

沙慧敏,李 琪,何 乐,等. 1957—2017 年河南省潜在蒸散量的时空分布特征[J]. 江苏农业科学,2021,49(14):231–236.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2021.14.041

1957—2017 年河南省潜在蒸散量的时空分布特征

沙慧敏,李 琪,何 乐,孙锡鹏,曹 强,胡正华,乔云发

(江苏省农业气象重点实验室/南京信息工程大学,江苏南京 210044)

摘要:在气候变暖的大背景下,全球平均气温开始持续上升,干旱灾害也日益严峻,严重影响了农作物的生长发育。河南省是全国干旱地区小麦作物主产最多的省份,基于河南省 17 个国家标准气象站 1957—2017 年的气象资料,利用彭曼—蒙特斯公式计算河南省近 61 年的潜在蒸散量,分析河南省潜在蒸散量的时间变化特征,采用 M—K 法分析潜在蒸散的突变情况,利用 ArcGIS 分析潜在蒸散的空间分布特征。结果表明,1957—2017 年河南省潜在蒸散量年际变化呈现下降趋势,蒸散量在 904 ~ 1 252 mm,其中春季潜在蒸散量呈上升趋势,其他三季呈下降趋势。通过突变检验得知,1973 年为年潜在蒸散突变年份,1969、1977、2003、1971 年分别为四季突变年份,春季水分亏缺最严重,远高于其他季节,因此河南省春旱情况严重。河南省大部分地区呈现缺水现象,但南部地区如信阳市却出现降水量高于全年蒸散量的情况。

关键词:潜在蒸散量;降水量;时空分布特征;季节分布;干旱;河南省

中图分类号:S161.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2021)14–0231–06

在全球气候变化的大背景下,气温升高使地表水体的蒸发加快,降水时空分布发生变化,导致部分地区干旱灾害日益严峻,严重影响了农作物的生长发育,气候变化给农业发展带来了巨大的挑战。潜在蒸散量是影响陆地灌溉用水平衡与地表土壤能量平衡的重要因素,也是预测农作物生长需水、指导灌溉和监测地表土壤旱情的重要参数^[1]。潜在蒸散的减少印证了全球变暖会导致实际蒸散增加,国内外学者对潜在蒸散及其成因进行了大量研究。Chattopadhyay 等认为,印度的潜在蒸散量增加主要是因为紫外线辐射减少及相对湿度增加^[2]。黄会平等对全国潜在作物的蒸散量进行研究,通过自主成分动力学分析法对土壤水分进行分析,发现土壤水分变化因子、热力学变化因子、辐射因子等主要受温度变化的影响^[3]。左德鹏等利用 Mann—Kendall 法和 Spline 插值法计算潜在蒸散量,分析渭河流域较长时区的蒸散量(ET₀)变化趋势,并使用 Pettitt 法进行突变检验^[4]。Hulme 等认为,全球潜

在蒸散量的减少是由各种因素的综合作用引起的^[5]。Cohen 等通过传统的分析发现,风速的增大和大气中水气压差的变化是导致以色列潜在蒸散量增加并最终导致气温高的主要原因^[6]。谢平等通过贡献率法和敏感系数进行分析,发现日照时数和平均气温对潜在蒸散有一定影响^[7]。Espadafor 等采用 Blaney Criddle、Hargreaves、Priestley Taylor 和 Radiation 法与传统的 P—M 法进行比较,确定 ET₀ 的贡献率平均值和变化趋势,并发现 PM—ET₀ 显著增加是由于太阳辐射和平均气温的增高以及相对湿度的降低^[8]。此外,韩松俊等认为,山区和绿洲潜在蒸散量的变化差异,主要是因为二者的风速和辐射存在差异^[9]。Yin 等分析全国的潜在蒸散量,发现风速的下降和相对湿度的高灵敏度是其下降的原因^[10]。我国是一个严重缺水的国家,农业抵御自然灾害的能力不足,生产力不稳定^[11]。河南省位于中国中东部,地处黄河流域与淮河流域,是目前全国小麦产量较大的省份之一,在全球变暖的大背景下,河南省干旱灾害频发。本研究基于 Penman—Monteith 公式分析河南省近 1957—2017 年 61 年来的潜在蒸散量及时空分布特征,以期为进一步掌握河南省干旱灾害发生规律及优化水资源供给机制提供参考,这对于确保和推动河南省现代农业的发展与农民粮食产量保持平衡具有重要意义。

收稿日期:2020–11–09

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(编号:GYHY201506001);中国气象局气象探测中心生态环境观测技术创新团队项目。

作者简介:沙慧敏(1996—),女,江苏徐州人,硕士,主要从事农业气候资源评估与利用研究。E-mail:shahuimin128580@163.com。

通信作者:李 琪,博士,副教授,主要从事农业气象和气候变化研究。E-mail:liqix123@sina.com。

1 材料与方法

1.1 数据来源

河南省 17 个气象站 1957—2017 年的气象数据(日值)来源于中国气象局。由图 1 可知,17 个标准气象站站点分布较均匀,可以代表河南省气象要素的分布情况。为了计算潜在蒸散量,选取平均气温、最高气温、最低气温等气象数据以及台站的经纬度、海拔、干湿表常数等基础数据。

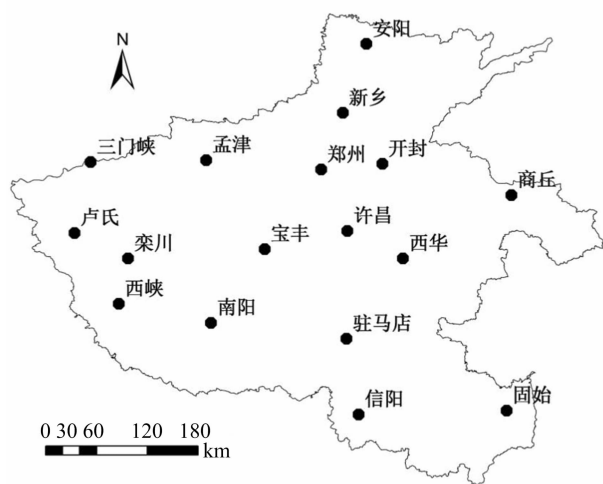


图1 河南省 17 个标准气象站分布

1.2 分析方法

1.2.1 ET_0 的计算 彭曼-蒙蒂斯(Penman-Monteith)公式是联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of The United Nations, FAO)建议广泛使用的潜在蒸散量的一种计算表达方法^[12-13],经过标准统一化后的公式如下:

$$ET_0 = \frac{900\gamma U_2 (e_s - e_a) + 0.408\Delta (R_n - G) (273 + T)}{(273 + T) [\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)]}$$

式中: ET_0 表示参考作物蒸散量,mm/d; G 表示土壤热通量,MJ/($m^2 \cdot d$); γ 表示干湿表常数,kPa/°C; U_2 表示 2 m 高处的风速,m/s; e_s 表示饱和水汽压,kPa; R_n 表示地表净辐射,MJ/($m^2 \cdot d$); e_a 表示实际水汽压,kPa; T 表示 2 m 高处的日平均气温,°C; Δ 表示饱和水汽压曲线斜率,kPa/°C。各参数的计算方法可参考文献[14-16]。

1.2.2 曼-肯德尔突变检验 曼-肯德尔法是一种成熟的时间序列数据分析方法,也是一种非参数统计检验方法,在气象和水文数据的突变检验研究中应用广泛。具体计算公式及说明可参考文献[17]。

2 结果与分析

2.1 时间变化特征

2.1.1 年际变化 由图 2 可知,河南省年均潜在蒸散量为 904.8 ~ 1 251.8 mm,平均值为 1 051.1 mm,近 61 年来河南省的潜在蒸散量整体呈现波动下降的趋势,年均减少约 0.2 mm,通过曼-肯德尔突变检验进行分析,近 61 年来潜在蒸散量呈现下降趋势,这与全球气候变暖的趋势并不相同^[18]。降水的变化对作物产生影响^[19]。近 61 年来河南省的年均降水量为 761.6 mm,年均降水量呈现下降趋势。此外,潜在蒸散量和降水量的差值能够反映水分的亏缺与盈余状况,若为负值,则说明水分处于盈余状态,反之则为亏缺状态。通过计算可知,河南省潜在蒸散量和降水量的差值为 289.5 mm,说明河南省水分亏缺,下降趋势不显著,表明近 61 年来河南省缺水状况有轻微缓解。

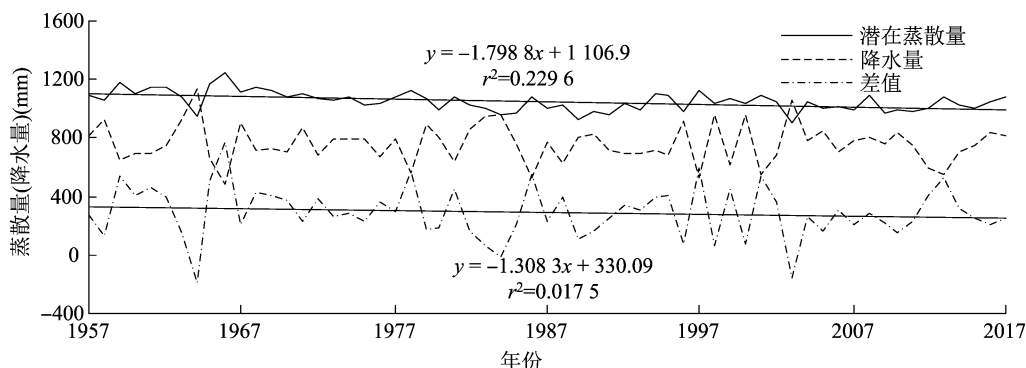


图2 河南省潜在蒸散量和降水年际变化

2.1.2 季节变化 由图 3 可知,河南省 1957—2017 年春季的潜在蒸散量为 245.9 ~ 431.7 mm,平均值为 315.4 mm。调查年限间春季潜在蒸散量呈

现波动上升的趋势,年均增加约 0.64 mm。通过曼-肯德尔突变检验分析可知,近 61 年来春季潜在蒸散量呈现上升趋势。近 61 年来河南省的平均降

水量在春季为 156.8 mm,整体呈现出下降的波动趋势。此外由于潜在蒸散量逐渐增加,降水量逐渐降低,所以二者差值也呈显著上升趋势。春季水分亏缺造成春旱加剧。

由图 4 可知,河南省夏季潜在蒸散量最小值出现在 1989 年,为 345.8 mm,峰值出现在 1966 年,为 517.3 mm,平均潜在蒸散量为 414.0 mm。近 61 年来河南省夏季潜在蒸散量是波动下降的,年均下降

0.3 mm。显著性检验结果表明,近 61 年来河南省夏季潜在蒸散量的下降趋势达到显著性水平。夏季的平均降水量为 389.2 mm,整体呈下降趋势,但下降趋势不显著。夏季的平均差值为 24.8 mm,说明夏季所存在的水分亏缺情况不严重。潜在蒸散量和降水量的平均差值也逐渐减小,说明夏季水分亏缺程度减轻。

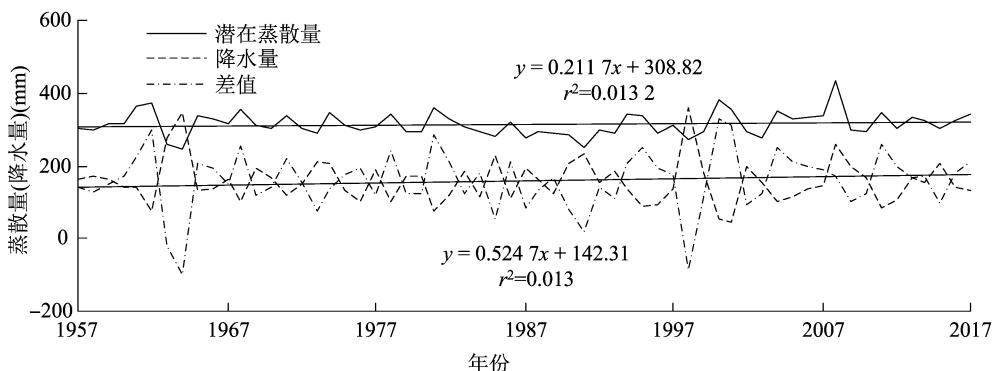


图3 河南省春季潜在蒸散量和降水年际变化

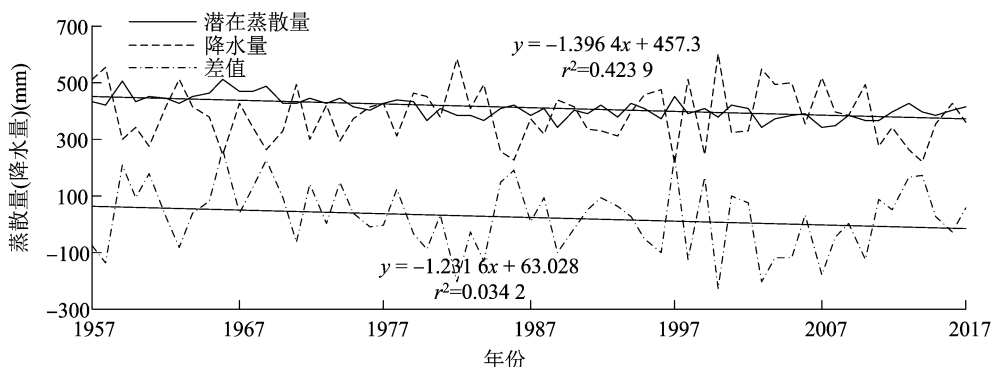


图4 河南省夏季潜在蒸散量和降水年际变化

由图 5 可知,1957—2017 年河南省秋季潜在蒸散量最低在 1964 年,为 155.9 mm,最高在 1966 年,为 265.2 mm,平均潜在蒸散量为 204.8 mm。秋季潜在蒸散量是波动下降的,年均约下降 1.2 mm,通过曼-肯德尔突变检验分析可知,近 61 年来河南省秋季潜在蒸散量呈现显著的下降趋势。夏季平均降水量为 173.2 mm,虽呈上升趋势但不显著。秋季潜在蒸散量和降水量平均差值为 31.6 mm,下降的趋势表明水分亏缺状况趋于平缓,秋季的水分亏缺状况远不如春季严峻。

由图 6 可知,1957—2017 年河南省冬季潜在蒸散量最低为 84.5 mm,出现在 1989 年,最高出现在 1963 年,为 168.8 mm,平均潜在蒸散量为 116.9 mm。冬季潜在蒸散量年均上升约 0.7 mm,

呈现波动上升的趋势。通过曼-肯德尔突变检验分析可知,在近 61 年来河南省冬季潜在蒸散量呈现下降趋势。近 61 年来河南省的平均降水量在冬季为 42.4 mm,整体呈不显著的下降趋势。冬季的平均差值为 74.5 mm,相较于夏季,冬季的差值更高,说明水分亏缺状况更严峻,但冬季因气温低等原因农作物生长缓慢,干旱特征并不明显。

2.1.3 突变特征 利用曼-肯德尔突变检验法,将 1957—2017 年河南省 17 个站点的潜在蒸散量的年均值和季节均值导入分析,对突变年份进行判断。河南省近 61 年来,1973 年是年潜在蒸散的突变点,1969、1977、2003、1971 年分别是春、夏、秋、冬 4 季的突变年份。可见,春季潜在蒸散发生的突变时间较早。

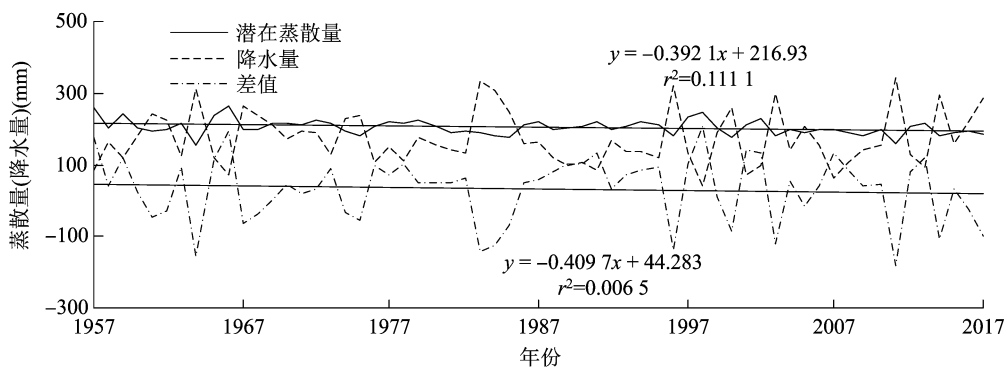


图5 河南省秋季潜在蒸散量和降水年际变化

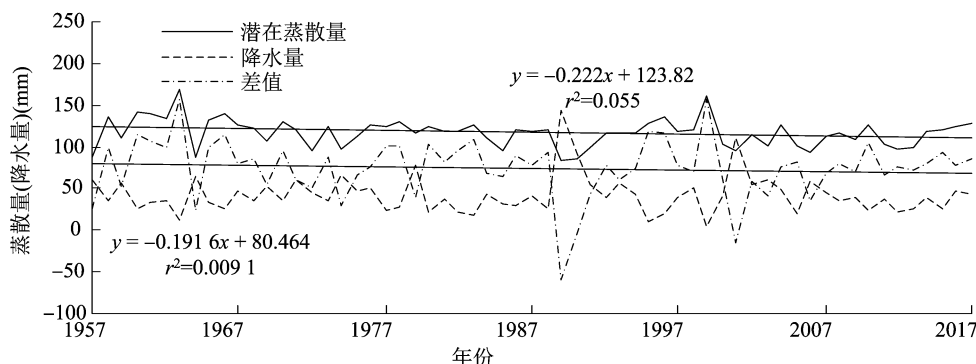


图6 河南省冬季潜在蒸散量和降水年际变化

2.2 空间分布特征

2.2.1 年际分布 由图 7 可知,河南省的潜在蒸散量在 924 ~ 1 153 mm,整体上看南部地区潜在蒸散等级略低于北部地区。河南省西部的三门峡市卢氏县和洛阳市栾川县 2 个站点的潜在蒸散分别为 924.6、958.5 mm,和其他区域相比是较低的。河南省其他站点的潜在蒸散量也大体在 924 ~ 1 153 mm,其中东部和南部的潜在蒸散量要略高于西部,绝大部分范围的潜在蒸散量在 1 003 ~ 1 054 mm。北部的潜在蒸散量要更高一些,在 1 054 ~ 1 091 mm。潜在蒸散最高的地区位于河南省中部,分布在洛阳市孟津县和郑州市,分别为 1 152.4、1 129.3 mm。

2.2.2 季节分布 由图 8 可知,春季河南省的潜在蒸散量在 281 ~ 354 mm,从北向南递减。三门峡市卢氏县、洛阳市栾川县、信阳市、周口市西华县等地的潜在蒸散量的平均值较低,在 281 ~ 301 mm 之间,而新乡市、三门峡市、开封市、安阳市、郑州市和洛阳市孟津县等地的潜在蒸散较高,在 326 ~ 354 mm 之间。河南省夏季潜在蒸散量在 376 ~ 451 mm,潜在蒸散等级分布和年际变化大体相似,在四季中潜在蒸散量最高。从全省范围看,西部的栾川县和卢氏县潜在蒸散量较低,分别为 376.1、381.8 mm。东部和南部次之,中部潜在蒸散量较高,

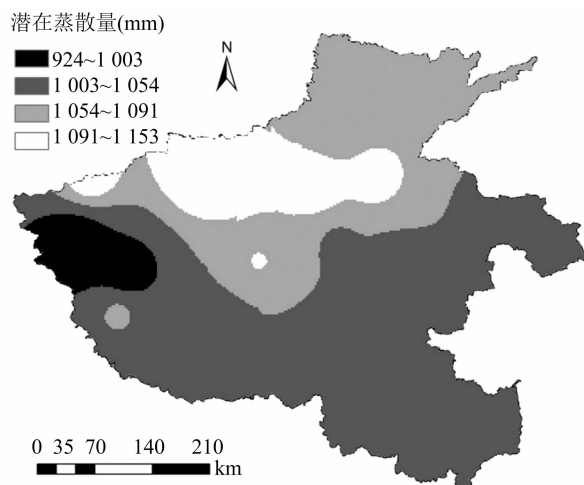


图7 河南省年际潜在蒸散量变化

潜在蒸散量最高的站点是三门峡市,达到 450.4 mm,这与春季的变化趋势不大相同。

由图 9 可知,河南省秋季潜在蒸散量在 168 ~ 225 mm,西部的卢氏县和栾川县潜在蒸散量较低,分别为 168.1、83.2 mm。东部、南部、北部潜在蒸散量大都处于 193 ~ 210 mm,中部潜在蒸散量较高,孟津县的潜在蒸散量最高,为 224.1 mm。

由图 9 可知,河南省冬季潜在蒸散量在 92 ~ 144 mm,在四季中最低。东部、西部、南部、北部的潜在蒸散量大都在 92 ~ 125 mm,中部偏高,孟津县

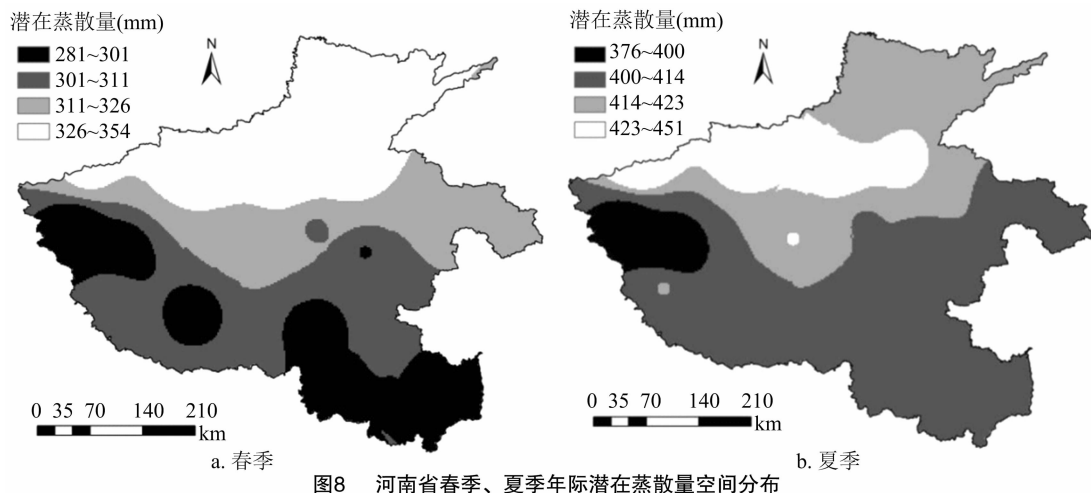


图8 河南省春季、夏季年际潜在蒸散量空间分布

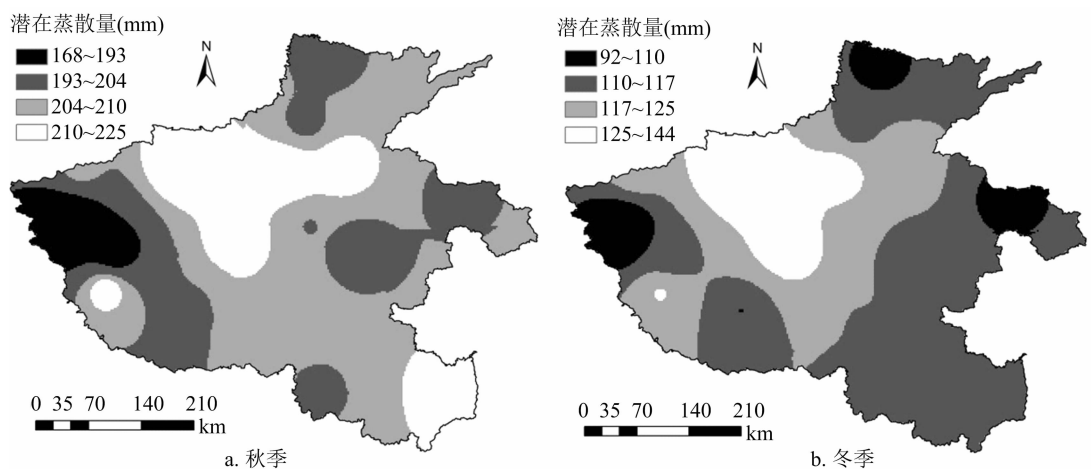


图9 河南省秋、冬季年际潜在蒸散量空间分布

的潜在蒸散量最高,为 143.7 mm。

3 结论与讨论

通过分析河南省 1957—2017 年的年际及季节潜在蒸散量变化,发现夏季平均潜在蒸散量在四季中最高,为 414.0 mm。春季(图 3)、冬季(图 6)潜在蒸散量变化呈上升趋势,夏季(图 4)、秋季(图 5)的潜在蒸散量呈现出整体下降的趋势。不同时段潜在蒸散量与全球变暖的变化趋势不相吻合,说明潜在蒸散量发生变化的因素之一是温度,但不是完全决定因素。潜在蒸散量的变化趋势受多种气象因素的综合作用^[20-22]。差值表示水分亏缺的情况,河南省潜在蒸散量和降水量的差值较高,为 289.5 mm,说明河南省的干旱情况较严重。

河南省潜在蒸散量在空间上呈现不均匀分布。但是从整体来看,北部地区的蒸散量远高于南部地区,而东部地区稍高于西部地区,中部地区蒸散量

显著高于边缘地区。卢氏县和栾川县 2 个站点位于河南省西部,无论是全年还是四季的蒸散量都要比其他地区低,根据气象数据分析猜测,可能是由于这两地的气温要低于其他地区,同时其平均风速也要低于其他站点,所以造成潜在蒸散量偏低。可见,除了大气温度,风速也被认为是直接影响潜在蒸散气体质量的一个重要因素。位于河南省南部的信阳和固始 2 个站点由于常年多雨,年均降水量要远高于其他地区,造成异于其他站点的年均降水量高于年均蒸散量,且二者差值为负值。信阳和固始气温虽然高于其他地区,但平均水气压和平均湿度高,潜在蒸散量不高,年均蒸散量分别为 1 018.1、1 028.6 mm。

综上,不同地区影响潜在蒸散量的因素也不同。全年与各季节的潜在蒸散量的空间分布基本一致,但对于不同区域又有很大差别。说明影响潜在蒸散量的主要气象因子因季节不同而存在差

异^[23-27]。随着全球气候变暖,水热资源变化显著,其配置情况是一个地区农业可持续发展的重要基础,尤其是蒸发强烈、干旱频发、降水稀少的地区^[28]。因此,农业生产中要因地、因时制宜,充分了解区域内水分亏缺程度在空间与时间的分布规律及差异,针对不同季节、不同区域采取不同的措施有助于防旱抗旱力的提高,从而综合最大效益,合理配置有限水资源,实现农业节水途径的探索^[29]。

参考文献:

- [1] 许健,康燕霞.基于云模型的中国参考作物蒸散量时空分异特征[J].兰州大学学报(自然科学版),2016,52(2):245-250.
- [2] Chattopadhyay N, Hulme M. Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1997, 87(1):55-73.
- [3] 黄会平,曹明明,宋进喜,等.1957—2012 年中国参考作物蒸散量时空变化及其影响因子分析[J].自然资源学报,2015,30(2):315-326.
- [4] 左德鹏,徐宗学,程磊,等.渭河流域潜在蒸散量时空变化及其突变特征[J].资源科学,2011,33(5):975-982.
- [5] Hulme M, Zhao Z C, Tao J. Recent and future climate change in East Asia[J]. International Journal of Climatology, 1994, 14(6):637-658.
- [6] Cohen S, Lanetz A, Stanhill G. Evaporative climate changes at Bet Dagen, Israel, 1964—1998[J]. Agricultural and Forest Meteorology Volume, 2002, 111(2):83-91.
- [7] 谢平,龙怀玉,张杨珠,等.云南省四季潜在蒸散量时空演变的主导气象因子分析[J].水土保持研究,2017,24(2):184-193.
- [8] Espadafor M, Lorite I J, Gavilán P, et al. An analysis of the tendency of reference evapotranspiration estimates and other climate variables during the last 45 years in Southern Spain[J]. Agricultural Water Management, 2011, 98(6):1045-1061.
- [9] 韩松俊,胡和平,杨大文,等.塔里木河流域山区和绿洲潜在蒸散发的不同变化及影响因素[J].中国科学:E 辑 信息科学, 2009, 39(8):1375-1383.
- [10] Yin Y H, Wu S H, Chen G, et al. Attribution analyses of potential evapotranspiration changes in China since the 1960s [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2010, 101(1/2):19-28.
- [11] 刘畅,于双民,王峻,等.中国乡村社区资源环境保护现状问题及技术发展研究[J].中国农业科技导报,2013,15(5):129-136.
- [12] Allen R, Pereira L, Smith M, et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements, fao irrigation and

- drainage paper 56 [J]. FAO Irriga & Drain, 1998, 56: 300-321.
- [13] 张丹,张广涛,王丽学,等.彭曼-蒙特斯公式在参考作物需水量中的应用研究[J].安徽农业科学,2006,34(18):4513-4514.
- [14] 杜尧东,刘作新,张运福.参考作物蒸散计算方法及其评价[J].河南农业大学学报,2001,35(1):57-61.
- [15] 杨勤.宁夏区域太阳辐射逐日、月、年总量的变化特征[C]//2007 年中国气象学会年会论文集.广州,2007:834-845.
- [16] 杨勤.宁夏区域太阳日辐射通量计算方法的研究[J].干旱气象,2007,23(3):23-27.
- [17] 王田.河南省冬小麦主要农业气象灾害综合风险评估[D].南京:南京信息工程大学,2018.
- [18] 许孟会.气候变暖对河南干旱气象灾害的影响及其对策[C]//第 26 届中国气象学会年会论文集.杭州,2009:573-577.
- [19] 杨森,李会云,寇艳玲,等.1982—2012 年河南省夏玉米生育期降水量时空变化格局分析[J].河南农业大学学报,2019,53(1):28-33.
- [20] 赵亚迪,刘永和,李建林,等.1960—2013 年中国地表潜在蒸散发时空变化及其对气象因子的敏感性[J].沙漠与绿洲气象, 2018, 12(3):1-9.
- [21] Yang J Y, Liu Q, Mei X R, et al. Spatiotemporal characteristics of reference evapotranspiration and its sensitivity coefficients to climate factors in Huang-Huai-Hai Plain, China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(12):2280-2291.
- [22] 杨艳娟,曹经福,熊明明,等.影响海河流域参考作物蒸散量的气象因子定量分析[J].干旱气象,2017,35(3):367-373.
- [23] 颜雅琼,申双和.近 50 多年来淮河流域气候水分盈亏时空变化[J].气象科学,2019,39(4):457-466.
- [24] 王鹏涛,延军平,蒋冲,等.华北平原参考作物蒸散量时空变化及其影响因素分析[J].生态学报,2014,34(19):5589-5599.
- [25] 李媛,谢应忠,王亚娟.宁夏中部干旱带潜在蒸散量变化及影响因素[J].生态学报,2016,36(15):4680-4688.
- [26] Eslamian S, Khordadi M J, Abedi-Koupai J. Effects of variations in climatic parameters on evapotranspiration in the arid and semi-arid regions[J]. Global and Planetary Change, 2011, 78(3/4):188-194.
- [27] 张薇,韦群,吴天傲,等.基于 GBDT 算法的参考作物蒸散量模型在江苏省的预测[J].江苏农业学报,2020,36(5):1169-1180.
- [28] 刘洪润,高雪纯,彭艳新,等.近 55 年来河西走廊农业水热资源变化特征与趋势[J].中国农业科技导报,2018,20(1):85-94.
- [29] 吴普特,赵西宁,冯浩,等.农业经济用水量与我国农业战略节水潜力[J].中国农业科技导报,2007,9(6):13-17.