

基于墒情自动测报的 江苏省土壤墒情时空变化规律研究

杨明非¹, 刘田田¹, 王 伟¹, 欣尚韬²

(1. 江苏省水文水资源勘测局徐州分局, 江苏 徐州 221018; 2. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029)

摘要:通过研究自然条件下的江苏省土壤墒情时空变化规律,为防旱减灾、水利规划建设和区域水资源开发与管理等工作提供科学依据。根据江苏省2016—2022年的土壤墒情数据,并结合土壤物理特性和降水、蒸发等的影响,从不同角度分析了江苏省土壤墒情的变化规律。结果表明:空间上,多年平均情况下江苏省土壤墒情总体呈由苏北向苏南递增趋势;土壤含水量的年际变化受降水和蒸发因素影响明显,与降水量呈正相关关系,与蒸发量呈负相关关系;土壤墒情年内变化大致可分为稳定期、大量消耗期、快速恢复期和缓慢消耗期等4个时期。

关键词:土壤墒情; 时空变化; 江苏省

中图分类号:S151.9

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2024)01-0006-0005

Study on the spatiotemporal variation of soil moisture in Jiangsu Province based on automatic measurement and reporting of soil moisture content

YANG Mingfei¹, LIU Tiantian¹, WANG Wei¹, XIN Shangtao²

(1. Xuzhou Branche of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau,
Xuzhou 221018, China;

2. Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029, China)

Abstract: By studying the spatiotemporal variation law of soil moisture in Jiangsu province under natural conditions, it can provide scientific basis for drought prevention and disaster reduction, water conservancy planning and construction, and regional water resources development and management. Based on the data of soil moisture in Jiangsu Province from 2016 to 2022, combined with the effects of soil physical characteristics, precipitation and evaporation, the change law of soil moisture in Jiangsu Province was analyzed from different perspectives. The results indicate that: Spatially, the soil moisture content in Jiangsu Province has been increasing from north to south of Jiangsu Province on average for many years; The inter-annual variation of soil water content was obviously affected by precipitation and evaporation factors, and was positively correlated with precipitation and negatively correlated with evaporation; The annual variation of soil moisture can be roughly divided into four periods: stable period, large consumption period, rapid recovery period and slow consumption period.

Key words: soil moisture content; spatiotemporal variation; Jiangsu Province

收稿日期:2023-11-02

作者简介:杨明非(1975—),女,高级工程师,本科,主要从事水文水资源分析利用及水文预报工作。E-mail:386314603@qq.com

近年来,因大气环流异常及人类生产、生活的影响,我国气象灾害愈发频繁。虽然干旱灾害发生次数较少,但其发生持续时间长,一年四季均有发生,造成的受灾范围较广、受灾人口多,其影响范围已由传统的农业范畴向工业、城市和生态等多个方面发展,因干旱缺水等造成的损失也越来越严重^[1-3]。中国每年因农业干旱造成的经济损失达451亿元,因农业干旱导致的粮食减产超300亿kg^[4-5]。土壤墒情的异常偏少,会影响到农作物的长势及产量,可见研究土壤墒情的变化对提升区域水资源规划与管理、保障粮食安全具有重要意义^[6]。

江苏省自1976年开始有人工墒情观测,2014年9月墒情首次实现在线自动监测,从2016年开始对土壤墒情资料进行整编工作,现已积累了2016—2022年7年完整的观测资料,为研究土壤墒情时空变化规律提供了条件。准确有效地对土壤墒情进行监测、分析是提高农业水资源利用率的基础。本文依据近7年江苏省土壤墒情观测资料,结合土壤类型、蒸发、降水量资料,分析土壤墒情在时间和空间上的变化规律,以期防旱减灾、水利规划建设 and 区域水资源开发与管理等工作提供依据。

1 概况

1.1 研究区域概况

江苏省位于中国东部沿海,总面积10.72万km²,其中耕地面积409.89万hm²,占全省总面积的38.2%;总人口8 505.4万,其中农业人口3 487.2万。多年平均降水量1 006 mm,年降水日数120~140 d,降水主要集中在汛期,汛期降水量占全年的66.9%。多年平均水面蒸发量845.6 mm,冬季(12月至次年2月)蒸发量最小,仅占全年的10.8%,夏季(6—8月)蒸发量最大,占全年的36.6%。地处长江、淮河流域下游,西邻安徽,北接山东,东临黄海,南连上海和浙江,下设13个设区市。境内地形以平原为主,主要由苏北黄淮平原及长江三角洲平原组成。土壤多为壤土、砂壤土、黏土、砂质土及少量黏壤土,适合农作物的生长,种植农作物以小麦和水稻为主。

1.2 土壤墒情监测情况

2014年以前,江苏省主要采用人工取土烘干法及快速测墒仪观测获取土壤墒情数据^[7]。为掌握土壤墒情变化动态,预测旱涝发展趋势,国家防汛抗旱指挥系统二期工程(江苏部分)墒情采集系统依据《土壤墒情监测规范》(SL 364—2015)关于站网布

设的要求,按照既能反映区域内旱情分布情况又节省资金的原则,进行了土壤墒情监测站网布设,相对干旱的苏北地区土壤墒情站点适当加密,湿润地区如苏中、苏南则相对稀疏,在江苏省水文系统设立了27个墒情自动监测站,承担墒情相关数据的收集和旱涝情调查工作^[8]。

江苏省墒情自动监测站的采集点数目和采集点深度依据《土壤墒情监测规范》(SL 364—2015)^[7]“三点法”的要求设定,选取10 cm、20 cm和40 cm共3个不同深度进行取样监测,测定土壤在不同深度条件下的含水率大小,监测方式为全年观测,监测周期为每1 h采集观测1次。

2 样本来源与计算方法

对前述27处墒情自动监测数据质量进行评价,选取其中的20处数据准确可靠的墒情站整编成果;降水量、蒸发资料采用墒情站所属水文分局历年整编成果。降水量资料均为自动测报雨量计观测值,蒸发资料均为每日8时人工观测值。降水与蒸发资料系列均与墒情资料系列一致,采用2016—2022年。

墒情站点见表1,墒情站点位置见图1。

2.1 土壤体积含水率的计算

江苏省墒情自动监测站采用Hydra Probe II-NAIWCH型插针式土壤水分传感器^[8],其输出信息为土壤电导率,土壤体积含水率采用拟合得到的土壤体积含水率与土壤电导率之间的关系公式计算得出。土壤体积含水率与土壤电导率之间的关系公式拟合步骤如下:

(1)测定土壤干容重。土壤墒情监测选用烘干称重法,将单站不同深度的土壤取样称重后,烘箱加热至100℃±2℃,恒温4 h后取出,加盖冷却至室温后称重,计算土壤干容重。计算公式为

$$\gamma_0 = \frac{m_{\text{干土}}}{V} \quad (1)$$

式中: γ_0 为土壤干容重; $m_{\text{干土}}$ 为干土质量; V 为原状土样(湿土)体积。

(2)计算土壤质量含水率。计算公式为

$$\omega = \frac{m_{\text{湿土}} - m_{\text{干土}}}{m_{\text{干土}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: ω 为土壤质量含水率; $m_{\text{干土}}$ 为干土质量; $m_{\text{湿土}}$ 为湿土质量。

(3)根据土壤干容重和土壤质量含水率计算出土壤体积含水率。计算公式为

表1 江苏省墒情监测站网

序号	监测站名称	经度	纬度	监测站地址	土壤类型
1	宋楼	116.60	34.58	徐州市丰县宋楼镇	砂壤土
2	王沟	116.44	34.66	徐州市丰县王沟镇	砂壤土
3	鹿楼	116.77	34.72	徐州市沛县鹿楼镇	砂壤土
4	四户	117.97	34.63	徐州市邳州市四户镇	壤土
5	梁集	117.93	33.95	徐州市睢宁县睢河街道	砂壤土
6	汉王	117.13	34.18	徐州市铜山区铜山街道	黏土
7	棋盘	118.24	34.25	徐州市新沂市棋盘镇	砂壤土
8	兴辰	118.86	34.75	连云港市东海县石梁河镇	砂壤土
9	孙沟	119.13	34.30	连云港市灌云县南岗镇	砂壤土
10	阴平	118.62	34.23	宿迁市沭阳县潼阳镇	砂黏土
11	魏营	118.14	33.34	宿迁市泗洪县魏营镇	黏土
12	染坊	118.74	33.90	宿迁市泗阳县爱园镇	黏土
13	吴郭	118.30	34.06	宿迁市宿豫区晓店镇	砂壤土
14	板湖	119.58	33.69	盐城市阜宁县板湖镇	砂质土
15	大桥	119.73	32.37	扬州市江都区大桥镇	砂质土
16	真州	119.19	32.32	扬州市仪征市真州镇	壤土
17	马集	118.80	32.53	南京市六合区马鞍街道	壤土
18	南渡	119.34	31.45	常州市溧阳市南渡镇	壤土
19	双桥浜	119.97	31.80	常州市天宁区	壤土
20	湖滢	119.77	31.22	无锡市宜兴市湖洩镇	黏壤土

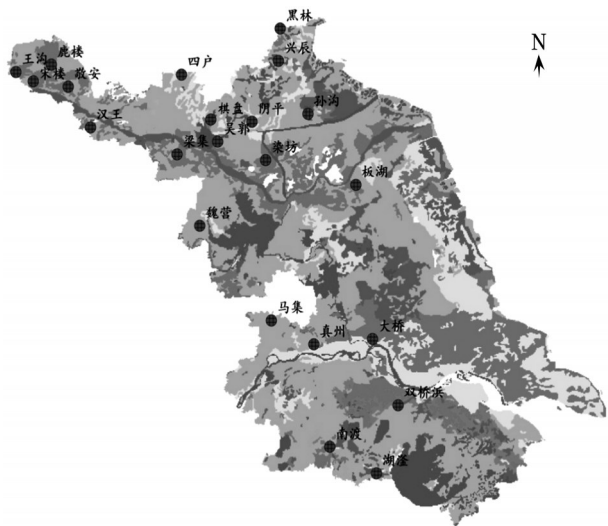


图1 江苏省墒情站点分布

$$\theta = \omega \times \gamma_0 \tag{3}$$

式中： θ 为土壤体积含水率； ω 为土壤质量含水率； γ_0 为土壤干容重。

(4)拟合土壤体积含水率与土壤电导率之间的

3阶经验公式为

$$\theta = A_0 + A_1 X + A_2 X^2 + A_3 X^3 \tag{4}$$

式中： θ 为土壤体积含水率； X 为土壤电导率； A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 分别为拟合出的公式系数。

2.2 土壤墒情计算方法

参照《土壤墒情监测规范》(SL364—2015)中关于各土层土壤含水量计算方法进行统计分析。

监测点垂向平均土壤含水量 $\bar{\theta}$ 计算公式为

$$\bar{\theta} = \frac{3\theta_{10} + 3\theta_{20} + 2\theta_{40}}{8} \tag{5}$$

式中： $\bar{\theta}$ 为监测点垂向平均土壤含水率； θ_{10} 、 θ_{20} 、 θ_{40} 分别为10 cm、20 cm、40 cm采集点的样本土壤含水率。

3 土壤墒情时空变化规律分析

江苏省土壤墒情监测站点设置于白地上,无须考虑灌溉对增墒的影响,土壤含水率的变化,主要受到气象条件和土壤自身结构特征的共同影响。影响土壤含水率变化的气象因素有降水量、气温、

蒸发、地温、相对湿度、饱和差、风速、日照等^[7],此外土壤的孔隙度、容重、渗透性能等土壤结构特征也对土壤含水量产生影响,因此导致土壤墒情在时间和空间的动态变化上均呈现出一定的规律性。

3.1 土壤墒情水平空间变化

将江苏省20个墒情监测站的整编成果按地域划分为苏北片(宋楼、王沟、鹿楼、四户、梁集、汉王、棋盘、兴辰、孙沟、阴平、魏营、染坊和吴郭13站)、苏中片(板湖、大桥和真州3站)和苏南片(马集、南渡、双桥浜和湖滢4站),计算出2016—2022年江苏省以及各站的月平均土壤含水率,并按片区绘制成图,见图2~4。

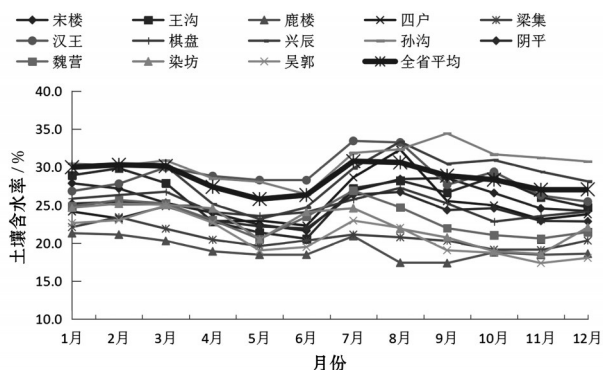


图2 苏北片多年月平均土壤含水率过程线

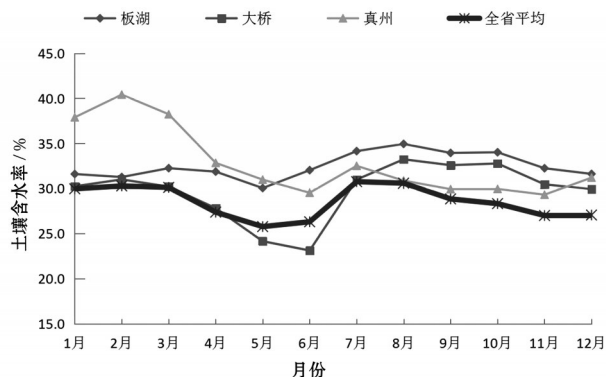


图3 苏中片多年月平均土壤含水率过程线

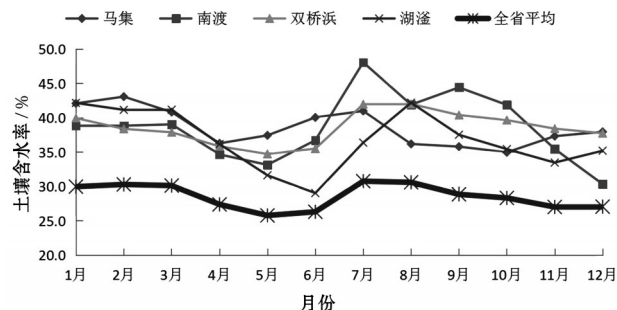


图4 苏南片多年月平均土壤含水率过程线

由图2可看出,除个别站点、个别月份(占比11.5%)外,苏北片各站月平均土壤含水率均低于全省平均值;由图3可看出,除大桥站5月、6月(占比5.6%)外,苏中片各站月平均土壤含水率均略高于全省平均值;由图4可看出,苏南片各站月平均土壤含水率均高于全省平均值。

通过分析以上过程线图可知,江苏省土壤含水率在空间上的变化规律大致为苏南最高、苏中居中、苏北最低。分析为苏北片年降水量小(2016—2022年平均降水量940.5 mm),墒情站点土质以砂壤土为主,保墒能力不强,故土壤含水率偏低;苏中片年降水量较高(2016—2022年平均降水量1 167.7 mm),但苏中片3个代表站中有两处土质为砂质土,渗水速度快、保墒能力较差,故土壤含水率亦不高;苏南片年降水量大(2016—2022年平均降水量1 287.7 mm),墒情站点土质以壤土为主,渗水速度较慢、保墒能力较强,故土壤含水率较高。个别地区或者月份规律性不强,考虑为温度、风速等因素影响,但总体上,江苏省土壤墒情与降水量分布规律基本一致,土壤含水率由苏北向苏南呈递增趋势。

3.2 土壤墒情时间变化

对于同一片区域的土壤,因其结构等内部因素变化较小,影响土壤墒情时程变化的主要因素为降水量、蒸发、气温、风速、日照等外部因素。

3.2.1 土壤墒情年内变化

以前述20个墒情站2016—2022年整编资料为基础,计算出近7年各月平均土壤含水率,结合江苏省降水量和蒸发量月平均值进行对比分析,并绘制成图5。

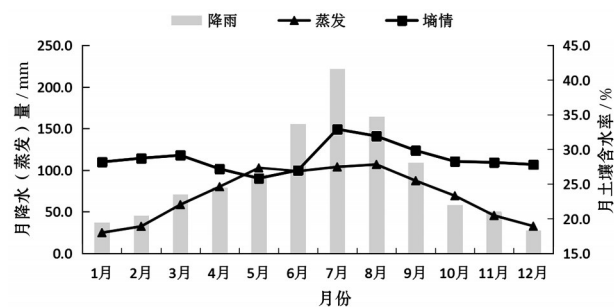


图5 江苏省月土壤含水率、降水量与蒸发量变化

由图5可看出,江苏省土壤墒情变化可分为4个时期:稳定期,1—3月;大量消耗期,4—5月;快速恢复期,6—8月;缓慢消耗期,9—12月。

稳定期主要包括冬季、初春,这一时期气温较

低,降水量、蒸发量也相对较小,降水较蒸发略偏大,土壤水分处于相对稳定、微小上升状态。大量消耗期正值春季,气温回升,蒸发量增大,由图6可看出,这一时期降水量虽逐月有所增加却仍处在相对较低水平,蒸发与降水持平或较降水略偏大,蒸发减墒效应较降水增墒效应显著,土壤水分大量消耗,土壤含水率呈明显下降趋势并在5月达最低。快速恢复期正值主汛期,降水量大幅增加(6—8月降水量542.4 mm,占全年降水量的48.6%),降水远大于蒸发,降水带来的增墒远较蒸发造成的减墒高,土壤水分快速恢复,土壤含水率在7月达峰。8月降水虽然较7月减少,但降水带来的增墒与蒸发引起的退墒基本持平,因此8月土壤含水率与7月相比变化不大。缓慢消耗期在主汛期之后,由于气温逐渐下降,降水量和蒸发量也逐渐减小,蒸发造成的退墒虽然不能由降水带来的增墒完全弥补,但两者差别不显著,土壤含水率缓慢下降。

3.3.2 土壤墒情年际变化

以江苏省2016—2022年20个墒情监测站的土壤墒情整编资料为基础,计算出7年历年土壤含水率面平均值,结合历年江苏省年降水量和年蒸发量进行对比分析,并绘制成图6。

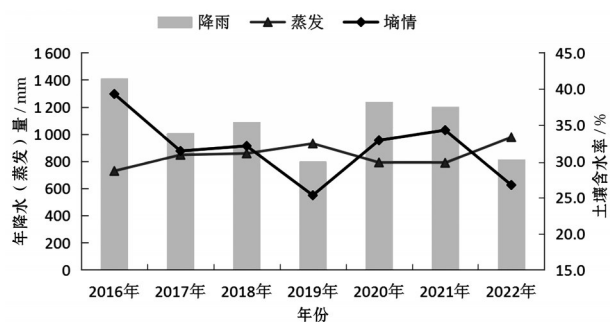


图6 江苏省近7年土壤含水率、降水量与蒸发量变化

从图6可看出,江苏省土壤含水量的年际变化受降水和蒸发影响显著。7年中,2019年降水量798.5 mm为最低,蒸发量931.1 mm为次高,土壤含水率25.3%为最低;2022年降水量813.3 mm为次高,蒸发量977.8 mm为最高,土壤含水率26.7%为次低;2016年降水量1410.5 mm为最高,蒸发量728.7 mm为最低,相应大,土壤含水率39.3%为最高。降水量

大、蒸发量小的年份土壤含水量高,降水量小、蒸发量大的年份土壤含水量相应也低。基本上土壤含水量与降水量呈正相关,而与蒸发量呈负相关。

4 结 语

(1)通过各站土壤含水率与江苏省平均值对比可知,江苏省土壤墒情总体呈从苏北向苏南呈递增趋势。

(2)土壤含水率与降水量呈正相关关系,而与蒸发量呈负相关关系。降水量大、蒸发量小的年份土壤含水率高,降水量小、蒸发量大的年份土壤含水率相应也低。

(3)江苏省土壤墒情年内变化大致可分为4个时期:稳定期为1—3月,土壤含水率相对稳定、小幅回升;大量消耗期为4—5月,土壤含水率呈明显下降趋势并在5月达最低;快速恢复期为6—8月,土壤水分快速恢复,土壤含水率在7月达峰;缓慢消耗期为9—12月,土壤含水率缓慢下降。

参考文献:

- [1] 项瑛,张余庆,许琪,等. 江苏省主要气象灾害时空分布及演变特征分析[J]. 中国农学通报,2019,35(19):112-119.
- [2] 吴志勇,白博宇,何海,等. 珠江流域1981—2020年水文干旱时空特征分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2023,51(1):1-9.
- [3] 郝增超,张璇,郝芳华,等. 2022年夏季长江流域复合高温干旱事件的影响及应对[J]. 水资源保护,2023,39(6): 46-52.
- [4] SU B, HUANG J, FISCHER T, et al. Drought losses in China might double between the 1.5 °C and 2.0 °C warming [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2018,115(42):10600-10605.
- [5] 虞美秀,董吴欣,张建云,等. 基于大范围地面墒情监测的鄱阳湖流域农业干旱[J]. 水科学进展,2022,33(3): 185-195.
- [6] 钟维斌. 黄山市土壤墒情变化规律分析[J]. 中国水土保持SWCC,2018(9):55-58.
- [7] 杨卫中,王一鸣,石庆兰,等. 吉林市土壤墒情监测系统开发及利用[J]. 农业工程学报,2010,26(增刊2):177-181.
- [8] 宋炜,张志秀,钱昊,等. 江苏省墒情自动监测系统的设计与应用[J]. 中国防汛抗旱,2020(3):27-31.