

洪湖市2022年高温干旱特征及其影响

尹航^{1,2*}, 秦鹏程^{3#}, 黄鹏程⁴, 张丽文³, 邓艳君⁵

¹洪湖市气象局, 湖北 洪湖

²暴雨监测预警湖北重点实验室, 湖北 武汉

³武汉区域气候中心, 湖北 武汉

⁴兰州区域气候中心, 甘肃 兰州

⁵荆州市气象局, 湖北 荆州

收稿日期: 2023年12月8日; 录用日期: 2024年1月30日; 发布日期: 2024年2月21日

摘要

2022年夏秋季发生在洪湖市的异常高温干旱事件强度大、持续时间长, 对当地的社会经济和自然生态系统造成了严重影响。为深入剖析此次干旱过程及其致灾特点, 利用洪湖市长序列气象观测资料, 基于干旱事件客观化识别与评估方法, 建立历史干旱过程事件库, 结合典型年干旱过程灾情资料, 对2022年夏秋季干旱的极端性及其影响进行评估。结果表明: 2022年洪湖市干旱过程持续139 d, 过程内降水距平百分率达-75.4%, 相对湿润度指数达-0.79, 过程综合强度指数达22.4, 为特强等级, 在1961年以来113次干旱过程中综合强度位居第一; 2022年洪湖市干旱与异常高温和长江流域性干旱叠加, 造成地表土壤相对湿度大部时段低于65%, 洪湖水体面积缩减近10%, 长江螺山站水位较历史最低水位偏低1.5~3.3m, 洪湖水位创2010年以来同期新低, 连续多日低于最低生态水位, 东荆河下游38.9 km河段断流; 2022年干旱过程与典型干旱年相比, 呈现出气象干旱达极值、水文干旱创极值、旱情发展快、骤旱特征明显等新特点。

关键词

2022年干旱, 高温, 灾情, 洪湖市

Characteristics and Effects of High Temperature and Drought in 2022 in Honghu City

Hang Yin^{1,2*}, Pengcheng Qin^{3#}, Pengcheng Huang⁴, Liwen Zhang³, Yanjun Deng⁵

¹Honghu Meteorological Bureau, Honghu Hubei

²Hubei Key Laboratory of Rainstorm Monitoring and Warning, Wuhan Hubei

³Wuhan Regional Climate Center, Wuhan Hubei

⁴Lanzhou Regional Climate Center, Lanzhou Gansu

⁵Jingzhou Meteorological Bureau, Jingzhou Hubei

*第一作者简介: 尹航(1994-), 男, 山东潍坊人, 助理工程师, 本科, 主要从事灾害性天气监测预警与应用气象工作, Email: 354394289@qq.com

#通讯作者 Email: qinpengcheng027@163.com

Abstract

In the summer and autumn of 2022, the abnormally high temperature and drought event occurred in Honghu City with high intensity and long duration, which had a serious impact on the local social and natural ecosystem. To investigate the characteristics of the drought hazard and disaster-forming process, the historical drought process event database was established based on the objective identification and evaluation method of drought events based on the meteorological observation data of Honghu long sequence. Followingly, the extremeness and impacts of the drought in summer and autumn of 2022 were evaluated, by combining with the disaster census data of drought events in typical years. The results show that the drought process lasted for 139 days and the percentage of precipitation anomaly in the process reached -75.4%. The relative wetness index reached -0.79, and the drought intensity index reached 22.4. The comprehensive intensity level was "extremely strong", ranking the first among 113 drought processes since 1961. In 2022, the combination of drought and abnormally high temperature in Honghu City and drought in the Yangtze River basin caused the relative humidity of farmland soil lower than 65% in most days during the drought process, and the surface water area of Honghu Lake reduced by nearly 10%. The water level of Luoshan Station on the Yangtze River declined to 1.5~3.3 m lower than the lowest water level in history, and the water level of Honghu Lake declined to the lowest in the same period since 2010, which was lower than the lowest ecological water level for many consecutive days. The river was cut off for 38.9 km at the lower reaches of Dongjing River. Compared with typical dry years, the drought process in 2022 presents some new characteristics, such as the meteorological and hydrological drought intensity ranked the first in history, and the development of the drought process were characterized by a flash drought with rapid rate.

Keywords

Drought in 2022, High Temperature, The Situation of a Disaster, Honghu City

Copyright © 2024 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/>



1. 引言

干旱是一种常见的、对人类经济社会和自然生态系统具有较大影响的自然灾害，干旱能否造成灾害，既取决于降水、气温、蒸发等自然因素，也取决于土地利用、种植结构、人口规模、产业布局、生产水平以及水利工程供水能力等经济社会因素[1]。我国是干旱灾害发生频率最高、影响最严重的国家之一，每年因干旱灾害造成的直接经济损失高达 440 亿元[2]。已有研究表明，我国北方是干旱频发的主要区域，许多学者针对北方干旱灾害的特征和形成机理进行了大量研究，形成了很多有意义的成果[3]。然而，随着气候变暖，近年来我国南方地区(包括长江流域)的干旱事件也逐渐增多，并呈现出与高温并发以及极端性增强等新特点，21 世纪以来湖北省极端高温和干旱事件频率明显增加，2022 年夏秋季湖北省乃至长江流域再次发生异常高温干旱事件，多地高温强度、持续时间和极端少雨的程度历史罕见，对水资源、农业、生态和社会经济系统造成了广泛影响，其呈现出的新特点和内在成因应引起足够的重视和深入的研究[4] [5]。虽然已有研究对南方地区干旱灾害的风险特征及成因进行了一些初步分析[6] [7] [8]，但由于对其科学认识仍然不足，许多问题还有待进一步了解，严重影响了南方地区干旱减灾防灾能力的提升。

2022 年夏季,我国中东部地区出现 1961 年有完整气象观测记录以来的最强高温过程,长江流域大部地区自 6 月中旬开始降水持续偏少,发生严重伏秋干旱,造成大范围地表土壤失墒、流域径流减少,导致农作物产量和品质下降,农业生产成本增加,流域供水、发电和航运功能受到严重影响,生态系统生产力和生态质量下降、森林火险频发,居民生活用水和用电受到严重影响[9]。洪湖市地处长江中游江汉平原腹地,境内有全国第七大淡水湖——洪湖,共有大小湖泊 102 个,被誉为“湖北之肾”。2022 年 7 月上旬洪湖市旱象初现,8 月 23 日启动干旱防御四级响应,直至 10 月 12 日结束,持续时间达 51 d。持续性干旱与极端高温叠加,对洪湖市水产养殖、农业生产、人畜饮水以及湿地生态系统等造成了严重影响,发生在洪湖市的高温干旱事件及其影响是长江流域大范围高温干旱的缩影。

本文旨在利用洪湖市长序列气象观测资料,基于干旱事件客观化识别与评估方法,建立历史典型干旱过程事件库,并对 2022 年夏秋季干旱的极端性进行评估,结合典型年干旱过程灾情资料,剖析干旱对农业、水文、生态等方面的影响及其致灾特点,为科学认识气候变化背景下高温干旱发生发展规律,助力防灾减灾和应对气候变化提供科技支撑。

2. 资料与方法

2.1. 资料

本文所使用气象资料为洪湖市国家气象站 1961~2022 年逐日降水、气温(日平均气温、最高气温、最低气温)、日照时数、蒸发量、相对湿度、平均风速等观测数据,由湖北省气象信息保障中心提供,均经过质控检验。

高分卫星遥感资料来自武汉区域气候中心,干旱灾情统计资料、高温干旱期间江河水情及农作物生长发育等数据分别来自于洪湖市应急管理局、统计局、水利局、农业农村局等相关部门。

2.2. 方法

干旱事件定义和识别方法

根据区域性干旱过程监测评估方法(QX/T 597-2021) [10]中单站干旱过程监测方法,基于气象干旱综合监测指数(Meteorological Drought Composite Index, MCI),对洪湖市历史干旱事件进行识别,并对干旱事件进行分析。

1) 气象干旱综合监测指数(MCI)

MCI 考虑了 60 d 内的有效降水(权重累积降水)、30 d 内蒸散(相对湿度)以及季度尺度(90 d)和近半年尺度(150 d)降水的综合影响,计算公式如下:

$$MCI = K_a \times (a \times SPIW_{60} + b \times MI_{30} + c \times SPI_{90} + d \times SPI_{150}) \quad (1)$$

式中: $SPIW_{60}$ 为近 60 d 标准化权重降水指数; MI_{30} 为近 30 d 相对湿度指数; SPI_{90} 、 SPI_{150} 为 90 d 和 150 d 标准化降水指数; K_a 为季节调节系数; a 、 b 、 c 、 d 为权重系数。相关指数的计算和参数取值参见气象干旱等级标准(GB/T20481-2017) [11], MCI 干旱等级划分标准见表 1。

表 1. 气象干旱综合监测指数(MCI)的气象干旱等级划分

干旱等级	MCI
无旱	$-0.5 < MCI$
轻旱	$-1.0 < MCI \leq -0.5$
中旱	$-1.5 < MCI \leq -1.0$
重旱	$-2.0 < MCI \leq -1.5$
特旱	$MCI \leq -2.0$

2) 干旱过程的确定

以 MCI 为干旱过程识别的判别指标, 当某日干旱强度的等级达到轻旱及以上, 且持续 15 d 及以上, 其中至少有一日达中旱及以上等级, 则确定发生一次干旱过程。干旱过程时段内第一次出现轻旱的日期, 为干旱开始日。干旱过程发生后, 当连续 5 d 出现日干旱等级为无旱时, 则确定为过程结束, 干旱过程结束前最后一天日干旱等级达轻旱及以上的日期为干旱结束日。干旱开始日到结束日(包含结束日)的总天数为干旱过程日数[10]。

3) 干旱过程强度

通过滑动干旱过程内持续干旱天数计算累计干旱强度, 取干旱过程内累计最强干旱强度作为干旱过程强度 Z, 计算公式如下:

$$Z = \max_{k=1,m;n=1,k} [D(n)] \tag{2}$$

式中: $\max_{k=1,m;n=1,k} ()$ 为通过不断滑动比较寻找 n 时段内, 累计干旱强度的最大值; m 为干旱过程总天数; n 为干旱过程内干旱的持续天数, D(n)为累计干旱强度, 按公式(3)计算:

$$D(n) = n^{a-1} \sum_{i=1}^n l(i) \tag{3}$$

式中: a 为权重系数, 一般取 0.5~1.0, 本文在干旱过程强度计算时取 0.5, 在过程累计干旱强度时取值 1.0; l(i) 为干旱过程内第 i 天的区域日干旱强度的绝对值。

干旱过程强度等级采用百分位数分法进行划分, 基于洪湖市国家站 1961~2022 年历次干旱过程强度 Z, 分别以 50%、80%、95% 分位数将干旱过程强度划分为一般、较强、强和特强 4 个等级。

3. 结果与分析

3.1. 洪湖市历史干旱过程

根据干旱过程监测评估方法识别出洪湖市 1961~2022 年共发生 113 次干旱过程, 平均每年发生 1.8 次, 其中特强干旱过程有 5 次, 强干旱过程有 17 次, 较强干旱过程有 29 次, 一般干旱过程有 62 次。根据干旱过程综合强度指数将洪湖市 1961~2022 年历次干旱过程排序, 最强的 10 次过程如表 2 所示。其中, 特强等级干旱过程有 5 次, 分别发生于 2022 年、2019 年、1968 年、1992 年和 2011 年, 其持续时间最长达 190 d, 最短为 70 d。从季节上来看, 夏秋季居多, 其次为春季, 部份年份干旱可持续 3 个季度或贯穿全年。干旱期间降水量距百分率一般低于 -60%, 相对湿润度指数 -0.79~-0.23, 最长连续无降水日数 13~38 d。

表 2. 洪湖市最强 10 次典型干旱过程(1961~2022 年)

序号	过程起始时间 (年月日)	过程结束时间 (年月日)	干旱过程 强度指数	过程评 估等级	过程持续 天数(天)	过程内降水距平 百分率(%)	最长连续无雨 日数(天)	过程相对 湿润度指数	日最高≥35℃ 日数(天)
1	20220720	20221205	22.4	特强	139	-75.4	37	-0.79	36
2	20190803	20200108	21.2	特强	159	-68.6	38	-0.71	23
3	19680531	19681206	20.2	特强	190	-64.0	19	-0.51	12
4	19920722	19930102	19.5	特强	165	-65.8	31	-0.70	20
5	20110124	20110603	16.9	特强	131	-57.4	16	-0.26	1
6	19981113	19990328	14.9	强	136	-54.7	26	-0.23	0
7	19720605	19721001	14.5	强	119	-60.2	13	-0.53	18
8	19660729	19661006	13.3	强	70	-69.0	28	-0.79	19
9	19791011	19791230	13.0	强	81	-69.8	25	-0.67	0
10	19731114	19740122	12.1	强	70	-63.3	25	-0.57	0

3.2. 2022 年干旱过程特征

根据 MCI 气象干旱指数监测(图 1), 2022 年 7 月 12 日起, 洪湖东部沿江一带开始出现轻度气象干旱, 随着降水持续偏少, 气温持续偏高, 干旱逐步西扩并加剧, 至 8 月 4 日, 洪湖大部地区达中度气象干旱等级; 8 月 16 日, 洪湖大部乡镇气象干旱达重旱, 8 月 23 日, 洪湖市区、螺山镇、乌林镇、龙口镇、大沙镇等地区出现特旱, 随后, 受人工增雨作业影响, 8 月底上述地区缓解为重旱; 9 月开始, 特旱范围从沿江一带逐渐向北、向东发展, 至 9 月 22 日全市出现特旱并持续至 10 月 6 日, 受降水过程影响, 旱情缓解为中旱; 10 月下旬, 旱情再度加剧达至重旱, 11 月 8 日全市特旱, 后因冷空气活动带来的降水影响, 旱情逐渐缓解, 部分地区达到无旱标准。此次过程持续时间达 139 d, 最长连续无雨日数达 37 d, 综合强度为 1961 年以来历史最强, 呈现以下显著特点:

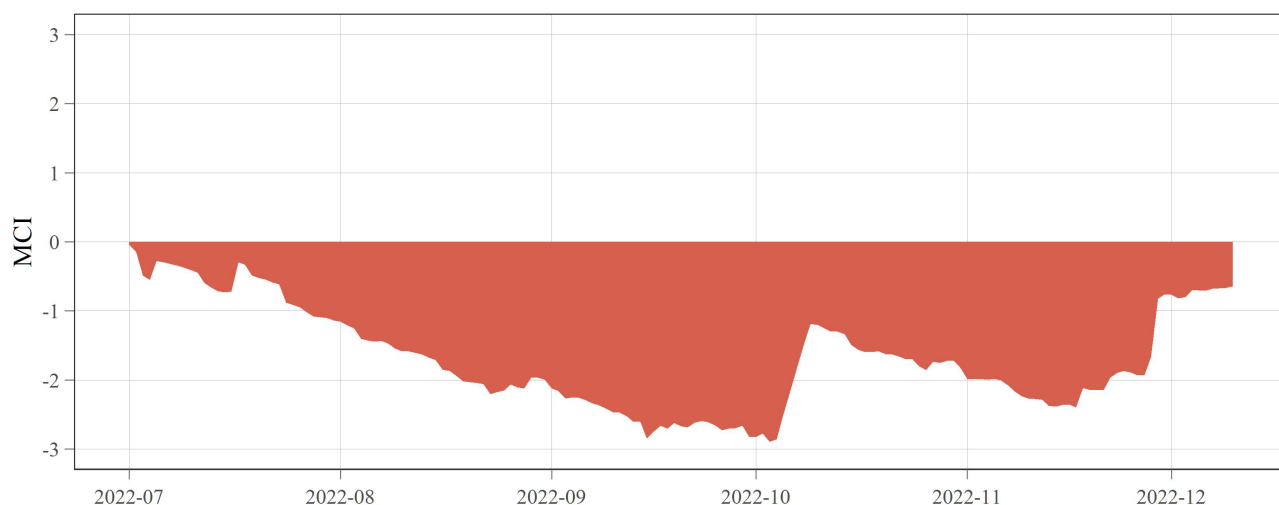


图 1. 2022 年 7 月~12 月洪湖市逐日气象干旱指数变化图

1) 降水异常偏少

2022 年 7~9 月洪湖市降水总量较历史同期偏少 8 成以上, 期间仅出现短时分散性局地阵雨, 未出现明显的区域性降水过程。在旱象初现的 7 月 20 日至干旱结束的 12 月 5 日, 洪湖站累积雨量为 96.6 mm, 比历年同期偏少 7 成以上, 位列历史同期倒数第三位, 雨日 27 d, 比历史同期偏少 12.4 d, 位列历史同期倒数第四位, 期间出现两段少雨时段: 7 月 20 日~10 月 4 日(仅 8 月 26 日 1.8 mm、29 日 1.5 mm, 9 月 22 日 1.3 mm)、10 月 10 日~11 月 20 日(仅 10 月 27 日 2.8 mm、28 日 0.8 mm、29 日 1.4 mm, 11 月 18 日 5.0 mm)。

2) 气温异常偏高

2022 年 7~11 月洪湖国家气象站平均气温 24.9℃, 较历史同期偏高 2.0℃, 位列历史同期第 1 高; 日极端最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 的高温天气共 46 d, 比常年同期偏多 26 d, 居 1961 年有完整气象观测记录以来同期第 1 位。7 月 9~16 日、7 月 21 日~8 月 27 日洪湖出现两端大范围高温天气过程, 7 月 31 日~8 月 23 日连续 24 d 最高气温超过 35℃, 7 月 7 日出梅至 8 月 28 日连续 51 d 最高气温超过 30℃, 其中 8 月 18 日最高气温达 39.4℃, 为建站以来历史第 2 高。

3) 蒸发大, 土壤失墒快

受持续晴热高温天气影响, 7~11 月洪湖市累计蒸发量达 727.8 mm, 其中 8 月 1~29 日连续 29 d 日蒸发量超过 5 mm, 日蒸发量最大达 10.1 mm, 导致土壤失墒快, 8 月 1 日与 7 月 24 日相比 10 cm 地表土壤相对湿度下降了 12%、20 cm 地表土壤相对湿度下降了 10%。其中 8 月 12 日~10 月 7 日、11 月 1 日~20 日 10 cm 地表土壤相

对湿度连续 77 d 在 65% 以下。

3.3. 2022 年干旱事件影响

3.3.1. 对农业生产的影响

2022 年洪湖市极端干旱发生在夏秋季节，正值农作物生长关键期，蒸腾旺盛、需水量大，持续高温干旱造成洪湖市共 16 个乡镇 228 个村 83,975 人受灾，农作物受旱面积 23,141 hm²，受灾面积 12,947 hm²，其中成灾面积 5872 hm²，绝收面积 206 hm²，主要受灾作物有棉花、水稻、芝麻、大豆、玉米、黄豆、蔬菜、花生、中稻，鱼、蟹等水产养殖业生产成本骤增，效益严重下降。

3.3.2. 对湖泊生态的影响

洪湖挖沟咀站水位监测显示(图 2)，自 8 月起洪湖水位持续下降，位居 2010 年以来最低值，连续多日低于最低生态水位，8 月 29 日水位下降至 24.25 m，较多年平均偏低 0.96 m。

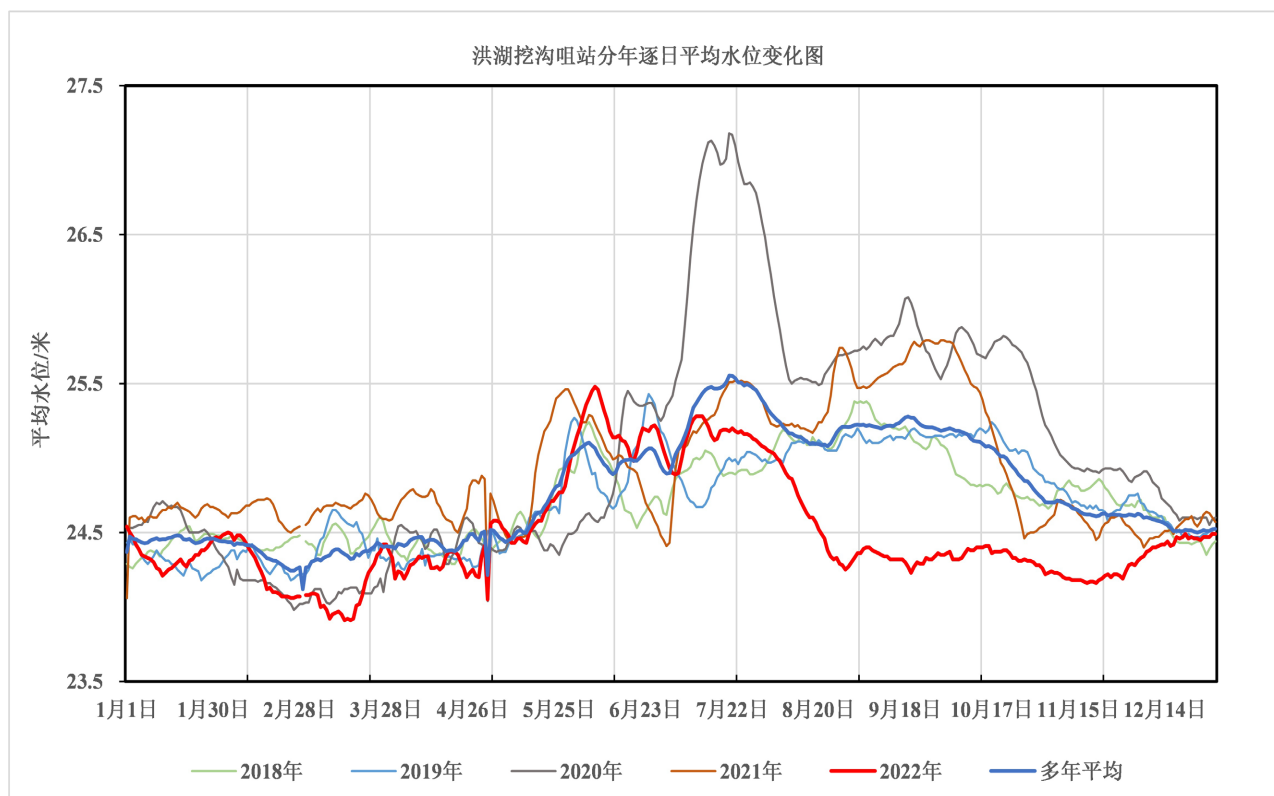


图 2. 2018 年以来洪湖挖沟咀水位监测

利用 2022 年 7~8 月 3 期高分卫星数据开展洪湖水体面积监测显示(表 3、图 3)，8 月洪湖水体面积持续走低，8 月下旬洪湖水体面积仅 322.92 km²，较 7 月初减少 28.42 km²，缩减幅度为 8.1%。洪湖水位持续下降、面积缩小、水资源短缺，对湖区生态系统、农业生产和居民生活造成了一定影响。

3.3.3. 与典型年灾情特点的比较

1) 2011 年干旱

2011 年 1 月下旬~6 月上旬洪湖市发生严重冬春连旱，过程持续 130 余 d。据挖沟咀站水位监测，5 月 21 日水位 23.20 m，平均水深为 0.48 m，较常年偏低 0.87 m，蓄水量 0.54 亿 m³，较历史同期偏少 3.45 亿 m³，较年

表 3. 2022 年 7~8 月洪湖水体面积监测表

监测时间	7 月 2 日	8 月 9 日	8 月 25 日
洪湖水体面积(km ²)	351.34	328.21	322.92

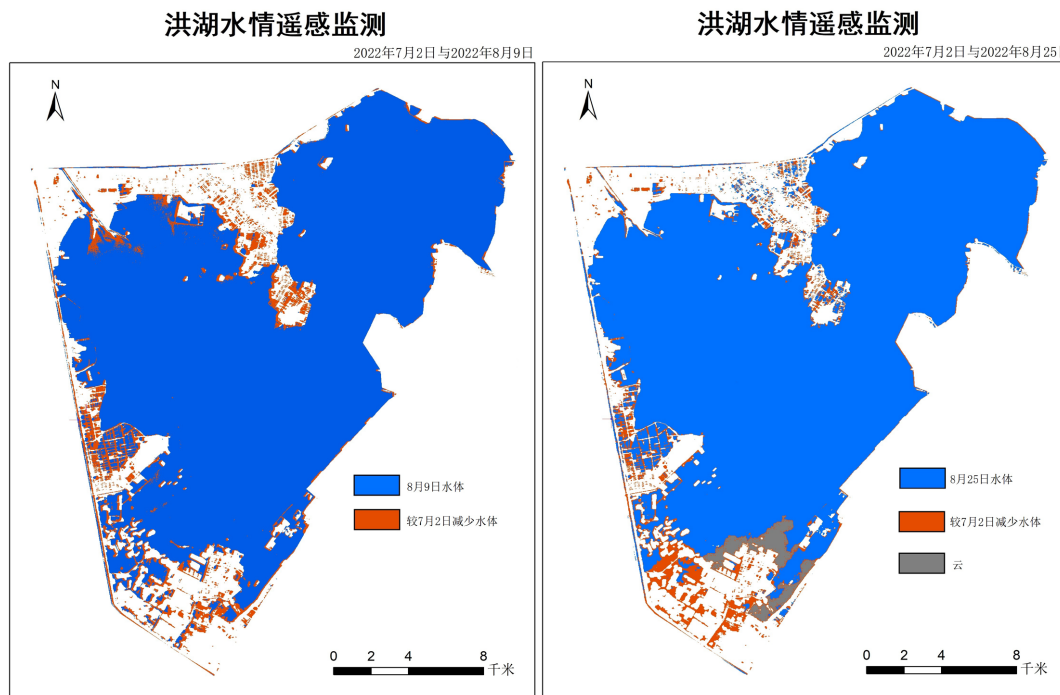


图 3. 2022 年 7 月 2 日、8 月 9 日、8 月 25 日洪湖水体遥感监测

初减少 3.31 亿 m³, 减少幅度达 86.0%, 水面面积 113.2 km², 较历史同期偏少 280.2 km²。干旱导致湿地疏干、面积萎缩, 洪湖湿地水面积相比 2010 年同期减少了 83.93 km², 减小比例为 26%, 超过湖区面积的 1/4, 洪水调蓄、水质净化等湿地生态系统服务功能下降, 据估算, 洪湖水生植物损失 80% 以上, 天然鱼损失 95% 以上, 水草及其它水生植物死亡, 并造成水源涵养、保护生物多样性、物质生产和水质净化功能均受到严重损害。干旱对水产养殖业造成严重危害, 环湖部分地区和湖心茶坛岛、船头嘴等区域见底, 成鱼死亡达 3.25 万 t, 蟹苗死亡 1500 t, 直接经济损失 5.3 亿元。棉花幼苗因缺水无法移栽, 迟播中稻因缺水无法育秧, 农作物受灾面积 6 万 hm², 直接经济损失约 9800 万元[12]。此次过程综合强度位列 1961 年以来历史第五强, 但由于发生在冬春季, 湖泊水位较低, 对湖泊湿地生态系统影响极大。

2) 2019 年干旱

2019 年 7 月下旬后期, 受高温、少雨天气影响, 洪湖市出现中到重度气象干旱, 并持续至次年 1 月上旬, 发生夏秋冬连旱。7 月 21 日以来至 10 月 9 日, 洪湖市累计抗旱 80 d, 陆续开启沿长江燕窝站闸、沿东荆河 5 座涵闸、沿洪湖及以下内荆河相关涵闸泵站引水抗旱, 累计通过长江引水 11,952.1 万 m³, 东荆河引水 5542 万 m³。此次气象干旱过程综合强度位列 1961 年以来历史第二强, 但由于抗旱水源得到基本保障, 有效减轻了旱灾损失。据统计, 干旱导致洪湖市受灾人口 133,842 人, 受灾面积 15,039 hm², 成灾 4858 hm², 绝收 1005 hm², 直接损失 8607 万元。

3) 2022 年干旱

2022 年夏秋季洪湖市异常高温与干旱叠加, 本地干旱与流域干旱叠加造成历史极端干旱现象[13] [14], 相比与 2011、2019 典型干旱年有以下新的特点: ① 气象干旱达极值。7 月 7 日出梅后至 12 月上旬降水异常偏少, 洪湖国家站累计降水量仅 41.2 mm, 较历年同期偏少 88.5%, 最长连续无雨日数 37 d, 相对湿度指数达-0.79 (即

降水蒸发亏缺率达 79%)，均为历次干旱过程之最，气象干旱综合强度为 1961 年以来历史最强。② 水文干旱创极值。一是长江水位创历史新低。2022 年 7~10 月，长江流域累计降水量较常年偏少近五成，为 1961 年以来历史同期最少。导致长江上游来水偏少、中下游水位偏低。洪湖市长江螺山站水位较历史最低水位偏低 1.5~3.3 m，最低水位低至 18.04 m (10 月 2 日)。二是东荆河下游 38.9 km 河段断流。为确保沿东荆河府场、曹市、峰口、万全、黄家口等乡镇生产生活用水，7 月 15 日洪湖市运用东荆河马口橡胶坝和黄家口橡胶坝抬高东荆河黄家口以上河段水位，致使 8 月 7 日起东荆河黄家口橡胶坝下游河段 38.9 km (黄家口段 8.5 km、大同湖段 19.7 km、新滩段 10.7 km)断流，并持续至年底。③ 旱情发展快，骤旱特征明显。2022 年 1~4 月，洪湖市累计降水量较历史同期偏多 7.4%，6 月中旬入梅，7 月上旬出梅，梅雨期降水偏少，出梅后出现持续晴热高温天气，日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的天数达 44 d，创历史极值，受高温少雨和地表蒸发增强影响，旱情迅速发展，自 7 月中旬出现轻度干旱，7 月下旬发展为重旱，8 月中旬前期发展为特旱，并持续至 10 月上旬，丰枯转换和旱情发展之快，历史少见。

4. 结论与启示

4.1. 结论

2022 年夏秋季发生在洪湖市的异常高温干旱事件强度大、持续时间长，对当地社会经济和自然生态系统造成了严重影响。本文系统分析了 2022 年干旱过程及其致灾特点，取得的主要结论如下：

1) 从干旱过程来看，洪湖市 1961~2022 年共发生 113 次干旱过程，平均每年发生 1.8 次。2022 年洪湖市干旱自 7 月中下旬开始至 12 月上旬结束，过程持续 139 d，过程内降水距平百分率为 -75.4%，相对湿润度指数为 -0.79，过程综合强度指数达 22.4，等级为“特强”，在 1961 年以来典型干旱过程中综合强度位居第一。

2) 2022 年洪湖市干旱与异常高温和长江流域干旱叠加，造成地表土壤失墒严重，地表土壤相对湿度大部时段低于 65%，湿地萎缩，洪湖水体面积缩减近 10%，湖泊和支流水位下降，长江螺山站水位较历史最低水位偏低 1.5~3.3 m，洪湖水位居 2010 年以来最低值，连续多日低于最低生态水位，东荆河下游 38.9 km 河段断流。干旱对湖区农业生产、居民生活、湿地生态系统产生了严重影响。

3) 2022 年干旱过程与典型干旱年相比，呈现出气象干旱达极值、水文干旱创极值、旱情发展快、骤旱特征明显等新特点。

4.2. 启示

1) 需加强对 2022 年旱灾和抗旱工作的总结，开展气候变化背景下防御特大干旱以及复合型灾害的对策与措施研究，加强沿江灌溉、供水取水口的改造，优化水源精准调度预案，做到既满足沿河乡镇灌溉需求，又厉行节约用水。

2) 需加强部门联动抗旱，完善防汛抗旱责任体系建设，建立健全干旱灾害防御信息的共享机制，修订防旱抗旱应急预案，为抗旱决策提供更加及时、精准、有效的支撑。

3) 需加强基层干部和社会公众防灾减灾知识普及，号召社会公众节约用水。加大干旱与抗旱知识的科普宣传，提高社会公众对干旱的认知和关注，通过科普教育，提高基层管理组织对干旱灾害尤其是极端干旱灾害的认知力、承受力、应急反应能力，形成全民抵御干旱的合力。

基金项目

湖北省气象局科技发展基金项目(2023Q17, 2022Z05-10)。

参考文献

[1] 方红远, 甘升伟, 余莹莹. 我国区域干旱特征及干旱灾害应对措施分析[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(5): 16-19.

- [2] 张强, 岳平, 张良, 等. 夏季风过渡区的陆-气相互作用: 述评与展望[J]. 气象学报, 2019, 77(4): 758-773.
- [3] 张强, 姚玉璧, 李耀辉, 等. 中国干旱事件成因和变化规律的研究进展与展望[J]. 气象学报, 2020, 78(3): 500-521.
- [4] 范进进, 秦鹏程, 史瑞琴, 等. 气候变化背景下湖北省高温干旱复合灾害变化特征[J]. 干旱气象, 2022, 40(5): 780-790.
- [5] REN, Y., YUE, P., ZHANG, Q., et al. Influence of land surface aridification on regional monsoon precipitation in East Asian summer monsoon transition zone. *Theoretical and Applied Climatology*, 2019, 144(1): 93-102.
<https://doi.org/10.1007/s00704-021-03523-1>
- [6] 张强, 姚玉璧, 王莺, 等. 中国南方干旱灾害风险特征及其防控对策[J]. 生态学报, 2017, 37(21): 7206-7218.
- [7] 张强, 韩兰英, 郝小翠, 等. 气候变化对中国农业旱灾损失率的影响及其南北区域差异性[J]. 气象学报, 2015, 73(6): 1092-1103.
- [8] HAN, L., ZHANG, Q., MA, P., et al. The spatial distribution characteristics of a comprehensive drought risk index in south-western China and underlying causes. *Theoretical and Applied Climatology*, 2016, 124(3): 517-528.
<https://doi.org/10.1007/s00704-015-1432-z>
- [9] 安莉娟, 任福民, 李韵婕, 等. 近 50 年华北区域性气象干旱事件的特征分析[J]. 气象, 2014, 40(9): 1097-1105.
- [10] 廖要明, 张存杰, 邹旭恺, 等. 区域性干旱过程监测评估方法(QX/T 597-2021) [S]. 北京: 气象出版社, 2021.
- [11] 张存杰, 刘海波, 宋艳玲, 等. 气象干旱等级:GB/T 20481-2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [12] 邹开鹏, 彭小思, 许妍. 2011 年洪湖干旱分析[J]. 水资源分析, 2013, 12(4): 36-43.
- [13] 张强, 谢五三, 陈鲜艳, 等. 1961~2019 年长江中下游区域性干旱过程及其变化[J]. 气象学报, 2021, 79(4): 570-581.
- [14] 夏智宏, 刘敏, 秦鹏程, 等. 2022 年长江流域高温干旱过程及其影响评估[J]. 人民长江, 2023, 54(2): 21-28.