

DOI:10.11937/bfyy.201703042

## 不同灌溉方式下果园土壤水分 分布规律及合理灌溉研究

魏雅芬<sup>1,2</sup>, 张春满<sup>3</sup>, 王颖<sup>1</sup>, 诸钧<sup>4</sup>, 金基石<sup>4</sup>

(1. 北京林业大学 林学院, 北京 100083; 2. 北京林学会, 北京 100029; 3. 北京市密云区东部渠镇林业站, 北京 101501;  
4. 北京普泉科技有限公司, 北京 100044)

**摘要:**以矮化密植“工藤富士”苹果树为研究对象,通过大田滴灌和痕量灌溉对比试验,研究2种不同灌溉方式及痕量灌溉2种不同灌水定额下,果园土壤水分的分布规律以及灌溉水的利用率,并结合果树实际水分需求,确定合理的灌溉方式、灌水定额、灌溉频率。结果表明:灌水流量相等情况下,痕量灌溉的灌溉水利用率高于滴灌;苹果树痕量灌溉适宜的灌水定额为12 L·株<sup>-1</sup>,流量0.2 L·h<sup>-1</sup>,灌水频率约3~4 d一次。

**关键词:**灌溉方式;果园;滴灌;痕量灌溉

**中图分类号:**S 66.605 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)03-0178-04

随着全球气候变化、城市扩张和工业发展,作为世界超级大都市的北京,正面临着严重的水资源不足,全市人均水资源量约300 m<sup>3</sup>,远低于世界人均1 000 m<sup>3</sup>的世界重度缺水标准。由于北京非首都功能的纾解、产业结构的调整和优化升级,城市园林绿化及果园逐渐成为城市用水的大户<sup>[1-2]</sup>。据统计“十一五”期间城区园林绿化每年耗水量近4亿t,占年用水总量的12%以上。根据北京市城市总体规划,截至2020年,全市林木覆盖率达到55%,林地需水量将进一步增加。

2015年,全市果树面积达13.33万hm<sup>2</sup>,约占林木总量的9%,占森林覆盖率的20%。这些果树在发挥着显著生态效益及为果农带来良好经济效益的同时,也进一步加剧了水资源的供需失衡。然而,以往受经济条件影响,滴灌、渗灌等节水措施在果园中的应用很少,大水漫灌较为普遍,水资源浪费严重。

面对严峻的水资源危机,果树高效节水灌溉及栽培技术逐渐发展并日趋成熟。掌握果树需水规律,开发、改进节水灌溉设备,集成、运用现代节水灌溉技术,已成为新时期果树节水灌溉的发展趋势<sup>[3]</sup>。

痕量灌溉技术是一种新型的地下灌溉技术,它不但解决了滴灌滴头堵塞的问题,更能以微小的出水量持续不断的为植物供水,既符合植物自然的需水规律,又避免了不必要的蒸发和渗漏损失,极大地提高了水分利用效率<sup>[4]</sup>。痕量灌溉技术先后在露地、温室大棚的作物及蔬菜栽培中取得了显著成效<sup>[5-6]</sup>,在果树等经济林木的栽培及园林绿化中也有着广阔的应用前景<sup>[7-8]</sup>。然而,由于缺少对常见果树及绿化树种痕量灌溉的试验与系统研究,使痕量灌溉在林业方面的推广应用受到限制。

该试验通过大田试验,对比滴灌、痕量灌溉2种不同灌溉方式及痕量灌溉不同灌水定额下,苹果园土壤水分分布及深层土壤水分的补给情况,探讨不同灌溉方式及相同灌溉方式不同灌水定额的灌溉水利用率,并结合试验期间的气象条件及实际蒸散量,确定合理的灌溉方式、灌水定额、灌溉频率,以期为

**第一作者简介:**魏雅芬(1981-),女,博士,研究方向为植物生理生态及林木节水灌溉。E-mail:yafenwei@163.com。

**基金项目:**北京市科委绿色通道资助项目(Z141100006014061)。

**收稿日期:**2016-09-26

a major limiting factor in soil fertility. The soil synthetical fertility showed that, Yinchuan Forest Farm>Luhuatai Forest Farm>Zhenbeibu>Changyu vineyard. Appropriate increase of organic fertilizer, proper amount of nitrogen fertilizer and balanced fertilization was an important link to improve the quality of grape.

**Keywords:** soil nutrients; grape; integrated evaluation; Nemerow index method; east piedmont of Helan Mountains

制定苹果树痕量灌溉制度提供数据支持,并为北京典型果树节水灌溉、果树产业结构调整及水资源利用效率提高提供参考依据,进而缓解北京的水资源短缺问题,改善首都生态环境,提升果树种植管理水平,改善果品品质,促进果农增收服务。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地点位于中国农业大学通州区农业节水试验站(东经 116°41'02",北纬 39°42'07"),位于永定河和潮白河冲击平原,地势平坦,年均降水量 550~600 mm,年均气温 11.4~12.4 ℃。试验期间的气温、降水、辐射等数据,来源于通州试验站的自动气象观测系统。试验区土层深厚,表层 100 cm 土壤为砂壤土,地下水埋藏较深。

### 1.2 试验材料

供试“王藤富士”苹果树为 2015 年春季移栽的 3 年生苗,矮化密植,株行距 1 m×3 m。苹果树长势良好,平均树高 1.8 m、地径 21.7 cm、冠幅 0.7 m×0.7 m。根系集中分布在距地表 50 cm 的土层内。

### 1.3 试验方法

2015 年 3 月下旬果树移栽定植后,灌展叶水,并配套安装滴灌系统,用于果树田间水分管理。整个生育期利用滴灌系统,根据现有的苹果树耗水量研究结果及果树实际生长情况进行灌溉。11 月上旬上冻前灌溉一次防冻水,冬季停止灌水,直至翌年早春。

2015 年 6 月,在样地内原有的灌溉系统基础上进行改造,并布设单独可控的灌溉系统以满足试验要求。试验共设滴灌、痕量灌溉 2 种不同灌溉方式,又设与滴灌等量和 80%滴灌灌水量 2 个灌水定额(H1,H2),详见表 1。流量相等条件下,通过控制痕量灌溉的持续时间来实现灌水量的差异。共 3 个处理,每处理设置 3 次重复,共 9 个试验小区。

灌溉系统由水泵、过滤系统、管道系统等组成,主管道垂直树木走向铺设,毛管沿树木走向在树干基部两侧 50 cm 的地方各铺设一条,运行压力 0.1 MPa。滴灌带安装在地表,出水口间距 30 cm,单个出水口的流量为 2 L·h<sup>-1</sup>。痕量灌溉管理深 30 cm,出水口间距 33 cm,单个出水口的流量为 200 mL·h<sup>-1</sup>,每 10 d 打开灌溉系统尾部冲洗一次管道。每个试验小区单独安装流量计及控水阀以便于操作,每次灌水达到定额后,先将每个试验小区的控水阀门关闭,再关闭首部管道阀门,记下灌水日期、持续时间等详细

信息。每个小区包括 12 株果树,面积 36 m<sup>2</sup>,小区最外侧 2 株作为保护株,防止水分侧渗对试验结果产生影响。试验开始前,在每个小区内预埋一根 Trime 土壤水分速测探管,规格 1 m。

8 月 6 日灌水试验正式开始,苹果正处于对水分十分敏感的果实膨大期(7 月末至 8 月下旬),当土壤含水量达到田间持水量的 70%~75%时,进行灌溉。各处理的灌水定额、持续时间见表 1。

表 1 各处理灌溉定额及持续时间

Table 1 Irrigation quota and lasting time of different treatments

处理 Treatment	D	H1	H2
灌水定额 Quota/(L·株 <sup>-1</sup> )	12	12	10
持续时间 Lasting time/h	1	10	8

### 1.4 项目测定

1.4.1 田间持水量、容重及空隙率 在苹果树种植行间随机选取 3 个点,挖土壤剖面,规格 1.5 m×1.5 m×1.0 m,用环刀按照 0~50 cm 每 10 cm 1 层,50~70 cm 1 层分层取土。取好的样品带回实验室,浸泡 24 h 后置于沙盘上控水,直至土壤水分平衡,用天平称取环刀及湿土的质量( $w_1$ ,g)。然后,将环刀盖取下,放入烘箱,在 75 ℃下连续烘干 24 h。烘干后再次称重( $w_2$ (g)=环刀+干土质量),并称取环刀质量( $w_3$ ,g)。根据称重结果,计算土壤田间持水量( $w_1-w_3$ ,g)、容重( $w_2-w_3$ ,g)。

1.4.2 土壤含水量测定及天气情况 灌溉前按照既定试验方案用时域反射仪(TDR,TRIME-FM 土壤剖面水分速测仪)测定各试验小区的土壤含水量,灌水结束后 12 h 测定灌水后的土壤含水量。测定深度从地表至地下 50 cm,每 10 cm 为 1 层,50~70 cm 为 1 层,共 6 层。如遇降雨,降雨结束后增加一次土壤含水量测定。定期用烘干称重法对 Trime 测定结果进行校正。

### 1.5 数据分析

采用 SPSS 15.0 软件对数据进行统计分析,采用 Sigmaplot 10.0 软件制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 田间持水量及土壤容重

由表 2 可知,0~70 cm 的土壤田间持水量在 19.46%~22.98%,田间持水量随土壤深度增大而减小,表层 10 cm 的田间持水量显著高于其它深度。土壤容重随深度增加先增大后减小,表层 0~10 cm 容重显著小于其它深度,为 1.45 g·cm<sup>-3</sup>,20~30 cm 容重最大,为 1.60 g·cm<sup>-3</sup>,随后土壤容重减小,40~

表 2 不同深度土壤田间持水量、容重

Table 2 Field water capacity and bulk density of soil from different soil depth

指标 Index	土层深度 Soil depth/cm					
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~70
田间持水量 Field water capacity/%	22.98±0.80*	20.59±0.60	19.46±0.50	19.50±0.49	19.98±0.28	19.79±0.21
容重 Bulk density/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.45±0.04*	1.56±0.03	1.60±0.05	1.60±0.02	1.55±0.03	1.55±0.01

50 cm 与 50~70 cm 容重基本一致。

## 2.2 不同灌水条件下的土壤水分状况

由图 1 可知,试验期间气温较高,日平均气温维持在 25℃ 以上。除去 8 月 6、7、14 日阴天外,每日平均总短波辐射(short wave radiation,  $R_s$ ) 大于 16 MJ, 最高值达到 20.5 MJ。高温、高辐射强度伴随着高的潜在蒸发,而这一阶段仅 8 月 7 日发生一次 2.8 mm 降雨。

从图 2 可以看出,8 月 6 日各处理 0~70 cm 土壤含水量较高,除表层 10 cm 外,各层的土壤含水量均在田间持水量的 75% 以上。试验区的土壤含水量均一性高,各处理间的差异不显著。经过连续多日的蒸散消耗,截至 8 月 14 日,土壤含水量均达到灌水下限(<田间持水量 75%)。

8 月 16 日,灌水后 12 h 后,3 个处理的剖面土壤含水量差异较大。滴灌处理只有表层 20 cm 的土壤含水量明显升高,20 cm 以下土壤含水量没有明显变

化。H1 表层 20 cm 的土壤含水量比灌水前进一步下降,而深层含水量显著上升。受灌水量影响,H2 只有 20~40 cm 的土壤含水量明显升高,40 cm 以下的土壤含水量几乎保持不变。

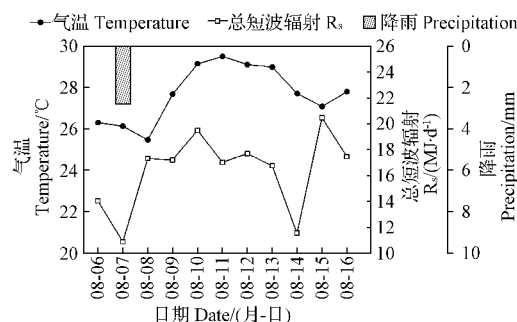


图 1 试验期间的日平均气温、总短波辐射及降雨

Fig. 1 Daily average value of temperature,  $R_s$  and precipitation during observation

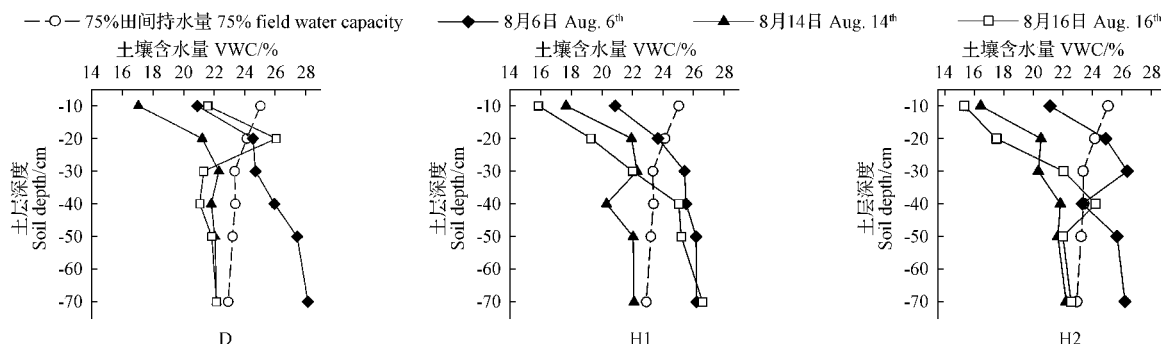


图 2 各处理灌水前后的土壤含水量

Fig. 2 Variation of volumetric water content before and after irrigation

## 3 结论与讨论

不同灌溉方式、灌水量对土壤水分的补给情况存在较大差异。D 由于管道位于地表,灌水后只有表层 20 cm 的土壤含水量得到有效的补充,土壤储水量增加约 8.5 mm,而 20 cm 以下并没有明显的水分入渗,土壤含水量继续下降。H1 虽然采用与 D 相等的灌水量,但由于毛管埋深 30 cm,灌水后深层土壤水分状况得到明显的改善,30 cm 以下土壤储水量增加 12 mm,对于深层土壤水分的补给及植物持续

利用较为有利。受灌水量影响,H2 的有效补给深度只能达到 40 cm,土壤储水量增加 1 mm。根据观测,滴灌及痕量灌溉的湿润比大约为 0.2,2 个灌水量分别为每株 12、10 L。3 个处理中,只有 H1 能有效补充 20 cm 以下土层的含水量,灌溉水利用效率可以达到 63%。

苹果树的灌溉由自身的耗水特性、土壤水分状况、降雨情况及对降雨的利用程度决定。在果树形态上表现出明显缺水症状前,适时适量的灌溉是保

证果树正常生长和生理活动、保证果树产量及果品品质的重要管理措施。萌芽开花期、果实膨大期及花芽分化期、果实采收后等4个时期,是苹果树的水分敏感期,在土壤水分状况较差,降雨不能及时补给的情况下,需要及时灌水以保证水分供给的充足有效。

试验期间正是苹果树的花芽分化期,这一阶段苹果树高增长速度快,冠幅伸展较快,生长最旺盛,同时也是北京气温最高、蒸发需水量最大的时期。根据罗健<sup>[9]</sup>的研究结果,利用以能量平衡为基本原理的 Hargreaves 辐射法估算潜在蒸散量。8月6—14日潜在蒸散量累计35.8 mm,日平均值约为4.0 mm,降雨量仅为2.8 mm,在这样的天气条件下,合理有效的灌溉是保证苹果树旺盛生长的关键。

合理灌溉需要综合考虑灌溉方式、灌水定额、灌溉频率、苹果树的蒸腾消耗及灌溉水利用率等诸多因素。根据试验结果,灌水量相等情况下,痕量灌溉的灌溉水利用率高于滴灌。当痕量灌溉灌水定额减少20%时,灌溉水利用效率大幅度下降。为提高水分利用效率,有效补充苹果树根层的土壤水分,痕量灌溉适宜的灌水定额为12 L·株<sup>-1</sup>,流量0.2 L·h<sup>-1</sup>。灌溉频率的确定需要以试验期间日平均蒸散量及30 cm以下土壤水分的补给量为依据。8月6—14日,0~70 cm土壤储水量下降约28 mm,降雨

2.8 mm,日平均蒸散量3.6 mm,在该天气条件下,痕量灌溉灌水定额为12 L·株<sup>-1</sup>,流量0.2 L·株<sup>-1</sup>,相应的适宜的灌水频率约为3~4 d一次。对于滴灌和灌水定额较小的痕量灌溉,要想保证苹果树正常生长,需要适当调整灌水下限,增加灌水频率或灌水定额,保证深层土壤水分的有效补给,才能提高灌溉水利用效率。

### 参考文献

- [1] 翟远征,王金生,郑洁琼,等.北京市近30年用水结构演变及驱动力[J].自然资源学报,2011,26(4):635-643.
- [2] 赵志刚,李会安.北京“强化节水优先的新政策解读”及效果分析[J].城镇供水,2015(5):45-47.
- [3] 丁三姐,魏钦平,徐凯.果树节水灌溉研究进展[J].北方园艺,2006(4):69-71.
- [4] 李顺平.新一代节水灌溉技术:痕量灌溉[J].农业技术与装备,2012(7):46-47.
- [5] 张锐,刘洁,诸钧,等.实现作物需水触式自适应灌溉的痕量灌溉技术分析[J].节水灌溉,2013(1):48-51.
- [6] 杨明宇,安顺伟,周继华,等.痕量灌溉管不同埋深对温室茄子生长、产量及水分利用效率的影响[J].中国蔬菜,2012(20):78-82.
- [7] 王志平,周继华,诸钧,等.痕量灌溉在温室大桃上的应用[J].中国园艺文摘,2011,27(4):10-11.
- [8] 刘学军,周立华,张建忠,等.葡萄痕量灌溉技术试验研究[J].水资源与水工程学报,2013,24(6):43-46.
- [9] 罗健.华北地区百年蒸发量序列重建及其对气候干湿变化影响的分析[D].南京:河海大学,2008.

## Effects of Irrigation Methods on Soil Water Distribution and Optimum Irrigation Schedule in Apple Orchard

WEI Yafen<sup>1,2</sup>, ZHANG Chunman<sup>3</sup>, WANG Ying<sup>1</sup>, ZHU Jun<sup>4</sup>, JIN Jishi<sup>4</sup>

(1. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083; 2. Beijing Forestry Society, Beijing 100029; 3. Beijing Miyun Dongshaoqu Forestry Station, Beijing 101501; 4. Beijing Puquan Science and Technology Co. Ltd., Beijing 100044)

**Abstract:** Taking ‘Kudo Fuji’ apple tree as the research object, small-scaled water-saving irrigation experiments were conducted on fields and on a close-by apple orchard in August 2016. Examining two irrigation methods (drip irrigation and trace irrigation) parameters, such as soil water distribution, irrigation water use efficiency, and the amount of irrigation water were monitored. In order to establish an optimum irrigation regime the physiological water demand of trees was considered. The results showed that soil water distribution patterns varied by irrigation method and amount of irrigation water employed. Trace irrigation showed higher irrigation water use efficiency than in drip irrigation. Furthermore, the optimum irrigation regime of apple trees during August revealed to be trace irrigation with an irrigation quota of 12 L per individual tree and an average water flow of 0.2 L per hour, irrigating once every three to four days.

**Keywords:** irrigation mode; orchard; drip irrigation; trace irrigation