

# 喷灌条件下冬小麦根系分布 与土壤水分条件的关系

高 鹭, 胡春胜, 陈素英

(中国科学院 遗传与发育生物学研究所, 河北 石家庄 050021)

**摘要:** 根据喷灌水分在土壤中的分布特点, 研究了不同灌水定额下冬小麦根系生长规律和分布状况. 结果表明: 同地面灌相比, 喷灌条件下作物根系相对集中于表层, 有上移现象, 喷灌更适合作物生长需要, 可提高水分的利用率; 根长密度不论是在拔节期还是在收获时其最大值总是在 20 cm 深度, 在剖面上的垂直分布随深度增加而递减; 不同灌水处理下根系的衰亡速率出现差异, 灌水量大根系的衰亡速率较小, 在灌水总量相近的情况下, 表层能较长时间保持湿润的处理, 其根系衰亡速率要小, 总体根系的衰亡主要表现为表层根系的衰亡; 在该试验的 3 个灌溉水平下, 小麦拔节期和收获时各处理不同层次的根干质量无显著性差异.

**关键词:** 喷灌; 冬小麦; 根系生长; 根系分布

中图分类号: S274.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-414X (2006) 04-0005-04

## The Relationship Between Soil Water Content and Root Distribution of Winter Wheat Under Sprinkling Irrigation Condition

GAO Lu, HU Chun-sheng, CHEN Su-ying

(Institute of Genetics and Developmental Biology, the Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract** Based on soil moisture distribution under sprinkler irrigation, the root growth and distribution of winter wheat under different irrigation conditions were studied. The results show that sprinkling irrigation is more useful for the plants' growing and can also increase the efficient utilization of water. Under sprinkling irrigation, the root of the plant concentrates on the upper soil and tends to move up. Both of jointing stage and ripening stage, the maximum of root length density appears on the 20 cm layer and root length density decreases with the increases of the depth under 20 cm. The root's death rate is different under different water treatments. The death of the root is mainly occurred on the surface of soil. When analyzing the root dry mass of different layers of the three treatments in jointing and ripening stages, the difference isn't significant.

**Key words** sprinkler irrigation; winter wheat; root growth; root distribution

根系生长分布对水土环境十分敏感, 土体水量分布状况与根系空间分布极为一致, 不同的土壤水分分布产生不同的根系分布, 根系分布量随含水量减少相应降低<sup>[1-3]</sup>. 与地面灌相比, 喷灌灌水定额较小, 每次灌水湿润土层也较浅, 这样作物根系相对集中在土壤表层. 根系的这种分布有利于尽快吸收土

壤上层的水分, 与蒸发失水进行竞争, 减少棵间蒸发损失<sup>[4-6]</sup>. 根系分布的变化影响了作物根系吸水和作物耗水规律的变化, 进而影响作物的灌溉制度<sup>[7-9]</sup>. 根据根系对土壤水分吸收利用特点建立节水高效灌水制度是提高农田土壤水分利用效率的一条重要途径<sup>[10]</sup>. 本文旨在研究不同喷灌灌水定额条件

收稿日期: 2005-01-12

作者简介: 高 鹭 (1977-), 女, 博士研究生, E-mail: gao@igsnr.ac.cn

基金项目: 国家科技部攻关计划 (2004BA520A14-C09)

下冬小麦根系生长和分布规律的异同,从而为更加准确地建立根系吸水模型,实现作物的精确灌溉和精确施肥等农业措施提供科学的依据<sup>[11-12]</sup>.

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2002 年春季在中国科学院栾城农业生态系统试验站喷灌区进行. 该站位于太行山山前平原高产农区,区域内地势平坦开阔,土层深厚,有机质含量较高,主要作物是冬小麦和夏玉米. 供试作物为冬小麦,于 10 月 7 日播种,次年 6 月 13 日收获,其田间管理与当地大田水平一致,生育期间的降水量为 134.8 mm,越冬前灌水 59.3 mm. 试验地面积为 200.0 m×15.8 m,设 A、B、C 3 个处理(A. 分别在 3 月 9 日、4 月 19 日、5 月 3 日、5 月 28 日灌水 50 mm; B. 分别在 3 月 9 日、4 月 19 日、5 月 4 日、5 月 28 日灌水 40 mm; C. 分别在 3 月 9 日、4 月 13 日、4 月 23 日、5 月 14 日、5 月 29 日灌水 30 mm),每个处理设 3 次重复,共 9 个小区,小区面积为 12 m×12 m,在冬小麦返青后开始分处理灌溉,3 个处理的总灌水量由大到小分别为 200、160、150 mm. 各处理施肥量为同一水平,底肥施磷酸二氢铵 375 kg/Am<sup>2</sup>,返青追肥量为尿素 285 kg/Am<sup>2</sup>.

1.2 观测项目

选用根钻( $d=70\text{ mm}$ ,  $h=100\text{ mm}$ )测取根样,于小麦的拔节期(4 月 11 号)和收获时(6 月 7 号)在每个小区中选定 1 个取样点,每个点的垄上和垄间分别打孔取土,每 10 cm 为 1 层. 取回的含根土样立即浸泡于水中,浸泡 10~12 h 后用筛网冲洗,然后拣出死根和杂质用网格交叉法测定根长,而后放入 70℃ 的恒温箱中烘干称干质量. 每隔 10 d 用土钻取土,烘干测定土壤含水率,每个小区测定 1 个点,测定层次分别为 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm. 小麦成熟时,人工收割,脱粒,风干后测定籽粒产量,并进行考种分析.

2 结果与分析

2.1 喷灌条件下土壤水分分布规律

图 1 显示了喷灌条件下各处理在灌溉前后的土壤含水量在土体中的分布,由于各处理此次灌水前的灌溉水量不同并且表层土壤受外界条件影响较大,所以处理间差异较大;而刚刚灌水后表层含水量较高且水分分布均匀,所以处理间含水量差异小. 图中可明显看出喷灌的湿润层深度处于 60 cm 处,因

为在灌溉前后,各处理 60 cm 以上土层含水率出现明显变化,而 60 cm 以下土壤含水率的变化甚微. 这表明喷灌不会产生深层的水分渗漏,能满足小麦根系的吸水需求,提高水分利用率,达到节水的目的.

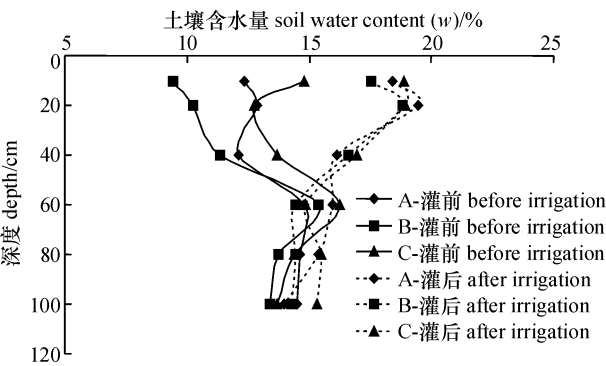


图 1 不同灌水处理灌水前后土壤含水量的垂直分布  
Fig 1 Variation of vertical distribution of soil moisture content after irrigation

2.2 不同灌水处理下根长密度分布规律

作物根系生长和土壤水分密切相关,不同的土壤水分分布产生不同的根系分布. 从图 2 可看出根长密度不论是在拔节期还是在收获时其最大值总是在 20 cm 深度,在剖面上的垂直分布随深度增加而递减. 比较拔节期和收获时各处理的根长密度可看出,在拔节期处理间的根长密度在 0~10 和 10~20 cm 2 个层次差异明显,20 cm 以下处理间的差异则不明显;到收获时处理间根长密度的差异则与拔节期相反,为表层处理间差异极小,深层处理间差异明显.

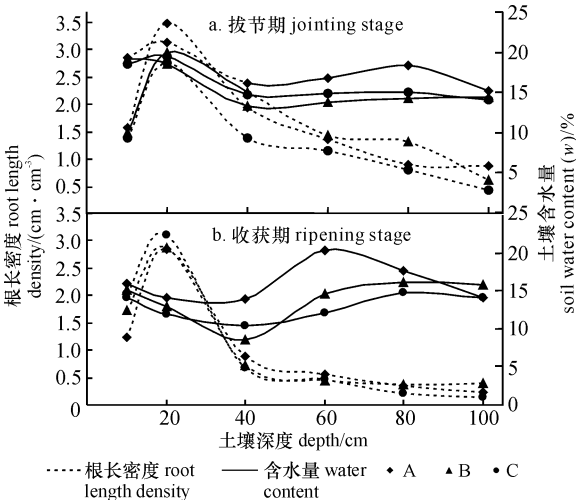


图 2 不同灌水处理下的根长密度和土壤含水量  
Fig 2 Root length density and soil water content of different treatments

对不同层次土壤含水量与各层次根长密度的相

关性进行分析, 结果表明, 拔节期根系生长旺盛, 对水分需求量较多受水分状况影响大, 拔节期 30 ~ 40 cm 根长密度与 10 ~ 20、60 ~ 80 cm 土壤含水量相关性均显著 (分别为 0.694<sup>\*</sup> 和 0.821<sup>\*\*</sup>), 50 ~ 60 cm 的根长密度与相应层次的土壤含水量关系极为密切, 达到极显著相关 (0.917<sup>\*\*</sup>), 深层根系则与土壤含水量相关性不明显; 而到收获时, 浅层根系几乎停止生长, 受土壤含水量影响很小, 二者无相关性, 只有深层根系 (90 ~ 100 cm) 与相应深度 (60 ~ 80 cm) 的土壤含水量有一定的显著相关 (0.762<sup>\*</sup>). 可见在不同生育时期内根系生长受土壤含水量的影响均不同.

由于灌溉量的不同, 实际分布于各土层的水量也不同, 在拔节期内随灌水量的减小, 其表层根长占 1 m<sup>3</sup> 土体内总根长的比例要增大, 深层则比例减小.

即根系相对集中于表层, 有上移现象 (表 1). 收获期与拔节期不同的是各处理每层根长密度的比值均发生变化, 由于根系衰亡的原因, 与拔节期相比, 其比例均相应减小, C 处理表层的比例仍大于其他 2 个处理, A 处理的比值大于 B 处理, 说明在不同的灌水量下, 最终形成的根系是表层根量随灌水量的增大而增大. 根系的衰亡速率不同, 也导致不同处理的表层根长密度与 1 m 土体根长密度的比值有所差异. 处理 A 和处理 B 相比, 灌水时间和次数相同, 只是灌水量分别为 200 和 160 mm, 可以看出处理 A 由于生育期间较高的含水量其根系衰亡速率要小于处理 B. 处理 B 比处理 C 少 1 次灌水, 但总的灌水量只比其多 10 mm, 处理 C 在灌水次数多的情况下, 其表层保持湿润的时间要长于处理 B, 因此它表层的比值要大于处理 B 的相应层次的比值.

表 1 各处理不同层次根长密度与 1 m<sup>3</sup> 土体根长密度的比值  
Tab. 1 The root length density proportion of each layer to 1 cubic meter soil

深度 depth /cm	处理 A treatment A		处理 B treatment B		处理 C treatment C	
	拔节期	收获	拔节期	收获	拔节期	收获
	jointing stage	ripening stage	jointing stage	ripening stage	jointing stage	ripening stage
0 ~ 10	0.15	0.10	0.20	0.10	0.25	0.12
10 ~ 20	0.35	0.23	0.34	0.19	0.38	0.24
20 ~ 30	0.15	0.15	0.11	0.21	0.12	0.16
30 ~ 40	0.07	0.10	0.07	0.08	0.05	0.07
40 ~ 50	0.05	0.11	0.04	0.08	0.07	0.10
50 ~ 60	0.09	0.06	0.06	0.10	0.04	0.09
60 ~ 70	0.06	0.06	0.05	0.08	0.03	0.07
70 ~ 80	0.03	0.06	0.04	0.09	0.03	0.06
80 ~ 90	0.03	0.07	0.05	0.07	0.01	0.05
90 ~ 100	0.03	0.04	0.04	0.01	0.02	0.02

比较拔节期和收获时各处理不同层次的根长密度 (图 3), 可看出每个处理 0 ~ 10、10 ~ 20 cm 2 个层次在拔节期的根长密度均大于收获时, 20 cm 以下则小于收获时的根长密度, 体现了在不同层次根系的变化是不同的.

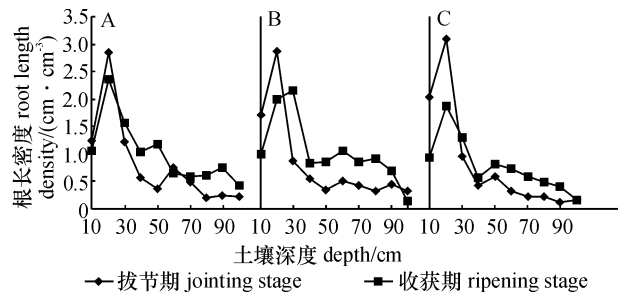


图 3 各处理在拔节期和收获时根长密度的对比  
Fig 3 The comparison of root length density between jointing stage and ripening stage

2.3 不同灌水处理下根干质量的比较

喷灌灌水周期较短, 灌水定额较小, 水分在浅层分布较多, 而深层一直处于较低的水分状况, 因此根系相对地集中在中上层. 而在地面灌情况下, 土壤水湿润层可达 100 cm, 这有利于根系在土壤深层的生长. 从图 4 可看出 3 个处理 0 ~ 10 和 10 ~ 20 cm 2 个层次的根干质量在拔节期分别随灌水量的减小而呈增加趋势, 40 cm 以下土层各处理的根质量变化微小, 处理间在每个层次上的差异也较小; 收获时这 2 个层次的根干质量总体低于拔节期, 处理间为根质量随着灌水量的减少而减少, 40 cm 以下土层处理间差异小, 进行单向分组资料的方差分析, 结果表明在本试验的 3 个灌溉水平下, 小麦拔节期和收获时各处理间不同层次的根干质量无显著性差异. 比较拔节期和收获时根系分布的差异, 可以看出 0 ~ 10 和 10 ~ 20 cm 2 个层次在拔节期的根干质量要大于收

获时的根干质量,下部土体的根干质量则差别很小,可以说拔节期和收获时 40 cm 以下的根系分布没有太大区别。说明在喷灌条件下不同灌水量对根系生长的影响主要集中在 40 cm 以上部分,对下部土体的根系生长不会产生太大影响。

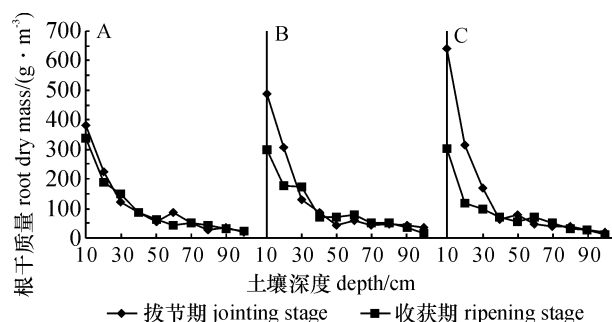


图 4 各处理在拔节期和收获时根干质量

Fig 4 Root dry mass of wheat of different treatments of jointing stage and ripening stage

处理 C 在拔节期的总根干质量 ( $143.0 \text{ g m}^{-2}$ ) 明显大于其他 2 个处理 (A 为  $108.5 \text{ g m}^{-2}$ , B 为  $128.7 \text{ g m}^{-2}$ ), 表现为随灌水量的减小 1 m 土体内的根干质量反而增大, 但到收获时, 处理 A ( $101.4 \text{ g m}^{-2}$ )、B ( $102.1 \text{ g m}^{-2}$ ) 间差异减小, 处理 C 的根干质量 ( $83.9 \text{ g m}^{-2}$ ) 则变为最小, 表明在不同灌水处理下根系的衰亡速率出现差异, 灌水量大根系的衰亡速率较小; 总体根系的衰亡主要表现为表层根系的衰亡。

### 3 结论

同地面灌相比, 喷灌灌水定额较小, 水分多存储于较上部的土层中, 湿润层深度一般不超过 60 cm, 这种灌溉方式不会产生深层的水分渗漏, 但能满足小麦根系的吸水及作物蒸腾需水要求, 提高水分的利用率<sup>[13]</sup>。与地面灌溉相比, 喷灌条件下作物根系相对集中于表层, 有上移现象。喷灌条件下不同灌水量对根系生长的影响主要集中在 40 cm 以上部分, 对下部土体的根系生长不会产生太大影响。在本试验的 3 个灌溉水平下, 小麦拔节期和收获时各处理不同层次的根干质量无显著性差异。

根长密度不论是在拔节期还是在收获时其最大值总是在 20 cm 深度, 在剖面上的垂直分布随深度增加而递减。不同灌水处理下根系的衰亡速率出现差异, 灌水量大根系的衰亡速率较小; 总体根系的衰亡主要表现为表层根系的衰亡, 在灌水总量相近的情况下, 表层能较长时间保持湿润的处理其根系衰亡速率要小。在不同的灌水量下, 最终形成的根系是表层根量随灌水量的增大而增大, 不同生育期根系

生长受灌水量的影响也不同。

不同的土壤水分分布产生不同的根系分布, 根系分布的变化影响了作物根系吸水和作物耗水规律的变化, 进而影响作物的灌溉制度, 根据根系对土壤水分吸收利用特点建立节水高效灌水制度是提高农田土壤水分利用效率的一条重要途径。

#### 参考文献:

- [1] 杨贵羽, 罗远培, 李保国, 等. 不同土壤水分处理对冬小麦根冠生长的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2003 21 (3): 104-109.
- [2] 张喜英, 袁小良. 冬小麦根系吸水与土壤水分条件关系的田间试验研究 [J]. 华北农学报, 1995 10 (4): 99-104.
- [3] 张喜英. 作物根系与土壤水利用 [M]. 北京: 气象出版社, 1999 141-167.
- [4] 杨培岭, 罗远培. 冬小麦根系形态的分形特征 [J]. 科学通报, 1994 39 (20): 1911-1913.
- [5] 刘庚山, 郭安红, 任三学, 等. 人工控制有限供水对冬小麦根系生长及土壤水分利用的影响 [J]. 生态学报, 2003 23 (11): 2342-2352.
- [6] 冯广龙, 刘昌明. 人工控制土壤水分剖面调控根系分布的研究 [J]. 地理学报, 1997 52 (5): 461-467.
- [7] 王志芬, 陈学留, 余美炎, 等. 大田冬小麦根系吸收活力的空间分布及其变化动态的研究 [J]. 作物学报, 1998 24 (3): 354-360.
- [8] 张忠学, 于贵瑞. 不同灌水处理对冬小麦生长及水分利用效率的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2003 22 (2): 1-4.
- [9] 刘坤, 陈新平, 张福锁, 等. 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.
- [10] 谢森传, 惠士博, 杜永孝, 等. 喷灌条件下冬小麦田间水分管理理论和技术研究 [J]. 北京水利, 1994 (3): 48-55.
- [11] PROFFITT A P B, BERLNER P R, OSTERHUIS D M. A comparative study of root distribution and water extraction efficiency by wheat grown under high and low irrigation [J]. Agronomy Journal, 1985 77 (5): 655-662.
- [12] KAETTERER T, HANSSON A G, ANDERN O. Wheat root biomass and nitrogen dynamics: Effects of daily irrigation and fertilization [J]. Plant and Soil, 1993 151: 21-30.
- [13] 刘海军, 龚时宏, 王广兴. 喷灌和地面灌条件下冬小麦根系分布特点的研究 [J]. 农业工程学报, 2000 16 (5): 34-37.

【责任编辑 周志红】