

1982~2010年气候与土地利用 变化对无定河流域干旱指数变化的影响

王志伟¹, 杨胜天¹, 孙影², 董宝恩², 赵长森¹, 赵海根¹, 周旭^{1,3}, 姜和震¹, 刘晓林¹

(1.北京师范大学地理学与遥感科学学院 遥感科学国家重点实验室 环境遥感与数字城市北京市重点实验室, 北京 100875; 2.山东省东营市水文局, 山东 东营 257000; 3.贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001)

摘要:基于1982~2010年无定河流域的遥感影像、气象和土地利用数据,利用 Priestley-Taylor 公式计算出潜在蒸散发,进而得到干旱指数,将各气象因子与干旱指数差值进行叠加、逐象元相关分析,得到了无定河流域1982~2010年干旱指数的时空变化,并分析了气候和土地利用变化对干旱指数变化的影响。结果显示:(1)1982年、2010年干旱指数分别为2.01和2.13,总体趋势是趋干旱的;(2)干旱指数2.0以下的区域迅速减少,2.15以上的区域明显扩张;(3)干旱指数均呈现增加趋势,显著增加的区域集中于无定河流域中游和下游地区;(4)干旱指数变化同气温、水汽压、净辐射的变化成正相关,同降水量变化成负相关;(5)各种土地利用类型的干旱指数均呈现增长趋势,但是增长的幅度有所不同:林地>耕地>草地>建筑用地>水域>未利用地。(6)土地利用对干旱指数平均值的影响非常微弱,干旱指数的变化主要是由于气候变化导致的。

关键词:气候变化;土地利用变化;干旱指数;无定河流域

中图分类号:P333 文献标识码:A 文章编号:1000-0852(2016)03-0017-07

1 引言

干旱是中国北方地区主要的气象灾害,常给社会经济发展与人民生命财产带来严重损失。黄河流域面积广大,干旱是该流域的主要生态环境特征,涉及的因素十分复杂,因此,研究黄河流域的干旱状况以及影响因素,对认识黄河流域水循环,进而对水资源进行科学管控具有重要意义。国内外学者对气候干旱进行了大量研究。对于西北地区干旱气候的研究,国内大部分专家是通过分析降水气候特征进行的,其中李栋梁^[1]等人对中国西北夏季降水特征做了细致的分析;李耀辉^[2-3]等对中国西北春季、秋季降水做了深入的研究;蔡晓军^[4]等人也对中国西北春末夏初的降水特征做了细致的论述;Liu X^[5]等利用气象站点数据对1960~2010年

中国西北地区干旱指数的空间分布和时间变化特征进行了分析。国外学者 Salvati, L et al^[6]对意大利 Latium 地区不同土地利用类型上的气候干旱等级进行了分析。这些都只是针对造成干旱的气候因子或者人类活动因子,选择其一进行讨论分析,而干旱是由气候变化和人类活动共同所导致,因此从这两个方面研究干旱显得更合理。

作为一种常用的干旱量化指标,干旱指数得到了广泛的应用。干旱指数即年度潜在蒸散发与年降水量的比值。潜在蒸散发是指地表在充分供水条件下的蒸发量或蒸发率,也叫蒸发能力。气象站和水文站一般采用20cm口径蒸发皿(D20)和E601蒸发皿进行观测。这些仪器都是基于样地或者景观尺度的观测。而对于大空间尺度区域,由于复杂的时空异质性的存在,实验

收稿日期:2015-05-02

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划课题(2012BAB02B00);水利部公益项目(201101037);中央高校基本科研业务费专项

作者简介:王志伟(1985-),男,山东寿光人,在读博士生,主要从事水资源与水环境遥感研究。E-mail:wangzhiwei@mail.bnu.edu.cn

通讯作者:杨胜天(1965-),男,贵州贵阳人,教授,博士生导师,主要从事水资源与水环境遥感研究。E-mail:yangshengtian@bnu.edu.cn

观测很难准确反映出潜在蒸发的空间变化。

近年来,随着大量遥感空间数据的出现,国内外广泛应用水量平衡法、辐射法、气温法、质量守恒法和综合法等进行大空间尺度的潜在蒸散发的估算。国内外学者开展了大量的对比研究^[7-8],本文选取黄河流域的一级子流域无定河流域作为研究区,利用气象观测数据和遥感数据,对该研究区 1982~2010 年的干旱指数进行计算,并对各个气象因子与干旱指数做逐个象元相关回归分析,进而探明气候变化和人类活动对黄河流域的干旱状况的影响。

2 研究区概况

研究区无定河流域为黄河一级支流,地处黄土高原向毛乌素沙漠过渡区,介于 108°18'~111°45'E、37°14'~39°35'N 之间,面积约 3.0×10⁴km²。区内地势从西北向东南倾斜,海拔 600~1 800m。地貌主要分布有风沙草滩、河源涧地和黄土丘陵。气候为温带大陆性季风气候,半干旱向干旱过渡区域,年平均气温在 7.9~11.2℃,多年平均蒸发量为 1 211mm,年均降水量为 491.1mm,降水量从东南向西北减少。降水主要集中在夏季(6~9月),其间常有多次高强度的暴雨、大暴雨。流域土地利用和覆被类型以农业用地、草地和荒漠为主,林地不到 10%。由于过度开垦,导致该流域植被稀疏、生态系统退化和土壤深度侵蚀。

3 数据来源与方法

3.1 干旱指数数据获取

美国气象学会将干旱指标分为气象干旱、水文干旱、农业干旱及社会经济干旱等四个类型干旱指标^[9]。其中气象干旱指数中的干旱指数,即潜在蒸散发与降水量的比值(式 1),由于其充分考虑了降水、蒸散发以及下垫面的条件状况,成为一种常用的干旱量化指标,得到了广泛的应用。

$$AI = \frac{ET_p}{P} \quad (1)$$

式中:AI 为干旱指数(无量纲);ET_p 为潜在蒸散发(mm);P 为降水(mm)。

本文根据研究区实际情况选择 Priestley-Taylor 公式^[10],结合能量平衡原理计算潜在蒸散发。Priestley-Taylor 公式的表达式如下:

$$ET_p = \alpha \left(\frac{R_n - G}{\lambda} \right) \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \quad (2)$$

式中:ET_p 为潜在蒸散发(mm);α 为 Priestley-Taylor 系数;R_n 为地表净辐射量(MJ/m²);G 为土壤热通量(W/m²),通常情况下与净辐射 R_n 呈现一定的比例关系;λ 为汽化潜热(MJ/kg);Δ 为饱和水气压-温度曲线斜率(kPa/℃);γ 为干湿表常数(kPa/℃)。对于 Priestley-Taylor 系数的取值为 1.26。通过累加日潜在蒸散发可得到一年的潜在蒸散发数据。

$$R_n = (1 - \alpha)R_s - \sigma \left(\frac{T_{\max,k}^4 + T_{\min,k}^4}{2} \right) (0.34 - 0.14 \sqrt{e_d}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \quad (3)$$

$$R_{so} = (0.75 + 2z \times 10^{-5})R_a \quad (4)$$

式(3)~式(4)中:R_n 为地表净辐射(MJ/m²);α 为反照率(在此取 0.23 或用遥感产品输入,无量纲);R_s 为太阳辐射(MJ/(m²·day));R_a 为天文辐射(MJ/(m²·day));σ 为斯蒂芬-玻尔兹曼常数,取值 4.903×10⁻⁹MJ/(K⁴·m²);e_d 为实际水汽压(kPa);T_{max,k} 和 T_{min,k} 分别为 24h 内最高和最低绝对温度(K);R_{so} 为晴天地表短波辐射(MJ/m²);z 为海拔高度(m)。

$$G = R_n [F_c + (1 - VC)(F_s - F_c)] \quad (5)$$

式中:G 为土壤热通量(W/m²);R_n 为地表净辐射(MJ/m²);F_s 为裸地情况下 G 与 R_n 的比值,取值为 0.315;F_c 为全植被覆盖下 G 与 R_n 的比值,取值为 0.05;VC 为植被盖度。

3.2 气象要素数据获取

中国气象数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn>)下载气温、水汽压、降水年值数据集。由于无定河流域内的国家气象站点较少,因此利用区域内以及附近周边的 13 个气象站的年数据,采用克里金方法进行插值获得覆盖无定河流域的 250m 分辨率的气温、水汽压、降水年值数据集。为避免可能出现极端降水与极端温度的情况,取 1982~1986,2006~2010 年的气温平均值、降水平均值、水汽压平均值作为 1982 和 2010 年的年均气温值、年均降水值和年均水汽压值。

3.3 土地利用数据获取

按照《全国土地分类》标准,根据人机交互式解译方法^[11],解译出研究区 1978 年空间分辨率为 78m 以及 2010 年 30m 空间分辨率的土地利用图,建立空间拓扑关系,生成 1978 年、2010 年的土地利用图形数据库和属性数据库。利用 20 世纪 60 年代末期空间分辨率 2.7m 的锁眼卫星遥感数据对 1978 年数据解译成果进行验证,共选取验证点 98 个,解译精度达到 86.9%;2010 年数据通过实际踏勘验证,共进行野外踏勘三次,累计行程达 9 800.43km,选取 78 个典型特征点验

证解译结果,解译精度达到 93.2%。

土地利用转移矩阵能够全面反映区域土地利用结构的变化,显示出土地利用变化方向。它源于系统分析中对系统状态与状态转移的定量化描述,表示在一定时间段内,系统从 S 时刻向 $S+1$ 时刻状态转化的过程,因此可以有效反映土地利用格局的时空演变过程^[12],其公式为:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: S_{ij} 为时段初期与末期的土地利用状态; n 为土地利用类型的个数。

目前,常用的土地利用状态转移矩阵中向量可以是土地利用类型面积,也可以是期初土地利用类型向期末土地利用类型转化的概率,称为 Markov 转移概率矩阵^[13]。本文使用土地利用类型面积对无定河流域土地利用类型进行转移分析。

4 结果分析

4.1 干旱指数变化

通过最小化绝对偏差的方法,将成对数据拟合为线性模型:

$$Y = a + bX \quad (7)$$

使用公式(7)实现对干旱指数的变化趋势的规律拟合分析。将所得的 b 值输出成空间图。 X 表示时间, Y 表示干旱指数, b 为正值表示干旱指数随时间增大,负值表示随时间减小,其绝对值大小表示增减的快慢程度。

干旱指数的时间变化(图1):1982~1990年干旱指数呈现下降趋势;2001~2010年干旱指数同样呈现上升趋势;总体是变干旱的,2010年干旱指数比1982年干旱指数增幅5.74%。

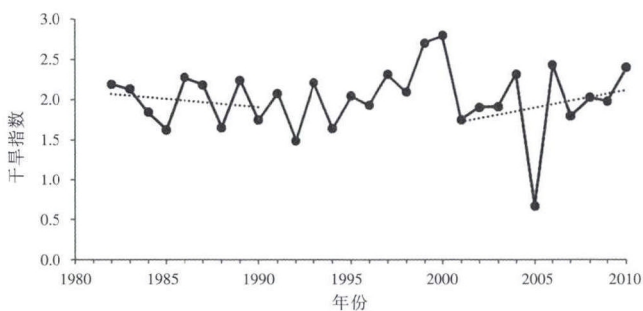


图1 1982~2010年间无定河流域干旱指数变化折线图
Fig.1 The trend of aridity index variation in the Wudinghe River basin during 1982~2010

干旱指数的空间变化:由图2可以看出,无定河流域干旱指数整体呈现增大趋势,显著增加的区域集中于无定河流域中游和下游地区。干旱指数2.0以下的区域迅速减少,2.15以上的区域明显扩张。使用最小化绝对偏差的方法,将研究区1982~2010年间的干旱指数数据拟合为无线性趋势图,干旱指数的增加速率,由西向东逐渐递减。

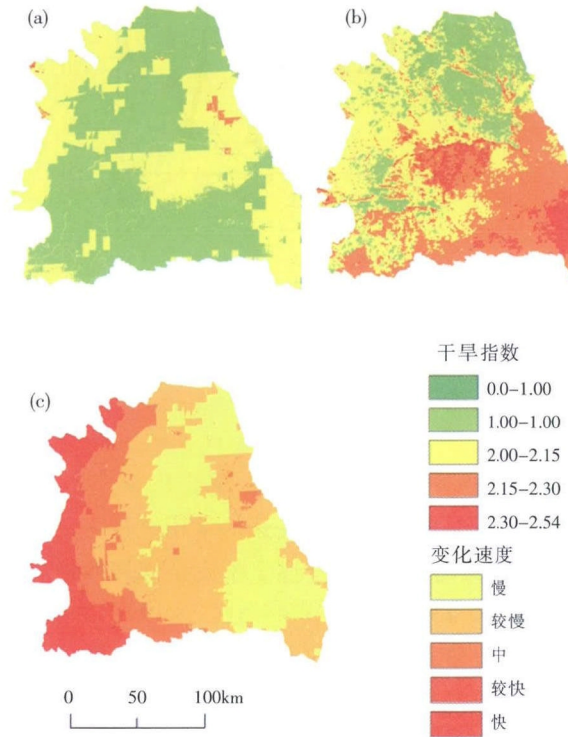


图2 1982年(a)与2010年(b)无定河流域干旱指数分布图以及1982~2010年间(c)无定河流域干旱指数变化的趋势图
Fig.2 Spatial distribution of the aridity index in the Wudinghe River basin in 1982(a) and 2010(b), and the trend of the aridity index variation in the Wudinghe River basin during 1982~2010(c)

4.2 气候变化对干旱指数的影响

4.2.1 气候变化特征

1982年和2010年,无定河流域的年均降水量分别为392.73mm和397.69mm,29年间降雨量先下降,后上升,2010年较1982年上升了4.96mm,上升1.3%。降水减少区域位于无定河流域的西南部,其他区域降水均呈增加趋势(具体变化见图3)。

研究区年均气温分别为10.20℃和11.06℃,期间升高了0.86℃,升幅达8.4%;气温均增加,增温幅度由中部向东北、西南两侧升高,东北部增温最明显。

年均水汽压分别为7.27 hPa和7.53 hPa,期间上

升了 0.26hPa, 上升 3.6%; 水汽压减少区域位于研究区的东北部、西南部, 其余区域水汽压均增加。

年均净辐射分别为 472.29MJ/m² 和 483.57MJ/m²,

期间上升了 11.28 MJ/m², 上升 2.4%; 净辐射减少区域位于研究区的中西部区域, 其余区域净辐射均增加。

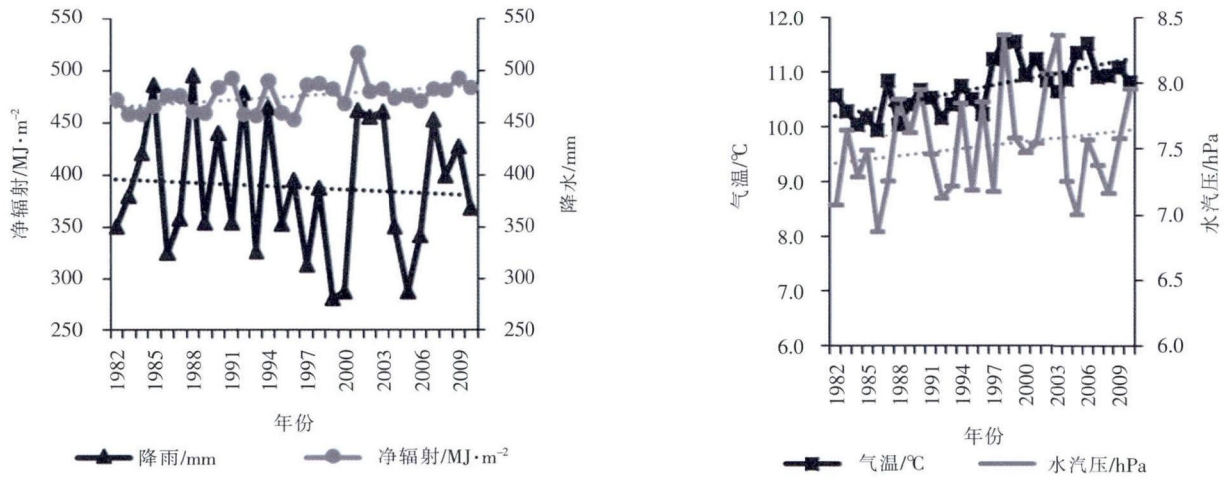


图3 1982~2010年间无定河流域降水、净辐射、气温、水汽压变化折线图

Fig.3 The variation of the precipitation, net radiation, air temperature and vapor pressure in the Wudinghe River basin during 1982~2010

4.2.2 气象要素与干旱指数之间的变化关系

相关分析是揭示变量间关系的常用统计方法。在 ArcGIS 10.1 环境下, 在建立逐个象元全部属性信息的基础上, 用 Combine 命令分别将气温、水汽压、净辐射、降水等因子差值与干旱指数差值进行叠加、逐象元相关分析, 选取气候因子变化与干旱指数变化的样本都在 1 000 个以上且大体均匀分布, 以保持显著水平在 0.001 以上, 并生成相关系数表(表 1)。

表1 气温、水汽压、净辐射和降水与干旱指数相关系数

Table1 The correlation coefficient between the air temperature, vapor pressure, net radiation, precipitation and aridity index

相关因子	气温	水汽压	净辐射	降水
干旱指数	0.22	0.80	0.97	-0.57
P 值	0.000	0.000	0.000	0.000

注: $n > 1000$

从表 1 和图 4 可看出:

干旱指数变化同气温变化成正比, 相关系数为 0.22 ($n > 1 000, P < 0.001$)。在空间分布上, 气温增加、干旱指数升高的区域位于研究区的中部和南部的大部分地区, 占 77.47%; 气温增加、干旱指数降低的区域位于东北部分的大部、西北部分地区, 占 17.29%; 气温不变或干旱指数不变的区域零散分布, 占 5.24%。

干旱指数变化同水汽压变化成正比, 相关系数为

0.80 ($n > 1 000, P < 0.001$)。在空间分布上, 水汽压增加、干旱指数升高的区域位于研究区的中南部, 占 75.30%; 水汽压减少、干旱指数降低的区域位于西南极小部分地区和中东部极小部分地区, 占 0.08%; 正相关区域共占 75.38%。水汽压增加、干旱指数降低区域位于研究区东北部大部 and 西北部的少部分地区, 占 16.65%; 水汽压减少、干旱指数升高区域位于西南部的西南角, 占 1.38%; 负相关区域共占 18.03%; 水汽压不变或干旱指数不变的区域零散分布, 占 6.60%。

干旱指数变化同净辐射变化成正比, 相关系数为 0.97 ($n > 1 000, P < 0.001$)。在空间分布上, 净辐射增加、干旱指数升高的区域位于研究区的中部和南部的大部分地区, 占 77.44%; 净辐射减小、干旱指数降低的区域位于研究区的西部和北部的区域零散分布, 占 1.87%; 正相关区域共占 79.31%。净辐射增加、干旱指数降低的区域位于东北部分的大部、西北部分地区, 占 14.96%; 净辐射减小、干旱指数升高的区域位于中部极小部分地区, 占 1.87%; 负相关区域共占 16.84%; 净辐射不变或干旱指数不变的区域零散分布, 占 5.71%。

干旱指数变化同降水量变化成反比, 相关系数为 -0.57 ($n > 1 000, P < 0.001$)。在空间分布上, 降水增加、干旱指数升高的区域位于研究区的东南部和西北部分地区, 占 36.77%; 降水减少、干旱指数降低的区域位于

研究区的北部和西部的零星分布的地区,占 0.58%;正相关区域共占 37.36%。降水增加、干旱指数降低的区域位于东北部及与西北部的少量地区,占 16.66%;降水减少、干旱指数升高的区域位于研究区的西南部,占 34.80%;负相关区域共占 51.46%。降水不变或干旱指数不变的区域零散分布,占 11.20%。

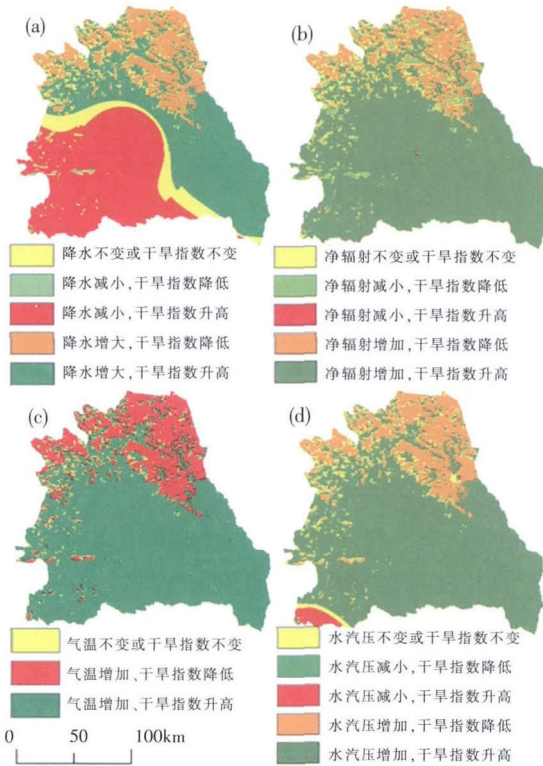


图4 1982~2010年间无定河流域气象因子与干旱指数相关关系变化空间分布图

Fig.4 Spatial distribution of the correlation variation between the meteorological factor and aridity index in the Wudinghe River basin during 1982-2010

4.3 土地利用变化对干旱指数的影响

4.3.1 土地利用变化特征

从土地利用转移矩阵(表2)可以看出,1982年~2010年,研究区主要土地利用类型间发生了复杂的相互转化,耕地、水域和未利用地面积减少(分别减少了18.73%、2.90%与12.23%),林地、草地和建设用地的面积增加(与1982年相比,分别增加了41.15%、14.28%、15.71%)。其中,耕地面积减少最多,其转出最大的地类为草地(2411.99km²),这是当地居民在政府退耕还林还草的政策引导下,进行退耕还林还草的结果;受经济建设和城镇化快速发展的影响,建设用地面积增加比较快,其转入的来源主要为耕地和未利用地。

表2 1982年~2010年无定河流域土地利用类型转移矩阵 (km²)
Table2 The transform matrix of the land use types in the Wudinghe River basin from 1982 to 2010 (km²)

1982	2010					
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
耕地	5766.44	745.80	2411.99	23.25	29.19	58.45
林地	201.28	1244.94	257.54	3.00	4.06	28.00
草地	1234.31	400.94	10225.01	26.44	18.50	487.20
水域	20.75	4.56	33.82	169.90	1.50	6.75
建设用地	18.75	3.50	17.82	0.75	135.52	5.06
未利用地	101.45	54.63	1215.56	7.06	21.13	5258.31

4.3.2 土地利用与干旱指数间的变化关系

将无定河流域的干旱指数变化与土地利用变化进行逐个象元变化分析,选取其中干旱指数变化面积比较大的土地利用类型(约占流域总面积的91.77%),进行统计分析,得到表3。可以看出:1982~2010年研究区土地利用类型变化对应的干旱指数变化中,干旱指数显著增加所对应的主要土地利用类型为:草地不变(35.14%)、耕地不变(24.48%)、未利用地不变(11.58%)、耕地转草地(10.42%),干旱指数增加的面积占流域总面积的73.17%,减小的面积占流域总面积的14.44%,不变面积占流域总面积的4.16%。

表3 1982年~2010年研究区土地利用类型变化对应的干旱指数变化
Table3 The variation of the aridity index by the variation first-level land use classes in the Wudinghe River basin during 1982-2010

干旱指数	土地利用变化	面积占比	变化占比
增加	草地(不变)	25.71%	35.14%
	耕地(不变)	17.92%	24.48%
	未利用地(不变)	8.47%	11.58%
	耕地转草地	7.62%	10.42%
	草地转耕地	3.82%	5.22%
	林地(不变)	3.81%	5.20%
	耕地转林地	2.39%	3.27%
	未利用地转草地	2.20%	3.01%
	草地转林地	1.23%	1.68%
	未利用地(不变)	7.04%	48.78%
减小	草地(不变)	5.87%	40.65%
	未利用地转草地	1.53%	10.57%
不变	草地(不变)	2.19%	52.64%
	未利用地(不变)	1.97%	47.36%

应用 ArcGIS 10.1 的分区统计功能(zonal statistics),根据每种土地覆盖类型对前面计算得到的两段时期

(1982~1986年和2006~2010年)无定河流域干旱指数栅格数据分别统计其干旱指数平均值,并计算其变化幅度(表4)。

表4 1982~1986年与2006~2010年无定河流域不同土地利用类型下的干旱指数变化趋势

Table4 The aridity index trends during 1982~1986 and 2006~2010 by first-level land use classes in the Wudinghe River basin

土地利用类型	1982~1986	2006~2010	增减幅度
耕地	2.02	2.21	+9.17%
林地	2.02	2.21	+9.37%
草地	2.01	2.12	+5.26%
水域	2.08	2.18	+4.71%
建筑用地	2.02	2.12	+4.90%
未利用地	2.00	2.02	+1.06%

无定河流域不同土地利用类型下的干旱指数变化(表4)可以看出:各种土地利用类型的干旱指数均呈现增长趋势,但是增长的幅度有所不同。耕地、林地的增长幅度最大,分别为9.17%、9.37%;草地、水域和建筑用地的增长幅度次之,为5.26%、4.71%、4.90%;未利用地的干旱指数增长幅度最小,仅为1.06%。

为分析气候不变的情境下土地利用变化对研究区的干旱指数的影响,将2010年的土地利用格局(表2)与1982~1986年间各土地利用类型上的干旱指数均值(表4)相乘,得到气候不变的情况下2010年干旱指数平均值为2.0119,而1982年的干旱指数平均值为2.0122。土地利用变化使得研究区的干旱指数平均值整体降低了0.02%,可以看出,在无定河流域土地利用变化对干旱指数变化的影响非常微弱,干旱指数的变化主要是由于气候变化所导致的。

5 结论与讨论

5.1 结论

(1)1982年、2010年干旱指数分别为2.01和2.13,总体趋势是变干旱的;

(2)干旱指数2.0以下的区域迅速减少,2.15以上的区域明显扩张。

(3)干旱指数减小的区域集中于东北部地区和西北部地区,其它地区干旱指数均增大,显著增加的区域集中于无定河流域中游和下游地区。

(4)干旱指数变化同气温、水汽压、净辐射变化成正相关;同降水量变化成负相关。

(5)各种土地利用类型的干旱指数均呈现增长趋

势,但是增长的幅度有所不同:林地>耕地>草地>建筑用地>水域>未利用地。

(6)土地利用对干旱指数平均值的影响非常微弱,干旱指数的变化主要是由于气候变化所导致的。

5.2 讨论

无定河流域干旱指数变化是在全球气候变化和人类活动的双重影响下发生的,两者的影响强度在不同区域存在显著差异。1982~2010年,研究区存在一定比例的“降水增加、干旱指数增加”或“降水减少、干旱指数减少”等正相关区域,这说明人类活动的影响在该区占据了主导地位。本文在讨论气候变化与土地利用变化的过程中还存在以下不足:

(1)无定河流域一半的区域属于风沙区,因此计算蒸散发不应该忽略风速的影响,该计算模型存在的问题之一就是没有考虑本区域的风速因子。以后完善可以考虑使用Penman-Monteith公式替换Priestley-Taylor公式进行潜在蒸散发的计算。

(2)土地利用与局地气候变化之间也存在着复杂的相互作用,研究区可能存在土地利用变化影响局地气候的变化等问题,另外不同土地利用类型的相互转换,存在相互抵消进而影响干旱指数的平均值的情况,如耕地转为草地,又存在部分草地被开垦为耕地的情况,土地利用变化对干旱指数的影响还有待进行更深入、细致的研究。

参考文献:

- [1] 李栋梁,谢金南,王文. 中国西北夏季降水特征及其异常研究[J]. 大气科学, 2000,21(3):37-46. (LI Dongliang, XIE Jinan, WANG Wen. A study of summer precipitation features and anomaly in northwest China[J]. Scientia Atmospherica Sinica, 2000,21(3):37-46. (in Chinese))
- [2] 李耀辉,李栋梁,赵庆云. 中国西北春季降水与太平洋秋季海温的异常特征及其相关分析[J]. 高原气象, 2000,19(1):100-110. (LI Yaohui, LI Dongliang, ZHAO Qingyun. A study on spring rainfall anomaly in northwest China and pacific features in autumn and their correlations[J]. Plateau Meteorology, 2000,19(1):100-110. (in Chinese))
- [3] 李耀辉,李栋梁,赵庆云. 中国西北地区秋季降水异常的特征分析[J]. 高原气象, 2001,20(2):158-164. (LI Yaohui, LI Dongliang, ZHAO Qingyun. An analysis on characteristic of autumn rainfall anomaly in northwest China[J]. Plateau Meteorology, 2001,20(2):158-164. (in Chinese))
- [4] 蔡晓军,李栋梁,姚辉. 中国西北地区春末夏初降水异常的时空变化特征[J]. 高原气象, 1998,17(2):61-72. (CAI Xiaojun, LI Dongliang, YAO Hui. The spatial and temporal variation features of precipitation anomaly during late spring and early summer over

- northwest China[J]. Plateau Meteorology, 1998,17(2):61-72. (in Chinese))
- [5] Liu X, Zhang D, Luo Y, et al. Spatial and temporal changes in aridity index in northwest China: 1960 to 2010 [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2013,112(1-2):307-316.
- [6] Salvati L, Perini L, Sabbi A, et al. Climate aridity and land use changes: a regional-scale analysis [J]. Geographical Research, 2012,50(2):193-203.
- [7] 陈云浩,李晓兵,史培军. 非均匀陆面条件下区域蒸散量计算的遥感模型[J]. 气象学报, 2002,60(4):508-512.(CHEN Yunhao, Li Xiaobing, SHI Peijun. The remote sensing model for regional evapotranspiration estimation over heterogeneous landscape[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2002,60(4):508-512. (in Chinese))
- [8] Ray S S, Dadhwal V K. Estimation of crop evapotranspiration of irrigation command area using remote sensing and GIS [J]. Agricultural Water Management, 2001,49(3):239-249.
- [9] 董前进,谢平. 水文干旱研究进展[J]. 水文, 2014,34(4):1-7. (DONG Qianjin, XIE Ping. Advances in hydrological drought research[J]. Journal of China Hydrology, 2014,34(4):1-7. (in Chinese))
- [10] Priestley C, Taylor R J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters [J]. Monthly Weather Review, 1972,100(2):81-92.
- [11] 杨胜天,朱启疆. 人机交互式解译在大尺度土壤侵蚀遥感调查中的作用[J]. 水土保持学报, 2000,14(3):88-91. (YANG Shengtian, ZHU Qiqiang. Affect of man-computer interactive interpretation method in soil erosion survey of large scale by remote sensing[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000,14(3):88-91. (in Chinese))
- [12] 全斌. 土地利用覆盖变化导论 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2010. (QUAN Bin. The Introduction to Land Use and Land Cover Change [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2010. (in Chinese))
- [13] 程磊,徐宗学,罗睿,等. 渭河流域 1980-2000 年 LUCC 时空变化特征及其驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2009,16(5):1-6+30. (CHENG Lei, XU Zongxue, LUO Rui, et al. Spatial-temporal characteristics of lucc and driving factor analysis for the Wei River basin from 1980 to 2000 [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2009,16(5):1-6+30. (in Chinese))

Effects of Climate and Land Use Change on Changes of Aridity Index in Wudinghe River Basin, China: 1982 to 2010

WANG Zhiwei¹, YANG Shengtian¹, SUN Ying², DONG Baoen², ZHAO Changsen¹,
ZHAO Haigen¹, ZHOU Xu^{1,3}, LOU Hezhen¹, LIU Xiaolin¹

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, School of Geography, Beijing Normal University, Beijing Key Laboratory for Remote Sensing of Environment and Digital Cities, Beijing 100875, China;

2. Dongying Hydrology Bureau of Shandong Province, Dongying 257000, China;

3. School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: Based on the remote sensing images, meteorological and land use data of the Wudinghe River basin during 1982-2010, we used Priestley-Taylor formula to calculate potential evapotranspiration, then got aridity index of this period. With overlaying the meteorological factors and aridity index difference, pixel-by-correlation analysis, the aridity index variations over spatial and temporal in the study area during this period were analyzed, and the influence of the climate and land use variations on the aridity index changes was studied. The results show that: (1) The aridity indexes of the year 1982 and 2010 were 2.01 and 2.13 respectively. The trend was drought; (2) There was a rapid decline in the regional aridity index of 2.0 or less, while a significant expansion of the area above 2.15; (3) It showed an increasing trend with the aridity index, a significant increase in the region focused on the middle reaches and downstream areas of the Wudinghe River basin; (4) The variation of aridity index was positively correlated with the changes in temperature, vapor pressure and net radiation, while negatively correlated with changes in precipitation; (5) The aridity index of all the land use types showed a growth trend, but the growth rate was different: forestland > cultivated Land > pasture > building land > water body > unused land; (6) The impact of land use to the average aridity index was very weak, and the variation of aridity index was mainly caused by climate change.

Key words: climate change; land use change; aridity index; Wudinghe River Basin