

滴灌湿润比对成龄库尔勒香梨生长及耗水规律的影响

晏清洪¹, 王伟², 任德新³, 武阳¹, 马英杰⁴, 黄兴法¹

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083;

3. 巴音郭楞蒙古自治州农业科学研究所, 新疆 库尔勒 841000; 4. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:田间试验采用3种滴灌湿润比(20%、40%、60%),并以传统漫灌(土壤湿润比为100%)为对照,利用负压计和石膏块监测果树根区土壤水势,观测不同生育阶段内果树的生长指标;用水量平衡法计算不同处理梨树不同生育期的日均耗水量、作物系数与蒸发皿系数。试验结果表明,充分灌溉条件下,滴灌湿润比为20%、40%、60%的成龄香梨树生育期内的耗水量较漫灌分别减少了69.11%、63.91%、55.05%;20%、40%和60%滴灌湿润比均对果树的枝条生长产生抑制作用,枝条最终生长量分别减少了9%、5%、3%;3种湿润比灌溉处理的果实均较漫灌的果实体积大,且果实品质得到一定程度的改善。成龄库尔勒香梨灌水方式由漫灌改为地表滴灌的初期,滴灌湿润比设计为40%比较合适。

关键词:滴灌;湿润比;成龄库尔勒香梨;耗水规律;果实生长

中图分类号: S275.6; S661.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0007-07

土壤水分是影响干旱半干旱地区果树生长的重要因素。滴灌是适合于果树的节水技术之一,具有节水、增产等优点^[1]。国内外学者对滴灌条件下各种果树的耗水规律、灌溉制度以及果树生长的影响进行了大量研究,树种涉及杏树、桃树以及苹果树等^[1-8]。这些研究表明,与传统地面灌溉相比,滴灌是一项适用于果树灌溉的高效节水技术。

滴灌是局部灌溉,其湿润土壤体积有限。湿润比是滴灌系统设计的一个重要参数,它是将滴灌系统与作物生长的水分状况相互协调、联系起来的重要纽带,是滴灌系统设计中确定单位面积上布置滴头的数量与形式的一个主要基础,其基本出发点是满足作物生长对根区土体湿润范围的要求,减少深层渗漏造成水的浪费和肥料的淋洗流失^[9-12]。自Keller提出湿润比的概念以来^[9],湿润比(Wetted Percentage, WP)在滴灌系统的设计中得到了广泛应用,但Keller对于WP没有给出一个十分明确合理的定义。我国学者傅琳等提出了更合理、更具实用性的定义:土壤湿润比是微灌时被湿润的土体占计划湿润深度总土体的百分比^[10]。雷廷武研究讨论了湿润比的概念,认为我国采用的将计划湿润深度内湿润土体部分占总土体的百分比定义为滴灌湿润比较合理,并以此为基础提出了用地表湿润面积

(直径)进行湿润比计算的方法^[11]。但目前国内外在滴灌湿润比对果树生长和耗水规律影响方面的研究还较少。

近年来新疆大力发展林果微灌面积,但因对微灌设计中一些重要参数如滴灌湿润比等对果树生长及耗水规律影响研究的缺乏,导致其节水增产效益没有能够得到充分发挥^[13]。我国对成龄库尔勒香梨滴灌条件下的耗水规律及滴灌对香梨树和果实生长的影响等缺乏系统深入的研究,成龄香梨树滴灌系统设计的湿润比参数缺乏。为此,研究不同滴灌湿润比对库尔勒香梨生长及耗水规律的影响,可为干旱区的特色林果微灌系统设计提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验研究于2008年4~9月在新疆库尔勒市巴州农科所成龄香梨园地进行,试验地位于北纬41°43',东经86°6',属于大陆沙漠性气候,蒸发量大,气候干燥,地势平坦,土层深厚,光热资源丰富。试验区在2008年4月初到9月中旬降水量共计48.6 mm,蒸发量为855.0 mm。试验选材为20 a树龄的成龄香梨果树,平均树径27.5 cm,树高3.5 m,株距4 m,行距5 m,树势均匀,长势旺。0~60 cm土层内

收稿日期:2010-06-25

基金项目:国家科技支撑计划项目(2007BAD38B00);国家自然科学基金项目(50879087)

作者简介:晏清洪(1986—),男,湖南耒阳人,博士生,主要从事农业水土工程方面的研究。E-mail: yqh19@126.com。

通讯作者:王伟(1971—),男,讲师,博士,主要从事农业水土工程方面的研究。E-mail: weiwang@cau.edu.cn。

土质均为粉砂质壤土(砂粒 44.09%、粉粒 50.36%、粘粒 5.55%),0~30 cm 土层平均土壤容重为 1.28 g/cm³,30~60 cm 土层平均土壤容重为 1.56 g/cm³。

1.2 试验设计

试验灌溉系统采用地表滴灌,设计试验因素为湿润比(WP),3 个水平:20%、40%与 60%,对照为漫灌:WP 为 100%。滴灌毛管管径为 16 mm,滴头流量 3.3 L/h,WP 20%的滴头间距为 25 cm,WP 40%和 WP 60%都为 50 cm。每个处理重复 3 次。试验布置详见图 1。每个处理布置了两个土壤水势监测点,监测点位于树行一侧垂直距离树行 1 m 处,每个监测点布设了一个负压计和一块石膏块,负压计的埋深为 30 cm,石膏块的埋深为 150 cm,如图 2 所示。

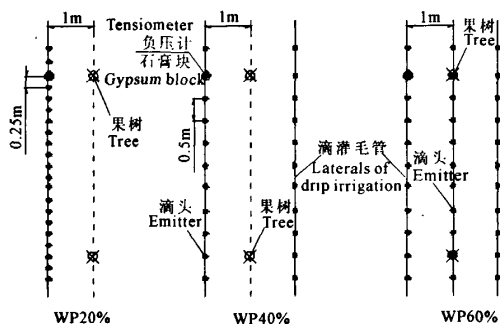


图 1 试验设计布置

Fig.1 Experimental design layout

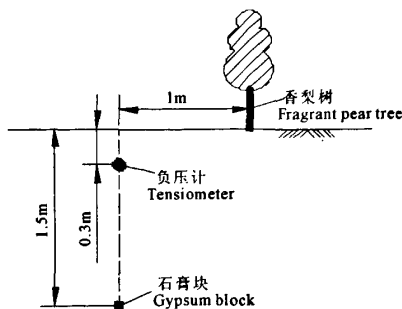


图 2 负压计、石膏块布设位置

Fig.2 Tensiometer and gypsum block location layout

1.3 灌溉制度

试验采用充分灌溉。试验中,通过利用负压计和石膏块传感器监测地表滴灌主要活动根区的土壤水势,根据根区土壤水势值进行灌溉,当监测点 30 cm 深处根区土壤水势值小于 -50 kPa 即开始灌溉,每次灌溉至香梨树主要活动根区含水量达到田间持水量^[2,10]。漫灌灌水量及灌溉时间均为果园农户根

据经验自定,代表目前当地的灌溉水平。

1.4 测量指标

根区土壤水势:利用负压计和石膏块测量,每隔 2 d 监测 1 次。

非滴灌湿润区土壤含水量:利用烘干法测定,用土钻每隔 2 d 取土 1 次,取土位置位于垂直树行一侧的非湿润区,距离树行 2 m 处,取土深度为 30 cm、60 cm。

漫灌土壤含水量:利用烘干法测定,用土钻每隔 2 天取土 1 次,取土位置位于垂直树行一侧,距离树行 1 m 处,取土深度为 30 cm、60 cm 和 150 cm。

果实生长量:每棵树选取 10 个生长正常的果实,每个处理总共测定 60 个果实,对选定的果实编号,每周测量一次果实的横径和纵径。在香梨生育期内,每隔一个星期从果园摘取 20 个香梨果实,用排水法测量果实体积,用游标卡尺测量果实的最大纵径和最大横径,拟合得到香梨果实体积公式。

果实产量及品质:在生育期末每个处理选摘 10 个果实测定果实的可溶性固形物、可滴定酸及固酸比。

枝条生长量:选择树冠外围生长势强的新梢(不要徒长枝),每棵树选取 10 枝新梢,每个处理总共测定 60 枝新梢,每个测量新梢都用布条编号,每周测量一次新梢的长度。

1.5 耗水量计算方法

利用田间水量平衡法计算果树耗水量,计算公式为: $W_{ET} = (W_{0s} - W_{1s}) + (W_{0g} - W_{1g}) + I + P - S + D$ 。式中, W_{ET} 为时段内耗水量; W_{0s} 、 W_{0g} 分别为时段初湿润土体内含水量和非湿润土体内含水量; W_{1s} 、 W_{1g} 分别为时段末湿润土体内含水量和非湿润土体内含水量; I 为时段内灌水量; P 为时段内降水量; S 为时段内深层渗漏量; D 为时段内地下水补给量。

2 结果与分析

2.1 土壤水势的季节变化

图 3 为各灌溉处理的根区土壤水势(由于土壤水势值总是小于等于 0,图中用土壤水势的负值——土壤水吸力来表示)变化情况。由图中可以看出,各灌溉处理根区土壤水势在整个生育期内基本位于 -10 kPa ~ -50 kPa,表明了各滴灌处理的灌水量达到充分灌溉要求;各湿润比处理 150 cm 土层深度土壤水势呈减小趋势,表明每次灌水没有水分渗漏或地下水补充至该土层。

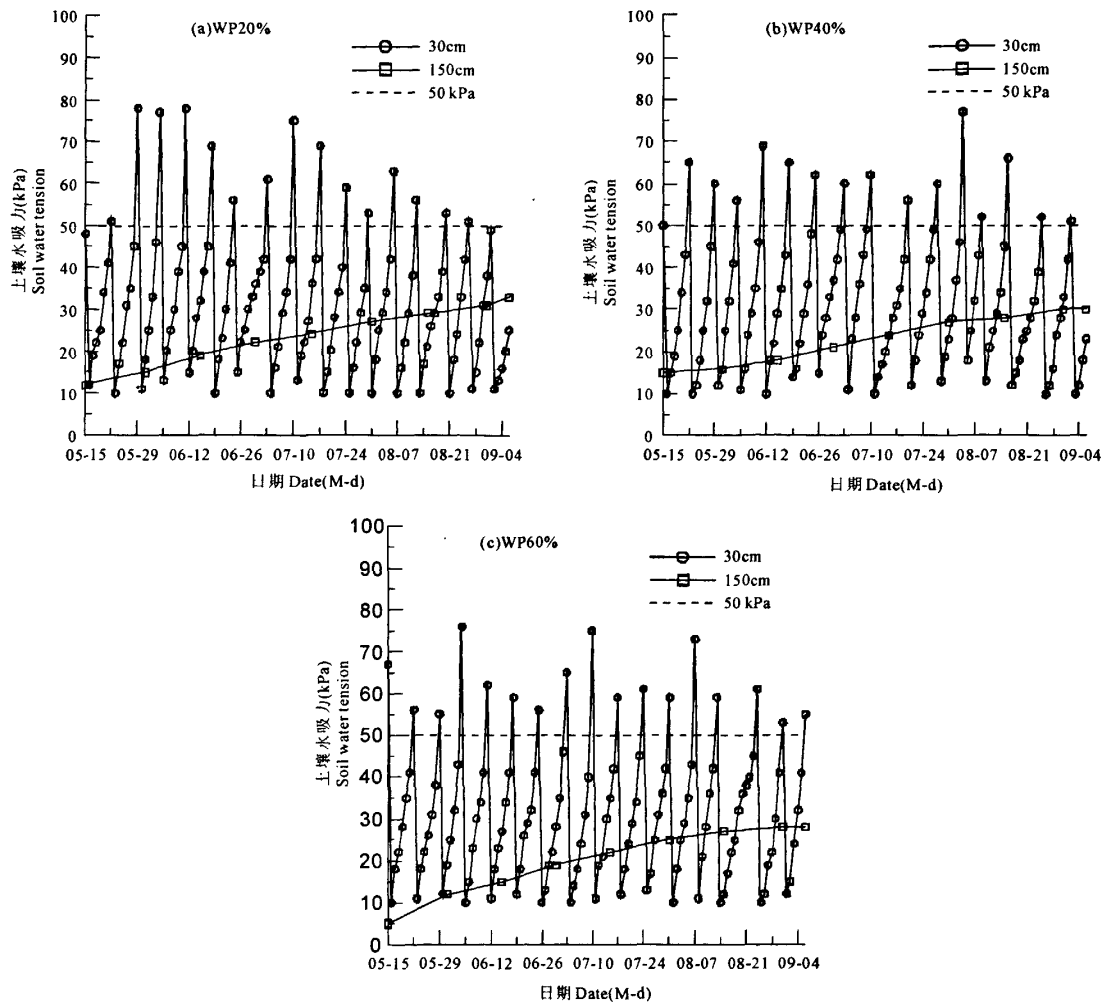


图 3 香梨生长季节不同湿润比滴灌处理土壤的水势变化

Fig.3 Seasonal variations of soil water potential under different drip irrigation treatments during the growth period

2.2 耗水规律

2.2.1 灌水量与耗水量 由于试验区 2007 年冬季遭受低温冻害及 2008 年春季花期遭遇低温影响,4 月 22 日试验地有一次漫灌,灌水量为 329.8 mm。滴灌湿润比 20%、40%、60% 三个试验处理均于 5 月 15 日开始滴灌灌水,分别于 9 月 1 日、9 月 2 日、9 月

6 日停止。漫灌从 4 月 22 日到 9 月 8 日,共灌水 4 次,灌水时间分别是 4 月 22 日、5 月 29 日、7 月 3 日和 8 月 6 日。各湿润比灌水处理的灌水量见表 1。由表 1 可以看出,截至 9 月 8 日,充分灌溉条件下,WP20%、WP40%、WP60% 灌水量分别较漫灌灌水量减少了 69.11%、63.91%、55.05%。

表 1 各灌溉处理的灌水量

Table 1 Irrigation amounts of different treatments

试验处理 Treatments	灌水量 (mm) Irrigation	灌水日期 Irrigation date	备注 Remark
WP20%	329.8 + 305.8	根据根区土壤水势监测值进行灌溉。 Irrigation was made in accordance with the result of monitoring soil water potential.	试验区 2007 年冬季遭受低温冻害及 2008 年春季花期遭遇低温影响,为减轻低温冻害对香梨树的影响,在 4 月 22 日对试验地进行了 1 次漫灌,灌水量为 329.8 mm。 The test area suffered low temperature and freezing in the winter of 2007 and in the spring in flowering period of 2008, and a flood irrigation with water volume of 329.8 mm was made in order to reduce the influence of low temperature and freezing on pear trees.
WP40%	329.8 + 357.3		
WP60%	329.8 + 444.9		
对照 CK	1319.3	4 月 22 日、5 月 29 日、7 月 3 日、8 月 6 日 April 22, May 29, July 3, August 6	

经田间实测,香梨树 90% 的根系在表层 100 cm 深度内,本次试验中土壤含水量测定深度达 150 cm,并且该深度的土壤含水量在整个生长季节变化不大,故本研究以 150 cm 深的土层作为有效深度。测量数据表明深层渗漏量与地下水补给量为 0。

图 4 反映了不同湿润比灌水条件下日均耗水量的季节变化趋势(由于受冻害和冷害对试验的影响,导致没能监测到香梨树在萌芽期、花期和新梢生长初期的日均耗水量)。从图中可以看出,不同滴灌湿润比的日均耗水量的变化趋势基本相同,并且耗水量与滴灌湿润比呈正相关。从图中可以看出,5 月中旬为新梢旺盛生长期,日耗水量达到一个高峰,日耗水量为 6.7 mm;随着新梢生长速度减缓,日均耗水量也逐渐降低,到 6 月中旬新梢生长即将停止,此时日均耗水量降到 3.5 mm。进入果实膨大前期(6 月 18 日至 7 月 20 日),耗水量变化不大,在 2.6 ~ 4.6 mm 之间。进入果实迅速膨大期,耗水出现第二个高峰,日均耗水量峰值达到 8.1 mm。进入果实膨大后期(8 月中旬至收获时段)日耗水量开始减小并日趋稳定,至收获时,日均耗水量减小到 3 ~ 4 mm。漫灌条件下香梨树在整个生育期内日均耗水量都要大于地表滴灌,最大日耗水量峰值达到了 12.1 mm。

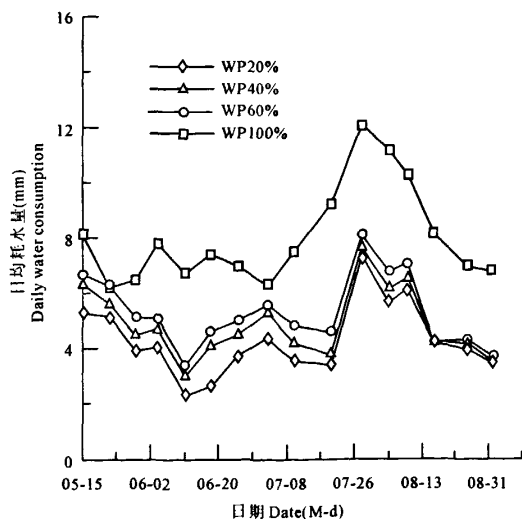


图 4 各湿润比灌水条件生育期内日均耗水量

Fig.4 Daily water consumption of irrigation treatments

2.2.2 作物系数和蒸发皿系数 作物系数是指时段内实际耗水量与潜在蒸散量 (ET_0) 之比值,蒸发皿系数为时段内实际耗水量与日均蒸发皿蒸发量的比值^[2,14]。潜在蒸散量 (ET_0) 通过自动气象站监测资料计算得到,日蒸发量由 20 cm 口径的中式蒸发皿监测得到。 ET_0 值和日蒸发量之间具有较高的相

关性(详见图 5),拟合两者监测数据得到一个线性函数关系式: $y = 0.877x$, R^2 达到了 0.67。

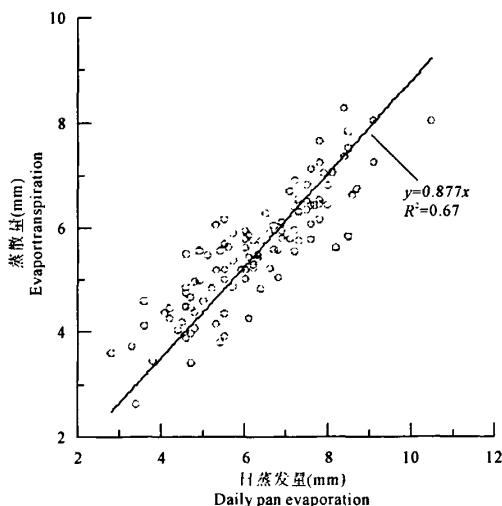


图 5 日蒸发量与潜在蒸散量的关系

Fig.5 The relationship between daily pan evaporation and ET_0

图 6 与图 7 分别为作物系数与蒸发皿系数季节变化趋势。从图中可以看出,两种系数随季节的变化趋势与日均耗水量随季节的变化趋势基本相同。

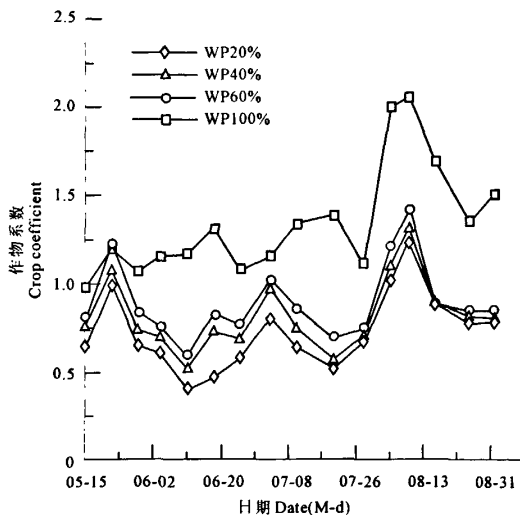


图 6 生育期作物系数变化

Fig.6 Crop coefficients

以 WP40% 为例,进入新梢旺盛生长期时,5 月 22 日作物系数和蒸发皿系数的峰值分别为 1.08、1.06;6 月初到 7 月中旬为香梨果实膨大前期,作物系数和蒸发皿系数变化范围较小,分别为 0.52 ~ 0.98、0.41 ~ 0.87;7 月下旬到 8 月中旬为果实迅速膨大期,作物系数和蒸发皿系数变化达到一个新的

高峰,分别为 1.32、1.31;8 月中旬到 9 月初果实收获为果实膨大后期,作物系数和蒸发皿系数呈稳定的趋势,分别为 0.80~0.89、0.71~0.83。

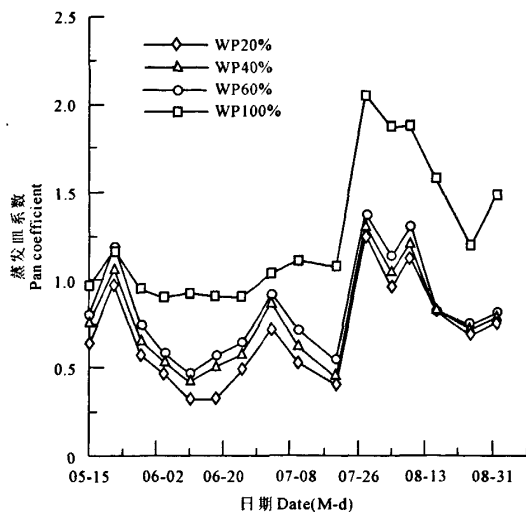


图 7 生育期蒸发皿系数变化

Fig. 7 Pan coefficients

作物系数的季节变化趋势基本与蒸发皿系数的变化趋势相同,不同之处在于生育期内有几次降水,蒸发量很小,使蒸发皿系数值远远大于作物系数,只要排除降水情况下蒸发皿系数的差异,基本上可以用蒸发皿系数来替代作物系数进行作物需水量的计算。由于国产 20 cm 蒸发皿测定操作简单,仪器比较便宜,可作为今后制定灌溉制度的技术基础。

2.2.3 生育期累积耗水量与累积蒸发量 如图 8 所示,2008 年成龄库尔勒香梨生育期(时段为 5 月 15 日至 9 月 1 日)累积蒸发量为 663.7 mm,各湿润比(WP20%、WP40%、WP60%、WP100%)灌水条件处理的累积耗水量分别为 473.9、538.0、587.8、876.7 mm,平均蒸发皿系数分别为 0.71、0.81、0.89、1.32。

2.3 香梨生长指标

2.3.1 新梢生长 灌水处理对枝条生长有较大的影响。如图 9 所示,6 月 7 日前,相对于漫灌,湿润比为 20%、40%与 60%的处理均对枝条的生长产生不同程度的抑制作用;6 月 7 日后,只有湿润比为 20%的处理对枝条的生长抑制明显。经方差分析表明,WP20%和 WP40%处理的新梢长度与对照具有显著性差异($P < 0.05$),WP60%处理与对照差异不显著。与漫灌比较,WP20%、WP40%、WP60%处理的枝条最终生长量分别降低了 9%、5%、3%,表明在滴灌节水的同时,一定程度地抑制了成龄香梨果

树营养生长,可以一定程度减少夏季修剪量。

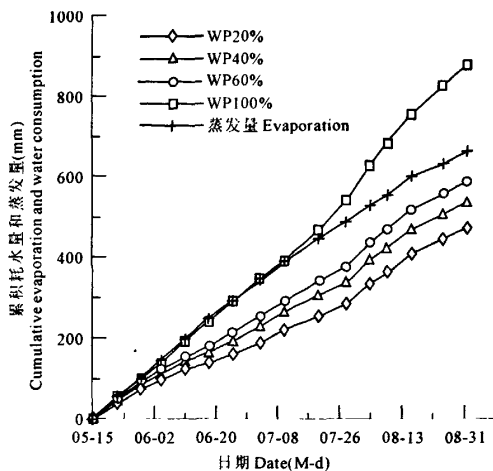


图 8 生育期累积蒸发量与累积耗水量变化

Fig. 8 Cumulative evaporation and water consumption

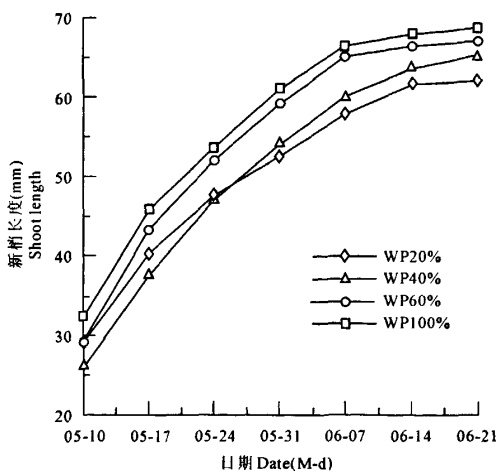


图 9 各湿润比灌水条件下新梢生长趋势

Fig. 9 Shoot growth under different irrigation treatments

2.3.2 果实生长 由香梨果实横径与纵径拟合得到香梨体积公式为 $V = e^{0.733} \times (D_{\text{横径}})^{1.864} \times (D_{\text{纵径}})^{0.803} \div 1000$ ($R^2 = 0.958$)。式中, V 为香梨体积(cm^3); $D_{\text{横径}}$ 为香梨最大横径(mm); $D_{\text{纵径}}$ 为香梨最大纵径(mm)。各灌溉处理果实体积生长变化如图 10 所示,香梨果实生长明显分为两个时期,7 月 6 日前为果实缓慢生长期,7 月 6 日后为果实迅速膨大期,各滴灌湿润比处理果实生长速度都要较漫灌快,各湿润比(WP20%、WP40%、WP60%、WP100%)处理的最终果实体积分别为 127.6、133.4、131.5、115.8 cm^3 ,方差分析表明,对照(WP100%)的果实体积与滴灌各湿润比处理相比存在显著性差异($P <$

0.05), WP40%和 WP60%处理的果实大小差异不显著。与漫灌比较, WP20%、WP40%、WP60%处理的果实体积分别增大了10.2%、15.2%、13.6%。这说明滴灌在大幅度节水的情况下,在一定程度上提高了成龄香梨的果实品质。

2.3.3 果实产量 成龄香梨果树的正常产量为22.5~30.0 t/hm²,因冬季低温和花期冻害的影响,2008 年度试验区香梨的产量只有正常年份产量的60%左右,各处理测得的果实产量见表2。方差分析表明, WP20%处理的果实产量最高, WP60%处理的果实产量最低,它们与其它各处理相比,都存在显著性差异, WP40%的果实产量与对照相比差异不显著,这种现象可能是由于成龄香梨果树遭受冻害影响所致,有待进一步试验验证。

2.3.4 果实品质 香梨果实的可溶性固形物、可滴定酸及固酸比是目前国家鲜梨标准中,对质量进行评价的品质理化指标。从表2中可知,滴灌各湿润比的可溶性固形物含量和固酸比均较漫灌的大,可

滴定酸含量均较漫灌小,说明地表滴灌在一定程度上提高了果实的品质。

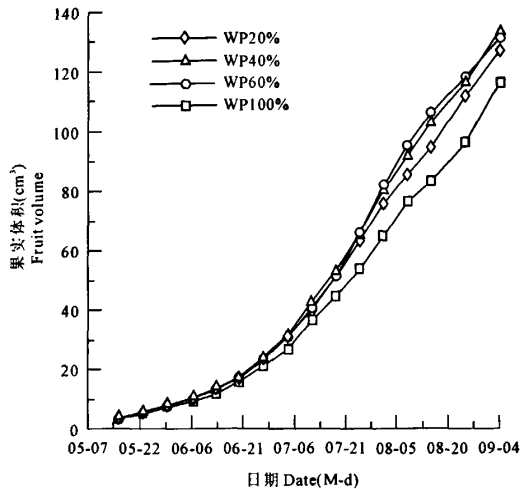


图 10 各湿润比灌水条件下果实体积变化趋势

Fig. 10 Fruit growth under different irrigation treatments

表 2 各湿润比灌溉处理香梨生长指标

Table 2 The growth index of fragrant pear under different irrigation treatments

处理 Treatments	新梢长度 Length of shoot (cm)	果实体积 Fruit volume (cm ³)	产量 (kg/棵) Yield (kg/plant)	果实品质理化指标 Physical and chemical indexes		
				可溶性固形物 Soluble solid (%)	可滴定酸 Titratable acidity (%)	固酸比 TSS - acid ratio
WP20%	62.1a	127.6a	34.1a	14.10	0.20	706
WP40%	65.2b	133.4b	27.6b	13.85	0.17	829
WP60%	66.8bc	131.5ab	24.5c	13.07	0.14	933
对照 Control	68.6c	115.8c	28.5b	12.20	0.25	485

注:同列中不同字母表示处理间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

Note: Different letters in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$).

3 结 论

充分灌溉条件下,滴灌湿润比为20%、40%、60%的处理香梨树的耗水量分别比漫灌减少了69.11%、63.91%、55.05%,且不同滴灌湿润比均对果树的营养生长产生一定抑制作用。生育期内成龄库尔勒香梨作物系数的季节变化趋势基本与蒸发皿系数的变化趋势相同,可以用蒸发皿系数来替代作物系数制定灌溉制度和计算果树需水量。生育期内各湿润比灌水处理的耗水量有随湿润比增大而增加的趋势。充分灌溉条件下,滴灌各湿润比处理的香梨果实品质得到一定程度的改善。

综合比较不同滴灌湿润比对成龄香梨生长及耗水规律的影响,并考虑在灌水方式转变初期,不宜使香梨果树产生剧烈程度的变化,影响成龄库尔勒香

梨的正常生长,建议成龄库尔勒香梨的灌水方式在由漫灌改为地表滴灌初期,滴灌湿润比设计为40%是比较合适的。由于本文的试验是在树体受冻害的条件下完成的,部分结论如果实产量还有待进一步的验证。

参 考 文 献:

- [1] 曾德超,因·古德温.果园现代高科技节水高效灌溉技术指南[M].北京:中国农业出版社,2001.
- [2] Sepaskhah A R, Kashefpour S M. Evapotranspiration and crop coefficient of sweet lime under drip irrigation[J]. Agricultural Water Management, 1995, 27: 331-340.
- [3] Franco J A, Abrisqueta J M, Hermansa ez A, et al. Water balance in a young almond orchard under drip irrigation with water of low quality [J]. Agricultural Water Management, 2000, 43: 75-98.
- [4] Abrisqueta J M, Ruiz A, Franco J A. Water balance of apricot trees under drip irrigation[J]. Agricultural Water Management, 2001, 50:

- 211—227.
- [5] 李光永,王小伟,黄兴法,等.充分灌与调亏灌溉条件下桃树滴灌的耗水量研究[J].水利学报,2001,(9):55—58.
- [6] 李怀有,王斌.苹果滴灌试验及节灌制度研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(3):114—121.
- [7] 张双宝,徐淑贞,贾水国,等.日光温室桃树滴灌需水规律的研究[J].南水北调与水利科技,2001,3(2):38—40.
- [8] 白树明,黄中艳.昆明苹果滴灌试验研究[J].人民珠江,2004,(2):47—48.
- [9] Keller J, Karmeli D. Trickle irrigation design parameters[J]. Transaction of the ASAE, 1974, 17(4):678—684.
- [10] 傅琳,董文楚,郑跃泉,等.微观工程技术指南[M].北京:水利电力出版社,1988.
- [11] 雷廷武.滴灌湿润比的解析设计[J].水利学报,1994,25(1):1—9.
- [12] Zur B. Wetted soil volume as a design objective in trickle irrigation[J]. Irrigation Science, 1996, 16(3):101—105.
- [13] 蒋岑,刘国宏,谢香文,等.干旱区成熟红枣微灌技术研究[J].新疆农业科学,2009,46(2):332—337.
- [14] 肖娟,雷廷武,李光永,等.西瓜和蜜瓜咸水滴灌的作物系数和耗水规律[J].水利学报,2004,(6):119—124.

Effects of wetted soil percentage on the growth and water use of mature Korla fragrant pear trees under drip irrigation

YAN Qing-hong¹, WANG Wei², REN De-xin³, WU Yang¹, MA Ying-jie⁴, HUANG Xing-fa¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

3. Institute of Agricultural Sciences of Bayingolin Mongolian Autonomous Prefecture, Korla 841000, China;

4. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: The wetted soil percentages included 3 levels (20%, 40% and 60%) and the traditional flood irrigation (100% of wetted percentage) was used as control. Soil water potential in the root zone was monitored by a tensionmeter and gypsum blocks. The growth indices of fruit trees were recorded at different growth stages. The daily water use, crop coefficients and pan coefficients under different drip irrigation treatments were estimated by water balance method. The results indicated that the tree water uses under wetted percentage of 20%, 40% and 60% decreased by 69.11%, 63.91% and 55.05% respectively as compared with that under flood irrigation, while the shoot growth reduced slightly, by 9%, 5% and 3%. Compared with flood irrigation, the fruit volumes under drip irrigation treatments of different wetted percentage were all bigger, with the largest under 40% treatment. Moreover, the fruit quality under drip irrigation treatments was improved to certain extent. It is suggested that at the transient stage of flood irrigation into drip irrigation, a wetted percentage of 40% should be used. This study should be meaningful to drip irrigation system design and management.

Keywords: drip irrigation; wetted percent; mature Korla fragrant pear; water consumption pattern; fruit growth