

## 不同生育时期干旱胁迫对大豆根系特性及产量的影响

闫春娟,王文斌,涂晓杰,王昌陵,张立军,杜 强,宋书宏

(辽宁省农业科学院 作物研究所,辽宁 沈阳 110866)

**摘 要:**盆栽试验条件下,以辽豆 18 为材料,分别在 V2~R1, R1~R5, R5~R7 期设置 3 个控水处理,控水结束后取样测定根系性状,成熟后测定产量。结果表明:干旱影响大豆产量的形成,干旱(W1)胁迫引起产量下降的程度要高于轻度干旱(W2)。不同时期干旱(W1)引起产量下降程度为:鼓粒期>花荚期>营养生长期。干旱胁迫(W1)主要通过降低大豆的单株荚数从而降低单株产量。大豆的根长比例和根表面积比例主要为根系直径为 0~1.0 mm 的细根,分别约占总根长的 90% 和总根表面积的 60%。大豆根体积的分配比例主要是根系直径大于 4.5 mm 的粗根,其根体积所占比例在 48% 以上。R1~R5 和 R5~R7 控水大豆细根(根系直径为 0~1.0 mm)的根长和根表面积分配比例较 V2~R1 控水时增加。干旱降低了植株中直径大于 4.5 mm 粗根的根长比例、根表面积比例和根体积比例。随着生育进程的推进,根生物量密度逐渐增加,土壤干旱胁迫降低了根生物量密度。

**关键词:**干旱;产量;根系特性;大豆

**中图分类号:**S565.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-9841(2013)01-0059-04

## Effect of Drought Stress at Different Growth Stage on Yield and Root Characteristics of Soybean

YAN Chun-juan, WANG Wen-bin, TU Xiao-jie, WANG Chang-ling, ZHANG Li-jun, DU Qiang, SONG Shu-hong

(Crop Institute, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110866, Liaoning, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of drought stress on yield and root characteristics in soybean, pot-experiments were carried out in Shenyang, Liaodou18 was chosen as the tested variety, and 3 water supply levels were included in terms of soil water content controlled at vegetative stage(V2-R1), flowering and podding stage(R1-R5) and pod filling stage(R5-R7), respectively. The negative effect of soil drought(W1) at different stages on soybean yield showed in the order: R5-R7 > R1-R5 > V2-R1. Drought stress(W1) decreased soybean yield mainly through reducing pod number per plant, and mild drought(W2) caused lower yield decreasing than drought(W1). Both root length ratio and root surface area ratio were primarily fine root (root diameter,  $d=0-1.0$  mm), accounting for 90% and 60%, respectively. Soybean root volume ratio was mainly thick root( $d>4.5$  mm), accounting for more than 48% of total root volume. When water controlled at R1-R5 and R5-R7, the length and surface area allocation ratio of fine root( $d=0-1.0$  mm) exceeded that of V2-R1. Soil drought reduced root length, root surface area and root volume allocation proportion of thick root( $d>4.5$  mm). The root biomass density increased with the advance of growth process, while drought stress reduced root biomass density.

**Key words:** Drought; Yield; Root characteristics; Soybean

根系是植物生长的基础,健壮的根系为植株提供充足的养分和水分<sup>[1]</sup>。作物的生长发育是地上与地下部形态功能相协调的结果,根系形态决定了作物获得养分和水分的能力<sup>[2-3]</sup>,反映作物根系形态的参数主要包括根生物量、根长、根表面积、平均根直径和根体积等<sup>[4-5]</sup>。有关水分对植株地上部的影响前人做了大量的研究<sup>[6-7]</sup>。水分胁迫会破坏植株体内正常的新陈代谢,不利于蛋白质的合成,降低酶活性,并影响碳氮代谢等<sup>[8-10]</sup>。干旱胁迫不利于干物质积累、降低叶面积指数和光合效率<sup>[7,11]</sup>。本文探讨不同生育时期干旱胁迫对大豆根系特性及产量的影响,以期为大豆高产栽培提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验设计

试验于 2010 年在辽宁省沈阳市辽宁省农业科学院院内网室(北纬 41°49', 东经 123°32')中进行。供试大豆品种为辽豆 18。供试土壤为发育于黄土母质的典型棕壤,采自辽宁省农业科学院试验田 0~20 cm 耕层土壤,前茬作物为大豆。

试验采用普通塑料桶,高 28 cm,上口直径 30 cm,下口直径 26 cm,每盆装土 15.3 kg。塑料桶放置于全自动遮雨棚中。试验设 3 个水分处理,分别为干旱(W1):土壤含水量为田间持水量的 50%;

收稿日期:2012-06-25

基金项目:辽宁省科技攻关项目(2011201020)。

第一作者简介:闫春娟(1983-),女,硕士,助理研究员,研究方向为大豆育种及栽培。E-mail:yanchunjuan1983@163.com。

通讯作者:宋书宏(1964-),男,研究员,研究方向为大豆育种及栽培。E-mail:sshun@163.com。

轻度干旱(W2):土壤含水量为田间持水量的60%;适宜水分对照(W3):土壤含水量为田间持水量的80%。分别在大豆营养生长期(V2~R1,6月7日~7月8日)、花荚期(R1~R5,7月8日~7月31日)和鼓粒期(R5~R7,7月31日~8月26日)进行水分调控,各处理组合在非控水时期保持适宜土壤含水量。每2 d测定土壤水分,补充至设定值。每盆播4粒,出苗后定苗2株。随机区组设计,6次重复,其中3次重复用于各时期控水后取样,另3次重复用于测产。

## 1.2 测定项目与方法

各时期控水后取样,以子叶节为界把植株分为地上部分和地下部分(根),将根冲洗干净,用EPSON Scanner扫描,然后用WinRHIZO分析根长、根表面积、根体积、平均根直径。用百分之一电子秤测定根干重,根生物量密度为根干物重与土壤体积的比例( $\text{mg}/\text{cm}^3$ )。成熟后测定产量及其构成要素。

## 1.3 数据分析

用Excel 2003和SAS 8.0进行数据分析。

表1 干旱胁迫对大豆根系分配比例的影响

Table 1 Effect of drought stress on root system distribution ratio in soybean(%)

根系直径 Root diameter /mm	处理 Treatments	根长 Root length			根表面积 Root surface area			根体积 Root volume		
		VS	FPS	PFS	VS	FPS	PFS	VS	FPS	PFS
0-0.5	W1	67.30±1.02	79.82±1.35	73.83±2.18	29.95±1.32	40.77±3.98	33.68±2.35	4.91±1.20	5.92±1.97	3.99±0.85
	W2	70.39±1.24	77.41±1.28	76.49±2.91	32.19±1.47	39.60±5.00	39.06±3.46	4.31±1.35	4.35±0.82	4.17±1.02
	W3	68.74±1.08	76.19±0.31	76.45±2.79	28.23±2.43	36.89±1.13	35.16±3.87	2.60±0.71	5.45±0.90	2.53±0.04
0.5-1.0	W1	22.46±1.07	14.24±0.47	18.10±1.45	29.54±1.79	25.72±1.34	26.07±3.19	11.89±2.96	10.35±1.47	8.23±1.36
	W2	20.33±0.73	16.02±0.23	16.23±1.25	27.85±2.37	28.64±2.56	26.41±4.34	9.41±1.45	8.98±1.36	7.27±2.32
	W3	20.74±0.35	16.28±0.45	16.22±1.38	24.72±1.16	26.48±1.36	24.19±1.02	5.59±1.22	10.65±1.92	4.67±0.23
1.0-1.5	W1	5.53±0.28	3.54±0.49	4.45±0.28	13.17±0.32	11.62±0.62	11.71±1.23	9.25±1.05	8.11±1.00	6.52±1.34
	W2	5.11±0.50	4.13±0.38	4.04±0.51	12.86±0.47	13.31±0.41	11.99±1.07	7.80±1.19	7.72±1.68	6.10±1.12
	W3	5.49±0.41	4.28±0.11	4.12±0.53	11.95±0.72	12.70±0.47	11.18±0.31	4.78±0.93	9.04±1.50	3.85±0.37
1.5-2.0	W1	2.10±0.32	1.13±0.24	1.60±0.14	7.18±0.87	5.31±0.63	6.04±0.18	7.13±0.79	5.20±1.66	4.73±1.13
	W2	1.97±0.19	1.39±0.29	1.59±0.44	7.04±0.73	6.35±0.79	6.62±0.57	6.01±1.40	5.58±1.60	5.03±1.03
	W3	2.11±0.24	1.58±0.05	1.45±0.33	6.53±0.35	6.70±0.28	5.60±0.70	3.67±0.44	6.80±1.17	2.75±0.55
2.0-2.5	W1	0.94±0.21	0.47±0.02	0.64±0.23	4.14±0.89	2.86±0.46	3.05±0.86	5.19±0.31	3.64±0.34	2.86±0.86
	W2	0.82±0.07	0.49±0.17	0.75±0.40	3.79±0.31	2.84±0.75	3.94±0.35	4.16±0.55	3.36±0.84	4.09±0.12
	W3	0.89±0.08	0.64±0.02	0.62±0.12	3.58±0.58	3.49±0.08	3.15±0.30	2.67±0.96	4.55±0.48	2.01±0.33
2.5-3.0	W1	0.50±0.03	0.21±0.02	0.35±0.15	2.74±0.10	1.61±0.05	2.06±0.73	4.35±0.79	2.59±0.12	2.29±0.54
	W2	0.39±0.14	0.19±0.07	0.29±0.19	2.25±0.84	1.38±0.43	1.86±0.84	3.19±0.68	2.14±0.17	2.35±0.39
	W3	0.46±0.02	0.32±0.06	0.31±0.10	2.30±0.05	2.15±0.34	1.87±0.46	2.07±0.39	3.40±0.39	1.46±0.42
3.0-3.5	W1	0.28±0.03	0.11±0.03	0.17±0.05	1.81±0.14	0.95±0.33	1.18±0.27	3.41±0.64	1.77±0.48	1.70±0.76
	W2	0.21±0.04	0.10±0.07	0.14±0.13	1.44±0.21	0.84±0.26	1.00±0.09	2.27±0.73	1.82±0.56	1.96±0.03
	W3	0.25±0.04	0.17±0.05	0.13±0.11	1.49±0.35	1.40±0.34	0.88±0.07	1.63±0.69	2.63±0.52	0.84±0.43
3.5-4.0	W1	0.18±0.11	0.07±0.03	0.13±0.08	1.32±0.81	0.72±0.40	1.06±0.68	2.79±0.41	1.84±0.35	2.02±0.45
	W2	0.15±0.04	0.03±0.02	0.07±0.02	1.16±0.34	0.28±0.05	0.57±0.09	2.26±0.26	1.02±0.35	1.24±0.32
	W3	0.15±0.04	0.08±0.04	0.08±0.03	1.07±0.26	0.74±0.04	0.64±0.24	1.36±0.50	1.59±0.67	0.70±0.31
4.0-4.5	W1	0.12±0.04	0.05±0.03	0.07±0.05	1.02±0.33	0.56±0.04	0.69±0.46	2.62±0.29	1.68±0.71	1.47±0.07
	W2	0.08±0.02	0.03±0.03	0.05±0.03	0.73±0.24	0.31±0.09	0.53±0.32	1.59±0.77	0.89±0.25	1.38±0.68
	W3	0.10±0.02	0.06±0.01	0.04±0.01	0.81±0.15	0.68±0.13	0.39±0.37	1.13±0.35	1.68±0.16	0.47±0.04
>4.5	W1	0.59±0.03	0.38±0.09	0.67±0.22	9.11±0.98	9.88±1.25	14.47±2.57	48.47±8.13	58.90±6.10	66.19±5.32
	W2	0.54±0.27	0.23±0.02	0.35±0.04	10.70±1.13	6.45±1.61	8.02±1.24	59.00±6.47	64.86±5.53	66.42±7.58
	W3	1.06±0.28	0.40±0.02	0.60±0.32	19.32±2.32	8.77±0.95	16.93±2.39	74.49±6.03	54.20±5.23	80.72±2.69

VS-营养生长期(V2~R1)控水;FPS-花荚期(R1~R5)控水;PFS-鼓粒期(R5~R7)控水,下同。

VS-Water controlled at vegetative stage;FPS-Water controlled at flowering and podding stage;PFS-Water controlled at pod filling stage,the same as follow.

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫对大豆根系特性的影响

2.1.1 根长分配比例 由表 1 可以看出,无论哪一时期控水,大豆根系直径为 0~0.5 mm 的根占多数,约占大豆全部根长的 60%~80%。营养生长期控水,根系直径为 0~0.5 mm 和 0~1.0 mm 的根长分别约占总根长的 67%~71% 和 90%;花荚期和鼓粒期控水后,根系直径为 0~0.5 mm 和 0~1.0 mm 的根长分别约占 73%~80% 和 95%,说明随着生育进程的推进,大豆细根根长所占比例逐渐增加。荚期到鼓粒末期 0~0.5 mm 的细根根长所占比例相对稳定,直径大于 2 mm 的各不同直径段根长分配比例均相对较少。

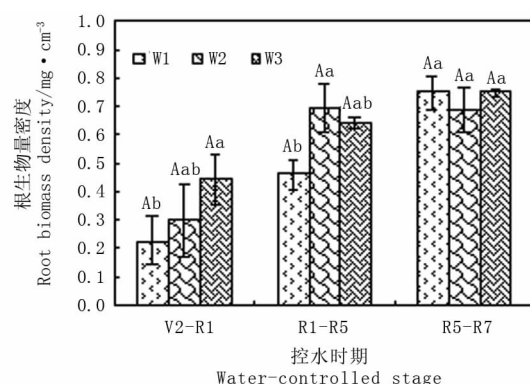
2.1.2 根表面积分配比例 大豆根表面积仍以细根为主(表 1),营养生长期控水后取样,根系直径为 0~0.5 mm 和 0.5~1.0 mm 的根表面积所占比例均约为 30%。花荚期和鼓粒期控水后取样,根系直径为 0~0.5 mm 和 0.5~1.0 mm 的根表面积所占比例分别为 33%~41% 和 24%~29%。同营养生长期相比,花荚期和鼓粒期控水后细根表面积比例增加。与根长分配比例不同的是大豆根系直径大于 4.5 mm 的根表面积所占比例为 8%~20%。而根系直径 2.0~4.5 mm 的根表面积所占比例相对较小。一般而言,干旱胁迫会降低粗根(根系直径 >4.5 mm)根表面积分配比例,增加细根(根系直径 0~1.0 mm)根表面积分配比例。

2.1.3 根体积分配比例 由表 1 可以看出,与根长和根表面积分配比例不同的是,大豆根体积的分配比例主要是粗根,根系直径大于 4.5 mm 的根体积所占比例在 48% 以上。但是,干旱降低了粗根(根系直径 >4.5 mm)的根体积分配比例,提高了细根(根系直径 0~1.5 mm)根体积分配比例。直径为 2.0~4.5 mm 的不同直径段根体积所占比例相对较小。

### 2.2 干旱胁迫对大豆根生物量密度的影响

随着生育进程的推进,根生物量密度逐渐增加(图 1)。土壤干旱胁迫降低了根生物量密度,特别是营养生长期(V2~R1)干旱胁迫降低程度更为明显。花荚期干旱胁迫一定程度上降低了根生物量密度,而轻度干旱反而提高了根生物量密度。鼓粒期轻度干旱和干旱胁迫均降低了植株的根生物量密度,但与适宜水分相比未达到显著差异水平,主要是由于鼓粒期

控水前已经积累了较多的根系生物量。



不同大、小写字母分别表示差异达 1%、5% 显著水平,下同。

Different letter mean significant at 1% and 5% level, respectively, the same as follow.

图 1 不同生育时期干旱胁迫对大豆根生物量密度的影响

Fig. 1 Effect of drought stress controlled at different growth stages on soybean root biomass density

### 2.3 干旱胁迫对大豆平均根直径的影响

由图 2 可知,营养生长期控水条件下,随着土壤含水量的增加,植株平均根直径逐渐增加,且适宜水分下的平均根直径显著高于干旱胁迫。花荚期控水,以轻度干旱条件下的平均根直径最大。鼓粒期控水随着土壤含水量的增加,平均根直径反而降低,但处理间差异未达显著水平。

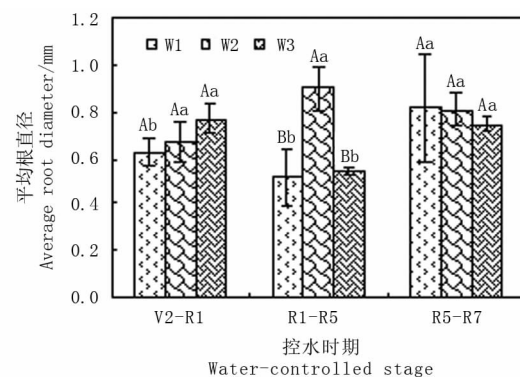


图 2 不同生育时期水分胁迫对大豆平均根直径的影响

Fig. 2 Effect of drought stress controlled at different growth stages on average root diameter

### 2.4 干旱胁迫对大豆产量及其构成要素的影响

由表 2 可知,与适宜水分处理相比,苗期干旱和轻度干旱均降低了大豆的产量,且二者的降低程度相似;花荚期干旱和鼓粒期干旱显著降低了大豆产量,且不同时期干旱引起产量下降程度为:鼓粒期 > 花荚期 > 营养生长期。各时期干旱和轻度干旱对每荚粒数和百粒重的影响相对较小,而对单株荚数的影响较大。因此,干旱胁迫导致单株荚数减少,最终使大豆产量降低。

表 2 干旱胁迫对大豆农艺性状和产量及其构成要素的影响

Table 2 Effect of drought stress on agronomic traits, yield and yield components in soybean

控水时期 Water controlled stage	处理 Treatments	单株荚数 Pods per plant	每荚粒数 Seeds per pod	百粒重 100-seed weight/g	单株产量 Yield per plant/g
V2-R1	W1	20.17 Bbc	2.43 Aab	19.83 ABab	9.65 Bbc
	W2	19.50 Bbc	2.54 Aa	20.69 ABab	9.97 Bbc
R1-R5	W1	18.00 Bc	2.28 Ab	22.95 Aa	9.27 Bbc
	W2	24.17 ABab	2.28 Ab	23.32 Aa	12.77 Aa
R5-R7	W1	19.00 Bbc	2.48 Aa	17.15 Bb	7.96 Bc
	W2	23.00 ABbc	2.50 Aa	18.42 ABb	10.48 ABb
	W3 (CK)	29.17 Aa	2.45 Ab	18.59 ABb	13.22 Aa

### 3 结论与讨论

大豆产量是单株荚数、每荚粒数、百粒重的综合体现。土壤干旱影响大豆单株产量的形成,本试验中干旱胁迫引起产量下降的程度要重于轻度干旱胁迫,各时期干旱引起产量下降程度为鼓粒期 > 花荚期 > 营养生长期。这与韩晓增等<sup>[12]</sup>的研究结果相似。

根系是作物生长获取水分的主要渠道,根长、根表面积和根体积都直接影响着作物对水分和养分的吸收和运输能力<sup>[13-14]</sup>。大豆的根有主根和侧根之分<sup>[15]</sup>,主根比较粗壮,侧根比较细弱,已有研究表明 97% 以上的根是在 0 ~ 1.0 mm 的根直径范围内<sup>[16]</sup>。本研究也证明大豆的根长比例主要为根系直径为 0 ~ 1.0 mm 的细根。根表面积表征了根系与土壤接触的面积,是衡量植株根系充分利用土壤中的水分和养分能力的重要指标之一。大豆的根表面积主要以细根为主,根系直径为 0 ~ 1.0 mm 根表面积所占比例约为 60%, R1 ~ R5 和 R5 ~ R7 控水后细根根表面积比例比 V2 ~ R1 控水增加,这可能是由于花期以后大豆生长的根多为直径较小的细须根。干旱胁迫会降低粗根(根系直径 > 4.5 mm)根表面积分配比例,增加细根(根系直径 0 ~ 1.0 mm)根表面积分配比例。假定大豆不同根系直径级别的根密度相同,则根据质量( $m$ ) = 密度( $\rho$ ) × 体积( $v$ ),可知大豆根体积的分配比例可以较好地反映大豆根质量即根生物量的分配比例。本试验中大豆根体积的分配比例主要是根系直径大于 4.5 mm 的粗根,这也说明大豆根生物量仍主要为粗根,而干旱胁迫降低了粗根生物量的分配比例。

蒲伟风等<sup>[17]</sup>的研究表明,平均根直径随着干旱胁迫的加重而降低,品种的抗旱性与平均根直径呈负相关。本研究也发现营养生长期控水,随着土壤含水量的增加,植株平均根直径逐渐增加。但是花

荚期和鼓粒期控水,适宜水分的平均根直径值并不是最大的,可能是由于生长后期大豆主要形成直径较小的细根,而适宜水分处理生长的须根更多,从而使平均根直径变小。

### 参考文献

- [1] 王树起,韩晓增,乔云发,等. 低分子量有机酸对大豆根系形态和磷素吸收积累的影响[J]. 大豆科学, 2009, 28(2): 210-216. (Wang S Q, Han X Z, Qiao Y F, et al. Effect of low molecular weight organic acids on root morphology and phosphorus accumulation in soybean[J]. Soybean Science, 2009, 28(2): 210-216.)
- [2] 金剑,王光华,刘晓冰,等. 东北黑土区高产大豆 R5 期根系分布特征[J]. 中国油料作物学报, 2009, 28(3): 426-433. (Jin J, Wang G H, Liu X B, et al. Characteristics of root distribution at R5 stage in high yielding soybean in black soil[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2009, 28(3): 426-433.)
- [3] Costa C, Dwyer L M, Hamilton R I, et al. A sampling method for measurement of large root systems with scanner-based image analysis[J]. Agronomy Journal, 2000, 92: 621-627.
- [4] 陈杨,李隆,张福锁. 大豆和蚕豆苗期根系生长特征的比较[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2112-2116. (Chen Y, Li L, Zhang F S. Root growth characteristics of soybean and faba bean at their seedling stage[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(11): 2112-2116.)
- [5] Vameralo T, Saccomani M, Bona S, et al. A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids[J]. Plant and Soil, 2003, 255: 157-167.
- [6] 闫春娟,韩晓增,王文斌,等. 水钾耦合对大豆光合特性及其产物积累运转的影响[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(1): 48-55. (Yan C J, Han X Z, Wang W B, et al. Effects of water-potassium coupling on photosynthetic characteristics and photoassimilate in soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012, 34(1): 48-55.)
- [7] 闫春娟,韩晓增,王守宇,等. 水钾耦合对大豆干物质积累和产量的影响[J]. 大豆科学, 2007, 26(6): 862-867. (Yan C J, Han X Z, Wang S Y, et al. Effect of water-potassium coupling on dry matter accumulation and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2007, 26(6): 862-867.)

(下转第 67 页)