

# 渭北旱塬沟壑区苹果节水灌溉制度分析

李天星<sup>1</sup>, 曹红霞<sup>1</sup>, 陈红武<sup>2</sup>, 李宏礼<sup>3</sup>, 明刚<sup>3</sup>, 唐龙<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 洛川县水务局, 陕西 洛川 727400)

**摘要:** 为了探讨渭北旱塬沟壑区盛果期苹果不同水文年的节水灌溉制度, 选取洛川县为代表性区域, 利用该县近56年的月气象资料, 基于水量平衡原理, 分析了陕西省两个不同成熟期的苹果品种(中熟嘎拉、晚熟富士)在不同节水灌溉模式下(管灌、滴灌)各水文年的充分与非充分灌溉制度。结果表明: ① 不同成熟期苹果各水文年均应补灌, 补灌时间和灌水量主要集中在新梢旺长期和果实膨大期。② 中熟品种充分灌溉在湿润年、平水年、干旱年、特早年的灌水次数分别为2、3、3、4次, 相应灌溉定额滴灌为60、85、120、165 mm, 管灌为90、130、180、245 mm; 非充分灌溉各水文年的灌水次数为1、2、3、4次, 相应灌溉定额滴灌为45、70、110、150 mm, 管灌为65、110、170、220 mm。③ 晚熟品种充分灌溉在相应水文年的灌水次数分别为2、3、4、4次, 相应灌溉定额滴灌为65、90、125、160 mm, 管灌为95、140、195、240 mm; 非充分灌溉各水文年的灌水次数为2、3、3、4次, 相应滴灌灌溉定额为55、75、120、150 mm, 管灌灌溉定额为85、125、175、220 mm。

**关键词:** 苹果; 管灌; 滴灌; 灌溉方式; 灌溉制度; 渭北旱塬

**中图分类号:** S274.1 **文献标志码:** A

## Analyses of water-saving irrigation scheduling for apple in Weibei dryland gully

LI Tian-xing<sup>1</sup>, CAO Hong-xia<sup>1</sup>, CHEN Hong-wu<sup>2</sup>, LI Hong-li<sup>3</sup>, MING Gang<sup>3</sup>, TANG Long<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Area of Ministry of Education, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Luochoan Water Resources Bureau, Luochoan, Shaanxi 727400, China)

**Abstract:** To investigate the water-saving irrigation scheduling for full bearing apple trees during different hydrological years in Weibei dryland gully, based on water balance principle, meteorological data from recent 56 years in Luochoan were used to analyze both sufficient and non-sufficient irrigation scheduling of two maturity apple varieties (Gala and Fuji) under different irrigation methods (pipe irrigation and drip irrigation). The results showed that both mid- and late-maturing varieties should be irrigated in different hydrological years. The irrigation stage and amount should mainly be implemented at new shoot growing and fruit expanding stages. In addition, for mid-maturing variety in different hydrological years (wet, normal, dry and extremely dry years) under sufficient irrigation scheduling, irrigation times were 2, 3, 3 and 4, respectively, irrigation quota for drip irrigation were 60, 85, 120 mm and 165 mm, respectively, pipe irrigations were 90, 130, 180 and 245 mm, respectively; irrigation times under non-sufficient irrigation scheduling were 1, 2, 3 and 4, respectively, irrigation quota for drip irrigation were 45, 70, 110 and 150 mm, respectively, and pipe irrigation were 65, 110, 170 and 220 mm, respectively. Furthermore, for late-maturing variety in different hydrological years under sufficient irrigation scheduling, irrigation times were 2, 3, 4 and 4, respectively, irrigation quota for drip irrigation were 65, 90, 125 and 160 mm, respectively, pipe irrigation were 95, 140, 195 and 240 mm, respectively; irrigation times under non-sufficient irrigation scheduling were 2, 3, 3 and 4, respectively, irrigation quota for drip irrigation were 55, 75, 120 mm and 150 mm, and pipe irrigation were 85, 125, 175 mm and 220 mm, respectively.

**Keywords:** apple; pipe irrigation; drip irrigation; irrigation methods; irrigation scheduling; Weibei dryland gully

收稿日期: 2015-07-20

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)课题(2013AA103004); 陕西省水利科技计划项目(2013slkj-48); 陕西省果业发展项目(tg2015-075)

作者简介: 李天星(1990—), 男, 河南商丘人, 在读硕士, 主要从事农业节水理论研究。E-mail: litx1990@163.com。

通信作者: 曹红霞(1971—), 女, 新疆五家渠人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: chx662002@163.com。

陕西苹果广泛分布于陕北黄土丘陵沟壑区、渭北高原沟壑区和关中平原。渭北高原沟壑区因其气候条件符合苹果最适宜区标准,是公认的优质苹果产区<sup>[1]</sup>,该区主要分布于陕西省中部,气候较湿润,降水量相对较大,但地表和地下水资源极缺,蒸发量大,同时由于地形起伏较大,难以发展大型骨干水利工程<sup>[2]</sup>,大气降水是绝大多数苹果园土壤水分唯一来源<sup>[3]</sup>,加上苹果树根系发达,产量高和生物量大,强烈的蒸腾耗水作用使它的需水量比一般农作物都要高<sup>[4]</sup>。但目前生产中,果农仍按照“丰水高产”的理论采用大水漫灌或全生育期充分灌溉等模式,造成水分利用效率低下、树冠营养生长旺盛、果实品质下降等问题<sup>[5]</sup>。

随着黄土高原果业的不断发展,对果园实施节水灌溉是实现果园可持续发展的有效途径。国内外学者对节水技术影响下的苹果生长状况、水分利用率、产量及品质等进行了大量而深入的研究<sup>[5-13]</sup>,均表明:结合畦灌、穴灌、滴灌、微喷灌、渗灌等节水技术并采用非充分灌溉可提高果树水分利用效率,在产量不降低或稍有降低的情况下品质有所提高。但是,这些研究多以局部的大田试验为背景,缺乏大区域、长系列的试验资料,难以概括反映区域性的灌溉需水规律,而渭北地区自然条件差异较大<sup>[1,10,14]</sup>,为此,本文以渭北高原沟壑区的洛川塬为代表区域,利用其 56 年的月气象资料,探讨该区气候条件下苹果在滴灌和管灌下的充分与非充分灌溉制度,以期为该区域土壤水分管理、水资源的合理利用以及西北高效节水灌溉工程的大范围推广应用提供理论依据和实践指导,进一步挖掘陕西优生区苹果产业发展潜力。

表 2 苹果树各生育阶段划分及其作物系数  $K_c$

Table 2 The classification of different growing stages and its crop coefficients ( $K_c$ ) for apple trees

生育阶段 Growing stage	中熟品种 (M-d) Middle-maturing variety	晚熟品种 (M-d) Late-maturing variety	作物系数 $K_c$ Crop coefficients
萌芽~开花 Bud~bloom	03-10-04-20	03-10-04-20	0.35~0.5
新梢旺长 Shoot growth	04-20-06-20	04-20-06-20	0.7~0.8
果实膨大 Fruit expanding	06-20-08-10	06-20-09-20	0.8~1.0
成熟 Fruit maturing	08-10-08-30	09-20-10-20	1~0.7
采收~休眠 Harvesting~dormancy	08-30-翌年 03-10	10-20-翌年 03-10	0.7~0.35

充分供水条件下,苹果需水量 ( $ET_c$ ):  $ET_c = K_c \times ET_0$ , 其中  $ET_0$  利用 FAO-56 推荐的 Penman-Monteith 公式计算<sup>[16]</sup>;按照盛果期果树物候期特点,综合参考文献<sup>[7,17]</sup>确定了不同月份的作物系数  $K_c$ (表 2),其中,1、2、3、11、12 月为 0.35,4 月为 0.5,5 月 0.7,6 月 0.8,7、8 月为 1,9 月为 0.8(中熟为

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

洛川县位于陕西渭北旱塬中北部(35°49'N, 109°30'E),属暖温带半湿润大陆性季风气候区。多年平均降水量 592.6 mm,主要集中在 7—9 月份,占全年的 58%;年均蒸发量 1 560 mm;年均气温 9.9℃;年平均风速 2.0 m·s<sup>-1</sup>;年日照时数 2 527.8 h,年总辐射量 554.1 kJ·cm<sup>-2</sup>;年平均相对湿度 62%;无霜期 184 d。该区海拔 1 100~1 200 m,地貌以黄土残塬为主,主要土壤类型为黏黑垆土,根据张社红<sup>[15]</sup>的研究成果,整理了该区 2 m 深的剖面平均土壤物理性质(表 1)。

表 1 洛川粘黑垆土物理性状

Table 1 Physical property of Clay Heilu soil at Luochuan

土层深度 Soil depth /m	土壤容重 Bulk density /(g·cm <sup>-3</sup> )	凋萎湿度 Wilting point /%	田间持水量 Field capacity /%
0~0.5	1.15	8.7	27.8
0.5~1	1.28	7.8	25.0
1~2	1.33	7.5	24.1

### 1.2 数据来源

1955—2010 年的逐月平均气象资料来自洛川县基准气象站,气象要素包括:降水量、蒸发量、气温(最高、平均、最低气温)、平均风速、平均相对湿度、日照时数。

苹果生育期的划分。对于多年生果树,全年生长耗水,因此,以每年苹果树萌芽至翌年萌芽前为一个水文年,进行频率年分析及生育阶段划分。生育期时段以陕西主栽品种中熟嘎拉和晚熟富士为准,各划分为 5 个阶段(表 2)。

0.7),10 月为 0.6。当供水不足,土壤水分低于作物适宜生长的下限时,作物蒸发蒸腾量会随着土壤含水量减小而减小,此时有  $ET_a = K_s \times ET_c$ ,  $ET_a$  为缺水条件下作物实际的腾发量;  $K_s$  为土壤水分修正系数,对于  $K_s$  随土壤含水量的变化规律有多种计算方法,本文采用詹森(Jensen)模型<sup>[18]</sup>,取根系层深为 1

m,时段初土壤含水量与上一年甚至前一年的灌水管理密切相关,对于区域性研究很难确定。本文基于当年的灌水应使翌年苹果萌芽前土壤水分适宜来考虑,因此假设时段初的土壤含水量为 $0.65\theta_{田}$ 。

果园有效降水系数受降水特征、土壤特性、林冠截留能力等因素的影响。对于作物全生育期内的有效降水,若历年分次计算是极其复杂的,在生产实践中常采用简化的方法,如系数法: $P_e = \alpha P$ , $P$ 为一次降水量, $\alpha$ 为经验系数,一般应根据实测资料确定,在无实测资料时,按如下取值: $P < 5 \text{ mm}$ , $\alpha = 0$ ;  $5 \text{ mm} \leq P < 50 \text{ mm}$ , $\alpha = 1.0$ ;  $P \geq 50 \text{ mm}$ , $\alpha = 0.8 \sim$

$0.7$ <sup>[19]</sup>。本文水量平衡计算以旬为时段,将月总降水平均分配在各旬,考虑到黄土高原果树的实际情况,按如下取值: $P < 5 \text{ mm}$ , $\alpha = 0$ ;  $5 \text{ mm} \leq P < 50 \text{ mm}$ , $\alpha = 1.0$ ;  $50 \text{ mm} \leq P < 100 \text{ mm}$ , $\alpha = 0.9$ ;  $100 \text{ mm} \leq P < 150 \text{ mm}$ , $\alpha = 0.8$ ;  $P \geq 150 \text{ mm}$ , $\alpha = 0.7$ 。根据月有效降水及苹果需水量逐年计算苹果的净灌溉需水量( $NIR$ ), $NIR = \sum(ET_{ci} - P_{ei})$ ,采用刘钰等<sup>[20]</sup>提出的净灌溉频率法进行频率分析,确定四种类型的频率年(表3):湿润年(25%)、平水年(50%)、干旱年(75%)、特旱年(90%)。

使用 Excel 2013 软件进行数据处理。

表3 不同水文年内的水量平衡要素

Table 3 Water balance components in different hydrological years for apple trees

项目 Item	频率 Frequency/%							
	25		50		75		90	
	中熟 Middle- maturing	晚熟 Late- maturing	中熟 Middle- maturing	晚熟 Late- maturing	中熟 Middle- maturing	晚熟 Late- maturing	中熟 Middle- maturing	晚熟 Late- maturing
苹果需水量/mm Apple tree water requirement	678.9	687.8	647.6	654.7	692.1	702.0	772.1	775.8
有效降雨量/mm Effective rainfall	526.6	526.6	431.6	431.6	388.5	388.5	367.4	379.3
净灌水量/mm Net irrigation requirement	152.2	161.1	215.9	223.1	303.5	313.5	404.7	396.5

### 1.3 灌溉制度有关参数的确定

#### 1.3.1 计划湿润层及根系可利用土壤水分的深度

由于黄土区苹果树根系主要分布于2 m土层中<sup>[21]</sup>,其活性吸收根则集中在1 m土层内<sup>[22]</sup>,考虑到研究区水资源短缺,取计划湿润层深度为0.6~0.8 m作为灌水的依据,其中新梢旺长期、果实膨大期、休眠期为0.8 m,其余时期为0.6 m。

苹果树耗水量除来源于生育期间的有效降水外,还有相当一部分依赖于深层土壤贮水。由于陕西黄土高原常年多旱,土壤水分很难达到或接近饱和和状态,在有作物参与情况下,受根系分布及降雨入渗等的影响,果树主要利用2 m土层以内的水分<sup>[23]</sup>,因此本文以2 m土层的有效储水量进行土壤水量平衡计算。

1.3.2 不同物候期土壤含水量设计上下限 以土壤墒情反映作物对水分的胁迫,一般以土壤相对湿度( $R$ )(土壤含水量占田间持水量百分比)进行干旱等级划分<sup>[24]</sup>:无旱( $R > 60\%$ )、轻度干旱( $50\% < R \leq 60\%$ )、中度干旱( $40\% < R \leq 50\%$ )、重度干旱( $30\% < R \leq 40\%$ )、特别重度干旱( $R \leq 30\%$ )。

1) 充分灌溉。即作物主要根系层土壤含水量或土壤水势保持在某一适宜范围内<sup>[25]</sup>。在果树年

生长周期内,适宜的土壤含水量水平为60%~80% $\theta_{田}$ <sup>[6]</sup>,各物候期对土壤水分的要求不同。参考干旱指标等级的划分,确定充分灌溉条件下各物候期计划湿润层的土壤含水量上~下限为:萌芽开花期 $0.7 \sim 0.6\theta_{田}$ 、新梢旺长期 $0.8 \sim 0.6\theta_{田}$ 、果实膨大~成熟 $0.8 \sim 0.6\theta_{田}$ 、成熟落叶期 $0.7 \sim 0.6\theta_{田}$ 、落叶休眠期 $0.8 \sim 0.6\theta_{田}$ 。由于果树主要吸收利用计划层内的水分,将计划层以下至2 m土层的土壤含水量下限设为 $0.5\theta_{田}$ 。

2) 非充分灌溉。在渭北高原沟壑区,由于水资源短缺,供水常常不能满足作物的需水,即会出现非充分灌溉的情况。非充分灌溉的概念较广泛,包括调亏灌溉、分根交替灌溉、局部灌溉等<sup>[25]</sup>。由于苹果新梢和果实的伴随生长<sup>[26]</sup>,对水分胁迫的敏感程度不同,胁迫程度过大或历时过长对果实的细胞分裂、膨大及叶片的蒸腾、光合作用都会产生影响,导致最终产量、品质等的下降,并可能影响翌年果树的生长。相关文献研究表明<sup>[13,27-28]</sup>,在果树果实生长的第一阶段后期和第二阶段(约花后40~70 d)使果树承受中等胁迫,控制其营养性生长,到第三阶段恢复充分灌溉,由于果实的生长补偿效应,果实迅速膨大,对最终的产量基本没有影响;在果实成熟期控制

水分则有利于果实提早成熟和品质改善。

以土壤水分为指标进行非充分灌溉,是有意识地减少作物某一阶段的灌溉供水量,使作物根层土壤水分低于适宜土壤水分下限值<sup>[25]</sup>。苹果是抗旱力中等的果树<sup>[29]</sup>,针对苹果树需水规律,宜进行调亏灌溉,将两品种 6 月(花后 40~70 d)、中熟品种 8 月中旬至 8 月下旬(成熟期)、晚熟品种 9 月下旬至 10 月中旬(成熟期)计划层含水量下限设为  $0.5\theta_{田}$ , 计划层以下至 2 m 下限为  $0.45\theta_{田}$ ,即中等干旱水

平,其余时段均与充分灌溉相同。

1.3.3 不同灌溉方法下土壤湿润比 选择当地推广的两种节水灌溉方法:管灌(在距树干 2/3 树冠半径处围绕树干起垄,形成树垄,利用移动软管按棵施灌)、滴灌(采用单行毛管,绕树铺设环状滴灌链,距树干约树冠半径的 2/3)。参照相关文献<sup>[30]</sup>确定湿润比,以确定其灌水量,各物候期不同灌溉方式的土壤湿润比见表 4。

表 4 不同灌溉方法的湿润比  $p$

Table 4 Humid ratios by different irrigation methods

灌溉方式 Irrigation method	萌芽~开花 Bud~bloom stage	新梢旺长期 Shoot growth	果实膨大期 Fruit expanding	成熟期 Fruit maturing	采收~休眠 Harvesting~dormancy
管灌 Pipe irrigation	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6
滴灌 Drip irrigation	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4

注:本表的湿润比在实践中可根据具体情况调整。

Note: The ratio in the table can be adjusted according to real conditions.

1.3.4 关于水量平衡方程的说明 果园水量平衡方程可表示为:  $W_t - W_0 = W_T + K + P_e + M - ET - F - R$ 。式中  $W_t$ 、 $W_0$  分别为时段末、时段初 2 m 土层内的储水量,  $W_T$  是由于计划湿润层增加而增加的水量,由于本文全生育期考虑土层深为 2 m,故本项不计,  $K$  为时段内地下水补给量,  $P_e$  为有效降雨量,  $M$  为时段内灌溉水量,按照表 4 中的设计湿润比  $p$  进行折算,得到实际灌水量  $M_{实} = pM$ ,  $ET$  为时段内作物需水量,  $F$  为深层渗漏量,  $R$  为地表径流量,以上单位均为 mm。

因黄土土层深厚,地下水埋深超过 60 m,难以移补给,又降水、灌溉水在土壤中的入渗深度均在根区以内,因此  $K$ 、 $F$ 、 $R$  可忽略不计<sup>[4]</sup>,上述方程简写为:  $W_t - W_0 = P_e + M - ET$ 。以旬为时段进行计算,当 2 m 内土壤储水量降低至设定的下限时,即补充灌水。

## 2 结果与分析

### 2.1 中熟和晚熟苹果的充分与非充分灌溉制度

经分析,获得中熟和晚熟苹果的不同水文年的充分与非充分灌溉制度(表 5~8)。

总体来看,两品种相应水文年的灌水时间、灌水量和灌水次数基本相同,灌水集中在新梢旺长期和果实膨大期。

非充分灌溉与充分灌溉相比,减少了灌水次数和灌水量。中熟品种各水文年滴灌灌溉定额分别减少 15、15、10、15 mm,管灌减少 25、20、10、25 mm,湿

润年和平水年均减少 1 次灌水;晚熟品种滴灌灌溉定额减少 10、15、5、10 mm,管灌减少 10、15、20、20 mm,干旱年减少 1 次灌水。

两种灌溉方法相比,由于滴灌的湿润比较低,两品种充分灌溉不同水文年滴灌可节水 30~80 mm,非充分灌可节约 20~70 mm。

### 2.2 苹果不同物候期需水规律与灌溉制度的关系

萌芽开花期:从表 5~8 可以看出,如果当年的灌水充分考虑果树到翌年萌芽开花时的土壤水分要求,此期不需要灌水。由于该地区常见春旱(3~5 月份)<sup>[2,14]</sup>。可视情况在花前(3 月中旬)补灌,保持较高的土壤湿度,促进萌芽、开花、坐果。

新梢旺长期:5 月份是黄土高原苹果树生长的水分临界期<sup>[1]</sup>,花后果实细胞分裂持续约 30 d,新梢正旺长,果树的生理机能旺盛,为防止叶果争夺水分,花后干旱应及时灌水。

果实迅速膨大期:渭北地区 6 月下旬至 7 月为花芽生理分化集中期,控制水分利于花芽分化;在中熟品种采摘前后或晚熟品种膨大的 8、9 月份,一般是该地区雨季,灌水应根据天气进行补充灌溉。

采收-休眠:本文分析表明,洛川地区苹果应加强冬灌管理,保证果树安全越冬,也为翌年萌芽开花创造良好的土壤水分条件。

需要说明的是,表 5~8 中灌水时间和灌水量是不同灌溉保证率下的灌溉制度,主要作为灌区水资源宏观调配和规划的依据。具体到每一年,需要根据果园的土壤水分状况、短期降水预报等来确定。

表5 不同水文年中熟品种充分灌溉制度

Table 5 Full irrigation scheduling for mid-ripening apple in different typical years

物候期 Phenophase	灌水时间 Irrigation time	灌水定额 Irrigation amount/mm							
		湿润年 Wetness year		平水年 Normal year		干旱年 Drought year		特旱年 Extreme drought year	
		滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation	滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation	滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation	滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation
新梢旺长 Shoot growth	4月下旬 Late April	—	—	—	—	—	—	45	65
	5月上旬 Early May	—	—	40	60	40	60	—	—
	5月下旬 Late May	40	60	—	—	—	—	—	—
	6月中旬 Mid June	—	—	—	—	—	—	40	60
果实膨大 Fruit expanding	7月上旬 Early July	—	—	30	50	40	60	—	—
	7月下旬 Late July	—	—	—	—	—	—	40	60
采收~休眠 Harvesting~ dormancy	9月中旬 Mid September	—	—	—	—	40	60	—	—
	11月上旬 Early November	20	30	15	20	—	—	40	60
合计 Total		60	90	85	130	120	180	165	245

注:表中只展示需要灌水的各物候期,“—”表示不需要灌水。表6~8同。

Note: The table only shows phenophase that irrigate is needed (the same to table 6~8).

表6 不同水文年中熟品种非充分灌溉制度

Table 6 Deficit irrigation scheduling for mid-ripening apple in different typical years

物候期 Phenophase	灌水时间 Irrigation time	灌水定额 Irrigation amount/mm							
		湿润年 Wetness year		平水年 Normal year		干旱年 Drought year		特旱年 Extreme drought year	
		滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation	滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation	滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation	滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation
新梢旺长 Shoot growth	4月下旬 Late April	—	—	—	—	—	—	45	65
	5月上旬 Early May	—	—	40	60	40	60	—	—
	6月中旬 Mid June	—	—	—	—	—	—	—	—
果实膨大 Fruit expanding	6月下旬 Late June	45	65	—	—	—	—	45	65
	7月上旬 Early July	—	—	30	50	—	—	—	—
	7月中旬 Mid July	—	—	—	—	40	60	—	—
采收~休眠 Harvesting~ dormancy	9月中旬 Mid September	—	—	—	—	30	50	40	60
	11月上旬 Early November	—	—	—	—	—	—	20	30
合计 Total		45	65	70	110	110	170	150	220

### 3 讨论

马孝义等<sup>[2]</sup>通过分析渭北地区苹果的降水产量积分回归函数,得出渭北高原沟壑区最佳补灌时期为春季果树萌芽开花及新梢发育的4—5月,这与本文相一致。根据课题组的调查,当地果农正常年份结合施肥普遍灌2次水,分别在3月中下旬(花前水)和6月下旬(果实迅速膨大前),管灌和滴灌的灌溉定额分别为:90~120、50~60 mm,灌水量介于本文正常年份的充分与非充分灌之间。由于不同区域降水量及其年内分配、果园栽培模式等的差异,本文

制定的灌溉制度需针对果园实际情况作调整。

研究区一般从6月份进入雨季,非充分灌溉不但减少了灌水,而且可以充分利用降水资源。11月—翌年3月的苹果耗水量年际变化不大,且多年平均降水不足50 mm,如果越冬前果园土壤储水量不足,苹果树经过近120 d的水分消耗,到春季萌芽前一般需补充土壤水分。因此,在果树进入休眠期前,如果土壤中储存有充足的水分,除满足越冬以外,也利于抵御翌年可能的春旱。若前期的降水丰富或灌水充足,则可不实施冬灌。另外,水分不足会限制叶梢的生长,影响果实营养的供给,限制最终的产量,

因此生产上宜在密植果园或营养生长过旺的稀植果园实施非充分灌溉。

由于果树的吸收根主要在树冠投影区域 1/3 ~ 2/3 中间<sup>[22]</sup>,滴灌与管灌相比,在吸收根主要分布区域进行湿润,减小蒸发<sup>[12-13]</sup>、减少对土壤的破坏。近年来,基于节水灌溉技术原理和植物感知缺水的根源信号理论提出了根系分区交替灌溉<sup>[31]</sup>,该技术

是在植物某些生育期或全部生育期交替对部分根区进行正常灌溉,其余根区则受到人为水分胁迫的灌溉方式。前人对不同品种苹果的一系列研究<sup>[5,9,11-12]</sup>均表明:与常规的全根区定位灌相比,采用常规灌溉 50% 的灌水量在树盘两侧交替灌溉,对苹果生长、品质和产量的影响都较小,是一种高效可行的节水技术,建议有条件的果园推广使用。

表 7 不同水文年晚熟品种充分灌溉制度

Table 7 Full irrigation scheduling for late-ripening apple in different typical years

物候期 Phenophase	灌水时间 Irrigation time	灌水定额 Irrigation amount/mm							
		湿润年 Wetness year		平水年 Normal year		干旱年 Drought year		特旱年 Extreme drought year	
		滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation	滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation	滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation	滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation
新梢旺长 Shoot growth	4月下旬 Late April	—	—	30	50	—	—	40	60
	5月上旬 Early May	—	—	—	—	40	60	—	—
	5月下旬 Late May	40	60	—	—	—	—	—	—
果实膨大 Fruit expanding	6月下旬 Late June	—	—	—	—	—	—	40	60
	7月上旬 Early July	—	—	40	60	40	60	—	—
	7月中旬 Mid July	—	—	—	—	—	—	40	60
	8月下旬 Late August	—	—	—	—	30	50	—	—
采收~休眠 Harvesting~ dormancy	11月上旬 Early November	25	35	20	30	15	25	40	60
合计 Total		65	95	90	140	125	195	160	240

表 8 不同水文年晚熟品种非充分灌溉制度

Table 8 Deficit irrigation scheduling for late-ripening apple in different typical years

物候期 Phenophase	灌水时间 Irrigation time	灌水定额 Irrigation amount/mm							
		湿润年 Wetness year		平水年 Normal year		干旱年 Drought year		特旱年 Extreme drought year	
		滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation	滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation	滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation	滴灌 Drip irrigation	管灌 Pipe irrigation
新梢旺长 Shoot growth	4月下旬 Late April	—	—	—	—	—	—	40	60
	5月上旬 Early May	—	—	30	50	40	60	—	—
	5月下旬 Late May	20	30	—	—	—	—	—	—
果实膨大 Fruit expanding	6月下旬 Late June	—	—	—	—	—	—	40	60
	7月中旬 Mid July	—	—	30	50	—	—	—	—
	7月下旬 Late July	—	—	—	—	45	65	40	60
	8月上旬 Early August	35	55	—	—	—	—	—	—
采收~休眠 Harvesting~ dormancy	11月上旬 Early November	—	—	15	25	30	50	30	40
合计 Total		55	85	75	125	120	175	150	220

## 4 结 论

1) 不同成熟期苹果不同水文年均应补灌,补灌

时间及灌水量均以新梢旺长和果实膨大期为主。中熟品种充分灌溉在湿润年、平水年、特旱年份,非充分灌溉在特旱年份需冬灌;晚熟品种充分灌溉各水

文年,非充分灌溉除湿润年均需冬灌。

2) 中熟品种充分灌溉在湿润年、平水年、干旱年、特早年的灌水次数分别为2、3、3、4次,相应灌溉定额滴灌为60、85、120、165 mm,管灌为90、130、180、245 mm;非充分灌溉各水文年的灌水次数为1、2、3、4次,相应灌溉定额滴灌为45、70、110、150 mm,管灌为65、110、170、220 mm。

晚熟品种充分灌溉在相应水文年的灌水次数分别为2、3、4、4次,相应灌溉定额滴灌为65、90、125、160 mm,管灌为95、140、195、240 mm;非充分灌溉各水文年的灌水次数为2、3、3、4次,相应滴灌灌溉定额为55、75、120、150 mm,管灌灌溉定额为85、125、175、220 mm。

3) 从高效节水角度考虑,有条件的果园应紧密结合滴灌、管灌等节水技术与果树的水分生理状况,在不显著影响苹果产量、品质的情况下,可大幅节水,提高果园水分管理的效率,管灌应控制好灌水强度,减少对土壤的破坏、养分的淋失。另外,建议在密植或营养生长过旺的稀植果园采用非充分灌溉。

#### 参考文献:

- [1] 刘贤赵,衣华鹏,李世泰.渭北旱塬苹果种植分区土壤水分特征[J].应用生态学报,2004,15(11):2055-2060.
- [2] 马孝义,王文娥,康绍忠,等.陕北、渭北苹果降水产量关系与补灌时期初步研究[J].中国农业气象,2002,23(1):25-28,46.
- [3] 王延平,韩明玉,张林森,等.陕西黄土高原苹果园土壤水分异特征[J].林业科学,2013,49(7):16-25.
- [4] 刘贤赵,黄明斌.渭北旱塬苹果园土壤水分环境效应[J].果树学报,2002,19(2):75-78.
- [5] 刘贤赵,宿庆,孙海燕.根系分区交替灌溉不同交替周期对苹果树生长、产量及品质的影响[J].生态学报,2010,30(18):4881-4888.
- [6] 朱德兰,吴发启.黄土高原旱地果园土壤水分管理研究[J].水土保持研究,2004,11(1):40-42,115.
- [7] 朱德兰,王得祥,朱首军,等.渭北地区苹果高产灌溉制度研究[J].干旱地区农业研究,2000,18(1):95-100.
- [8] 牛西午,李永山,冯永平.晋南半干旱地区果树渗灌补水效应研究[J].农业工程学报,2003,19(1):72-75.
- [9] 杨素苗,李保国,齐国辉,等.根系分区交替灌溉对苹果根系活力、树干液流和果实的影响[J].农业工程学报,2010,26(8):73-79.
- [10] 杨素苗,李保国,齐国辉,等.灌溉方式对红富士苹果根系活力和新梢生长及果实产量质量的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(5):181-184.
- [11] Zegbe J A, Serna - Pérez A. Partial rootzone drying maintains fruit quality of 'Golden Delicious' apples at harvest and postharvest[J]. Scientia Horticulturae, 2011,127(3):455-459.
- [12] Riccardo Lo Bianco, Davide Francaviglia. Comparative responses of 'Gala' and 'Fuji' apple trees to deficit irrigation: Placement versus volume effects[J]. Plant and Soil, 2012,357(1-2):41-58.
- [13] Girona J, Behboudian M H, Mata M, et al. Exploring six reduced irrigation options under water shortage for 'Golden Smoothie' apple: Responses of yield components over three years[J]. Agricultural water management, 2010,98(2):370-375.
- [14] 马延庆,徐志达,刘长民,等.陕西渭北旱塬苹果种植区域农田水分特征分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(2):54-59.
- [15] 张社红.黄土高原半湿润区旱作苹果园地水分生产力模拟研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [16] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56[J]. FAO, Rome, 1998,300(9):D05109.
- [17] 王进鑫,张晓鹏,高保山,等.渭北旱塬红富士苹果需水量与限水灌溉效应研究[J].水土保持研究,2000,7(1):69-72,80.
- [18] Jensen E. 耗水量与灌溉需水量[M].熊运章译.北京:农业出版社,1982.
- [19] 徐凤琴.有效降水量浅析[J].气象水文海洋仪器,2009,26(1):96-100.
- [20] 刘钰, Pereira L S. 考虑地面灌水技术制约的灌溉制度优化[J].农业工程学报,2003,19(4):74-79.
- [21] 孟秦倩,王健,吴发启,等.黄土山地苹果园土壤水分最大利用深度分析[J].农业工程学报,2012,28(15):65-71.
- [22] 甘卓亭,刘文兆.渭北旱塬不同龄苹果细根空间分布特征[J].生态学报,2008,28(7):3401-3407.
- [23] 冉伟,谢永生,郝明德.黄土高原沟壑区不同种植年限果园土壤水分变化[J].西北农业学报,2008,17(4):229-233.
- [24] 李柏贞,周广胜.干旱指标研究进展[J].生态学报,2014,(5):1043-1052.
- [25] 王仰仁,孙小平.山西农业节水理论与作物高效用水模式[M].北京:中国科学技术出版社,2003:151-152.
- [26] 吕金印,山仓,高俊凤.非充分灌溉及其生理基础[J].西北植物学报,2002,22(6):1512-1517.
- [27] Forshey C G, Weires R W, Stanley B H, et al. Dry weight partitioning of 'McIntosh' apple trees[J]. American Society for Horticultural Science, 1983,108:149-154.
- [28] 黄兴法,李光永,王小伟,等.充分灌与调亏灌溉条件下苹果树微喷灌的耗水量研究[J].农业工程学报,2001,17(5):43-47.
- [29] 徐呈祥,马艳萍.苹果对水分胁迫的反应特点及节水灌溉研究综述[J].南京农学报,2000,16(2):15-22.
- [30] 刘洪禄,吴文勇,等.都市农业高效用水原理与技术[M].北京:中国水利水电出版社,2012.
- [31] 康绍忠,张建华,梁宗锁,等.控制性交替灌溉:一种新的农田节水调控思路[J].干旱地区农业研究,1997,15(1):1-6.