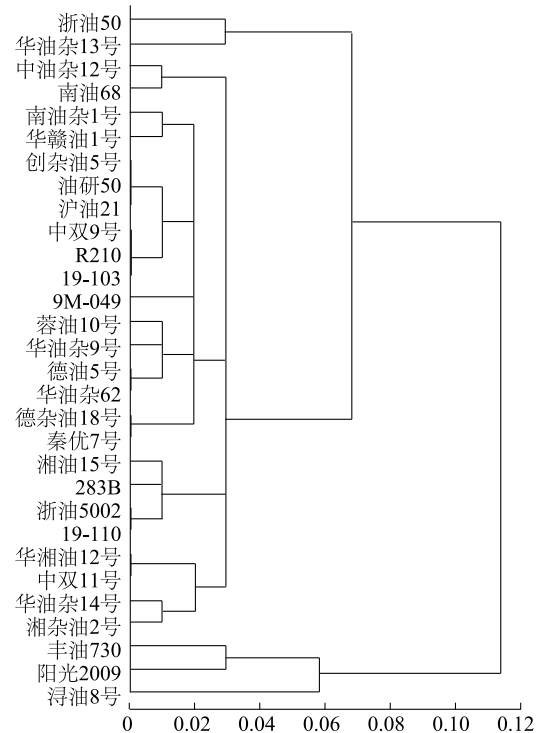


图 1 30 个油菜品种(品系)的耐旱性聚类图

Fig. 1 Clustering analysis of drought tolerance of 30 rapeseed varieties (lines)

极易受到环境的影响,因此本研究利用农艺性状、产量构成等 10 个指标的耐旱系数,计算出耐旱性综合评价值,作为耐旱性品种的鉴定指标。再通过聚类分析将 30 个油菜品种(品系)分为三类,获得 3 个耐旱性较强的品种,为进一步开展耐旱性品种生理机制的研究提供了材料。

油菜整个生育期需水量较大,对干旱的适应能力较差<sup>[22-24]</sup>。干旱胁迫下,光合作用、气孔导度、气体交换下降,叶面温度升高<sup>[25]</sup>,根系发育、植株生长受到抑制<sup>[26-27]</sup>。本试验结果表明,干旱胁迫使油菜株高、一次分枝数、主花序长、主花序角果数、单株角果数、角果粒数、单株产量等显著减小,而千粒质量



表现出增加的趋势。千粒质量的增加可能是因为单株角果数、每角粒数显著减少,茎枝中的贮藏物质转运到单位籽粒中的物质增加,从而引起千粒质量的增加。干旱胁迫下,不同基因型间各指标的下降幅度有较大差异,耐旱性较强的品种丰油 730、阳光 2009、浔油 8 号降幅较小,主花序角果数、角果粒数甚至略有增加;耐旱性较差的品种浙油 50、华油杂 13 号各指标降幅较大。通过农艺性状、产量构成等耐旱系数指标与耐旱性综合评价的相关分析发现,株高、一次分枝数、主花序长、主花序角果数、角果长度、单株角果数、角果粒数、单株产量的耐旱系数与耐旱性综合评价呈极显著相关,这些指标可以作为耐旱性鉴定的辅助指标。

### 参考文献:

- [1] 金 岩,吕艳艳,付三雄,等. 甘蓝型油菜(*Brassica napus* L.)耐淹性状的 QTL 定位分析[J]. 江苏农业学报,2014,30(6): 1253-1258.
- [2] 纪秀娥,史留功,胡春红,等. 油菜素内酯对小麦、玉米种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(9):88-89.
- [3] 李 震,杨春杰,张学昆,等. PEG 胁迫下甘蓝型油菜品种(系)种子发芽耐旱性鉴定[J]. 中国油料作物学报,2008,30(4): 438-442.
- [4] 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.
- [5] 蒙祖庆,宋丰萍,刘振兴. 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.
- [6] 符明联,李根泽,杨清辉,等. PEG6000 模拟干旱胁迫处理在筛选油菜抗(耐)旱材料中的应用初析[J]. 中国农业科技导报,2009,11(S2): 60-62.
- [7] 武 斌,李新海,肖木辑,等. 53 份玉米自交系的苗期耐旱性分析[J]. 中国农业科学,2007,40(4): 665-676.
- [8] 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.
- [9] 杨守萍,陈加敏,刘 莹,等. 大豆苗期耐旱性与根系性状的鉴定和分析[J]. 大豆科学,2005,24(3): 176-182.
- [10] 毛新国,王爱萍,景蕊莲,等. 小麦抗旱相关基因 TaGSTF6 的多态性[J]. 中国农业科学,2007,40(2): 225-233.
- [11] 白志英,李存东,孙红春,等. 小麦代换系抗旱生理指标的主成分分析及综合评价[J]. 中国农业科学,2008,41(12): 4264-4272.
- [12] 王贺正,马 均,李旭毅,等. 水稻开花期一些生理生化特性与品种抗旱性的关系[J]. 中国农业科学,2007,40(2): 399-404.
- [13] KUMAR A, SINGH P, SINGH D P, et al. Differences in osmotic regulation in *Brassica* species [J]. *Annals of Botany*, 1984, 54: 537-541.
- [14] 郭雪松,唐章林. PEG 胁迫下 42 个油菜品种(系)耐旱性的评价[J]. 西南大学学报:自然科学版,2009,31(10): 1-7.
- [15] 张 毅. 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.
- [16] 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(1):48-53.
- [17] 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.
- [18] LI Z K, DWIVEDI D, GAO Y M, et al. Improving drought tolerance of rice by designed QTL pyramiding [J]. *Mol Plant Breed*, 2007, 5(2): 205-206.
- [19] 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和幼苗生长的影响[J]. 中国油料作物学报,2007,29(4): 425-430.
- [20] KUMAR A, SINGH D P. Use of physiological indices as a screening technique for drought tolerance in oilseed *Brassica* species [J]. *Annals of Botany*, 1998, 81: 413-420.
- [21] MA Q F, SHARONIKNAM R N, TURNER D W. Responses of osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B. juncea* to soil water deficit at different growth stages [J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2006, 57: 221-226.
- [22] WRIGHT P R, MORGAN J M, JESSOP R S, et al. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits: Yield and yield components [J]. *Field Crops Research*, 1995, 42: 1-13.
- [23] 陈红琳,陈尚洪,王昌桃,等. 苗期渍水胁迫对免耕直播油菜产量和品质的影响[J]. 江苏农业学报,2014,30(2):259-263.
- [24] 张培通,张 蓁,郭文琦,等. 油菜宁杂 21 号在江苏沿海滩涂盐碱地的种植表现及高产栽培技术要点[J]. 江苏农业科学,2014,42(6):84-85.
- [25] HASHEM A, MAJUMDAR M N A, HAMID A, et al. Drought stress effects on seed yield, yield attributes, growth, cell membrane stability and gas exchange of synthesized *Brassica napus* L. [J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 1998, 180: 129-136.
- [26] CHAMPOLIVIER L, MERRIEN A. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. *oleifera* on yield, yield components and seed quality [J]. *European Journal of Agronomy*, 1996, 5: 153-160.
- [27] 蒙祖庆,宋丰萍,大次卓嘎. 青藏高原环境下花期干旱胁迫及复水对不同种类油菜生长及产量的影响[J]. 西南农业学报,2011,24(5): 1690-1694.

(责任编辑:陈海霞)