

近 10 a 黄土高原地区 NDVI 变化及其 对水热因子响应分析

陈安安, 孙林, 胡北, 罗隆诚, 王俊

(西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127)

摘要: 植被变化及其对气候的响应是当前全球变化研究的关键领域之一。基于 SPOT-VGT NDVI 数据集和黄土高原气象资料,应用最大化合成法和 Kriging 插值等地理空间分析方法,对黄土高原地区植被变化特征及其对气温和降水的响应过程进行了多时间尺度分析。结果表明,1999—2008 年期间黄土高原地区植被覆盖整体呈上升趋势,线性增速为 9.9%/10 a,NDVI 在旬、月和季尺度的变化曲线均呈单峰型,8 月份达到最大值,2 月为全年的最低值。研究黄土高原地区植被 NDVI 对气温和降水变化响应的最优尺度为月尺度。黄土高原地区 NDVI 在旬、月尺度上与温度的相关程度强于降水,而季尺度上与降水的相关程度强于气温。

关键词: NDVI; 气温; 降水量; 相关系数; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0215-05

中图分类号: Q948

Changes of NDVI and Its Responses to Temperature and Precipitation on Loess Plateau over Last Ten Years

CHEN An-an, SUN Lin, HU Bei, LUO Long-cheng, WANG Jun

(College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

Abstract: Land cover change and its response to climatic variations is an essential part of researches on global climate change. Based on SPOT normalized difference vegetation index(NDVI), the land cover changes of the loess plateau during the last ten years were analyzed at multi temporal scales using several geo-statistical methods, as well as the response of NDVI to the precipitation and temperature. The results show that the vegetation cover increased substantially during 1999—2008. All the NDVIs at the scales of 10-day, month and season showed single-peak curves with the maximum in August and the minimum in February. Monthly scale was found the appropriate scale for the study addressing the response of NDVI to precipitation and temperature on the loess plateau. The responses of NDVI to temperature and precipitation varied at different scales on loess plateau. The coefficients of correlations between NDVI with temperature were greater than that with precipitation at 10-day or month scale, while lower at season scale.

Keywords: NDVI; the loess plateau; temperature; precipitation; correlation coefficient

植被是联结土壤、大气和水分等要素的自然纽带,在全球环境和气候变化研究中起着敏感指示器的作用^[1]。研究植被的变化及其与气候的响应是当今全球变化研究的重要方向之一^[2-3]。经过多年的研究,国内外学者提出了几十种不同的植被指数,其中归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)是常用的指数之一^[4-6]。NDVI 与绿色

叶片生物量、叶面积指数、植物光合能力、总干物质积累以及年净初级生产力等均有很好的相关性,常被用于进行土地生长和植被分类,植被生长动态变化检测,模拟各种植被及地表生物物理参数与气候变化关系等方面的研究。黄土高原是世界上黄土分布最多、最集中和最典型的地貌单元。作为典型的生态敏感区,研究其植被变化及其对气候的响应对黄土高原地

收稿日期:2011-03-24

修回日期:2011-06-02

资助项目:国家大学生创新性实验计划项目“基于 NDVI 的黄土高原植被变化及其对气候因子的多尺度响应”(10106927); 国家自然科学基金项目“半干旱区社会—生态系统对干旱的适应演化机制”(30500077)

作者简介:陈安安(1989—),男(汉族),陕西省西安市人,本科生,主要从事地理信息系统专业的学习。E-mail: chenanan1126@163.com。

通信作者:王俊(1974—),男(汉族),河南省虞城市人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事社会—生态系统恢复力与农田生态系统管理研究。E-mail: wangji@nwu.edu.cn。

区的生态建设具有重要的科学意义,并为全球变化的区域响应研究提供借鉴。近年来,国内外不断有学者应用 NDVI 来研究植被的变化,发现 NDVI 与气温和降水量存在较好的相关关系^[7-11]。具体到我国西北干旱半干旱区和黄土高原,国内不少学者针对本地区植被变化特征及其对气候因子的响应进行了报道^[12-20],但相关研究主要集中在单个区域的某个时间尺度,鲜有不同时间尺度上 NDVI 对区域气候变化响应规律的研究。本文以 1999—2008 年 SPOT-VGT NDVI 数据集为基础,结合最大值合成法(MVC)、克里格插值法以及相关分析法等,对黄土高原地区的 NDVI 和气候因子进行相关分析和时滞分析,旨在探索在不同时间尺度下黄土高原地区植被变化及其与气候因子之间的响应关系,加深生态脆弱区植被覆盖对气候变化响应的理解。

1 研究区概况

黄土高原是世界最大的黄土沉积区,地处我国中部偏北(34°—40°N, 103°—114°E),平均海拔 1 000~1 500 m,总面积为 $6.4 \times 10^5 \text{ km}^2$,合计有 264 个县(包括县级市),占全中国总面积的 5.3%(图 1)。该区地处沿海向内陆、平原向高原过渡地带,自南而北兼跨暖温带、中温带 2 个热量带,自东向西横贯半湿润和半干旱 2 个干湿区,高原东部、南部属于暖温带半湿润区,中部属于暖温带半干旱区,西部和北部属于中温带半干旱区。黄土高原属典型大陆季风气候,年平均温度为 3.6~14.3 °C,年降水量为 150~750 mm,多集中在 7—9 月,占全年降水量的 60%~80%,冬季降水一般只占到 5%左右。

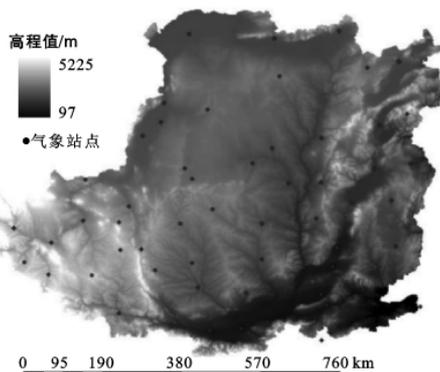


图 1 研究区域地貌概况

2 数据和方法

2.1 数据来源

本研究使用的 NDVI 数据来自比利时弗莱芒技术研究所(<http://free.vgt.vito.be/>)发布的 SPOT-

VGT NDVI 逐旬 1999 年第 1 旬至 2008 年第 36 旬最大化 SPOT-VGT NDVI 数据,该数据已经过大气校正、辐射校正、几何校正,空间分辨率为 1 km。研究涉及的气候数据源自国家气象信息中心气象资料室(中国气象科学数据共享服务网, <http://cdc.cma.gov.cn/>)地面气象数据集,相关的地图数据来自西北大学城市与环境学院自建的黄土高原基础数据库。

2.2 研究方法

2.2.1 NDVI 数据提取 在 ArcGIS 9.2 平台下,对原始 SPOT 影像逐旬栅格灰度值(DN)按公式(1)计算,转化为 NDVI 真值数据,NDVI 取值范围[-1,1]。

$$\text{NDVI} = \text{DN} \cdot 0.004 - 0.1 \quad (1)$$

将原始 SPOT 影像中的旬 DN 数据转化旬 NDVI 真值[-1.0,1.0]。

2.2.2 NDVI 最大化处理 在 ArcGIS 9.2 软件环境下,利用 Spatial Analyst 模块中的 Cell Statistics 界面中 MAX 命令对旬标准化 NDVI 数据进行 MVC (maximum value composites)最大化合成处理,构建不同时间序列的 NDVI 序列,计算公式如下:

$$M_{\text{NDVI}_i} = \max_{j=1}^n \text{NDVI}_{ij} \quad (2)$$

式中: M_{NDVI_i} ——某一时间下的最大 NDVI 值, M_{NDVI_i} 是旬 NDVI 值; n ——合成最大化 NDVI 所需旬 NDVI 值的个数。可以认为 M_{NDVI_i} 是某个时间尺度下植被覆盖度最高的 NDVI 值。

2.2.3 气温和降水数据处理 选取黄土高原地区共计 61 个气象站点的气候数据,对旬尺度上的各个气象站点的气温和降水数据在 ArcGIS 9.2 平台的支持下,用 kriging 命令,对其进行空间插值,获得整个黄土高原地区的旬平均气温和平均降水。在 Excel 软件下,对气温数据进行均值处理,获得不同时间尺度上气温因子序列;对降水数据进行累加处理,获得不同时间尺度上的降水因子序列;将气温和降水序列组合到一起,获得气候因子序列。

为分析不同时间尺度下黄土高原地区 NDVI 和水热条件的响应,参考相关文献对气温和降水因子采取了不同的处理方式,以旬尺度为例如下:

将获得的旬气温序列和旬 NDVI 序列进行匹配,利用 Excel 软件的 CORREL 函数,首先计算滞后期为 0 的 NDVI(1999 年第 1 旬至 2008 年第 36 旬)和气温因子(1999 年第 1 旬至 2008 年第 36 旬)的相关系数。然后再计算滞后期为 1 的 NDVI(1999 年第 1 旬至 2008 年第 36 旬)和气温因子(1998 年第 36 旬至 2008 年第 35 旬)的相关系数。同理计算得到旬差

为 0~9 的相关系数,分析相关系数的显著性,求得最大时滞期。对于月、季尺度的计算方法相同。

将获得的旬降水序列和旬 NDVI 序列进行匹配,利用 Excel 软件下的 CORREL 函数,首先计算滞后期为 0 的 NDVI(1999 年第 1 旬—2008 年第 36 旬)和降水因子(1999 年第 1 旬—2008 年第 36 旬)的相关系数。然后计算滞后期为 1 的相关系数,此时降水数据采取累加的方式,例如将 1999 年第 1 旬和 1998 年第 36 旬的降水数据累加获得一个旬差为 1 累加值,将其 1999 年第 1 旬的 NDVI 匹配。以此方法获得旬差为 1 时,NDVI 和降水因子的匹配序列,计算旬差为 1 时的相关系数。依照此法,旬差为 2 时,将前 0—2 旬的降水数据的累加值与 NDVI 匹配求得相关系数,依次获得旬差 0—9 旬的相关系数,分析相关系数的显著性,求得最大时滞期。对于月、季尺度的计算方法相同。

3 结果与讨论

3.1 黄土高原地区植被变化趋势

黄土高原 1999—2008 年 NDVI 最大值变化情况如图 2 所示。黄土高原地区年 NDVI 变化呈波动上升趋势(图 2a),线性增加的速率为 9.9%/10 a。年 NDVI 最大值和最小值分别出现在 2008 年(0.53)和 2001 年(0.43)。从 1999—2008 期间黄土高原地区植被 NDVI 的空间变化情况来看(图 2b),10 a 内陇东、陇中和青海东部部分地区出现植被 NDVI 较显著下降外,其它大部分地区植被 NDVI 均有所增加。黄土高原地区的植被变化主要受当地气温、降水影响,近百年来全球变暖,黄土高原地区的气温基本稳定,但略有下降;降水在近 10 a 呈上升趋势,水热因子条件逐渐改善,同时伴随着退耕还林(草)战略的实施。因此,黄土高原地区植被覆盖呈整体上升趋势。

3.2 黄土高原植被 NDVI 对气温和降水的响应

3.2.1 黄土高原植被 NDVI 值对气温和降水的旬响应 对黄土高原地区过去 360 旬的 NDVI 与前 0—9 旬的气温和降水进行相关性分析如图 3 所示,结果表明黄土高原地区 NDVI 在旬尺度的响应与温度的相关性大于降水。旬 NDVI 和前 0—3 旬气温和前 1—4 旬的累积降水相关系数较大,其中与前 1 旬气温相关系数最大,其值为 0.90;与前 3 旬累积降水的相关系数最大,其值为 0.84。随着旬差值的增大,植被 NDVI 与气温和降水的相关系数逐渐减小。因此,黄土高原地区植被 NDVI 和气温、降水在旬尺度的最大滞后期分别为 1 旬和 3 旬。

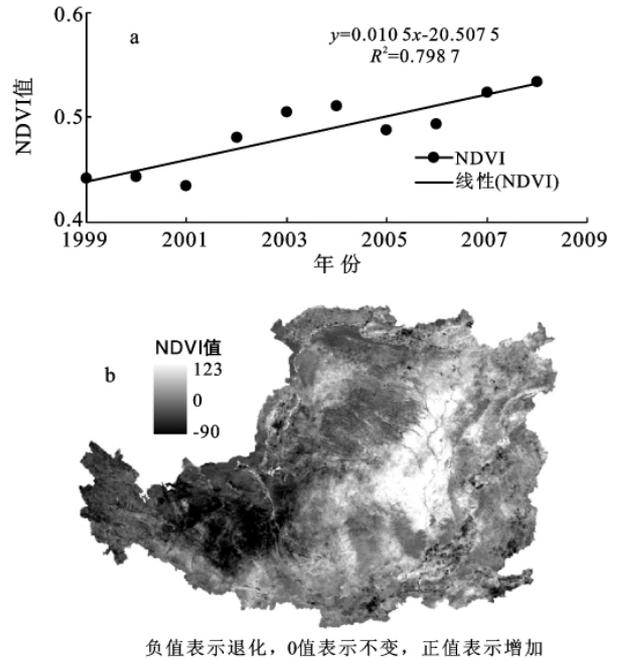


图 2 黄土高原 1999—2008 年 NDVI 变化情况

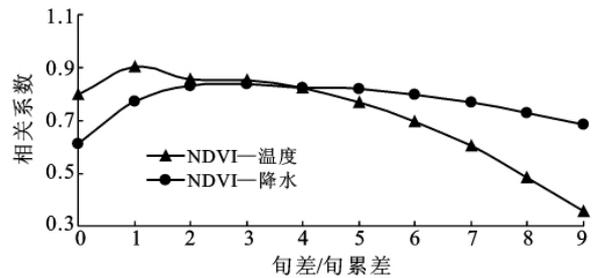


图 3 黄土高原 NDVI 与温度、降水旬尺度响应关系

3.2.2 黄土高原植被 NDVI 值对气温和降水的月响应 对黄土高原地区过去 123 个月的 NDVI 值和前 0—3 月的气温和累积降水进行相关性分析如图 4 所示,结果表明黄土高原地区植被 NDVI 与气温和累积降水在月尺度上的相关性温度大于降水,这与旬尺度的结果一致。植被 NDVI 和前 0—1 月的气温相关程度较高,与前 0—2 月的累积降水值的相关程度较大,其中与前 1 月的气温和累积降水相关系数最大,其值分别为 0.92 和 0.91。随着月数的前推,相关系数逐渐减小。因此,黄土高原地区植被 NDVI 和气温、累积降水的最大滞后期为 1 月左右。

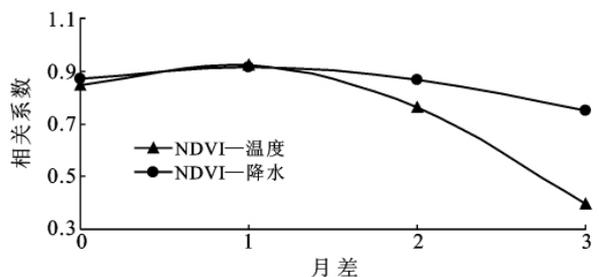


图 4 黄土高原地区 NDVI 与温度、降水月尺度相关系数

3.2.3 黄土高原植被 NDVI 值对气温和降水的季响应 对黄土高原地区过去 40 季的植被 NDVI 和前 0—2 季的气温和累积降水进行相关性分析见图 5 所示,结果表明黄土高原地区植被 NDVI 和气温、降水在季尺度上的相关性降水大于气温,这与月、旬尺度结果存在显著差异。植被 NDVI 和前 0 旬的气温和降水的相关系数都比较大,其值分别是 0.85 和 0.87;随着季数往前推移,相关系数急剧下降。因此,黄土高原地区植被 NDVI 和气温、降水在季尺度的最大滞后期为 0 季左右。

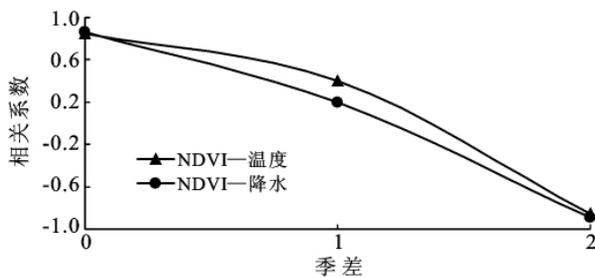


图 5 黄土高原地区 NDVI 与温度、降水季尺度相关系数

4 结论

本研究结果显示黄土高原地区 1999—2008 年 NDVI 变化成波动上升趋势,这与我国西北地区及祁连山等地区的变化基本一致^[13-15],但响应的最大时滞不尽相同。戴声佩等^[15]对祁连山的研究表明,植被 NDVI 对旬气温和降水的最大时滞都为 2 旬,本文对黄土高原地区研究表明,植被 NDVI 对旬气温和降水的最大时滞期分别为 1 旬和 3 旬,原因是祁连山属典型的高原大陆性气候,因而植被 NDVI 对气温的最大时滞期大于黄土高原,积雪融水使得祁连山地区植被 NDVI 对累积降水的最大时滞小于黄土高原。

已往对植被 NDVI 和气候因子的响应关系的研究多集中在旬或者季尺度上,较少有人对尺度可能引起的差异进行研究。本文结果表明,植被 NDVI 对气温的相关程度在月尺度上最大(0.92),在旬尺度(0.90)和季尺度(0.85)相关较小;植被 NDVI 对降水的相关程度在月尺度(0.91)上最大,在旬尺度(0.84)和季尺度(0.87)相关较小,研究黄土高原植被 NDVI 对水热因子响应关系的最优时间尺度应为月尺度,最大时滞为 1 月。

本研究结果表明,黄土高原植被 NDVI 和气温、降水之间的响应关系存在一定时间尺度依赖性。在旬、月尺度黄土高原植被 NDVI 和气温、降水的相关程度上,气温的相关程度要大于降水;在季尺度进行相关分析时,降水的相关程度大于气温。在旬尺度

上,黄土高原植被 NDVI 总体上对气温变化的响应大于降水,这与中国西北地区和东部地区的研究结果基本一致^[15-16]。在月尺度上,黄土高原植被 NDVI 总体上对气温的响应大于降水,这与黄土高原及黄河流域已有的研究结论基本一致^[17-18]。在季尺度上,黄土高原植被 NDVI 对降水的响应大于温度,这与陕北地区的研究结论基本一致^[19-20]。存在尺度依赖性的原因是黄土高原地区自东向西横贯半湿润、半干旱两个干湿带,其中西部的半干旱区的面积占整个高原面积的 70% 以上,半干旱区全年降水主要集中在 7、8 月份。

(1) 黄土高原近 10 a 来植被 NDVI 变化趋势整体上呈上升趋势,其中高原北部的内蒙古地区和宁夏灌溉区、青海西宁周围以及黄土高原东南部的秦岭北坡等地区的植被覆盖面积在持续增加,陇东、陇中和青海东部等地区呈下降趋势。

(2) 研究黄土高原地区植被 NDVI 对气温和降水最优尺度为月尺度。

(3) 黄土高原地区植被 NDVI 对气温和降水的响应关系存在尺度依赖性,植被 NDVI 对气温和降水的响应关系在旬、月尺度上是气温大于降水,在季尺度上则是降水大于气温。

[参 考 文 献]

- [1] Cui L L, Shi J. Temporal and spatial response of vegetation NDVI to temperature and precipitation in eastern China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20 (2):163-176.
- [2] Manuel C. Molles Jr. Ecology: concepts and applications[M]. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2008, 10: 426-427.
- [3] 于贵瑞. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积[M]. 北京:气象出版社,2003:4-7.
- [4] Curran P. Multispectral remote sensing of vegetation amount[J]. *Progress in Physical Geography*, 1980, 4 (3):315-341.
- [5] Nezlina N, Kostianoyb A, Li B L. Inter-annual variability and interaction of remote-sensed vegetation index and atmospheric precipitation in the Aral Sea region[J]. *Journal of Arid Environments*, 2005, 62:677-700.
- [6] 李霞,李晓兵,陈云浩,等. 中国北方草原植被对气象因子的时滞响应[J]. *植物生态学报*, 2007, 31(6):1054-1062.
- [7] Parinaz Bajgirana, A Darivishsefatb, A khalilic, et al. Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the northwest of Iran[J]. *Journal of Arid Environments*, 2008(2):1086-1096.

- [8] Jeremy Weiss, David Gutzlera, Julia A Coonrod, et al. Seasonal and inter-annual relationships between vegetation and climate in central New Mexico, USA[J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 57:507-534.
- [9] 刘亚龙,王庆,张明明,等. 山东地区 NDVI 与气象因子持续性分析[J]. *资源科学*, 2010, 32(9):1777-1782.
- [10] Zhang J Y, Dong W J, Ye D Zh, et al. New evidence for effects of land cover in China on summer climate [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(4):401-405.
- [11] Jean-Marie Kileshye Onema, Akpofure Taigbenu. NDVI-rainfall relationship in the Semliki watershed of the equatorial Nile[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2009, 34:711-721.
- [12] 李秀花,师庆东,常顺利,等. 1981—2001 年中国西北干旱区 NDVI 变化分析[J]. *干旱区地理*, 2008, 31(6): 940-945.
- [13] 夏露,刘咏梅,柯长青. 基于 SPOT 4 数据的黄土高原植被动态变化研究[J]. *遥感技术与应用*, 2008, 23(1): 67-71.
- [14] 李震,阎福礼,范湘涛. 中国西北地区 NDVI 变化及其与温度和降水的关系[J]. *遥感学报*, 2005, 9(3):308-313.
- [15] 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.
- [16] 王永立,范广洲,周定文,等. 我国东部地区 NDVI 与气温、降水的关系研究[J]. *热带气象学报*, 2009, 25(6): 725-733.
- [17] Xin Zh B, Xu J X, Zheng W. Spatiotemporal variations of vegetation cover on the Chinese Loess Plateau (1981—2006): Impacts of climate changes and human activities[J]. *Science in China Earth Sciences*, 2008, 51(1):67-78.
- [18] 刘绿柳,肖风劲. 黄河流域植被 NDVI 与温度、降水关系的时空变化[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(5):477-481.
- [19] 高蓓,张树誉,李星敏,等. 陕北地区 1997—2006 年 NDVI 变化与气候因子的关系[J]. *成都信息工程学院报*, 2009, 24(9):387-391.
- [20] 李登科. 陕北黄土高原丘陵沟壑区植被覆盖变化及其对气候的响应[J]. *西北植物学报*, 2009, 29(5):867-873.

(上接第 102 页)

- [7] 孙菁,陈桂琛,李玉林,等. 栽培藏药材麻花苳中四种苦苷类成分含量的季节性变化[J]. *天然产物研究与开发*, 2006, 18(3):1017-1019.
- [8] 娜英. 反相高效液相色谱法测定青海不同地区麻花苳中落干酸的含量[J]. *青海师范大学学报:自然科学版*, 2007(3):61-64.
- [9] 张金文,马静芳,牛俊仪,等. 地膜覆盖穴播小麦光合和干物质积累特点分析[J]. *甘肃农业大学学报*, 1999, 30(4):348-353.
- [10] 李建奇,黄高宝,牛俊仪,等. 覆膜及氮磷施用量对春玉米主要品质的调控[J]. *甘肃农业大学学报*, 2004, 39(5):516-519.
- [11] 薛福祥. 地膜不同覆盖方式对保护地黄瓜病害及生长发育的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2003, 38(1):31-34.
- [12] 何淑玲,葡海明,程卫东. 不同栽培方式对红芪生长发育动态的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2010, 45(4): 107-111.

(上接第 114 页)

- [14] 饶碧玉,王静,杨建荣,等. 基于层次分析法的元阳梯田灌区生态环境需水评价研究[J]. *水资源与水工程学报*, 2009, 20(1):35-39.
- [15] Klungboonkrong P, Taylor M A P. A Microcomputer-based system for multicriteria environmental impacts evaluation of urban road network[J]. *Computer, Environment and Urban System*, 1998, 22(5):425-446.
- [16] 李刚军,李娟,李怀恩,等. 基于标度转换的模糊层次分析法在宁夏灌区水权分配中的应用[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(6):872-879.
- [17] 郝慧,金辉. 基于 AHP 和模糊综合评价的区域水资源可持续利用评价:以广东省江门市为例[J]. *水资源与水工程学报*, 2007, 18(3):50-56.
- [18] Van der Kleij C S, Hulscher S J M H, Louters T. Comparing uncertain alternatives for a possible airport island location in the North Sea[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2003, 46(11/12):1031-1047.
- [19] 范兴建,朱杰,付永胜,等. 距离指数—层次分析法在沱江流域水安全系统评价中的应用[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2009, 25(2):129-132.
- [20] 苏永红,冯起,刘蔚,等. 应用模糊综合评判方法评价石羊河流域水资源承载力[J]. *干旱区研究*, 2009, 26(2): 169-175.
- [21] 尹民,崔保山,杨志峰. 黄河流域城市生态环境需水量案例研究[J]. *生态学报*, 2005, 25(3):397-403.
- [22] 杨奇勇,李景保,王克林,等. 湖南省水资源开发利用程度综合评价[J]. *水土保持通报*, 2007, 27(2):150-153.