

黄土旱塬冬小麦返青期断根对根冠比、水分利用及产量的影响

马守臣^{1 2 3} 徐炳成^{1 2} 黄占斌^{1 2} 刘琳^{1 2}

张小红^{1 2} 刘文兆^{1 2} 李凤民^{1 2*}

(1 中国科学院·水利部黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨凌 712100)

(2 西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100) (3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 采用适当的农艺措施来影响根系生长以提高作物水分利用效率是节水农业研究的一项重要内容。通过田间试验研究了旱作冬小麦‘长武 135’ (*Triticum aestivum* cv. Changwu135) 返青期切断部分侧生根对根冠比、水分利用效率及产量的影响。与不断根处理相比, 冬小麦切断部分侧根后, 极显著地减少了表层的根量, 花期时断根和不断根小麦在 0~20 cm 土层根量分别 249.70 和 307.52 g·m⁻², 100 cm 以上总根量分别为 305.53 和 368.73 g·m⁻²。断根比不断根处理根呼吸速率下降了 25.57%。断根也抑制了小麦的群体数量, 断根和不断根处理单位面积的穗数分别为 590.33 和 646.33 m⁻², 但断根显著增加了千粒重, 断根和不断根分别为 45.99 和 41.47 g, 收获指数也有一定提高。断根对籽粒产量没有显著影响, 但断根后土壤含水量显著增加, 水分消耗减少。以生物量计算的水分利用效率和以产量计算的水分利用效率分别提高了 32.52% 和 29.98%。因此, 在旱地农业中, 通过返青期人工断根措施削减根系降低根系对同化产物的消耗和减少耗水量来达到提高冬小麦水分利用效率的方法, 是可行的。但今后还需对断根措施作进一步研究, 以期实现产量和水分利用效率的同步提高。

关键词 冬小麦 断根 根呼吸 水分利用效率

EFFECTS OF PARTIAL ROOT EXCISION AT THE RE-GREENING STAGE OF WINTER WHEAT ON ROOT/SHOOT RATIO, YIELD AND WATER USE EFFICIENCY IN LOESS PLATEAU REGION, CHINA

MA Shou-Chen^{1 2 3} XU Bing-Cheng^{1 2} HUANG Zhan-Bin^{1 2} LIU Lin^{1 2}

ZHANG Xiao-Hong^{1 2} LIU Wen-Zhao^{1 2} and LI Feng-Min^{1 2*}

(1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(2 Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Background and Aims It is important for water conservation that suitable agricultural measures are used to improve the water use efficiency (WUE) of crop production. Water-conserving irrigation has improved WUE of crops, but is difficult to practice in arid and semi-arid areas of Loess Plateau, especially those areas lacking water for irrigation. Therefore, water-conserving agriculture in these areas focuses on increasing the rainfall-use efficiency of crops. This study examines whether root-cutting can increase grain yield and WUE of winter wheat in rain-dependent farmland on Loess Plateau.

Methods The field experiment was conducted in 2004 and 2005 at the Changwu Experimental Station of the Chinese Academy of Sciences. The cultivar of winter wheat was ‘Changwu135’ (*Triticum aestivum* cv. Changwu135), which is widely used by farmers in the region. Roots were partially cut off vertically to 13 cm depth along two sides, 2 cm away from the main stems at the re-greening stage (March 14, 2004). Soil water content was measured at 10 cm depth intervals at different developmental stages. Root respiration rate was measured at the flowering stage. Grain yield, aboveground biomass, spike number per unit area, grain weight and harvest index were measured at the maturity stage. We studied effects of partial root-cutting on root/shoot ratio (R/S), yield and WUE.

Key Results Partial root-cutting at the re-greening stage of winter wheat significantly decreased upper root

biomass : root biomass to 20 cm soil depth at the flowering stage was $249.70 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ for root-cutting treatment and $307.52 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ for intact plants , and total root biomass was $305.53 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ for cutting treatment and $368.73 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ for intact plants . Root-cutting reduced root respiration rate by 25.57% compared with intact plants . Spike number was reduced to 590.33 m^{-2} , compared to 646.33 m^{-2} for intact plants , but 1 000 kernel weight increased significantly after partial root-cutting (45.99 g compared to 41.47 g for intact plants) , and harvest index also increased . Yield was little affected by root-cutting , but water consumption was greatly reduced . Biomass water use efficiency and yield water use efficiency were increased by 32.52% and 29.98% , respectively , compared with intact plants .

Conclusions Root-cutting reduced the root system of winter wheat , restraining population density which reduced water consumption and improved soil water content after anthesis . It is favorable to grain development in wheat . Root-cutting lowered root respiration rate and decreased the amount of dry matter consumed by the root system , which raised the proportion of dry matter allocated to aboveground organs . Dry weight of shoot was unaffected by root-cutting , but water consumption was greatly reduced . Therefore , *WUE* of winter wheat can be increased on dry lands by partial root-cutting at the re-greening stage . More study , especially on timing and intensity on root-cutting , is needed to synchronously increase grain yield and *WUE* of wheat .

Key words Winter wheat , Root-cutting , Root respiration , Water use efficiency

黄土高原半干旱雨养农业区 ,由于水资源亏缺 ,发展节水农业的核心就是提高当地天然降水的利用效率(李凤民和赵松岭,1997;李凤民等,1997)。提高作物水分利用,可以从两方面入手,一是选择高水分利用效率(*WUE*)的作物品种,二是通过各种农艺措施对根系加以控制,以期提高作物水分利用效率。研究表明同一作物不同品种间水分利用效率差异也很大(Farquhar & Richards,1984;Siddique *et al.*,1990;张正斌和山仑,1997;张岁岐和山仑,2003)。尽管水分利用效率是可遗传性状,定向培育高水分利用效率品种是可能的,但由于水分利用效率受多种因素影响,确定控制作物水分利用效率的主要形态和生理性状仍然比较困难(周晓果等,2005)。通过适当农艺措施来影响根系生长以提高水分利用效率也是节水农业研究的重要内容。近年来的研究表明,在深层土壤中尚保留许多可利用水的情况下,作物浅层根系量的减少是对作物有益的(Passioura,1983)。有限灌溉、深层供水等措施都有助于减少表层根系生物量,增加根系干物质向土壤深层分配,挖掘深层土壤水分,提高作物水分利用效率(刘庚山等,2003;李凤民等,1997)。控制性分根交替灌溉从时空结构上改变根区土壤湿润方式,影响根系生长和根信号行为,提高了作物对水分的高效利用(Kang & Zhang,2004)。但这些措施在没有灌溉条件的黄土高原雨养农业区实施起来还有一定难度,在这一区域发展节水农业的核心应当是提高当地天然降水的利用效率。有研究指出,现代小麦(*Triticum aestivum*)品种其收获指数和水分利用效率的提高与浅层根系生物量的减少有一定关系(Siddique *et al.*,1990)。盆栽

试验人工控制根系大小也发现,在干旱条件下小根系处理的春小麦具有较高水分利用效率和籽粒产量(刘洪升和李凤民,2003)。那么,在旱地农业中,能否通过人工措施直接控制根系大小提高水分利用效率呢?本文试图通过大田试验检验:在黄土高原雨养农业区,能否采用人工断根措施来提高冬小麦产量及水分利用效率。

1 材料和方法

1.1 试验地点自然条件

试验地位于黄土高原中部的陕西省长武县洪家乡王东村中国科学院长武生态试验站,地理位置 $107^{\circ}40'30'' \text{ E}$ $35^{\circ}14'30'' \text{ N}$,海拔 1 200 m,本区属暖温带半湿润易旱气候区,年均降水 584 mm,年均气温 9.1° C , $\geq 10^{\circ} \text{ C}$ 的积温 $3\ 029^{\circ} \text{ C}$,无霜期 171 d。试验布置在未进行灌溉的旱作农耕地上。试验地平坦宽阔,黄土堆积深厚,土壤为黄粘黑垆土。

1.2 材料与方法

试验品种为旱作冬麦品种‘长武 135 号’,小区面积 4 m^2 ,小区间间隔 60 cm,3 次重复,随机区组设计,总共 6 个小区,切根处理 3 个,对照 3 个。亩施磷酸二铵(含 N 量 18%,含 P_2O_5 量 46%)40 kg,所有肥料在播种时作为底肥一次施入。于 2004 年 9 月 20 日播种,播种方式为人工点播,每小区播 9 行,行距 20 cm,每行播 120 粒,出苗后定苗 100 基本苗。

断根于返青期(2005 年 3 月 14 日)进行,在距主茎两侧 2 cm 处,用长 25 cm 带刻度标记的单面刀,垂直下切 13 cm,去掉部分次生根。在预留小区进行预备实验测试断根程度,在断根区挖长 50 cm、宽 40

cm、深 100 cm 的土壤剖面,把切除根及剩余根仔细检出,冲洗后烘干、称重,测得切除根占总根量的 37.1%。

断根处理后,在起身期、拔节期、开花期、成熟期测定土壤含水量。30~200 cm 土层用水分中子仪(美国 CPN 公司 503DR)测定,地表到 30 cm 之间用土钻取土烘干称重法测定。在开花期测定根量,采用直径为 8 cm 土钻取样,下钻在行间紧靠作物行处,每小区打 2 钻,各钻每 20 cm 分层取样,至 100 cm 深处。所取根土样用 400 目尼龙网过滤冲洗,洗去泥土后移入玻璃器皿再用清水漂洗,仔细除去草根杂物,在 105 °C 下快速杀死 30 min,在恒温 85 °C 下烘干 12 h 称重。收获时在各小区中间取 1.0 m² 测定单位面积的成穗数、籽粒产量和地上生物量。每小区取 20 茎测穗重、穗粒重、千粒重等,并计算收获指数。

根呼吸速率、光合速率、蒸腾速率测定:于开花期晴朗的上午 10:00~11:00,使用 LI-6400 光合仪测定小麦旗叶光合速率、气孔导度、蒸腾速率以及根呼吸速率,并计算比根呼吸速率(Specific root respiration)。比根呼吸速率是根系呼吸速率和根干重的比值(Kelting *et al.*, 1998)。

水分利用效率(kg·hm⁻²·mm⁻¹)按以下公式计算:

单叶水分利用效率 = 小麦叶片的光合速率/蒸腾速率

群体生物量水分利用效率 = 单位面积总生物量干重/耗水量

产量水分利用效率 = 单位面积籽粒产量/耗水量

其中,耗水量为播种与收获时 0~200 cm 土壤水分的差值加上生育期的降雨量。

1.3 数据分析

使用 Excel 软件对试验数据进行分析与作图,并通过 *t* 检验对两处理各项数据进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 根系生物量与根呼吸

苗期断根冬小麦根量显著减少。0~100 cm 土层总根量,对照为 368.73 g·m⁻²,断根处理为 305.53 g·m⁻²,断根处理总根量比对照下降 17.14%(表 1)。根量差异主要由 0~40 cm 土层所决定,断根和不断根小麦在 0~20 cm 土层根量分别 249.70 和 307.52 g·m⁻²,差异极显著($p < 0.01$)。在 20~40 cm 土层,

断根和不断根小麦的根量分别为 29.56 和 32.54 g·m⁻²,差异不显著。其它各层不仅所占比例少,而且差异也不显著。由此可见,断根处理主要减少表层的根系。

断根冬小麦测定的单位面积根呼吸速率显著下降。与不断根相比,断根处理开花期根呼吸速率下降了 25.57%(图 1),但断根对比根呼吸速率影响不显著。比根呼吸速率和根活性一样,也是表征作物根系生理代谢活性的一个重要指标,这说明断根只是减少了单位面积根呼吸消耗,并没显著影响根系生理代谢活性。

表 1 不断根与断根处理在不同土层的根量
Table 1 Root biomass of intact and root-cutting plants in different soil layers

土层深度 Soil depth (cm)	不断根 CK (g·m ⁻²)	断根处理 Root-cutting (g·m ⁻²)
0~20	307.52 ^a	249.70 ^b
20~40	32.54 ^a	29.56 ^a
40~60	11.45 ^a	9.65 ^a
60~80	9.65 ^a	8.46 ^a
80~100	7.56 ^a	7.76 ^a
总计 Total	368.73 ^a	305.53 ^b

数据后大、小写字母分别表示 $p = 0.05$ 和 $p = 0.01$ 水平上的差异,表中同一行的不同字母代表差异显著。Letters in capital and small forms represent significant difference at $p = 0.01$ and $p = 0.05$, different letters in the same row mean significant difference.

2.2 地上生物量、根冠比与产量

断根冬小麦的单位面积穗数显著减少,千粒重显著提高,穗粒重也有所提高但不显著(表 2)。断根冬小麦由单位面积穗数减少而损失的产量,从粒重上得到了补偿,最终产量并没受到显著的影响。断根和不断根地上生物量的差异与产量的差异一致,均不显著(表 3)。断根处理虽显著降低了根系生物量,但对根冠比影响却不显著。断根还使冬小麦光合产物在籽粒中的分配比例增加,使收获指数有所提高,但也未达显著水平。

2.3 土壤水分动态与水分利用效率

冬小麦断根初期各层土壤含水量和不断根相比几乎没有差异,两者在 20~50 cm 土层土壤含水量较高。到拔节期,土壤含水量首先在 20~50 cm 出现明显差别。随着生育期的延续,深层土壤含水量也逐渐出现明显差异。花期以后,断根处理的各层土壤含水量已经显著超过不断根(图 2)。可见,断根措施有助减少土壤水分消耗。

水分利用效率分为叶片、群体生物量和产量 3 个水平。断根冬小麦单叶(旗叶)瞬间的水分利用效

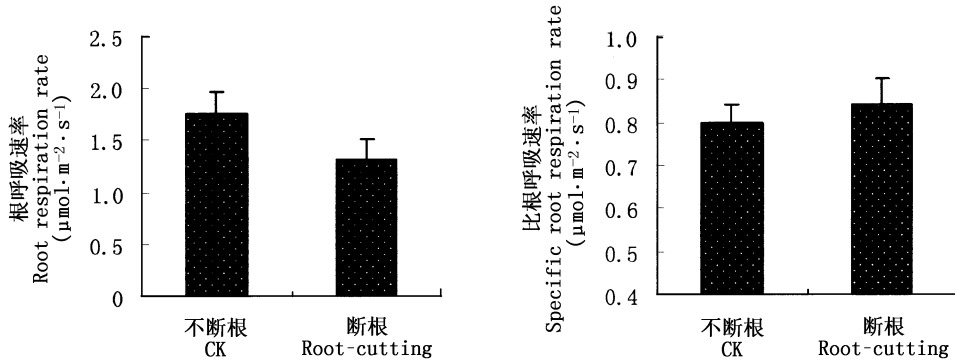


图1 不断根和断根处理的根呼吸速率和比根呼吸速率

Fig.1 Root respiration rate and specific root respiration rate of intact and root-cutting plants

表2 不断根与断根处理的产量性状

Table 2 Yield traits of intact and root-cutting plants

	穗数 Spike number (m^2)	穗粒重 KWS (g)	千粒重 TKW (g)	产量 Yield ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
不断根 CK	646.33 ^a	1.00 ^a	41.47 ^b	6 315.86 ^a
断根 Root-cutting	590.33 ^b	1.09 ^a	45.99 ^a	6 061.30 ^a

表中同一列的不同字母代表在 $p < 0.05$ 水平差异显著 Different letters in the same row mean significant difference at $p < 0.05$ KWS : Kernel weight per spike TKW : 1 000 kernel weight

表3 不断根与断根处理花期地上生物量、根系生物量、根冠比和收获指数

Table 3 The aboveground biomass (AB), root biomass (RB), root/shoot ratio (R/S) and harvest index (HI) of intact and root-cutting plants

	地上生物量 AB ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	根系生物量 RB ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	根冠比 R/S	收获指数 HI
不断根 CK	1 411.30 ^a	368.73 ^a	0.26 ^a	0.45 ^a
断根 Root-cutting	1 364.41 ^a	305.53 ^b	0.22 ^a	0.48 ^a

表中同一列的不同字母代表在 $p < 0.05$ 水平差异显著 Different letters in the same row mean significant difference at $p < 0.05$

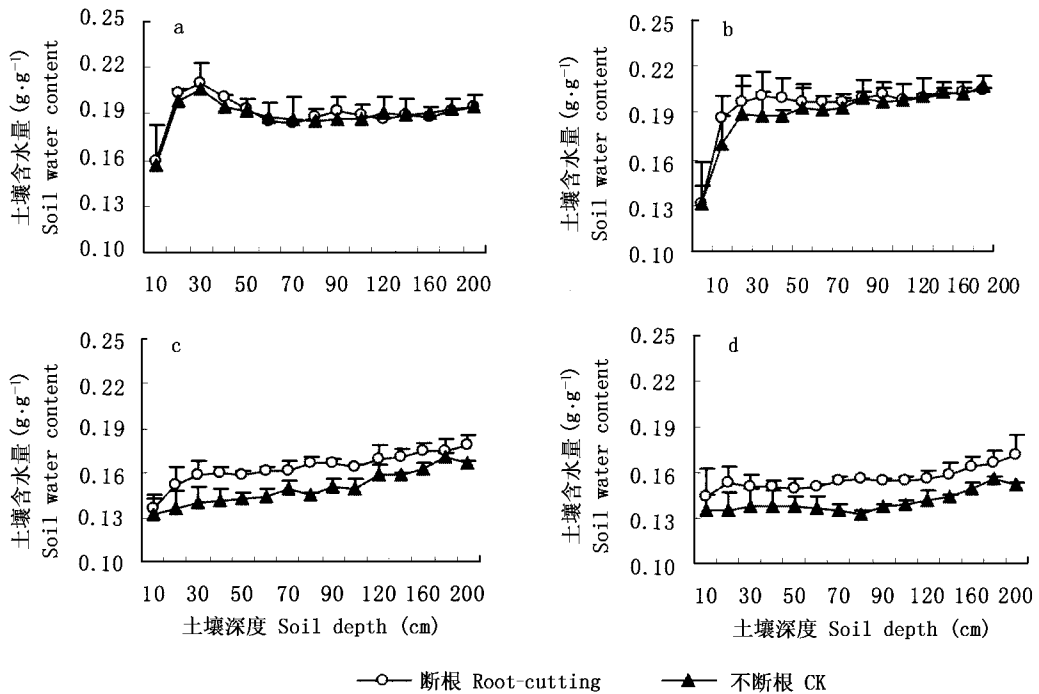


图2 不断根与断根处理的土壤含水量的动态变化

Fig.2 Dynamic change of soil water content of intact and root-cutting plants

a : 返青期 Re-greening stage b : 拔节期 Booting stage c : 开花期 Flowering stage d : 收获期 Maturity stage

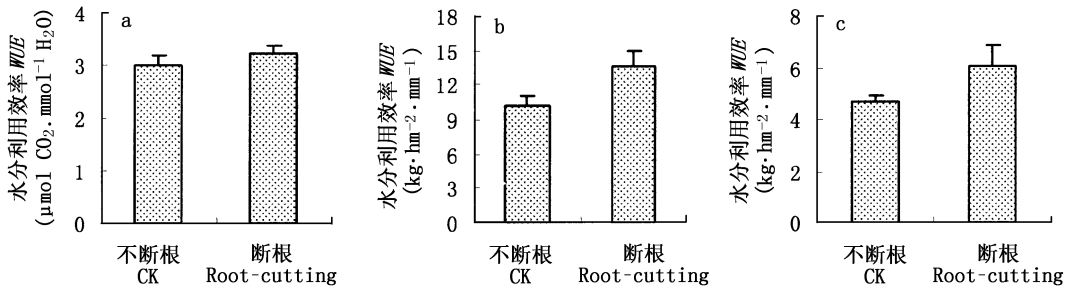


图3 不断根与断根处理小麦的水分利用效率

Fig.3 Water use efficiency (WUE) of winter wheat of intact and root-cutting plants

a: 单叶水分利用效率 Leaf water use efficiency b: 生物量水分利用效率 Biomass water use efficiency c: 产量水分利用效率 Yield water use efficiency

率稍有提高,但差异不显著。断根处理群体生物量和产量水平的水分利用效率显著提高,两者分别提高了32.52%和29.98%(图3)。

3 讨论

关于断根对植物生长的研究主要集中在果树栽培上,在农田管理上与作物断根有关的管理措施主要有中耕断根(刘文兆和李秧秧,2003)。我国科学家从20世纪60年代就已经开始研究其对作物生长及产量的影响,而在以产量和水分利用效率共同提高为目标的当今旱地农业中,就断根对作物产量及水分利用效率的影响加以研究,则是一项在实践上具有重要意义的研究内容。

3.1 断根对根量和根冠比的影响

研究认为,作物去掉部分根系后,对地上部的生长影响不大(Troughton,1978;Hackett,1971)。但冬前断根可减少上层根量,增加中、下层根系的根量,降低根系生长冗余(石岩等,1999)。在本研究中,冬小麦在返青期断根后,地上生物量没有受到显著影响,而上层根量和总根量显著下降,这与前人研究的结果一致,但对中、下层根量的影响却不显著,这可能是由于两研究中的断根方法和断根时间不同所致。有研究表明,植物体内存在一种控制地上、地下生长平衡的机制,断根后植物将逐渐恢复原有平衡(Jackson,1993;Vysotskaya *et al.*,2001)。本研究也获得了相似的结果,发现断根对根冠比没有造成显著的影响。

3.2 断根对根系耗碳和作物产量的影响

McCree(1986)认为不仅组建庞大的根系需要光合产物,而且维持发达的根系需要更多的光合产物。生产单位干重根系所消耗的同化产物约为生产单位干重地上部分所消耗的同化产物的两倍(Passioura,

1983)。一般认为减少作物无益的碳损耗将是提高作物产量的重要途径之一(赵发清,1996)。在根系消耗同化产物的3个途径中(呼吸、器官构建和有机碳的分泌)根呼吸是主要的同化产物消耗途径,作物日光合固碳总量的50%左右通过根呼吸消耗掉(Lambers *et al.*,1996)。且根呼吸耗碳量占根系日总耗碳量的58%,而根系构建耗碳约占总耗碳量的1/4,根系呼吸耗碳量高出根系构建耗碳的1倍以上,比根系构建和根分泌耗碳的总和还要多(刘洪升等,2004)。因此,降低根呼吸耗碳量可以增加作物的正碳平衡,有利于作物籽粒的形成(Zhang *et al.*,1999)。在本研究中,断根处理小麦的根呼吸速率显著下降,与不断根处理相比下降了25.57%。根呼吸耗碳的减少有利于更多的同化产物分配到地上部分,为籽粒形成和灌浆提供了储备,断根处理的粒重显著增加。石岩等(1999)也认为断根可使籽粒中来自花后光合器官输送的光合产物比例增加。

余松烈等(1985)通过田间试验指出,中耕断根处理近期效应是对小麦群体和单株分蘖有抑制作用,远期效应是可一定程度上促进有效穗的生长,最终提高粒重和产量。本试验的结果在粒重上和余松烈等(1985)研究结果一致,但从产量角度考虑,本研究中的断根措施并没有增加籽粒产量,这可能是由于断根程度、断根方法以及实验条件不同所致。本研究中的断根比例相对较大,尽管根呼吸消耗减少,粒重显著增加,但由于过大的断根比例早期严重影响了根系对水分和养份的吸收,抑制了群体数量,使单位面积的成穗数显著减少,最终并没有使产量得到提高。

3.3 断根对耗水量和水分利用效率的影响

目前关于这方面的研究还很少,柴世伟和刘文兆(2002)田间试验表明,适度断根可以提高玉米

(*Zea mays*)水分利用效率。在小麦方面,董桂菊和刘文兆(2004)的盆栽试验研究认为,苗期断根有助于提高春小麦单叶瞬时水分利用效率。我们的田间试验证明,通过断根措施削减了根系,抑制了群体数量,使冬小麦对土壤水分的消耗减少,改善花后土壤墒情,有利于小麦灌浆。且断根后根呼吸消耗显著下降,减少了无益的碳损耗,使同化产物增加对地上部分分配的比例成为可能。因此,断根措施对单位面积上地上生物量没有造成显著影响,但显著地减少了耗水量,水分利用效率得到显著提高,3个水平的水分利用效率均取得了基本一致的结果。

总之,本研究通过对冬小麦进行返青期断根,减少了表层根量和根呼吸消耗,并在不显著影响产量水平的情况下,减少了土壤水分消耗,提高了水分利用效率,达到了节水增效的目的。但在以籽粒产量与水分利用效率同步提高为目标的旱地农业生产实践中,今后对断根措施还需作进一步研究,以期实现产量和水分利用效率的同步提高。

参 考 文 献

- Chai SW (柴世伟), Liu WZ (刘文兆) (2002). Effect of root-cutting on leaf photosynthesis rate and water use efficiency of maize. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 13, 1716 – 1718. (in Chinese with English abstract)
- Dong GJ (董桂菊), Liu WZ (刘文兆) (2004). Effect of cutting spring wheat roots on the photosynthesis and the water use efficiency. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 12(2), 77 – 79. (in Chinese with English abstract)
- Farquhar GD, Richards RA (1984). Isotopic composition of carbon correlates with water use efficiency of wheat genotypes. *Australian Journal of Plant Physiology*, 11, 539 – 552.
- Hackett C (1971). Relations between the dimensions of the barley root system: effects of mutilating the root axes. *Australian Journal of Biological Sciences*, 24, 1057 – 1064.
- Jackson M (1993). Are plants hormones involved in root to shoot communication? In: Callow JA ed. *Advanced in Botanical Research* 19. Academic Press, London, UK, 103 – 187.
- Kang SZ, Zhang JH (2004). Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequence and impact on water use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 55, 2437 – 2446.
- Kelting DL, Burger JA, Edwards GS (1998). Estimating root respiration, microbial respiration in the rhizosphere and root-free soil respiration in forests. *Soil Biology & Biochemistry*, 30, 961 – 968.
- Lambers H, Atkin OK, Scheureater I (1996). Respiratory patterns in root in relation to their function. In: Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U eds. *Plant Roots: the Hidden Half*. Marcel Dekker, New York, 323 – 362.
- Li FM (李凤民), Zhao SL (赵松岭) (1997). New approaches in researches of water use efficiency in semi-arid area of Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 8, 104 – 109. (in Chinese with English abstract)
- Li FM (李凤民), Guo AH (郭安红), Luo M (雒梅), Zhao SL (赵松岭) (1997). Effect of water supply from deep soil on dry matter production of winter wheat. *Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 8, 575 – 579. (in Chinese with English abstract)
- Liu GS (刘庚山), Guo AH (郭安红), Ren SX (任三学), An SQ (安顺清), Lin RN (林日暖), Zhao HR (赵花荣) (2003). The effect of limited water supply on root growth and soil water use of winter wheat. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 23, 2342 – 2352. (in Chinese with English abstract)
- Liu HS (刘洪升), Li FM (李凤民) (2003). The study of spring wheat root function efficiency under water stress conditions. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 23, 942 – 948. (in Chinese with English abstract)
- Liu HS (刘洪升), Li FM (李凤民), Xu H (徐昊) (2004). Carbon consumption of roots and its relationship to yield formation in spring wheat as affected by soil moisture. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 28, 191 – 197. (in Chinese with English abstract)
- Liu WZ (刘文兆), Li YY (李秧秧) (2003). Effect of crop root-cutting on grain yield and water use efficiency: a review. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 23, 1320 – 1324. (in Chinese with English abstract)
- McCree KJ (1986). Measuring the whole-plant daily carbon balance. *Photosynthetica*, 2, 82 – 93.
- Passioura JB (1983). Roots and drought resistance. *Agricultural Water Management*, 7, 265 – 280.
- Shi Y (石岩), Wei DB (位东斌), Yu ZW (于振文), Yu SL (余松烈) (1999). Effects of deep cultivation-root cutting on dry weight of root system after anthesis and yield on dry land wheat of high yield. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* (华北农学报), 14 (3), 91 – 95. (in Chinese with English abstract)
- Siddique KHM, Belford RK, Tennant D (1990). Root:shoot ratio of old and modern, tall and semidwarf wheat in a Mediterranean environment. *Plant and Soil*, 121, 89 – 98.
- Troughton A (1978). The effect of the prevention of the production of additional root axes on the growth of plants of *Lolium perenne*. *Annals of Botany*, 42, 269 – 276.
- Vysotskaya L, Timergalina L, Simonyan M, Veselov S (2001). Growth rate, IAA and cytokinin content of wheat seedlings after root pruning. *Plant Growth Regulation*, 33, 51 – 57.
- Yu SL (余松烈), Qi XH (齐新华), Liu XY (刘希运) (1985). Studies on the effect on yield increase by deep cultivation-root cutting in winter wheat. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 18(4), 30 – 35. (in Chinese with English abstract)
- Zhao FQ (赵发清) (1996). The uninteresting growth of crops and economical principle of living beings. *Chinese Journal of Ecology*

- (生态学杂志), 15(1), 32-34. (in Chinese with English abstract)
- Zhang DY, Sun GJ, Jiang XH (1999). Donald's ideotype and growth redundancy: a game theoretical analysis. *Field Crops Research*, 61, 179-187.
- Zhang SQ (张岁岐), Shan L (山仑) (2003). Difference of water use efficiency of diploidy wheat species with different chromosome set and its relationship with root system growth. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 29, 569-573. (in Chinese with English abstract)
- Zhang ZB (张正斌), Shan L (山仑) (1997). Comparison study on water use efficiency of wheat flag leaf. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), 42, 1876-1881. (in Chinese with English abstract)
- Zhou XG (周晓果), Jing RL (景蕊莲), Chang XP (昌小平), Zhang ZB (张正斌) (2005). QTL mapping for water use efficiency and related traits in wheat seedling. *Journal of Plant Genetic Resources* (植物遗传资源学报), 6, 20-25. (in Chinese with English abstract)

责任编辑:王政权 责任编辑:刘丽娟

欢迎订阅 欢迎投稿 《草地学报》

《草地学报》是中国科协主管、中国草学会主办、中国农业大学草地研究所承办的学术刊物,是了解草地科学前沿科技、创新成果和草业发展的重要窗口。主要刊登国内外草地科学研究及相关领域的新成果、新理论、新进展,以研究论文为主,兼发少量专稿、综述、简报和博士论文摘要,主要面向从事草地科学、草地生态、草地畜牧业和草坪业及相关领域的高校师生和科研院、所、站的科研人员。稿件要求详见《草地学报》2006年第1、4期刊登的《稿约》。

《草地学报》为“中国科技核心期刊”、《中国科学引文数据库(CSCD)》、《中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)》源期刊,同时为《中国核心期刊(遴选)数据库》、《万方数据-数字化期刊群》、《中国期刊全文数据库(CJFD)》、《中国学术期刊文摘》、《中国生物学文摘》、《中国生物学文献数据库》、《CEPS中文电子期刊》收录,并荣获首届《CAJ-CD规范》执行优秀期刊奖。2004年度《草地学报》影响因子为0.90(他引比为0.81),在所属畜牧兽医学科中排名第二。

《草地学报》2007年改为双月刊,逢单月20日出版,国内外公开发行人,每期定价15元,全年90元。国内邮发代号80-135,国外代号:Q1949。若错过邮订时间,可直接向本刊编辑部订购。

联系地址 北京市海淀区圆明园西路2号中国农业大学《草地学报》编辑部

邮 编 100094

电 话 010-62733894 62732754

E-mail: cdxb@cau.edu.cn http://www.cau.edu.cn/dongke/cdxb