

根区湿润方式对玉米根系生长发育的影响

胡田田¹, 康绍忠^{1,2,*}, 原丽娜¹, 张富仓¹, 李志军¹

(1. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西杨凌 712100;

2. 中国农业大学中国农业水问题研究中心, 北京 100083)

摘要:将厚塑料紧密地固定在盆栽试验用桶壁和底的中央, 玉米种子播种于厚塑料布的正上方, 在均匀灌水、固定部分根区灌水和根系分区交替灌水 3 种方式下, 分期测定两个 1/2 根区根系的长度、面积、干重以及单位面积的平均根长和比根长, 研究不同根区根系的生长发育特征。结果表明, 处理 40d 时, 与其他根区相比, 固定灌水非灌水区的比根长和单位面积平均根长明显增大, 说明土壤水分减少使根系直径变小。根面积、长度以及干重的增长速率均表现为, 处理 0~5d 内, 与均匀灌水及其非灌水区相比, 两种局部灌水的灌水区均显著增大; 处理 10~15d 内, 交替灌水的灌水区较其他根区明显增大, 固定灌水的灌水区与均匀灌水相近。固定灌水时, 灌水区根系的面积、长度、干重及其增长速率较之非灌水区显著增大; 交替灌水时, 两个根区的增长速率呈交替变化, 其绝对数值随时间延长趋于相同。表明交替灌水不仅可刺激供水区根系的补偿生长, 而且对恢复供水区也有补偿效应, 并能够促使不同根区的根系均衡发展。

关键词:根区湿润方式; 玉米; 根系生长发育; 补偿效应

文章编号: 1000-0933(2008)12-6180-09 中图分类号: S274.1; Q945 文献标识码: A

Effects of partial root-zone irrigation on growth and development of maize root system

HU Tian-Tian¹, KANG Shao-Zhong^{1,2,*}, YUAN Li-Na¹, ZHANG Fu-Cang¹, LI Zhi-Jun¹

1 Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas of Ministry of Education, Northwest Agriculture & Forestry University, Yangling Shaanxi 712100, China

2 The Center for Agricultural Water Research in China, China Agricultural University, Beijing 100083, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 6180~6188.

Abstract: Effects of partial root-zone irrigation on growth and development of maize root system from different root zones were studied using pot experiment. The pot was divided into two equal parts by a piece of plastic fixed in the central, which could prevent water penetration between two compartments, and maize was planted above the plastic so as to the root system to stretch into two compartments equally. Plants were irrigated on both halves of the container (conventional irrigation, C), on one side only (fixed partial root-zone irrigation, F), or alternatively on both sides (alternative partial root-zone irrigation, A). The results showed that after 40 d of treating, the ratios of root length to dry root weight and to root area increased markedly for the non-irrigated root zone of F treatment when compared to the ratios of the other root zones,

基金项目:国家“十一五”“863”计划资助项目(2006AA100203); 陕西省自然科学基金资助项目(2006C106); 西北农林科技大学科研专项基金资助项目

收稿日期:2007-07-24; **修订日期:**2008-08-25

作者简介:胡田田(1966~), 女, 陕西杨凌人, 博士, 副教授, 主要从事植物营养生态生理研究. E-mail: hutiantian@tom.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kangshaozhong@tom.com

Foundation item: The project was financially supported by Chinese National Project of Advanced and New Technology (863) and Natural Science Foundation of Shaanxi and the Research foundation of Northwest A & F University

Received date:2007-07-24; **Accepted date:**2008-08-25

Biography: HU Tian-Tian, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in plant ecophysiology. E-mail: hutiantian@tom.com

suggesting that the root diameter becomes small in drought soil. The increase rates of root length, root area and dry weight were significantly enhanced for irrigated zones of A and F during 0—5 d of treating when compared to those of non-irrigated zones and C treatment. During 10—15 d of treating, the increase rates for the irrigated zone of A were significantly higher than those of any other zone while there was no significant difference between irrigated zones of F and C. For F treatment, both the values and increase rates of root length, root area and dry weight in the irrigated zone were always significantly higher than those of the non-irrigated zone. For A treatment, the increase rates changed alternately and the values became equal at the end of the experiment. Our results suggest that for A treatment, significant compensation mechanisms of root growth in irrigated root zone occurred both when water were localized in part of the root system, and during the subsequent recovery from drought stress. Moreover, A treatment was beneficial for root system to grow evenly in different soil zones.

Key Words: partial root-zone irrigation; maize; growth and development of root system; compensation effect

一方面,根系是植物吸收水分、养分的重要器官。另一方面,作为植物与生长介质的接触界面,根系直接感受着其生长介质中的各种变化,并通过信息传递使植物包括根系的生长生理行为发生改变,做出各种不同的适应性反应。20 世纪 90 年代以来,随着对根系这些重要功能认识的不断深入,以及研究手段的快速发展,有关根系的研究逐渐增多^[1~3],但这些研究大多是通过根系处在均一环境中进行的。灌溉方式从传统的整个根区均匀供水转变为固定部分根区供水或不同根区交替供水时,整个根系不再处于均一环境,而是处在非均一且多变的土壤环境中。因而,应对局部供水条件下根系的生长发育规律进行深入探讨。然而,有关局部灌溉水下根系的研究很少,仅有的报道也是着眼于一定处理时间后的总效果^[4,5]。因此,本文着重从动态角度研究传统均匀供水、固定部分根区供水和根系分区交替供水 3 种方式下不同根区根系长度、面积与干重的变化,揭示根区湿润方式对不同根区根系生长发育的影响,为通过灌溉方式调控根系发育奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试作物为玉米(陕丹 9 号)。供试土壤为褐土,前茬红薯。其基本理化性状为,有机质 16.88 g kg^{-1} 全氮 0.98 g kg^{-1} ,碱解氮 69.8 mg kg^{-1} ,速效磷 15.07 mg kg^{-1} ,速效钾 163 mg kg^{-1} ,田间持水量为 24% (质量含水量)。

采用红色塑料桶(上底 $\phi 28\text{ cm}$,下底 $\phi 24\text{ cm}$,高 26 cm)自制分根装置(图 1),进行盆栽实验。用塑料胶带将厚塑料布紧密地粘贴固定在桶壁及桶底上,将桶均等地分为 2 个半室,以防两边土壤发生水分渗透。两边装入事先施入 $0.123\text{ g KH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{kg}^{-1}$ 土和 $0.2\text{ g N}[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4] \cdot \text{kg}^{-1}$ 土的等量土壤,每盆装土 12 kg 。底部铺一层厚约 3 cm 的砂子。装土时,两侧各插一根 $\phi 2\text{ cm}$ PVC 管用于灌水。管上打 3 行 $\phi 5\text{ mm}$ 的小孔用于渗水,每行 6 个,孔间距为 2.2 cm 。该管用两层窗纱包裹,以防土壤堵塞渗水孔。管子底部用胶带封口,胶带上扎 7 个小孔用于渗水。将已催芽的种子播种于桶内分隔两室的厚塑料布的正上方。每桶 3 株。前期的研究表明^[6],这种分根方法能够使玉米根系均等地在两个半室中伸展。播种的同时,两边灌入等量水分使土壤充分均匀湿润。出苗 42d 后,开始灌水处理。

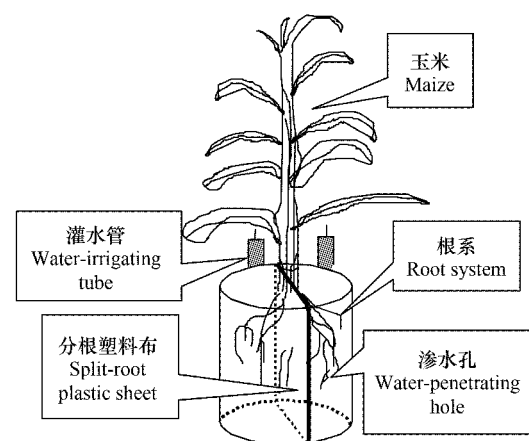


图 1 分根装置示意图

Fig. 1 Diagram of experimental pot

1.2 试验处理与实施

试验处理分根系分区交替灌水(A)、固定 1/2 根区灌水(F)和传统的均匀灌水(C)3 种(文中分别简称交替灌水、固定灌水和均匀灌水)。其中,传统均匀灌水是两个 1/2 根区同时灌水;对于部分根区固定灌水,始终给一半根区灌水,另一半根区保持干燥;对于根系分区交替灌水,每处理 10d 后,交替给另一半根区灌水,原来灌水的区域保持干燥。均匀灌水重复 2 次,两种局部灌水方式各重复 4 次。处理持续 40d。土壤含水量控制在田间持水量的 65%~95%。根据最先达到或接近控制下限的灌水根区确定灌水时间,各处理灌水时间相同。采用恒重法确定灌水量。恒重法计算灌水量所采用公式为:

$$\text{灌水量}(L) = \text{上限重量}(\text{kg}) - \text{实际称重}(\text{kg})$$

式中,均匀灌水的上限 = 干土重 + 皮重 + 干土重 $\times 0.24 \times 0.95$ + 玉米估计重量;固定灌水和交替灌水的上限 = 干土重 + 皮重 + 干土重 $\times 0.5 \times 0.24 \times 0.95$ + 干土重 $\times 0.5 \times 0.24 \times 0.65$ + 玉米估计重量。

处理 40d,与均匀灌水相比,固定灌水、交替灌水的灌水总量分别减少 32.99% 和 29.54%。

1.3 测定项目及方法

处理 5、10、15、20、40d 时,收获地上部之后,将根系分不同根区小心地从土壤中冲洗出来。选取有代表性的根系样品,小心、仔细、快速地摊开在一张塑料胶片上,用扫描仪进行扫描之后,用 CI-400 型根系图像分析系统获得根系的长度与面积。同时,测定根系样品与全部根系的干重,根据其干重之比,求得该区根系的总长度与总面积。

1.4 统计分析

用 SPSS 统计分析软件对实验数据进行方差分析与多重比较。方差分析用 one-way ANOVA,多重比较用 Duncan 法($\alpha = 0.05$)进行。

2 结果与分析

2.1 玉米不同根区根面积的增长规律

2.1.1 根面积增长速率

表 1 表明,3 种灌水方式下各两个 1/2 根区根面积增长速率的变化规律有所不同。均匀灌水条件下,两个 1/2 根区间始终无显著差异。前 20d 内,固定灌水的灌水区始终显著大于非灌水区,交替灌水两个根区间呈交替变化。后 20d 的平均值表明,固定灌水仍是灌水区较之非灌水区显著增大,交替灌水两个 1/2 根区间无显著差异。可见,同一根系的不同根区,其根面积的增长情况与是否供水关系密切,灌水可明显促进根系表面积的发育;相反,减少水分供应则抑制根面积增大,从而导致根区湿润方式不同,玉米不同根区根面积的发育情况有明显差异。

表 1 不同处理各根区根面积的平均增长速率($\text{cm}^2 \text{d}^{-1} \text{pot}^{-1}$)

Table 1 The average increase rate of root area in each root zone for all treatments

处理阶段(d)	均匀灌水(C)		固定灌水(F)		交替灌水(A)	
Treatment periods	C1	C2	非灌水边 Fd	灌水边 Fw	后灌水边 Ab	先灌水边 Aa
0~5	14.91 $\pm$ 0.25b	14.83 $\pm$ 0.33b	9.60 $\pm$ 0.23c	16.52 $\pm$ 0.34a	9.60 $\pm$ 0.23c	16.52 $\pm$ 0.34a
5~10	10.47 $\pm$ 0.43a	9.86 $\pm$ 0.28a	6.39 $\pm$ 0.16b	10.01 $\pm$ 0.29a	6.39 $\pm$ 0.16b	10.01 $\pm$ 0.29a
10~15	16.60 $\pm$ 0.42b	16.01 $\pm$ 0.38b	9.09 $\pm$ 0.22d	16.25 $\pm$ 0.38b	18.40 $\pm$ 0.04a	11.45 $\pm$ 0.29c
15~20	13.17 $\pm$ 0.22a	12.87 $\pm$ 0.29a	5.75 $\pm$ 0.17d	10.36 $\pm$ 0.25b	10.08 $\pm$ 0.19b	8.20 $\pm$ 0.18c
0~20	13.79 $\pm$ 0.28a	13.39 $\pm$ 0.31a	7.71 $\pm$ 0.21c	13.29 $\pm$ 0.33a	11.12 $\pm$ 0.24b	11.54 $\pm$ 0.28b
20~40	4.63 $\pm$ 0.13a	4.71 $\pm$ 0.09a	0.99 $\pm$ 0.02d	1.85 $\pm$ 0.07c	2.61 $\pm$ 0.11b	2.60 $\pm$ 0.13b

C, A 和 F 分别代表均匀灌水、交替灌水和固定灌水 Codes C, A and F respectively represent conventional irrigation, alternate partial root-zone irrigation and fixed partial root-zone irrigation; C1、C2 分别指均匀灌水的两个根区 Codes C1, C2 represent two root zones of C, respectively; Fd、Fw 分别指固定灌水的非灌水边、灌水边 Codes Fd, Fw indicate the non-irrigated and irrigated root zone of F, respectively; Aa、Ab 分别指交替灌水的先灌水边和后灌水边 Codes Aa, Ab represent the first and secondly irrigated root zone of A, respectively. 数据后的 a、b、c 等字母表示同一行多重比较差异达 5% 的显著水平 Within each line, values followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$); 下同 the same below

比较 3 种灌水方式间各根区根面积的平均增长速率(表 1)可以看出,与均匀灌水任一根区相比,处理 0 ~ 5d 内,局部灌水的灌水区明显增大;处理 5 ~ 10d,灌水区无明显差异,这 10d 内其非灌水区均显著降低。处理 10 ~ 15d 内,交替灌水的灌水区较之均匀灌水明显增大,固定灌水的灌水区与均匀灌水相近。而且,交替灌水恢复供水区和固定灌水的灌水区较之前 5d 的增幅分别是 187.95%, 62.34%, 前者比后者明显大得多。同时,其两个非灌水区均显著降低,且固定灌水的降低幅度更大。处理 15 ~ 20d 内,两种局部灌水方式各根区均明显降低,且非灌水区的降低幅度更大,其中尤以固定灌水的非灌水区表现更突出。处理 20 ~ 40d 根面积的平均增长速率表现为,均匀灌水的两个根区 > 交替灌水的两个根区 > 固定灌水的灌水区 > 固定灌水非灌水区。可见,两种局部灌水在初期均可以刺激供水区根面积发育的补偿效应;与固定灌水相比,交替灌水还可以在不同根区交替灌水之后一定时间内再一次刺激恢复供水区根面积的补偿生长。但这种补偿效应随交替灌水间隔的延长而减弱甚至消失。同时,交替灌水可使停止供水区根面积增长速率的降低幅度减小。

2.1.2 根面积的动态变化

图 2 表明,3 种灌水方式各两个 1/2 根区之间根面积的变化趋势不同。均匀灌水条件下,两个 1/2 根区始终非常接近。固定灌水条件下,灌水区显著大于非灌水区,且二者间的差距随时间延长增大。交替灌水两个 1/2 根区间的差距,在处理 0 ~ 10d 随时间延长增大,10d 后二者间的差距逐渐缩小,20d 以后二者接近。处理 40d 时,交替灌水两个根区和固定灌水灌水区的根面积较之固定灌水的非灌水区显著增大,而比均匀灌水的任一根区明显减小。表明与均匀灌水类似,根系分区交替灌水能够维持不同根区的根面积均衡增大,而固定灌水不利于不同根区根面积的均衡发育。

图 3 表明,两种局部灌水方式根系的总面积较之均匀灌水有降低趋势,且降低幅度随时间延长而增大,致使处理 40d 时较之均匀灌水明显降低。说明在以 10d 为交替灌水间隔时,交替灌水和固定灌水均抑制了玉米根面积的发育。

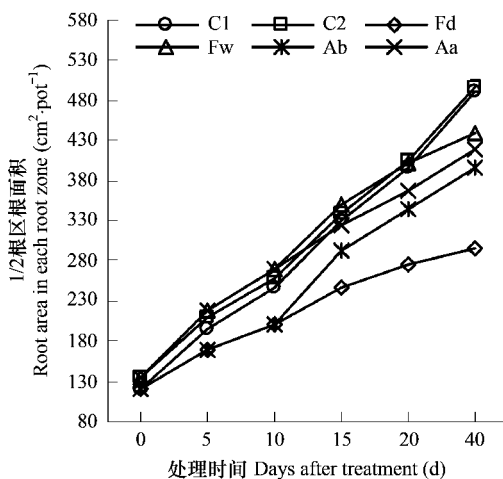


图 2 不同灌水方式下各根区根面积的动态变化

Fig. 2 Time course of root area in each root zone for all treatments

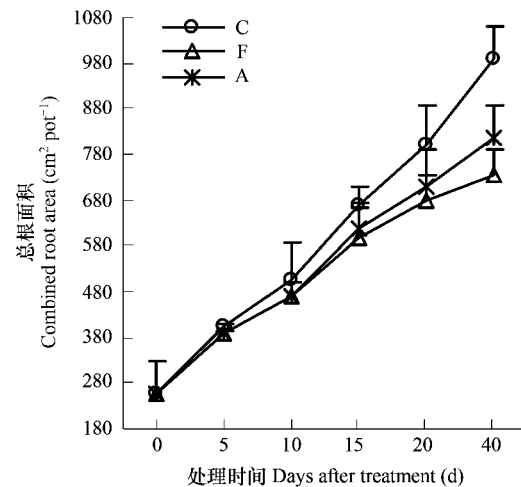


图 3 不同灌水方式根系总面积的动态变化

Fig. 3 Time course of combined root area for all treatments

2.2 玉米不同根区根干重的增长规律

2.2.1 根干重增长速率

表 2 表明,3 种灌水方式每两个 1/2 根区根系干重的增长速率随处理时间的变化规律与根面积相同。进一步说明根系分区交替灌水可使不同根区的根系均衡增大,而固定灌水的灌水与非灌水区根系发育很不平衡。

从表 2 可以看出,与根面积相比,根系干重增长速率的不同之处在于,处理 15 ~ 20d 内,两种局部灌水方

式各 1/2 根区间的大小关系不同,即表现为交替灌水的灌水区 > 交替灌水的非灌水区 = 固定灌水的灌水区 > 固定灌水的非灌水区的变化规律。说明这一阶段内固定灌水条件下根系干物质增长速率较根面积的降低幅度更大。相同之处在于,交替灌水在供水初期和恢复供水后的一定时间内,供水区根系干物质积累均有明显的补偿效应,且非供水区根干重增长速率的降低幅度较固定灌水小。因而,与固定灌水相比,根系分区交替灌水使根系干物质增长速率的降低幅度要小,从而可使玉米根系在更长的时间内维持较高的干物质积累速率。

表 2 不同处理各根区根系干重的平均增长速率 ($\text{mg d}^{-1} \text{ pot}^{-1}$)

Table 2 The average increase rate of dry root weight in each root zone for all treatments

处理阶段 (d) Treatment periods	均匀灌水 (C)		固定灌水 (F)		交替灌水 (A)	
	C1	C2	非灌水边 Fd	灌水边 Fw	后灌水边 Ab	先灌水边 Aa
0 ~ 5	$0.20 \pm 0.004b$	$0.19 \pm 0.003b$	$0.14 \pm 0.002c$	$0.26 \pm 0.003a$	$0.14 \pm 0.002c$	$0.26 \pm 0.003a$
5 ~ 10	$0.14 \pm 0.004a$	$0.16 \pm 0.002a$	$0.10 \pm 0.001b$	$0.14 \pm 0.002a$	$0.10 \pm 0.001b$	$0.14 \pm 0.002a$
10 ~ 15	$0.27 \pm 0.004b$	$0.27 \pm 0.004b$	$0.15 \pm 0.002d$	$0.26 \pm 0.003b$	$0.31 \pm 0.006a$	$0.19 \pm 0.003c$
15 ~ 20	$0.22 \pm 0.006a$	$0.20 \pm 0.003a$	$0.090 \pm 0.001d$	$0.13 \pm 0.002c$	$0.16 \pm 0.002b$	$0.14 \pm 0.002c$
0 ~ 20	$0.21 \pm 0.004a$	$0.20 \pm 0.003a$	$0.12 \pm 0.001c$	$0.20 \pm 0.002a$	$0.18 \pm 0.003b$	$0.18 \pm 0.003b$
20 ~ 40	$0.027 \pm 0.0005a$	$0.028 \pm 0.0004a$	$0.0096 \pm 0.0001d$	$0.016 \pm 0.0002c$	$0.023 \pm 0.0004b$	$0.023 \pm 0.0003b$

2.2.2 根干重的动态变化

从图 4 可以看出,根干重与根面积的不同之处仅在于,处理 40d 时,交替灌水两个根区和固定灌水的灌水区与均匀灌水任一根区间无显著差异。而根系干重随处理时间的动态变化与根面积相同,即固定灌水条件下,灌水区根系干物质积累量较之非灌水区显著增大,且这种现象随处理时间延长更加明显;交替灌水与均匀灌水类似,有利于不同根区的根系均衡发育。处理结束时 3 种灌水方式的根系照片 (图 5) 更直观地表明了这一点。

3 种灌水方式间根系总干重 (图 6) 与总面积的变化规律有所不同,表现在处理 40d 时,与均匀灌水相比,交替灌水的根系总干重明显降低,但又较之固定灌水显著增大。说明局部供水抑制玉米根系干物质的累积,其中,交替灌水对根系干物质累积的抑制作用小于固定灌水。

2.3 玉米不同根区根长的增长规律

2.3.1 根长增长速率

表 3 表明,3 种灌水方式下,每两个 1/2 根区根长增长速率随处理时间的变化规律与根面积和根干重相同。再一次说明根系分区交替灌水可使不同根区的根系均衡增大,而固定灌水的灌水与非灌水区根系发育很不平衡。

从表 3 可以看出,3 种灌水方式间不同根区根长增长速率与根面积的不同之处在于,处理 20 ~ 40d,固定灌水的非灌水区较之均匀灌水显著降低,而其灌水区与交替灌水任一根区与均匀灌水无明显差异。说明限制水分供应的时间延长时,对根长增长的影响较小。其他变化情况与根面积相同。表明交替灌水条件下,在局部供水初期和交替灌水区域后恢复供水的一定时间内,供水区根长增长均有明显的补偿效应,非供水区根长增长速率的降低幅度较之固定灌水小,从而可使玉米根系在更长的时间内维持较高的延伸生长速率。

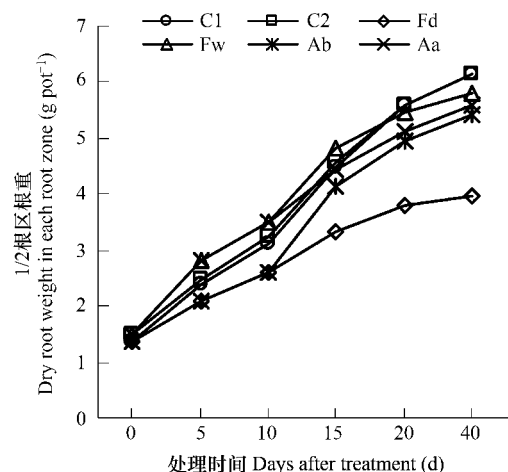


图 4 不同灌水方式各根区根重的动态变化

Fig. 4 Time course of dry root weight in each root zone for all treatments

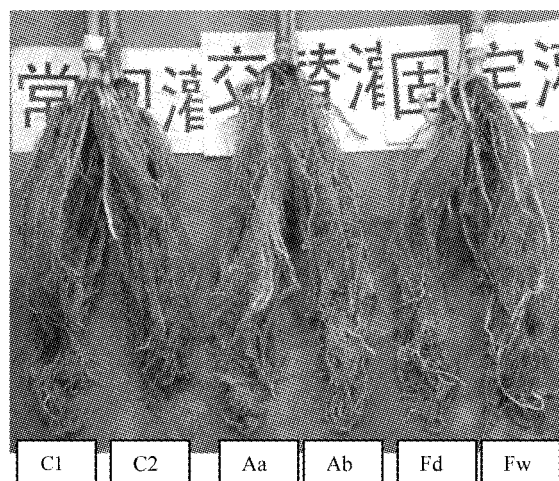


图5 处理40d时3种灌水方式各根区的根系状况

Fig. 5 Photo of root systems from each root zone for all treatments at 40th day of treating

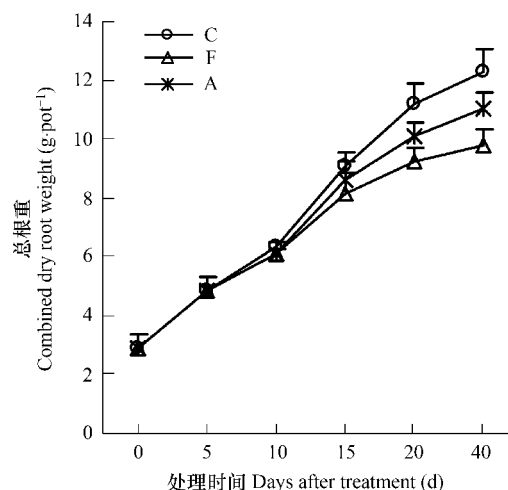


图6 不同灌水方式根系总干重的动态变化

Fig. 6 Time course of combined dry root weight for all treatments

表3 不同处理各1/2根区根系长度的平均增长速率($\text{m d}^{-1} \text{ pot}^{-1}$)

Table 3 The average increase rate of root length in each root zone for all treatments

处理阶段(d) Treatment periods	均匀灌水(C)		固定灌水(F)		交替灌水(A)	
	C1	C2	非灌水边 Fd	灌水边 Fw	后灌水边 Ab	先灌水边 Aa
0~5	$6.50 \pm 0.10\text{b}$	$6.64 \pm 0.12\text{b}$	$4.96 \pm 0.09\text{c}$	$7.29 \pm 0.22\text{a}$	$4.96 \pm 0.09\text{c}$	$7.29 \pm 0.22\text{a}$
5~10	$5.98 \pm 0.28\text{a}$	$5.59 \pm 0.10\text{a}$	$4.95 \pm 0.11\text{b}$	$6.03 \pm 0.20\text{a}$	$4.95 \pm 0.11\text{b}$	$6.03 \pm 0.20\text{a}$
10~15	$7.48 \pm 0.34\text{b}$	$6.80 \pm 0.13\text{b}$	$4.05 \pm 0.10\text{d}$	$6.89 \pm 0.20\text{b}$	$8.15 \pm 0.27\text{a}$	$4.67 \pm 0.19\text{c}$
15~20	$6.49 \pm 0.31\text{a}$	$5.85 \pm 0.11\text{a}$	$3.29 \pm 0.09\text{d}$	$4.30 \pm 0.10\text{b}$	$4.95 \pm 0.11\text{b}$	$3.63 \pm 0.09\text{c}$
0~20	$6.61 \pm 0.28\text{a}$	$6.22 \pm 0.23\text{a}$	$4.31 \pm 0.11\text{c}$	$6.13 \pm 0.21\text{a}$	$5.75 \pm 0.13\text{b}$	$5.41 \pm 0.22\text{b}$
20~40	$0.24 \pm 0.009\text{a}$	$0.23 \pm 0.003\text{a}$	$0.17 \pm 0.002\text{b}$	$0.22 \pm 0.003\text{a}$	$0.22 \pm 0.002\text{a}$	$0.22 \pm 0.005\text{a}$

2.3.2 根长的动态变化

从图7可以看出,根长与根面积和根重的不同之处仅在于,处理40d时,与均匀灌水相比,固定灌水的灌水区接近,交替灌水的两个根区有所减小,二者均较之固定灌水的非灌水区显著增大。而根长随处理时间的动态变化与根面积和根重相同,即固定灌水条件下,灌水区根长较之非灌水区显著增大,且这种现象随处理时间延长更加明显;交替灌水与均匀灌水类似,有利于不同根区根长的均衡增长。进一步说明同一根系在不同区域的生长状况受根区湿润方式影响很大。

3种灌水方式间总根长的动态变化(图8)与根面积和根干重有所不同,表现在处理40d以后,两种局部供水方式总根长相近,且与均匀灌水无明显差异。说明根区局部供水对作物整个根系的总长度无显著影响。

2.4 灌水情况影响根系发育的特点

固定灌水时灌水区根面积、根重和根长的增长速率较之非灌水区的增加百分数见表4。从表4可以看出,固定灌水两个根区根长增长速率的差异比根重和根面积明显小得多,特别是处理20d以后表现更突出。可见,根区土壤水分状况对根长的影响小于对根面积和根干重,而且,随着两个根区间水分差异因时间延长的增大,这种现象更加明显。说明土壤含水量降低对根长的抑制作用相对较小。处理40d时3种灌水方式间根系的总面积和总干重差异显著而总根长无显著差异,也证实了这一点。

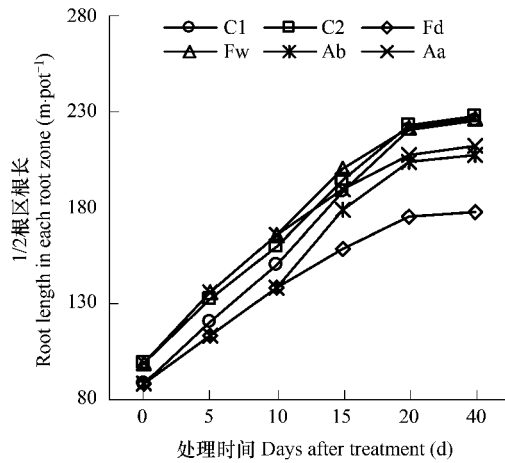


图7 不同灌水方式各根区根长的动态变化

Fig. 7 Time course of root length in each root zone for all treatments

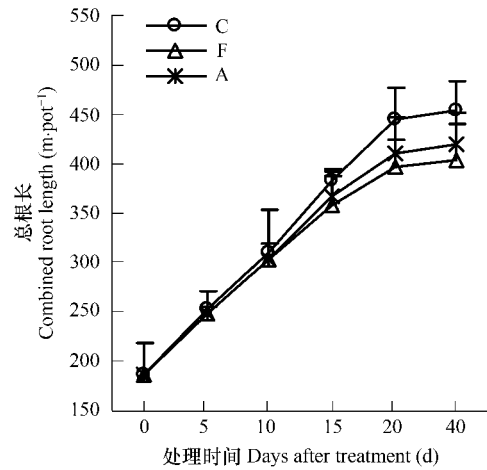


图8 不同灌水方式总根长的动态变化

Fig. 8 Time course of combined root length for all treatments

表4 固定灌水时灌水区根系指标的增长速率较之非灌水区的增加幅度(%)

Table 4 The proportional increase of average increase rate for three root attributes of irrigated root zone compared with that of non-irrigated root zone under F treatment

处理阶段 Treatment periods (d)	根面积 Root area	根干重 Root dry weight	根长 Root length
0 ~ 20	72.38 ± 2.84a	65.93 ± 2.21a	42.11 ± 1.98b
20 ~ 40	86.26 ± 2.63a	69.95 ± 2.75b	30.31 ± 1.92c

图9表明,总体上,玉米根系单位面积的平均根长随时间延长呈减小趋势,但各处理在不同阶段的变化规律有所不同。交替灌水条件下,处理0~10d,先灌水区的减小陡度大于后灌水区;在10~20d,后灌水区的减小陡度大于先灌水区。处理10d以后,固定灌水非灌水区的减小幅度很小,而其他则明显减小。处理20d以后,固定灌水非灌水区较之其他根区显著增大。处理40d时,不同根区表现为,固定灌水的非灌水区>固定灌水的灌水区 and 交替灌水的两个根区>均匀灌水的两个根区。从图10可以看出,3种灌水方式不同根区根系的比根长(单位根重根长)的动态变化表现出了类似的规律。所不同的是,处理40d时,固定灌水非灌水区根系的比根长较之其他根区显著增大,后者间无明显差异。说明长时间的持续干燥会使根系直径变小,根变细,

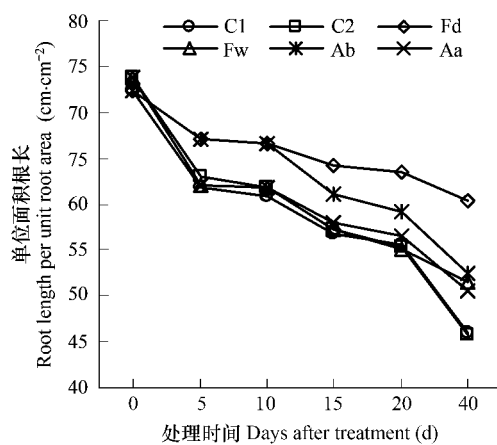


图9 不同灌水方式各根区单位面积根长的动态变化

Fig. 9 Time course of root length per unit area in each root zone for all treatments

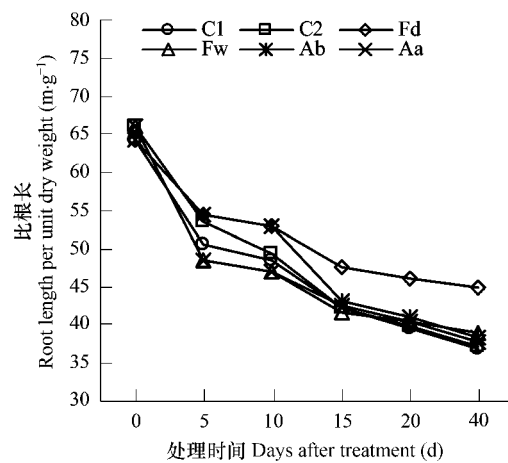


图10 不同灌水方式各根区根系比根长的动态变化

Fig. 10 Time course of root length per unit dry weight in each root zone for all treatments

而灌水湿润则促使根系的平均直径增大。

3 讨论

根系的吸水功能对前期水分胁迫或局部供水表现出明显的补偿效应。有研究表明,植物根系经过一定程度的水分胁迫锻炼重新复水后,其水分传导还会高于未经受水分胁迫锻炼的^[7,8];根系能从局部的水分有效区域吸水,而且其吸水速率大大超过全部根区湿润时的速率^[9,10]。本研究发现,两种局部供水在 0~5d 内可以刺激供水区根重、根面积和根长发育的补偿效应,交替灌水还可在不同根区交替灌水之后 5d 内再一次刺激供水区根系的补偿生长。可见,根系生长和吸收功能的补偿效应是植物适应环境的重要机制^[11]。当植物经受干旱等胁迫后,体内通过产生一些信号物质如脱落酸等来调节叶片气孔开张、减少水分蒸腾,也可能产生其他一些信号物质来促进根系生长和根毛发育等,从而促进对水分的吸收,达到补偿。但根系这种对水分胁迫的补偿具有时间效应和强度效应,本研究发现,各阶段处理 5d 以后这种补偿效应减弱甚至消失。原因可能在于随着交替周期延长和干旱程度加重,处在干燥区根系的生长和吸收功能所受抑制作用加强,从而明显减少对作物的水分、养分供应,相应地减少了作物光合产物的合成及向根系的分配。

本研究表明,与均匀灌水类似,交替灌水能够维持不同根区根系的均衡发展;而固定灌水条件下,灌水区与非灌水区根区根系发育很不平衡,灌水区根系的干重、根长和根面积较之非灌水区显著增加。前人的研究也表明,根系倾向于在水分有效性高的区域大量增殖^[12,13]。植物通过将根系生长聚集在水分有效性高的区域,可使植物资源的分配与利用实现最佳化,以利于最大限度地获取水分与养分。但固定灌水这种水分供应方式不利于土体各部位养分资源的充分有效利用,不利于水分、养分综合利用率的提高。

关于养分对根形态发育影响的研究表明,养分缺乏条件下植物根系的比根长增大,细根更发达^[14]。当根系一部分生长在无磷溶液,另一部分生长在供磷溶液中时,供磷边根系生长加快,根半径变小^[15]。Forde 和 Lorenzo 认为,细根的发育可以减少根系在构建与维持中所需要的资源投入,同时又可使根系在土体中充分扩展^[1]。但关于水分供应及灌水方式对根系发育的影响研究还非常少,仅有的研究主要集中在根重、根长密度、根冠比、根系的分布等方面^[2,16],而对非均匀供水条件下根形态发育的研究尚未见报道。本研究发现,土壤水分状况对根长的影响小于对根面积的影响,土壤含水量降低对根长的抑制作用相对较小。固定灌水条件下,非灌水区根系的比根长和单位面积根长显著大于其灌水区及交替灌水及均匀灌水的任一根区,长时间持续干燥区的根直径变小、变细。由此推测,植物能够分别感知各部分根系环境的变化,并对自己和其余部分根系的生长发育做出调整,表现出根系不同部分之间的相互作用。根系形态发育对水分供应具有与养分类似的反应,其原因可能在于,一方面,水分和养分是紧密相联的两大作物生长因子,水分不足往往会导致养分供应受到限制^[17~19];另一方面,根系既吸收水分又吸收养分,从而使根系对水分的反应与对养分的反应具有一定的共性。

References:

- [1] Forde B, Lorenzo H. The nutritional control of root development. *Plant and Soil*, 2001, 232:51—68.
- [2] Shan L, Chen P Y. Basic theory of physiology and ecology in dryland agriculture. Beijing: Science Press, 1998.
- [3] Zhang X Y. Crop Root System and Soil Water Utilization. Beijing: Weather Press, 1999.
- [4] Liang Z S, Kang S Z, Zhang J H, *et al.* Water-saving effect by controlled root-divided alternative irrigation. *Trans CSAE*, 1997(4):63—68
- [5] Ma R K, Jian J L, Jia X L, *et al.* Relation of winter wheat root development to depth of water supply. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1991, 9(3): 1—10.
- [6] Liu W G, Shan L, Deng X P. Effects of soil bulk density on the growth of maize root system under different water condition. *Acta Bot. Boreal. Occident. Sin.*, 2002, 22(4):831—838.
- [7] Kang S Z, Zhang J H, Liang J S. Combined effect of soil water content and temperature on plant root hydraulic conductivity. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, (3):211—219.
- [8] North G B, Nobel P S. Changes in hydraulic conductivity and anatomy caused by drying and rewetting roots of *Agave deserti*(*Agavaceae*). *Am. J. Bot.*, 1991, (78): 906—915.

- [9] Hu T T, Kang S Z. Effects of Localized Irrigation on Hydraulic Conductivity in Soil-Root System from Different Root Zones of Maize. *Trans CSAE*, 2007, 23(2): 11–16.
- [10] Poni S, Tagliavini M, Neri D, *et al.* Influence of root pruning and water stress on growth and physiological factors of potted apple, grape, peach and pear trees. *Sci. Hortic.*, 1992, (52): 223–226.
- [11] Hu T T, Kang S Z. The Compensatory effect in drought resistance of plants and its application in water-saving agriculture. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 885–891.
- [12] Ben-Asher J, Silberbush M. Root distribution under trickle irrigation: Factors affecting distribution and comparison among methods of determination. *J. Plant Nutr.*, 1992, 15: 783–794.
- [13] Gallardo M, Turner N C, Ludwig C. Water relations, gas exchange and abscisic acid content of *Lupinus cosentinii* leaves in response to drying different proportions of the root system. *J. Exp. Bot.*, 1994, 45: 909–918.
- [14] Fitter A H. Functional significance of root morphology and root system architecture. In *Ecological Interactions in Soil*, Special Publication of the British Ecological Society, No. 4. Oxford: Blackwell Scientific, 1985. 87–106.
- [15] Anghinoni I, Barber S A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. *Agronomy Journal*, 1980, 72: 658–688.
- [16] Skinner R H, Hanson J D, Benjamin J G. Root distribution following spatial separation of water and nitrogen supply in furrow irrigated corn. *Plant and Soil*, 1998, 199: 187–194.
- [17] Pan W L, Hopkins A G. Plant development, and N and P use of winter barley. *Plant and Soil*, 1991, 135: 9–19.
- [18] Chen X P, Wang J G, Yang Z F, *et al.* Relation between phosphorus and potassium under water stress and its effect on drought resistance of wheat. *Journal of Beijing Agricultural University*, 1995, 21(suppl.): 71–76.
- [19] Xi Z B, Yang J L, Ji Z F, *et al.* Mechanism of interaction of efficient soil water with chemical fertilizer and its application. III. Effect of soil water potential on uptake of water and nutrient by cabbage. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1996, 2(1): 32–37.

参考文献:

- [2] 山仑, 陈培元主编. 旱地农业生理生态基础. 北京: 科学出版社, 1998.
- [3] 张喜英. 作物根系与土壤水利用. 北京: 气象出版社, 1999.
- [4] 梁宗锁, 康绍忠, 张建华, 等. 控制性分根交替灌溉的节水效益. *农业工程学报*, 1997(4): 63–68.
- [5] 马瑞昆, 蹇家利, 贾秀领, 等. 供水深度与冬小麦根系发育的关系. *干旱地区农业研究*, 1991, 9(3): 1–10.
- [6] 刘晚苟, 山仑, 邓西平. 不同土壤水分条件下土壤容重对玉米根系生长的影响. *西北植物学报*, 2002, 22(4): 831–838.
- [7] 康绍忠, 张建华, 梁建生. 土壤水分和温度共同作用对植物根系水分传导的效应. *植物生态学报*, 1999, (3): 211–219.
- [9] 胡田田, 康绍忠. 局部灌水方式对玉米不同根区土——根系系统水分传导的影响. *农业工程学报*, 2007, 23(2): 11–16.
- [11] 胡田田, 康绍忠. 植物抗旱性中的补偿效应及其在农业节水中的应用. *生态学报*, 2005, 25(4): 885–891.
- [18] 陈新平, 王敬国, 杨志福, 等. 土壤水分胁迫条件下磷钾营养的相互关系及其对小麦抗旱性的影响. *北京农业大学学报*, 1995, 21(增刊): 71–76.
- [19] 奚振邦, 杨金楼, 计仲孚, 等. 土壤有效水与化肥相互作用机理及其应用研究. III. 不同土壤水势对甘蓝吸收水分和养分的影响. *植物营养与肥料学报*, 1996, 2(1): 32–37.