

初花期干旱对甘蓝型油菜生理和农艺性状的影响

熊 洁, 陈伦林, 邹晓芬, 邹小云, 李书宇, 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:初花期是油菜生殖生长的关键时期。为研究干旱对这一时期油菜的影响,在人工控水条件下(当土壤含水量为田间持水量的45%~50%时计为干旱胁迫开始,处理持续10d,然后复水;CK正常灌水,保持田间持水量在80%~85%),利用4个具有不同耐旱性的甘蓝型油菜品种浔油8号、阳光2009、浙油50和华油杂13号,研究生理特性、农艺性状和产量的变化。结果表明,在干旱胁迫10d后,耐旱性品种(浔油8号和阳光2009)的叶片SPAD值、可溶性蛋白质、MDA含量变幅不大,可溶性糖含量小幅下降,CAT酶活性小幅增加,游离脯氨酸含量显著增加(其中浔油8号和阳光2009分别比对照增加了4.1倍和2.9倍)。相比之下,敏感性品种(浙油50和华油杂13号)的叶片SPAD值、可溶性蛋白质和可溶性糖含量均显著减少,MDA含量显著增加,CAT酶活性变幅不大,游离脯氨酸含量显著增加,但增幅小于耐旱品种。初花期干旱影响油菜的主要农艺性状和产量,表现为敏感性品种的株高、一次分枝数、相对分枝高、主花序长、主花序角果数、角果长、单株角果数、角果粒数和单株产量均显著下降,而且降幅明显大于耐旱性品种。

关键词:甘蓝型油菜;干旱胁迫;生理特性;农艺性状

中图分类号:S565.401 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-9084(2015)02-0173-06

Drought effects on physiological and agronomic traits of rapeseed (*Brassica napus* L.) at initial blooming stage

XIONG Jie, CHEN Lun-lin, ZOU Xiao-fen, ZOU Xiao-yun, LI Shu-yu, 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: Initial blooming is the key stage of rapeseed growth. To understand the effect of drought on rapeseed at this stage, 10 days of drought (beginning from the day when field moisture was 45%–50%) was conducted in pots under rain-proof shelter during initial flowering period. Normal irrigation was controlled (with 80%–85% field moisture). 4 cultivars were used, including 2 drought-resistant *Brassica napus* L. cv Xunyou 8 and Yanguang 2009, and 2 drought-sensitive cv Zheyong 50 and Huayouza 13. After 10d drought, resistant cultivars' leaf SPAD value, soluble protein and malondialdehyde (MDA) content changed little, soluble sugar content declined slightly, catalase (CAT) activity increased slightly, while free proline significantly increased by 2.9–4.1 folds. On the contrary, sensitive cultivars' physiology indicators changed significantly, including decreased SPAD value, soluble protein and soluble sugar contents, and increased free proline (but less than resistant cultivars). The drought stress had significant impacts on agronomic traits and yield. For sensitive cultivars, plant height, primary branches, inflorescence length, pods number on main inflorescence, pod length, pods per plant, seeds per pod and yield decreased significantly. But for resistant cultivars, the decrease rate was much lower.

Key words: *Brassica napus* L.; Drought stress; Physiological characteristics; Agronomic traits

我国是油菜主要生产国,种植面积、总产量均占世界的30%左右^[1]。油菜是产油率最高的油料作物之一,也是国产食用植物油的第一大来源,对于保障中国食用植物油供给安全具有重要意义^[2]。油

收稿日期:2014-07-28
基金项目:国家油菜产业技术体系项目(CARS-13);国家科技支撑计划项目(2011BAD41B01)
作者简介:熊 洁(1984-),女,河南郑州人,助理研究员,主要从事作物栽培与生理生态研究,E-mail: ixiongjie@163.com
*通讯作者:宋来强(1963-),男,研究员,主要从事作物遗传育种与栽培技术研究

菜整个生长季节需水量较大,水分不足严重影响其生长发育,尤其是油菜薹花期是需水的临界期,该时期干旱会给油菜生长和产量造成极大的危害^[3,4]。

近年来,关于油菜耐旱性鉴定以及对干旱胁迫的响应进行了较多的研究。符明联等^[5]、杨春杰等^[6]采用 PEG 模拟干旱胁迫,研究干旱对油菜萌发、幼苗生长的影响,认为发芽指数和相对活力指数可作为油菜发芽期的耐旱性鉴定指标。张弢等^[1]对油菜幼苗期干旱胁迫下生理指标的研究表明,过氧化氢酶、脯氨酸、丙二醛、叶绿素等可作为苗期的耐旱性鉴定指标。朱宗河等^[7]对花前和花后干旱胁迫下不同油菜品种生长发育的差异进行研究,利用主成分分析、隶属函数分析和聚类分析,筛选出油菜耐旱性种质。前人对油菜耐旱机理的研究表明,干旱会导致光合作用、气孔导度、气体交换下降,叶面温度升高^[8],叶片中 MDA 含量、细胞膜透性及 SOD、POD 活性增加^[9],可溶性物质如钾离子、可溶性糖、脯氨酸积累,细胞渗透势下降^[10],同时影响根系发育、植株生长,最终导致产量及产量构成因素明显下降^[11]。Wright 等^[4]、梁宗锁等^[12]比较研究了芥菜型油菜和甘蓝型油菜耐旱性的差异,认为干旱条件下发达的根系和较强的干物质积累能力是芥菜型油菜比甘蓝型油菜耐旱性强的主要原因。但对于初花期干旱胁迫下,不同耐旱性甘蓝型油菜品种之间生理特性和产量的差异研究较少。

本课题组前期研究中,针对江西省近年来生产上大面积种植的 30 个甘蓝型油菜品种进行耐旱性筛选,对初花期干旱胁迫下油菜株型、产量结构和产量等指标开展研究,通过耐旱性综合评价和聚类分析等方法,获得耐旱性和敏感性油菜品种。本研究以这些筛选出的品种为材料,研究花期干旱胁迫下生理特性、株型、产量及产量构成的差异,以期对油菜耐旱机制的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

根据 2012 年 9 月–2013 年 5 月的耐旱试验结果,选用耐旱品种浔油 8 号和阳光 2009、敏感品种浙油 50 和华油杂 13 号为材料。

1.2 试验设计

试验于 2013 年 9 月–2014 年 5 月在江西省农业科学院防雨棚内进行。供试的粘壤土,有机质、碱解氮、速效磷、速效钾的含量分别为 $23.4\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $133.4\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $18.2\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $94.8\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。试验所用钵钵直径 30cm,高 40cm,每盆装土 15kg,土

壤经自然风干、过筛去杂后装盆。9 月 28 日播种于苗床,11 月 9 日移栽种植于钵钵中,每盆 3 株苗,次年 5 月 4 日成熟收获。移栽前,每盆基施尿素、钙镁磷肥、氯化钾分别为 3.48g、7.78g、2.22g,在 10cm 深的表土层拌匀;返青后每盆追施尿素 1.16g;薹期每盆追施尿素 1.16g、钙镁磷肥 3.33g,叶面喷施硼肥。

4 个品种的初花期基本一致,浔油 8 号 3 月 5 日初花,阳光 2009、华油杂 13 号 3 月 6 日初花,浙油 50 于 3 月 7 日初花。初花期分别对各品种进行干旱处理,当土壤含水量为田间持水量的 45%~50% 时视为干旱胁迫开始,处理持续 10d,然后复水;对照为正常灌水处理(CK),土壤含水量保持在田间持水量的 80%~85%。各品种于播种后均匀浇透水,每隔 2~3d 浇水 1 次,确保土壤含水量为田间持水量的 80%~85%。采用称重法控制各处理水量使之恒定,其他管理同常规大田。各品种每处理种 4 桶,3 个重复。

1.3 生理指标的测定

干旱胁迫 10d 后,于晴天的上午 9:00~10:00 间取样,每株油菜主茎中部取 3~4 片叶子。取样前,以 SPAD-502 叶绿素仪测定主茎中部叶片的 SPAD 值。样品取回后,进行可溶性蛋白质(考马斯亮蓝 G250 法)、MDA(硫代巴比妥酸比色法)、CAT 活性(高锰酸钾滴定法)的测定,剩余样品放入烘箱中烘干、磨碎,用于测定游离脯氨酸含量(采用茚三酮显色法)、可溶性糖含量(采用蒽酮法)。生理指标的测定均参照李合生等^[13]介绍的方法进行。

1.4 产量及株型的测定

于成熟期,考察各处理植株株高、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、千粒重、单株产量等。

1.5 数据处理与分析

采用 DPS 进行数据处理和统计分析,并用 LSD 法比较处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对油菜叶片 SPAD 值的影响

干旱胁迫下,4 个品种的 SPAD 值均有所下降,但不同耐旱性品种的降幅不同(图 1)。浔油 8 号和阳光 2009 平均下降了 3.3%,但与对照相比差异不显著;浙油 50 和华油杂 13 号分别减少了 13.9% 和 10.4%,与对照相比差异达显著水平。说明耐旱性较强的品种叶绿素含量受干旱的影响明显小于敏感品种。

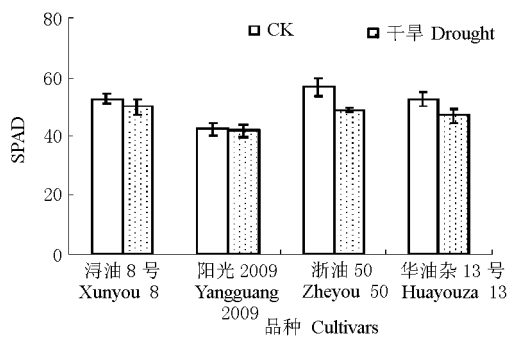


图 1 干旱胁迫对 SPAD 值的影响

Fig. 1 Effects of drought stress on SPAD value of rapeseed

2.2 干旱胁迫对叶片可溶性蛋白质和游离脯氨酸的影响

可溶性蛋白质和游离脯氨酸是细胞中重要的渗

透调节物质,其含量与植物的抗逆性紧密相关。干旱胁迫下,浔油 8 号和阳光 2009 可溶性蛋白含量略有升高,分别增加了 0.7% 和 2.6%,处理间差异不显著;而浙油 50 和华油杂 13 号可溶性蛋白含量平均减少了 14.0%,且差异显著(图 2A)。叶片中游离脯氨酸对干旱的反应与可溶性蛋白质表现不同,4 个品种的游离脯氨酸含量在干旱胁迫下均显著增加,浔油 8 号和阳光 2009 的增幅较大,分别比对照增加了 4.1 倍和 2.9 倍;而浙油 50 和华油杂 13 号分别增加了 0.4 倍和 0.9 倍(图 2B),增幅明显较小。可见,耐旱性强的品种通过增加可溶性蛋白质和游离脯氨酸的含量,以适应干旱逆境。

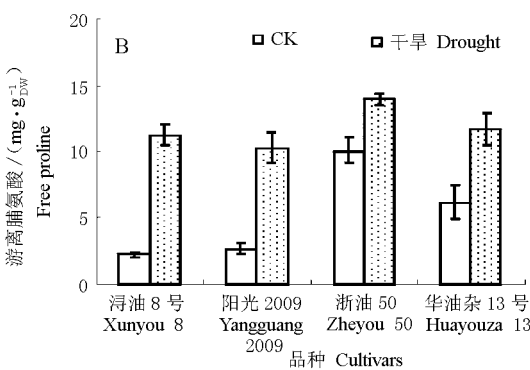
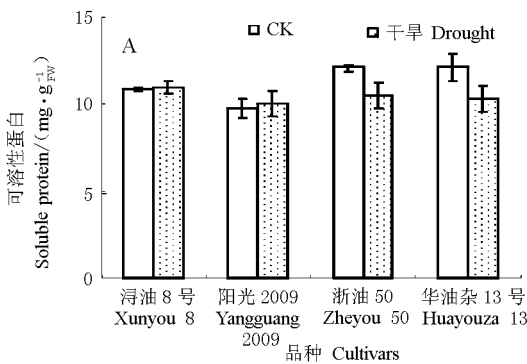


图 2 干旱胁迫对可溶性蛋白质(A)和游离脯氨酸含量(B)的影响

Fig. 2 Effects of drought stress on soluble protein (A) and free proline contents (B) of rapeseed

2.3 干旱胁迫对叶片过氧化氢酶(CAT)活性的影响

过氧化氢酶(CAT)是生物防治活性氧伤害的重要保护酶之一。与 CK 相比,2 个耐旱性甘蓝型油菜品种干旱胁迫下 CAT 活性明显增加(图 3),分别比对照增加了 12.9% 和 16.2%,其中仅阳光 2009 处理间的差异达显著水平;敏感性品种浙油 50 CAT 活性略有增加,仅增加了 3.7%,而华油杂 13 号的 CAT 含量略有下降,降低了 6.0%,这 2 个品种处理间的差异均未达显著水平。

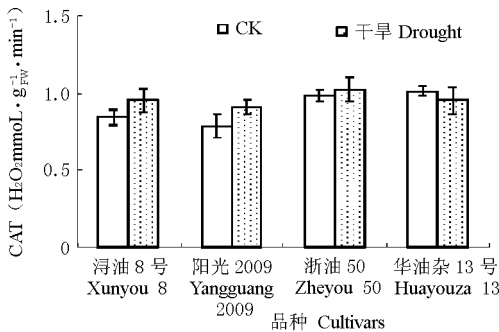


图 3 干旱胁迫对 CAT 活性的影响

Fig. 3 Effects of drought stress on catalase (CAT) of rapeseed

2.4 干旱胁迫对叶片丙二醛(MDA)含量的影响

丙二醛(MDA)含量可作为评判膜脂过氧化作用的主要指标之一。干旱胁迫下,4 个甘蓝型油菜品种的 MDA 含量均表现出增加的趋势,耐旱性品种的 MDA 含量增幅较小,分别增加了 8.5%、11.8%,处理间差异不显著;而敏感性品种增幅较大,平均增加了 29.4%,处理间差异显著(图 4)。说明耐旱性品种对干旱胁迫的伤害具有较强的修复能力。

2.5 干旱胁迫对叶片可溶性糖含量的影响

植株体内的可溶性糖含量代表其体内碳水化合物的合成与转运情况。干旱胁迫下,4 个甘蓝型品种的可溶性糖含量均下降,但不同类型间的降幅存在明显差异(图 5)。耐旱性品种浔油 8 号、阳光 2009 的可溶性糖含量降幅较小,分别减少了 3.6%、11.8%,其中仅阳光 2009 处理间的差异显著;敏感性品种浙油 50、华油杂 13 号的降幅较大,分别减少了 41.0%、17.0%,处理间差异达显著水平。可见,耐旱的甘蓝型油菜品种通过维持自身细胞内的溶质浓度,使其在较低叶水势下仍保持较高的膨压,以减缓干旱胁迫的不利影响。

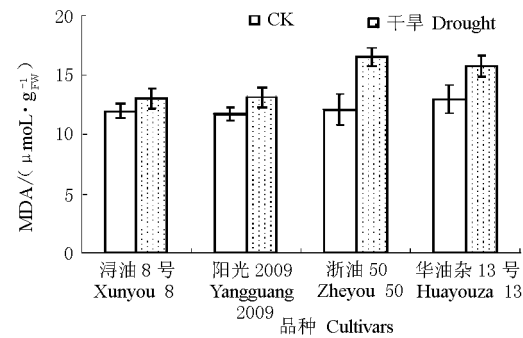


图4 干旱胁迫对MDA含量的影响
Fig.4 Effects of drought stress on malondialdehyde (MDA) of rapeseed

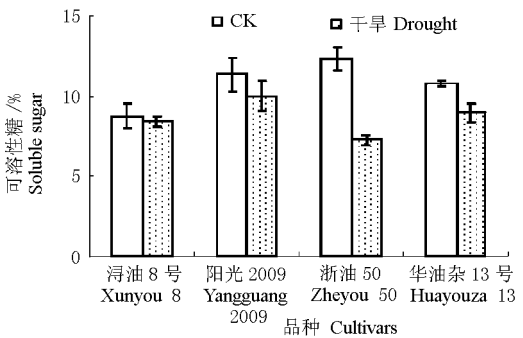


图5 干旱胁迫对可溶性糖含量的影响
Fig.5 Effects of drought stress on soluble sugar of rapeseed

2.6 干旱胁迫对油菜农艺性状的影响

从表1可以看出,与CK相比,4个品种干旱处理的株高、分枝高度均显著下降。株高的降幅在不同品种间差异显著,浔油8号和阳光2009降幅较小,平均下降了33.8%;浙油50和华油杂13号降幅较大,平均下降了50.6%。而分枝高度的降幅在不同类型品种间无显著差异,阳光2009的降幅最高,浔油8号的降幅最小。

以分枝高度和株高的比例作为相对分枝高度,干旱胁迫下,各品种的相对分枝高度呈增加的趋势,不同耐旱性品种间差异显著。干旱处理时,耐旱性品种的相对分枝高度略有增加,处理间差异不显著;敏感性品种的相对分枝高度显著增加,平均增加了41.4%,这表明干旱胁迫对耐旱性甘蓝型油菜品种相对分枝高度的影响较大。

干旱胁迫下,2个敏感品种一次分枝数、主花序长、主花序角果数、角果长度的降幅较大,相应的平均值减少了73.7%、59.2%、42.1%、14.7%,而耐旱性品种与CK间差异不显著。

表1 干旱胁迫对油菜农艺性状的影响
Table 1 Effects of drought stress on agronomic traits of rapeseed

品种 Cultivar	处理 Treatment	株高 PH/cm	分枝高度 BH/cm	相对分枝高度 RBH	一次分枝数 PBN	主花序长 IL/cm	主花序角果数 PMIN	角果长度 PL/cm
浔油8号 Xunyou 8	CK	84.7a	44.2a	0.52a	2.8a	20.8a	32.2a	5.9a
	干旱 D	62.2b	33.6b	0.54a	2.4a	21.8a	39.9a	6.3a
	±CK/%	-26.5	-24.1	3.6	-12.0	4.8	23.8	8.3
阳光2009 Yangguang 2009	CK	110.1a	57.6a	0.53a	3.2a	34.2a	51.9a	5.6a
	干旱 D	64.8b	35.1b	0.54a	2.2a	31.8a	55.1a	5.3a
	±CK/%	-41.1	-39.1	1.6	-31.0	-7.1	6.2	-6.4
平均降幅 Average decrease/%		-33.8A	-31.6A	2.6B	-21.5A	-1.1A	15.0A	0.9A
浙油50 Zheyou 50	CK	132.2a	64.2a	0.48b	6.7a	37.1a	52.2a	6.1a
	干旱 D	58.6b	40.4b	0.69a	0.6b	12.8b	27.7b	5.4b
	±CK/%	-55.7	-37.0	42.8	-91.7	-65.5	-47.0	-12.6
华油杂13号 Huayouza 13	CK	126.1a	52.1a	0.41b	5.9a	43.0a	46.5a	6.0a
	干旱 D	68.7b	39.4b	0.58a	2.6b	20.2b	29.2b	5.0b
	±CK/%	-45.6	-24.3	40.0	-55.7	-53.0	-37.2	-16.8
平均降幅 Average decrease/%		-50.6B	-30.7A	41.4A	-73.7B	-59.2B	-42.1B	-14.7B

注:小写字母分别表示干旱处理间差异5%水平显著,大写字母表示不同耐旱类型品种间差异5%水平显著。下同
Note: D; drought treatment. PH; plant height; BH; branch height; RBH; relative branch height, ratio of branch height to plant height; PBN; primary branch number; IL; main inflorescence length; PMIN; pod number on main inflorescence; PL; pod length. Lowercase letters indicate significant difference between drought treatments and control at 0.05 level. Capital letters indicate significant difference between drought - resistant cultivars and sensitive cultivars at 0.05 level. Same as below

2.7 干旱胁迫对油菜产量及其构成的影响

干旱胁迫下,单株角果数、角果粒数的变幅不同耐旱类型品种间差异显著(表2),耐旱性品种的单株角果数、角果粒数与CK间差异不显著,而敏感性品种显著减少,平均减少了66.4%和33.8%。不同耐旱类型品种间的千粒重变幅无显著差异,浙油50

的增幅最大,阳光2009次之,而华油杂13号的千粒重呈下降的趋势。干旱处理下,4个品种的单株产量均表现出下降的趋势,不同耐旱类型品种间差异显著。耐旱性品种单株产量的降幅较小,分别为24.2%和21.1%,其中仅浔油8号的降幅达显著水平,阳光2009的降幅不显著;敏感性品种的降幅较

大,分别为 72.8% 和 81.9%,均达到显著水平。

表 2 干旱胁迫对油菜产量及其构成的影响
Table 2 Effects of drought stress on yield and yield components of rapeseed

品种 Cultivar	处理 Treatment	单株角果数 PN	角果粒数 SN	千粒重 WTS/g	单株产量 YP/g
浔油 8 号 Xunyou 8	CK	65.4a	16.4a	4.2b	3.4a
	干旱 D	43.1a	18.9a	4.5a	2.6b
	± CK/%	-34.1	15.3	7.9	-24.2
阳光 2009 Yangguang 2009	CK	101.2a	14.1a	3.4b	3.2a
	干旱 D	71.1a	12.5a	4.2a	2.7a
	± CK/%	-29.8	-11.4	22.9	-18.0
平均降幅 Average decrease/%		-31.9A	2.0A	15.4A	-21.1A
浙油 50 Zheyou 50	CK	118.4a	18.5a	3.4b	6.4a
	干旱 D	28.6b	12.9b	4.4a	1.7b
	± CK/%	-75.9	-30.0	30.6	-72.8
华油杂 13 号 Huayouza 13	CK	148.3a	26.2a	3.0b	9.6a
	干旱 D	63.9b	16.4b	2.8a	1.7b
	± CK/%	-56.9	-37.5	-7.9	-81.9
平均降幅 Average decrease/%		-66.4B	-33.8B	11.3A	-77.3B

Note: PN:pod per plant; SN:seed per pod; WTS:thousand – seed weight; YP:yield per plant

3 讨论

3.1 干旱胁迫对油菜生理特性的影响

干旱胁迫对作物的伤害表现在多个方面,在逆境条件下,作物通过生理代谢作用迅速做出调整,以保证细胞的正常生理功能^[14]。叶绿素含量既是作物叶片衰老的通用指标,又是光合潜能的重要标志。干旱胁迫下,叶绿素含量的变化能反映作物在逆境下维持正常代谢的能力和抗旱性^[15]。本研究中,以 SPAD 值来表示叶片叶绿素含量,4 个甘蓝型油菜品种的 SPAD 值均减小,但耐旱性品种的 SPAD 值略有下降,敏感性品种显著下降。游离脯氨酸、可溶性蛋白质和可溶性糖是作物体内重要的渗透调节物质^[1]。杨春杰等^[6]研究认为,PEG 模拟干旱胁迫下,油菜苗期的脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白质含量均增加,不同品种增加的幅度存在很大差异。本研究表明,初花期干旱胁迫下,耐旱性品种的游离脯氨酸含量增幅较大,可溶性蛋白质略有增加,而可溶性糖略有下降,与 CK 间差异不显著;敏感性品种的游离脯氨酸含量增幅较小,而可溶性蛋白质、可溶性糖含量显著下降。这表明,耐旱性甘蓝型油菜品种在干旱条件下,叶片中游离脯氨酸含量的相对积累量较多,可溶性糖、可溶性蛋白质含量变幅较小,以维持自身细胞内的溶质浓度,以减缓干旱胁迫的不利影响。

在正常的环境条件下,作物体内产生的自由基可以通过自身的清除系统予以清除,从而建立起自由基产生与清除的平衡^[16]。但在干旱胁迫下,自由基大量产生并积累,引发膜脂过氧化自由基链式反

应,造成膜相分离,破坏膜的正常功能,并且过氧化产物 MDA 的产生和积累会加剧对细胞的毒害^[17]。本研究发现,干旱胁迫可诱导甘蓝型油菜叶片中 MDA 含量的增加,耐旱性品种的增幅小于敏感性品种,说明耐旱性油菜品种的膜脂过氧化程度相对较轻,受干旱影响较小,与已报道的结果一致^[10]。MDA 的产生和清除受细胞内源保护酶系统的影响^[18],CAT 是作物组织内重要的抗氧化酶,可通过清除过氧化氢来减少活性氧对细胞膜的伤害^[19]。张弢等^[1]研究发现,随着苗期干旱胁迫程度的加剧,CAT 酶活性直线增加。本研究结果表明,干旱胁迫下,耐旱性品种的 CAT 酶活性略有增强,而敏感性品种的 CAT 活性与 CK 间无显著差异。这与前人的研究不尽相同,可能是因为干旱胁迫时期和试验材料不同。

3.2 干旱胁迫对油菜农艺性状和产量的影响

蒙祖庆等^[3]研究认为,干旱胁迫使得油菜植株变矮、黄叶数增多、干物质积累变少、根系生长受阻。朱宗河等^[7]研究认为,不同油菜品种的农艺性状对干旱胁迫的反应不同,可通过各性状的耐旱系数来鉴定出耐旱性油菜品种。本研究以筛选出的耐旱性和敏感性甘蓝型油菜为材料,对不同耐旱类型的油菜品种开展研究。结果表明,干旱胁迫下,4 个甘蓝型油菜品种的株高、分枝高度均显著减少,而相对分枝高度增加,不同耐旱类型品种的一次分枝数、主花序长、主花序角果数、角果长对干旱的反应不同。耐旱性品种的株高显著下降,相对分枝高度、一次分枝数、主花序长、主花序角果数、角果长与 CK 间无显著差异;而敏感性品种的株高、一次分枝数、主花序

长、主花序角果数、角果长均显著减小,相对分枝高度显著增加。可见,敏感性品种的株高、相对分枝高度、一次分枝数、主花序长、主花序角果数、角果长受干旱胁迫的影响较大,这些指标也可作为初花期筛选耐旱性油菜品种的农艺性状指标。

前人研究了苗期干旱对油菜产量的胁迫作用,认为干旱对每角粒数和千粒重的影响不明显,但显著减少了单株角果数,从而造成产量下降^[20]。本研究针对花期干旱对油菜产量的影响开展研究,结果表明,干旱胁迫下耐旱性油菜品种的单株角果数略有减少,角果粒数与对照间无显著差异,单株产量降幅较小;而敏感性品种的单株角果数、角果粒数均显著减少,从而引起单株产量的大幅下降。不同耐旱类型品种间的千粒重变幅无显著差异,浙油 50 的增幅最大,阳光 2009 次之,而华油杂 13 号的千粒重呈下降的趋势。因此,单株角果数、角果粒数、单株产量可作为筛选耐旱性油菜品种的产量指标。

由于油菜的耐旱性是一个复杂的综合性状,发生在生长发育的各个阶段,油菜在不同的生育时期对水分的反应不同,抵抗干旱胁迫的内在机制也不同^[7]。对油菜耐旱机制的研究不仅需要将形态、生理、产量等指标相结合,而且需要对各个时期的耐旱性进行评价。下一步的研究还需要对油菜其它主要生育期的耐旱性进行分析,进一步探讨油菜的耐旱机制。

参考文献:

- [1] 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): 10 363 - 10 364, 10 379.
- [2] 余华胜, 张冬青, 林宝刚, 等. 不同肥料对苗期干旱胁迫油菜产量及经济性状的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(8): 82 - 83.
- [3] 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品种油菜生长及产量的影响[J]. 西南农业学报, 2011, 24(5): 1 690 - 1 694.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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): 1 775 - 1 787.
- [8] 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.
- [9] 耿站军, 钟 颖, 杨瑞吉. 水分胁迫对不同基因型油菜的生态适应性影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 159 - 162.
- [10] 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]. Australia Journal of Agricultural Research, 2006, 57: 221 - 226.
- [11] 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.
- [12] 梁宗锁, 丁钟荣, 王韶唐. 两个油菜种对水分胁迫的适应方式[J]. 西北植物学报, 1992, 12(1): 38 - 45.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [14] 刘家栋, 翟兴礼, 王东平. 植物抗盐机理的研究[J]. 农业与技术, 2001, 21(1): 26 - 29.
- [15] 华 春, 王仁雷. 盐胁迫对水稻叶片光合效率和叶绿体超显微结构的影响[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2004, 35(1): 27 - 31.
- [16] 董合忠, 李维江, 唐 薇, 等. 干旱和淹水对棉苗某些生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(10): 1 695 - 1 699.
- [17] 孙伟泽, 韩 博, 胡晓宁, 等. 不同浓度盐胁迫下苜蓿 MDA 含量变化[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(5): 1 905 - 1 906.
- [18] 陈少裕. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(2): 84 - 90.
- [19] 孙方行, 孙明高, 魏海霞, 等. NaCl 胁迫对紫荆幼苗膜脂过氧化及保护酶活性的影响[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(1): 16 - 19.
- [20] 王 斌, 荣维国, 何 金. 干旱对油菜生长发育的影响及应对管理措施[J]. 现代农业科学, 2009, 16(6): 180 - 181.

(责任编辑:郭学兰)