水分胁迫下持绿型高粱根系形态及其活力研究

王德权,周宇飞,陆璋镳,肖木辑,许文娟,黄瑞冬
(沈阳农业大学农学院,辽宁 沈阳 110866)

摘 要:在盆栽条件下,研究了开花期和灌浆期干旱胁迫对持绿型高粱B35和普通高粱三尺三根系形态及其活力的影响。结果表明,与对照相比,持绿型高粱B35具有较高的根干重,较大的根冠比、总根长、根表面积、根体积、根尖数、根系还原力和相对吸收表面积,并且在水分胁迫下降幅较小。在干旱条件下,持绿型高粱B35能保持较好的根系形态和具有较高的根系活力,是持绿型高粱抗旱机制之一。

关键词:高粱;持绿性;根系形态;还原力
中图分类号:S514 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-7601(2012)02-0073-04

作物的持绿性(stay green)是指作物生长后期叶片衰老或黄化延迟而保持绿色的一种特征[1]。Willman等[2]首先在玉米上将玉米品种划分为持绿型(stay-green)和非持绿型(nonstay-green)两种类型,前者指在籽粒生理成熟时叶片无明显失绿;而后者指在籽粒生理成熟时植株的绿色基本消失。随着作物的持绿性在其他作物上的发现,其评价指标也在发展。Bekavac[3]引入了保绿度的概念(绿叶占植株总叶面积的比例),并且指出保绿度高、籽粒含水量低于种群平均水平的称为保绿型品种;保绿度低、籽粒含水量高于种群平均水平的称为非保绿型品种。在干旱条件下,持绿型作物在籽粒灌浆期间叶片仍能保持绿色并进行活跃的光合作用是其一个显著特点[4-6]。近年来,因气候变暖所带来的干旱问题更是越来越严重[7-8]。因此,持绿性作为植物抗旱的重要特性在国际受到广泛重视,并且在持绿性的遗传、生理和育种等方向做了大量研究[9-11]。而我国在这方面研究起步较晚[12-13]。高粱是世界和我国重要的粮食和饲料作物之一,具有抗旱、耐涝、耐贫瘠等多重抗性和适应性[14-15]。持绿型高粱在叶片光合作用、细胞膜透性、渗透调节和保护性酶活性等方面有较好的自身生理调节作用,以此来适应水分胁迫[13],而作物根系是植物养分吸收和物质合成的重要器官,它对干旱的响应对于持绿型高粱的抗旱性同样具有重要作用[16],但这方面的研究报道较少,因此本试验通过对持绿型高粱和普通高粱根系形态、根系活力等进行比较研究,分析其在干旱条件下的变化规律,为持绿型高粱的研究与应用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验选用持绿型高粱为B35,对照品系为普通高粱自交系三尺三。

试验于2010年在沈阳农业大学试验基地进行,室外盆栽种植。盆高30 cm,直径33 cm,盆钵重1.2 kg。每盆装土17.0 kg。试验用土取自沈阳市东陵区英达镇旱田土壤。土壤pH值为6.68,有机质含量35.03 g/kg,全磷0.30 g/kg,全钾15.58 g/kg,碱解氮120.42 mg/kg,速效磷6.86 mg/kg,速效钾116.21 mg/kg。播种时每盆施用种肥2.46 g磷酸二铵,追拔节肥尿素3.33 g。盆钵排列方式为大垄双行排列,垄行距为66 cm,双行行距为33 cm,5月8日播种,9月28日收获。

试验处理为:①无水分胁迫;②开花期水分胁迫;③灌浆期水分胁迫。水分胁迫控制为中度水分胁迫,土壤含水量(SWC)为45%,处理期间每天下午17:00时,用ML2x型(英国DELTA-T)土壤水分仪测量当日土壤含水量,并用量筒定量补充水分以控制土壤含水量。每个时期胁迫7 d,7 d后进行各项指标测定。水分胁迫期间,将盆钵置于防雨棚内。解除胁迫恢复正常供水至成熟。

1.2 测定项目与方法

分别在开花期和灌浆期水分胁迫7 d后取样测定。将取样植株根系从盆钵中取出,然后用小水流缓慢冲洗,冲洗时下边放置100目筛子,防止根系丢失。冲洗完毕后根系形态应用WinRHIZO根系形态分析系统(加拿大Regent公司生产)进行分析测定。

收稿日期:2011-07-17
基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金(20092103120009);现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-06-02-02)
作者简介:王德权(1982—),男,辽宁阜新人,在读博士研究生,从事高粱栽培生理研究。E-mail:wdq_0418@163.com。周宇飞为共同第一作者。
通讯作者:黄瑞冬(1960—),男,教授,博士,从事作物栽培生理研究。

万方数据

将根系分多次放进装有3～4 mm清水的树脂玻璃槽内，将要测定根系完全展开，然后用双面光源扫描仪(EPSON)扫描根系，将得到的根系图片进行数字化处理，定量分析总根长、表面积、根体积、根系平均直径、根尖数等根系形态和生长指标。

地上部分和根系干物重采用烘干法测得，105℃杀青30 min，80℃烘干至恒重。

根系TTC还原力参照张宪政[17]方法测定。

应用DPSv7.05系统和Excel2003进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同时期高粱根系和地上部分生物量比较

从表1中可以看到，在开花期水分胁迫下，持绿型高粱B35与对照品系高粱三尺三的根和地上部分在水分胁迫下均有显著差异变化。与对照相比，三尺三在水分胁迫下根干重、地上部分干重和根冠比分别减少了26%、12%和5%，而B35的根干重、地上部分干重和根冠比只减少了5%、3%和5%。并且在对照和水分胁迫条件下B35的根干重和根冠比均显著高于三尺三。这表明，B35与三尺三相比，根干重和根冠比大而且在水分胁迫下其根干重和根冠比受水分胁迫影响小。水分胁迫与对照相比，B35的地上部分干重差异也较小，表明B35在开花期水分胁迫下仍能保持较好的生理功能来满足地上部分生长。灌浆期水分胁迫对三尺三和B35的影响与开花期趋势基本一致。

表1 不同时期高粱根系和地上部分的生物量

Table 1 Biomass of sorghum root and shoot at different stages

生育时期 Growth Stage	处理 Treatment	品系 Line	根干重(g/株) Root dry weight	地上部分干重(g/株) Shoot dry weight	根冠比 Root/shoot
开花期 Flowering stage	对照 CK	三尺三 Sanchisan	36.42b	96.63a	0.38b
		B35	53.55a	88.49b	0.61a
	干旱 Dry	三尺三 Sanchisan	30.63b	85.06b	0.36b
		B35	50.92a	85.72b	0.59a
灌浆期 Filling stage	对照 CK	三尺三 Sanchisan	35.45b	147.23a	0.24b
		B35	49.18a	99.87b	0.50a
	干旱 Dry	三尺三 Sanchisan	26.06c	114.43b	0.22b
		B35	42.33ab	97.39b	0.44a

注：小写字母表示在5%水平上差异显著。下同。

Note: Lowercase letters indicate differences at 5% significant level. The same as below.

2.2 不同时期的根系形态

由表2可以看出，与对照水分条件相比，在开花期三尺三和B35在水分胁迫下总根长都有所减少，分别减少了34%和11%，在水分胁迫下三尺三的总根长下降得更大而且与对照相比差异显著，B35在水分胁迫下的总根长则与对照相比差异不显著。根表面积随根系总长度变化而变化，与对照相比，三尺三的根系表面积在水分胁迫条件下降低了23%，B35的根系表面积下降了9%，三尺三根系表面积受水分胁迫影响显著。根系平均直径在水分胁迫后三尺三和B35都较正常水分条件下有所增加，但差异不显著。与对照相比，三尺三和B35的根体积和根尖数在水分胁迫下均有一定程度的下降，三尺三的根体积和根尖数分别下降了23%和40%，B35只下降了7%和16%，两者差异显著。表明三尺三在水分胁迫下根系体积和生长点受水分胁迫影响明显，而B35的根体积和根尖则受水分影响较小，变化不显著。灌浆期水分胁迫对三尺三和B35的根系形态影响与开花期趋势基本一致。

2.3 地上干重与根长的关系

地上干重与根长的关系可表示为单位地上部分具有的根长，是总根长与地上部分的生物量之比[18]。从图1中可以看出，在开花期，B35和三尺三单位地上部分所具有的根长与对照条件相比较，无显著差异。在灌浆期，B35的单位地上部分所具有的根长比对照下降了12%，而三尺三下降了29%，三尺三单位地上部分所有的根长受水分胁迫影响显著，B35地上部分具有的根长受水分胁迫影响不显著。该现象说明，在灌浆期，水分胁迫下B35单位地上部分所占有的根长和对照相比变化较小，保证地上部分在水分胁迫下与正常灌水条件下有较为一致的根长，从而使作物在干旱条件仍能吸收较多的水分和养分，有利于灌浆。

万方数据

表 2　高粱不同时期根系形态

Table 2　The root morphology of sorghum at different stages

生育时期 Growth Stage	处理 Treatment	品系 Line	总根长(cm/株) Total root length	表面积(cm^2/株) Total surface area	平均直径(mm) Average diameter	根体积(cm^3/株) Root volumes	根尖数 Tips of root
开花期 Flowering stage	对照 CK	三尺三 Sanchisan	20733.18b	4241.74b	0.57b	67.39ab	117218.87a
		B35	29923.45a	5517.20a	0.63ab	82.97a	122299.87a
	干旱 Dry	三尺三 Sanchisan	13782.58c	3270.76c	0.61ab	51.84b	69819.17b
		B35	264595.54a	5005.45ab	0.82a	77.02a	102622.00ab
灌浆期 Filling stage	对照 CK	三尺三 Sanchisan	21415.33a	3420.25a	0.53b	55.82a	135363.30a
		B35	24850.26a	4098.95a	0.54b	56.27a	160358.10a
	干旱 Dry	三尺三 Sanchisan	10924.63b	1734.86b	0.61ab	35.25b	82460.33b
		B35	18141.71ab	3088.23a	0.66a	40.90ab	120658.10ab

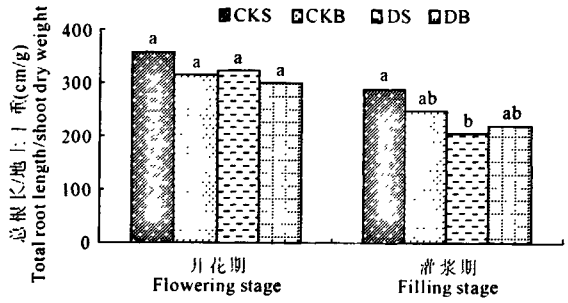

图 1　高粱不同时期地上部分单位质量具有的根长

Fig.1　Root length per unit dry shoot weight of per plant at different stages

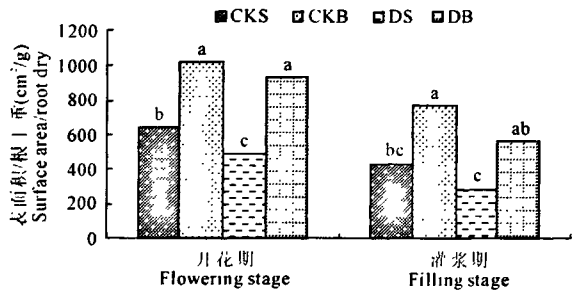

图 2　高粱不同时期单位根干重具有的表面积

Fig.2　Surface area per unit dry root weight of per plant at different stages

注:图中 S 为三尺三,B 为 B35,CK 为对照条件,D 代表干旱胁迫。下同。

Note: S is for Sanchisan, B is for B35, CK is for control, D is for drought stress. The same as below.

2.4　单位根干重具有的表面积

单位根干重具有的表面积为表面积与根干重之比,反映根系的形态建成[19]。从图 2 中看出,在开花期,B35 的单位根干重具有的表面积显著高于三尺三。另外,在水分胁迫下的 B35 的表面积/根干重与对照相比下降了 9%,差异不显著。而三尺三在水分胁迫下的表面积/根干重与对照相比下降 26%,受水分胁迫影响显著。这样的现象说明,B35 单位根的表面大,支根(侧根)发育的较多,而且在水分胁迫下 B35 单位根干重的表面积下降较少,仍保持较多的支根(侧根),这对干旱条件下有限的水分和养分的吸收利用有利。在灌浆期,B35 的单位根干重具有的表面积仍显著高于三尺三。与对照相比,水分胁迫下 B35 和三尺三的单位根干重具有的表面积均有所降低,但与对照相比,B35 和三尺三的单位根干重具有的表面积变化不显著。

2.5　根系还原力比较

TTC 还原力是一个与根呼吸相关的指标,与根系活力正相关,因此常作为一个衡量作物根系活力的一个指标[20]。从图 3 中可以看出,在开花期,三尺三根系 TTC 还原力在水分胁迫下较对照降低了 77%,受水分胁迫影响显著,并且显著低于 B35 的根系 TTC 还原力。而 B35 水分胁迫下的根系 TTC 还原力与对照相比,仅下降了 12%,受水分影响不显著。在灌浆期,根系 TTC 的含量变化与开花期相似,在水分胁迫下 B35 较三尺三的根系 TTC 还原力高 81%,两者差异显著。三尺三在水分胁迫下根系 TTC 还原力较对照减少了 75%,而 B35 仅减少了 5%,三尺三根系还原力受水分胁迫影响显著。数据表明,开花期和灌浆期 B35 具有高的根系 TTC 还原力,而在水分胁迫下 B35 根系 TTC 还原力也显著高于三尺三的根系 TTC 还原力,说明 B35 根系活力旺盛,在水分胁迫下仍能保持高的根系还原力,在逆境环境中为地上部分提供生长所需的养分和水分,保证作物正常生长。

万方数据

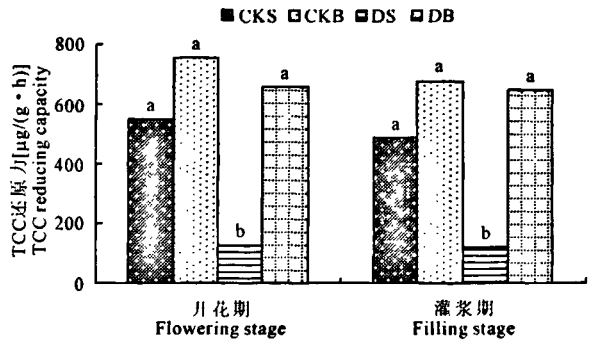

图3 根系还原力的比较

Fig.3 Comparison of root reducing capacity

3 讨 论

根冠关系[21-22]与抗旱性的研究表明，根系的一个重要的反应就是当受到水分胁迫时根系增加相对生长量[23]，所以较大的根冠比有利于植物抗旱[24-25]。本研究发现，持绿型高粱B35与普通高粱三尺三相比，其根干重和根冠比均显著高于后者。而在开花期和灌浆期水分胁迫下B35的根干重下降幅度均小于三尺三，表明B35有较强的抗旱能力。另外，灌浆期三尺三总根长/地上部分的生物量在水分胁迫下下降幅度较大，变化显著，而B35则变化不明显，表明水分胁迫对B35的根系与地上部分的协调性影响小，B35在水分胁迫时仍能较好地平衡生长，体现了较好的抗旱性。

一般来说干旱会使作物的根长增加[26]，但不同水分胁迫下根长的变化不同。本研究发现，在水分胁迫下B35和三尺三的总根长均较对照条件下有所下降，三尺三的总根长在开花期和灌浆期下降显著，B35的总根长则下降不显著。开花期和灌浆期的平均直径在水分胁迫下B35和三尺三均有所增加，B35的平均直径增加显著。开花期和灌浆期的根体积和根尖数在水分胁迫下B35的根体积和根尖数变化不显著，而三尺三则受水分胁迫根体积和根尖数下降显著。

表面积/根干重的比值大表明支根发育较旺盛，比值小表明粗根比例大。本研究发现，B35的表面积/根干重显著高于三尺三。在开花期水分胁迫下三尺三的表面积/根干重较对照下降显著，而B35则变化不显著，表明B35支根发育较多。干旱条件下持绿型高粱B35与三尺三相比，较多的支根有利于水分吸收，因而增加了一定的抗旱能力。

根系TTC还原力作为根系生理特性的一个重要指标[23]，测定的是和呼吸有关的琥珀酸脱氢酶的活性，与呼吸作用有相关性[27-28]。一般来说，水分胁迫等逆境条件会使根系还原力有所降低[29-30]，但抗旱性强的品种，在水分胁迫下根系TTC还原力会显著增加[31-32]。本研究表明，持绿型高粱B35有较高的根系还原力，水分胁迫下B35的根系还原力下降较小。

参 考 文 献：

[1] Thomas H, Howarth C J. Five ways to stay green[J]. Journal of Experimental Botany, 2000,51:329-337.

[2] Willman M R, Below F E, Hageman R H, et al. Relationship between ear-removal-induced leaf senescence and green score in maize [J]. Crop Science, 1987,27:898-902

[3] Bekavac G. Path analysis of stay-green trait in maize[J]. Cereal Research Communications, 1998,26:161-167.

[4] Borrell A K, Hammer C L. Nitrogen dynamics and the physiological basis of stay-green in sorghum[J]. Crop Science, 2000,40:1295-1307.

[5] Spano G, Di Fonzo N, Perrotta C, et al. Physiological characterization of 'stay-green' mutants in durum wheat[J]. Journal of Experimental Botany, 2003,54:1415-1420.

[6] Pierce R O, Knowles P F, Philips D A. Inheritance of delayed leaf senescence in soybean[J]. Crop Science, 1984,24:515-518.

[7] Lobell D B, Field C B. Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming[J]. Environmental Research Letters, 2007,2:1-7.

[8] Hlavinka P, Trnka M, Semeradova D, et al. Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009,149:431-442.

[9] Campos H, Cooper M, Habben, J E, et al. Improving drought tolerance in maize: a view from industry[J]. Field Crop Research, 2004, 90:19-34.

[10] Joshi A K, Kumari M, Singh V P, et al. Stay green trait: variation, inheritance and its association with spot blotch resistance in spring wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Euphytica, 2007,153:59-71.

[11] 黄瑞冬.作物持绿性的遗传、生理基础及其应用前景[J].沈阳农业大学学报,2008,39(4):387-391.

[12] 王建国,杜桂娟,蔡纪新,等.玉米持绿性与其它农艺性状的相关研究[J].杂粮作物,2003,23(6):336-339.

[13] 黄瑞冬,孙 璐,肖木辑,等.持绿型高粱B35灌浆期对干旱的生理生化响应[J].作物学报,2009,35(3):560-565.

[14] 卢庆善.高粱学[M].北京:中国农业出版社,1999.

[15] 邵艳军,山 仑.高粱抗旱机理研究进展[J].中国农学通报,2004,20(3):120-123.

[16] 孙 璐,黄瑞冬.持绿型高粱根系形态和生理特性的研究[J].安徽农业科学,2007,35(15):4433-4434,4474.

[17] 张宪政.作物生理研究法[M].北京:农业出版社,1992.

[18] 张喜英.作物根系与土壤水利用[M].北京:气象出版社,1999.

[19] 孙海国,张福锁.缺磷胁迫下的小麦根系形态特征研究[J].应用生态学报,2002,13(3):295-299.

(下转第130页)

万方数据

Plant characters and yield of rape with different planting density under ridge film mulching and furrow seeding

ZHANG Dong-yu[1], ZHAO Dong-xia[2], NIU Jun-yi[2], YAN Zhi-li[3], ZHANG Yan-ming[2], YU Xing-fang[2]

(1. *Zhangye Cash Crop Technique Popularization Station, Zhangye, Gansu* 735000, *China*;
2. *College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*;
3. *Hebei Normal University of Science & Technology, Qinhuangdao, Hebei* 066004, *China*)

Abstract: In order to improve the technical system of ridge film mulching and furrow seeding for rape, an experiment was conducted to compare rape plant morphological and physiological characters and yield under different density. The result showed that thin planting was beneficial to part of character parameters and finally increased per plant yield, but the amount of dissimilarity among treatments decreased gradually with the growing time. The expression of number of branch, leaf area and part of physiological characters of rape under appropriate density were all superior to that of low or high density. Grey correlative degree on density to per unit yield was higher than that of density to per plant yield. In dry mountainous areas of western China, it is recommended to plant at 45 000/666.7m^2 under ridge film mulching and furrow seeding, which may achieve 39% higher output than the existing local planting density of 30 000/666.7m^2.

Keywords: rape; ridge film mulching and furrow seeding; density; plant form; physiological characters; yield

(上接第76页)

[20] 宋海星,李生秀.水、氮供应和土壤空间所引起的根系生理特性变化[J].植物营养与肥料学报,2004,10(1):6-11.
[21] 代贵金,华泽田,陈温福,等.杂交粳稻、常规粳稻、旱稻、籼稻根系特征比较[J].沈阳农业大学学报,2008,9(5):515-519.
[22] 萧浪涛,往三根.植物生理学[M].北京:中国农业出版社,2004.
[23] 宋海星,李生秀.玉米生长空间对根系吸收特性的影响[J].中国农业科学,2003,36(8):899-904.
[24] 黄瑞冬,马鸿图.玉米、高粱根系生长发育规律探讨[J].耕作与栽培,1993,(4):21-23.
[25] 景蕊莲.作物抗旱研究的现状与思考[J].干旱地区农业研究,1999,17(2):79-85.
[26] 裴 冬,张喜英,王 峻.高粱、谷子根系发育及其抗旱性研究[J].中国生态农业学报,2002,10(4):28-30.
[27] 张 雄.用TTC(红四氮唑)法测定小麦根和花粉活力及其应用[J].植物生理学通讯,1982,(3):48-50.
[28] 刘海龙,郑桂珍,关军锋,等.干旱胁迫下玉米根系活力和膜透性的变化[J].华北农学报,2002,17(2):20-22.
[29] 孙存华,白 嵩,白宝璋,等.水分胁迫对小麦幼苗根系生长和生理状态的影响[J].吉林农业大学学报,2003,25(5):485-489.
[30] 刘殿英,石立岩,黄炳茹,等.栽培措施对冬小麦根系及其活力和植株性状的影响[J].中国农业科学,1993,26(5):51-56.
[31] 王思思,张吉旺,刘 鹏,等.干旱对不同玉米品种苗期根系生理生化特性的影响[J].山东农业科学,2009,(6):36-38.
[32] 斯琴巴特尔,吴红英.不同逆境对玉米幼苗根系活力及硝酸还原酶活性的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(2):67-70.

Root morphology and activity of stay green sorghum under water stress

WANG De-quan, ZHOU Yu-fei, LU Zhang-biao, XIAO Mu-ji, XU Wen-juan, HUANG Rui-dong

(*Collage of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning* 110866, *China*)

Abstract: The effects of water stress at flowering and filling stages on root morphology and activity of stay green sorghum B35 and normal sorghum Sanchisan were studied under pot cultivation. Compared with normal sorghum Sanchisan, stay green sorghum B35 showed higher root dry weight, root/shoot, total root length, root surface area, root volume, tips of root, root reducing capacity and relative absorbing surface area. Under water stress, root morphology indexes and reducing capacity of stay green sorghum B35 decreased in smaller extents than did normal sorghum Sanchisan. We suggested that stay green sorghum B35 could maintain good root morphology and high root activity under the condition of water stress, which ensured stay green sorghum being in normal growth and development.

Keywords: sorghum; stay green; root morphology; reducing capacity

万方数据