

滴灌次数对冬小麦根系生长及时空分布的影响

薛丽华¹, 谢小清², 段丽娜², 章建新²

(1. 新疆农业科学院粮食作物研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆农业大学农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 以新冬 18 号为材料, 利用双管分根管栽法, 模拟田间试验研究了拔节期后不同滴灌次数 W_1 (6 次)、 W_2 (7 次)、 W_3 (9 次)、 W_4 (11 次) (每次内、外管分别滴 30 mm) 对 0~100 cm 土层含水量, 0~100 cm 土层初、次生根干重和长度、根系活性分布及产量的影响。结果表明, 随滴灌次数及总滴灌量的增加, 0~40 cm 土层的含水量增加, 并延缓该土层的初生根干重和根长的衰减、促进次生根干重和根长增长, 增加孕穗期至花后 20 d 初、次生根干重密度、根长密度及根系活性, 而对 40~100 cm 土层根系的生长影响较小。小麦产量和水分利用效率均以 W_4 最高, 分别为 $25.5\text{ g}\cdot\text{管}^{-1}$ 和 $1.36\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。当滴灌量少、湿润土层浅时, 小麦深层初、次生根生长易受严重抑制, 且根系分布浅, 初生根提前衰老, 导致千粒重降低而减产。

关键词: 滴灌量; 冬小麦; 初生根; 次生根; 根干重; 根长; 时空分布

中图分类号: S275.6; S512.1+1 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)06-0001-09

Effect of drip irrigation on growth, temporal and spatial distribution of root of winter wheat

XUE Li-hua¹, XIE Xiao-qing², DUAN Li-na², ZHANG Jian-xin²

(1. Grain crops Research Institute of the Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, Xinjiang, China;

2. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, 830052, Xinjiang, China)

Abstract: It is well recognized that the roots are much like straws through which water and minerals from the soil move upward to the shoot of the plant. Modifying the function of roots can affect the growth and yield of the aboveground parts. In this study, the influence of four drip irrigation treatment on spatiotemporal root distribution of Xindong18 and yield was investigated in Xinjiang. The four irrigation treatments were six times (W_1), seven times (W_2), nine times (W_3), eleven times (W_4) drip irrigation at post-jointing stage, and inner and outer tube were drip 30mm per times. The study aims to simulate the effect of drip irrigation on water content, dry weight of primary root and lateral root, root length, distribution of root activity and yield at 0~100 cm soil layer during post-jointing stage. Wheat cultivar Xindong 18 was used with dual-tube cultivation including a cylindrical tube concentrically located within a cylindrical plastic tube and thus formed two isolated regions. The results indicated that soil water content in layer of 0~40 cm increased with wheat growth stage and the amount of drip irrigation. Drip irrigation delayed the decay of dry weight of primary root and lateral root and its root length, increased dry weight of lateral root and its root length, and elevated the density of dry weight in primary root and lateral root, root length and root activity from booting stage to 20 days post anthesis. The yield and water use efficiency of wheat were highest with 11 times of irrigation. The growth of primary and lateral root was severely inhibited. The shallow distributed root, advanced aging of primary root, and decreased 1000-grain weight resulted in yield loss as the times and amount of drip irrigation decreased.

Keywords: drip irrigation; winter wheat; primary root; lateral roots; root dry weight; root length; temporal and spatial distribution of root

新疆地处内陆干旱区, 农业生产完全依靠灌溉。 由于灌溉水资源的匮乏, 发展节水农业是必然选择。

收稿日期: 2014-04-11
基金项目: 国家自然科学基金项目(31101121)
作者简介: 薛丽华(1978—), 女, 山东德州人, 博士, 副研究员, 主要从事小麦高产栽培生理研究。E-mail: xuelihua521@126.com。
通信作者: 章建新(1962—)男, 博士生导师, 主要从事粮食作物栽培研究。E-mail: zjxin401@126.com。

滴灌小麦在新疆表现出节水、高产、省工等优点,应用前景广阔,但滴灌小麦田间管理不当易出现群体倒伏、早衰或经济系数下降等情况^[1]。根系的良好生长对地上部的生长发育、群体冠层形成以及抗逆性具有重要的作用。冬小麦初生根自种子发芽起发生、生长,伴随着植株生长发育和分蘖的产生才依次长出不同层次的次生根,此后与初生根同时生长,初生根和次生根各自发挥着不同的生理作用^[2]。初生根在小麦的一生中自始至终起作用^[3]。干旱减少小麦次生根数量,降低根系活性^[4]。少量多次灌溉能够促进冬小麦利用表层土壤中的水分和养分,但中、下层土壤中的水分和养分利用较少^[5]。滴灌春小麦根系研究较多^[6-7],而对滴灌冬小麦根系研究鲜见报道。不同滴灌量对小麦根系形成和时空分布的影响规律不清楚。田间试验不能将初、次生根分开,因此,本文采用双管分根栽培法模拟田间条件,系统地观察了不同滴灌量处理对新冬 18 号的初、次生根根干重、根长度、根活性等时空分布的影响,以期为滴灌小麦节水高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为北疆地区冬小麦主栽品种新冬 18 号。

1.2 试验设计及试验条件

1.2.1 试验方法 试验于 2011—2012 年在新疆农业大学气象站内进行。采用双管分根试验法:内、外管分别用内径 8.0 cm 和 20 cm 的 PVC 管,管长分别为 96 cm 和 100 cm。分别将内、外管垂直纵向剖割平分后再对接复原,用胶带粘管缝并用铁丝箍紧。先将外管垂直、整齐排列于 1 m 深坑里,管用土填实,然后在各外管中心各垂直放入一根内管,内管口

低于外管口 4 cm,内管口加 5 cm 长管套后与外管高度一致,管内填土来自田间。大田 100 cm 土层按每 20 cm 分层取土,共 5 层,分别过筛(1 cm×1 cm)后,按顺序回填(填土前用酒精燃烧法测定各土层含水量,计算每管填土量)至内、外管中。每外管 0~40 cm 土层均匀混入磷酸二铵 2 g,尿素 1.5 g。土壤为壤土,0~20 cm 土层有机质 1.91%,碱解氮 69.8 mg·kg⁻¹,速效磷 48.0 mg·kg⁻¹,速效钾 273.0 mg·kg⁻¹。播前各处理内、外管分别灌水 0.48 kg·管⁻¹、2.53 kg·管⁻¹(内、外管灌水量均按其面积比例确定)。播种前测定各层土壤容重和含水量见表 1。2011 年 9 月 26 日播种,共种 80 管,每管播种 15 粒(沿内管壁播种),播深 3 cm。出苗后每管留齐壮苗 10 株,在三叶期后轻轻取掉内管套,取出少量外管内土,使外管土位低于内管口约 0.5 cm,将麦苗分蘖节分入外管内后覆土,使初生根、次生根(三叶期开始发生)分别在内外管中生长。越冬后(2012 年 4 月),返青至成熟期间遇雨搭塑料棚遮雨。拔节期随水滴入尿素,内、外管分别为 0.48 g·管⁻¹、2.52 g·管⁻¹,6 月 27 日收获。出苗至返青期间的月降水量分布见表 2。

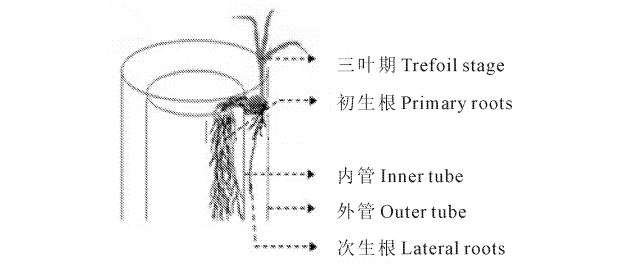


图 1 双管分根图

Fig.1 Schematic diagram of root separating by double tubes

表 1 播前内外管土壤容重及土壤含水量

Table 1 Soil bulk density and water content in inner and outer tube before sowing

测定项目 Items	土层 Soil layers/cm				
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
容重 Soil bulk density/(g·cm ⁻³)	1.16	1.26	1.17	1.31	1.30
含水量 Water content/%	26.7	24.3	23.8	26.1	27.3

表 2 冬小麦出苗至返青期间各月降水量

Table 2 Precipitation between seeding emergence stage and green stage in the years of 2011 and 2012

项目 Item	2011-10	2011-11	2011-12	2012-01	2012-02	2012-03	总计 Total
降水量 Precipitation/mm	36.9	12.7	12.1	9.2	18.4	25.6	114.9

注:资料由新疆维吾尔自治区气象信息中心提供。
Note: Datas in table 2 were provided by Xinjiang Uyghur Autonomous Region Meteorological Information Center.

1.2.2 试验设计 试验自拔节期后,总滴灌量设 W_1 (180 mm,滴 6 次)5.65 kg·管⁻¹、 W_2 (210 mm,滴 7 次)6.59 kg·管⁻¹、 W_3 (270 mm,滴 9 次)8.47 kg·管⁻¹、 W_4 (330 mm,滴 11 次)10.36 kg·管⁻¹ 4 个处理。每处理 20 套管。用输液管模拟滴灌,每次各处理分别滴入内、外管 30 mm(内、外管每次分别滴灌量 0.15 kg·管⁻¹、0.79 kg·管⁻¹,合计 0.94 kg),具体滴灌日期见表 3。

1.3 测定方法

分别在拔节期(4 月 5 日)、孕穗期(5 月 10 日)、开花期(5 月 24 日)、花后 20 d(6 月 13 日)、成熟期(6 月 27 日)取样(每处理取 3 管,沿管缝处将内、外

管豁开)分别测定内、外管各土层(分 5 层,每 20 cm 一层)土壤含水量、根系干重、根长、根系活性。土壤含水量用烘干法测定;内、外管根土分为 5 层后,分别用水冲洗净各层泥土过 0.05 mm 网筛,捡除杂质,取净根样用交叉网格法测定根长度^[4];用 TTC 还原法测定根系活性;在 80℃ 下烘干各处理的净根样并称重,测定根干重,土壤含水量、根活性、根长和根干重测定均重复 3 次。收获时取整管植株测定产量及产量结构(5 管平均值分析)。总耗水量 = 滴灌量 + 降雨量(出苗至返青期间) + 消耗土壤储水量。水分利用效率 = 籽粒重/总耗水量。数据处理采用 Excel 2007 软件及 SAS 8.0 统计分析软件。

表 3 各处理的滴灌日期(月-日)
Table 3 Date of drip irrigation under different water treatments(m-d)

处理 Treatments	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	总水量/mm Total water
W_1	04-29	05-13	05-25	06-02	06-09	06-18	—	—	—	—	—	180
W_2	04-23	05-05	05-15	05-25	06-02	06-08	06-15	—	—	—	—	210
W_3	04-19	04-29	05-07	05-15	05-23	05-31	06-06	06-12	06-18	—	—	270
W_4	04-15	04-23	04-29	05-05	05-11	05-17	05-23	05-29	06-04	06-09	06-16	330

2 结果与分析

2.1 内、外管土壤相对含水量的垂直分布动态

处理间内、外管 0~100 cm 土壤含水量差异显著。滴灌前、后 0~40 cm 土层含水量(图 2)呈现“谷”、“峰”连续变化,处理间同一土层含水量多表现为 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$,同一处理含水量峰值多表现为 0~20 cm 远大于 20~40 cm,并且孕穗后内管含水量明显低于同一土层外管;60~100 cm 土层则呈现持续降低的变化趋势,孕穗后内管处理间含水量的差异明显大于外管,其大小顺序为 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$ 。增加滴灌次数和总滴灌量,对 0~20 cm 土层含水量影响大、20~40 cm 土层影响小、60~100 cm 土层无影响,间接减少 60~100 cm 土层储水消耗量,孕穗前小麦主要依靠初生根吸水,此后耗水逐渐转向以次生根吸水为主(图 3)。

2.2 不同水分处理对初、次生根干重的影响

由表 4 可见,各处理初生根干重在孕穗至开花期间呈迅速降低的变化趋势,处理间差异达显著水平,孕穗期表现为 $W_4(W_3) > W_1(W_2)$,开花期表现为 $W_4 > W_3(W_2) > W_1$;孕穗至开花期各处理次生根干重迅速增加,多在开花期达峰值后缓慢下降,孕穗期、开花期和花后 20 d 次生根干重处理间差异达显著水平,分别表现为 $W_4 > W_3(W_2) > W_1$ 、 $W_4 > W_3$

(W_2 、 W_1)、 $W_4 > W_3(W_2$ 、 $W_1)$;拔节后各处理的初生根与次生根干重比值一直呈下降的趋势,以孕穗至开花期降幅最大,处理间初生根与次生根干重比值差异达显著水平,孕穗期表现为 $W_1 > W_2(W_3) > W_4$ 、开花期表现为 $W_4(W_3$ 、 $W_2) > W_1$;各处理根系总干重在拔节后迅速增加,在开花期达峰值后缓慢下降,处理间根系总干重差异达显著水平,孕穗期、开花期、花后 20 d 分别表现为 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$ 、 $W_4 > W_3(W_2) > W_1$ 、 $W_4 > W_3(W_2$ 、 $W_1)$ 。增加滴灌次数和总滴灌量,显著延缓初生根干重衰减和促进次生根干重增加,增加孕穗期后根系总干重。

2.3 不同水分处理对初、次生根干重密度垂直分布的影响

由图 4 可见,拔节期初生根干重密度在 0~100 cm 土层分布,0~20 cm 土层最大,其次是 20~40 cm 土层,而 40~100 cm 土层分布的很少;孕穗期 0~20 cm 土层的初生根根长密度除 W_4 的较拔节期略增加外,其余处理初生根干重密度多表现为大幅度下降,开花期各处理 0~20 cm 土层的初生根干重密度较孕穗期下降幅度大,而后缓慢下降;孕穗期至花后 20 d 各处理 0~20 cm 土层的初生根干重密度差异显著,多表现为 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$;拔节期次生根干重密度值在 0~20 cm 的土层最大,其余土层的值很小,此后迅速增加,并在开花期达峰值,开花期后缓

慢下降,孕穗期以后 0~40 cm 土层的次生根干重密度差异达显著水平,多表现为 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$ 。随着滴灌次数和总滴灌量的增加,0~40 cm 土层的

初、次生根干重密度显著增加,而对 40~100 cm 土层的影响较小。

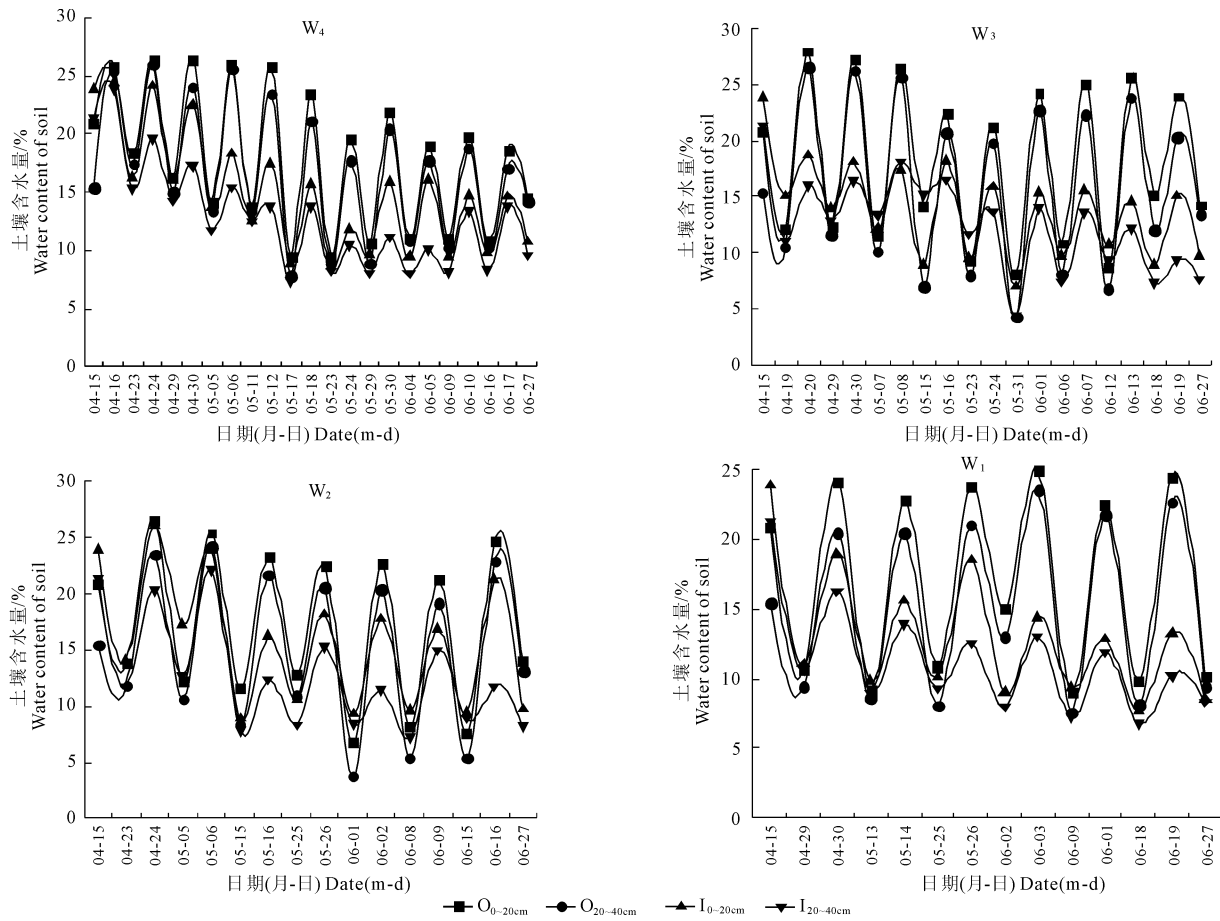


图 2 各处理不同滴灌次数内、外管在 0~40 cm 土层的含水量变化(I—内管,O—外管)
Fig.2 The change of soil water content for the different drip irrigation times among the different treatments in 0~40 cm soil layer (I—inner tube, O—outer tube)

2.4 不同水分处理对初、次生根根长的影响

由表 5 可见,孕穗期除 W_4 初生根长与拔节期接近外, W_1 、 W_2 和 W_3 均较拔节期衰减幅度大,此后各处理初生根长缓慢衰减至成熟期, W_4 处理孕穗期、开花期初生根长显著长于其余各处理;拔节期至开花期各处理次生根根长大幅度增长, W_1 、 W_2 和 W_3 处理的次生根根长均在开花期达峰值后缓慢衰减, W_4 处理根长却增至花后 20 d,孕穗期至成熟期处理间次生根根长差异显著,增加滴灌次数和滴灌总量,显著增加次生根长;各处理孕穗期初生根与次生根长度比值较拔节期大幅降低,而后呈现衰减的趋势。孕穗期前主要是由于初生根迅速衰减和次生根的迅速伸长,孕穗期至开花期则主要是由于次生根的迅速增长。孕穗期初生根与次生根长度比值随灌水量的增加呈现先增后降的变化趋势,孕穗期为 0.35~0.53,开花期 0.24~0.29;除 W_4 处理总根长在花后

20 d 达峰值外,其余处理均在开花期达峰值后下降,孕穗期至成熟期处理间总根长差异显著。增加滴灌次数和总滴灌量,延缓拔节至孕穗期间初生根根长衰减,促进拔节至开花期次生根伸长并使其花后衰减延迟,显著增加初、次生根根长和总根长。

2.5 不同水分处理对初、次生根根长密度垂直分布动态的影响

由图 5 可见,各土层初生根根长密度多在拔节至孕穗期间迅速衰减,孕穗期后缓慢衰减;孕穗期、开花期及花后 20 d 的 0~20 cm 土层的初生根根长密度处理间差异达显著水平,并随着滴灌次数的增加而增加;孕穗期 20~40 cm 土层初生根根长密度也随滴灌次数的增加而增加,开花期和花后 20 d 20~40 cm 土层的初生根根长密度随滴灌次数的增加却呈先增后降的变化趋势,这可能是适度干旱胁迫促使初生根下扎的结果;处理间 40~60 cm 土层初

生根根长密度以孕穗期显著,80~100 cm 土层则以开花期差异显著,均随滴灌次数的增加而增加,其余土层差异不明显。次生根根长密度在拔节期后迅速增加至开花期达峰值后缓慢衰减,孕穗期、开花期、

花后 20 d 和成熟期不同处理 0~20 cm 土层的次生根根长密度差异显著,均随滴灌次数的增加而增加。随着滴灌次数的增加,主要增加孕穗期至花后 20 d 的 0~40 cm 土层的初、次生根根长密度。

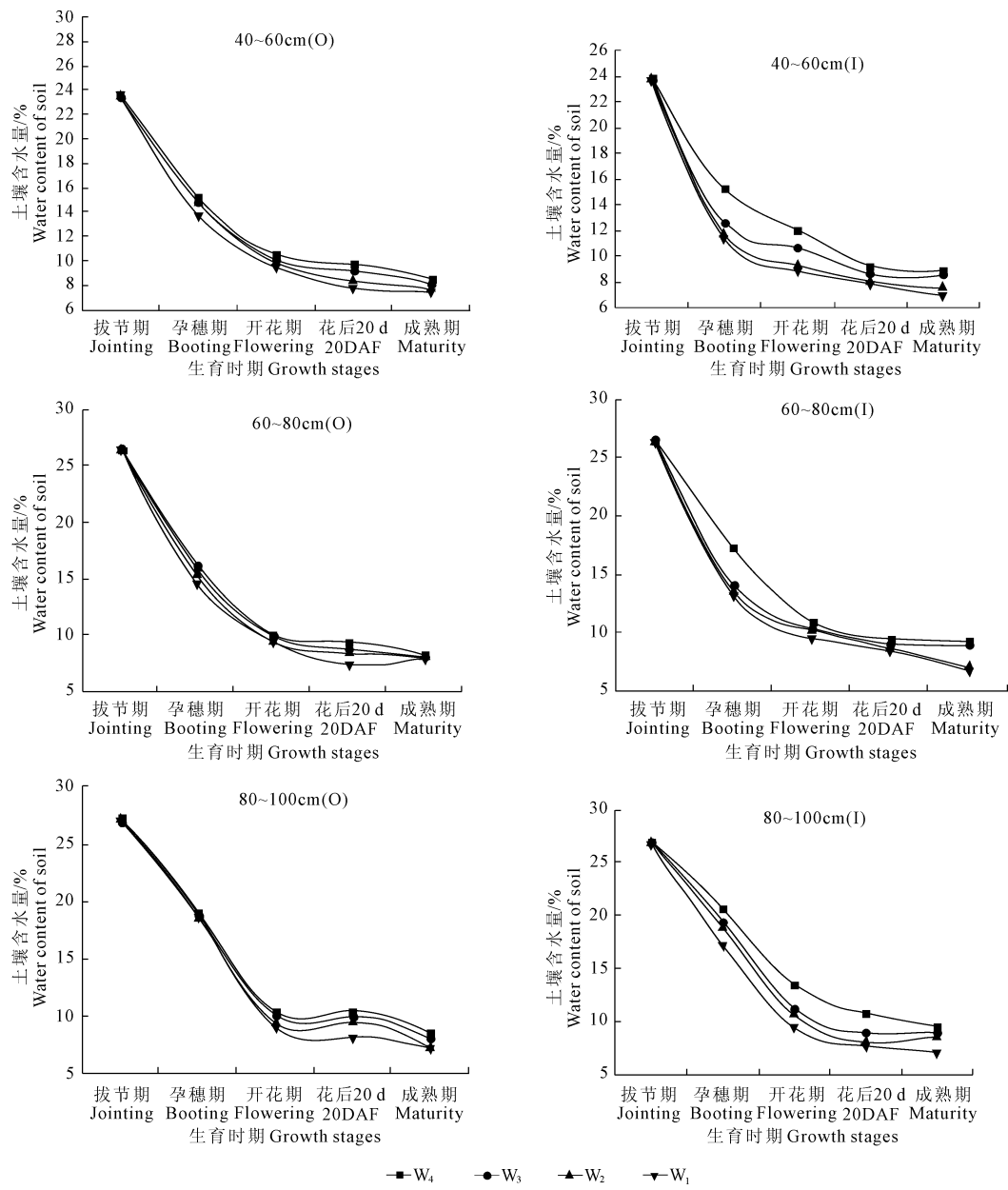


图 3 40~100 cm 土层相对含水量的垂直分布(I—内管,O—外管)

Fig.3 Vertical distribution of soil relative water content in 40~100 cm soil layers (I—inner tube, O—outer tube)

2.6 不同水分处理对根系活性垂直分布的影响

由图 6 可见,拔节期随着土层的增加,初、次生根根系活性均迅速下降;孕穗期处理间各土层初、次生根活性的差异逐渐增大,开花期的差异最大,之后处理间的差异迅速减小;孕穗期、开花期和花后 20 d 处理间 0~40 cm 土层的初、次生根根系活性差异达显著水平,并且次生根活性的差异大于初生根,初、次生根根系活性多表现为 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$;孕穗

期和开花期 40~80 cm 的土层形成一个次生根低活性层,到 80~100 cm 土层根系活性略升,孕穗期和开花期 40~100 cm 土层的初、次生根活性差异显著,也多表现为 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$,自花后 20 d 以后 40~100 cm 土层的初、次生根活性差异不显著。随着滴灌次数(总滴灌量)的增加,显著提高孕穗期至开花期 0~40 cm 土层的初、次生根根系活性,并且次生根活性增幅显著大于初生根。

表 4 不同水分处理初、次生根干重动态

生育 时期 Growth stages		初生根干重/(g·管 ⁻¹) Dry weight of primary root (g·tube ⁻¹)				次生根干重/(g·管 ⁻¹) Dry weight of lateral roots /(g·tube ⁻¹)				初/次 Primary root/ Lateral roots				总干重/(g·管 ⁻¹) Total root dry weight /(g·tube ⁻¹)			
		W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄
拔节期	Jointing	0.58a	0.59a	0.59a	0.60a	0.90a	0.90a	0.90a	0.91a	0.65a	0.65a	0.65a	0.66a	1.48a	1.49a	1.49a	1.50a
孕穗期	Booting	0.54b	0.57b	0.64a	0.68a	1.04c	1.29b	1.52b	1.90a	0.52a	0.44b	0.42b	0.36c	1.58d	1.86bc	2.16b	2.58a
开花期	Flowering	0.33c	0.43b	0.43b	0.50a	1.60b	1.69b	1.75b	1.98a	0.21b	0.25a	0.25a	0.25a	1.93c	2.12b	2.19b	2.48a
花后 20 d	20DAF	0.33a	0.36a	0.35a	0.39a	1.24b	1.31b	1.26b	2.34a	0.26a	0.28a	0.28a	0.17b	1.57b	1.67b	1.61b	2.73a
成熟期	Maturity	0.21a	0.28a	0.27a	0.31a	1.04c	0.98c	1.34b	1.69a	0.21b	0.29a	0.20b	0.18b	1.26c	1.25c	1.62b	2.00a

注:各列数据后不同字母表示在 0.05 和 0.01 水平差异不显著(下同)。
Note: Values followed by the different letter within a column showed significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively. The same as below.

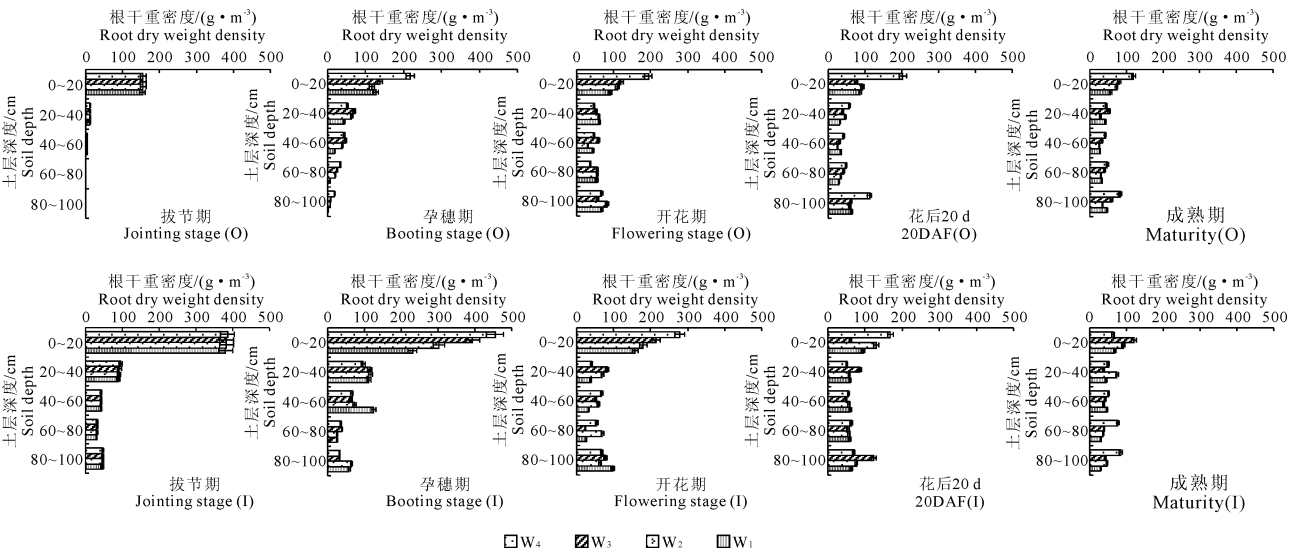


图 4 不同水分处理的初、次生根干重密度动态

Fig.4 Dynamic of dry weight density in primary and lateral roots under different water treatments

表 5 不同水分处理初、次生根长动态

生育 时期 Growth stages		初生根长/(m·管 ⁻¹) Length of primary roots				次生根长/(m·管 ⁻¹) Length of lateral roots				初/次 Primary roots/lateral roots				总长/(m·管 ⁻¹) Total roots length			
		W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄
拔节期	Jointing	26.3a	28.8a	26.7a	25.5a	14.3a	13.7a	13.6a	13.7a	1.84a	2.10a	1.97a	1.86a	40.6a	42.5a	40.2a	39.3a
孕穗期	Booting	11.4b	12.1b	14.6b	25.3a	21.3c	34.8b	39.9b	51.6a	0.53a	0.35c	0.37c	0.49b	32.7c	46.8b	54.5b	76.9a
开花期	Flowering	9.2b	12.7b	13.9b	16.5a	37.7b	40.80b	47.5b	61.2a	0.24c	0.31b	0.29b	0.27a	47.0c	53.5b	61.4b	77.7a
花后 20 d	20DAF	8.6a	11.2a	11.8a	13.9a	32.6d	36.0c	46.4b	72.3a	0.26a	0.31a	0.25b	0.19c	41.2c	47.1b	58.2a	86.2a
成熟期	Maturity	7.9a	9.1a	10.1a	12.7a	32.6d	35.8c	42.8b	66.4a	0.24a	0.26ab	0.24b	0.19b	40.5c	44.9c	52.9b	79.0a

2.7 不同水分处理的产量和水分利用效率

由表 6 可见,随着滴灌次数和总滴灌量的增加,单管穗数、穗粒数、千粒重和单管产量均显著增加,在产量构成因素中,仅千粒重随滴灌量和滴灌次数的增加而不断增加,对水分条件要求最高;并明显提高粒重与花期根干重的比值,并且粒重与初生根重

比值提高幅度远大于与次生根干重比值,W₄ 处理最高,依次为 50.6 g·g⁻¹、12.7 g·g⁻¹;对土壤储水的消耗呈现下降趋势,总耗水量呈现增加趋势,灌溉水的利用效率差异不大,均在 2.5 kg·m⁻³左右,水分利用效率呈现增加的趋势,以 W₄ 处理最高,为 1.36 kg·m⁻³(见表 7)。随着滴灌次数和总滴灌量的增加,明

显增加总耗水量,提高冬小麦的籽粒产量和水分利用效率,千粒重增加对水分条件要求最高。

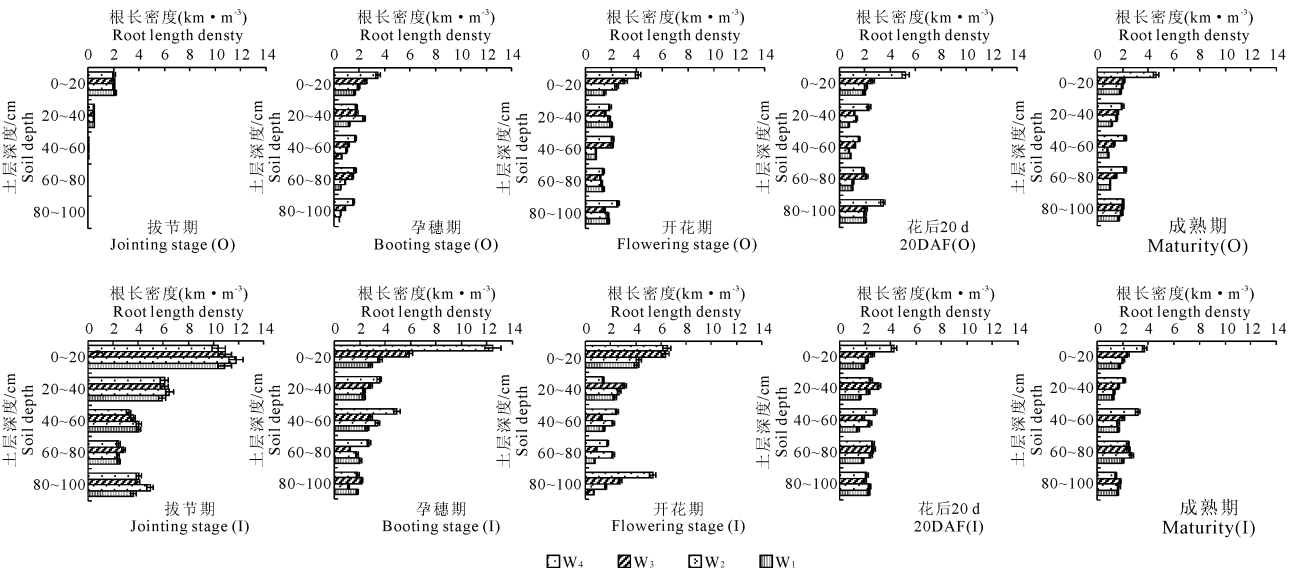


图 5 不同水分处理的初、次生根长密度动态

Fig.5 Dynamic of the root length density in primary and lateral roots under different water treatments

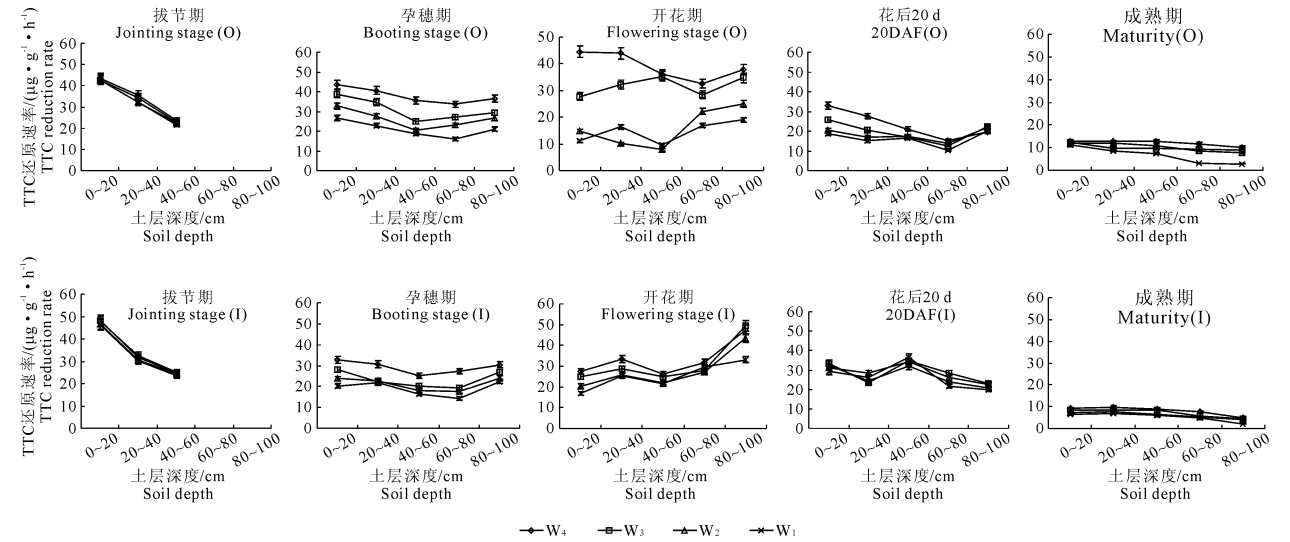


图 6 不同水分处理的初、次生根活性分布动态

Fig.6 Dynamic of the root activity in primary and lateral roots under different water treatments

表 6 不同水分处理的产量及其构成

Table 6 Yield and yield component for different water treatments

处理 Treatments	穗数/(穗·管 ⁻¹) Spike numbers /(spike·tube ⁻¹)	穗粒数 Grain per spike	千粒重/g 1000-seeds- weight	粒重/(g·管 ⁻¹) Seeds weight /(g·tube ⁻¹)	粒重/初 生根重 SW/PRW	粒重/次 生根重 SW/SRW	粒重/总 根重 SW/TRW
W ₁	16.7abAB	28.68aA	29.65dD	14.2dD	40.0bB	8.87bB	7.3bB
W ₂	23.0 aA	23.04bB	31.32cC	16.6cC	38.6bB	10.3bB	7.83bB
W ₃	21.7 aA	28.53aA	35.38bB	21.9bB	50.9aA	12.5aA	10.0aA
W ₄	21.7 aA	29.22aA	39.91aA	25.3aA	50.6aA	12.7aA	10.2aA

注:根重为开花期的总根干重。SW/PRW – 粒重/初生根重; SW/SRW – 粒重/次生根重; SW/TRW – 粒重/总根重。
Note: Root weight was total dry root weight in flowering stage. SW/PRW: Seeds weight/ Primary root weight; SW/SRW: Seeds weight/ Lateral root weight; SW/TRW: Seeds weight/ Total root weight.

表 7 不同水分处理的水分利用效率

Table 7 Water use efficiency under different water treatments

处理 Treatments	总滴灌量 TDWQ /(kg·管 ⁻¹)	降水量 Precipitation /(kg·管 ⁻¹)	土壤储水消耗 SWC/(kg·管 ⁻¹)			总耗水量 TWC /(kg·管 ⁻¹)	灌水利用效率 IUE /(kg·m ⁻³)	水分利用效率 WUE /(kg·m ⁻³)
			内管 Inner tube	外管 Outer tube	合计 Total			
W ₁	5.65	3.60	1.04aA	4.07aA	5.11aA	14.36cC	2.51aA	0.99bB
W ₂	6.59	3.60	0.99aA	3.85bAB	4.84abAB	15.03cC	2.52aA	1.10bB
W ₃	8.47	3.60	0.97aA	3.76bB	4.73bB	16.80bB	2.58aA	1.30aA
W ₄	10.36	3.60	0.94aA	3.65bB	4.59bB	18.55aA	2.44aA	1.36aA

注:TDWQ – 总滴灌量; SWC – 土壤储水消耗; TWC – 总耗水量; IUE – 灌水利用效率; WUE – 水分利用效率。

Note:TDWQ: Total drip irrigation quantities; SWC: Soil water consumption; TWC: Total water consumption; IUE: Irrigation use efficiency; WUE: Water use efficiency.

3 讨 论

根系生长对作物利用土壤中水分以及高产至关重要^[9]。一般认为拔节至开花期是小麦产量对水分敏感的时期^[10]。返青期到拔节期是冬小麦初生根迅速生长的时期,从分蘖开始发生到抽穗开花为止是次生根发生和迅速生长的时期^[8]。胡梦芸等^[9]认为灌拔节水诱导根系发育和下扎,形成“宽深型根型”。水分胁迫次生根长受影响^[11-16],干旱胁迫使初生根根长生长受抑制的水分下限约为田间持水量的 50% 左右^[17-18]。土壤水分过少,降低滴灌春小麦根系过氧化物酶活性;维持田间持水量的 70% ~ 75% 有效促进根系生长及生理功能提高,产量最高^[6]。滴灌控制根区水分状况,进而控制小麦根系生长,促进小麦实现高产和高效水分利用效率^[7]。本试验结果表明,在每次滴 30 mm,在滴水 6 ~ 11 次的范围内,随着滴灌次数和总滴灌量的增加,直接增加 0 ~ 40 cm 土层含水量和该土层拔节期至灌浆期的根量和根活性,粒重与开花期根总重比值也随之增加,依次为 7.3、7.8、10、10.2,并且产量与初生根重比值提高幅度远大于产量与次生根干重比值,说明滴灌量少导致花后单位根重的产量形成能力大幅度降低,初生根的下降幅度远大于次生根,这可能是由于滴灌量少不能补充深层土壤水分的消耗,而使深层初生根受旱害;当拔节至孕穗期供水较少时,就会过早消耗 40 ~ 80 cm 土层土壤水分,导致灌浆期间 40 ~ 80 cm 土层含水量过低受旱害,降低此土层根系活性而呈现早衰现象。滴灌小麦根系分布浅,与膜下滴灌棉花^[19]一样易出现早衰导致千粒重下降。

小麦根系由初生根和次生根组成。小麦初生根形成早、分布深达 200 cm 以上,对小麦生育中、后期的抗旱能力起着至关重要的作用^[8,20-21]。本研究

中,随着滴灌次数和总滴灌量的增加,籽粒产量的增加主要由穗数和千粒重增加(W₂),变为穗粒数和千粒重增加(W₃),再变为千粒重增加(W₄),表明滴灌小麦千粒重对水分条件的要求明显高于穗数和穗粒数。上述产量结构表明,在不增加每次滴灌量的情况下,仅增加滴灌次数并不能改变 40 ~ 80 cm 土层的干旱胁迫状态,使该土层根系生长受严重抑制,植株易出现早衰,缩短灌浆期,导致千粒重降低。可见,建立合理的滴灌制度,如适当增加拔节至开花期间的每次滴灌量,保证一定的土壤湿润深度,以便维持小麦灌浆期间深土层较高的初生根量和根系活性,这对于提高滴灌小麦产量和水分利用效率是十分重要的。有关这方面的问题有待进一步研究。

由于小麦初生根系沿垂直方向生长,虽然在管栽条件下,其时空分布状况与田间栽培相似;而次生根倾向于水平方向生长,管栽因外管壁阻挡和近管壁处的空隙较大,水平方向的生长受到严重限制,垂直方向的生长受到促进,深土层的分布量明显大于田间栽培。此外,由于内、外管的体积不同,可能会对根干重密度和根长密度值产生一定的影响。

4 结 论

每次滴灌 30 mm 直接增加 0 ~ 40 cm 土层含水量;增加滴灌次数,延缓拔节期后初生根干重和根长的衰减、促进次生根干重和根长增长;增加孕穗期至花后 20 d 的 0 ~ 40 cm 土层的初、次生根干重密度、根长密度及根系活性,并大幅度提高小麦籽粒产量和水分利用效率;每次滴灌量少,湿润土层浅,小麦深层初生根生长受抑制,根系分布浅、易早衰,降低千粒重。增加拔节至开花期间的每次滴灌量和总滴灌量对建立小麦合理的根群结构,维持中后期初、次生根正常的生理功能,对提高小麦产量和水分利用

效率有重要作用。

参 考 文 献:

[1] 王荣栋,王新武,符林,等.关于滴灌小麦栽培的几个问题[J].新疆农业科学,2010,47(7):1412-1415.

[2] 陈培元,詹谷宇,谢伯泰.冬小麦根系的研究[J].陕西农业科学,1980,(6):1-6.

[3] 黄祥辉.小麦栽培生理[M].上海:科学技术出版社,1984.

[4] 王晨阳,马元喜.不同土壤水分条件下小麦根系生态生理效应的研究[J].华北农学报,1992,7(4):1-8.

[5] 刘坤,陈新平,张福锁.不同灌溉策略下冬小麦根系的分布与水分养分的空间有效性[J].土壤学报,2003,40(5):697-703.

[6] 王冀川,徐雅丽,高山,等.滴灌小麦根系生理特性及其空间分布[J].西北农业学报,2012,21(5):65-70.

[7] 王冀川,徐雅丽,高山,等.滴灌条件下根区水分对春小麦根系分布特征及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):21-26.

[8] 马元喜.小麦的根[M].北京:中国农业出版社,1999.

[9] 胡梦芸,张正斌,徐萍,等.亏缺灌溉下小麦水分利用效率与光合产物积累运转的相关研究[J].作物学报,2007,33(11):1884-1891.

[10] 冯广龙,罗元培,杨培.节水灌溉对冬小麦干物质分配、灌浆及水分利用效率的影响[J].华北农学报,1998,13(2):11-17.

[11] Mohamed Sahnoune, Ahmed Adda, Samira Soualem, et al. Early water deficit effects on seminal roots morphology in barley[J]. Biologies, 2004,327:389-398.

[12] Ahmed Adda, Mohamed Sahnoune, Meriem Kaid – Harch, et al. Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots[J]. Plant biology and Pathology, 2005,328:918-927.

[13] Hafid R El, Smith D H, Karrou M, et al. Root and shoot growth, water use and water use efficiency of spring durum wheat under early-season drought[J]. Agronomie, 1998,(18):181-195.

[14] Benlaribi M, Monneveux P, Grignac P. Étude des caractères d’enracinement et de leur rôle dans l’adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.)[J]. Agronomie 1990,(10):305-322.

[15] T. Ali Dib, P. Monneveux, Adaptation à la sécheresse emotion d’idéotype chezle blé dur. I. Caractères morphologiques d’ennracinement, Agronomie 1992,(12):371-379.

[16] Murphy C F, Long R C, Nelson L A. Variability of seedling growth characteristics among oat genotypes[J]. Crop Sci, 1982,(22):1005-1009.

[17] Behini H, Daaloul A, Sayar R. Variabilité génétique de quelques paramètres du système racinaire du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous deux régimes hydriques [J], Plant Genet Resour Newslett, 2002,129:25-31.

[18] 薛丽华,段俊杰,王志敏,等.不同水分条件对冬小麦根系时空分布、土壤水分利用和产量的影响[J].生态学报,2010,30(19):5296-5305.

[19] 买文选,田长彦.膜下滴灌棉花早衰发生的可能机制研究一从生长与养分的角度[J].植物营养与肥料学报,2012,18(1):132-138.

[20] Tihonov V E. The role of the number of embryonic roots in spring bread wheats in the semi desert conditions of northern priarale[J]. Byulleton Vsesoyuznogo Ordena Lenina Institute Rastenievodstva I-menin. I Vavibva, 1973,33:3-7.

[21] Tyslenko A M. Effect of root number on yield in spring wheat[J]. Byulleton Vsesoyuznogo Ordena Lenina Iordena Druzhby Narodov Institute Rastenievodstva Imenin. I Vavibva,1981,114:15-17.

[22] Volkmar K M. Water stress nodal roots of wheat: effects on leaf growth[J]. Aust J Plant Physiol, 1997,(24):49-56.

[23] Terzioğlu S, Topuz Y. Effect of chilling on seminal root and seedling growth in some wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars[J]. Turkish J Bot, 1995,(19):173-178.