

宜昌蒸发站2010~2021年土壤墒情变化规律分析

张鹏宇, 朱喜文*, 田苏茂, 曾雅立

长江水利委员会水文局长江三峡水文水资源勘测局, 湖北 宜昌

收稿日期: 2022年12月19日; 录用日期: 2023年3月14日; 发布日期: 2023年4月28日

摘要

土壤墒情监测与分析对于指导农业生产、制定科学的作物种植策略具有重要意义。选取宜昌蒸发站2010~2021年的土壤墒情以及同期的降雨和气温等资料, 采用数理分析方法, 揭示土壤墒情变化规律, 并以2022年8月旱情为例进行分析。结果表明: 宜昌蒸发站土壤含水率与降雨量的月际变化规律一致, 在夏季高温时段受气温影响显著, 3~6月份为土壤含水率高位时段, 1、8、12月份为土壤含水率低位时段, 1~2月份与9~11月份的土壤含水率基本持平; 年际变化主要受到降雨因素的影响。通过分析总结宜昌蒸发站的土壤墒情变化规律, 可为农业生产以及水文监测工作提供指导。

关键词

宜昌蒸发站, 土壤墒情, 气象因子, 旱情

Law Analysis of Soil Moisture Change in Yichang Evaporation Station from 2010 to 2021

Pengyu Zhang, Xiwen Zhu*, Sumao Tian, Yali Zeng

Three Gorges Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Yichang Hubei

Received: Dec. 19th, 2022; accepted: Mar. 14th, 2023; published: Apr. 28th, 2023

Abstract

Soil moisture monitoring and analysis is of great significance for guiding agricultural production and developing scientific crop planting strategy. This paper selects the data of soil moisture content, rainfall and temperature in the period from 2010 to 2021 at Yichang evaporation station, and uses the mathematical method to analyze the soil moisture change law in a typical drought case in August 2022. The re-

作者简介: 张鹏宇, 男, 工程师, 主要从事水文气象研究、水文测验工作。Email: 373877327@qq.com

*通讯作者 Email: 68441002@qq.com

sults show that the inter monthly variation of soil moisture content is consistent with that of rainfall, and it is significantly affected by air temperature in the summer high temperature period. The soil moisture content is high in March to June, low in January, August and December, and the soil moisture content is basically the same in January to February and September to November. The interannual variation is mainly affected by rainfall. By analyzing and summarizing the changing law of soil moisture, it can provide guidance for agricultural production and hydrological monitoring.

Keywords

Yichang Evaporation Station, Soil Moisture, Meteorological Factors, Drought

Copyright © 2023 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

宜昌市地处湖北西南部, 距离省会武汉市约 320 km, 是国务院批复确定的中部地区区域性中心城市。根据第三次国土调查主要数据公报(2022 年) [1], 全市旱地共计 270.66 万亩, 占耕地总量的 61.54%, 主要经济作物为: 水稻、玉米、柑橘等。农业生产是地方经济和社会稳定基本保障, 保产增收意义重大。

土壤墒情的品质与经济作物的生长与产量密不可分[2] [3]。然而, 宜昌市在土壤墒情时空分配上本身存在先天不足, 在空间维度上, 西部丘陵、山区雨多而耕地少, 东部平原区降雨量偏少而耕地集中, 降雨与耕地资源的空间匹配度较差; 在时间维度上, 一般春夏之交降雨充沛, 而秋季主要农作物需水高峰期却雨量稀少, 降雨与作物供水需求的时间匹配度较差。尤其是近年来极端气象事件频发, 农业抗旱减灾形势更为严峻。因此, 基于常态化的土壤墒情监测结果, 跟踪土壤水分动态变化规律, 对于宜昌市农业高质量发展具有重要意义[4] [5]。自宜昌蒸发站建站以来, 持续监测了宜昌市土壤墒情、水面蒸发、降水等要素[6] [7], 积累了大量的基础数据。为了进一步指导当地农业生产, 还需要结合不同维度和尺度深入分析墒情变化规律。为此, 本文基于宜昌蒸发站 2010~2021 年的监测数据, 研究当地土壤墒情在不同深度和不同时间尺度下的演变规律, 并以 2022 年出现的重度干旱事件为典型案例进行了分析, 研究成果可为当地作物种植策略拟定、灾害事件预警与后分析等提供参考。

2. 土壤墒情监测概况

宜昌蒸发站隶属长江水利委员会水文局长江三峡水文水资源勘测局, 位于宜昌市夷陵区冯家湾村七组(111.1824°E, 30.4551°N), 是长江流域建立最早、监测项目最齐全的大型蒸发站。监测项目涵盖了降水量、蒸发量、土壤含水量、气温、湿度、气压、饱和水汽压力差、风速风向、水温、地温、日照等要素。观测场地大小为 25 m × 25 m, 土质为黏土, 全年无农作物种植, 场地保持自然状态。四周开阔、平坦, 东面有高于场地 0.6 m 的桔园, 南面 10 m 处是高于场地 0.7 m 的自动气象站。水分蒸发监测采用 E601B 型蒸发器, 降雨量监测采用翻斗式自记雨量计。土壤水分监测方法采用自动土壤水分观测仪(DZN2 型)和传统烘干称重法, 二者在测值上相互校验, 确保监测结果的可靠性。采用烘干称重法的土壤含水率计算公式如下:

$$\theta = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中, θ 为土壤含水率, (%); W_1 为铝盒与湿润土壤的总重量, (g); W_2 为铝盒与烘干后土壤的总重量, (g); W_0 为铝盒的重量, (g)。

以采样点每月 1、11、21 日 08 时 10 cm、20 cm、40 cm 土层数据代表其土壤含水量，垂线平均含水量的计算采用公式[8]：

$$\theta_{\text{平均}} = \frac{3}{8}\theta_{10} + \frac{3}{8}\theta_{20} + \frac{1}{4}\theta_{40} \quad (2)$$

式中： θ_{10} ， θ_{20} ， θ_{40} 表示距离采样平面深度为 10 cm，20 cm，40 cm 的土壤含水量； $\theta_{\text{平均}}$ 表示土壤含水量的均值。

3. 土壤墒情变化规律分析

3.1. 月际变化分析

影响土壤含水量月际变化的因素包括月际降雨分配、地形、土壤类型以及地面植物生长状态等，降雨是最主要的影响因素。为分析土壤墒情月际变化规律，选取宜昌蒸发站 2010~2021 年的监测数据，通过统计分析得到土壤重量含水率的月平均值和同期平均降雨量，绘制 10 cm、20 cm、40 cm 及 3 层平均土壤重量含水率随时间变化的曲线，如图 1~图 2、表 1~表 2 所示。

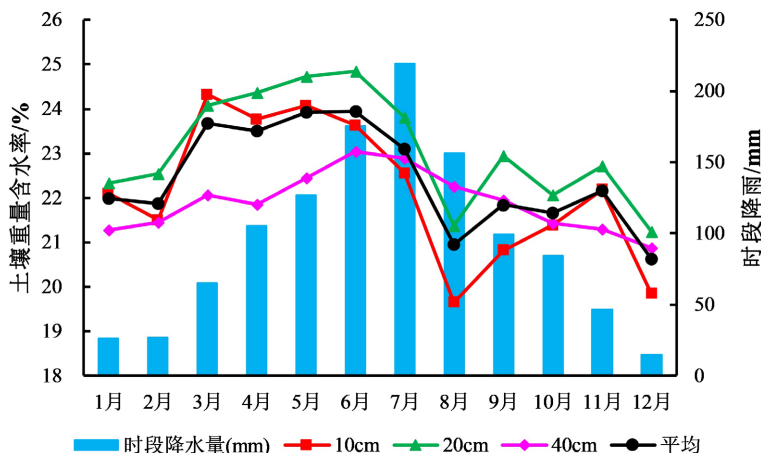


Figure 1. Variation of monthly mean soil moisture content and rainfall from 2010 to 2021 at Yichang evaporation station

图 1. 宜昌蒸发站 2010~2021 年月平均土壤重量含水率及降雨量变化

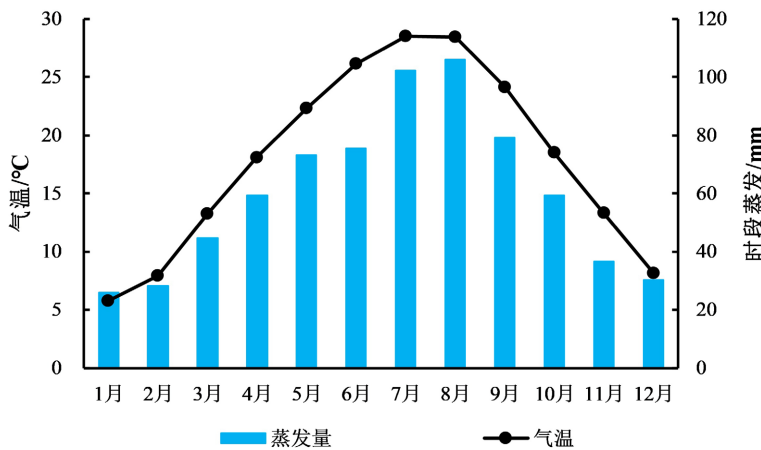


Figure 2. Variation of monthly mean temperature and evaporation 2010 to 2021 at Yichang evaporation station

图 2. 宜昌蒸发站 2010~2021 年月平均气温及蒸发量变化

Table 1. Average soil moisture content by weight from 2010 to 2021 at Yichang evaporation station**表 1.** 宜昌蒸发站 2010~2021 年平均土壤重量含水率

时间	2010~2021 年平均土壤重量含水率(%)			
	10 cm	20 cm	40 cm	垂线平均
1 月 1 日	20.5	21.5	21.1	21.0
1 月 11 日	22.2	22.1	21.1	21.9
1 月 21 日	21.2	22.3	21.3	21.6
2 月 1 日	23.2	22.9	21.4	22.7
2 月 11 日	21.3	22.1	21.1	21.6
2 月 21 日	20.7	22.4	21.5	21.5
3 月 1 日	21.5	22.5	22.1	22.0
3 月 11 日	23.9	23.5	22.4	23.4
3 月 21 日	24.5	24.0	22.0	23.7
4 月 1 日	23.4	24.0	22.0	23.3
4 月 11 日	24.5	24.6	21.8	23.9
4 月 21 日	26.3	24.7	22.1	24.7
5 月 1 日	20.0	23.2	21.6	21.6
5 月 11 日	24.3	24.1	22.8	23.8
5 月 21 日	24.3	24.8	22.4	24.0
6 月 1 日	23.1	24.9	22.3	23.6
6 月 11 日	23.2	24.8	22.9	23.7
6 月 21 日	23.8	24.6	23.3	24.0
7 月 1 日	23.1	24.3	22.9	23.5
7 月 11 日	24.4	24.6	23.2	24.2
7 月 21 日	23.2	24.4	22.9	23.6
8 月 1 日	20.4	22.0	22.5	21.5
8 月 11 日	21.0	22.3	23.0	22.0
8 月 21 日	20.7	21.7	23.1	21.6
9 月 1 日	20.7	23.5	22.6	22.2
9 月 11 日	19.8	22.6	21.5	21.3
9 月 21 日	20.7	22.7	21.8	21.7
10 月 1 日	21.5	23.5	22.5	22.5
10 月 11 日	19.9	21.6	21.7	21.0
10 月 21 日	22.1	22.0	21.2	21.8
11 月 1 日	22.2	22.6	21.3	22.1
11 月 11 日	21.7	22.6	21.3	21.9
11 月 21 日	22.7	22.8	21.5	22.4
12 月 1 日	22.2	22.7	21.1	22.1
12 月 11 日	20.1	21.9	21.3	21.1
12 月 21 日	19.8	20.8	20.1	20.2

Table 2. Monthly mean soil moisture content by weight from 2010 to 2021 at Yichang evaporation station
表 2. 宜昌蒸发站 2010~2021 年月平均土壤重量含水率

月份	2010~2021 月平均土壤重量含水率(%)				时段降雨量(mm)
	10 cm	20 cm	40 cm	平均	
1 月	20.8	21.7	21.2	21.3	23.0
2 月	22.1	22.7	21.3	22.1	27.5
3 月	23.6	23.6	22.0	23.2	61.2
4 月	24.7	24.6	22.0	24.0	98.7
5 月	23.4	24.3	22.3	23.4	133.1
6 月	23.7	24.9	22.8	23.9	175.8
7 月	23.6	24.7	23.0	23.8	218.5
8 月	19.8	21.3	22.4	21.0	168.4
9 月	20.4	22.9	22.0	21.7	98.7
10 月	21.2	22.4	21.8	21.8	84.0
11 月	22.2	22.7	21.4	22.2	46.5
12 月	20.7	21.8	20.8	21.1	13.7

由图 1~图 2 和表 1~表 2 可知,不同深度的土壤月际重量含水率与降雨量的变化趋势相似。其中,深度为 10 cm 和 20 cm 处受降雨影响最显著,变幅较大,而 40 cm 土壤含水量变化相对平缓,变幅小,但总体趋势与降雨量变化趋势一致。1~7 月份降雨量逐月增加,但土壤含水率呈现先增加-稳定-减小的趋势,是由于 1~3 月份降雨量逐月增长,但总量不多,加之气温同步上升引起蒸发量增长,致使增加的降雨无法填补蒸发引起的失墒,因而 3~7 月份土壤含水率出现稳定-减小的趋势。6 月份土壤平均含水率为全年峰值,10 cm、20 cm、40 cm 及垂线平均土壤重量含水率分别为 23.6%、24.8%、23.0%、23.9%。7~12 月份降雨量逐月减少,但土壤含水率呈现减小-回升-稳定-减小的趋势,7 月份进入主汛期,降雨量达到峰值 219.1 mm,约占全年总降雨量的 19.1%,即便如此,从 7 月份开始土壤含水率反而逐步降低,这是因为 7、8 月份的气温达到全年的峰值区,相应的蒸发量也达到全年的峰值区。8 月份土壤含水率达到全年最低值,10 cm、20 cm、40 cm 及垂线平均土壤重量含水率分别为 19.7%、21.4%、22.2%、21.0%。进入 9 月份之后,气温和相应的蒸发量同步快速降低,由于 8 月份出现的土壤含水率谷值在一个相对较低的水平,虽然降雨量逐渐减小,但 9 月份的土壤含水率出现小幅度回升,并维持在较稳定的范围直至 11 月份,总体来说下半年 9~11 月份的土壤含水率与上半年 1~2 月份基本持平。进入 12 月份后,降雨量达到全年最低值,气温低、蒸发小,土壤含水率略有降低。

3.2. 年际变化分析

影响土壤含水量年际变化的主要因素是降雨。为分析土壤墒情年际变化规律,选取宜昌蒸发站 2010~2021 年的土壤墒情监测数据,通过统计分析得到 10 cm、20 cm、40 cm 及垂线平均土壤重量含水率和同期年平均降雨量,并绘制出相应的曲线。详见表 3 及图 3~图 4。

由表 3、图 3~图 4 可知,宜昌市土壤含水率年际变化受降雨量的影响显著。2019 年的降雨量为 829.0 mm,比平均值少 27.8%,是近 12 年来的谷值。对应的土壤含水率也是同期最低水平,10 cm、20 cm、40 cm 及垂线平均土壤重量含水率分别为 19.3%、20.8%、20.0%、20.0%,比多年平均值分别偏少 13.7%、10.8%、9.2%、11.5%。2020 年全年降雨量为 1770.8 mm,比平均值高 54.1%,是近 12 年来的峰值。相应的土壤含水率也是同期最高水平,10 cm、20 cm、40 cm 及垂线平均土壤重量含水率分别为 29.3%、27.0%、21.0%、26.4%,比多年平均值分

别偏高 30.7%、15.6%、4.3%、16.4%。

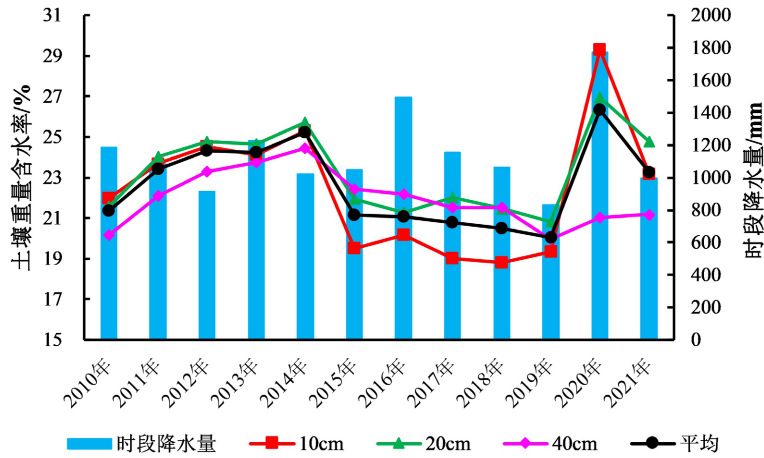


Figure 3. Variation of annual mean soil moisture content and rainfall from 2010 to 2021 at Yichang evaporation station

图 3. 宜昌蒸发站 2010~2021 年平均土壤重量含水率及降雨量变化

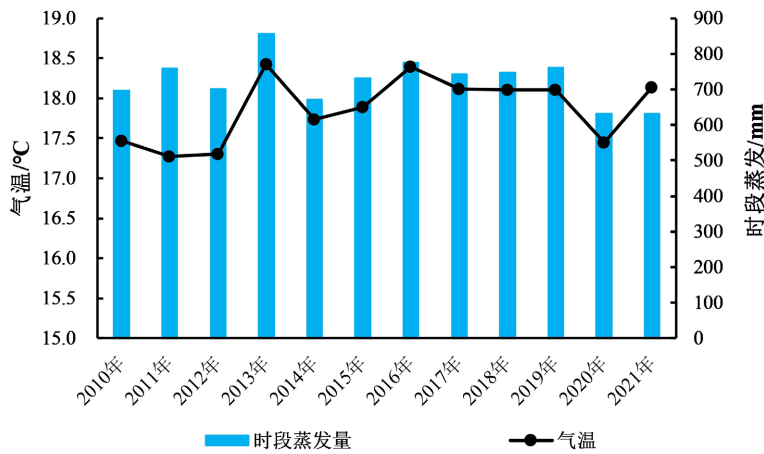


Figure 4. Variation of annual mean temperature and evaporation 2010 to 2021 at Yichang evaporation station

图 4. 宜昌蒸发站 2010~2021 年年平均气温及蒸发量变化

Table 3. Annual mean soil moisture content by weight from 2010 to 2021 at Yichang evaporation station

表 3. 宜昌蒸发站 2010~2021 年年平均土壤重量含水率

年份	2010~2021 年平均土壤重量含水率(%)				年降雨量(mm)
	10 cm	20 cm	40 cm	平均	
2010 年	21.9	21.6	20.2	21.4	1186.9
2011 年	23.6	23.9	22.0	23.3	1083.5
2012 年	24.5	24.7	23.3	24.3	911.2
2013 年	24.2	24.7	23.8	24.3	1228.9
2014 年	25.2	25.7	24.4	25.2	1023.1
2015 年	19.6	22.1	22.6	21.3	1046.3
2016 年	20.2	21.3	22.2	21.1	1492.7

Continued

2017 年	16.4	19.3	21.6	18.8	1155.7
2018 年	18.5	21.2	21.4	20.2	1064.2
2019 年	19.5	20.9	20.1	20.2	829.0
2020 年	29.0	26.7	20.9	26.1	1770.8
2021 年	23.6	25.0	21.1	23.5	995.6

4. 2022 年 8 月旱情案例分析

近年来, 极端气象事件频发, 由此带来的干旱问题时有发生。因此, 探明土壤墒情变化规律后, 还应结合气象因素监测结果, 对即将发生或已发生的干旱事件进行预警和后分析, 为制定灾前应对方案和后续改进措施提供指导。本文以宜昌市 2022 年 8 月出现的旱情为例进行分析。

根据宜昌蒸发站监测数据, 2022 年 8 月份, 日均气温为 31.1℃, 最高气温达到 40℃ 以上。气温超过 30℃ 的天数为 25 d, 持续时长达到 24 d。通过分析本站自 1984 年建站以来的气温监测资料, 历史最高气温出现在 2010 年, 为 42.1℃, 而本月 15 日的最高气温达到 42.4℃。2010~2021 各年 8 月累计降雨量如图 5 所示, 可以看出, 本年度 8 月份累计降雨量呈现出断崖式降低, 较常年平均降雨量减少 87.6%。

2022 年 8 月垂线平均土壤重量含水率为 12.7%, 通过代表性土壤类型的干旱等级划分指标可知(表 4), 干旱等级为重度干旱。从地形上看, 岗丘地带涵养水源能力有限, 虽然宜昌市水资源丰富, 但大部分降雨汇入长江、黄柏河等天然河道。自 2022 年 7 月以来, 长江全流域遭遇严重干旱, 宜昌市上游来水量减少, 加上降雨量较常

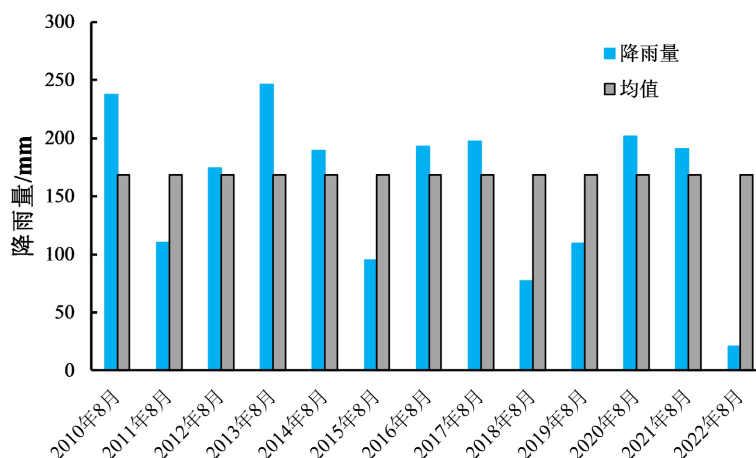


Figure 5. Cumulative rainfall in August 2010-2021 at Yichang evaporation station

图 5. 宜昌蒸发站 2010~2021 各年 8 月累计降雨量

Table 4. Drought classification table for representative soil types

表 4. 代表性土壤类型的旱情等级划分表

土壤类别	土壤墒情	墒情等级			
		适宜正常	轻度干旱	中度干旱	重度干旱
沙壤土	重量含水量(%)	10.0~13.0	9.0~10.0	7.5~9.0	<7.5
壤土		14.0~17.0	12.8~14.0	10.5~12.8	<10.5
粘壤土		18.0~23.0	16.0~18.0	13.0~15.0	<13.0

年大幅减少, 气温持续偏高, 全市大型水库低水位运行, 部分小型水库水量不足甚至干涸。为应对墒情不足, 科学规划建设和调度水利工程, 可以在一定程度上削弱大范围严重干旱事件发生的概率。

5. 结论

宜昌蒸发站是长江流域的大型蒸发站, 单站的墒情监测结果并不足以代表整个市行政区域, 受地形地势、高程、土壤类型以及观测仪器的限制, 墒情的时空分布规律具有较强的不确定性, 但代表站的墒情结果仍能代表该地区的一般特征和规律。本文通过对该站 2010~2021 年的土壤墒情监测数据进行整理分析, 结论如下: 10 cm、20 cm 土壤含水量受降雨量影响显著, 变幅较大, 而 40 cm 土壤含水量变化相对平缓, 变幅小, 受降雨量影响不显著。从月际变化角度来看, 宜昌蒸发站土壤含水率与降雨量的变化规律一致, 但在夏季受气温影响显著, 3~6 月份为土壤含水率高位时段, 1、8、12 月份为土壤含水率低位时段, 1~2 月份与 9~11 月份的土壤含水率基本持平; 从年际变化角度来看, 宜昌蒸发站土壤含水率的变化受降雨因素的影响十分明显, 2019 年和 2020 年的土壤含水率分别对应近 12 年来最低和最高, 相应的降雨量也具备一致的特征。2022 年 8 月宜昌市旱情等级为重度干旱, 结合干旱隐蔽性和发展长期性的特点, 需要进一步利用历史水文监测信息, 围绕农业供水需求, 研究水文监测信息与旱情的对应关系, 实现对干旱进行及时监控和预警。

参考文献

- [1] 宜昌市自然资源和规划局. 宜昌市第三次国土调查主要数据公报. 2022.
Yichang Bureau of Natural Resources and Planning. Main data bulletin of the third land survey of Yichang City. 2022. (in Chinese)
- [2] 顾建芹, 江健. 上海市奉贤区土壤墒情变化规律与评价指标研究[J]. 上海农业学报, 2020, 36(6): 103-108.
GU Jianqin, JIANG Jian. Changing law and evaluation index system of soil moisture in Fengxian district of Shanghai. Acta Agriculturae Shanghai, 2020, 36(6): 103-108. (in Chinese)
- [3] 刘敏, 敬缠琴, 胡爱莲. 土壤墒情监测探索与思考——以甘肃省环县为例[J]. 农业科技与信息, 2022(1): 35-38.
LIU Min, JING Chanqin and HU Ailian. Exploration and thinking on soil moisture monitoring: Taking Huan County of Gansu Province as an example. Agricultural Science-Technology and Information, 2022(1): 35-38. (in Chinese)
- [4] 陈鹏飞, 李继堂, 赵家良, 王振龙. 土壤墒情预报技术在抗旱减灾中的应用研究[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2002(4): 9-11.
CHEN Pengfei, LI Jitang, ZHAO Jialiang and WANG Zhenlong. Application of soil moisture forecast technology in drought resistance and disaster reduction. Journal of Anhui Technical College of Water Resources and Hydroelectric Power, 2002(4): 9-11. (in Chinese)
- [5] 郝晓莉, 李明良, 范素平. 河北省旱情(墒情)监测实践与改进建议[J]. 中国防汛抗旱, 2014, 24(2): 26-28.
HAO Xiaoli, LI Mingliang and FAN Suping. Practice and suggestions on drought (moisture) monitoring in Hebei Province. China Flood & Drought Management, 2014, 24(2): 26-28. (in Chinese)
- [6] 朱喜文, 张祎, 敖谦, 胡春梅. 气温变暖对宜昌水面蒸发量的影响[J]. 水利水电快报, 2012, 33(7): 79-80.
ZHU Xiwen, ZHANG Yi, AO Qian and HU Chunmei. Influence of temperature warming on water surface evaporation in Yichang. Express Water Resources & Hydropower Information, 2012, 33(7): 79-80. (in Chinese)
- [7] 张鹏宇, 王振洋, 张雅, 曾令. 宜昌城区短历时暴雨强度公式参数优化及暴雨雨型特征分析[J]. 水利水电快报, 2021, 42(6): 8-11+15.
ZHANG Pengyu, WANG Zhenyang, ZHANG Ya and ZENG Ling. Parameter optimization of short duration rainstorm intensity formula and analysis of rainstorm pattern characteristics in Yichang urban area. Express Water Resources & Hydropower Information, 2021, 42(6): 8-11+15. (in Chinese)
- [8] 回凤林. 沧州市近五年来土壤墒情变化规律研究[J]. 河南水利与南水北调, 2021(4): 20-22.
HUI Fenglin. Study on the law of soil moisture change in Cangzhou city in recent five years. Henan Water Resources and South-to-North Water Diversion, 2021(4): 20-22. (in Chinese)