

汉江流域NDVI与水热指数时空变化及相关性分析

李小燕^{1,2}, 任志远¹, 张 翀¹

(1. 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062;

2. 陕西理工学院历史文化与旅游学院, 汉中 723000)

摘要: 文章提出水热指数的概念和计算模型, 运用经验正交函数和奇异值分解法对汉江流域1999-2010年的归一化植被指数及38个气象站点的气温和降水资料进行分析。结果表明: ①汉江流域植被覆盖具有明显的空间差异, 地形和农耕活动是最主要原因。②水热指数的空间分布也具有明显的规律, 气温的纬度差异和雨带季节推移是根本原因; 大地貌单元和季风气候是重要原因。其时间系数具有明显的冬夏差异, 冬半年时间系数的绝对值及变率均较夏半年小, 即水热组合冬半年差异小, 夏半年差异大。③NDVI与水热指数之间呈现出高度正相关, 但人类通过各种方式改变着地表覆盖和水热组合, 使得两者之间的高度正相关在局部地区受到影响。

关键词: 水热指数; 归一化植被指数; 汉江流域

DOI: 10.11821/dljy201309005

1 引言

降水和气温是影响一个地区植被覆盖度的最主要的气候因子, 决定一个区域植被覆盖状况, 同时也是一个区域气候状况的反映。归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)对地表植被覆盖及生长状况非常敏感, 广泛应用于环境、生态和农业研究中。宋冬梅、张茜、任志远、张翀等众多学者利用NDVI对植被覆盖变化及气候变化进行了研究^[1-6]。气温和降水是影响植被覆盖的最根本的因素, 两者之间存在紧密联系。凌红波、徐海量、陈华、潘雅婧等对气温和降水的变化情况及与植被覆盖的相关关系进行了分析研究^[7-14]。但是, 将气温和降水因素相结合, 分析其与植被状况之间的关系的文章还不多见。本研究首先将气温和降水资料有机结合成水热指数, 进而运用经验正交函数和奇异值分解法分析其与植被覆盖之间的相互关系。以期解释陆地生态系统、气候系统和NDVI变化之间的机理, 并对当前的生态修复提供有用的空间信息和理论支撑。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

汉江流域是中国大型调水工程—南水北调中线工程水源地, 近年来成为研究的热点区域。汉江是长江一级支流, 以丹江口水库和钟祥分为上、中、下游, 在武汉汇入长江。汉

收稿日期: 2012-06-18; 修订日期: 2013-01-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371523、41371020); 国家社会科学基金项目(11BJY031); 陕西理工学院项目(SLG-KY13-15); 宝鸡文理学院重点项目(ZK1054)

作者简介: 李小燕(1978-), 女, 陕西渭南人, 博士生, 主要从事国土资源评价与GIS研究。E-mail: lxy1671@126.com

通讯作者: 任志远, 男, 教授, 博士研究生导师。E-mail: renzhy@snnu.edu.cn

江流域地跨陕西、河南、湖北3省以及重庆、四川和甘肃小部分地区，面积约为15.1万km²。汉江流域地形西高东低（图1）。上游地势起伏较大，南北分别为大巴山和秦岭山地，中间为汉水谷地；中游地势相对平坦，河道弯曲，北部为伏牛山，南部有武当山，中间形成南阳盆地；下游地势平坦，形成江汉平原。流域天然植被主要为亚热带常绿阔叶林、常绿针叶林、落叶阔叶林、混交林等，植被覆盖率较高^[15-17]。植被覆盖状况决定着水源地水资源的水质和水量，进而影响到调水工程和受水区人民的生产生活。因此，有必要对汉江流域的植被覆盖状况及其影响因素进行分析，以便为水源地生态环境保护提供些许帮助，进而确保南水北调中线工程的长期效用。

2.2 数据来源与处理

2.2.1 数据来源 研究所需资料主要包括：1999-2010年SPOT VGT-NDVI数据，该数据来自1998年3月由SPOT-4搭载升空的VEGETATION传感器，包含每10天合成的4个波段的光谱反射率及10天最大化NDVI，空间分辨率为1 km，时间分辨率为旬。研究区及周边38个气象站点1999-2010年气温、降水逐旬数据、研究区DEM、行政区划图、土地利用图、植被覆盖图等。使用的数据处理软件有：Matlab、ARCGIS、SPSS等^[14]。使用的数学方法主要有：经验正交函数和奇异值分解法。

2.2.2 数据预处理 一个区域的植被覆盖状况受多种因素的制约，气温、降水、土壤性质、坡度、坡向、灌溉设施、人类活动等，但在诸多因素中，气温和降水无疑是最主要的两个因素。因此，本研究提出水热指数的概念，以期从纷杂的关系中找到植被覆盖与气候之间的最根本联系。

水热指数是水热综合指标，以降水代表水分状况、温度代表热量状况，由于气温和降水所属量级不同，因此先对二者进行无量纲化处理，进而将两者整合成一个综合指标，用

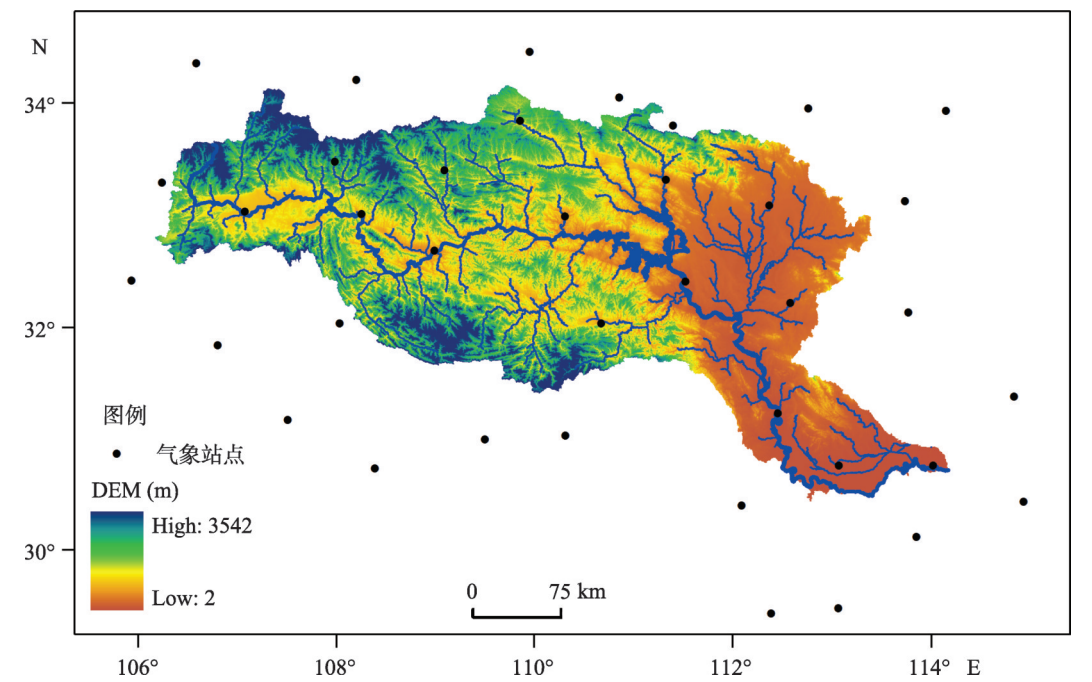


图1 研究区概况

Fig. 1 The study area

以反映影响植被生长状况的气候条件。先对气温和降水数据进行极差标准化处理,使其在 0-1 之间,再根据下式 (1) 得到水热指数。

$$H_{\text{HTC}} = N_{\text{NT}} \times \alpha + N_{\text{NP}} \times (1 - \alpha) \quad (1)$$

式中: H_{HTC} 为各站点标准化水热综合状况; N_{NT} 为各站点标准化气温; N_{NP} 为各站点标准化降水量; α 为权重。利用公式计算时需考虑的因素: ① 指标权重需根据研究区具体情况进行修订。② NDVI 为零的区域不参与计算,如: 沙漠、水域、建设用地、雪线之上的高海拔区域以及高纬度冰盖区等。③ 植被覆盖与水热在一定范围内属于正相关,但超过一定的界限之后,会出现负相关的情况,如: 盛夏由于温度过高,土壤水分容易散失,且高温也影响植物的光合作用,导致植被生长状况较差;降水过多,土壤水分饱和,影响植物根系呼吸,也会导致作物萎蔫,影响植被覆盖。因此需对气温和降水的上下限进行限制,以便更加科学地反映两者之间的相关情况。④ 科学研究是一个不断创新和完善的过程,该指数仅仅是提出了一个思路和简单的计算模型,还需在以后的研究中结合具体情况,继续提高和完善。

2.3 研究方法

研究中采用的方法主要有经验正交函数和奇异值分解法。经验正交函数 (empirical orthogonal function, EOF) 是大气科学领域常用方法,既能保留原始数据信息,又起到降维、浓缩空间场的信息。EOF 把原变量分解为很少的不相关典型模态,每个典型模态都含有尽量多的原始场的信息。同时,典型模态所对应的时间系数代表了由特征向量所表征的分布型式的时间变化特征^[13]。

奇异值分解方法 (singular value decomposition, SVD) 是对气候要素耦合场进行统计分析的方法之一,主要用来分解耦合要素的时空场,从而提取它们在空间上的相关信息,能够最大限度地从两个要素场中分离出多个相互独立的耦合模态,进而揭示他们之间存在的时域相关性和空间联系。SVD 分析结果可以了解两变量场的空间相关程度^[7]。

3 结果分析

3.1 NDVI 的空间特征分析

NDVI 第一模态的方差贡献率为 42.99% (图 2a)。正负值的分布具有明显的东西差异。汉江流域中下游农耕区为负值分布区,主要包括南阳盆地、江汉平原,汉江上游沿岸河谷地带也分布有少量负值;中西部秦巴山地为正值分布区。此格局表明: NDVI 的第一特征向量主要受地形及农业耕作的影响。地势平坦的汉江谷地、南阳盆地和江汉平原地区,是汉江流域的主要农耕区,植被覆盖状况主要受农业活动影响。地势起伏较大的上游山区,受人类耕作影响相对较小。第一模态时间系数有着明显的年内变化规律,一年中仅 2-4 月间出现了负值,其余时间均为正值。全年中有两次峰值和两次谷值。两次峰值分别出现在 6 月和 10 月,10 月的峰值相对较小;两次谷值分别出现在 4 月和 8 月,4 月为最大谷值。时间系数绝对值越大说明该类型越典型,时间系数为负值,说明分布格局出现相反趋势。NDVI 第一模态的时间系数表明: 汉江流域全年大多数时段内,中西部山地植被覆盖相对较好,农耕区植被覆盖相对较差。同时,每年的 6 月和 10 月是该类分布格局最典型的时间。汉江流域农作物一年两熟,每年 5 和 9 月中下旬,农作物成熟收割,地表裸露或者农作物小苗期,导致农业耕作区植被覆盖降低,因此,农耕区与山地林区形成相反的地

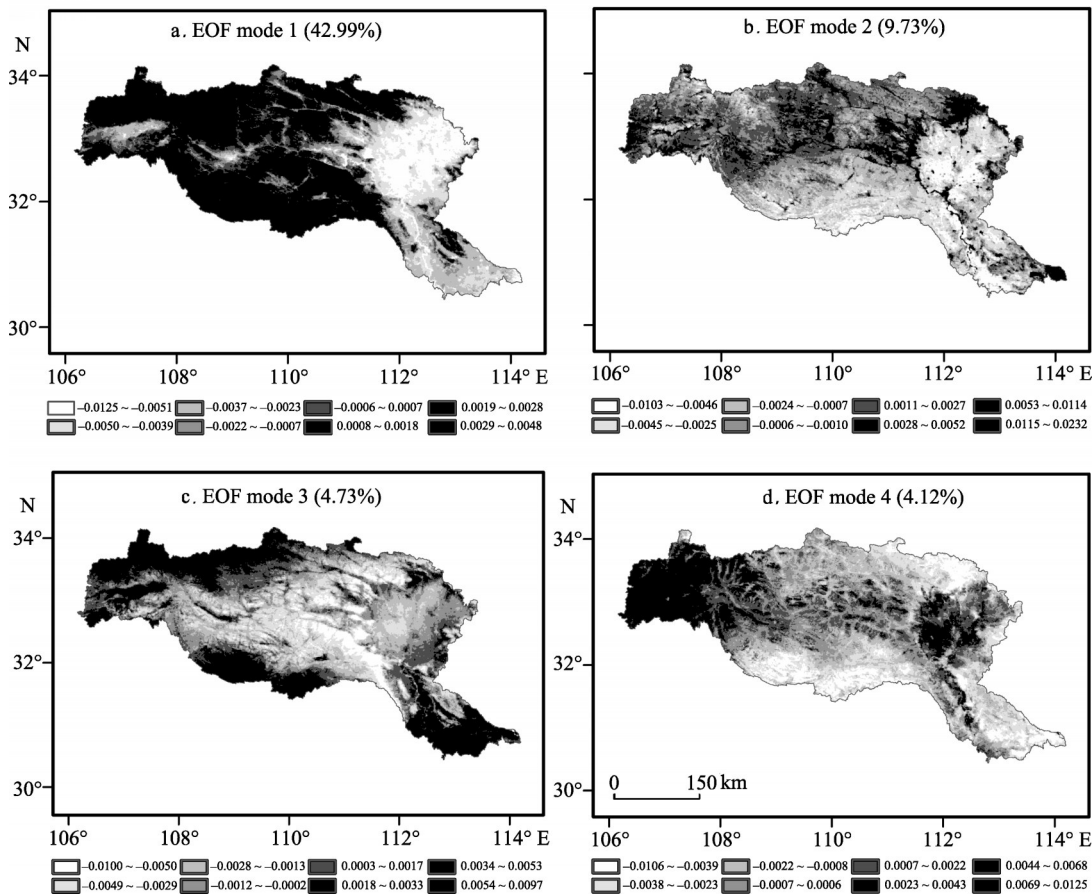


图2 NDVI主要EOF模式空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of the leading EOF modes of NDVI

表覆盖格局。

NDVI第二模态的方差贡献率9.73% (图2b), 分布格局具有明显的南北差异。北部、西北部地区主要为正值分布区, 但特征不强, 其中秦岭和伏牛山海拔较高处存在少量负值。南部、东南部地区主要分布为负值, 主要包括安康南部, 十堰中南部大部分地区, 以及汉江流域中下游地区。此类分布格局主要受纬度的影响较大, 纬度决定了热量的获取, 因此纬度较高的北部地区和纬度较低的南部地区, NDVI存在相反变化趋势。第二模态的时间系数也具有类似于第一模态的规律性, 全年当中有两个峰值和两个谷值, 相对而言, 第二模态的时间系数年内和年际波动性较大。全年中除5-6月为正值外, 大部分时间为负值。即全年中5-6月植被覆盖的格局是东南部较差, 北部良好, 其他时间均是东南部较北部植被覆盖较好。中国自然条件决定了水热资源均是由东南向西北递减, 此类植被覆盖格局与水热资源的分布特点具有明显的一致性。

NDVI第三模态的方差贡献率为4.73% (图2c)。中部地势相对低平的河谷地带和东部平原地区为主要的负值分布区, 其中一些河谷地带、灌溉条件较好的地区存在正值分布。北部秦岭和南部大巴山高山地区以及汉江入长江口处为正值分布区。此种分布格局主要受灌溉条件和垂直地带性的影响。受垂直地带性的影响, 表现出高山区与中低山区的差异;

灌溉条件的影响,表现出无灌溉条件的坡耕地与平原区灌溉农田的差异。该类分布格局的时间系数也具有较明显的规律,全年中也有两个峰值和谷值,4-6月、10-11月下旬为负值,其他时间为正值分布时段。NDVI第四模态的方差贡献率为4.12%,累计为60.87% (图2d),可以代表研究区植被覆盖变化的总体特征。该模态表明汉江流域东中部地区主要为负值分布区,中间夹杂着部分正值,特征不明显。西部汉江源头区为正值分布区。整体而言,除汉江源头区外,汉江流域大部分区域植被覆盖内部差异相对较小,具有相对一致性的特点。汉江是长江的一级支流,流域范围相对较小且气候条件相似。在大气气候背景的作用下,研究区表现出整体一致性的特点,即全区植被覆盖良好或者较差。第四模态的时间系数年内规律性较差,且年内和年际波动性很强。

3.2 水热指数空间特征分析

水热指数第一模态方差贡献率为22.70% (图3a),正值主要分布在汉江流域中下游,负值主要分布在秦巴山区。等值线由东南向西北过渡。此类水热分布格局完全吻合了中国降水由东南向西北递减,热量由南向北递减的变化规律。第一模态的时间系数存在明显的年内、年际变化。每年6-9月,时间系数多数情况下为负值,其他月份大多为正值。此类分布格局表明:汉江流域全年当中,多数时间水热条件的分配是东南好于西北地区,仅在

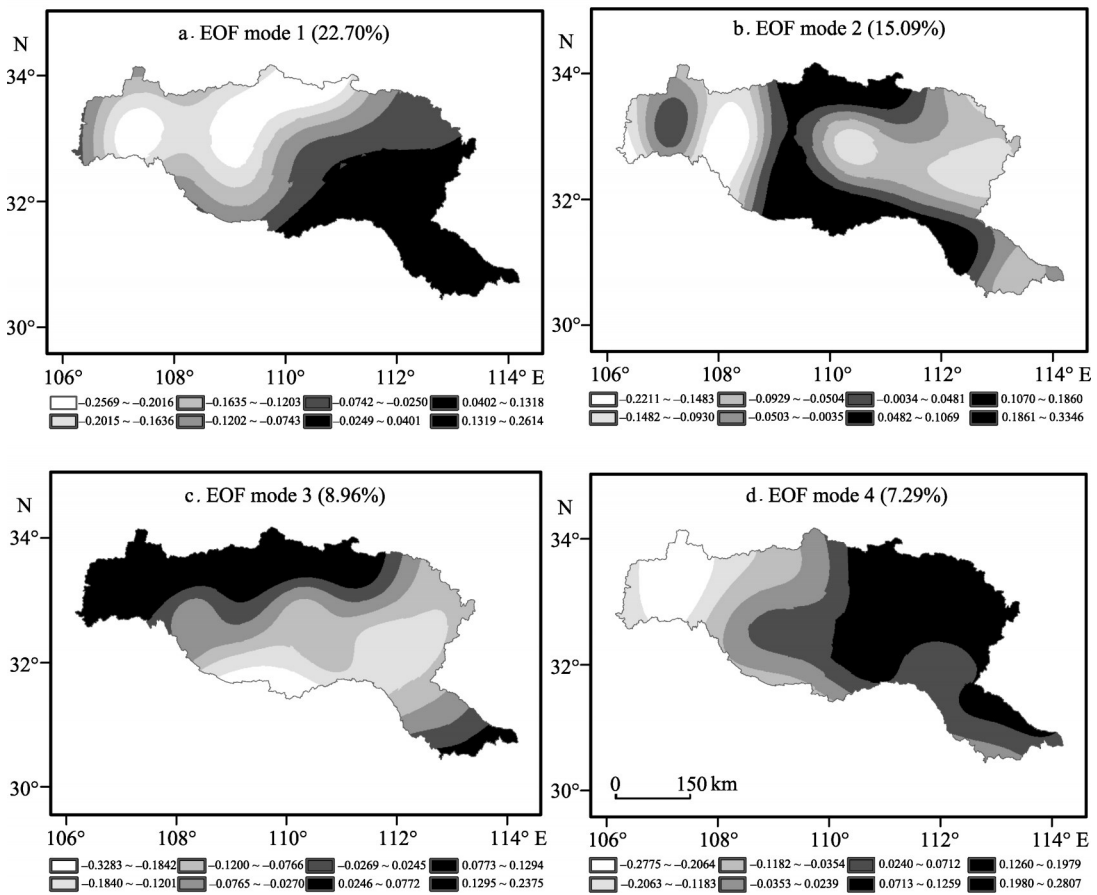


图3 水热指数主要 EOF 模态空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of the leading EOF modes of hydro-thermal index

每年6-9月出现相反分布格局,即西北汉江上游地区水热组合优于中下游区域。这种分布状况主要与太阳的回归运动和雨带的推移有关,随着太阳的回归运动,6月份太阳行至北回归线附近,研究区主要位于 $31^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$,此时正值全年当中热量最充沛的时间,同时随着雨带由东南向西北,由南向北的推移,汉江流域的上游地区水热组合进入最佳时期。由于降水和温度受多种因素的影响,波动性极强。

水热指数第二模态方差贡献率为15.09% (图3b),表现为相对一致性的特点。汉江流域绝大部分区域分布为负值,只有秦岭东部地区和大巴山东南地区存在少量正值。由于研究区范围相对较小,因此整个区域会受到大范围气候状况的影响,表现出相对一致性的特点。4-11月,时间系数绝对值较大,且波动性较强;11月至来年4月,时间系数很小,且变化甚微。即夏半年水热指数变化幅度较大,冬半年变化幅度小。这种水热指数的变化主要是由于冬半年气温低且变化幅度较小,夏半年气温高,同时变率大;加之中国降水也具有此种冬夏变化特点。两个原因相叠加,加剧了水热冬夏差异的强度。

水热指数第三模态的方差贡献率为8.96% (图3c),空间分布情况具有明显的南北差异。水热呈现东西延伸,南北过渡性。汉江上游秦岭南麓分布为正值;整个汉江流域的南部及中下游地区均为负值。最高值出现在北部秦岭山地,最低值出现在神农架林区。分布格局与纬度平行,受气温变化的影响较大。该分布模态的时间系数具有和第二模态时间系数相似的特点,冬半年时间系数绝对值很小,且变化幅度小,即冬半年南北的差异相对较小;夏半年时间系数的绝对值明显增大,且变率增强,即夏半年由于气温升高、降水增加,加之气温和降水变率增大,使得该区域水热的南北差异明显增强。水热指数第三模态的空间分布情况主要与气温的纬度差异和大地貌类型有关。

水热指数第四模态方差贡献率为7.29% (图3d),累计方差贡献率为54.04%,前4个模态基本可以反映该区水热的分布情况。正值主要分布在汉江流域的东部平原地区,负值主要分布在汉江源头区,东部南阳盆地附近形成一个高值中心,西部秦巴腹地形成低值中心。具有南北延伸、东西过渡的特点。时间系数具有第二、三模态时间系数的冬夏分布特征,但绝对值在夏半年相对较小,即该模态不及第二、三模态典型,该特征也可以从方差贡献率的情况看出。该分布格局主要受地形和季风气候的影响,该区域以东主要为华北平原南部和长江中下游平原的北部地区,地势平坦,来自太平洋的暖湿气流可以毫无阻挡的输送至研究区的东中部地区,汉江流域上游地区由于地势起伏、山体阻挡,受太平洋暖湿气流的影响相对较弱。第五、六模态的方差贡献率分别为4.71%和4.45%,特征远不及前四模态明显。水热指数的总体分布情况及时间系数表明:汉江流域水热状况受纬度、海陆分布、地形地貌、太阳回归运动、雨带推移、季风气候等的影响,分布情况具有明显的规律性。由于汉江流域高温期和雨季主要集中在夏半年,因此时间系数表现出明显的冬夏差异。对NDVI和水热指数的EOF利用North等1982年提出的计算特征值误差范围来进行显著性检验。结果表明,NDVI和水热指数的相应模态均是有意义的信号。

3.3 NDVI与水热指数相关分析

3.3.1 不同植被类型与水热年内变化 根据研究区植被类型图,提取不同类型植被覆盖年内变化情况,以便揭示植被与水热之间年内变化规律。研究区主要植被类型有常绿阔叶林、常绿针叶林、落叶阔叶林、低山草原、沼泽湿地和耕地(图4)。^① 水热指数具有明显的年内变化规律。4-10月水热指数高,波动性强;11月至来年3月水热指数低,波动性小。汉江流域降水主要集中在夏半年,且降水变率大,导致夏半年水热指数波动性增强。

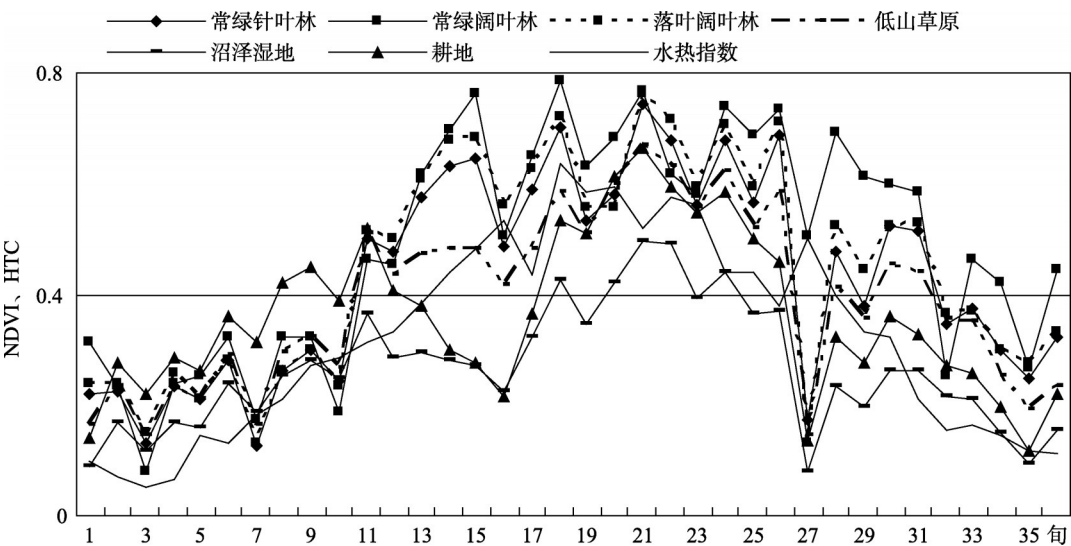


图4 不同类型植被覆盖与水热指数年内变化
Fig. 4 Intra-annual variation of different vegetation types and hydro-thermal index

② 研究区植被覆盖年内变化具有明显的一致性的特点。每年3月中下旬各类型植被覆盖开始快速增加，至8月底9月初，一直处于植被覆盖率相对较高的水平；从9月中下旬至来年3月上旬，植被覆盖处于相对较低的水平。这与水热指数夏半年优于冬半年的分配情况相吻合。16和27旬NDVI快速出现谷值，而水热指数此时却为峰值。此两个时间段云层厚、降雨多，加之获取NDVI所用红光和近红外波段，不具有穿云透雾能力，因此NDVI受云层影响表现出减小和波动性的特点。相反的在水热的低值区，由于天气晴朗，NDVI相对较高。这一情况表明，夏半年NDVI一直处于高值时期，极端低值区和波动性是由于气候条件和探测技术的限制引起的。

③ 不同植被类型覆盖存在差异。常绿阔叶林全年中覆盖率均较高；落叶阔叶林夏半年较高，冬半年快速降低；常绿针叶林夏半年不及落叶阔叶林高，冬半年较落叶林高；低山草原全年整体均较低；沼泽湿地植被覆盖全年均处于最低的状态；耕地地区农作物全年植被覆盖变化较大。不同植被类型物候现象、叶面组织、叶绿素含量、水分含量等均存在很大差异，因此不同植被类型表现出明显的年内覆盖变化差异。

④ 耕地的覆盖率年内表现出两次明显的峰值和谷值。4月中旬至6月上旬、7月下旬至9月下旬植被覆盖快速下降；6月上旬至7月中旬覆盖快速提高、10月上旬至来年4月上旬覆盖缓慢增大。两次峰值分别出现在4月和7月中旬，且7月中旬植被覆盖较4月中旬高；两次谷值分别出现在6月上旬和9月下旬。NDVI的两次下降期为作物的成熟、收割、播种和萌芽期。快速增长期为秋粮的生长期，由于水热组合优良，因此作物抽枝展叶较快，生长期较短。缓慢生长期主要为来年的夏粮作物，冬季气温较低、降水较少，作物处于休眠状态，第二年春天水热组合开始优化时作物开始复苏生长，因此生长期较长。

3.3.2 NDVI和水热指数相关分析 将NDVI和水热指数进行相关分析，得到两者相关模态，前4个相关模态累计方差贡献率为97%，具有很强的代表性。第一模态的方差贡献率为84.93%（图5a），具有很强的代表性。

① NDVI的正值主要分布在汉江中下游的南阳盆地和江汉平原，中西部山区地带主要为负值分布区，在一些地势低平的河谷地带分布有少

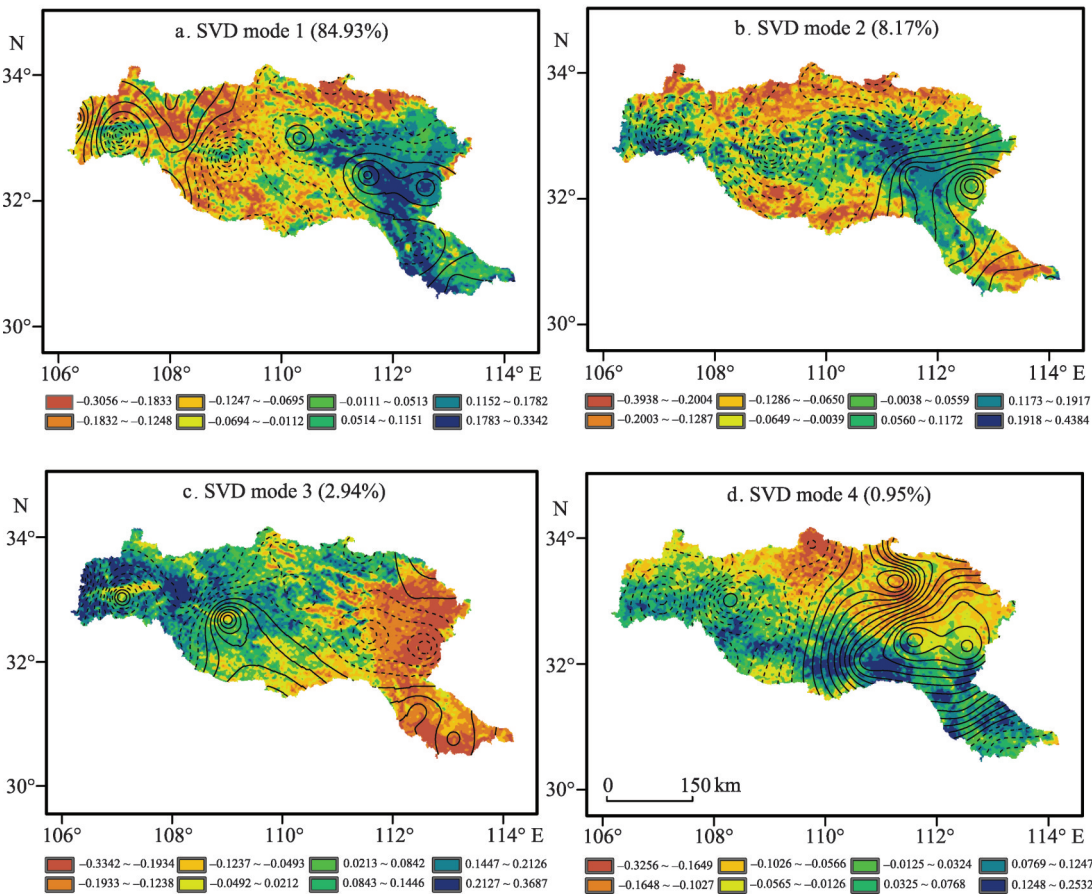


图5 NDVI与水热指数SVD的耦合模式

(色图为NDVI场, 蓝色为正, 红色为负; 等值线为水热场, 实线为正, 虚线为负)

Fig. 5 The paired-modes of NDVI and hydro-thermal index (NDVI is shown in color. hydro-thermal index is shown in contours; dashed lines indicate the negative values and solid lines the positive ones)

量正值。水热指数的正值分布情况与NDVI有类似之处, 正值也分布在东南部的农业活动区, 负值主要分布于中西部, 在秦岭西北部的太白山附近形成了一个正值区域。②由该相关分布格局得到: NDVI和水热的高相关区趋于一致, 两者呈现出正相关。水热资源组合良好的汉江流域的中下游地区, 由于地势低平, 形成主要农耕区, 在人类活动的影响下, 作物一年两熟, 这样便充分的利用了当地夏半年丰富的水热资源, 水热资源利用率提高。西部山区植被覆盖与水热之间也表现出正相关, 水热组合良好的夏秋季节, 植被覆盖较好, 水热指数较差的冬春季, 植被长势较差, 覆盖较低。

第二模态的方差贡献率为8.17% (图5b)。① 植被覆盖的正值区域主要位于汉江河谷及沿岸中低山区和江汉平原北部, 南北部山地主要为负值分布地带。水热的正值主要分布江汉平原, 其中西部大部分区域为负值分布地区。② 江汉平原的中北部地区和秦巴山地为正相关区域。汉江流域上游沿岸盆地、平原区为负相关区域, 即汉江流域上游地区的河谷地带植被和水热指数之间存在负相关。当该区域水热资源配置良好的时候, 植被覆盖却出现较差的状况。此格局主要是由于该区域受人类耕作的影响, 每年的5、6月和9、10月

是农作物成熟、收割和栽种下一季农作物的时间,此时地表植被覆盖相对较差,但水热配置良好,因此出现了水热和植被负相关的格局。秦巴山地植被覆盖以天然常绿林、落叶林等以及混交林。常绿林每2-3年落叶,且每年也会在春季长出新叶,随着水热情况的好转,植被覆盖状况出现好转趋势;落叶林每年3-4月随着水热指数的增加开始生长,7-8月植被林冠最为茂密,10月随着气温的降低开始枯萎落叶。林区植被覆盖和水热表现出明显的正相关。

奇异值分解到的第三和第四典型模态的方差贡献率分别为2.94%和0.95%(图5c, 5d)。第三模态植被的正值区域位于研究区的中西部,负值位于东南部汉江流域的中下游盆地、平原地带。水热指数的正值分布在研究区的南部,负值分布在中北部地区。第四模态植被覆盖的正值分布在研究区的西南部,负值分布在东北部。水热的正值主要分布在汉江流域的东部地区,负值主要出现在西部地区。第三、四模态方差贡献率小,特征向量不明显,且变率较大,特征场的稳定性较差。对SVD的结果利用蒙特卡罗技术进行显著性检验,结果表明,绝对值大于0.098的相关系数在0.05信度水平上显著。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 汉江流域植被覆盖EOF分析获得的前4个方差贡献率分别为42.99%、9.73%、4.73%和4.12%。能够较好地反映和提取植被覆盖的总体变化趋势。主要影响因素有地貌类型、土地利用方式、作物熟制、灌溉条件、垂直地带性等。受人类耕作活动影响,平原盆地农业耕作区与山区NDVI及其变化存在明显差异;;受纬度和海陆距离的影响,东南地区与西北部地区存在差异;受垂直地带性的影响,高海拔区与低海拔区存在差异;受大范围气候条件的影响,全区植被覆盖表现出相对一致性的特点。同时,植被覆盖的时间系数具有明显的年内变化和年际变化。

(2) 水热指数的前4个方差贡献率分别为22.70%、15.09%、8.96%和7.29%。由于降水的影响因素多、自身变率大、表现出极不稳定的特点。因此,水热指数规律性不及植被显著。受太阳回归运动和雨带推移影响水热指数表现出东南与西北的差异;受大范围气候条件影响水热指数表现出相对一致性的特点;受气温南北差异和秦巴山地对水汽的阻挡作用,水热指数表现出明显的南北差异;受太平洋暖湿气流和大地貌单元影响,水热指数表现出东西差异。水热指数的时间系数具有明显的冬夏差异。温度较低、降水较少的冬半年,时间系数绝对值小且变率小,说明该时期全区水热条件相对一致;温度较高、降水集中的夏半年,时间系数绝对值大且变率强,即该时期水热空间分布差异明显。

(3) NDVI与水热指数之间存在明显的相关性。植被覆盖的高值期与水热组合的优良期完全吻合。但不同的植被类型年内覆盖变化表现出很大的差异。SVD分析的前两个模态的方差贡献率为84.93%和8.17%,具有很强的代表性,植被覆盖与水热指数强相关。植被覆盖与水热指数呈现出高度正相关,即水热组合相对较好的地区,植被覆盖良好;由于植被覆盖对气候有着明显的调节作用,因此,植被覆盖良好的地区,水热组合也呈现出良好趋势。但植被的生长状况除了受水热的影响之外,还受其它因素如地貌、土地利用类型、植物种类、作物熟制、自然灾害、人类活动等,因此,在局部区域也存在其它相关格局。

4.2 讨论

植被覆盖和水热指数之间存在密切联系,水热指数的状况决定着植被覆盖的优劣,植被覆盖状况又对水热起着不可忽视的调节作用。从大范围看,水热组合相对较好的地区,其植被覆盖必定相对较好。水热组合中任一条件不满足,植被覆盖就会受到影响,比如干旱少雨的热带沙漠地区,热量资源充分,但水资源严重不足,因此植被覆盖几乎为零。水热指数的变化主要取决于纬度的高低、雨带的推移、海拔位置的高低、海陆距离的远近、坡度和坡向等。地貌、坡度等自然条件决定着一个地区的农业区位分布,进而在人类耕作活动的作用下影响植被覆盖状况。因此,对于水热组合相对较好的自然条件优越区,人类活动对植被覆盖的影响最为突出,植被覆盖变化表现出相对复杂情形。

通过植被覆盖和水热资源之间的相关分析了解到,在没有人类干预的自然条件下,植被覆盖与水热组合状态高度正相关。但在现代人类活动的影响下,植被与水热之间的相关程度受到影响。一方面,人类可以通过调水工程、人工降水、灌溉设施等来改变水资源的分配状况;另一方面,人类可以通过高垄栽培、挖防寒沟、塑料大棚、地下加温、防晒网等技术来调节地表和地下温度;还可以通过转基因、杂交等生物技术来改良作物种类,以适应不同的水热组合状况。因此,在人类活动的影响下,植被覆盖状况与水热组合之间的相关性表现出复杂性的特点。

参考文献(References)

- [1] Braswell B H, Schimel D S, Linder E. The response of global terrestrial ecosystems to inter-annual temperature variability: Science, 1997, 278: 870-873.
- [2] 张翀,任志远,袁鑫.西北地区NDVI对水热条件年内变化的响应及其空间特征.资源科学,2012,33(12): 2356-2361.
- [3] 张友水,谢元礼. MODIS影像的NDVI和LSW I植被水分含量估算.地理科学,2008,28(1): 72-77.
- [4] Wang J, Rich P M, Price K P. Temporal response of NDVI to precipitation and temperature in the Central Great Plains, USA. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24: 2345-2364.
- [5] 宋冬梅,张茜,杨秀春,等.三江源区MODIS植被指数时空分布特征.地理研究,2011,30(11): 2067-2076.
- [6] Xu X K, Lin Z H, Xue F. Correlation analysis between meteorological factors and the ratio of vegetation cover. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(2): 221-230.
- [7] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术.北京:气象出版社,1999.
- [8] 张翀,任志远.黄土高原地区植被覆盖变化的时空差异及未来趋势.资源科学,2011,33(11): 2143-2149.
- [9] Chen Y H, Li X B, Shi P J. Variation in NDVI driven by climate factors across China, 1983-1992: Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(6): 716-720.
- [10] Zhao M S, Fu C B, Yan X D. Study on the relationship between different ecosystems and climate in China using NOAA/AVHRR data. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(3): 287-296.
- [11] 凌红波,徐海量,张青青.新疆克里雅河源流区径流变化与气候因子关系的非线性分析.地理研究,2012,31(5): 792-803.
- [12] Li X B, Shi P J. Sensitivity analysis of variation in NDVI, temperature and precipitation in typical vegetation types across China: Journal of Plant Ecology, 2000, 24(3): 379-382.
- [13] 李小燕,任志远,张翀.陕南气温变化时空分布研究.资源科学,2012,34(5): 2298-2304.
- [14] 张卫建,陈金,徐志宇,等.东北稻作系统对气候变暖的实际响应与适应.中国农业科学,2012,45(7): 1265-1273.
- [15] 周旗,卞娟娟,郑景云.秦岭南1951-2009年的气温与热量资源变化.地理学报,2011,66(9): 1211-1217.
- [16] 陈华,郭生练,郭海晋,等.汉江流域1951~2003年降水气温时空变化趋势分析.长江流域资源与环境,2006,15(3): 340-345.
- [17] 潘雅婧,王仰麟,彭建,等.基于小波与R / S方法的汉江中下游流域降水量时间序列分析.地理研究,2012,31(5): 812-813.

The correlation analysis and space-time changes of NDVI and hydro-thermal index in Hanjiang basin

LI Xiaoyan^{1,2}, REN Zhiyuan¹, ZHANG Chong¹

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2. School of History and Tourism, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, Shaanxi, China)

Abstract: This paper put forward the concept of hydro-thermal index and its calculation model. It used empirical orthogonal function and singular value decomposition method to analyze the data of the normalized difference vegetation index and temperature and rainfall data of 38 meteorological sites in Hanjiang river basin from 1999 to 2010. The conclusions were obtained as follows. (1) Vegetation coverage in Hanjiang river basin was obviously different in spatial distribution due to different topographical features and farming activities. (2) The spatial distribution of hydro-thermal index also had an obvious regular pattern. The primary reasons were temperature difference in different latitudes and the movement of the rainbelt with the seasons, and the difference of big landform elements and the monsoon climate were the main reasons. Time coefficient of hydro-thermal index had obvious differences both in winter and summer. In winter-half year, the absolute value and the variable rate of time coefficient were smaller than those in summer-half year, namely the difference of water hot combination was small in winter-half year and big in summer-half year. (3) NDVI and hydro-thermal index presented a highly positive correlation, while humans changed the surface coverage and hot-water by various means, which led to the fact that the highly positive correlation was influenced in local areas.

Key words: hydro-thermal index; normalized difference vegetation index; Hanjiang river basin