

气候变化对秦岭南北植被净初级生产力的影响(I) ——近 52 年秦岭南北气候时空变化特征分析

蒋冲¹, 王飞^{1,2†}, 穆兴民^{1,2}, 李锐^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 712100 陕西杨凌;
2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 712100 陕西杨凌)

摘要 根据秦岭南北 54 个气象站 1960—2011 年逐日数据, 利用 FAO Penman-Monteith 公式计算各站的潜在蒸散量和湿润指数; 采用样条曲线插值法(Spline)、气候倾向率、相关分析等方法对该区气温、降水、潜在蒸散和湿润指数的时空变化特征以及影响其变化的气象要素进行分析。结果表明: 1) 秦岭南北多年平均气温由北向南逐步上升, 1993 年是气温变化的转折点, 1993 年以前秦岭以南地区降温更明显, 1994 年起绝大部分站点气温显著($P < 0.01$) 上升, 秦岭南北无明显差异; 2) 多年平均降水量由南向北递减, 1995 年以前各区降水量均表现出下降趋势, 秦岭以北地区降水量下降更明显, 1995 年以后 70% 以上站点降水量增多, 秦岭以北地区有变干趋势, 秦岭南坡微弱变湿, 其余地区整体升降趋势不明显; 3) 潜在蒸散量呈东高西低的分布格局, 各子区蒸散量呈现较为一致的下降趋势($P < 0.05$) , 但无明显转折点, 秦岭以南的广大地区相对于秦岭以北蒸散量下降更明显; 4) 湿润指数由南向北递减, 秦岭以北地区以暖干化为主, 而秦岭以南以暖湿化为主, 季节尺度上 4 个子区表现出的变化规律较为一致, 春季和秋季绝大部分站点的湿润指数呈下降趋势, 而夏季和冬季则以上升趋势为主; 5) 湿润指数与日照时数、最高气温、平均气温和蒸散量呈显著水平($P < 0.01$) 的负相关关系, 与最低气温和风速相关关系不显著, 降水量和空气湿度的增加会对湿润状况的改善起到正向作用。

关键词 气温; 降水; 潜在蒸散量; 湿润指数; 秦岭南北

Effects of climate change on net primary productivity of vegetation in the northern and southern regions of the Qinling Mountains(I) : Temporal and spatial characteristics of climate change in recent 52 a

Jiang Chong¹, Wang Fei^{1,2}, Mu Xingmin^{1,2}, Li Rui^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, 712100, Yangling, Shaanxi;
2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, 712100, Yangling, Shaanxi: China)

Abstract Based on the daily data from 54 meteorological stations in Northern and Southern Regions of the Qinling Mountains between 1960 and 2011, with the help of FAO Penman-Monteith formula, the potential evapotranspiration and humid index were calculated. By using the Spline interpolation method, climate trend rate, correlation analysis and other methods, we analyzed the distribution of temporal and spatial variation characteristics of temperature, precipitation, potential evapotranspiration and humid index as well as the meteorological elements which influenced evapotranspiration and humid index. The

收稿日期: 2012-05-01 修回日期: 2012-07-10

项目名称: 国家自然科学基金资助项目“基于相同气候条件的人类活动对河流水沙影响定量评价——以黄土高原延河流域为例”(41171420); 中国科学院水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目“北方旱区表层土壤水分遥感监测试验研究”(10502-Z12-9); 中荷联合主题研究项目“渭河流域水环境问题综合治理对策研究”(CJHZ1018)

第一作者简介: 蒋冲(1987—), 男, 硕士研究生。主要研究方向: 黄土高原气候变化与生态水文。E-mail: cba8702@126.com

† 责任作者简介: 王飞(1971—), 男, 博士, 副研究员。主要研究方向: 水土保持环境效应评价。E-mail: wafe@ms.iswc.ac.cn

results are given as follows: 1) The average annual temperature of the northern and southern regions increased gradually from north to south, 1993 was the turning point of temperature, and cooling trend in southern area before 1993 was more obvious. Since 1994, the temperature of most stations increased significantly ($P < 0.01$), and there was no significant difference among four regions. 2) The annual precipitation decreased from south to north. Precipitation showed a downward trend before 1995, and the northern region was more obvious. While precipitation increased since 1995, including more than 70% stations. The northern part was becoming dry while the southern slope was becoming wet, and there was no significant change in other parts. 3) The potential evapotranspiration decreased from eastern part to western part. All the sub regions showed consistent downward trend ($P < 0.05$). Southern slope was more obvious than northern slope, but there was no significant turning point. 4) The humid index decreased from south to north. The northern region was becoming warmer and drier, while southern region was becoming cooler and wetter. At the seasonal scale, four sub regions showed the same tendency, that humid index of most stations in spring and autumn showed a decreasing trend while in summer and winter showed an increasing trend. 5) Sunshine hours, average temperature, maximum temperature and evapotranspiration correlated negatively with humid index significantly ($P < 0.01$). But minimum temperature and wind speed had no significant relationship with humid index. The increase of precipitation and relative humid can improve humid index.

Key words temperature; precipitation; potential evapotranspiration; humid index; the northern and southern regions of the Qinling Mountains

全球气候变暖已成为不争的事实, IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)评估报告^[1-2]指出, 全球气温在过去的100年间增加了 $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。近50年更是以每10年 $0.10\sim 0.16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的速率增加, 我国气温增幅达 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (每10年 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}$)^[3]。在气温升高的背景下, 干旱化作为全球变化的一个重要方面引起了众多学者的关注。干旱作为我国主要自然灾害之一具有发生频率高、持续时间长、波及范围广的特点, 也一直是困扰农业生产的一大难题。干旱不仅造成水资源短缺, 还会对敏感地区的生态安全造成严重威胁。近年来, 众多学者基于降水资料 and 不同干旱指数揭示了区域尺度^[4-9]或全国尺度^[10-11]的干湿变化, 取得了很多有意义的结论; 但这些方法仅仅是根据降水资料而并没有考虑到地表蒸发对干旱事件造成的影响。马柱国等^[12]在综合考虑降水(水分来源)和蒸发(水分支出)的基础上建立了地表湿润指数, 并利用该方法研究了北方地区干旱化的时空演变特征; 但上述研究大多存在研究区域过大、侧重于干湿状况的宏观分布特征和演变趋势分析、对生态环境脆弱地区关注度不足的缺陷, 对于地方政府开展水资源规划管理和生态环境建设以及相关政策制订意义有限。秦巴山地及其内部的落叶与常绿阔叶林生态区^[13](以下简称生态区)地处温带与亚热带之间的过渡地带, 不仅是南北东西交汇的所在

地, 而且也具有许多特有成分, 是我国冰河时期植物的“避难所”。以往对于该区域的研究多集中于植被覆盖变化、动(植)物物种多样性、水土保持等方面^[14-15], 已经开展的有关这一地区的气候变化和干湿状况演变的研究^[16-18]也存在着研究区域过小(太白山、关中、陕南地区)、代表性不足和覆盖面有限的问题。鉴于此, 笔者在前人工作的基础上, 利用1960—2011年秦岭南北54个气象站的观测资料对这一地区的气温、降水、蒸发和干湿状况的演变进行深入细致的分析, 以期为该区生态环境建设、水资源综合管理等工作提供一定的理论支持和科学依据。

1 研究区概况

秦岭南北及其内部的落叶与常绿阔叶林生态区主要包括秦岭北坡及其以北的暖温带, 秦岭南坡及其以南的北亚热带, 秦岭以南的巴山、巫山谷地及江汉平原西北部(图1)。该区地处暖温带与北亚热带过渡区, 是中国气候上的南北分界线, 习惯上以秦岭北坡和淮河一线划分, 以北属暖温带湿润、半湿润气候, 以南属北亚热带湿润气候。年均气温 $12\sim 17\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的年积温 $3\ 700\sim 4\ 900\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年均降水量 $600\sim 1\ 200\text{ mm}$, 降水变率大, 季节分配不均匀, 汛期6—9月的降雨量占全年降雨量的60%左右, 无霜期 $200\sim 250\text{ d}$ 。

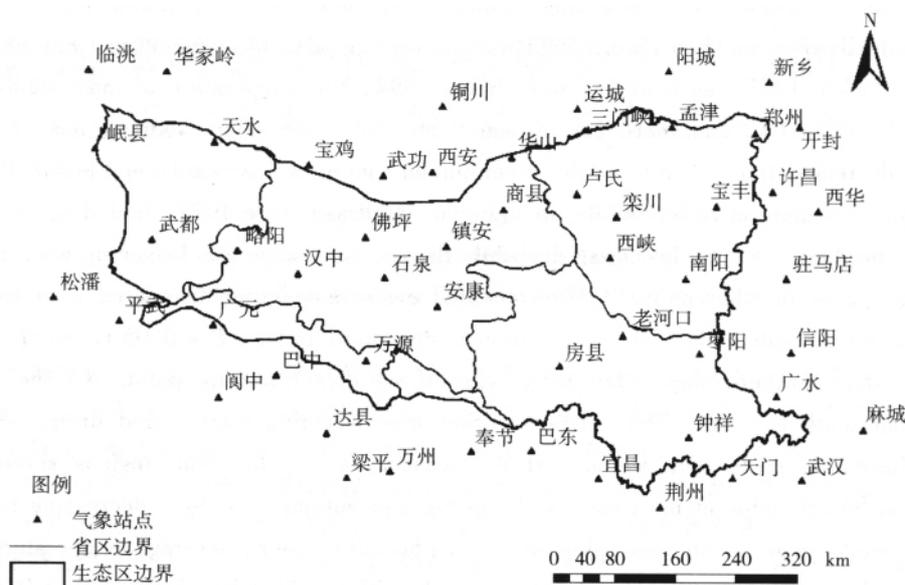


图1 研究区范围及气象观测站点分布

Fig. 1 Location of the study area and distribution of meteorological stations

2 数据与方法

2.1 数据来源

采用的气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/>), 选用秦岭南北要素较为完备的 54 个国家气象观测基准站 1960—2011 年逐日数据, 主要包括逐日最高气温、最低气温、降水量、平均风速、平均气压、相对湿度和日照时间等。极少数站点的观测有中断, 运用线性回归法插补了缺测的部分数据。按照 12 月至翌年 2 月为冬季, 3—5 月为春季, 6—8 月为夏季和 9—11 月为秋季的标准, 通过算术平均法建立了年、季节降水量、气温、潜在蒸散量和湿润指数的变化序列。

2.2 研究方法

采用湿润指数作为气候干湿状况的评价指标。湿润指数的计算方法为降水量与潜在蒸散量之比

$$H = R/E_0$$

式中: H 为月湿润指数; R 为月降水量, mm; E_0 为月潜在蒸散量, mm。潜在蒸散量的计算采用世界粮农组织(FAO) 1998 年修正的 Penman-Monteith 模型计算。众多研究表明, Penman-Monteith 公式计算的参考作物蒸散量在不同的气候条件下都与实测值非常接近^[19-20], 具体算法见文献[19-20]。

气象要素的气候倾向率用下式进行估计:

$$Y_i = a_0 + a_1 t_i$$

式中: Y_i 为第 i 年的气象要素(降水和潜在蒸散量), mm; t_i 为第 i 年的时间, a_i 为 1960—2011 年; a_1 为

线性趋势项, 即每年的气候倾向率, mm/a; a_0 为常数, mm。

在 ArcGIS 软件中通过样条曲线插值法(Spline)绘制该地区各要素变化的空间分布图, 对其空间差异进行分析, 并采用 Pearson 相关分析法对生态区内所有站点的湿润指数和各气象要素进行相关分析。Pearson 相关分析法为常用统计分析方法, 具体原理见文献[21]。为了比对不同纬度和地域单元气温、降水, 自北向南将研究区分为 4 个子区域: 秦岭北坡及其以北的暖温带地区(简称“秦岭以北”); 秦岭南坡, 包括伏牛山及其以东平原(因大部分区域属秦岭南坡山地, 简称“秦岭南坡”); 秦岭以南的汉水谷地、巴山、涇水谷地及淮河上游北亚热带地区(因大部分区域属汉水流域, 简称“汉水流域”); 巴山南麓、巫山谷地及江汉平原西北部(简称“巴巫谷地”)。

3 结果与分析

3.1 气温、降水空间分布及时空变化特征

从图 2 可以看出: 秦岭南北多年平均气温呈现明显的南北分异状况, 由北向南逐步过渡上升。按气温分布排序为巴巫谷地(15.93 °C) > 汉水流域(15.31 °C) > 秦岭南坡(13.33 °C) > 秦岭以北(11.39 °C), 秦岭以北介于 3.72 °C(华家岭)和 14.53 °C(郑州)之间, 秦岭南坡介于 11.84 °C(佛坪)和 14.60 °C(宝丰)之间, 汉水流域介于 14.36 °C(房县)和 17.37 °C(巴东)之间, 巴巫谷地介于 6.0

℃(松潘)和18.16℃(万州)之间。时间变化上,多数站点自1960年以来的气温是同步变化的。从各区年均气温的累积距平曲线(图略)看,1993年是气温变化的转折点,1993年以前以震荡下降为主,而自1994年起气温快速上升。其中1960—1993年4个子区域中有41个站的气温呈下降趋势,各区气温下降的站点占本区站点总数的比例分别为秦岭以北56%、秦岭南坡89%、汉水流域86%、巴巫谷地80%。各区降温速率较大的站点分别为三门峡(每10年-0.13℃)、许昌(每10年-0.31℃)、石泉(每10年-0.18℃)和阆中(每10年-0.26℃)。1994—2011年绝大部分站点气温显著上升,占站点总数的81%以上,各区气温上升的站点所占比例分别为秦岭以北81%、秦岭南坡67%、汉水流域86%、巴巫谷地93%。各区升温较快的站点依次为西安(每10年0.64℃)、许昌(每10年0.33℃)、汉中(每10年0.39℃)和奉节(每10年1.81℃)。近52年该区98%的站点气温表现出上升趋势,且绝大部分达到显著水平($P < 0.01$),只有巴中站微弱下降,升温幅度较大的站点依次为镇安、西安和武汉。

从图3可以看出:降水方面,秦岭南北多年平均降水量由南向北递减,按大小排序为巴巫谷地(1080.24 mm) > 汉水流域(897.41 mm) > 秦岭南坡(764.94 mm) > 秦岭以北(590.43 mm);时间变化上,1995年以前各区降水均表现出下降趋势,降水下降的站点占本区站点总数的比例分别为秦岭以北88%(14个站)、秦岭南坡89%(8个站)、汉水流域71%(14个站)、巴巫谷地40%(6个站)。1994—2011年大部分站点的降水增多,占站点总数的70%以上,各区增幅较大的站点依次为天水(每10年165.02 mm)、略阳(每10年129.69 mm)、万源(每10年218.43 mm)和达县(每10年244.07 mm)。近52年部分地区降水表现出不显著的下降趋势,且区域特征明显,各区降水下降的站点所占比例分别为秦岭以北88%(14个站)、秦岭南坡44%(4个站)、汉水流域57%(8个站)、巴巫谷地53%(8个站),各区递减速率较大的站点依次为华山(-41.59 mm)、略阳(-30.75 mm)、汉中(-25.34 mm)和平武(-42.10 mm)。

3.2 潜在蒸散量和湿润指数空间分布及时空变化特征

从图4可以看出,秦岭南北潜在蒸散量呈东高西低的分布格局,东部郑州(1111.52 mm)、孟津(1110.37 mm)、三门峡(1099.71 mm)等地较高,西

部天水(868.58 mm)、汉中(858.28 mm)、岷县(804.71 mm)等地相对较低,中部卢氏、栾川和房县等地也相对较低。从各分区来看,大小排序为秦岭以北(982.95 mm) > 秦岭南坡(968.12 mm) > 汉水流域(973.27 mm) > 巴巫谷地(933.45 mm)。时间变化上,各个子区蒸散量变化趋势较为一致,但并没有发现类似于降水和气温的较为一致的转折点。近52年来,76%的站点蒸散量呈下降趋势,且绝大部分达到0.05以上的显著水平,下降的站点占本区站点总数的比例分别为秦岭以北56%(9个站)、秦岭南坡89%(8个站)、汉水流域93%(13个站)、巴巫谷地73%(11个站)。

从图5可以看出,秦岭南北湿润指数空间分布格局与降水较为一致,都是由南向北递减,大小排序为巴巫谷地(1.16) > 汉水流域(0.94) > 秦岭南坡(0.80) > 秦岭以北(0.61)。各区湿润指数减小的站点所占比例分别为秦岭以北70%(11个站)、秦岭南坡22%(2个站)、汉水流域21%(3个站)和巴巫谷地40%(6个站)。秦岭以北湿润指数下降的站点所占比例明显高于秦岭以南,说明在此期间秦岭以北地区以暖干化趋势为主,而秦岭以南地区以暖湿化趋势为主。季节尺度上,4个子区表现出的变化规律较为一致(图6),春季和秋季绝大部分站点的湿润指数呈下降趋势,而夏季和冬季则以上升为主。

秦岭南北年尺度和季节尺度湿润指数距平见表1。可以看出:春季湿润指数在1960—1990年均均为正距平,进入2000年后变为负距平,表明前40年该区春季气候相对湿润,特别是60年代是50年来最湿润的10年。2000年来的12年为负值,而且其绝对值较大,表明:近12年来春季气候异常干旱,夏季气候在60和70年代较为干旱,进入80年代后转为湿润状况,随后又变干,但其绝对值较小,相对于60和70年代干旱现象并不严重;秋季的干湿状况经历了“湿—干—湿—干—湿”交替变化的过程,其中以60年代最为湿润,90年代最为干旱;冬季的干湿变化规律与夏季一致,也经历了“干—干—湿—干—湿”的变化过程,但变化幅度远不如夏季剧烈。全年尺度上变化规律与秋季一致,但变化幅度不如秋季剧烈。

3.3 湿润指数影响因素分析

湿润指数是指降水与潜在蒸散的比值,而潜在蒸散又同时受到气温、风速、相对湿度等诸多气象要素的共同影响。从以上分析发现:秦岭南北降水量

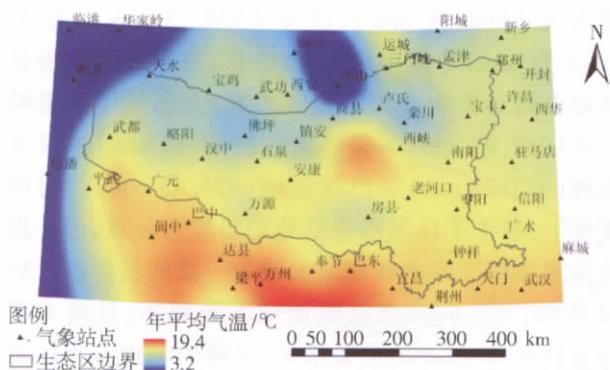


图 2 多年平均气温空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of average annual temperature

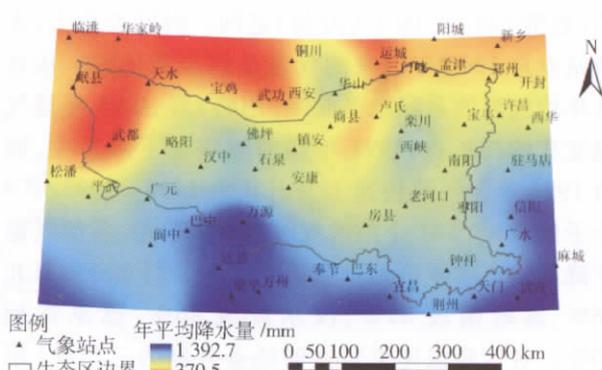


图 3 多年平均降水量空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of average annual precipitation

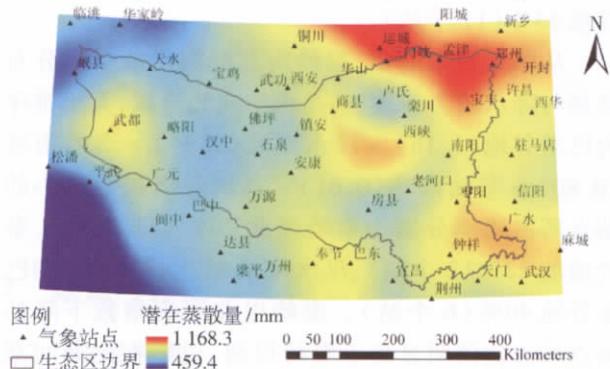


图 4 多年平均年潜在蒸散量空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of average annual potential evapotranspiration

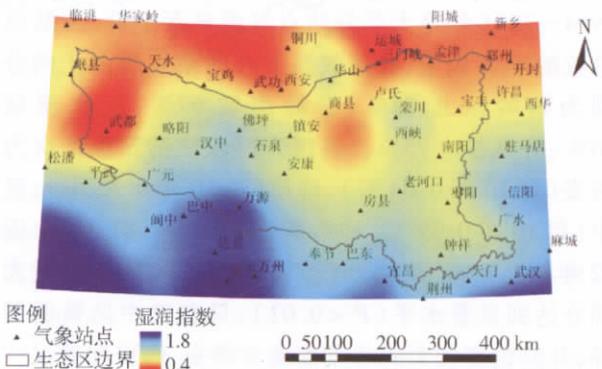
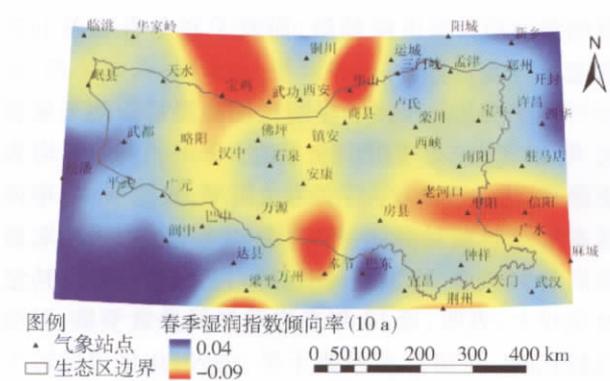
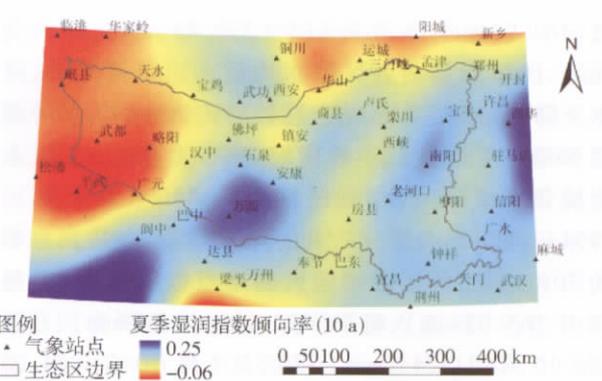


图 5 多年平均地表湿润指数空间分布

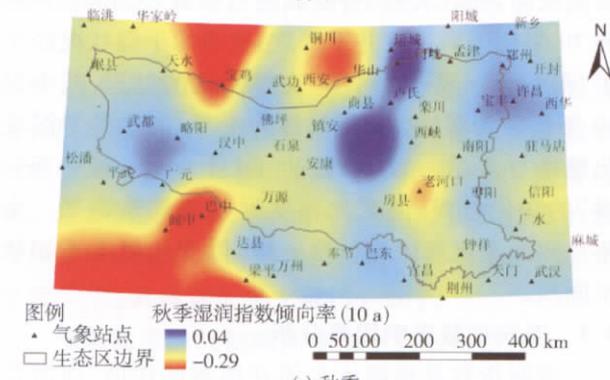
Fig. 5 Spatial distribution of the average humid index



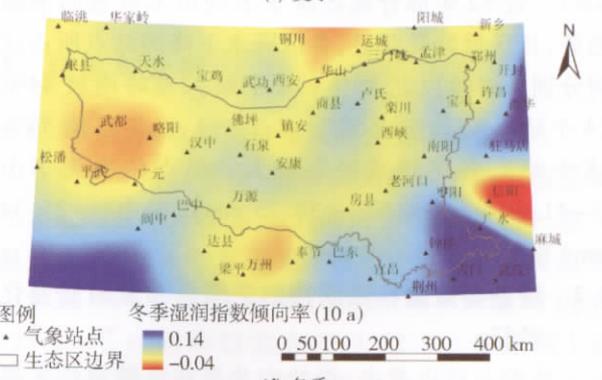
(a) 春季



(b) 夏季



(c) 秋季



(d) 冬季

图 6 湿润指数季节变化趋势空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of seasonal change trends of humid index

与湿润指数以及温度与潜在蒸散量之间存在明显的一致性的变化趋势;但几者之间的具体制约关系、不同气象因子所起到的作用以及影响湿润指数变化的主导因素是什么尚不清楚,因此,采用相关分析法对位于秦巴山地落叶与常绿阔叶林生态区内的 23 个站点可能影响湿润指数变化的诸多气象要素(日照时间、平均气温、最高气温和最低气温代表热力学因素,风速代表动力学因素,相对湿度和降水量代表水分条件)进行分析,结果见表 2。可知,23 个站点呈现出的结果较为一致,绝大多数站点的湿润指数与日照时间、最高气温、平均气温和蒸散量呈 0.01 显著水平的负相关关系,相关系数排序为蒸散量 > 最高气温 > 日照时间 > 平均气温 > 最低气温。日照是热量的来源,其与温度有较好的一致性的变化趋势,日照时间的延长、温度的升高及其导致的潜在蒸散量的变大会直接或间接促使湿润指数下降。湿润指数与最低气温相关系数较小且大部分未达到显著水

平,说明最低气温对湿润状况影响甚小。另一方面,湿润指数与风速呈不显著的负相关关系,风速的增加会加快空气中水汽分子的运动从而加速蒸发,进而导致湿润指数的降低,但其较小的相关系数又表明其并非主要影响因素。降水及其派生的空气湿度与湿润指数呈 0.01 水平的正相关关系,二者的增加会对湿润状况的改善起到正向作用。

表 1 年尺度和季节尺度湿润指数距平
Tab. 1 Inter-decadal departure of the seasonal and annual humid index

年份	春季	夏季	秋季	冬季	全年
1961—1970	0.09	-0.14	0.18	-0.05	0.01
1971—1980	0.01	-0.13	-0.03	-0.01	-0.05
1981—1990	0.01	0.17	0.11	0.06	0.09
1991—2000	0.02	-0.06	-0.29	-0.05	-0.07
2001—2010	-0.11	0.13	0.04	0.03	0.01

表 2 湿润指数与各气象因子的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients between humid index and meteorological elements

站点	蒸散量	日照时间	平均气温	最高气温	最低气温	相对湿度	降水量	平均风速
安康	-0.468**	-0.363**	-0.413**	-0.408**	-0.152	0.342*	1.000**	-0.253
宝丰	-0.659**	-0.458**	-0.279*	-0.500**	0.219	0.710**	0.962**	-0.363**
房县	-0.645**	-0.488**	-0.494**	-0.586**	-0.114	0.635**	0.969**	-0.153
佛坪	-0.708**	-0.559**	-0.167	-0.445**	0.043	0.579**	0.969**	-0.197
汉中	-0.631**	-0.260	-0.398**	-0.564**	-0.020	0.503**	0.970**	-0.277
华山	-0.816**	-0.618**	-0.555**	-0.541**	-0.483**	0.701**	0.982**	-0.303*
老河口	-0.656**	-0.358**	-0.324*	-0.547**	-0.020	0.545**	0.978**	-0.215
栾川	-0.477**	-0.411**	-0.358**	-0.529**	0.077	0.500**	0.967**	-0.122
略阳	-0.646**	-0.533**	-0.424**	-0.571**	-0.158	0.494**	0.973**	-0.381**
卢氏	-0.700**	-0.549**	-0.444**	-0.548**	0.082	0.548**	0.973**	-0.205
孟津	-0.724**	-0.162	-0.426**	-0.601**	-0.088	0.673**	0.930**	0.014
南阳	-0.584**	-0.407**	-0.273	-0.523**	0.053	0.435**	0.971**	-0.169
三门峡	-0.630**	-0.558**	-0.521**	-0.623**	-0.170	0.690**	0.964**	-0.095
商县	-0.820**	-0.549**	-0.584**	-0.655**	-0.090	0.781**	0.981**	-0.535**
石泉	-0.755**	-0.687**	-0.549**	-0.637**	-0.060	0.544**	0.972**	-0.289*
天水	-0.672**	-0.520**	-0.433**	-0.619**	-0.117	0.742**	0.982**	-0.147
万源	-0.612**	-0.488**	-0.460**	-0.467**	-0.187	0.537**	0.984**	-0.187
武都	-0.749**	-0.682**	-0.577**	-0.610**	-0.431**	0.568**	0.971**	-0.501**
西峡	-0.581**	-0.427**	-0.382**	-0.506**	-0.050	0.455**	0.971**	-0.242
枣阳	-0.520**	-0.378**	-0.183	-0.373**	0.064	0.472**	0.965**	-0.139
镇安	-0.739**	-0.589**	-0.325*	-0.397**	-0.068	0.521**	0.976**	-0.255
郑州	-0.620**	-0.454**	-0.114	-0.447**	0.211	0.424**	0.963**	-0.173
钟祥	-0.646**	-0.347*	-0.113	-0.300*	0.064	0.411**	0.973**	-0.251

注: **表示相关关系达到 0.01 显著水平, * 表示相关关系达到 0.05 显著水平。

4 结论与讨论

1) 秦岭南北多年平均气温由北向南逐步过渡上升,按气温高低排序为巴巫谷地>汉水流域>秦岭南坡>秦岭以北。时间变化上,1993年是气温变化的转折点,1993年以前以震荡下降为主,而自1994年起气温快速上升。1960—1993年秦岭以南降温站点所占比例相对较高,说明在此期间秦岭以南相对于秦岭以北而言降温更明显。1994—2011年绝大部分地区气温显著上升,秦岭南北无明显差异。1960—2011年,该区98%的站点气温表现出上升趋势,且绝大部分达到显著水平,可见近52年该区升温趋势明显。

2) 秦岭南北多年平均降水量由南向北递减,排序为巴巫谷地>汉水流域>秦岭南坡>秦岭以北。时间变化上,1995年以前各区降水均表现出下降趋势,降水下降的站点所占比例排序为秦岭以北>秦岭南坡>汉水流域>巴巫谷地,说明秦岭以北地区降水下降更明显。1994—2011年大部分站点的降水增多,占站点总数的70%以上。秦岭以北降水下降站点所占比例相对较高,说明在此期间秦岭以北地区有变干趋势,而秦岭南坡仅有44%站点下降,降水小幅上升,说明在此期间该区以微弱变湿趋势为主,汉水流域和巴巫谷地整体升降趋势不明显。

3) 秦岭南北潜在蒸散量呈东高西低的分布格局,排序为秦岭以北>秦岭南坡>汉水流域>巴巫谷地。时间变化上,各子区蒸散量变化表现出较为一致的下降趋势,且绝大部分达到0.05以上的显著水平,但并没有发现类似于降水和气温的较为一致的转折点。近52年间蒸散量下降的站点所占比例排序为汉水流域>秦岭南坡>巴巫谷地>秦岭以北,秦岭以南蒸散下降的站点所占比例较高,说明在此期间秦岭以南的广大地区相对于秦岭以北蒸散下降更明显。

4) 秦岭南北湿润指数空间分布格局与降水较为一致,都是由南向北递减,排序为巴巫谷地>汉水流域>秦岭南坡>秦岭以北。各区湿润指数减小的站点所占比例排序为秦岭以北>巴巫谷地>秦岭南坡>汉水流域,秦岭以北湿润指数下降的站点所占比例明显高于秦岭以南,说明在此期间秦岭以北地区以暖干化趋势为主,而秦岭以南地区以暖湿化趋势为主。季节尺度上,春季和秋季绝大部分站点的湿润指数呈下降趋势,而夏季和冬季则以上升为主。

5) 秦岭南北绝大多数站点的湿润指数与日照

时间、最高气温、平均气温和蒸散量呈0.01显著水平的负相关关系,相关系数排序为蒸散量>最高气温>日照时间>平均气温>最低气温。湿润指数与最低气温和风速呈不显著的负相关关系,降水及空气湿度与湿润指数呈0.01水平的正相关关系,二者的增加会对湿润状况的改善起到正向作用。

关于秦岭南北近52年气温、降水的空间分布特征和时空变化趋势的描述与高翔等^[16]、张善红等^[17]和白晶^[18]在相近区域的研究结论基本一致,整体趋势与诗雅风等^[22-23]关于西北大区的研究结论也非常接近;但由于文献[16-18]的研究区域都为秦巴山地的局部(太白山境内)或者陕南—关中境内的秦巴山地,加之研究所选用的站点密度和数据时间跨度不尽相同,造成结论之间有细微差异,但这一差异并不影响整体结论的正确性。本文潜在蒸散量和湿润指数方面的结论与秦岭南北局部地区^[16-18,24-25]和全国尺度^[26-28]近些年的相关研究结论趋势上基本一致,但由于针对秦岭南北潜在蒸散和干湿状况变化的研究相对较少,想做到完全对等地去比较还有困难。另外,由于研究所用数据均为国家气候基准站数据,站点分布还不尽合理,密度也明显不足,对于精确刻画和揭示该区域气候变化特征还有诸多缺欠。秦岭南北地形起伏较大,不同的插值方法以及插值精度也会对研究结果造成影响,这些问题都有必要进一步深入研究。

5 参考文献

- [1] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2001: the Science of Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 12
- [2] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2007: the Science of Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 15
- [3] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近50年来中国地面气候变化的基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942-956
- [4] 赵燕宁, 时兴和, 王式功, 等. 青海河湟谷地气候及干旱变化研究[J]. 中国沙漠, 2006, 26(1): 54-59
- [5] 李茜, 李栋梁. 河套及邻近地区50年旱涝基本气候特征与演变[J]. 高原气象, 2006, 26(4): 716-723
- [6] 李栋梁, 魏丽, 蔡英, 等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 135-142
- [7] 王劲松, 黄玉霞, 冯建英, 等. 径流量Z指数与Palmer指数对河西干旱的监测[J]. 应用气象学报, 2009, 20(4): 471-477
- [8] 王志伟, 翟盘茂, 武永利. 近55年来中国10大水文区域干旱化分析[J]. 高原气象, 2007, 26(4): 874-880

- [9] 周俊菊,石培基,师玮. 1960—2009年石羊河流域气候变化及极端干湿事件演变特征[J]. 自然资源学报, 2012, 27(1): 143-152
- [10] 马柱国,符淙斌. 中国干旱和半干旱带的10年际演变特征[J]. 地球物理学报, 2005, 48(3): 519-525
- [11] 袁云,李栋梁,安迪,等. 基于标准化降水指数的中国冬季干旱分区及气候特征[J]. 中国沙漠, 2010, 30(4): 917-925
- [12] 马柱国,黄刚,甘文强,等. 近代中国北方干湿变化趋势的多时段特征[J]. 大气科学, 2005, 29(5): 671-681
- [13] 傅伯杰,刘国华,陈利顶,等. 中国生态区划方案[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 1-6
- [14] 任志远,李晶. 秦巴山区植被固定CO₂释放O₂生态价值测评[J]. 地理研究, 2004, 23(6): 769-775
- [15] 李晶,孙根年,任志远. 陕西秦巴山区植被第一性生产物质量与价值量测评研究[J]. 生态学报, 2002, 12(12): 2254-2259
- [16] 高翔,白红英,张善红,等. 1959—2009年秦岭山地气候变化趋势研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 207-211
- [17] 张善红,白红英,高翔,等. 太白山植被指数时空变化及其对区域温度的响应[J]. 自然资源学报, 2011, 26(8): 1377-1386
- [18] 白晶. 秦岭南北气候变化特征及人为驱动力差异分析[D]. 陕西师范大学, 2011
- [19] 刘敏,沈彦俊,曾燕,等. 近50年中国蒸发皿蒸发量变化趋势及原因[J]. 地理学报, 2009, 64(3): 259-269
- [20] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United, 1998: 35-45
- [21] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 25-26
- [22] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164
- [23] 施雅风. 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 12-20
- [24] 和宛琳,徐宗学. 渭河流域气温与蒸发量时空分布及其变化趋势分析[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2006, 42(1): 102-106
- [25] 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
- [26] 申双和,张方敏,盛琼. 1975—2004年中国湿润指数时空变化特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 11-15
- [27] 马柱国. 华北干旱化趋势及转折性变化与太平洋年代际振荡的关系[J]. 科学通报, 2007, 52(10): 1199-1206
- [28] 赵俊芳,郭建平,徐精文,等. 基于湿润指数的中国干湿状况变化趋势[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 18-24

(责任编辑: 宋如华)