

林佳,陈龙钰,王佳林.眉山市晚熟柑橘园土壤水分动态变化及对不同降雨量的响应[J].气象研究与应用,2024,45(3):106-110.
LIN Jia, CHEN Longyu, WANG Jialin. Reactive dynamics of soil moisture in late-ripening citrus orchards in Meishan City and their responses to varying precipitation levels[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(3): 106-110.

眉山市晚熟柑橘园土壤水分动态变化及对不同降雨量的响应

林佳¹, 陈龙钰¹, 王佳林²

(1.四川省丹棱县气象局,四川 丹棱 620200; 2.四川省青神县气象局,四川 青神 620400)

摘要:基于2023年6—9月眉山市晚熟柑橘智慧气象数字试验基地土壤水分小时观测数据,分析0~40 cm各层土壤水分时空动态变化及其对不同量级降雨的响应,确定各层土壤水分的响应阈值,并构建降雨量与土壤水分增量的对数模型。结果表明,土壤水分随土层深度呈先增加(10~20 cm层)、后减少(20~30 cm层)、再增加(30~40 cm层)的趋势。10 cm、20 cm、30~40 cm土层降雨响应的阈值分别为4 mm、12 mm、20 mm,大雨量级及以上降雨事件将明显对0~40 cm各层土壤水分响应。降雨量与0~40 cm各土层土壤含水量均呈极显著相关关系,4个观测层对数函数相关系数 R^2 值范围处于0.436~0.585($R^2>0.4$)。该研究结果可为晚熟柑橘优质生长、节水灌溉提供技术支持。

关键词:晚熟柑橘;土壤水分;时空变化特征;降雨;响应

中图分类号:S152.7 **文献标识码:**A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.3.16

土壤水分是存贮于土壤中供植物吸收利用的水分,主要来源于降雨和灌溉^[1],降雨是土壤水分最直接的影响因子^[2]。徐露等^[3]以金沙江下游季节性干旱区为研究对象,分析雨季紫色土壤对降雨的响应表明降雨量大小是影响土壤水分补给深度的决定性因素;余新晓等^[4]将林地土壤水分变化划分为:消耗期、补偿积累期、消退期、稳定期;任婧宇等^[5]研究黄土丘陵区不同树种土壤水分时间变化特征,得到土壤水分与降雨量之间存在阈值,不同植被覆盖会影响降雨下渗量,而雨水渗透再分配与土壤蒸发扩散使得土壤在各层次上的变化存在差异。当前国内关于土壤水分研究多集中在干旱区和半干旱区域,而对湿润地区、局地小尺度及不同种类植被覆盖研究不多,刘宏伟等^[6]研究湿润地区土壤水分得出浅层土壤水分变化过程线形状与降雨过程线相比有一定的平移和延长,王亚琳等^[7]分析湿润喀斯特地区冬季灌丛土壤水分对降雨响应规律,得到大降雨事件能够对灌丛土壤水分起到有效补给,但相关特定经济作物土壤水分变化研究依然相对匮乏。

眉山市是全国晚熟柑橘核心生产基地,全市柑橘种植面积7万 hm^2 ,其中晚熟柑橘5.87万 hm^2 ,晚熟柑橘年降雨量为1100~1300 mm较为适宜^[8],土壤水分是否适宜将直接影响柑橘的生长发育、果实的品质和质量。已有相关研究表明,旬降雨量与旬柑橘果实增量呈正相关^[9],以0~30 cm土层最为显著,40 cm以下土层水分消耗量小^[10]。本研究基于2023年6—9月眉山市晚熟柑橘智慧气象数字试验基地土壤水分小时观测数据,分析晚熟柑橘园土壤水分动态变化及其对不同降雨量的响应,揭示果园土壤湿度变化规律,可为晚熟柑橘园开展干旱动态监测和提高灌溉用水率,提升晚熟柑橘果实产量和品质提供科学决策依据。

1 资料与方法

1.1 研究区自然概况

研究区位于眉山市晚熟柑橘智慧气象数字试验基地,地处四川省眉山市青神县气象局国家基本观测站内,种植土壤类型为黄壤类,多年平均气

收稿日期:2024-02-10

基金项目:眉山市指导性科技计划项目(2023KJZD108)

第一作者:林佳(1991-),工程师,主要从事综合气象业务工作。E-mail:951343754@qq.com

温 17.1℃, 日照 1181.7 h, 年无霜期平均 313 d, 属亚热带湿润气候。全年平均降雨量 1132 mm, 夏季占年降水量 58%, 7—8 月为降水集中期, 秋季占 13.9%, 冬季占 4.3%, 春季占 23.3%。青神县年降水量呈现北少南多的特点, 北部高台镇年降雨量约为 1 100 mm, 南部瑞峰镇年降雨量约为 1 400 mm。年平均干旱过程次数为 1.8 次, 伏旱出现频率最高, 而此时为晚熟柑橘果实迅速膨大期, 必须保证充足均匀的降雨, 旱情的出现将会严重影响果实的生长。

1.2 试验方法

仪器安装在柑橘园区选取具有代表性土壤的地段, 土壤湿度数据获取仪器采用管式墒情监测仪, 采用 FDR 原理。默认同时测量 10 cm、20 cm、30 cm、40 cm 土层的温度和湿度, 土壤水分监测的间隔时间段为 1 h。通过分析土壤湿度在降雨过程中和降雨结束后土壤湿度小时值的变化, 分析土壤水分对不同量级降雨的响应。研究区观测期为 2023 年 6 月 1 日至 2023 年 9 月 30 日。

1.3 数据处理

根据中央气象台 24 h 日降雨量标准, 将研究区观测期日降雨量分为小雨 (0~9.9 mm)、中雨 (10.0~24.9 mm)、大雨 (25.0~49.9 mm)、暴雨 (>50.0 mm) 四个等级。为分析计算柑橘园各土层每场降雨土壤水分上升幅度, 反映土壤水分对降雨的响应程度, 土壤水分上升幅度计算公式如下^[11]:

$$\Delta W_r = (W_{\max} - W_0) \quad (1)$$

式中 W_{\max} 为每次降雨事件土壤水分峰值 (%); W_0 为每次降雨事件土壤水分初始值 (%), ΔW_r (%) 为降雨响应中的增加量 (%). 试验采用 Microsoft Excel 2020 和 Origin 2021 软件进行数据整理和制图。

2 结果与分析

2.1 晚熟柑橘园区土壤水分时空变化特征

2.1.1 土壤水分时间变化

通过分析 2023 年 6 月上旬至 9 月下旬研究区降雨量对土壤水分旬际变化的影响, (图 1) 可以看出两者的一致性较好, 2023 年 6 月上旬至 7 月上旬降雨量持续偏少, 旱象明显, 土壤各层含水量一直处于 20% 以下, 7 月上旬达到旬最低值 16.54%, 随着降雨持续偏少, 特别是 7 月高温蒸腾作用强烈, 造成果子生长缓慢、树势减弱。7 月中旬至 8 月主汛期随着降雨强度明显增强, 降雨量明显增大, 土壤水分补给明显, 7 月中旬开始土壤墒情改善明显, 土壤水分

维持在 20% 以上, 并且呈逐渐升高趋势, 说明土壤水分进入补偿期, 尤其随着 9 月份进入秋季, 气温开始逐渐降低, 地表蒸腾作用明显减弱, 降雨补给大于土壤水分消耗量, 直到 9 月下旬土壤含水量达到最高值 25.54%。

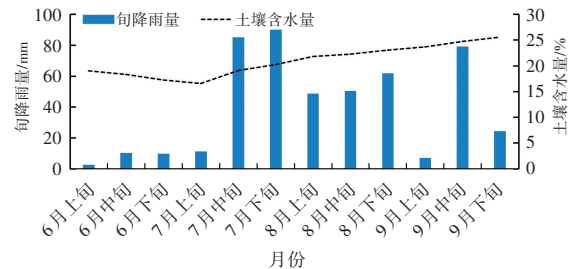


图1 土壤水分旬际变化和降雨量

2.1.2 土壤水分空间分布

在水分补给充足的情况下, 观测期间柑橘园区土壤水分在垂直空间各旬变化趋势随着土壤深度的增加主要呈反“S”形式变化趋势(图 2), 即 10~30 cm 土壤水分随着土壤深度的增加, 在 7 月上旬至 8 月上旬期间呈现减小的趋势, 30 cm 层次最低旬平均土壤含水量仅为 13.8%; 随着 8 月中旬至 9 月土壤含水量补给充足, 10~20 cm 表现为随深度增加土壤含水量增加; 而 20~30 cm 随着土壤深度的增加, 土壤含水量减少趋势明显, 减幅较大, 很可能果树根系在该层次的分布较为集中, 水分吸收消耗较大, 但 30~40 cm 随深度呈现增加的趋势, 土壤含水量随时间变化不大, 这主要是气象要素和蒸发对该层次的影响减弱。

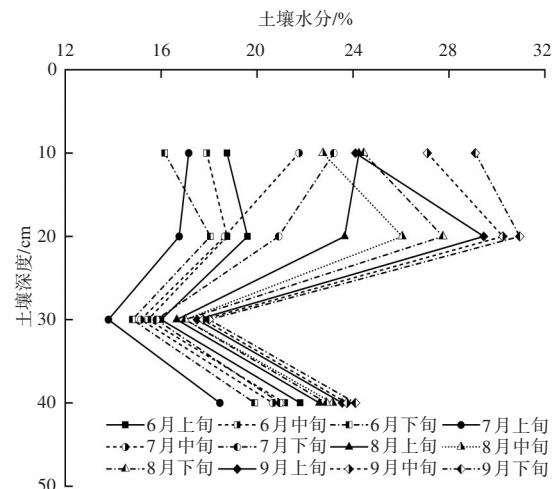


图2 土壤水分垂直空间分布

2.2 晚熟柑橘土壤水分对不同降雨量的响应

研究区观测期间小雨、中雨、大雨、暴雨四个等级的降雨事件分别发生38次、6次、4次及2次,累积降雨量分别为94.4 mm、85.9 mm、165.6 mm、133.8 mm,随着降雨等级的升高频数减少,但观测时段降雨总量的贡献率明显增强,场次较少的大雨占总降雨量的35%(图3)。

针对观测期间4个不同量级的降雨事件分析土壤水分对不同级别降雨量的响应,可以得出小雨量级降雨对土壤水分的补给微弱,降雨量达到4 mm以上仅能使10 cm土层土壤含水量提高1.0%~1.5%。中雨量级降雨可对10 cm土层提高5.0%~8.4%,连续发生的中雨事件累计降雨量达到25 mm以上,同样会对深层土壤产生补给,如图4b所示,单个中雨事件对20~40 cm土壤含水量无明显增量。图4c大雨量级的降雨可对30~40 cm土壤含水量明显提高

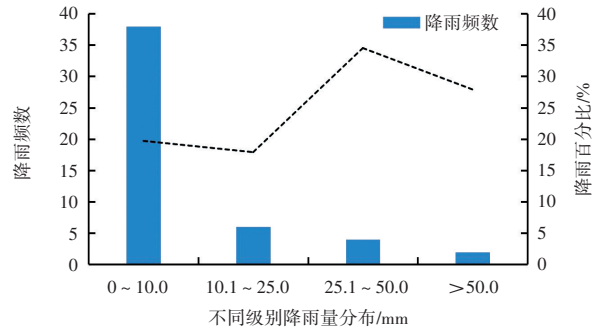


图3 研究区观测期间降雨分布

5.8%~6.4%, 10~20 cm补给量最大可超过10%。暴雨量级的降雨对各层次土壤含水量增幅明显, 30~40 cm土层土壤含水量提高5%以上, 分别使得各层次10 cm、20 cm、30 cm、40 cm增加7.9%、5.9%、5.0%、5.3%(图4d)。

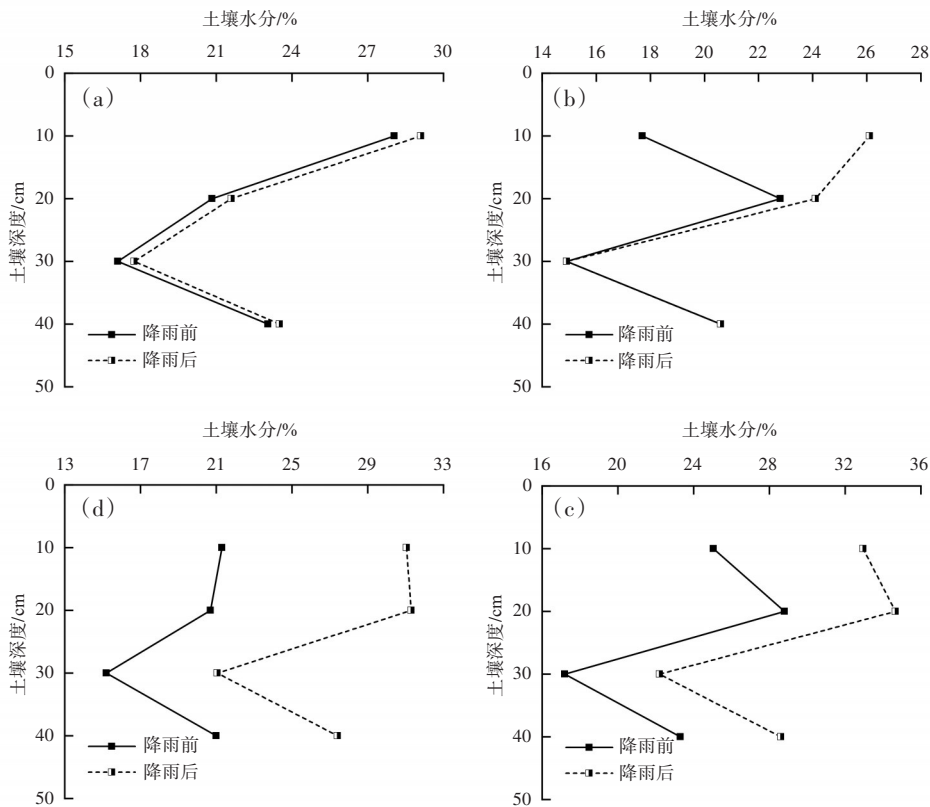


图4 不同降雨量及前后土壤水分垂直空间分布

(a)小雨量级;(b)中雨量级;(c)大雨量级;(d)暴雨量级

2.3 降雨量对土壤补给的影响

对不同土层土壤含水量和降雨量进行相关性分析,统计分析表明,降雨量与各土层土壤含水量

均呈极显著相关($p < 0.01$),相关系数分别为0.715、0.819、0.853、0.886。孙亚荣等^[12]通过对黄土丘陵区柠条人工林不同土壤水分补充增量和降雨量进行

模型预估,得到对数模型 $[y=a\ln x+b]$ 最优。如图5构建降雨量与10~40 cm土壤水分增量对数函数关系模型,通过降雨量和不同土层土壤水分补充增量的决定系数 R^2 可知,降雨量对不同土层补充增量的拟合度存在差异,其中10 cm土层拟合度最高,20~40 cm拟合度相差不大。

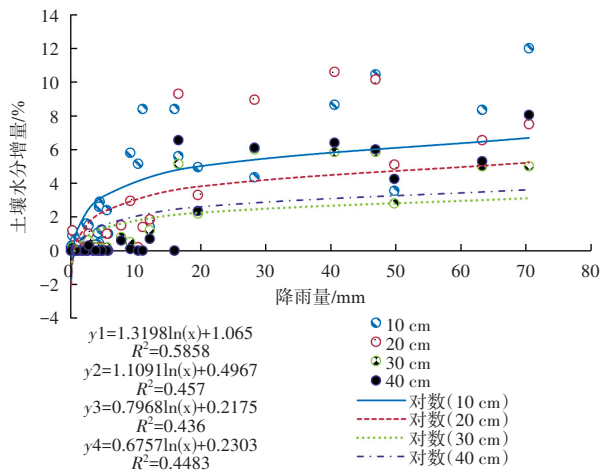


图5 降雨量与各土层土壤水分增量函数关系

3 结论与讨论

(1)观测期间,研究区伏旱持续时间较长,6月上旬至7月上旬旬降雨量最大值为仅为11.3 mm,土壤含水量持续呈下降趋势,在7月上旬达到谷值,7月中旬至9月开始进入土壤水分补偿期,8月中旬旬总降雨量50 mm,而8月中旬和8月下旬30 cm土壤含水量均为17%,同时20 cm增幅也仅为1.6%。生产实践中,可将旬降雨量50 mm作为7—8月晚熟柑橘是否需要灌溉的参考指标。土壤水分在垂直空间上呈反“S”形式分布,即土壤水分随土层深度呈先增加(10~20 cm层)、后减少(20~30 cm层)、再增加(30~40 cm层)的趋势,同时分析表明0~20 cm土壤水分波动最为频繁,观测时段内20 cm土壤含水量可从谷值16.75%升到峰值30.95%,受降水影响最为剧烈,这与相关研究结果一致^[13-14]。

(2)小雨降雨事件对土壤水分的补给微弱,并且当降雨量低于4 mm时一般为无效补给,而>4 mm的降雨事件可显著入渗到下层土壤,但研究主要针对单次降雨事件对土壤水分增量的影响,但同时发现多次连续降雨事件的叠加达到一定量级也可逐渐对深层30~40 cm土层土壤水分得到补充。中雨降雨事件主要引起0~10 cm土壤水分响应,大

雨量级及以上降雨事件将明显对0~40 cm各层土壤水分响应,当降雨量>40 mm时可使10 cm土壤水分提高10%以上,30 cm和40 cm土壤水分均可提高5.0%~8.0%。10 cm、20 cm、30~40 cm土层降雨响应的参考阈值分别为4 mm、12 mm、20 mm,数据同时表明大雨量级的降雨和暴雨量级的降雨分别对土壤水分增量补给增幅区别不大,而暴雨量级对土壤水分补给常常超过水分有效供给阈值,土壤水分的急剧变化也会增加裂果数,为提高水资源利用率和节约经济成本,同时补充深层土壤水分,往往可以分多次每平方均匀灌溉25~30 mm。

(3)相关分析表明,降雨量与0~40 cm各土层土壤含水量均呈极显著相关关系,相关系数从大到小分别为30~40 cm、20~30 cm、10~20 cm、0~10 cm,土壤水分增量对数函数关系模型对0~10 cm解释度最好。果园需精准灌溉则可以应用土壤水分增量模型,但模型主要应用6—9月柑橘果实膨大期相关试验数据,而柑橘在幼果膨大期和果实迅速膨大期为2个重要需水临界期^[15],是柑橘对水分最为敏感的时期,在后期研究应对柑橘水分敏感期相关增量模型开展相关应用分析。同时在复杂环境中,降雨对土壤水分增量受植被条件、土壤质地等多种环境因素影响,因此,今后的研究方向可以考虑分析相关环境因素作为补充。

参考文献:

- [1] 常学尚,常国乔.干旱半干旱区土壤水分研究进展[J].中国沙漠,2021,41(1):156-163.
- [2] 黄志刚,欧阳志云,李锋瑞,等.南方丘陵区不同坡地利用方式土壤水分动态[J].生态学报,2009,29(6):3136-3146.
- [3] 徐露,张丹,向宇国,等.季节性干旱区紫色土坡耕地土壤水分对降雨的响应[J].水土保持学报,2020,34(6):37-45.
- [4] 余新晓,张建军,朱金兆.黄土地区防护林生态系统土壤水分条件的分析与评价[J].林业科学,1996(4):289-297.
- [5] 任婧宇,乔雨宁,闫璐瑶,等.黄土丘陵区主要树种土壤水分动态变化特征及影响因子[J].水土保持研究,2022,29(6):73-80,89.
- [6] 刘宏伟,余钟波,崔广柏.湿润地区土壤水分对降雨的响应模式研究[J].水利学报,2009,40(7):822-829.
- [7] 王亚琳,周秋文,谢雪梅,等.湿润喀斯特地区冬季灌丛土壤水分对降雨的响应[J].水资源与水工程学报,2021,32(6):229-235.

- [8] 王迅,熊博,李启权,等.四川省晚熟柑橘生态气候适宜性区划研究[J].中国农学通报,2021,37(13):94-101.
- [9] 唐广田;邹丽霞.温州蜜柑果实膨大速度与水分环境的关系[J].气象研究与应用,2014,35(3):61-64,70.
- [10] 谢远玉,赖晓桦,陈颖,等.柑橘果实生长与生态气象条件的关系[J].华中农业大学学报,2009,28(2):222-225.
- [11] 党毅,王维,张永娥,等.坝上高原不同植被类型覆盖下土壤水分含量对降雨的动态响应[J].北京林业大学学报,2023,45(5):106-118.
- [12] 孙亚荣,陈云明,王亚娟,等.黄土丘陵区柠条人工林土壤水分动态变化特征及降雨特征对其影响[J].水土保持学报,2023,37(1):272-279.
- [13] 李龙,张志华,桑玉强,等.太行低山区荆条土壤水分动态及其对不同降雨量的响应[J].科学技术与工程,2021,21(14):5752-5758.
- [14] 洪光宇,王晓江,刘果厚,等.毛乌素沙地杨柴灌木林土壤水分对不同降雨格局的响应[J].水土保持通报,2021,41(2):76-83,121.
- [15] 王武,杨海建,洪林,等.柑橘需水规律研究进展及趋势展望[J].南方农业,2022,16(19):141-147,152.
- [16] 张存厚,杨丽萍,越昆,等.锡林郭勒典型草原土壤水分对降水过程的响应[J].干旱区资源与环境,2022,36(8):133-139.
- [17] 李新乐,吴波,张建平,等.白刺沙包浅层土壤水分动态及其对不同降雨量的响应[J].生态学报,2019(15):5701-5708.
- [18] 赵荣玮,张建军,李玉婷,等.晋西黄土区人工林地土壤水分特征及其对降雨的响应[J].水土保持学报,2016(1):178-183.
- [19] 朱士江,李虎,徐文,等.三峡库区土壤含水量对柑橘园果实品质的影响[J].中国农业科技导报,2023(6):201-207.
- [20] 阮光伦,申建,冉宇,等.重庆丘陵橘园水分管理问题及解决的途径[J].中国园艺文摘,2010(11):155-158.

Reactive dynamics of soil moisture in late-ripening citrus orchards in Meishan City and their responses to varying precipitation levels

LIN Jia¹, CHEN Longyu¹, WANG Jialin²

(1.Danleng Meteorological Bureau, Sichuan Danleng 620200, China;

2.Qingshen Meteorological Bureau, Sichuan Qingshen 620400,China;)

Abstract: Based on the hourly observation data of soil moisture in the late-ripening citrus smart meteorological digital test base in Meishan City from June to September in 2023, this study analyzed the spatio-temporal dynamic changes of soil moisture in each layer of 0~40 cm and its response to different magnitudes of rainfall, determined the response threshold of soil moisture in each layer, and established a logarithmic model of rainfall and soil moisture increment. The results showed that soil moisture increased firstly with soil depth of 10~20 cm, then decreased with soil depth of 20~30 cm, and then increased with soil depth of 30~40 cm. The thresholds of rainfall response in 10 cm, 20 cm, and 30~40 cm layers were 4 mm, 12 mm, and 20 mm respectively, and the rainfall events of heavy rain and above would obviously respond to soil moisture in each layer of 0~40 cm. Correlation analysis showed that rainfall was highly correlated with soil moisture in each layer of 0~40 cm, and the correlation coefficients of logarithmic functions of the four observation layers ranged from 0.436 to 0.585 ($R^2 > 0.4$). The results of this study can provide technical support for the high-quality growth and water-saving irrigation of late-ripening citrus.

Key words: late-ripening citrus; soil moisture; spatio-temporal variation characteristics; rainfall; response