重庆市 NDVI 对水热条件变化的响应及其空间特征

李学梅[1,2]，任志远[1]，张 翀[1]，李小燕[1,3]

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院，陕西 西安 710062；2. 重庆师范大学 地理与旅游学院，
重庆 400047；3. 陕西理工学院 汉水文化研究中心，陕西 汉中 723000)

摘 要：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。在利用 SPOT VGT-NDVI 旬数据、重庆市及周边 20 个气象站点 1999—2010 年日气温与降水数据以及研究区相关图件资料的基础上，运用时滞互相关分析法分析了旬平均 NDVI(TN)与旬均温(TT)和旬降水(TP)的相关性以及时滞情况。结果表明，NDVI 与气温和降水之间存在较强的相关性，且 NDVI 与气温较与降水之间的相关性更强，表明在研究区气温是 NDVI 变化的限制因子；NDVI 与气温和降水之间的相关性和时滞情况存在明显的东南—西北差异，东南地区时滞较长，相关性低，西北地区时滞较短，相关性高；各植被类型 NDVI 与气温和降水的相关程度高低以及响应速度的快慢决定于各植被类型的生长发育规律及其对气温或降水要求的高低。

关键词：NDVI；水热条件；滞后效应；重庆市

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2013)04-0166-04 **中图分类号**：Q948

Response of NDVI to Variations of Temperature and Precipitation and Its Spatial Characteristics in Chongqing City

LI Xue-mei[1,2], REN Zhi-yuan[1], ZHANG Chong[1], LI Xiao-yan[1,3]

(1. *College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*;
2. *College of Tourism and Geography, Chongqing Normal University, Chongqing* 400047, *China*;
3. *Research Center of Hanshui River Culture, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi* 71200, *China*)

Abstract: Temperature and precipitation are the main climatic factors affecting regional vegetation coverage. With the time lag correlation method, the correlations between the ten days NDVI(TN) and ten days mean temperature(TT), ten days mean precipitation(TP) as well as the time lag characteristics were analysised based on ten days SPOT VGT-NDVI data, daily air temperature, and precipitation data from 20 meteorological stations in Chongqing City and around for the period 1999—2010. The results are summarized as follows: Across the entire study region, both correlations with NDVI existed apparently while air temperature had closer than precipitation, which indicated that the temperature is the limiting factors of NDVI variations across the region; there are significant spatial and temporal variation differences with longger time lag and lower correlations from southeast to northwest; the degree of correlation between NDVI of different vegetation types and air temperature and precipitation is determined by the vegetation's growth characteristics and its water and heat requirement.

Keywords: NDVI; water and temperature condition; lagging effect; Chongqing City

植被是区域生态环境中十分重要的因素，在保持水土，调节大气，维持气候及整个生态系统稳定等方面具有重要作用[1]。地表植被覆盖的变化影响局部气候及区域生态平衡，对气候变化和地理环境有巨大影响[2-6]。同时，地表植被在生长过程中受各种气候因子的影响，其中以气温和降水对植被动态的影响最为直接和重要。植被生长对气温和降水的响应又存在一定的累积效应和滞后效应，使得气温和降水对地表植被的有效作用时间尺度分布不均匀。因此，全球变化背景下地表植被与气候因子的相互作用过程是地球科学领域的研究重点和热点。归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)作为植被生长状态和植被覆盖度的最佳指示因子，其时序变化反映植被的生长变化过程，被广泛用于生物

收稿日期：2012-08-28 修回日期：2012-10-23
资助项目：国家自然科学基金项目"加速城镇化时期三峡库区重庆段土地退化与调控机制研究"(41101563；40101057)；重庆市自然科学基金(CSTC；2011BB1114)；重庆师范大学基金项目(12XLZ14)
作者简介：李学梅(1976—)，女(土族)，青海省乐都县人，博士研究生，主要从事国土资源评价与 GIS 研究。E-mail：xuemeili@cqnu.edu.cn。

量、叶面积指数等生物量和植被生产力格局的估算以及对植被覆被变化的检测等方面。而且,归一化植被指数能够反映植被吸收的光合有效辐射、叶绿素密度、叶面积以及蒸发速率等参数,并能消除太阳高度角、卫星不同视角和不同大气条件所造成的误差,因而在大尺度植被活动与气候变化相互关系的研究中得到广泛应用。与其它类型的遥感数据相比,SPOT-4 VEGETATION 传感器具有红光波段对叶绿素吸收敏感、近红外波段剔除了强水汽吸收带和空间分辨率高等优势,更加适宜于植被变化监测研究。因此,利用 SPOT-4 VEGETATION 数据研究植被 NDVI 对气温和降水的时空响应特征,不但有利于应用 NDVI 模拟植物生长规律、监测和预测植被长势等,而且可以更加深入地了解地气相互的作用的区域分布特征,为研究地表植被覆盖特征的物理模式参数化方案提供理论依据,为人类生产生活以及采取有效措施稳定生态平衡系统提供一定的借鉴。

1　研究区概况

重庆市地处四川盆地东南缘的长江上游地区,长江自西向东横贯全境。东邻湖北和湖南省,南靠贵州省,西、北接四川省,东北连陕西省,面积 8.24×10^4 km^2。总地势为北东及南高,中西部低。分为 4 大地貌单元:西部四川盆地边缘丘陵地貌,中部平行岭谷低山丘陵地貌,东北部大巴山中山区和东南大娄山和七曜山中山区。重庆市属中亚热带湿润季风气候区,由于秦岭、大巴山脉对北方冷空气的阻挡作用,气温高于同纬度其它地区,形成独特的气候——冬暖、春早、夏热、秋迟。常年雨量充沛,年降水量 1 000～1 400 mm,但降雨时空分布不均。主要自然植被类型为亚热带常绿阔叶林,除此之外还有针叶林、竹林、灌丛和稀树草丛等类型。主要农作物有水稻、小麦和玉米,主要以一年两熟为主,东北部和西部小部分区域存在一年一熟和两年 5 熟的情况[7-12]。

重庆市覆盖了三峡库区面积的 85.6%,生态地理位置极其重要。三峡库区的植被覆盖状况直接影响着三峡工程的安全,进而会对长江流域生态环境状况,乃至全国生态环境产生不可忽视的影响。尤其是在近 10 a 来人类活动剧烈影响下,植被对气温和降水变化的响应特征如何,目前研究仍比较缺乏。因此有必要对重庆植被覆盖情况进行研究,了解其主要影响因素,进而对后续的生态治理工作提供理论支持。

2　数据来源与研究方法

所用的数据包括气象数据,地形数据,遥感影像数据,重庆市行政区划图及植被类型图等数据。气象数据为 1999—2010 年重庆市各站点的日气温与降水数据,并利用 ArcGIS 软件中地统计模块的 RBF 方法将其转为 1 000 m 的旬降水(ten-day precipitation, TP)和旬均温(ten-day mean temperature, TT)栅格图。重庆市植被类型图是将《重庆市地图集》中的所划分的 36 细类合并为 8 类而获得。鉴于 SPOT-VGT 数据具有较高的时空分辨率,覆盖范围广,运行周期短等特点,采用了遥感影像数据为法国 SPOT 卫星提供的 1999—2010 年每年旬最大化合成 SPOT VGT-NDVI 数据、基于 SPOT VGT-NDVI 数据,计算得出重庆市 12 a 各旬的 NDVI 平均值(TN)。使用的数据处理软件有:Matlab,ARCGIS,IBMspass 等。

为了研究 NDVI 与气候变化的相互关系,采用了时滞互相关法[13],研究旬平均气温和降水与NDVI 的相互作用情况,从而确定气候因子对 NDVI 作用时效。

假定气候因子和 NDVI 的时间序列 x_t 和 y_t 与任何时滞 k 都彼此相关,则互相关系数的公式为:

$$r_k(x,y)=c_k(x,y)/\delta_x\delta_{y+k} \tag{1}$$

式中:样本的协方差 $c_k(x,y)$ 和均方差 δ_x,δ_{y+k} 分别表示为:

$$\begin{cases} c_k(x,y)=\dfrac{1}{n-k}\sum_{t=1}^{n-k}(x_t-\overline{x_t})(y_{t+k}-\overline{y_{t+k}}) \\ \delta_x=\sqrt{\dfrac{1}{n-k}\sum_{t=1}^{n-k}(x_t-\overline{x_t})^2} \\ \delta_{y+k}=\sqrt{\dfrac{1}{n-k}\sum_{t=1}^{n-k}(y_{t+k}-\overline{y_{t+k}})^2} \end{cases} \tag{2}$$

其中,均值为:

$$\begin{cases} \overline{x_t}=\dfrac{1}{n-k}\sum_{t=1}^{n-k}x_i \\ \overline{y_l+k}=\dfrac{1}{n-k}\sum_{t=1}^{n-k}y_{t+k} \end{cases} \tag{3}$$

式中:n——序列 x_t 和 y_t 的样本数;$k=0,\pm1,\pm2,\cdots$,根据经验,时滞 k 的绝对值应小于等于 $n/4$。由于本研究是探讨年内关系,n 为旬,故 $n=36$,$n/4=9$,从而 $k=9$。

根据时滞互相关法的原理,计算 TT,TP 分别与 TN 在各个时滞 k 下对应的相关系数,然后利用 ArcGIS中的 Cell Statistics 和 Highest Position 功能分别计算得到 TT,TP 分别与 TN 的最大互相关系数以及滞后时间(最大相关系数对应的滞后时间)的空间分布。结果如附图 4 所示。

3　结果与讨论

3.1　TT 与 TN 时滞互相关的特征分析

重庆市 TT 与 TN 的最大互相关系数及影响时

效具有显著的区域差异(附图 4)。该区最大相关系数为 0.987,最小相关系数为 0.614。高值区主要出现在渝西丘陵、渝中平行岭谷、渝东北小部分地区。低值区主要出现在渝东北、渝东南低中山区。出现这种差异的主要原因在于渝西丘陵及渝中平行岭谷海拔较低、地势较平坦,是重庆市主要的农业耕作区,农作物主要为一年两熟,渝西丘陵区还存在两年 5 熟的情况。春季随着气温的回升、地温升高,植被开始生长发育,植被覆盖度显著增大,即随着气温的回升 NDVI 增加明显。因此中西部农业区 NDVI 与气温的相关性较强。渝东北、东南中低山由于海拔相对较高,植被类型以常绿阔叶林、针叶林等为主。全年当中常绿阔叶林的覆盖度相差不大,即 NDVI 并未随着气温的变化发生明显变化,因此东部中低山区 NDVI 与气温之间的相关程度较弱。由此可见,人类农业耕作活动改变着地表自然植被覆盖状况,使得地表覆盖状况与气温的相关程度增强,热量资源的利用率得到提高。

根据植被与气温的最大时滞图(附图 4)可以看出,研究区 TN 相对于 TT 的时滞存在明显的空间差异,渝西丘陵及渝中平行岭谷区植被相对于气温的滞后时间为 1 旬;大巴山南麓、巫山中低山;渝东南三峡、七曜山南部低海拔地区时滞为 2 旬;渝东北大巴山中山、七曜山北部、渝东南七曜山南部高海拔地区滞后 3 旬。植被覆盖状况与气温相关性较强的中西部地区,时滞较短;相关程度较弱的东部中低山区时滞相对较长。农业耕作区作物收割后,或小苗初长时,地面土壤裸露,NDVI 几乎为零,初春地温在气温的影响下很快回升,农作物快速生长发育(4—5 月,NDVI 随着气温的升高达到最高值),因此,植被生长对于气温的滞后时间较短,即植被对于气温有较快的响应。而中低山区由于常绿林的郁闭度相对较高,地温升高较为缓慢,加之常绿林区 NDVI 自身变化不明显,因此,地表覆盖对于气温的时滞较长,即常绿阔叶林对气温响应较慢。除此之外时滞还受地形、地貌、海拔高度、纬度等的影响,表现出复杂的分布特征。从 NDVI 与气温的相关性和滞后时间来看,植被对气温的响应程度和响应速度在区域分布上具有整体一致性,即相关程度高的地区,植被的响应速度也快,反之亦然。

3.2 TP 与 TN 时滞互相关的特征分析

根据植被覆盖与降水的最大相关系数分布图(附图 4)可以发现:NDVI 与气温较与降水之间的相关性更强,更具有空间一致性,表明气温对 NDVI 的影响大于降水。其原因在于该地区降水较丰富,降水可以满足植物生长的需要,而热量的差异则成为驱动 NDVI 变化的主导因素。这一结果与对我国东部或全国的一些研究结果相一致[2]。TN 与 TP 的最大相关系数存在明显的差异,研究区最大相关系数为 0.951,表现出显著相关的特点;最小相关系数为 0.535,两者之间弱相关。渝西丘陵区、渝中平行岭谷北部、渝东南大巴山南麓、巫山中低山、七曜山北部等区域 TP 与 TN 的相关系数高,相关性强;低值区主要分布在渝东北大巴山中山、三峡、七曜山南部、渝南中山地区以及重庆市主城区,其中七曜山南部、渝南中山地区相关系数最小,相关性最弱。NDVI 与降水的相关程度存在显著区域差异的主要原因在于植被类型不同。研究区受我国季风气候的影响。夏季在太平洋暖湿气流的控制下,降雨集中,而相关程度较弱的区域,植被类型主要以常绿阔叶林为主,常绿阔叶林在全年中覆盖状况均较好,且变化情况不明显,不随降水的增加显著增强。加之中低山区坡度大、土层薄、降水入渗较少、容易形成径流、不易对植被产生长期影响,因此,中低山区天然常绿阔叶林和降水之间的相关性较弱,即研究区森林覆盖区降水对植被覆盖的影响不显著。位于渝西丘陵的重庆市相关系数也很小,在城市化进程中,人类活动的影响,城市被大面积的建设用地和交通工矿用地所占用,原有的天然植被被钢筋水泥所替代,改变了下垫面的性质,这便导致城区出现大范围的 NDVI 零值区,NDVI 的零值区与降水之间的相关性为零。城市景观植被主要以常绿或落叶林为主,且受人为浇灌措施的影响较大,因此城区的植被覆盖与降水之间的相关性也较弱。这便形成了重庆市区的低相关区域。在渝西丘陵区、渝中平行岭谷北部、渝东南大巴山南麓、巫山中低山、七曜山北部等区域的典型农业耕作区,农作物在一年中存在两次明显的生长期,分别是每年的 3—5 月份和 6—8 月份,而该时期正好处于研究区降水较为集中的时期。随着气温的升高、降水的增加,农作物生长状况良好。因此农业耕作区植被覆盖与降水之间表现出明显的正相关,即随着降水的增加植被覆盖度明显增大。

根据植被对于降水的时滞图(附图 4)可以看出,研究区植被对于降水的滞后时间存在明显的差异,最长滞后时间为 5 旬,最短滞后时间为 1 旬。但大部分集中在 2,3 和 4 旬。总体来看,研究区东南部及南部中低山地区时滞较长,主要集中在 3—4 旬;西部及中部平行岭谷区时滞较短,主要为 2 旬,其中渝中垫江县及其周围地区、渝西合川市北部的部分地区时滞最短为 1 旬。区域差异性的原因主要是因为 TN 与 TP

相关性程度与降水、土壤地及岩层性质等有关。重庆市各地多年平均降水量为 1 000～1 400 mm，东南部较多，西北部较少；山区深丘较多，河谷平原较少。南部金佛山、四面山降水量达 1 400 mm，长江河谷降水量 1 050 mm 左右，西部丘陵区仅 1 000 mm 左右。缺水区植被相对于丰水区植被对降水的响应更快。除此之外，西北部岩层平缓，地势低缓，切割较小，植被生长所需水分能有效的补给。渝西及渝中平行岭谷为主要的农业活动中心，农作物对降水的响应速度较快。东部为盆周山地，东北部为大巴山南缘，海拔为 1 500～2 500 m，海拔和纬度较高，重庆市属亚热带湿润季风气候，所以植被对降水的响应速度也较快，约滞后 1—2 旬。而东南部地势较高，切割剧烈，降水丰沛，在构造应力作用下，各类含水岩组的裂隙和岩溶均较发育，地表水易下渗转化为地下水，所以植被对降水的响应速度相对较慢，滞后时间为 2—3 旬。

3.3　不同植被类型的时滞互相关

植被类型不仅影响 NDVI 与水、热因子的相关程度，也影响 NDVI 对水、热因子的响应时间（图 1）。（1）从相关系数看，对于各种植被类型，均温与植被的相关程度均好于降水，均温与不同植被类型的相关系数大小排序为：农业植被＞常绿针叶林＞常绿阔叶林、高山亚高山草甸＞落叶阔叶林＞稀树灌木＞灌木＞低山草原，说明均温对农业植被影响最大，其次是常绿针叶林、常绿阔叶林、高山亚高山草甸和落叶阔叶林，而对低山草原和灌木影响较弱。降水与不同植被类型的相关系数大小排序为：农业植被＞常绿针叶林、常绿阔叶林＞落叶阔叶林＞灌木、高山亚高山草甸＞稀树灌木＞低山草原，说明降水对农业植被影响也是最大的，其次是常绿阔叶林、落叶阔叶林，而对低山草原影响最弱。（2）从滞后时间来看，对均温的滞后时间由短及长的排序，即植被的 NDVI 对气温的响应速度快慢排序为：农业植被＞灌木、稀树灌木、高山亚高山草甸、低山草原、常绿针叶林、常绿阔叶林＞落叶阔叶林，说明农业植被对升温响应最快，落叶阔叶林最迟，对降水的滞后时间由短及长的排序为：农业植被、落叶阔叶林、常绿阔叶林＞常绿针叶林、灌木、稀树灌木、高山亚高山草甸＞低山草原，说明农业植被、落叶阔叶林和常绿阔叶林对降水的响应最快，而低山草原对降水的响应最为缓慢。

综上，即某一类型的植被的生长对气温或降水的要求高，则这类植被与气温或降水的相关程度高且响应快，相反植被的生长对气温或降水的要求低，则这类植被与气温或降水的相关程度则低且响应慢。

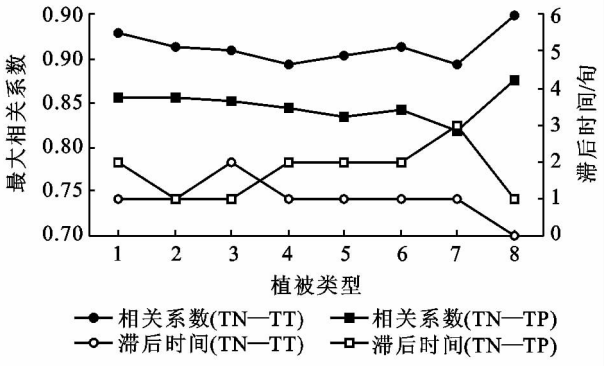


图 1　不同植被类型旬均 NDVI(TN)与旬均气温(TT)，旬降水(TP)最大互相关系数及滞后时间特征数

注：1. 常绿针叶林；2. 常绿针叶林；3. 落叶阔叶林；4. 灌木；5. 稀疏灌丛；6. 高山亚高山草甸；7. 低山草原；8. 农业植被

4　结 论

（1）研究区 TN 与 TT 之间的相关性存在明显差异，人类农业活动使得热量资源的利用率提高；TN 与 TT 的高相关区主要在渝西丘陵及渝中平行岭谷等海拔较低、地势较平坦的农业种植区，农作物对气温的响应较敏感，响应程度高且快；渝东北及渝东南高海拔低相关区由于森林植被覆盖度较高，对气温的响应不太敏感。

（2）研究区 TN 与 TP 之间的时滞存在明显的东南—中西部差异，东南地区时滞较长，西部、中部东北部地区时滞较短。相关程度与时滞从整体来看一致性，但由于纬度、海拔高度、农作物熟制的不同，也有部分地区存在不一致的情况，最为典型的是大巴山中山区相关程度弱，但响应速度却快。

（3）NDVI 与气温较与降水之间的相关性及其时滞反映了这种植被类型的生长发育对气温或降水要求的高低。但由于人类农业活动，城镇化过程、植被类型、土壤质地以及岩层性质使得相关性在程度和速度上的强弱分布变得更为复杂。

［参 考 文 献］

[1] 孙红雨，王长耀，牛铮，等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系：基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报，1998，2(3)：204-210.

[2] 崔林丽，史军. 中国东部植被 NDVI 对气温和降水的时空响应[J]. 地理科学，2010，20(2)：163-176.

[3] 戴声佩，张勃，王强，等. 祁连山草地植被 NDVI 变化及其对气温降水的旬响应特征[J]. 资源科学，2010，32(9)：1769-1776.

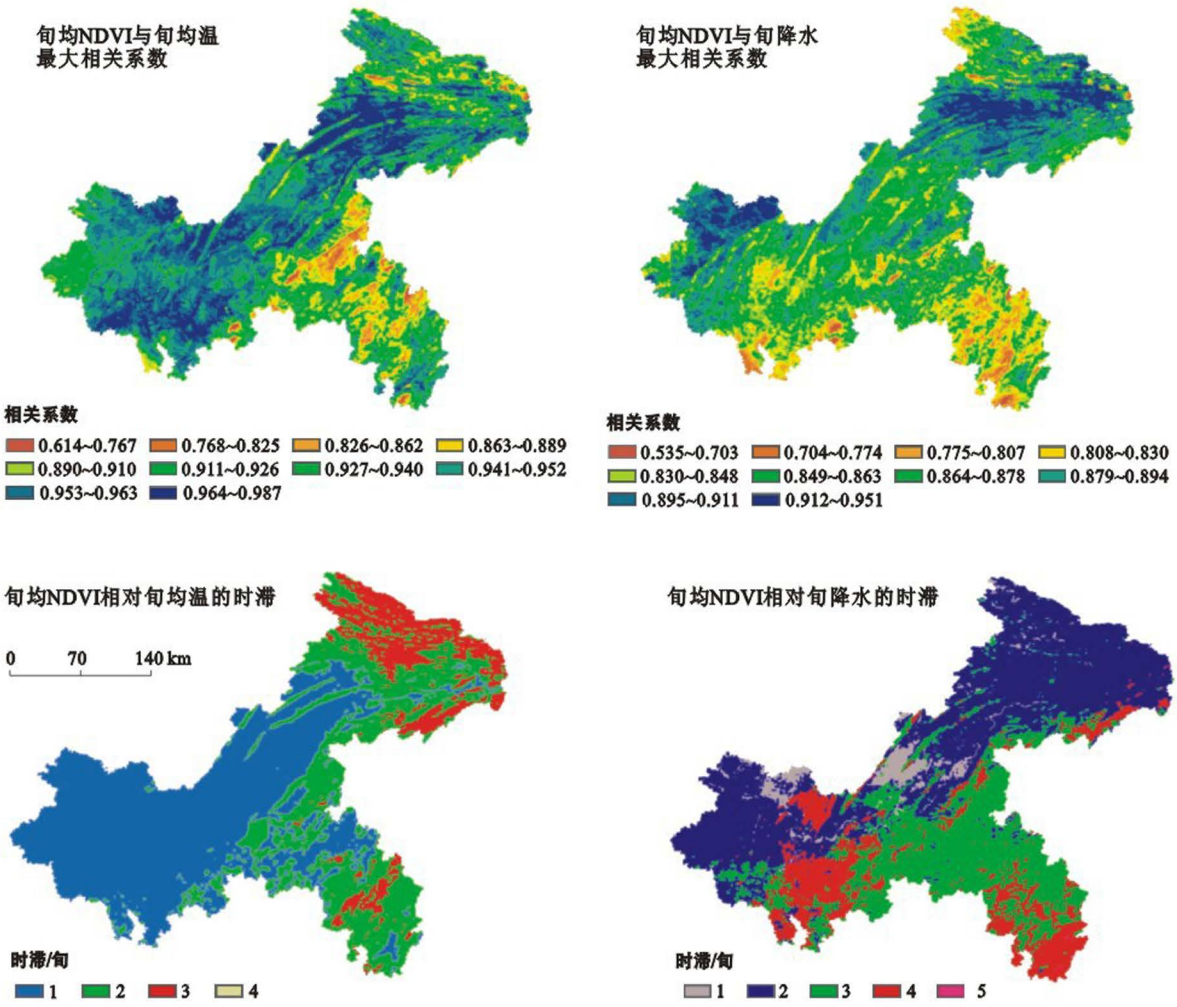
[4] 李忠峰，李雪梅，蔡运龙，等. 基于 SPOT VEGETATION 数据的榆林地区土地覆盖变化研究[J]. 干旱区资源与环境，2007，21(2)：56-59.

（下转第 175 页）

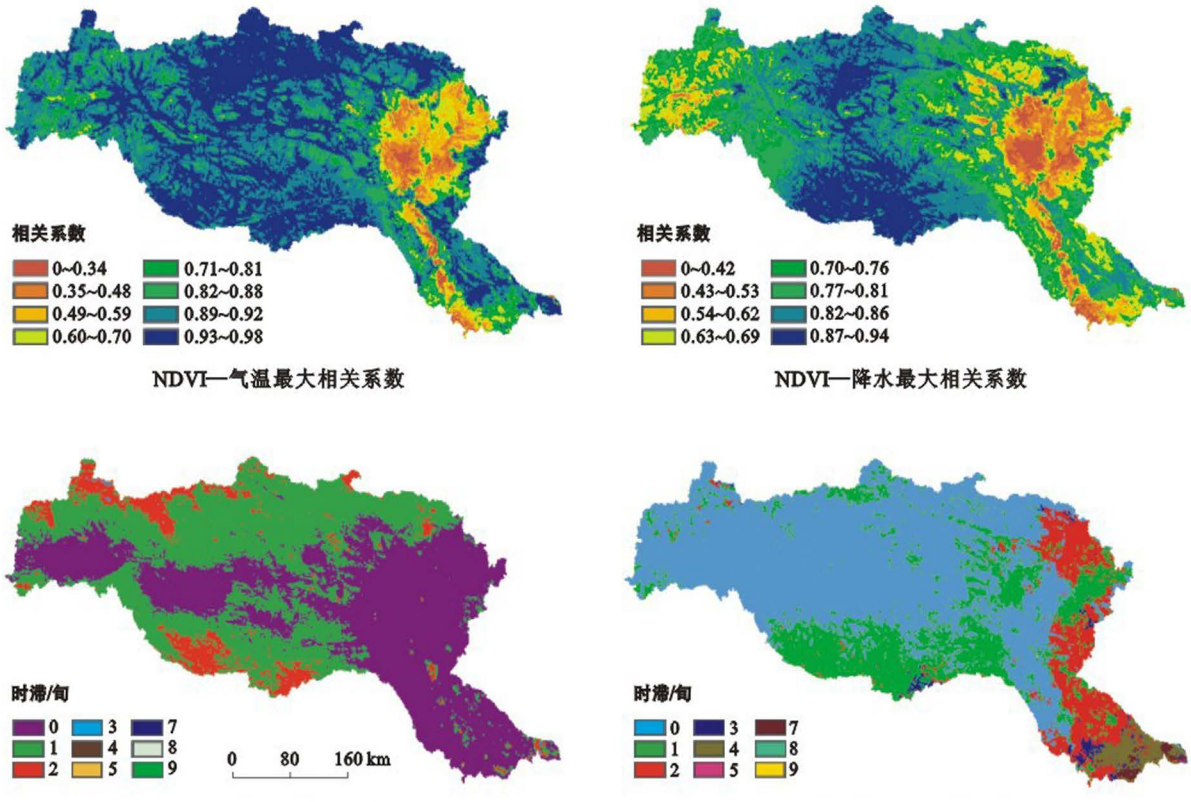
养功能研究[J]. 水土保持学报,2009, 23(1):182-186.
[8] 陈引珍,程金花,张洪江,等. 缙云山几种林分水源涵养和保土功能评价[J]. 水土保持学报,2009, 23(2):66-70.
[9] 宋永昌,陈小勇,王希华. 中国常绿阔叶林研究的回顾与展望[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2005(1):1-8.
[10] 徐小牛,邓文鑫,张赟齐,等. 安徽老山亚热带常绿阔叶林不同林龄阶段土壤特性及其水源涵养功能的变化[J]. 水土保持学报,2009, 23(1): 177-181.
[11] Shen Huitao, Wang Xiaoxue, Jiang Yue, et al. Spatial variations of throughfall through secondary succession of evergreen broad-leaved forests in eastern China[J]. Hydrological Processes, 2012, 26(11):1739-1747.
[12] 宋永昌,王祥荣. 浙江天童国家森林公园的植被和区系[M]. 上海:上海科学技术出版社,1995.
[13] 刘少冲,段文标,赵雨森. 莲花湖库区几种主要林型枯落物层的持水性能[J]. 中国水土保持科学,2005, 3(2):81-86.
[14] 张伟,杨新兵,张汝松,等. 冀北山地不同林分枯落物及土壤的水源涵养功能评价[J]. 水土保持通报,2011, 31(3):208-212.
[15] Iida S, Tanaka T, Sugita M. Change of interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak[J]. Journal of Hydrology, 2005, 315(1/4): 154-166.
[16] Ziegler A D, Giambelluca T W, Nullet M A, et al. Throughfall in an evergreen-dominated forest stand in Northern Thailand: Comparison of mobile and stationary methods[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(2): 373-384.
[17] Neary D G, Ice G G, Jackson C R. Linkages between forest soils and water quality and quantity[J]. Forest Ecology and Management, 2009, 258(10):2269-2281
[18] 沈会涛,由文辉,蒋跃. 天童常绿阔叶林不同演替阶段枯落物和土壤水文特征[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2010(6):35-44.
[19] Jost G, Heuvelink G, Papritz A. Analysing the space-time distribution of soil water storage of a forest ecosystem using spatio-temporal kriging[J]. Geoderma. 2005, 128(3/4):258-273.
[20] Buttle J M, Mcdonald D J. Soil macroporosity and infiltration characteristics of a forest podzol[J]. Hydrological Processes, 2000, 14(5):831-848.

(上接第 169 页)

[5] 陈安安,孙林,胡北,等. 近 10 a 黄土高原地区 NDVI 变化及其对水热因子响应分析[J]. 水土保持通报,2011, 31(5): 215-219.
[6] 杜加强,舒俭民,张林波. 1982—2006 年黄南州 NDVI 年际变化及其与气候的关系[J]. 水土保持通报,2010, 30(4): 229-234.
[7] 李廷勇,刘建宇,王建力. 全球气候变化背景下的区域气候变化:以重庆市近代以来气候变化为例[J]. 重庆师范学院学报:自然科学版,2002,19(2):64-69.
[8] 刘海隆,杨晓光,王玲. 重庆三峡库区农业气候变化的研究[J]. 中国生态农业学报,2003,11(4):144-147.
[9] 王玲,塔依尔. 气候变化对重庆岩溶地区水文水资源的影响[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2006,24(5): 599-604.
[10] 李来胜. 重庆麦类作物主要生态气候灾害类型分析[J]. 西南农业大学学报,1994,16(5):453-455.
[11] 王玲,刘海隆. 重庆岩溶地区气候变化对植被的影响[J]. 气象与环境学报,2007,23(1):6-11.
[12] 张军以,苏维词. 三峡库区农业发展现状及农田 CH_4 和 N_2O 排放与减排对策[J]. 土壤通报,2012,43(2): 501-505.
[13] 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[J]. 资源科学,2011,33(12):2356-2361.



附图4 重庆市旬均NDVI与旬均温、旬降水的最大相关系数及滞后时间空间分布格局



NDVI—气温最大相关系数

NDVI—降水最大相关系数

NDVI相对气温的时滞

NDVI相对降水的时滞

附图5 汉江流域NDVI与气温、降水的最大相关系数及滞后时间空间分布格局