

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



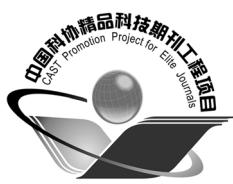
中国土壤学会
科学出版社

主办
出版

2015

第 52 卷 第 5 期

Vol.52 No.5



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 5 期 2015 年 9 月

目 次

综述与评论

基于文献计量分析的近30年国内外土壤科学发展过程解析 宋长青 谭文峰 (957)

土壤生态系统服务的概念、量化及其对城市化的响应 吴绍华 虞燕娜 朱江等 (970)

研究论文

基于土壤系统分类的河南省土壤有机质时空变异 李玲 张少凯 吴克宁等 (979)

皖南第四纪红土伊利石结晶度值与风化强度的关系 刘莉红 胡雪峰 叶玮等 (991)

青海民和官亭盆地喇家遗址古耕作土壤层微形态研究 张玉柱 黄春长 庞奖励等 (1002)

基于成像光谱技术预测氮素在土壤剖面中的垂直分布 李硕 汪善勤 史舟 (1014)

基于探地雷达的典型喀斯特坡地土层厚度估测 王升 陈洪松 付智勇等 (1024)

淮河流域地表干湿变化的时空分布特征 曹永强 徐丹 曹阳 (1031)

神府矿区弃土弃渣体侵蚀特征及预测 郭明明 王文龙 李建明等 (1044)

砂石条形覆盖下土壤水分蒸发动态研究 赵丹 李毅 冯浩 (1058)

pH和三种阴离子对紫色土亚硒酸盐吸附-解吸的影响 周鑫斌 于淑慧 谢德体 (1069)

土壤非交换性钾释放动力学特征及其生物有效性 李婷 王火焰 陈小琴等 (1078)

生物质灰对红壤酸度的改良效果 时仁勇 李九玉 徐仁扣等 (1088)

小麦秸秆生物炭对高氯代苯的吸附过程与机制研究 李洋 宋洋 王芳等 (1096)

不同温度玉米秸秆生物炭对萘的吸附动力学特征与机理 张默 贾明云 卞永荣等 (1106)

十溴联苯醚对秀丽隐杆线虫毒性研究 王赢利 陈建松 阳宇翔等 (1116)

稻草和三叶草分解对微型土壤动物群落的影响 王慧 桂娟 刘满强等 (1124)

沿海区土壤线虫对海水入侵土壤盐渍化的响应 王诚楠 张伟东 王雪峰等 (1135)

土壤团聚体N₂O释放与反硝化微生物丰度和组成的关系 周汉昌 张文钊 刘毅等 (1144)

基于产量、氮效率和经济效益的春玉米控释氮肥掺混比例 王寅 冯国忠 张天山等 (1153)

问题讨论

中国土壤系统分类基层单元土族建设现状与命名上存在的问题 易晨 马渝欣 杨金玲等 (1166)

研究简报

干旱与重吸水对人工藻结皮光合特性的影响 吴丽 杨红 兰书斌等 (1173)

咸水灌溉对沙漠防护林植物根系分布及风沙土演变的影响 李从娟 唐俊妍 高培等 (1180)

不同NaNO₃浓度下可变电荷土壤铜离子解吸率的分配及影响因素 张政勤 罗文贱 陈勇等 (1188)

封面图片：不同浓度十溴联苯醚对秀丽隐杆线虫的毒性（由王赢利提供）

DOI: 10.11766/trxb201410210531

淮河流域地表干湿变化的时空分布特征^{*}

曹永强 徐丹 曹阳

(辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁大连 116029)

摘要 以淮河流域为研究对象, 结合淮河流域35个气象站点1961—2013年的逐日降水量观测数据与流域地表气象数据, 运用Penman-Monteith公式计算得到淮河流域的潜在蒸散量及相对湿度指数, 并用Matlab软件的小波函数进行周期分析及Mann-Kendall趋势分析, 研究近53年来淮河流域地表干湿变化的时间变化特征。同时借助ArcGIS平台, 通过反距离权重法插值, 研究淮河流域的降水量、潜在蒸散量和相对湿度指数的空间分布特征。结果表明, 在时间分布上, 近53年来淮河流域的降水量和相对湿度指数均呈现微弱上升趋势, 而潜在蒸散量呈下降趋势; 在空间分布上, 潜在蒸散量表现为淮河地区北部高于南部, 而相对湿度指数和降水量则均表现为淮河地区南部高于北部。

关键词 淮河流域; 降水量; 潜在蒸散量; 相对湿度指数; 时空分布特征

中图分类号 P467 **文献标识码** A

随着全球气候变暖, 干旱以及洪涝等极端天气问题的日益突出, 全球以及区域性地表干湿状况、水分平衡以及时空分布特征随即发生变化, 而气候干湿状况的变化对人们的生活及区域工农业的生产带来了重大影响^[1]。陆地水分平衡的分量主要包括降水、蒸散和径流三个因素^[2]。气候的干湿状况主要取决于降水和蒸散这两个因素^[3]。参考作物蒸散量是评价气候的干旱程度、作物潜在生产能力、植被耗水量以及水资源供需平衡的重要指标, 为估算农作物需水量、评价农业水资源及制定合理灌溉方案提供依据^[4]。一般认为, 气温升高会加快地表蒸散的速度, 使地表干旱程度加重, 而降水量增多则会补充土壤的水分, 在一定程度上可以缓解地表干旱状况^[5]。因此对降水和蒸散这两个因素进行分析研究, 并根据这两个因素进一步评价地表的干湿状况具有一定的参考价值。

淮河流域位于我国东部, 地处 $111^{\circ}55' \sim 121^{\circ}25'E$, $30^{\circ}55' \sim 36^{\circ}36'N$, 介于长江和黄河流域之间^[6], 是我国南北气候的过渡带, 属暖温带半湿润季风气候区。由于其地理位置的特殊性以及气候多变的复杂性^[7], 经常受南北冷暖气流交汇

的影响, 降水量变化频繁, 导致淮河流域的旱涝灾害时有发生。在气候变化的背景下, 淮河流域气候是否受到影响而产生变化, 以及变化规律和未来发展趋势, 这些问题均未得到系统的研究^[8]。因此分析淮河流域的地表干湿变化具有实际意义。袁喆等^[9]利用GIS平台分析了淮河流域近50年的降水特征, 研究表明淮河流域北部地区降水量呈下降趋势, 南部呈增加趋势, 流域中下游为旱涝灾害易发区。卢燕宇等^[10]采用Kriging插值法分析了淮河流域降水量的时空格局及其变化特征, 结果表明近45年来淮河流域降水量的年际振荡较为剧烈并呈上升趋势, 空间分布基本呈北低南高的格局。蔡辉艺等^[6]采用Penman-Monteith法分析淮河流域的参考蒸散量, 结果表明淮河流域绝大部分地区的年参考蒸散量呈下降趋势, 且淮北地区较淮南下降趋势显著。王晓东等^[4]采用FAO Penman-Monteith公式对淮河流域潜在蒸散量(ET_0)的时空分布特征和影响因子进行定量分析, 结果表明淮河流域近40年 ET_0 呈现下降趋势, 空间分布显示西北部大部分站点 ET_0 显著降低。目前虽然对淮河流域干湿状况的研究较多, 但大都侧重于降水或蒸散的单方

* 国家自然科学基金项目(51279072)、中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室开放研究基金(IWHR-SKL-201501)资助

作者简介: 曹永强(1972—), 男, 博士, 教授, 主要从事水文水资源研究。E-mail: caoyongqiang@lnnu.edu.cn

收稿日期: 2014-10-21; 收到修改稿日期: 2015-04-21

面, 综合利用降水、蒸散和相对湿度表达干湿程度的却不多见。

本文通过对淮河流域降水量逐日观测数据进行计算和分析, 利用彭曼公式计算各站点同时期的潜在蒸散量和相对湿度指数, 在此基础上进一步研究淮河流域干湿状况的时空分布特征及其变化趋势, 为预防淮河流域洪涝、干旱等灾害提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

Penman-Monteith公式计算参考蒸散发量,

需要日平均温度T、日最高温度T_{max}、日最低温度T_{min}、日照时数N、日平均风速V、日平均水汽压e等气象资料。计算相对湿度指数还需要各站点的日降水量P^[11]。

全部数据均来自于中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/>)。最终在淮河流域内选取35个站点, 站点分布如图1所示。

1.2 研究方法

本文所计算的参考蒸散发量 (ET₀) (又称潜在蒸散量)^[12]采用FAO Penman-Monteith^[4, 13-14]计算得出, 其结果是表征大气的蒸散能力, 与作物的生长阶段、类型及其管理方式无关, 它反映的是蒸散发与各气象因子之间的关系, 其公式为:

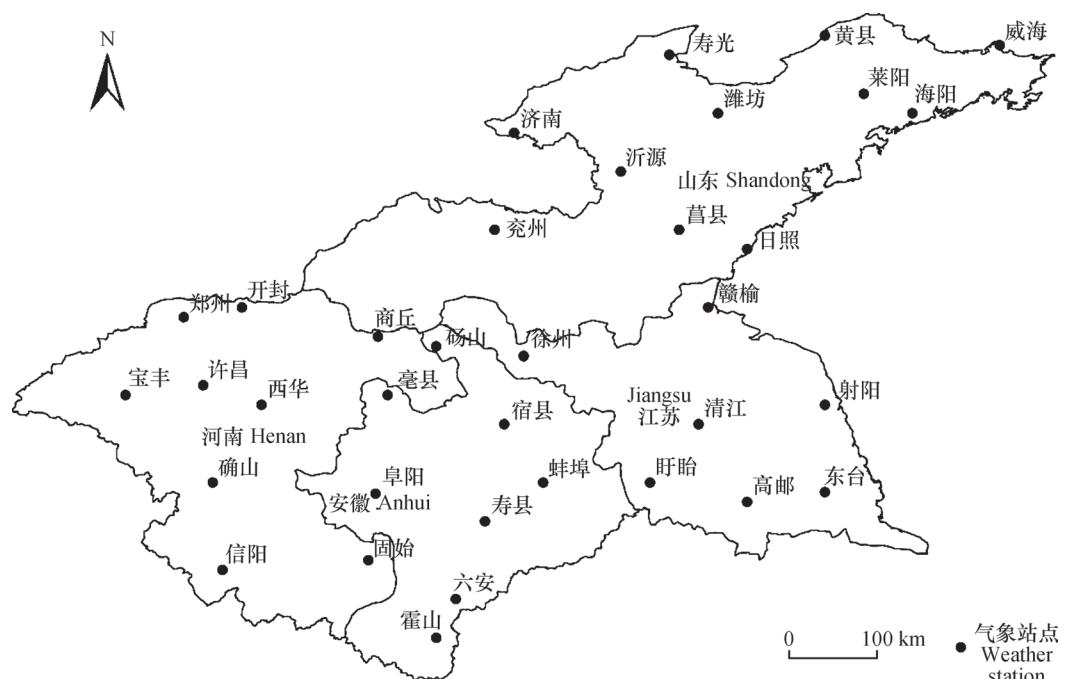


图1 淮河流域气象站点分布图

Fig.1 Distribution map of meteorological sites in the Huaihe River Basin

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

式中, Δ 表示为饱和水汽压与温度曲线的梯度 (kPa°C⁻¹) ; ET_0 为潜在蒸散量 (mm d⁻¹) ; Rn 为地表净辐射 (MJ m⁻² d⁻¹) ; T 为2m处的平均气温 (°C) ; G 为土壤热通量 (MJ m⁻² d⁻¹) ; U_2 为高度为2m处的风速 (ms⁻¹) ; γ 为干湿表常数 (kPa°C⁻¹) ; e_s 和 e_a 分别为温度为T时的饱和水汽压和实际水汽压 (kPa)^[15]。

相对湿度指数 (Relative humidity index) 是指某时段的降水量与该时段的潜在蒸散量之差与潜在蒸散量的比值乘以100。其表达式为:

$$MI = 100 \times \left(\frac{P}{PE} - 1 \right) \quad (2)$$

式中, PE 为计算时段潜在蒸散量总和, P 为计算时段的总降水量, MI 为相对湿度指数。

1.3 分析方法

降水量、潜在蒸散量、相对湿度指数空间分布的插值方法采用的是反距离权重法 (Inverse Distance Weighted, IDW) , 在ArcGIS中进行^[3]。

反距离权重法以插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均,其优势在于较为直观同时运算的速率较快,适用于样本点分布较为均匀且密度较大的数据。

对于降水量、潜在蒸散量、相对湿度指数时间变化趋势分析主要采取Matlab软件的小波函数进行周期分析^[16]及Mann-Kendall^[20-21]进行趋势突变分析。其中UF为顺时间序列的标准正态分布曲线,UB为逆时间序列的标准正态分布曲线。具体计算参见文献[19]。

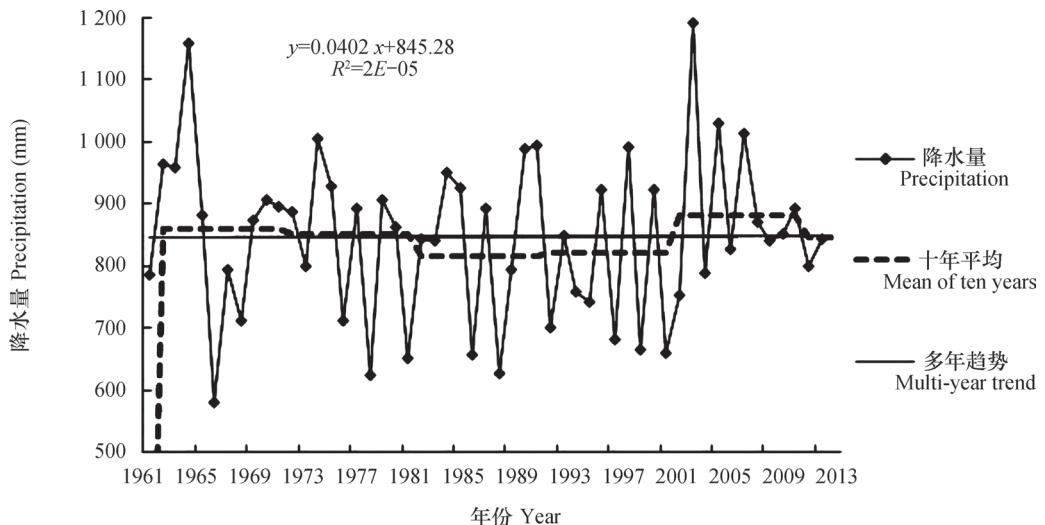


图2 淮河流域降水量的年度变化

Fig.2 Annual variation of precipitation in the Huaihe River Basin

明显上升。

降水量时间分布图还显示,1961—1975年,虽然淮河流域降水量年际波动范围较大,从最低580 mm至最高1157mm,但是波动频率较低;1976—2013年,虽然降水量的波动范围较之前有了明显的缩小,波动范围在624~1190mm之间,但是波动频率却有了显著的提升。由表1的年代距平百分率可以看出,淮河流域降水量年度变化具有阶段性,1961—1980年略高于平均水平,1980—1999呈明显下降趋势,而在2001年后,降水量上升明显,这与2000年之后淮河流域洪涝较多的情况相符。且该年代变化趋势与王英等^[17]和陈峪等^[18]的研究结果较为一致。该结果表明降水量与温度的年代变化有较强的同步性,从而证实了气候变暖引起全球水循环的加快,导致20世纪90年代后降水量显著增加。可以预测,2013年后淮河流域降水量波动频率仍将保持在一个较高水平。

2 结果

2.1 淮河流域年降水量时空变化特征

2.1.1 年降水量时间变化特征 年降水量最大值出现在2003年,约为1190mm;最小值出现在1966年,约为580 mm;53年平均值约为846mm。53年来淮河流域的降水量呈现波动型变化,年际震荡剧烈,有微弱上升趋势,但变化不明显。该结果与卢燕宇等^[10]的研究结果一致。年代平均变化较平稳,1961—1990年处于下降趋势,1991年后有

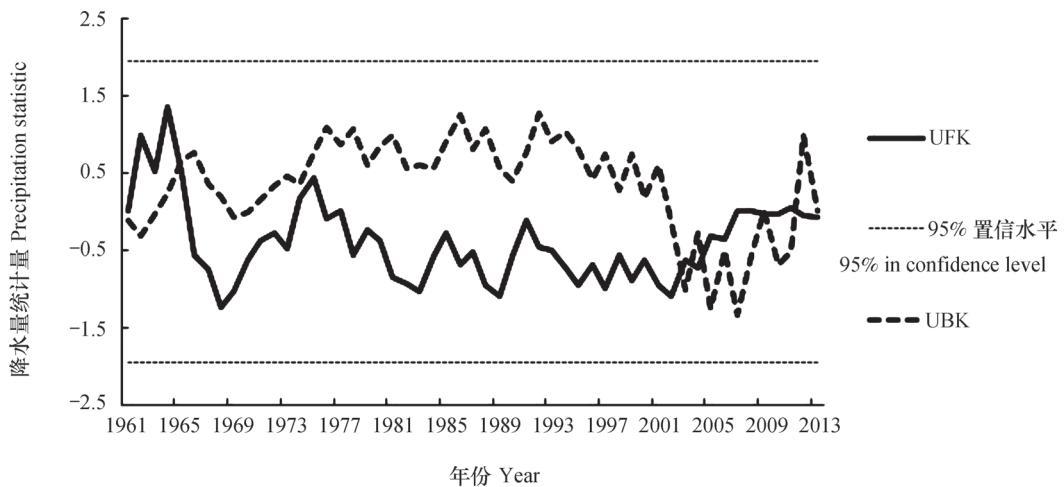
根据淮河流域年降水量的M-K统计数据,其M-K统计值(图3)表明1961—2013年淮河流域降水量没有明显的变化趋势,且降水量折线图在研究时段内也未出现明显的增减趋势。图中淮河流域降水量UF和UB曲线在1965年及2003年左右相交,证明在该时间点发生了突变,对应时间变化趋势可以看出,1965年后的1966年达到最低点,且2003年的降水量达到了最高值。UF曲线在1966—2005年小于零,表明该阶段处于下降趋势,与时代变化趋势相同。M-K趋势分析结果与降水量时间变化曲线结果一致。

通过Matlab软件的小波函数对降水量数据进行周期分析,结果如图4所示。从图4a中可以看出,图的上部分等值线稀疏,而下部分等值线较为密集,上部分对应较长时间尺度上的周期振荡,下部分对应较短时间尺度上的周期振荡。在10~20年尺度上的周期振荡明显,2~10年尺度上也经历了

表1 淮河流域各参数的年代距平百分率

Table 1 Yearly anomalous percentage of various parameters in the Huaihe River Basin (%)

年代 Decade	降水量	潜在蒸散量	相对湿度指数
	Precipitation	Potential evapotranspiration	Relative humidity index
1961—1970	1.69	3.73	15.75
1971—1980	0.53	1.45	7.56
1981—1990	-3.56	-0.91	24.85
1991—2000	-2.86	-0.58	24.53
2001—2010	4.26	0.22	-50.08
2011—2013	-0.20	-5.73	-75.39



注: UF为顺时间序列的标准正态分布曲线, UB为逆时间序列的标准正态分布曲线。

Note: UF denotes clockwise standard normal distribution curve and UB does counter-clockwise standard normal distribution curve

图3 淮河流域降水量M-K分析曲线

Fig.3 M-K analysis curve of precipitation in the Huaihe River Basin

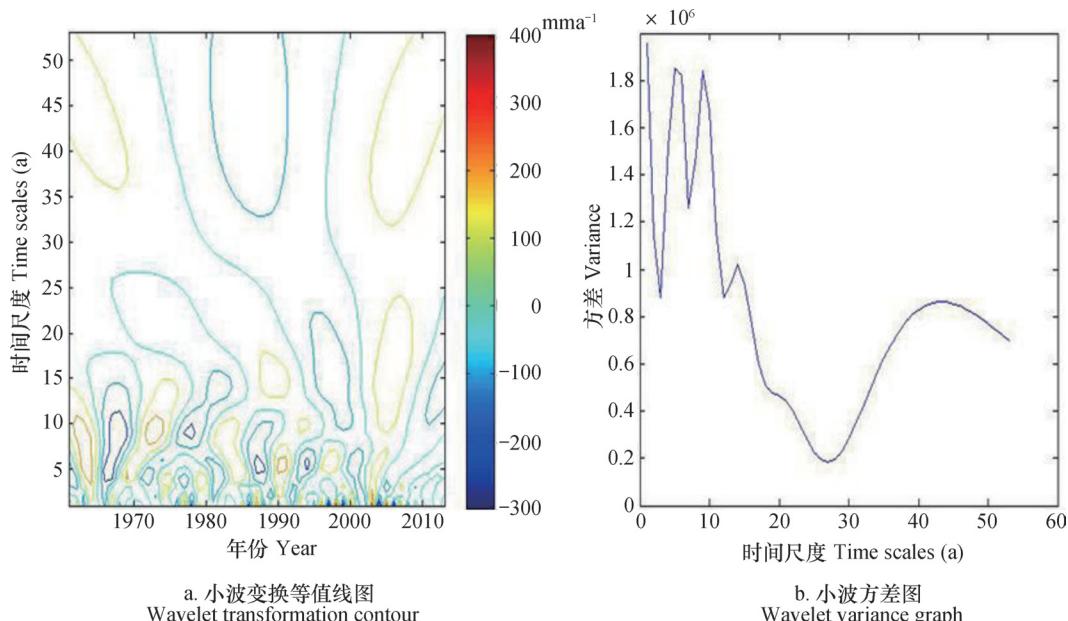


图4 淮河流域降水量的周期变化

Fig.4 Cyclic variation of precipitation in the Huaihe River Basin

多个周期循环；5年以内小尺度上的周期振荡最为明显，有着更多的循环交替，2013年等值线未完全闭合，说明未来几年淮河流域仍将处于降水量上升阶段。从图4b中可以看出淮河流域降水量的小波方差的第1峰值为6年左右，表明淮河流域降水量在6年的周期振荡最强，为主周期；其次是以14年左右为周期的振荡，为次周期；同时还存在着10年左右的周期。

2.1.2 年降水量空间分布特征 淮河流域各站点的多年平均降水量在580~1333mm之间,35个站点的均值为837mm。淮河流域降水量的空间分

布图可以看出流域内不同地区的降水量表现出了明显的纬度差异性（图5），其中年均降水量高于800mm的站点有徐州、赣榆、亳县、宿县、盱眙、清江、射阳、阜阳、固始、寿县、蚌埠、高邮、东台、六安、霍山、确山、信阳和日照等18个站点，这些站点均分布于流域南部；年均降水量低于700mm的站点有寿光、黄县、威海、济南、潍坊、莱阳、兗州、郑州、开封共9个站点，它们均分布于流域北部。剩余8个降水量为700~800mm的站点则分布于淮河流域中部。由此可见，淮河流域降水量的空间分布呈较明显的纬向分布，即流域南部较

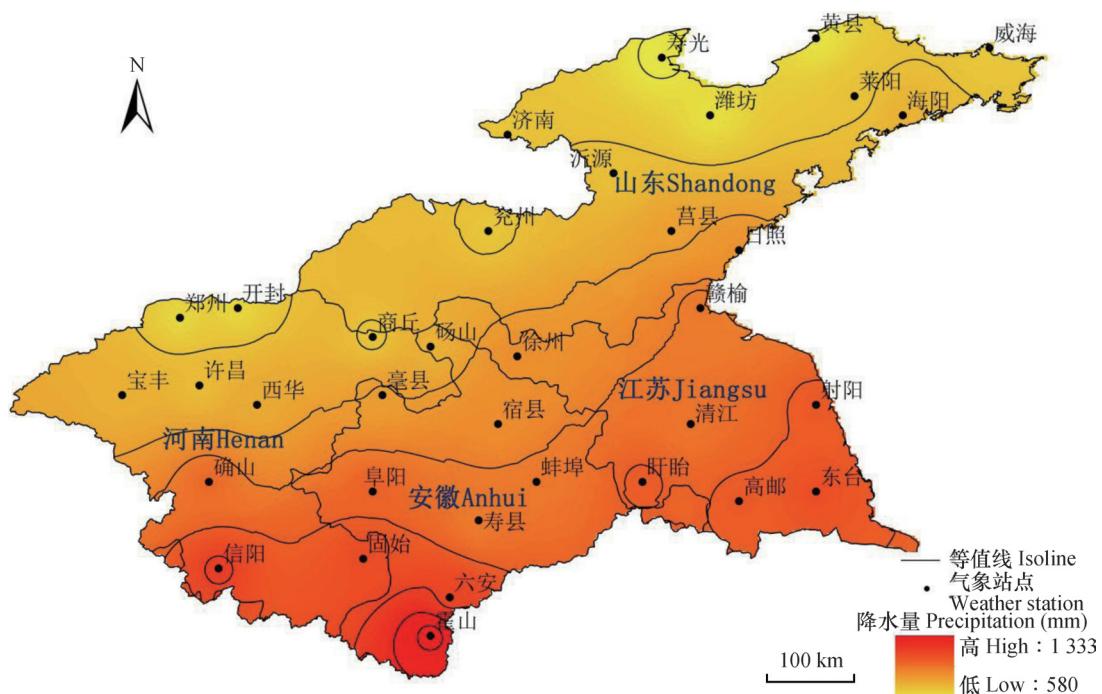


图5 淮河流域降水量的空间分布图

Fig.5 Spatial distribution of precipitation in the Huaihe River Basin

高，北部较低的特征。

2.2 潜在蒸散量时空变化特征

2.2.1 潜在蒸散量的时间变化特征 通过式

(1) 计算淮河流域潜在蒸散量的时间分布数据, 经处理后如图6所示: 淮河流域年潜在蒸散量的最大值出现在1967年, 为1001mm; 最小值出现在1996年, 为852 mm; 53年平均值为915mm。流域内年潜在蒸散量变化明显且呈现下降趋势, 平均下降速率为 0.97mm a^{-1} 。1961—1990年的年代均值下降明显, 1991年后有微小上升, 但上升不明显, 总体仍就呈下降趋势。造成蒸散量下降的主要原因是太阳辐射量的减少以及风速的降低, 蒙辉艺等^[6]

也证明了该结论。

潜在蒸散量年变化图还显示, 1960—1970年间淮河流域潜在蒸散量在897~1001mm范围内波动, 波动频率较低; 1971—2013年间潜在蒸散量在677~991mm范围内波动, 且波动频率较高。与降水量波动范围和频率的变化不同, 流域内各年代潜在蒸散量波动范围和频率基本持平。由表1的年代距平百分率可以看出, 淮河流域年代潜在蒸散量变化趋势明显, 1961—1980年潜在蒸散量高于平均水平, 而在1980年后, 潜在蒸散量低于平均水平, 总体呈现明显下降趋势。可以预测2013年后淮河流域潜在蒸散量将保持下降趋势。

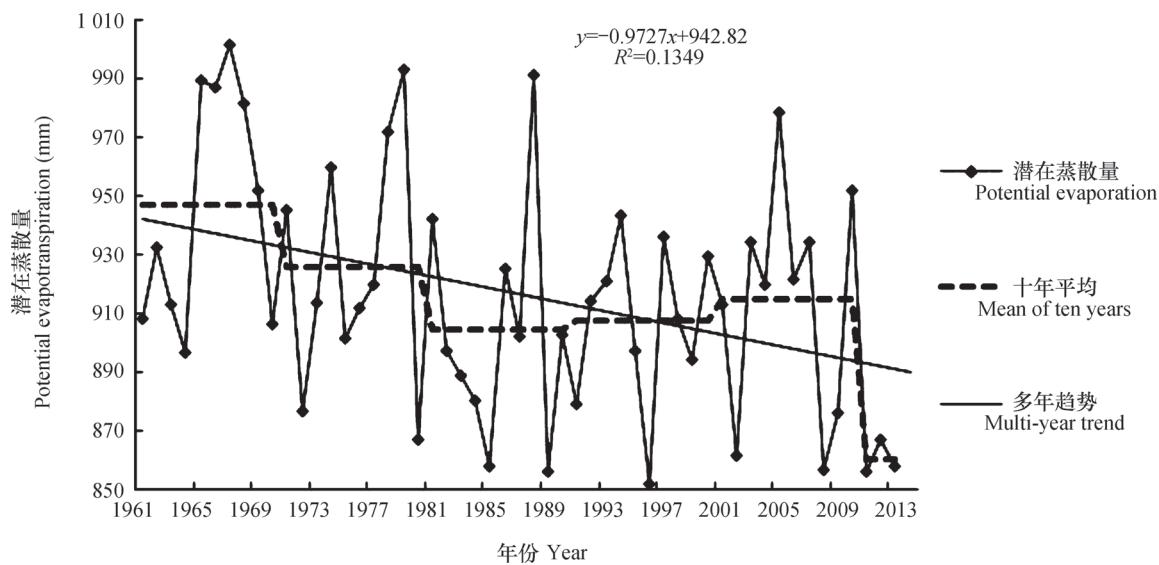
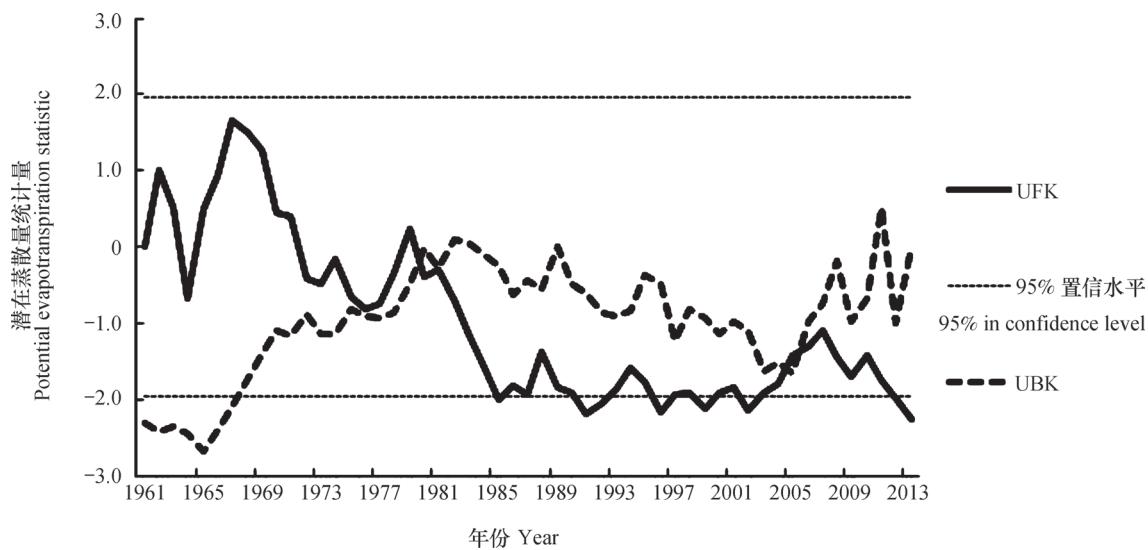


图6 淮河流域潜在蒸散量的年度变化

Fig.6 Annual variation of potential evapotranspiration in the Huaihe River Basin

根据淮河流域潜在蒸散量的M-K统计数据, 其M-K统计值(图7)中UF及UB曲线在1963年后小于零, 表明淮河流域潜在蒸散量有明显下降趋势, 与年代变化趋势相同。图中还能看出淮河流域潜在

蒸散量在1979年及2005年左右发生突变, 对应时间变化趋势可以看出, 1979年及2005年前后变化较大, M-K趋势分析结果与潜在蒸散量时间变化曲线结果较为一致。



注: UF为顺时间序列的标准正态分布曲线, UB为逆时间序列的标准正态分布曲线。

Note: UF denotes clockwise standard normal distribution curve and UB does counter-clockwise standard normal distribution curve.

图7 淮河流域潜在蒸散量M-K分析曲线

Fig.7 M-K analysis curve of potential evapotranspiration in the Huaihe River River

通过Matlab软件的小波函数对潜在蒸散量数据进行周期分析, 结果如图8, 与降水量周期变化相似。从图8a中可以看出, 图的上部分等值线稀疏, 而下部分的等值线较为密集, 上部分对应较长时间尺度上的周期振荡, 下部分对应较短时间尺度上的

周期振荡。潜在蒸散量在大尺度的10~20年间呈现了周期震荡, 并经历了多—少—多—少的变化; 在小尺度1~5年间也出现了周期震荡, 经历了多个周期的循环, 周期震荡最为明显。从图8b中可以看出淮河流域潜在蒸散量的小波方差在3个尺度下表现

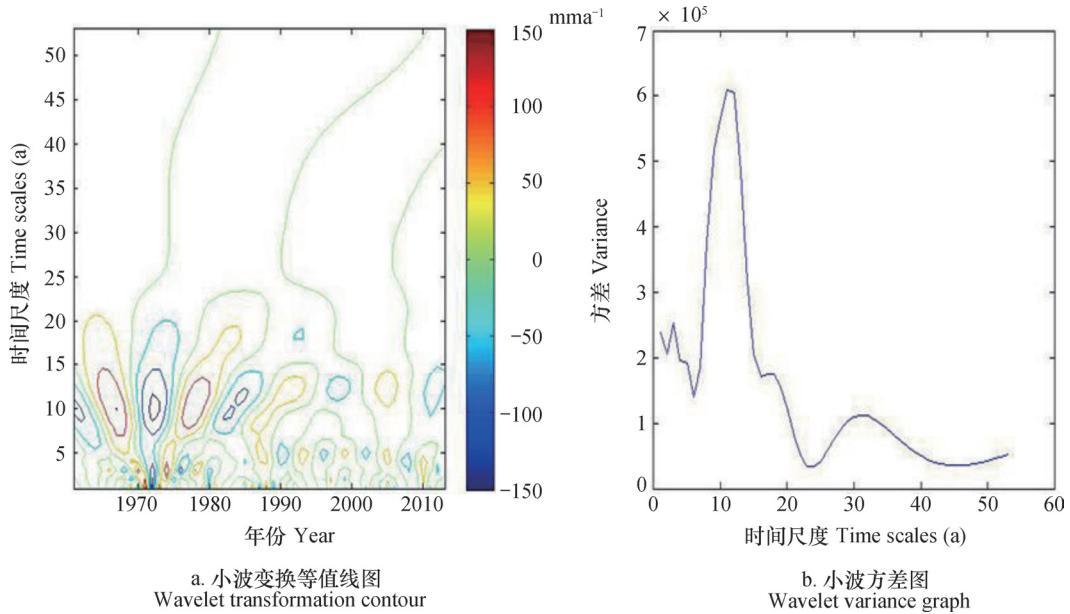


图8 淮河流域潜在蒸散量的周期变化

Fig.8 Cyclic variation of potential evapotranspiration in the Huaihe River Basin

最为显著;第1峰值为11年,说明淮河流域潜在蒸散量变化在11年左右的周期振荡最强,为主周期;其次是以4年左右为周期的振荡。

2.2.2 潜在蒸散量的空间变化特征 流域内不同地区的潜在蒸散量表现出显著的南北差异性,其中年蒸散量大于1000 mm的有沂源、潍坊、海阳、兖州、莒县、日照、郑州、许昌、开封等9个站点,这些站点均分布于淮河以北;小于800mm的有寿光、黄县、威海、赣榆、寿县、高邮、东台等7个站点,除寿光、黄县龙口和威海3个站点外其余站点均分布于淮河以南;剩余19个潜在蒸散量在800~1000mm的站点则分布于淮河沿岸地区即淮河流域中部。由此可见,由于太阳辐射、日照时长南低北高、气温南高北低等原因,淮河流域潜在蒸散量的空间分布呈现出与降水量空间分布相反的南北差异,即淮河以北较高,淮河以南较低的特征。不容忽视的是,寿光、黄县以及威海的潜在蒸散量并不符合上述结论。在排除了数据错误等可能因素之后,调查发现这3个站点的纬度相同,经度相近,又同处于山东境内,推断在这些站点周围存在着其他影响潜在蒸散量的因素,可能与沿海城市湿度较大、蒸散量较低等因素有关,进而使得站点数据不符合前文所述特征。

2.3 相对湿度指数时空分布特征

2.3.1 相对湿度指数的时间分布特征

式(2)计算出淮河流域相对湿度指数的时间分布数据,经处理后如图10所示,结合潜在蒸散量时间分布图表可以得出,淮河流域相对湿度指数在-41.25~29.02范围内波动。53年间相对湿度指数最大值出现在1964年,为29.02,最小值出现在1966年,为-41.25。线性拟合后数据显示,53年间淮河流域相对湿度指数的波动范围和频率整体上较为平稳,呈微弱上升趋势,平均上升速率为 0.0873a^{-1} ,上升趋势不明显。各年代均值总体保持不变,2001年后有微弱上升趋势。由表1可以看出,2000年前,相对湿度指数明显高于平均值,2000年后却明显低于平均值,且下降较为明显,这与2000年后降水量上升较为明显有关。相对湿度指数越小表示地表越干,由此可以推断出淮河流域地表有变湿趋势。

淮河流域相对湿度指数的M-K统计(图11)表明,1964—2013年淮河流域相对湿度指数变化趋势不明显,且折线图也表明在研究时段内相对湿度指数没有明显的增减趋势。图中还能看出淮河流域相对湿度指数在1965年及2003年左右发生突变,对应时间变化趋势可以看出,1964年和1966年分别达到了相对湿度指数的最高点和最低点,且2003年的相对湿度指数达到了明显的高值。UF曲线在2000年后大于0,表明该阶段处于上升趋势,与时代变化趋势相同。M-K趋势分析结果与相对湿度指

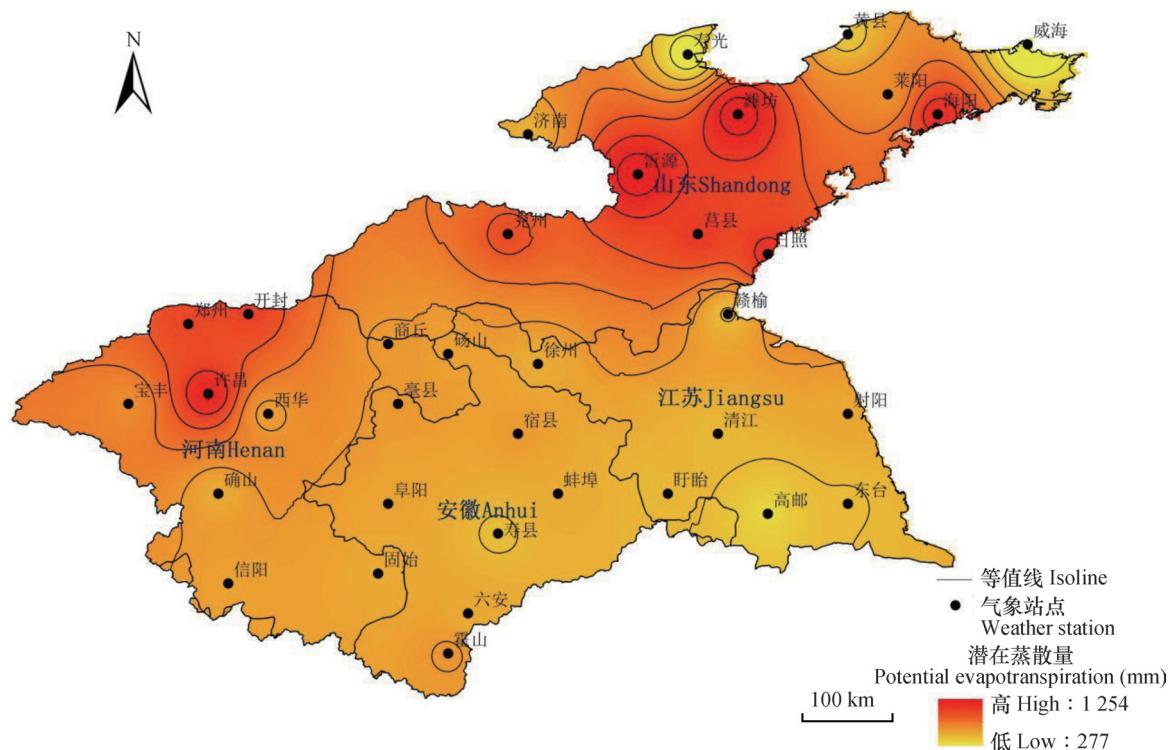


图9 淮河流域潜在蒸散量的空间分布图

Fig.9 Spatial distribution of potential evapotranspiration in the Huaihe River Basin

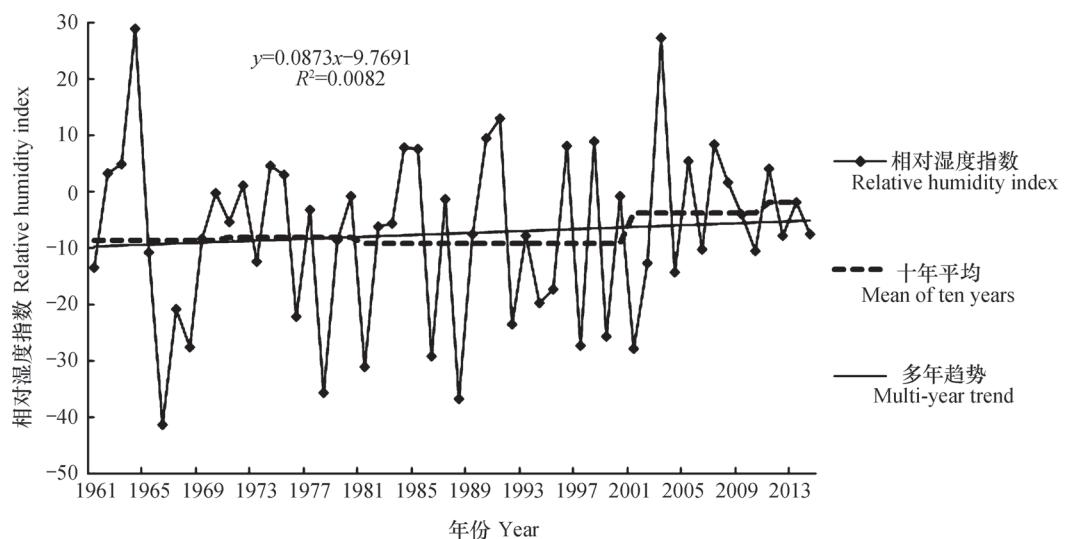


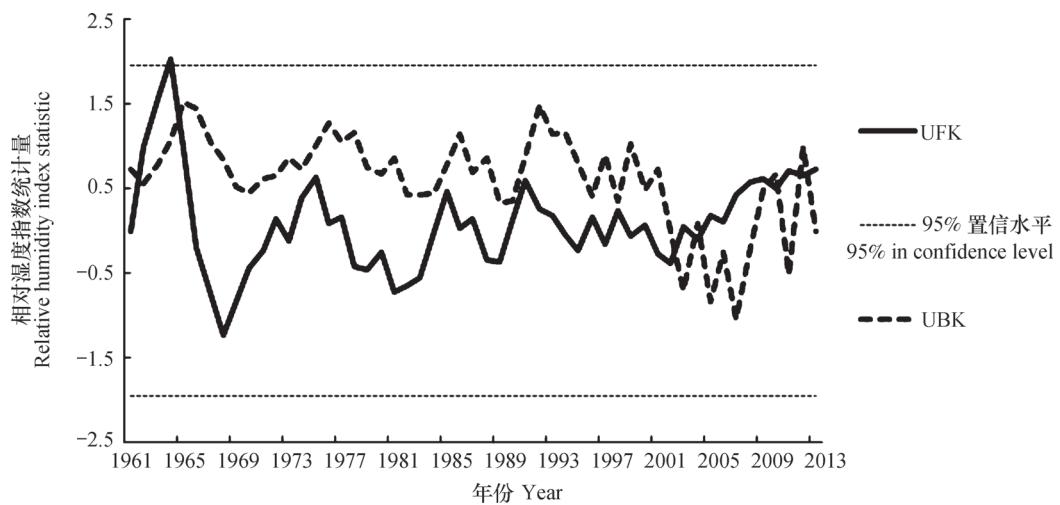
图10 淮河流域相对湿度指数的年度变化

Fig.10 Annual variation of relative humidity index in the Huaihe River Basin

数时间变化曲线结果相符。

通过Matlab软件的小波函数对相对湿度指数数据进行周期分析,结果如图12所示。从图12a中可以看出,图的上部分等值线稀疏,而下部分等值线较为密集,上部分对应较长时间尺度上的周期振荡,下部分对应较短时间尺度上的周期振荡。相

对湿度指数从1985年开始在大尺度的15~25年间呈现出周期震荡,并经历了多-少-多的变化;在小尺度5~15年间也出现了周期震荡,经历了多个周期的循环,其周期震荡最为明显。从图12b中可以看出淮河流域相对湿度指数的小波方差在2个尺度下表现最为显著;第1峰值为10年,说明淮河流



注: UF为顺时间序列的标准正态分布曲线, UB为逆时间序列的标准正态分布曲线。

Note: UF denotes clockwise standard normal distribution curve and UB does counter-clockwise standard normal distribution curve.

图11 淮河流域相对湿度指数M-K分析曲线

Fig.11 M-K analysis curve of relative humidity index in the Huaihe River Basin

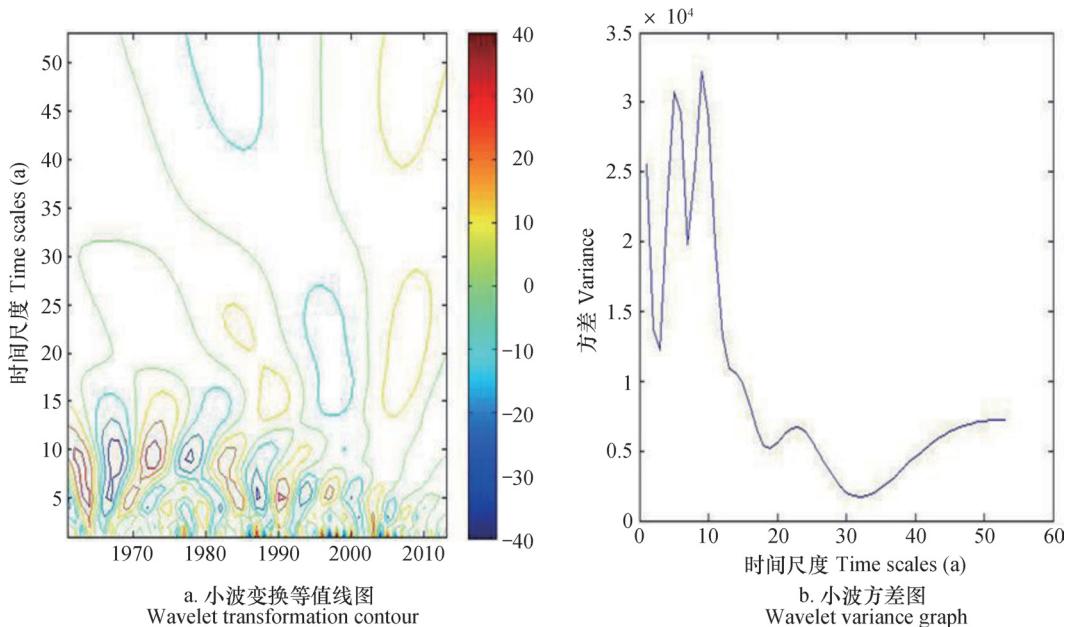


图12 淮河流域相对湿度指数的周期变化

Fig.12 Cyclic variation of relative humidity index in the Huaihe River Basin

域相对湿度指数变化在10年左右的周期振荡最强, 为主周期; 其次是以5年左右为周期的振荡, 为次周期。

2.3.2 相对湿度指数空间分布特征 淮河流域相对湿度指数的空间分布数据经ArcGIS平台处理后如图13所示, 淮河流域各站点的平均相对湿度指数

在-51~50之间, 35个气象站点变化不明显。

与降水量空间分布相似, 流域内不同地区的相对湿度指数表现出显著的南北差异性, 其中淮河以北较低, 淮河以南较高, 表明相对湿度指数与降水量成正相关, 与潜在蒸散量成负相关。各站点变化不明显, 分布较为均匀。

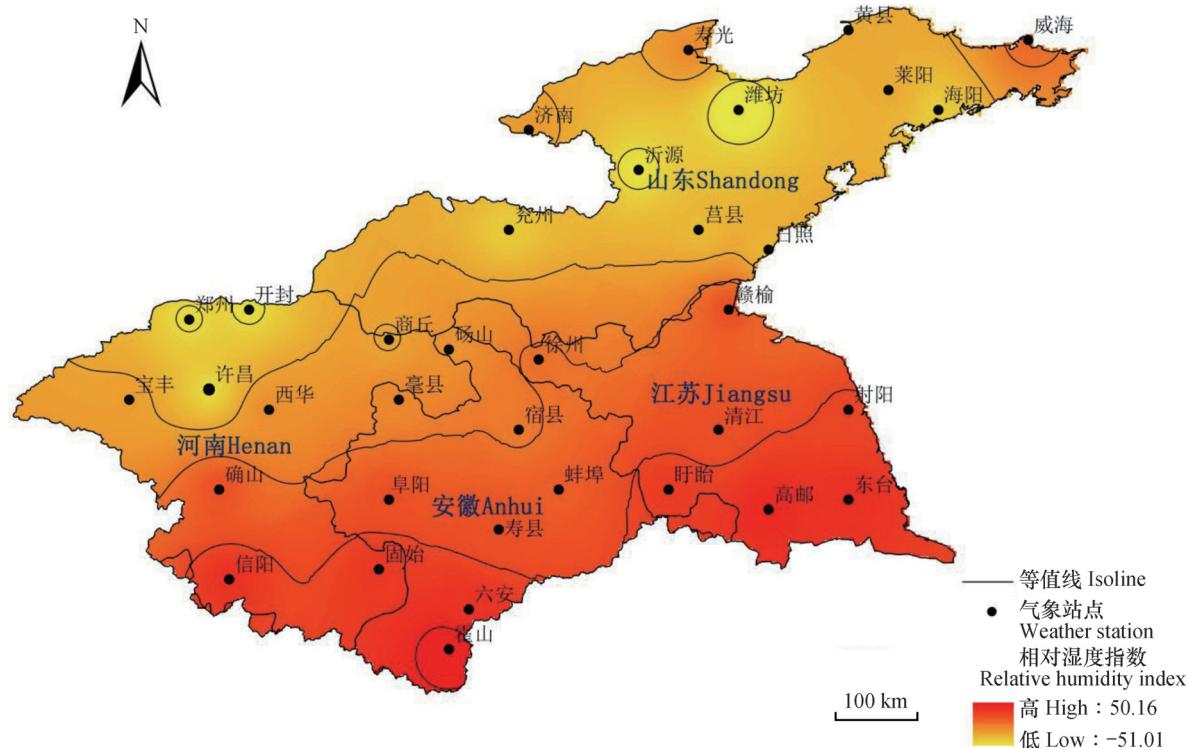


图13 淮河流域相对湿度指数的空间分布图

Fig.13 Spatial distribution of relative humidity index in the Huaihe River Basin

3 结 论

降水量和相对湿度指数在时间分布上均呈现微弱上升趋势,但变化趋势不明显;潜在蒸散量呈下降趋势。其中降水量53年间呈现6年的主周期和14年的次周期变化。潜在蒸散量53年间呈现11年的主周期和4年的次周期变化。在空间分布上,降水量和相对湿度指数表现出标准的纬向差异,流域南部相对较高,北部相对较低,而流域内绝大多数的潜在蒸散量表现为与降水量相反的南北差异。淮河流域地表干湿状况的变化是各气象因子综合作用的结果,不难看出降水量是影响干湿状况的正影响因子,潜在蒸散量是影响干湿状况的负影响因子。

参 考 文 献

- [1] 杨建平, 丁永建, 陈仁升, 等. 近50年来中国干湿气候界线的10年际波动. 地理学报, 2002, 57 (6): 655—661. Yang J P, Ding Y J, Chen R S, et al. Interdecadal fluctuation of dry and wet climate boundaries in China in the past 50 years (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57 (6): 655—661
- [2] 任国玉, 郭军. 中国水面蒸发量的变化. 自然资源学报, 2006, 21 (1): 31—44. Ren G Y, Guo J.

Change in Pan evaporation and the influential factors over China: 1956—2000 (In Chinese). *Journal of Natural Resources*, 2006, 21 (1): 31—44

- [3] 王莺, 李耀辉, 姚玉璧, 赵福年. 石羊河流域地表干湿变化的时空分布特征. 资源科学, 2013, 35 (10): 112—120. Wang Y, Li Y H, Yao Y B, et al. Spatial and temporal patterns in surface humidity changes in the Shiyang River Basin (In Chinese). *Resources Science*, 2013, 35 (10): 112—120
- [4] 王晓东, 马晓群, 许莹, 等. 淮河流域参考作物蒸散量变化特征及主要气象因子的贡献分析. 中国农业气象, 2013, 34 (6): 661—667. Wang X D, Ma X Q, Xu Y, et al. Variation of reference crop evapotranspiration and contribution of main factors in the Huaihe Basin (In Chinese). *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2013, 34 (6): 661—667
- [5] 贾文雄, 何元庆, 李宗省, 等. 郑连山及河西走廊地表干湿变化的时空分布. 地球科学, 2010, 35 (2): 265—276. Jia W X, He Y Q, Li Z S, et al. Temporal and spatial characteristics of dry-wet conditions from 1960 to 2006 in Qilian Mountains and Hexi Corridor (In Chinese). *Journal of Earth Science*, 2010, 35 (2): 265—276
- [6] 蔡辉艺, 余钟波, 杨传国, 等. 淮河流域参考蒸散量变化分析. 海河大学学报: 自然科学版, 2012, 40

- [1] : 76—82. Cai H Y, Yu Z B, Yang C G, et al. Analysis of variation of reference evapotranspiration in Huaihe Basin (In Chinese). Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2012, 40 (1) : 76—82
- [7] 水利部淮河水利委员会.1991年淮河暴雨洪水.北京:中国水利水电出版社, 2010, 1: 47—48. Ministry of water resources of huaihe river water resources commission. Storm floods of the Huaihe River in 1991 (In Chinese). Beijing: China Water Power Press, 2010, 1: 47—48
- [8] 高超, 姜彤, 翟建青. 过去(1958—2007)和未来(2011—2060)50年淮河流域气候变化趋势分析. 中国农业气象, 2012, 33 (1) : 8—17. Gao C, Jiang T, Zhai J Q. Analysis and prediction of climate change in the Huaihe River Basin (In Chinese). Chinese Journal of Agrometeorology, 2012, 33 (1) : 8—17
- [9] 袁喆, 杨志勇, 郑晓东, 等. 近50年来淮河流域降水时空变化特征分析. 南水北调与水利科技, 2012, 10 (2) : 98—103. Yuan Z, Yang Z Y, Zheng X D, et al. Spatial and temporal variations of precipitation in Huaihe River Basin in recent 50 years (In Chinese). South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10 (2) : 98—103
- [10] 卢燕宇, 吴必文, 田红, 等.1961—2005年淮河流域降水时空演变特征分析. 第26届中国气象学会年会气候变化分会场论文集.2009. Lu Y Y, Wu B W, Tian H, et al. The space-time changed characteristics of precipitation of Huaihe River in 1961—2005 (In Chinese). The 26th Chinese Meteorological Society annual conference on climate change at the venue.2009
- [11] 杨春祥. 海河流域蒸散发时空演变规律分析. 大连:辽宁师范大学.2013. Yang C X. Analysis of spatial and temporal sporadic evolution in Haihe Basin evaporation (In Chinese). Dalian: Liaoning Normal University, 2013
- [12] 左大康. 现代地理学词典. 北京: 商务印书馆, 1990: 293. Zu D K. The modern geography dictionary (In Chinese). Beijing: The Commercial Press, 1990: 293
- [13] 陈超, 庞艳梅, 潘学标, 等. 四川地区参考作物蒸散量的变化特征及气候影响因素分析. 中国农业气象, 2011, 32 (1) : 35—40. Chen C, Pang Y M, Pan X B, et al. Analysis on change of reference crop evapotranspiration and climatic influence factors in Sichuan (In Chinese). Chinese Journal of Agrometeorology, 2011, 32 (1) : 35—40
- [14] 毛飞, 张光智, 徐祥德. 参考作物蒸散量的多种计算方法及其结果的比较. 应用气象学报.2000, 11 (8) : 128—136. Mao F, Zhang G Z, Xu X D. Several methods of calculating the reference evapotranspiration and comparison of their results (In Chinese). Journal of Applied Meteorological Science, 2000, 11 (8) : 128—136
- [15] 王艳君, 姜彤. 长江流域1961—2000年蒸发量变化趋势研究. 气候变化研究进展, 2005, 1 (3) : 99—105. Wang Y J, Jiang T. Trends of evapotranspiration in the Yangtze River Basin in 1961—2000 (In Chinese). Progressus Inquisitiones DE Mutatione Climatis, 2005, 1 (3) : 99—105
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 2007: 36—69. Wei F Y. Modern climatic statistical diagnosis and prediction technology (In Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2007: 36—69
- [17] 王英, 曹明奎, 陶波, 等. 全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征. 地理研究, 2006, 25 (6) : 1031—1040. Wang Y, Cao M K, Tao B, et al. The characteristics of spatio-temporal patterns in precipitation in China under the background of global climate change. Geographical Research, 2006, 25 (6) : 1031—1040
- [18] 陈峪, 高歌, 任国玉, 等. 中国十大流域近40多年降水量时空变化特征. 自然资源学报, 2005, 20 (5) : 637—643. Chen Y, Gao G, Ren G Y, et al. Spatial and temporal variation of precipitation over Ten Major Basins in China between 1956 and 2000. Journal of Natural Resources, 2005, 20 (5) : 637—643
- [19] 霍正文, 陈文, 凡炳文. 近54年定西市降水趋势及突变分析. 水文, 2012, 32 (3) : 88—92. Huo Z W, Chen W, Fan B W. Analysis of precipitation tendency and sudden change of Dingxi City in recent 54 years (In Chinese). Journal of China Hydrology, 2012, 32 (3) : 88—92
- [20] Claudia L. A program of multivariate and partial Mann-Kendall test.2002
- [21] Kendall M G. Rank correlation measures. London: Charles Griffin, 1975

SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION OF DRY-WET ALTERATION IN SURFACE SOIL LAYER OF THE HUAIHE RIVER BASIN

Cao Yongqiang Xu Dan Cao Yang

(School of Urban Planning and Environmental Science, Liaoning Normal University, Da Lian, Liaoning 116029, China)

Abstract Terrestrial water cycling encompasses mainly three factors, including precipitation, evapotranspiration and runoff, and dry or wet of the climate mainly depends on precipitation and evapotranspiration. Crop evapotranspiration is a major index to take into account in assessing climate drought degree, crop potential productivity, vegetation water consumption, and water resources supply and demand balance. And it may also provide a scientific basis for calculating crop water requirement, evaluating agricultural water resources, and developing reasonable irrigation schemes. It is generally believed that rising temperature will speed up surface evapotranspiration, and aggravate surface drought degree, while precipitation will increase will supplement the soil with water and relieve the surface droughtiness to a certain extent. So research and analysis on precipitation and evapotranspiration is of certain reference value to evaluating surface soil moisture conditions. The Huaihe River Basin, located between the Yangtze River basin and the Yellow River basin in the east part of China, is a transitional zone between the north and south climates in this country, and belongs to the warm temperate semi-humid monsoon climatic region. Because of its special geographical position, the complexity and variability of its climate and frequent subjection to the impacts of convergence of cold and warm fronts from the north and south, precipitation varies frequently and sharply, thus often leading to occurrence of droughts or flooding in this region. In the context of global warming, whether the climate in this region will change as affected by the factors mentioned above, how it will change, and what the development trend will be, are problems that call for systematic research. So analysis of changes in surface soil moisture content of the region will be of some practical significance. The precipitation data of the region monitored day by day were calculated and analyzed, and potential evapotranspiration and relative humidity at each station during that period of time were worked out using the Penman-Monteith formula. The interannual and decadal variation trends of precipitation, relative humidity index and potential evapotranspiration were analyzed through statistics. The analysis mainly used wavelet function of the Matlab software for cycle analysis and the Mann-Kendall test to analyze saltation of the variation trends. In which UF stands for clockwise standard normal distribution curve, while UB for counter-clockwise standard normal distribution curve. ArcGIS 10.1 was used to analyze spatial distributions of precipitation, potential evapotranspiration and relative humidity index. The interpolation method used the inverse distance weighting (IDW) method, which set the distance between the interpolation point and the sample point as weight for calculate of weighted mean. The advantage of this method lies in being relatively intuitive and rapid in operation and applicable to dataset with sample points evenly and densely distributed. On such a basis, further study was done on characteristics of the spatio-temporal distribution and variation trend of soil moisture regime in the region, so as to provide some reference or basis for precautions to prevent flood, drought and other disasters in the Huaihe River Basin. Results show that: (1) in temporal distribution, the precipitation displayed an almost invisible slowly rising trend, and within the past 53 years, it showed 6-year primary cycles and 14-year secondary cycles, while in spatial distribution, the precipitation showed standard

latitudinal difference, being relatively high in the south and low in the north; (2) the potential evaporation was on a downward trend in temporal distribution and in the past 53 years, it showed 11-year primary cycles and 4-year secondary cycles, while in spatial distribution, it displayed a trend mostly reverse to that of the precipitation; (3) in temporal distribution the relative humidity index was also on a slowly rising trend, with steady fluctuation range and frequency, while in spatial distribution. the relative humidity index in most of the region followed the same trend as the precipitation showed; and (4) the variation of the surface soil moisture regime of the region was the result of the combined effect of various meteorological factors. It is not difficult to draw the conclusion that precipitation is a positive factor and potential evapotranspiration a negative one affecting soil moistureregime.

Key words Huaihe River Basin; Potential evapotranspiration; Precipitation; Relative humidity index; Spatio-temporal distribution

(责任编辑: 檀满枝)

CONTENTS

Reviews and Comments

- The historical venation of soil science in the past 30 years—Based on the bibliometric analysis Song Changqing, Tan Wenfeng (968)
 Soil ecosystem services: Concept, quantification and response to urbanization Wu Shaohua, Yu Yanna, Zhu Jiang, et al. (977)

Research Articles

- Analysis on spatial-temporal variability of soil organic matter in Henan Province based on Soil Taxonomy ... Li Ling, Zhang Shaokai, Wu Kening, et al. (989)
 Relationship between illite crystallinity (IC) value and weathering degree of Quaternary Red Clay in southern Anhui Province, Southeast China Liu Lihong, Hu Xuefeng, Ye Wei, et al. (1000)
 Micromorphology of ancient plow layer of paleosol in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province Zhang Yuzhu, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. (1013)
 Prediction of vertical distribution of soil nitrogen content in soil profile using spectral imaging technique ... Li Shuo, Wang Shanqin, Shi Zhou (1022)
 Estimation of thickness of soil layer on typical karst hillslopes using a ground penetrating radar Wang Sheng, Chen Hongsong, Fu Zhiyong, et al. (1030)
 Spatio-temporal distribution of dry-wet alteration in surface soil layer of the Huaihe River Basin Cao Yongqiang, Xu Dan, Cao Yang (1042)
 Erosion on dunes of overburden and waste slag in Shenfu coalfield and prediction Guo Mingming, Wang Wenlong, Li Jianming, et al. (1056)
 Dynamics of soil water evaporation from soil mulched with sand-gravels in stripe Zhao Dan, Li Yi, Feng Hao (1067)
 Effect of pH and three kinds of anions on selenium absorption and desorption in purple soil Zhou Xinbin, Yu Shuhui, Xie Deti (1076)
 Release kinetics and bioavailability of nonexchangeable potassium in soil Li Ting, Wang Huoyan, Chen Xiaoqin, et al. (1086)
 Effects of bio-ash ameliorating red soil in acidity Shi Renyong, Li Jiuyu, Xu Renkou, et al. (1095)
 Effect of wheat straw biochar on high chlorinated benzene sorption process and mechanism Li Yang, Song Yang, Wang Fang, et al. (1104)
 Sorption kinetics and mechanism of naphthalene on corn-stalk-derived biochar with different pyrolysis temperature Zhang Mo, Jia Mingyun, Bian Yongrong, et al. (1114)
 Toxicity of deca-brominated diphenyl ether to *Caenorhabditis elegans* Wang Yingli, Chen Jiansong, Yang Yuxiang, et al. (1122)
 Effects of clover and straw decomposition on soil microfaunal community Wang Hui, Gui Juan, Liu Manqiang, et al. (1133)
 Response of soil nematodes to soil salinization induced by seawater intrusion in coastal areas Wang Chengnan, Zhang Weidong, Wang Xuefeng, et al. (1142)
 Relationships of N₂O emission with abundance and composition of denitrifying microorganisms in soil aggregates Zhou Hanchang, Zhang Wenzhao, Liu Yi, et al. (1151)
 Optimizing blending ratio of controlled release N fertilizer for spring maize based on grain yield, N efficiency, and economic benefit Wang Yin, Feng Guozhong, Zhang Tianshan, et al. (1164)

Communications and Comments

- Status quo and problems in setting-up and naming of basic taxon—Soil family in Chinese Soil Taxonomy Yi Chen, Ma Yuxin, Yang Jinling, et al. (1172)

Research Notes

- Effects of drought and rehydration on photosynthetic characteristics of artificial algal crusts Wu Li, Yang Hong, Lan Shubin, et al. (1179)
 Effect of irrigation with saline water on plant root distribution and evolution of aeolian sandy soil in shelterbelts along desert highways Li Congjuan, Tang Junyan, Gao Pei, et al. (1186)
 Distribution of Cu (II) desorption rate in variable charge soils relative to concentrations of NaNO₃ and its affecting factors Zhang Zhengqin, Luo Wenjian, Chen Yong, et al. (1194)

Cover Picture: Toxicity of deca-brominated diphenyl ether (BDE-209) to *Caenorhabditis elegans*
 (by Wang Yingli)

《土壤学报》编辑委员会

主 编：史学正

执行编委：(按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任：陈德明

责任编辑：汪枞生 卢 萍 檀满枝

土壤学报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 5 期 2015 年 9 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 5 Sep., 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会

地址：南京市北京东路 71 号 邮政编码：210008

电话：025-86881237

E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica

Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China

Tel: 025-86881237

E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正

Editor-in-Chief Shi Xuezheng

主 管 中国科学院

Superintended by Chinese Academy of Sciences

主 办 中国土壤学会

Sponsored by Soil Science Society of China

承 办 中国科学院南京土壤研究所

Undertaken by Institute of Soil Science,

Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社

Published by Science Press

地址：北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717

Add: 16 Donghuangchenggen North Street,

Beijing 100717, China

印 刷 装 订 北京中科印刷有限公司

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company

总 发 行 科 学 出 版 社

Distributed by Science Press

地址：北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717

Add: 16 Donghuangchenggen North Street,

Beijing 100717, China

电 话：010-64017032

Tel: 010-64017032

E-mail: journal@mail.sciencep.com

E-mail: journal@mail.sciencep.com

国 外 发 行 中国 国际图书贸易总公司

Foreign

China International Book Trading Corporation

地 址：北京 399 信箱 邮政编码：100044

Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号:CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行

ISSN 0564-3929



0 9 >

9 770564 392156