文章编号:1000-7601(2019)05-0114-05 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2019.05.17

干旱胁迫下 3 个油菜品种地上、地下部生长特征与抗旱性的关系

关周博[1],董育红[1],田建华[1],陈 亮[2],张耀文[1],赵小光[1],王学芳[1],张忠鑫[1]

(1.陕西省杂交油菜研究中心 国家油料作物改良中心陕西油菜分中心,陕西 杨凌 712100;
2.西北农林科技大学农学院,陕西 杨凌 712100)

摘 要:为了探索干旱胁迫下不同抗旱性油菜品种的地上、地下部生长特征与抗旱性的关系,通过土柱栽培试验,对油菜品种 DR1、DR2 和 DR3 在不同水分处理条件下不同土层根量、地上部生物量、冠层覆盖面积及抗旱性之间的关系进行研究。结果表明:3 个品种在水分胁迫和正常供水条件下产量和根系生物量在品种间均达到显著性差异,3 个品种的抗旱能力大小依次为:DR1>DR3>DR2;不同水分处理下油菜的根系主要分布于 0~30 cm 土层,占根系总量的 70%以上;在干旱胁迫下,3 个品种 DR1、DR2 和 DR3 的总根量分别减少了 22.53%、24.17%和 24.53%,但仍表现出抗旱性强的品种 DR1 的根系总量最大,达到 12.07 g,其次为品种 DR3 和 DR2;在大于 30cm 的土层中,DR1 的根系量占到总根量的 31.5%,这表明根系垂直分布量的多少对抗旱性的影响较大,同时植株冠层面积、总生物量、根系干重与抗旱性的直接通径系数分别为 0.5861、0.4514、0.5715,说明除了根系外,大的冠层面积可减少地表蒸发有利于作物抗旱。

关键词:干旱胁迫;油菜;地上与地下部生长;抗旱性

中图分类号:S565;S311 **文献标志码**:A

Relationship between growth characteristics of above- and under-ground and drought resistance of three rapeseed cultivars under drought stress

GUAN Zhou-bo[1], DONG Yu-hong[1], TIAN Jian-hua[1], CHEN Liang[2], ZHANG Yao-wen[1], ZHAO Xiao-guang[1], WANG Xue-fang[1], ZHANG Zhong-xin[1]

(1. *Hybrid Rapeseed Research Center of Shaanxi Province, Shaanxi Rapeseed Branch of National Oil Crops Genetic Improvement Center, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*;
2. *College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: In order to explore the relationship between growth characteristics of above- and under-ground and drought resistance of different drought resistance rapeseed varieties under drought stress, through soil column cultivation experiment under the condition of different water treatment, we studied the relationship of root in different soil layer, above-ground biomass and canopy cover with drought resistance of rapeseed varieties DR1, DR2 and DR3. The results showed that under the condition of water stress and normal water, yield and root biomass of all three varieties achieved significant differences and the drought resistance of three varieties as follows: DR1>DR3>DR2. Under different water treatments, the root weight of rapeseeds was mainly distributed in the soil layer of 0~30 cm, accounting for more than 70% of the total root weight. Under drought stress, the total root weight of the three varieties DR1, DR2 and DR3 were decreased by 22.53%, 24.17% and 24.53%, respectively. But, the root weight of DR1 was the greatest and reached 12.07 g, which showed strong drought resistance, followed by DR3 and DR2. In different soil layers, the root weight of the DR1 was higher than that of DR2 and DR3. In the soil layer below 30 cm, the root weight of the DR1 had the largest percentage of the total root weight. This indicated that the vertical

收稿日期:2018-12-28 **修回日期**:2019-08-27

基金项目:国家七大农作物育种专项(2018YFD0100603);杨凌示范区农业科技计划项目(2018NY-31);陕西省协同创新与推广联盟项目(LM201805)

作者简介:关周博(1983-),男,陕西长安人,硕士,助理研究员,主要从事油菜育种研究。E-mail:guanzhoubo1983@163.com

distribution of root considerably impacted the yield under drought resistance. Meanwhile, the direct path coefficients of plant canopy area, total biomass, dry weight of roots, and drought resistance were 0.5861, 0.4514 and 0.5715, respectively, that indicated that except for the root system, reducing the surface evaporation was conducive to crop drought resistance.

Keywords: drought stress; *Brassica napus* L.; above-ground and under-ground growth; drought resistance

油菜在我国的种植历史悠久,其生产面积已经达到了 667 万公顷,均占世界油菜生产总面积的 33%[1-3],随着早熟品种的选育及冬闲田的开发,油菜种植面积还在提高,已成为我国的优势油料作物[4-5]。我国油菜种植主要以长江流域和西南地区的冬油菜为主,约占栽培总面积和产量的 90%~93%,而西北地区仅占总种植面积和产量的 7%~8%[4],主要原因是西北地区低温干旱,夏季多雨,春秋季少雨,导致油菜秋播或春播时土壤水分较差而影响出苗,同时影响苗期生物体的建成,导致越冬性差。油菜为双子叶植物,籽粒小子叶也小,不能像单子叶小麦那样种植较深,往往土壤表层的墒情对油菜播种出苗至关重要,因此干旱是限制西北地区油菜生产的主要非生物逆境。

目前,水资源短缺是国际公认的全球性环境问题之一,我国人均占有水资源量仅为世界人均占有量的 25%,田间灌溉水分占比更小,所以在当前农田大水灌溉已不可持续[6]。山仑[7]认为,当水的流失、蒸发、渗透得到有效控制,水的时空调节得到最大限度利用之后,充分挖掘植物自身的水分高效利用机制将成为节水农业发展的核心。选育根系发达、发育快速,能在有限水分条件下生长较快并能最大限度利用水资源的抗旱型品种是当前生物节水的研究核心。

植物根系是一个适应性较强的器官,在干旱条件下会引起根系生长、形态、生理生化等变化,有较强的可塑性[8-10]。油菜根系是水分及养分吸收的主要器官,与油菜的抗旱性关系密切,不同时期的干旱胁迫及胁迫程度,不同品种间根系对干旱胁迫的反应都不同,导致在旱区油菜生产条件下不同品种抗旱性差异较大,多数表现出根系生物量、根冠比、根长、根系表面积和根系体积等的变化不一致[11-13]。在花生、小麦中有研究结果认为,根系较大、根量较多、根系下扎较深的品种抗旱性较强[14-16]。然而,油菜为直根系,根冠大,大田取样难度较大,与地上器官相比,对油菜根系的研究相对缺乏,多数研究仅集中在苗期 PEG 模拟干旱胁迫处理[17-22];关于对油菜干旱胁迫后,生育后期根系生长特征的研究较少,研究结果缺乏指导性。鉴于此,本试验利用 PVC 圆桶做成土柱来种植油菜,模拟大田土壤条件,研究在干旱胁迫条件下不同抗旱性油菜品种的根系特征,为促进旱区油菜丰产栽培、根系生长调节及抗旱节水型油菜品种选育提供理论依据。

1　材料和方法

1.1　试验材料

供试油菜品种来源于陕西省杂交油菜研究中心种质资源库,品种名称分别编号为 DR1、DR2、DR3。

1.2　试验方法

管栽试验于 2015—2016 年在西北农林科技大学北校试验站抗旱棚内进行,取建筑所用直径为 16 cm、高度为 100 cm 的 PVC 管,将其径向一分为二,用管箍固定好,再用胶带纸密封好接口,加风干土制成根管模拟大田栽培。水分胁迫分为自然降水的大田试验(CK)和防雨棚控水试验(DT):大田试验,将根管埋于大田中,播种前一月对根管进行灌水至田间最大持水量,播种前土壤相对含水量为 65.23%,生育期间自然降水为 173 mm,收获后土壤相对含水量为 45.34%。防雨棚控水试验,将根管埋于抗旱棚土壤中,播种前 1 个月对根管进行灌水至田间最大持水量,播前测得土壤相对含水量为 62.86%,春季抽薹期前补充灌水 40 mm,收获后测得土壤相对含水量为 31.21%。试验均采用完全随机区组设计。每个品种种植 10 个根管,每个根管内留油菜苗 1 株,随机排列,重复 3 次。9 月 25 日播种,次年 5 月 20 日收获(产量单位:g)。

1.3　取样及指标测定

油菜八叶一心期测定油菜叶片最大冠层覆盖面积,具体测定方法为:以茎秆为中心,利用直尺测定单株互生叶片最大十字交叉距离来计算油菜单株冠层覆盖面积。

油菜成熟期:取样时首先收获地上部油菜生物量,再将根管从土壤中取出分开,打开根管按照 0~30、30~60 cm 和 60 cm 以下准确分割土层。将不同土层过筛滤出根系,再冲洗干净置于烘箱烘干至恒重,称取根量(g)。地上部分烘干称取生物量(g),

再将油菜籽粒脱粒称重。

抗旱系数=处理产量/对照产量

1.4 数据统计分析

利用 Excel 软件进行数据整理、分析与绘图。采用 SAS 软件对试验结果进行方差分析及通径分析。

2 结果与分析

2.1 油菜产量及相关性状的方差分析

通过对 3 个品种在水分胁迫和正常供水条件下各性状的方差分析,结果表明,产量和根系生物量在品种间达到显著性差异,地上部生物量达到了极显著性差异;根系生物量在水分处理间达到显著性差异,产量和地上部生物量达到极显著差异,说明水分胁迫和正常供水条件下产量、根系生物量、地上部生物量 3 个性状在品种间和处理间存在差异。

2.2 水分处理对油菜产量及相关性状的影响

如表 2 所示,3 个品种抗旱能力的大小依次为:DR1>DR3>DR2;在正常供水条件下,DR2 的产量最高,DR1 的产量最低,但在水分胁迫条件下变幅最小的是 DR1,变幅最大的为 DR2;根系生物量方面,正常供水条件下根系量 DR1>DR3>DR2,水分胁迫条件下,根系生物量表现出与正常供水条件下相同的结果 DR1>DR3>DR2,说明 DR1 的根系活性强,干旱胁迫刺激根系发育,可有效吸收土壤水分;地上部生物量在不同水分条件下差异较大。

表 1 油菜产量及相关性状的方差分析

Table 1 Variance analysis of rapeseed yield and correlated traits under different water conditions

变异来源 Source of variation	产量 Yield	根系生物量 Root biomass	地上部生物量 Above-ground biomass
品种间 Cultivars	7.2345 *	3.2514 *	9.2365 * *
处理间 Treatment	16.3421 * *	10.2201 *	20.3211 * *
品种间×处理间 Cultivars×Treatment	1.3271 * *	0.8531 * *	1.9823 * *

注:* 和 * * 分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平差异显著。

Note: * and * * indicate significant differences at the $P<0.05$ and $P<0.01$ levels, respectively.

表 2 水分胁迫对油菜产量及相关性状的影响

Table 2 Effect of water stress on yield and correlated traits of rapeseed

品种 Cultivar	处理 Treatment	产量/(g·株$^{-1}$) Yield/(g·plant^{-1})	根系生物量/(g·株$^{-1}$) Root biomass/(g·plant^{-1})	地上部生物量/(g·株$^{-1}$) Above-ground biomass/(g·plant^{-1})	抗旱系数 Index of drought resistance
DR1	DT	18.36	12.07	110.35	0.73
	CK	25.12	15.58	105.15	
DR2	DT	20.33	9.44	85.23	0.58
	CK	35.12	12.45	135.21	
DR3	DT	15.95	10.17	76.32	0.61
	CK	26.23	13.13	95.65	

2.3 不同水分处理下油菜根系在土壤中的分布比例

油菜根系的分布作为根系研究的一个基本考核指标,反映了根系在土壤中的生长发育状况,其分布比例影响着油菜根系对水分、矿物质营养元素的吸收和利用。从图 1 可看出,不同水分处理下油菜品种的根系主要分布在 0~30 cm 的土层中,占到根系总量的 70%以上;干旱胁迫处理下,3 个品种在 0~30 cm 土层的根系量在总根量中所占的百分比较正常供水条件下在总根量中所占的百分比小,但在 30~60、60~100 cm 土层内的根系量在总根量中所占的百分比较正常供水条件下在总根量中所占的百分比高,说明在干旱胁迫条件下,根系受到刺激向深层土壤延伸,获取更多水分,深层土壤内的根系量对干旱胁迫条件下的根系吸水起着至为重要的作用。

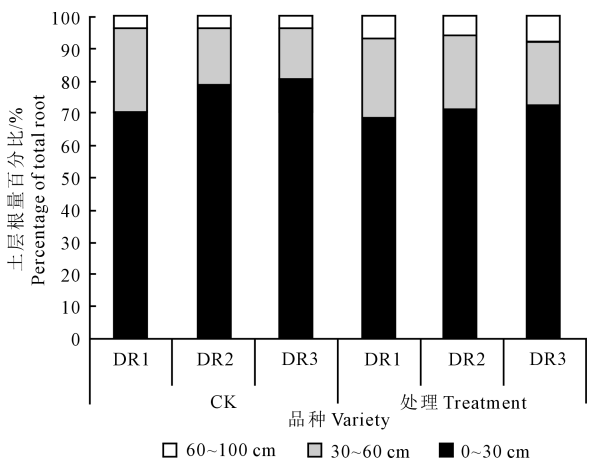


图 1 油菜根量在不同土层分布比例

Fig.1 Distribution percentage of root biomass in different soil layers under different water treatments

2.4　不同土层根系量与抗旱性的关系

植物的生长过程也是地上部分与地下部分的协调过程,地下根系的生长对地上植株的影响很大,油菜为直根系,不同土层根系量不光反映出油菜品种自身的差异,同时也反映出对土壤环境的敏感性和适应性,最终也体现在产量的差别上。如图 2 所示,在干旱胁迫下 3 个品种 DR1、DR2 和 DR3 的总根量分别减少了 22.53%、24.17%和 24.53%,但仍表现出抗旱性强的品种 DR1 的根系总量最大,达到 12.07g,其次为品种 DR3 和 DR2;在不同土层中,DR1 的根系量都高于 DR2 和 DR3,而且在大于 30 cm 的土层中,DR1 的根系量所占总根量的百分比最大;与抗旱性强弱的对比(如表 2),在干旱胁迫下,DR1 的产量降幅最小、抗旱性最强。这表明根系垂直分布量的多少对产量和抗旱性的影响较大,深层土壤根系量越多,根系对土壤环境适应性更好,有较强的活力,吸收更多可利用水分。

2.5　干旱胁迫条件下地上、地下和总生物量 3 个性状与抗旱性的通径分析

为了进一步揭示生物体建成中对逆境反应最直接的性状[15],对冠层覆盖面积、总生物量干重和根系干重与抗旱性之间关系及对抗旱性的影响,对其进行通径分析(如表 3)。3 个性状对抗旱性的影响大小表现为:冠层覆盖面积>根系干重>总生物量干重。在 3 个性状中冠层覆盖面积在生长过程中对抗旱性的直接作用最大,通径系数为 0.5861,这表明冠层面积大能够有效的覆盖其所在植株以茎秆为圆心的占地面积,有利于最大限度阻止土壤表层水分蒸发,保持耕层土壤中的水分,同时有利于根系生长对水分的吸收利用,进而提高了其抗旱性。

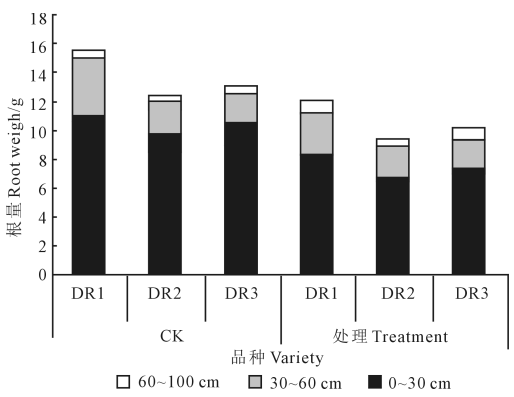


图 2　水分处理下油菜不同土层根量变化

Fig.2　Effect of different water treatments on root traits in different soil layers of rapeseed

表 3　地上、地下及总生物量与抗旱性的直接通径系数

Table 3　Direct path coefficients of above-, under-ground, total biomass and drought resistance

性状 Trait	直接通径系数 Directpath coefficient
冠层覆盖面积 Canopy cover area	0.5861
总生物量干重 Total biomass dry weight	0.4514
根系干重 Root dry weight	0.5715

3　讨　论

植物根系作为植株整体发育不可或缺的一部分,地上部分与地下部分的有机协调和相互补偿有利于植株的正常生长,特别是粮食作物类,地下部分根系的生长直接影响着地上部分的经济产量,在干旱半干旱地区,有着“长苗先长根,根深苗才壮”的俗语,这都体现着根系生长的重要性。那么不同的土壤水分环境,对根系的发育影响也不同,在土壤水分胁迫的逆境条件下,根系对土壤中水分的有效吸收和对产量的有效形成也在很大程度上取决于植物根系在土壤不同土层根系形态和根量的分布。

3.1　水分胁迫下根系的应激能力

油菜为直根系,其在土层中的下伸能力较须根系作物向深层土壤的下伸能力要强,在耕作层土壤干旱时,油菜的根系也较其它作物有更强的吸收深层土壤水分的能力,能对干旱胁迫迅速作出反应,及时调整根系在土层中的分布,以适应上层土壤干旱带来的不良影响,协调地上地下部分的比例,所以在北方干旱半干旱地区油菜也作为保产稳产型作物受到农户欢迎。在本研究中不同水分处理下油菜品种的根系主要分布于 0~30 cm 的土层中,占根系总量的 70%以上;在干旱胁迫处理下,抗旱性强的品种根系总量大,深层土壤中的根系量在总根量中百分比也大,说明根系受到水分胁迫后主动向深层土壤延伸,获取更多水分,能够有效利用深层土壤中的储存水分,保证其正常生理对水分的需求,因此根系在干旱胁迫下的应激性和适应性对作物有效生长至关重要。

3.2　水分胁迫下根系的分布特征

衡量一个作物根系的形态指标及其分布特征对水分的有效吸收能力主要通过根系的长度、根系的干重、根系不同土层的分布面积和数量、根系活性等性状指标。根系在不同土壤中的可塑性分布为根系适应耕作层土壤水分胁迫奠定了基础,根系的分布状态和生理活性影响着植物地上部形态的发育、物质的运输分配和积累。不同抗旱类型的品种之间,其根系形态也存在着差异,本研究中抗旱性强的品种 DR1 在深层土壤中有较多的根量分布,这也与孟庆立等[23]、胡承伟等[24]在研究谷子、油菜品种抗旱性与根系关系中的结果一致;但在本研究中抗旱性强的品种 DR1 的产量在 3 个品种中却不是最高的,然而水分胁迫前后产量的变化幅度却是最小

的,品种 DR2 的产量在水分胁迫前后都最高,但是变化幅度却最大,所以品种的产量除了与品种自身的丰产性有关外,还与抵御干旱的能力有关,从而才能达到丰产稳产的目的。抵御干旱能力强的品种拥有较强的根系自发能力和较大的根系生物量,在深层土壤中根系分布数量多、分布面积广。在对小麦根系研究中也发现深层土壤中根系数量多的品种抗旱性相对较强,而上层土壤根系数量多、下层土壤根系数量少的品种则对干旱胁迫敏感性较高[25]。

土壤干旱已经成为一个全球性的难题,也是作物生长面临的最大挑战,在我国北方,冬春季干旱少雨,依靠作物自身能力吸收深层土壤的储存水,是节水栽培的有效手段,培育根系发达、具有较强下扎能力、在深层土壤中根系量大、根系分布广的油菜品种是实现生物节水的有效途径,挖掘根系的感知系统的可塑性,最大限度利用根系对水分养分的吸收功能。

3.3 冠层覆盖面积对根系及抗旱性的影响

油菜冠层覆盖面积主要是苗期叶片的快速发育,叶片面积较大,能有效覆盖土壤表层,阻止地面水分的大量蒸腾。研究发现土壤耕层中的水分除作物吸收利用外,50%的水分都通过地表蒸发而流失[26-27],影响作物的生长。在干旱半干旱条件下,若要减少地表水分的蒸发为后续作物生长保存更多可利用水分的有效方式之一就是在相对短的时间内最大可能地覆盖地面,增加土壤可用水分的保持时间,提高水分利用效率,同时也提高了耕层土壤中的根系活力,有助于根系在干旱胁迫逆境中做出应激性反应,调整土壤中根系分布情况。在本研究中,也发现冠层覆盖面积在生长过程中对抗旱性的直接作用最大,有助于油菜在干旱逆境中的持续生长,达到抗旱的目的,其结果也与关周博等前期研究结果一致[28-29]。因此,在旱区干旱少雨的生态环境下,冠层覆盖面积的大小也关系到作物生育周期内的可持续性生长,也起到对地上部分和地下部分的有机协调作用。

参 考 文 献:

[1] 涂金星,张冬晓,张毅,等. 我国油菜育种目标及品种审定问题的商榷[J]. 中国油料作物学报,2007,29(3):350-352.

[2] 陈兆波,余健. 我国油菜生产形势分析及科研对策研究[J]. 中国油料作物学报,2010,32(2):303-308.

[3] 关周博,董育红,张耀文,等. 生态穿梭育种在油菜品种选育中的应用[J]. 中国油料作物学报 2017,39(4):462-466.

[4] 沈金雄,傅廷栋,涂金星,等. 中国油菜生产及遗传改良潜力与油菜生物柴油发展前景[J]. 华中农业大学学报,2007,26(6) :894-899.

[5] 关周博,田建华,董育红. 我国油菜发展的现状、面临的问题以及应对策略[J]. 陕西农业科学,2016,62(3):99-101.

[6] 郭雪松. 油菜种质资源耐旱性的鉴定[D]. 重庆:西南大学, 2009.

[7] 山仑. 挖掘植物自身抗旱节水潜力的探讨[J]. 河南大学学报, 2012,42(5):587-592.

[8] 任永哲,徐艳花,丁锦平,等. 非生物因素调控植物根系发育可塑性的研究进展[J]. 中国农学通报,2011,27(9):34-38.

[9] Dorlodot S, Forster B, Pages L, et al. Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops[J]. Trends in Plant Science, 2007, 12(10):474-481.

[10] 丁红,张智猛,戴良香,等. 不同抗旱性花生品种的根系形态发育及其对干旱胁迫的响应[J]. 生态学报, 2013,33(17):5169-5176.

[11] 李文绕,张岁岐,丁圣彦,等. 干旱胁迫下紫花苜蓿根系形态变化及水分利用的关系[J]. 生态学报,2010, 30(19): 5140-5150.

[12] 韩希英,宋凤斌. 干旱胁迫对玉米根系生长及根际养分的影响[J]. 水土保持学报,2006,20(3):170-172.

[13] 尚小颖,刘化冰,张小全,等. 干旱胁迫对不同烤烟品种根系生长和生理特性的影响[J]. 西北植物学报,2010,30(2):357-361.

[14] Matsui T, Singh B B. Root characteristics in cowpea related to drought tolerance at the seedling stage[J]. Experimental Agriculture, 2003, 39(1):29-38.

[15] 厉广辉,万勇善,刘风珍,等. 不同抗旱性花生品种根系形态及生理特性[J]. 作物学报,2014,40(3):531-541.

[16] 闫素红,杨兆生,王俊娟,等. 不同类型小麦品种根系生长特性研究[J]. 中国农业科学,2002,35(8):906-910.

[17] 米超,赵艳宁,刘自刚,等. 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[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(5): 229-235.

[18] 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.

[19] 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(5): 108-113.

[20] 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.

[21] 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):213-220.

[22] 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.

[23] 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.

[24] 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.

[25] Blum A, Sullivan C Y. The effect of plant size on wheat response to agents of drought stress. I. Root drying[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1997, 24(1):35-41.

[26] Rebetzke G J, Richards R A . Genetic improvement of early vigor in wheat[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1999, 50: 291-301.

[27] Trachsel S, Messmer R, Stamp P, et al. QTLs for early vigor of tropical maize[J]. Mol Breeding, 2010, 25(1):91-103.

[28] 关周博,田建华,胡银岗,等. 几种甘蓝型油菜幼苗抗旱性特征的比较研究[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(5):46-51.

[29] 关周博,田建华,胡银岗,等. 模拟干旱胁迫下甘蓝型油菜幼苗生长与早期活力的关系研究[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(3): 145-149.