

伤根对谷子水分利用效率的影响*

柴世伟^{1, 2} 刘文兆^{1*} 李秧秧¹ 马守臣¹

(¹中国科学院 水利部 西北农林科技大学水土保持研究所 陕西杨凌 712100)

(²同济大学环境科学与工程学院 上海 200092)

摘要 通过盆栽试验,研究了伤根对谷子水分利用效率的影响。结果表明,苗期适度伤根能够提高谷子叶片水分利用效率(WUE),而苗期伤根量较严重或拔节期和孕穗期伤根则会降低谷子叶片WUE。在谷子收获期,除TM(高水分条件下,孕穗期中度伤根)和s1(低水分条件下,拔节期轻度伤根)处理外,其余伤根处理的生物量WUE均高于对照。在高水条件下,伤根处理对谷子籽粒产量WUE影响不显著;而在低水分条件下,前期适度伤根能使谷子籽粒产量WUE显著提高,而后期伤根处理的籽粒产量WUE提高不显著。图3表1参11

关键词 伤根; 谷子; 水分利用效率(WUE); 节水农业

CLC Q948 118

Effect of Root Cutting on Water Use Efficiency of Millet*

CHAI Shiwei^{1, 2}, LU Wenzhao^{1*}, LI Yanyang¹ & MA Shouchen¹

(¹Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences Ministry of Water Resources of China and Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100 Shaanxi China)

(²School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract A pot experiment was conducted to study the effect of root cutting on water use efficiency (WUE) of millet. The results showed that moderate root cutting at the seedling stage improved the WUE of leaf while severe root cutting at the seedling stage or any root cutting at the elongation stage or booting stage reduced the WUE. The root cutting treatments improved the WUE for biomass at harvest except the "TM" and "s1" treatments at the 80% field capacity, root cutting did not significantly affect WUE for grain yield of millet at the 50% field capacity. Early moderate root cutting significantly improved the WUE for grain yield while the late root cutting did not show obvious improvement. Fig 3 Tab 1 Ref 11

Keywords root cutting; millet; water use efficiency (WUE); water-saving farming

CLC Q948 118

在包括黄土高原在内的许多地区,水分亏缺是限制农业生产的首要因素。提高作物的水分利用效率(WUE)与作物产量一直是众多科学家研究的主要课题^[1-5]。WUE的提高有多种途径,通过适当的农艺措施来影响根系生长以提高WUE是其中的一个重要方面。在人类的农业生产实践中,水稻插秧、幼苗移栽以及对作物的中耕等都可以使植株生长状况好转,产量提高,而这些措施都对植物根系产生了一定的影响。因此,研究人员^[6-11]认为,由于作物生长的“补偿效应”,人为地对作物根系进行适度断伤,也可能会改善作物生长状况,调节作物对有限土壤水分的利用效率,进而提高作物产量。因此,就伤根对作物WUE的影响加以研究,是一项在理论与实践上都具有重要意义的研究课题。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在中国科学院水利部水土保持研究所盆栽试验场防

雨棚下进行。所用谷子品种为晋谷7号,土壤取自关中壤土耕层。该土壤全N、全P和有机质含量分别为0.62 g kg⁻¹、1.45 g kg⁻¹和1.47 g kg⁻¹,速效N和速效P分别为54.6 mg kg⁻¹和8.9 mg kg⁻¹。将土壤风干、粉碎、过筛后,装入直径28 cm、高30 cm的塑料盆中,每盆装土9.0 kg。施肥按每千克干土0.01 g N、0.1 g P₂O₅施用。氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,装盆时作为底肥一次性施入。

播种时使各处理的土壤含水量均处于土壤田间持水量的80%。试验用土田间持水量为21% (占干土重)。2000年5月9日播种,5月14日出苗,三叶期疏苗(5月18日),五叶期定苗(5月25日),每盆5株。断根时间分别为6月9日、6月19日和6月29日。第一次断根后即开始水分控制,水分控制采用称重法,表面和底部浇灌相结合(在塑料桶中侧面插有口径为2 cm的PVC管,用来进行底部灌水),耗水量大时每天上午和下午各灌一次。

该试验根据断伤根程度、伤根时间和水分因素共设20个处理,依次为FB、FM、FL、SB、SM、SL、TB、TM、TL、CK和fk、fm、fl、sk、sm、sl、tk、tm、tl、ck。其中,大写字母代表高水分条件(土壤田间持水量的80%),小写字母代表低水分条件(土壤田间持水量的50%),第一个字母代表断根时期,第二个字母代表断根量;F、f代表苗期断根(6月9日),S、s代表拔节期断根(6月19日),T、t代表孕穗期断根(6月29日);B、

收稿日期: 2005-09-12 接受日期: 2006-01-25

* 国家重点基础研究发展计划“973计划”课题(2005CB121106)与中国科学院知识创新工程领域前沿项目(SW 04301)资助。Supported by the National Basic Research Program of China (Project No. 2005CB121106) and the Knowledge Innovation Engineering Project of the Chinese Academy of Sciences (No. SW 04301)

** 通讯作者。Corresponding author (E-mail: wzli@ms.iswc.ac.cn)

b代表每次断根量较大处理(苗期断双面距主茎 2 cm 处根,拔节期和孕穗期分别断单面距主茎 2 cm 处根), M、m 代表每次断根量中间处理(苗期断单面距主茎 2 cm 处根,拔节期和孕穗期分别断双面距主茎 6 cm 处根), L、l 代表每次断根量较低处理(断单面距主茎 6 cm 处根), CK、ck 为对照处理(不断根).断根深度统一为 15 cm.共设 20 个处理,每处理 7 个重复.为称重法中生物量的校正,另外增加 10 盆,共计 150 盆.

1.2 测定项目及方法

1.2.1 耗水量 采用称重法控制土壤水分含量,即每天用电子秤称重,并考虑生物量的变化,补充消耗的水分(包括蒸发与蒸腾),求算耗水量.

1.2.2 植株地上部生物量和籽粒产量的 WUE 断根后 d 15 时分别测定各处理的生物量,收获时测定各处理的生物量(干重和鲜重)和籽粒产量,并结合耗水量计算相应的 WUE

生物量 WUE($g\ kg^{-1}$) = 生物量干重 / 耗水量

产量 WUE($g\ kg^{-1}$) = 籽粒产量 / 耗水量

1.2.3 叶片的单叶 WUE 利用美国 CID 公司生产的光合作用测定系统 CF301 进行叶片光合速率和蒸腾速率测定.选择植株最上部完全展开叶片,每种处理各测定 3 片叶子,取平均值.

单叶 WUE = 叶片的光合速率 / 蒸腾速率

2 结果与分析

2.1 伤根对谷子叶片水平 WUE 的影响

2.1.1 伤根谷子单叶 WUE 动态的变化 叶片水平上的 WUE 也称为水的生理利用效率或蒸腾效率,指单位水量通过叶片蒸腾散失时光合作用所形成的有机物质,它取决于光合速率与蒸腾速率的比值,是 WUE 的理论值.

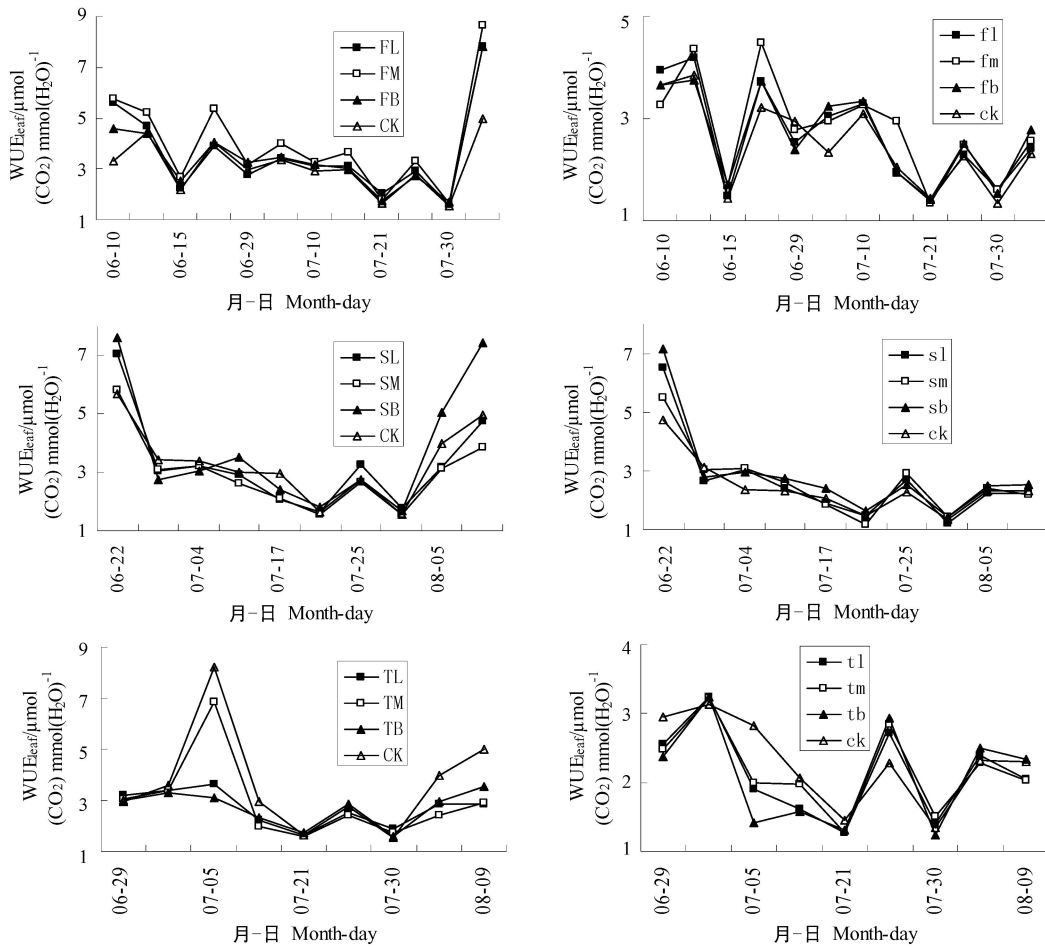


图 1 不同时期谷子叶片 WUE 的变化

Fig. 1 Changes in WUE of millet leaf at different stages

F, f 苗期断根; S, s 拔节期断根; T, t 孕穗期断根; B, b 大断根处理; M, m: 中度断根处理; L, l 小断根处理. 大写字母代表高水分条件,小写字母代表低水分条件. 下同

F, f Root cutting at seedling stage; S, s Root cutting at jointing stage; T, t Root cutting at booting stage; B, b Severe root cutting; M, m: Moderate root cutting; L, l Little root cutting. Uppercase and lowercase letters represent high-watered level and low-watered level respectively. The same below

图 1 是谷子叶片 WUE 不同时期的变化情况,可以看出,不同的伤根处理对谷子叶片 WUE 的影响有所不同:就全生育期的平均值来说,在水分为 80% 田间持水量时,在苗期伤根中,3 种伤根处理 FL、FM 和 FB 分别比对照高 16.08%、30.42% 和

14.56%;在拔节期伤根中,伤根处理 SL 和 SM 分别比对照低 1.20% 和 11.38%,而 SB 处理比对照高 14.07%;在孕穗期伤根中,3 种伤根处理 TL、TM 和 TB 分别比对照低 25.69%、19.06% 和 25.4%.在水分为 50% 田间持水量时,就全生育期

的平均值来说,在苗期伤根中,3种伤根处理 f_1 f_m 和 f_b 分别比对照高 6.40%、12.40% 和 6.80%;在拔节期伤根中,3种伤根处理 s_1 s_m 和 s_b 分别比对照高 8.64%、7.82% 和 17.70%;在孕穗期伤根中,3种伤根处理 t_1 t_m 和 t_b 分别比对照低 7.39%、5.22% 和 8.70%。

2.1.2 伤根后期谷子叶片 WUE 的日变化 分析 7 月 20 日的测定结果,苗期伤根处理的谷子,在高水分条件下,叶片 WUE 日变化大致呈“L”形,从早到晚呈降低趋势(图 2),上午下降幅度较大,下午时下降趋于平缓,就全天平均来看,FL、FM 和 FB 三处理的 WUE 分别比对照叶片高 5.98%、17.94% 和 5.98%;在低水分条件下,谷子叶片 WUE 日变化大致呈“U”形,中午(12:00~16:00)各处理的 WUE 最低,下午 16:00 以前各处理间的 WUE 差别不明显,此后逐渐上升,下午 18:00

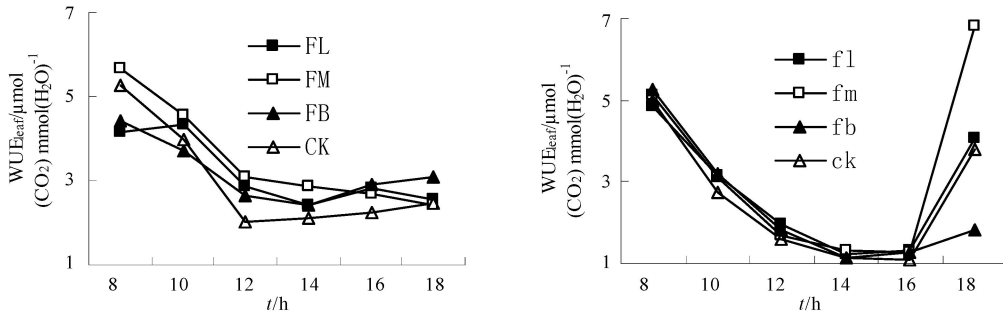


图 2 苗期伤根后 40 天(7 月 20 日)谷子叶片 WUE 日变化
Fig 2 Daily variation of millet leaf WUE after root cutting for 40 days (July 20) at seedling stage

2.2 伤根初期生物量水平 WUE

不同时期伤根的谷子,在伤根后 15 d 内生物量 WUE 是不同的(图 3)。在高水分条件下,苗期伤根后 15 d 内,FL、FM、FB、CK 的生物量水平 WUE 分别为 1.89、1.85、1.26、1.94 $g\ kg^{-1}$,即 FL、FM 和 FB 处理的生物量水平的 WUE 都低于对照;拔节期伤根后 15 d 内,SL、SM、SB、CK 的生物量水平的 WUE 分别为 2.28、2.41、2.39、2.73 $g\ kg^{-1}$,即 SL、SM 和 SB 生物量水平的 WUE 也都低于对照;孕穗期伤根后 15 d 内,TL、TM、TB、CK 的生物量 WUE 分别为 3.08、3.01、3.58、3.34 $g\ kg^{-1}$,即 TL、TM 两处理低于对照,而 TB 处理比对照高 7.1%。

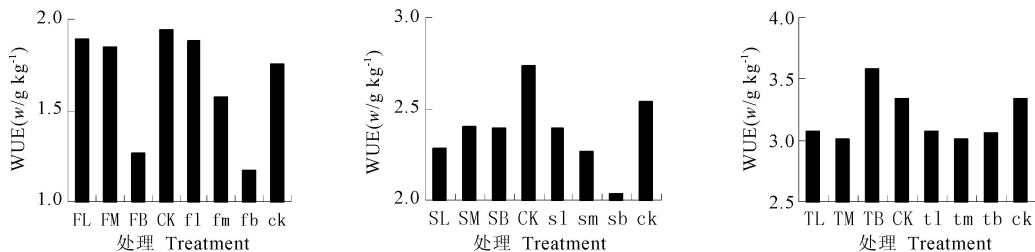


图 3 每次伤根 15 d 后生物量 WUE
Fig 3 WUE for biomass after 15 days in each root cutting

2.3 伤根对谷子生物量水平和籽粒产量水平 WUE 的影响

结果见表 1。在高水分条件下,各处理籽粒产量 WUE 差异不显著,除 FL、FM 和 TB 处理外,其余各伤根处理籽粒产量水平的 WUE 都低于对照,处理 FR、SM 和 TM 籽粒产量的 WUE

时,各伤根处理的 WUE 和对照相比差别较大,以 f_m 处理之值最高, f_b 处理的值最低, f_1 和对照的值相当。就全天 WUE 的平均值来看, f_1 和 f_m 处理分别比对照高 8.2% 和 25.78%,而 f_b 处理比对照低 5.47%。可见,苗期适当的伤根处理能够提高谷子生育后期叶片水平的 WUE。

分析 7 月 30 日的测定结果,拔节期伤根处理的谷子,在两种水分条件下叶片 WUE 日变化表现为早上 8:00 最高,然后开始下降,至中午 12 点时降至最低值,此后又开始升高,但上升幅度较小。就全天平均来看,在高水分条件下,SL、SM 和 SB 三种伤根处理单叶 WUE 分别比对照低 8.22%、11.64% 和 8.22%;在低水分条件下, s_1 处理的单叶 WUE 比对照低 5.19%,而 s_m 和 s_b 处理的单叶 WUE 比对照分别高 3.90% 和 0.43%。

在低水分条件下,苗期伤根后 15 d 内, f_1 f_m 、 f_b 、ck 的生物量水平的 WUE 分别为 1.88、1.58、1.17、1.76 $g\ kg^{-1}$,即 f_1 处理的生物量水平的 WUE 比对照高 6.72%,而 f_m 和 f_b 处理的 WUE 低于对照处理;拔节期伤根后 15 d 内, s_1 s_m 、 s_b 、ck 的生物量干重 WUE 分别为 2.39、2.26、2.03、2.54 $g\ kg^{-1}$,伤根处理的 WUE 都低于对照;孕穗期伤根后 15 d 内, t_1 t_m 、 t_b 、ck 的生物量水平的 WUE 分别为 3.07、3.01、3.06、3.34 $g\ kg^{-1}$,伤根处理 WUE 亦都低于对照。可见,伤根初期,除 f_1 和 TB 处理的生物量水平 WUE 高于对照外,其余伤根处理的生物量 WUE 均低于对照。

分别在同期伤根处理中下降最多;而在低水分水平下,几乎所有的伤根处理籽粒产量 WUE 都得到了提高,其中以 f_m 和 s_1 处理的提高最为明显。其中 f_m 处理与其他处理之间的差异达到了极显著水平 ($P < 0.01$)。可见,在低水分条件下进行适度的伤根处理,能够提高籽粒产量水平的 WUE。文献 [11] 表明,前期适度伤根处理也有助于谷子籽粒产量本身的提高。

在高水分条件下除 TM 外, 其它伤根处理生物量水平的 WUE 均高于对照, 尤其是 FM、TB 处理的 WUE 提高较多; 在

低水分条件下除 sl 处理外, 其它伤根处理生物量水平的 WUE 均高于对照, 尤其是 fn、fb 处理 WUE 提高较多。

表 1 伤根对谷子产量和生物量水分利用效率 (WUE) 的影响

Table 1 Effect of root cutting on WUE for grain yield and WUE for biomass of millet

处理 Treatent	籽粒产量 WUE		生物量 WUE	
	WUE for grain yield ($w / g \text{ kg}^{-1}$)	> CK (P %)	WUE for biomass ($w / g \text{ kg}^{-1}$)	> CK (P %)
FL	0.43	10.32	0.51	7.57
FM	0.42	6.16	0.61	29.16
FB	0.34	-12.21	0.49	3.53
SL	0.39	-0.08	0.51	7.79
SM	0.34	-13.44	0.48	1.68
SB	0.38	-3.31	0.52	11.18
TL	0.35	-10.58	0.54	14.59
TM	0.34	-12.08	0.44	-6.32
TB	0.41	4.93	0.59	26.25
CK	0.39	0.00	0.47	0.00
fl	0.29	4.05	0.47	2.54
fn	0.37	32.23	0.59	27.64
fb	0.28	0.41	0.56	22.50
sl	0.31	10.82	0.44	-4.43
sn	0.28	-1.08	0.47	1.17
sb	0.30	5.67	0.46	0.04
tl	0.28	-0.63	0.47	2.83
tn	0.30	5.15	0.52	13.08
tb	0.29	2.12	0.53	15.94
ck	0.28	0.00	0.46	0.00

3 结论

3.1 就伤根后期谷子叶片 WUE 而论, 不同的伤根处理对谷子叶片 WUE 的影响是不同的: 在水分为 80% 田间持水量时, 苗期伤根能够提高谷子叶片 WUE, 而拔节期和孕穗期伤根则不利于谷子叶片 WUE 的提高。在水分条件为 50% 田间持水量时, 苗期和拔节期适度伤根处理都提高了叶片 WUE, 而孕穗期伤根处理则降低了叶片 WUE。

3.2 就生物量水平 WUE 而论, 伤根初期, 除 fl 和 TB 处理的生物量水平 WUE 高于对照外, 其余伤根处理之生物量 WUE 均低于对照。而在收获时, 除 TM 和 s 处理外, 其余伤根处理生物量 WUE 都高于对照, 尤其是 FM、TB、fn、fb 等处理的生物量 WUE 提高较多。

3.3 就籽粒产量水平 WUE 而论, 在土壤含水量为 80% 田间持水量时, 随着伤根程度的加剧和伤根时间的后移, 谷子籽粒产量 WUE 下降, 伤根处理没有提高谷子籽粒产量 WUE; 而在 50% 田间持水量时, 前期适度伤根处理能够显著提高谷子籽粒产量 WUE, 而后期伤根处理的 WUE 的提高不明显。

References

- 1 Taylor HM, Jordan WR, Sinclair TR. Limitations to efficient water use in crop production. ISBN 0-89118-074-5 ASA-CSSA-SSSA, Wisconsin, USA, 1983 7~11
- 2 Blum A, Aikin GG. Sorghum root growth and water use as affected by water supply and growth duration *Field Crops Res* 1984, 9 131~142
- 3 Wang ST (王韶唐). Water use efficiency of plant and the dryland agricultural production *Agri Res Arid Areas* 1987, 5 (2): 67~80

- 4 Tumer NC. Crop water deficits: a decade of progress *Adv In Agron*, 1987, 39 1~51
- 5 Liu WZ (刘文兆). Dynamic interrelations of crop production, water consumption and water use efficiency. *J Nat Resour*, 1998, 13 (1): 23~27
- 6 Yu SL (余松烈), Yuan XH (元新华), Jin LF (金留福). The negative and positive effects of intertilage on winter wheat plants during the turning green. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1965, 4 (2): 127~134
- 7 Chen PY (陈培元), Zhan GY (詹谷宇), Xie BT (谢伯泰). Research of winter wheat roots *Shaanxi Agri Sci* (陕西农业科学), 1980 (6): 1~6
- 8 Liu DY (刘殿英). Effects of root cutting on the characteristics of the root system and yield in wheat *J Shandong Agri Coll* (山东农学院学报), 1983 (2): 35~42
- 9 Liu WZ (刘文兆), Li YY (李秧秧). Effect of crop root cutting on grain yield and water use efficiency: a review. *Acta Bot Bor-Occid Sin* (西北植物学报), 2003, 23 (8): 1320~1324
- 10 Chai SW (柴世伟), Liu WZ (刘文兆), Li YY (李秧秧). Effect of root cutting on leaf photosynthesis rate and water use efficiency of maize *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2002, 13 (12): 1716~1718
- 11 Chai SW (柴世伟), Liu WZ (刘文兆), Li YY (李秧秧). Root cutting influence on the leaf photosynthetic rate and millet yield *Acta Bot Bor-Occid Sin* (西北植物学报), 2004, 24 (12): 2215~2220