

PEG 模拟水分胁迫下白菜型冬油菜 芽期根系特征及抗旱性研究

米 超, 赵艳宁, 刘自刚, 孙万仓, 刘海卿,
方 彦, 李学才, 武军燕

(甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室/甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃省油菜科技研究工程中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 本试验采用砂培法, 以 18% (w/V) 聚乙二醇 (PEG6000) 模拟水分胁迫研究 18 份白菜型冬油菜芽期根系特征, 并结合盆栽试验研究根系特征与抗旱性关系。结果显示, 水分胁迫对白菜型冬油菜侧根数、根重、根冠比有显著的抑制作用, 对根长影响相对较小。相关性分析结果显示: 相对侧根数、相对根长与相对活力指数之间呈显著正相关, 可以作为白菜型冬油菜抗旱评价的辅助指标。不同来源的材料在根系侧根数、根重、根冠比方面差异显著, 可作为区别不同来源材料抗旱性强弱的指标。对材料抗旱性进行聚类分析, 在距离 10 时 18 份材料可以分五个类群, 其中 A 类抗旱性最强, 平均相对侧根数 72.90%、平均相对根长 100.37%、平均相对根重 79.60%、平均相对根冠比 119.93、平均相对活力指数 0.64。根据相对活力指数及聚类分析结果, 筛选出抗旱性较强的 3 份白菜型冬油菜: 宁油 2 号、陇油 7 号和平油 1 号。对比分析盆栽试验, 幼苗期总生物量干重与根冠比、根系干重、地上部干重、主根长均呈极显著正相关; 芽期 PEG 胁迫下根系特征分析结果显示: 早期生长活力较好的材料在盆栽试验有较高的生长势。早期采用模拟干旱的方法可以筛选抗旱性较强的材料。

关键词: 白菜型冬油菜; PEG; 抗旱性; 根系特征

中图分类号: S332.1 **文献标志码:** A

Research on root morphology characteristics and drought resistance of winter rapeseed (*Brassica campestris* L.) at bud stage under PEG simulated drought

MI Chao, ZHAO Yan-ning, LIU Zi-gang, SUN Wan-cang, LIU Hai-qing,

FANG Yan, LI Xue-cai, WU Jun-yan

(Improvement and Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement/Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Sciences, Rapeseed Engineering Research Center of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: This study use(d) sand culture, with 18% (w/V) polyethylene glycol (PEG6000) to simulate water stress on root morphology characteristic of 18 germinating winter rapeseed, combined with pot experiment studied the root characteristics and drought resistance. The results showed that water stress had a significant inhibitory effect on root number, root weight and root/shoot ratio of winter rapeseed, and had little effect on root length. The correlation analysis demonstrated that there was a significant positive correlation between the relative root number, the relative root length and the relative vigor index, and the results could be used as an assistant index for drought resistance evaluation of winter rapeseed. Drought resistance of materials cluster analysis showed that 18 materials can be divided into five groups at a distance of 10, where are the strongest drought resistance class A, the average relative lateral root number, average relative root length, average relative root weight, the average relative shoot ratio, and the average relative vigor index is 72.90%, 100.37%, 79.60%, 119.93 and 0.64. Depending on the relative vigor index and cluster analysis, the 3 winter rapeseed (which are Ningyou 2, Longyou 7 and Pingyou 1) were identified as drought resistance. The results of

收稿日期: 2016-07-29

修回日期: 2016-09-20

基金项目: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-13); 国家自然科学基金 (31460356); 国家“973”计划 (2015CB150206); 国家自然科学基金 (31660404); 油菜杂种优势利用技术与强优势杂种创制 (2016YFD0101300)

作者简介: 米 超 (1988—), 男, 甘肃宁县人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为油菜遗传育种。E-mail: zynmc228502@163.com。

通信作者: 刘自刚 (1975—), 男, 甘肃天水人, 副教授, 研究生导师, 主要从事油菜育种及十字花科种质资源研究。E-mail: 739015868@qq.com。

the pot experiment showed that there was a significant positive correlation between the dry weight of total biomass and root/shoot ratio, root dry weight, dry weight and root length of shoots at bud stage under PEG simulated drought resistance, and the higher the early growth vigor, the stronger the growth potential. Therefore, the PEG simulated drought method can be used to filter the drought-resistant materials.

Keywords: winter rapeseed (*Brassica campestris* L.); PEG; drought resistance; root characteristic

水资源短缺是一个公认的世界性环境问题,降水时空分布不均匀是水资源匮乏的主要原因,包括中国在内共有 80 多个国家正遭受水资源匮乏危害^[1]。干旱对农业的影响在所有非生物胁迫中危害最大,是影响作物生产的主要限制因子。中国约有 1/3 的耕地面积为干旱半干旱耕地^[2],因此,增强常规品种的抗旱性,选育抗旱能力强、性状优良的品种是解决干旱对农业生产造成损失的重要措施之一。油菜是我国主要的油料作物,种植面积和总产量均居世界前列^[2-3]。白菜型冬油菜 (*Brassica campestris* L.) 是我国北方地区重要的油料作物之一,具有耐贫瘠、抗逆性强的特点,适宜于北方旱寒区种植。我国北方地区地域辽阔,多属干旱半干旱耕地,常年干旱少雨,热量不足,自然条件严酷,白菜型冬油菜能适应这种不利生长条件。随着超强强抗寒冬油菜品种的育成应用,冬油菜成功北移 5-13 个纬度^[4],这不仅要求白菜型冬油菜具有超强的抗寒性,更需要适应干旱气候条件,对于白菜型冬油菜的抗旱性更是一个极大的挑战,选育鉴定具有抗寒及抗旱性强

的冬油菜品种也是该方案成功的关键。根系是植物吸收水分主要器官,是对干旱胁迫最先起反应的部位,与作物的抗旱性关系密切。张木清等^[5]、景蕊莲等^[6]、高世斌等^[7]认为根系形态特征可以作为作物耐旱性鉴定的重要指标,发达的作物根系有利于提高植株的吸水能力,因此以根系特征作为作物耐旱性鉴定的指标合理科学。而对根系的调查比较费时费工,田间调查取样容易破坏根系结构,增加了根系调查的难度,故在长期研究中,研究者更多关注地上部分对干旱的应答反应,对根系的研究相对较少^[3]。本试验以石英砂为培养基质,采用 PEG 模拟干旱胁迫,研究 18 个白菜型冬油菜品种根系对干旱胁迫的响应,以期了解干旱胁迫对白菜型冬油菜根系形态的影响以及与抗旱性的关系。

1 材料与方法

1.1 试验材料

18 份参试材料见表 1,其中 15 份材料为北方主要的白菜型冬油菜品种,其余为国外白菜型冬油菜。

表 1 试验材料及来源

Table 1 Name and source of materials tested

编号 Code	品种名称 Cultivar	来源 Source	编号 Code	品种名称 Cultivar	来源 Source
1	天油 2 号 ^a Tianyou 2	天水市农科所 Tianshui institute of agriculture	10	陇油 12 号 ^a Longyou 12	甘肃农业大学 Gansu agricultural university
2	天油 4 号 ^a Tianyou 4	天水市农科所 Tianshui institute of agriculture	11	陇油 14 号 ^a Longyou 14	甘肃农业大学 Gansu agricultural university
3	天油 5 号 ^a Tianyou 5	天水市农科所 Tianshui institute of agriculture	12	延油 2 号 ^a Yanyou 2	洛川市农科所 Luochuan institute of agriculture
4	天油 7 号 ^a Tianyou 7	天水市农科所 Tianshui institute of agriculture	13	宁油 2 号 ^a Ningyou 2	宁县农机中心 Ningxian agricultural technique center
5	天油 8 号 ^a Tianyou 8	天水市农科所 Tianshui institute of agriculture	14	宁油 3 号 ^a Ningyou 3	宁县农机中心 Ningxian agricultural technique center
6	陇油 6 号 ^a Longyou 6	甘肃农业大学 Gansu agricultural university	15	平油 1 号 ^a Pingyou 1	平凉市农科所 Pingliang institute of agriculture
7	陇油 7 号 ^a Longyou 7	甘肃农业大学 Gansu agricultural university	16	Largo ^b	比利时 Belgium
8	陇油 8 号 ^a Longyou 8	甘肃农业大学 Gansu agricultural university	17	Nieb ^b	德国 Germany
9	陇油 9 号 ^a Longyou 9	甘肃农业大学 Gansu agricultural university	18	Lenox ^b	德国 Germany

注:a,国内各单位选育材料;b,国外材料。

Note:a, hybrids from domestic units; b, hybrids from foreign country.

1.2 试验方法

选取大小均匀、饱满、无病虫害的种子进行发芽试验,参考国家标准 GB/T3543.4-1995 的方法处理白菜型冬油菜种子进行萌发,以三层滤纸为芽床,置于 25℃ 自然光下萌发,用蒸馏水保湿。待油菜种子破壳胚根长约 2~3 mm 时,选取 20 粒种子正常发芽、胚根长度一致的种子转移至长 30 cm、宽 15 cm、高 5 cm 的培养盒中继续培养(培养盒中含 300 g 石英砂),用 50 mL 18% 的 PEG-6000 溶液(处理组),对照组除加入等量的蒸馏水外其它与处理组一致,以每个发芽盒作为一次试验重复,试验设计三次重复。培养盒置于智能人工气候箱 RZH-300B(杭州汇尔仪器设备有限公司)中发芽,白/夜温度为 25℃/20℃,时间为 14 h/10 h,光照为 6 000 LX,湿度 75%,继续培养 7 d,培养盒中材料将生长出真叶,试验过程中采用称重补水法每天按时补水,待试验结束将其取出用自来水冲洗掉幼苗根部的 PEG 溶液,测定培养盒中所有成活幼苗的侧根数、最长根长、根重,并计算成苗率、活力指数及根冠比(鲜重比),计算相对侧根数、相对根长、相对根重、相对根冠比、相对活力指数^[3,8],公式如下:

$$\text{相对侧根数}(\%) = (\text{处理侧根数} / \text{对照侧根数}) \times 100;$$

$$\text{相对根长}(\%) = (\text{处理根长} / \text{对照根长}) \times 100;$$

$$\text{相对根重}(\%) = (\text{处理根重} / \text{对照根重}) \times 100;$$

$$\text{相对根冠比}(\%) = (\text{处理根冠比} / \text{对照根冠比}) \times 100;$$

$$\text{相对活力指数} = (\text{处理成苗率} \times \text{处理幼苗苗高}) / (\text{对照成苗率} \times \text{对照幼苗苗高})。$$

1.3 盆栽试验

将 18 份白菜型冬油菜种子在培养皿中进行发芽,发芽 5 天后取生长较一致的幼苗移入盆中,每盆 4 株(直径 20 cm、高 25 cm),每个品种 5 盆,基质由蛭石、腐殖质与地表土以 1:1:3 比例混匀,定期浇灌等量的 MS 营养液。待幼苗生长至五叶期时测定总生物量干重、根长、根冠比、根系干重、主根长。每个材料测量 5 株。

1.4 数据处理

数据统计分析利用 EXCEL 2010 软件进行数据整理、分析。采用 SPSS 21.0 软件对试验结果进行显著性、相关性和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对白菜型冬油菜芽期根系形态的影响

如表 2 所示,PEG 模拟水分胁迫处理,18 份白

菜型冬油菜芽期根系生长受到不同程度的抑制,不同品种材料之间受到抑制程度差异较大。水分胁迫后,根重受到影响最大(变异系数 24.47%),相对根冠比次之(变异系数 23.99%),根长影响相对较小(变异系数 7.51%)。胁迫后,18 份白菜型冬油菜平均相对根重为 64.23%,变异范围为 24.00%~86.80%,变异系数为 24.47%,是白菜型冬油菜芽期根系影响程度最大、变异系数最大的特征指标,说明根重对水分胁迫最为敏感。胁迫处理后,平均相对侧根数为 65.25%,变异幅度为 49.20%~89.00%,变异系数为 15.91%,相较于对照组明显下降,说明胁迫处理使得白菜型冬油菜侧根数明显减少。胁迫处理后,平均相对根长为 93.11%,变异范围为 73.10%~106.20%,变异系数为 7.51%,说明白菜型冬油菜在水分胁迫后根系生长受到一定程度的抑制,然而,少数材料(如宁油 3 号、平油 1 号)根长比对照组长或者有超过的趋势,可能是因为这些品种材料的某些基因可以通过促进植株根系伸长生长、促进水分吸收来提高其抗旱性。水分胁迫后,平均相对根冠比为 102.16%,变异范围为 43.90%~129.20%,变异系数为 23.99%,其中有 11 份材料相对根冠比大于对照,也是水分胁迫影响相对较大的性状。

综上,对于水分胁迫,不同基因型白菜型冬油菜芽期根系特征存在不同的反应差异,其中,相对根重、相对根冠比变异较大可以作为白菜型冬油菜芽期抗旱资源鉴定指标,可用于抗旱性材料的筛选。

2.2 不同来源白菜型冬油菜水分胁迫的根系形态比较

表 3 为来源不同的白菜型冬油菜在水分胁迫下根系特征的差异显著性,如表所示,模拟水分胁迫后国外材料比国内各单位选育材料的平均相对侧根数、平均相对根重、平均相对根冠比高 9.26%、13.65%、14.93%,差异达到显著性水平。而平均相对根长国外材料比国内各单位选育材料高 1.67%,差异不显著。说明对于来源地区不同的白菜型冬油菜可以采用相对侧根数、相对根重、相对根冠比来区别材料的抗旱性强弱,不同来源不同基因型白菜型冬油菜根系对水分胁迫存在显著的差异反应,可能是不同基因型白菜型冬油菜根系对抗旱性响应机制不同。

表 2 PEG 模拟水分胁迫对白菜型冬油菜根系特征的影响

Table 2 Effects of PEG simulated drought resistance on roots characteristics of winter rapeseed (*Brassica campestris* L.) seeding

材料编号 Materials code	相对侧根数/% Relative laeral roots	相对根长/% Relative root length	相对根重/% Relative root weight	相对根冠比/% Relative root-shoot ratio	相对活力指数 Relative vigor index
1	58.00	90.00	65.10	115.20	0.47
2	77.50	97.00	48.00	65.00	0.60
3	55.20	73.10	46.20	86.90	0.36
4	49.20	93.40	63.10	89.00	0.62
5	60.70	87.20	59.10	110.50	0.43
6	56.50	89.80	57.20	98.60	0.50
7	64.70	99.10	76.50	114.10	0.62
8	49.30	88.60	62.00	104.30	0.33
9	65.40	89.00	24.00	43.90	0.56
10	61.80	94.10	56.00	61.90	0.58
11	70.80	96.20	66.40	119.80	0.53
12	63.40	93.00	75.40	126.60	0.45
13	79.20	95.80	86.80	129.20	0.66
14	69.10	100.00	68.00	113.60	0.50
15	74.80	106.20	75.50	116.50	0.63
16	66.90	97.40	86.30	123.90	0.56
17	63.00	97.10	83.50	124.80	0.55
18	89.00	89.00	57.00	95.10	0.52
平均值 Average	65.25	93.11	64.23	102.16	0.53
最大值 Max	89.00	106.20	86.80	129.20	0.66
最小值 Min	49.20	73.10	24.00	43.90	0.33
标准差 SD	10.38	7.00	15.72	24.51	0.09
变异系数 CV/%	15.91	7.51	24.47	23.99	17.45

表 3 不同来源白菜型冬油菜根系特征对水分胁迫影响的显著性分析

Table 3 Significance analysis of different sources of winter rapeseed seeding (*Brassica campestris* L.) root characteristics of drought resistance

来源 Source	相对侧根数 Relative laeral roots	相对根长 Relative root length	相对根重 Relative root weight	相对根冠比/% Relative root-shoot ratio
国内各单位选育材料 Hybrids from domestic units	63.71a	92.83a	61.95a	99.67a
国外材料 Hybrids from foreign country	72.97b	94.50a	75.60b	114.60b

注:不同小写字母表示 0.05 水平差异显著性。

Note: Different lowercase letters in the column show significant difference at 0.05 levels respectively.

2.3 白菜型冬油菜抗旱性的聚类分析

以相对侧根数、相对根长、相对根重、相对根冠比为指标对 18 份白菜型冬油菜做聚类分析,在欧式距离 10 处可以将白菜型冬油菜分为 5 个大类,如图 1 所示,A 类包括 8 个材料(Largo、Nieb、陇油 7 号、延油 2 号、陇油 14 号、宁油 2 号、宁油 3 号、平油 1 号),平均相对侧根数 68.98%、平均相对根长 98.10%、平均相对根重 77.30%、平均相对根冠比 121.06%。B 类共有 5 个材料(天油 2 号、天油 7 号、天油 8 号、陇油 6 号、陇油 8 号),平均相对侧根数 54.74%、平均相对根长 89.80%、平均相对根重

61.30%、平均相对根冠比 103.52%。C 类共有 3 个材料(天油 4 号、陇油 9 号、陇油 12 号),平均相对侧根数 68.23%、平均相对根长 93.37%、平均相对根重 42.67%、平均相对根冠比 56.93%。D 类共 1 份材料(Lenox),E 类共 1 份材料(天油 5 号)。除 D 类外,材料抗旱性聚类分析与相对活力指数变化趋势相对吻合,即抗旱性相对较高的材料的相对活力指数较高,反之,弱抗旱性材料的相对活力指数较低。

根据相对活力指数及上述聚类分析结果,筛选出 3 份白菜型冬油菜(宁油 2 号(13)、陇油 7 号(7)

和平油1号(15))抗旱性较强,3份材料的平均相对侧根数72.90%、平均相对根长100.37%、平均相对根重79.60%、平均相对根冠比119.93%、平均相对活力指数0.64。

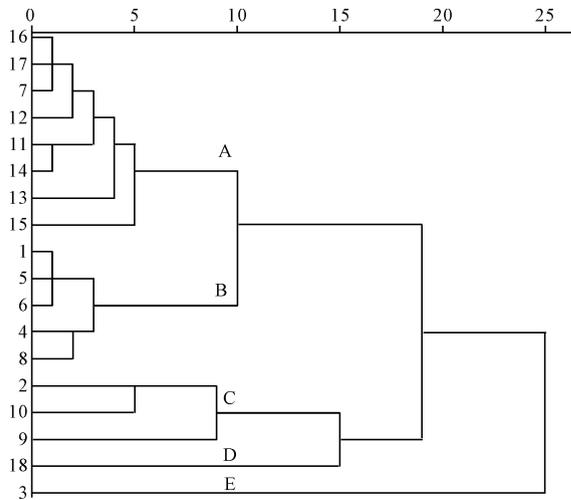


图1 18份白菜型冬油菜模拟水分胁迫根系特征变化的聚类分析

Fig.1 Clustering of 18 winter rapeseed (*Brassica campestris* L.) root characteristics under simulated drought resistance

2.4 白菜型冬油菜根系形态与抗旱性的相关性分析

以相对活力指数作为油菜萌发期抗旱性的重要指标已经应用于抗旱性材料的筛选^[8-9]。水分胁迫下,对白菜型冬油菜芽期根系特征与相对活力指数做相关性分析,结果显示,白菜型冬油菜种子相对活力指数与相对侧根数显著正相关($r = 0.482^*$),与相对根长极显著正相关($r = 0.701^{**}$)。水分胁迫下,白菜型冬油菜侧根数越多、根长较长的材料其抗旱性相对较强,因此,白菜型冬油菜抗旱材料筛选时可以作为抗旱鉴定的辅助指标。

2.5 盆栽条件下白菜型冬油菜幼苗期根系生长变化

如表5所示,自然干旱胁迫下,18份白菜型冬油菜盆栽试验根系干重(变异系数:27.60%)差异最

大,其中,陇油7号(7)、宁油2号(13)、宁油3号(14)、平油1号(15)、Nieb(17)根系干重最大,最大值达到9.09 g,而天油5号(3)根系干重最小(3.68 g)。说明干旱胁迫下,幼苗期根系物质积累是白菜型冬油菜抵抗逆境的途径,物质积累使得植株能安全度过逆境,并保持自身正常生理功能的正常发挥,强抗旱性材料根系物质积累较多,弱抗旱材料的根系物质积累较少。根冠比(变异系数:23.88%)差异次之,陇油7号(7)、陇油14号(11)、延油2号(12)、宁油2号(13)、宁油3号(14)、平油1号(15)、Nieb(17)根冠比最大,最大值为1.25;逆境时,植株地上部生长比地下部生长更容易受到抑制。遭遇逆境时,光合作用受到抑制,产物积累下降,而地上部受到抑制最大,严重胁迫时,叶片萎蔫叶肉细胞死亡产物合成受到抑制。总生物量干重是植株在逆境胁迫下光合产物积累的衡量指标,光合产物积累越多,植物在逆境时能更好的利用自身储存的物质来抵御逆境。抗旱性强材料总生物量较大(宁油2号、宁油3号、平油1号等),弱抗旱材料总生物量干重较少(天油5号、Lenox等)。在根长方面,18份油菜的差异较小(变异系数:11.20%),不同材料的主根长变化不同,根据图1聚类分析,表5中,不同级别材料的主根长呈减小趋势,但差异不大,说明干旱胁迫对白菜型冬油菜主根长影响较小,扎根深度受到干旱胁迫影响较小。

2.6 白菜型冬油菜苗期根系性状指标的相关性分析

盆栽试验结果对白菜型冬油菜根系性状做相关性分析,结果如表6所示。总生物量干重与根冠比、根系干重、地上部干重、主根长呈极显著正相关,说明白菜型冬油菜在早期生长中,物质积累越多,根系生长越发达,地上部生长越旺盛,抗逆性越强,发达的根系有利于根系吸收水分,较少逆境带来的土壤水势变化,保持根系正常的生长活力;地上部生长越发达,地上部覆盖面积越大,有利于保持土壤水分,增加光合产物积累,进而,干物质积累越多,有利于

表4 白菜型冬油菜根系特征与相对活力指数的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of winter rapeseed (*Brassica campestris* L.) root characteristics and relative vigor index

性状 Trait	相对侧根数 Relative laeral roots	相对根长 Relative root length	相对根重 Relative root weight	相对根冠比/% Relative root/shoot ratio
相对根长 Relative root length	0.400			
相对根重 Relative root weight	0.137	0.551*		
相对根冠比 Relative root - shoot ratio	0.075	0.324	0.885**	
相对活力指数 Relative vigor index	0.482*	0.701**	0.269	0.052

注: * 和 ** 表示在 0.05 和 0.01 水平上的差异显著性。

Note: * and ** indicate significances at 0.05 and 0.01 levels respectively.

油菜幼苗保持较高的生长活力,根系生长较好,植株能从深层土壤吸收水分,满足生长发育的需求。对比分析表 2、表 6,PEG 胁迫芽期根系特征较好的材料在盆栽试验下幼苗早期生长活力较好,因此可以采用 PEG 胁迫的方法在实验室筛选出抗旱性较好的白菜型冬油菜。

3 结论与讨论

本研究对 18 份白菜型冬油菜根系 5 个形态特征指标进行了分析,结果显示,水分胁迫对白菜型冬油菜根系形态指标影响较大,不同来源、不同基因型的油菜对水分胁迫的敏感程度不同。采用聚类分析

可以分为五类,除个别材料外,抗旱性的聚类结果与油菜种子的相对活力指数的变化趋势基本一致,呈正相关关系,即抗旱性越强的材料的相对活力指数越高,弱抗旱材料的相对活力指数相对较低。综合聚类分析与相对活力指数获得了 3 份白菜型冬油菜(宁油 2 号、陇油 7 号和平油 1 号)抗旱材料,为白菜型冬油菜抗旱遗传育种提供了材料。

作物抗旱性的研究方法主要以人为控制的干旱及模拟干旱为主,其中以模拟抗旱最为普遍,用 PEG 高渗透溶液模拟干旱的方法简单易行,而且具有 PEG 不会被植物体吸收、无毒害、实验重复性好、周期短等特点,适用于大批量材料的抗旱快速鉴定^[10]。

表 5 盆栽试验白菜型冬油菜苗期根系性状指标变化

Table 5 Changes of root traits index in pot experiment of winter rapeseed (*Brassica campestris* L.) in seedling stage

材料编号 Materials code	总生物量干重/g Total biomass	根冠比 Root/shoot ratio	根系干重/g Root dry weight	地上部干重/g Shoot dry weight	主根长/cm Root length
1	11.81	0.79	5.22	6.59	16.22
2	12.04	0.75	5.16	6.88	17.46
3	9.11	0.68	3.68	5.43	13.16
4	12.57	0.89	5.92	6.65	16.81
5	10.81	0.84	4.94	5.88	15.70
6	12.61	0.91	6.01	6.60	16.16
7	15.71	1.25	8.73	6.98	17.84
8	8.25	1.05	4.23	4.02	15.95
9	11.17	0.55	3.96	7.21	16.02
10	14.51	0.63	5.60	8.91	16.94
11	13.35	1.18	7.23	6.12	17.32
12	11.25	1.15	6.03	5.22	16.74
13	16.65	1.20	9.09	7.56	17.24
14	14.45	1.15	7.72	6.73	18.00
15	15.78	1.18	8.52	7.26	19.12
16	14.11	0.98	6.98	7.13	17.53
17	13.75	1.16	7.38	6.37	17.48
18	10.09	0.71	4.19	5.90	11.02
平均值 Average	12.67	0.95	6.14	6.52	16.48
最大值 Max	16.65	1.25	9.09	8.91	19.12
最小值 Min	8.25	0.55	3.68	4.02	11.02
标准差 SD	2.34	0.23	1.70	1.05	1.85
变异系数 CV/%	18.44	23.88	27.60	16.08	11.20

表 6 白菜型冬油菜苗期根系性状指标的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of root traits index of winter rapeseed (*Brassica campestris* L.) in seedling stage

性状 Traits	总生物量干重 Total biomass	根冠比 Root/shoot ratio	地上部干重 Shoot dry weight	根系干重 Root dry weight
根冠比 Root-shoot ratio	0.592**			
根系干重 Root dry weight	0.913**	0.824**		
地上部干重 Shoot dry weight	0.751**	-0.155	0.416	
主根长 Root length	0.705**	0.579*	0.718**	0.409

注: * 和 ** 表示在 0.05 和 0.01 水平上的差异显著性。

Note: * and ** indicate significances at 0.05 and 0.01 levels respectively.

杨春杰^[8]等采用PEG模拟水分胁迫发现,相对活力指数可以作为甘蓝型油菜抗旱性的分级鉴定的依据。来源不同的品种(系)在模拟干旱胁迫下的性状相关分析结果显示,相对活力指数与相对发芽率、相对苗高呈极显著正相关,说明相对活力指数可以作为评价甘蓝型油菜种子萌发抗旱性评价的综合指标。根系是作物的主要水分吸收和营养吸收器官,植物根系特性与作物产量密切相关^[3,11-14],不仅在水分及营养吸收过程中起主要作用,而且也是物质同化、异化的重要器官^[15]。拟南芥根系具有高的可塑性,能对逆境做出相应的响应^[15-16]。根系在遭受干旱胁迫时最早做出反应,调节水分吸收,并且反馈到叶片,对叶片水分散失起调控作用,因此研究作物根系与抗旱性的关系在作物遗传育种领域具有重要意义^[17]。研究显示,水分胁迫下,部分作物的主根基本固定,植物可以通过侧根的加速分生以及分枝化来提高根体积以及表面积,以增加对水分的吸收^[18]。较长的根长可以使植物在遭受干旱时吸收更多的地表深层的水分,有利于植物的抗旱^[19]。本研究显示,在模拟水分胁迫下,白菜型冬油菜侧根数和根重受到影响最大,根长受到一定程度的抑制但不显著,研究结果与杨春杰^[3]、胡承伟^[8]结果相似。

发达的根系能够使植物有效地利用水分,还可以缓解干旱胁迫对植物的损伤^[20]。根冠比是反映植物地下部与地上部生长的指标,研究显示,根冠比可以作为植物抗旱性指标^[8,20]。地下部与地上部处于均衡生长状态时,水分及营养资源才能有效利用,植物体正常生长^[19]。本研究结果显示,根冠比大的材料根重相对较大,地下部具有明显的生长优势。合理的或者较高的根冠比不仅有利于地上部的生长功能的发挥,也使得地下部的生理特性得到优化,有利于作物在遭受逆境时的生理功能不受较大的影响^[20]。盆栽试验幼苗期油菜长势及生长活力与PEG胁迫具有高的一致性,抗旱性较强的白菜型冬油菜根系生长量较高,有利于根系吸收水分和营养物质,使得地上部功能正常发挥不致遭受较大抑制,减缓逆境对作物的危害,有利于减小作物产量的损失,保证作物产量。

作物抗旱性是一个复杂的生理过程,是受多基因控制的数量性状^[21],在长期或者短时间,作物的抗旱机制也是千差万别的。想要更好地评价作物的抗旱性,不仅要研究作物自身的形态结构,更需要研究其内部的生理生化过程。因此,采用多时期、多指标抗旱性特征综合评价结果才更加真实有效,从而

得出合理科学的抗旱机理解答。

参考文献:

- [1] 王道杰,桂月靖,杨翠玲,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(6):108-113.
- [2] Tingdong F, Guangsheng Y, Jinxing T. The present and future of rapeseed production in China[C]//Proceedings of International Symposium on Rapeseed Science. New York: Science Press, 2001:3-5.
- [3] 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(1):48-53.
- [4] 孙万仓,马卫国,雷建民,等.冬油菜在西北旱寒区的适应性和北移的可行性研究[J].中国农业科学,2007,40(12):2716-2726.
- [5] 张木清,陈如凯,邓祖湖.作物抗旱分子生理与遗传改良[M].北京:科学出版社,2010:81-84.
- [6] 景蕊莲.作物抗旱节水研究进展[J].中国农业科技导报,1995,3:37-39.
- [7] 高世斌,冯质雷,李晚忱,等.干旱胁迫下玉米根系性状和产量的QTLs分析[J].作物学报,2005,31(6):718-722.
- [8] 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,(4):425-430.
- [9] 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.
- [10] 张健,池宝亮,黄学芳,等.玉米萌芽期水分胁迫的抗旱性分析[J].山西农业科学,2007,35(2):34-38.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 杨剑平,陈学珍,王文平,等.大豆实验室PEG6000模拟干旱体系的建立[J].中国农学通报,2003,19(3):65-67.
- [14] 景蕊莲,吕小平.用渗透胁迫鉴定小麦种子萌发期抗旱性的方法分析[J].植物遗传资源学报,2003,4(4):292-296.
- [15] 李朝苏,刘鹏,蔡妙珍,等.荞麦对铝胁迫生理响应的研究[J].水土保持学报,2005,19(3):105-109.
- [16] Mattei B, Sabatini S, Schinà M E. Proteomics in deciphering the auxin commitment in the Arabidopsis thaliana root growth[J]. Journal of Proteome Research, 2013,12(11):4685-4701.
- [17] 王玉贞,李维岳.玉米根系与产量关系的研究进展[J].吉林农业科学,1999,24(4):6-8.
- [18] Lo Gullo M A, Nardini A, Salleo S, et al. Changes in root hydraulic conductance (KR) of Olea oleaster seedlings following drought stress and irrigation[J]. New Phytologist, 1998,140(1):25-31.
- [19] 涂玉琴,戴兴临,涂伟凤,等.芽期PEG模拟干旱胁迫下不同基因型甘蓝型油菜的反应差异研究[J].干旱地区农业研究,2011,29(6):213-221.
- [20] 吴子恺.玉米抗旱育种[J].玉米科学,1994,2(1):6-9.
- [21] Sallis J F. Age-related decline in physical activity: a synthesis of human and animal studies[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2000,32(9):1598-1600.