

辽宁省土壤水分的时空变化格局分析

高小六^{1,2}, 吴立新¹, 刘善军¹

(1.东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004; 2.辽宁省交通高等专科学校, 辽宁 沈阳 110122)

摘要: 文章利用基于微波遥感的土壤水分产品评价辽宁省近40年(1979~2015)来干旱事件的时空变化特征。研究表明: 辽宁省地表土壤水分呈现东高西低的空间分布; 采用了一种具有时-频多分辨功能的小波分析(Wavelet Analysis)来更好地研究土壤水分时间序列变化规律, 发现辽宁省年平均土壤水分随着时间具有波动降低趋势, 并伴随有10年和20年左右的两个主要周期; 从季节上看, 四个季节的土壤水分时间序列变化十分剧烈, 春夏两季土壤水分呈现出增加趋势, 秋冬两季的土壤水分呈现出降低趋势。

关键词: 土壤水分; 时空分布特征; ECV SM; 季节性变化

中图分类号: X703

文献标志码: A

DOI:10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2017.02.017

An Analysis of Spatial and Temporal Changes of Soil Moisture Content in Liaoning Province

Gao Xiaoliu^{1,2}, Wu Lixin¹, Liu Shanjuan¹

(1.College of Resource and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China;

2.Liaoning Provincial College of Communications, Shenyang 110122, China)

Abstract: In this article, soil moisture products based on microwave remote sensing are used for evaluation of the spatial and temporal change characteristics of drought events in Liaoning Province over the past 40 years (from 1979 to 2015). The research results show that a spatial distribution of surface soil moisture content in Liaoning Province presents high in the east but low in the west. Wavelet analysis with multi-resolution time-frequency functions is applied to conduct a better research of time-series change law of soil moisture content. It is found that over time, a reduced fluctuation exists in the average annual soil moisture content in Liaoning Province, with two primary cycles of about 10 years and 20 years. From the perspective of seasons, the soil moisture content in four seasons has a dramatic change in time series, with increasing tendency in spring and summer but decreasing tendency in autumn and winter.

Keywords: Soil Moisture Content; Spatial and Temporal Distribution Characteristics; ECV SM; Seasonal Change

CLC number: X703

全球气候变化受多种因素影响, 如云的密度或南极冰盖范围。其中土壤水分也是这些因素中的一个重要组成部分, 而由于土壤水分数据很难在全球范围来测量。因此, 基于遥感技术和数据同化的土壤水分估算结果是用于研究土壤水分时空变化的主要数据来源^[1-5]。尽管土壤水分仅占地球上总储水量的0.001%, 但对气候系统来说是一个关键的因素^[6-9]。气候变化与土壤水分之间的关系存在地域差异, 因此研究区域尺度的土壤水分时空变化也变得极为重要, 有利于加强对局部

地区的气候变化认识^[10-12]。

目前土壤水分的观测资料较少, 全国的土壤水分观测台站数量有限, 国家气象局气象信息中心提供的原始资料中共包含276个台站, 台站观测数据空间分辨率低。多源融合的土壤水分产品(Essential Climate Variable-Soil Moisture, ECV SM)是目前世界上第一套长时间系列遥感的土壤水分产品, 其覆盖时间为1978年到2015年, 其空间分辨率为0.25°。该产品结合了4种被动微波遥感数据(SMMR、SSM/I、TMI、AMSR-E和

收稿日期: 2017-01-23

作者简介: 高小六(1977-), 男, 博士、副教授。研究方向: 微波遥感、环境保护。

SMOS)和两种主动微波遥感数据。在ECV SM的产品生成过程中,克服了主被动土壤水分产品之间的不一致性,保留了各种来源土壤水分产品之间的动态变化特征,包括季节性动态和年际动态。因此,ECV SM产品能够用于分析地表土壤水分的长时间系列变化。

研究利用ECV SM卫星遥感土壤水分产品,使用IDL编程语言对其进行数据预处理,在此基础上进行逐日土壤水分、逐月土壤水分和逐年土壤水分的生成,首次将ECV SM产品用于区域尺度(辽宁省)土壤水分的时空变化分析。

1 辽宁省土壤水分的时空分布特征

1.1 辽宁省土壤水分的空间分布特征

将1979~2014年ECV SM产品进行时间平均得到辽宁省多年平均土壤水分的空间分布特征,见图1。

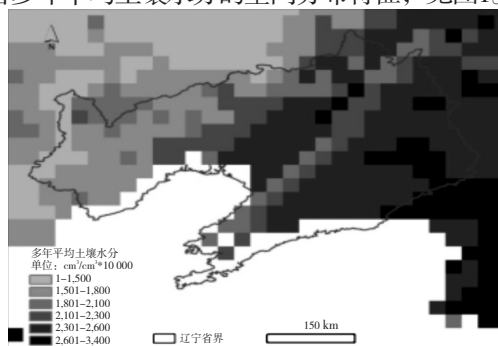


图1 辽宁省多年平均土壤水分的空间分布

由图1可见,辽宁省全省的土壤表层平均土壤水分为 $0.219 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。土壤水分总体上呈现西低东高(即东湿西干)的分布趋势,且出现西南-东北向规律。这与辽宁省的降雨分布规律相一致。辽宁省是东北地区降水量最多的省份,年降水量在 $600 \sim 1\,100 \text{ mm}$ 之间。东部山地丘陵区年降水量高于 $1\,100 \text{ mm}$;中部平原降水量比较适中,年平均降雨量约 600 mm ;西部山地丘陵区与内蒙古高原相连,年降水量约为 400 mm ,是全省降水最少的区域。

1.2 辽宁省土壤水分的时间动态变化特征

辽宁省年平均土壤水分的时间系列动态变化

特征,见图2。

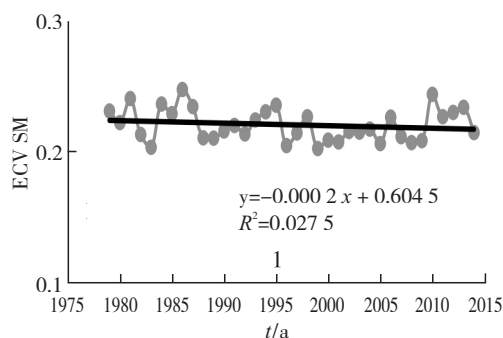


图2 辽宁省年平均土壤水分的时间动态变化特征

由图2可见,土壤水分存在一定的降低趋势,从1979到2014年,全省土壤水分大约降低了 $0.0067 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,约为平均土壤水分的3.1%。从总体上看,尽管土壤水分在时间上存在降低趋势,但由于土壤水分呈现上下波动的变化特征,其降低趋势并不十分明显。

为分析辽宁省土壤水分的周期性振荡特征,对该数据进行时间系列分析。在时间序列研究中,时域和频域是常用的两种基本形式。其中,时域分析具有时间定位能力,但无法得到关于时间序列变化的更多信息;频域分析(如傅里叶变换)虽具有准确的频率定位功能,但仅适合平稳时间序列分析。然而,地学中许多现象(如河川径流、地震波、暴雨、洪水等)随时间的变化往往受到多种因素的综合影响,大都属于非平稳序列,它们不但具有趋势性、周期性等特征,还存在随机性、突变性以及“多时间尺度”结构,具有多层次演变规律^[13]。对于这类非平稳时间序列的研究,时域分析和频域分析对此均无能为力。文章采用一种具有时-频多分辨功能的小波分析(Wavelet Analysis)来更好地研究土壤水分时间序列变化规律,它能清晰地揭示出隐藏在时间序列中的多种变化周期,充分反映系统在不同时间尺度中的变化趋势,并能对系统未来发展趋势进行定性估计。

对时间系列土壤水分数据进行小波变换后得到的小波系数及其等值线,见图3。

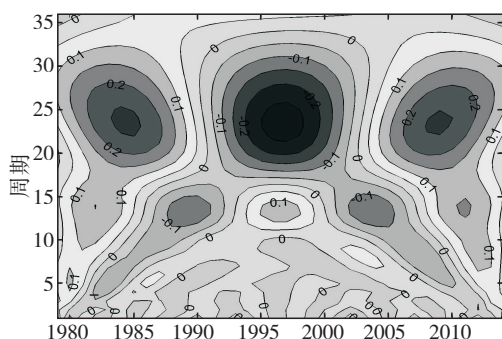


图3 基于时间系列土壤水分的小波系数与等值线图

从图3中可以清楚地看到，土壤水分具有20年和10年左右的两个主要周期。且在本研究时段中，土壤水分存在两个偏少中心和一个偏多中心。偏少中心大约为1984年和2009年，偏多中心为1998年。图4为根据图3中数据得到的小波方差与时间的关系，从中也可以清楚地观察到土壤水分的时间变化周期，主要周期为约22年，次要周期约为13年。

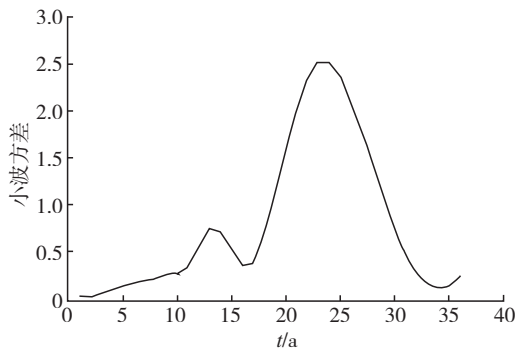


图4 基于时间系列土壤水分数据的小波方差与时间的关系

土壤水分的变化受到多种因素的影响，但主要与降雨量和蒸发量相关，蒸发量主要受到太阳辐射、土壤自身的水分含量控制。在此，我们假设气温是与辐射强度相关的变量，用来表征蒸发量。通过分析1979~2014年辽宁省平均气温与降雨的时间变化规律发现，二者均存在一定的上升趋势，气温的升高趋势更为明显，降雨量虽然也存在升高趋势，但是波动特征比较明显，见图5。

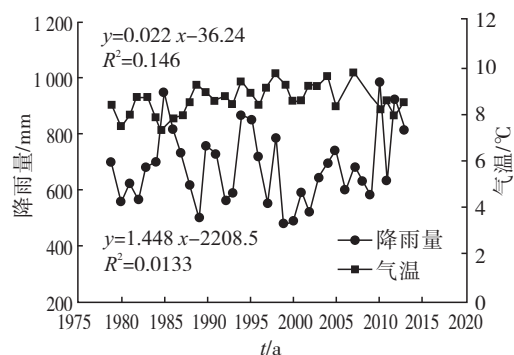


图5 辽宁省平均年降雨量和气温的时间变化规律

辽宁省1979~2014年期间平均降雨量、气温和土壤水分之间的相关系数，见表1。

表1 土壤水分、降雨量与气温之间的相关系数 (R)

统计分析结果

R	土壤水分	降雨量	气温
土壤水分	1	0.61	-0.48
降雨量	-	1	-0.32
气温	-	-	1

注：相关系数 R 的绝对值在0.3以下是无直线相关，0.3以上是直线相关，0.3~0.5是低度相关，0.5~0.8是显著相关，0.8以上是高度相关。

由表1可见，①降雨量与土壤水分显著正相关，相关系数 (R) 为0.61，即降雨量越大，土壤水分越高，这再次证实了基于微波遥感数据估算的土壤水分数据集的有效性；②土壤水分与气温之间存在负相关关系，相关系数 (R) 为-0.48。这些事实说明土壤水分除了与降雨具有明显的关系外，还受到气候变化的影响。气温升高将会增强地表的蒸散发能力，从而使得地表土壤水分含量降低。

2 辽宁省土壤水分的季节性变化规律

2.1 季节性土壤水分的空间分布规律

为了方便讨论土壤水分的季节性变化特征，分别对四个季节作出以下规定：春季（3月、4月和5月），夏季（6月、7月和8月），秋季（9月、10月和11月）和冬季（12月、1月和2月）。春季和夏季的空间分布规律与全年的空间分布规律类似，呈现东西向渐变分布，西南部分的土壤水分最低，东北部分的土壤水分最高。秋季和冬季的空间分布虽然也是东西向分布，但是土壤水

分的最大值出现在中部地区,东部山地的土壤水居中,且高于辽宁西部地区,造成该现象的具体原因还需要进一步进行分析。

春夏秋冬四季的平均土壤水分依次为0.207, 0.237, 0.229和0.205 cm^3/cm^3 。需要说明的是,由于该土壤水分是基于卫星的估算结果,辽宁省冬季多有冻土存在,因此冬季的土壤水分存在不少缺省值,即由于冻土的存在导致土壤水分的估算值过低或不存在。在计算冬季土壤水分均值的过程中,仅仅将成功估算的土壤水分进行平均,因此该研究中的冬季土壤水分略高于实际值。从数据来看,四个季节的土壤水分含量差别不是很明显,夏秋两季的土壤水分略高于冬春两季。

从不同季节均可以看出,辽宁省中部的土壤

水分较高,这种空间格局在秋季和冬季尤为明显。在辽东半岛南部也存在土壤水分值较高的情况。造成这种情况的原因可能有两种情况:①该区域地势低洼,分布有大量河流和坑塘水库;②该区域分布有大量水田。在秋冬两季,相比于其它土地利用类型,水田仍然保留有大量的水分。

2.2 不同季节土壤水分的时间变化规律

从年平均土壤水分来看,近40年来辽宁省的土壤水分变化不大。但从不同季节来看,土壤水分不仅具有更强的变化幅度,且变化趋势也与全年土壤水分不尽一致。辽宁省春夏秋冬四季的土壤水分时间变化规律,见图6。

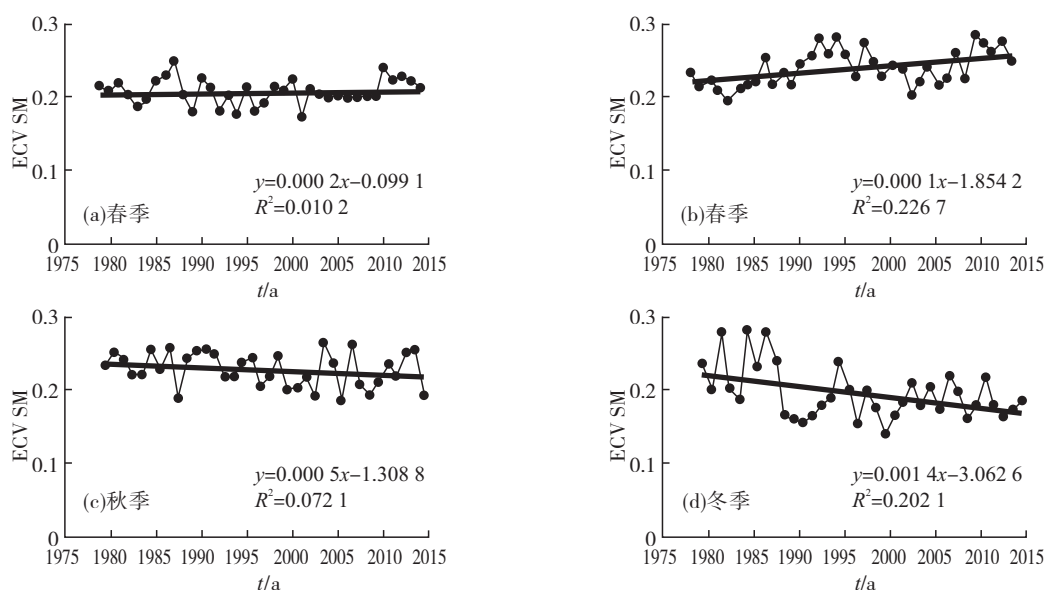


图6 辽宁省不同季节土壤水分的时间变化规律

由图6可见,春夏两季土壤水分呈现出增加趋势,且夏季土壤水分增加幅度高于春季,约为春季的5倍;秋冬两季的土壤水分呈现出降低趋势,且冬季土壤水分的降低幅度高于秋季,约为秋季的3倍。在不考虑土壤水分的变化趋势条件下,冬季土壤水分的变化速率最大,其次是夏季,之后是秋季和春季。正是由于不同季节土壤水分的变化趋势不同,从而导致全年平均的土壤水分变化趋势并不明显。因此,土壤水分对全球水循环、地表反照率和能量平衡的影响十分重要。此外,春夏两季的土壤水分与农作物的生长

和粮食产量也密切相关,深入分析土壤水分的时间变化规律也将有助于提升在全球变化背景下对农业生产的影响能力。

不同季节年平均土壤水分的平均值、时间变化量和相对变化量,见表2。

表2 近40年来辽宁省土壤水分的平均值、变化量与相对变经量

时间	平均值 $/\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$	变化量 $/\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$	相对变化量/%
春季	0.207	0.0058	2.8
夏季	0.237	0.0375	15.8
秋季	0.229	0.0198	8.7
冬季	0.205	0.0516	25.2
全年	0.219	0.0067	3.1

由表2可见,近40年来冬季土壤水分的变化量最大,约为 $0.0516\text{ cm}^3/\text{cm}^3$;其次是夏季,土壤水分变化量为 $0.0375\text{ cm}^3/\text{cm}^3$;再次是秋季,土壤水分变化量是 $0.0198\text{ cm}^3/\text{cm}^3$;最后是春季,土壤水分变化量为 $0.0058\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。从相对变化量来看,冬季的土壤水分相对变化量最大,

约为25.2%;其次是夏季,约为15.8%;再次是秋季,约为8.7%;最后是春季,约为2.8%。从全年尺度上看,近40年来土壤水分的变化量为 $0.0067\text{ cm}^3/\text{cm}^3$,其对应的相对变化量约为3.1%。

辽宁省各季节土壤水分进行小波分析的结果,见图7。

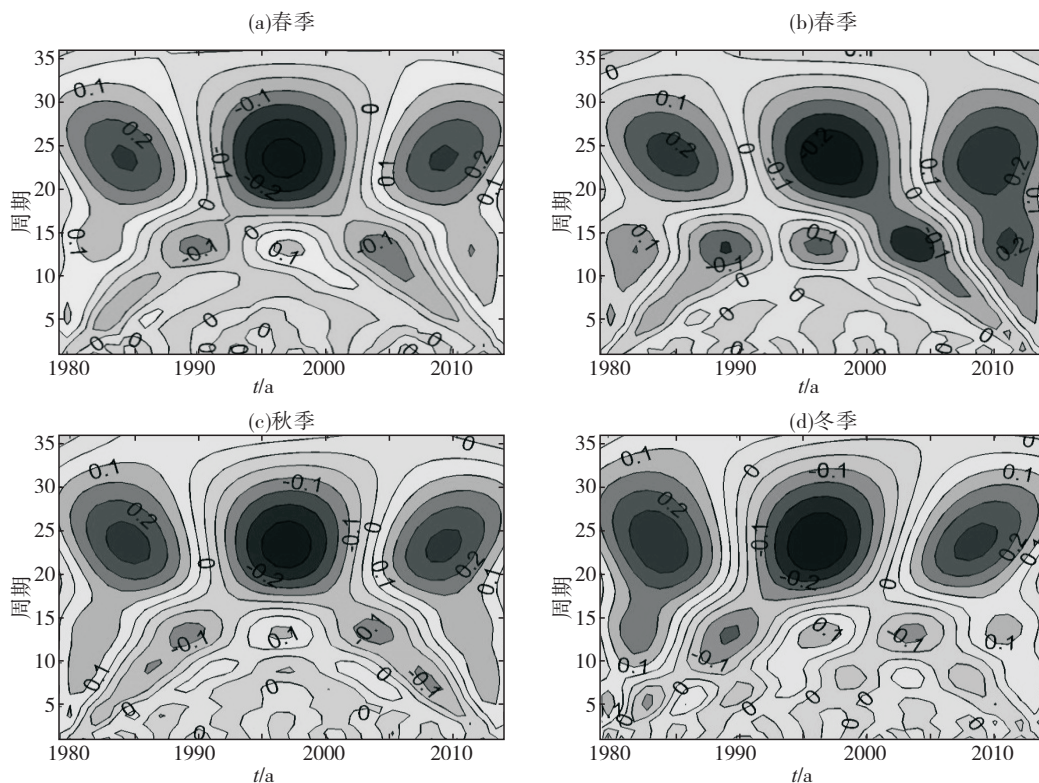


图8 基于时间系列土壤水分的辽宁省四个季节的小波系数与等值线图

由图7可见,尽管不同季节的土壤水分具有不同的变化趋势和变化速率,但是它们却具有相同的周期特征。各季节的土壤水分小波系数虽然在细节上具有差异,但是其总体特征却是相同的。各个季节的土壤水分都具有相同的变化周期,且都分别具有一个偏湿中心和两个偏干中心,且出现时间都大致相同。不仅如此,各个季节的土壤水分周期性特征与全年的土壤水分周期性特征相同。

3 结语

文章以欧洲空间局开发的ECV SM土壤湿度产品为遥感数据源,结合从中国气象数据共享网提供的1979~2014年辽宁省27个气象观测站的年平均气象资料,运用IDL编程语言进行数据预处理,在此基础上进行逐日、逐月、逐年土壤水

分的生成。分析了辽宁省土壤水分的时空分布特征。通过研究得到以下结论:

(1) 近40年ECV SM产品统计结果显示,辽宁省全省的土壤表层平均土壤水分为 $0.219\text{ cm}^3/\text{cm}^3$,土壤水分总体上呈现西低东高(即东湿西干)的分布趋势,且出现西南-东北向规律,这与辽宁省的降雨分布规律相一致。

(2) 通过对时间系列土壤水分数据进行小波分析得到,辽宁省土壤水分存在两个偏少中心和一个偏多中心。偏少中心大约为1984年和2009年,偏多中心为1998年。从小波变换得到的小波方差与时间的关系,可以看到土壤水分的时间变化周期,主要周期为约22年,次要周期约为13年。

(3) 通过分析辽宁省1979~2014年期间平均降雨量、气温和土壤水分之间的相关系数得到,降雨量与土壤水分显著正相关,相关系数

(R)为0.61;土壤水分与气温之间存在负相关关系,相关系数(R)为-0.48。这些事实说明土壤水分除了与降雨具有明显的关系外,土壤水分还受到气候变化的影响。

(4)统计了不同季节的年平均土壤水分的平均值、时间变化量和相对变化量,四个季节的土壤水分时间序列变化十分剧烈,春夏两季土壤水分呈现出增加趋势,秋冬两季的土壤水分呈现出降低趋势,冬季土壤水分的变化速率最大,其次是夏季,之后是秋季和春季。

参考文献

- [1]邓辉.土壤水分遥感监测方法进展[J].中国农业资源与区划,2004,25(3):46-49.
- [2]张红梅,沙晋明.遥感监测土壤湿度的方法综述[J].中国农学通报,2005,21(2):307-311.
- [3]冯志敏,邢文渊,肖继东,等.遥感监测土壤湿度综述及其在新疆的应

- 用展望[J].测绘科学,2008,33(5):94-102.
- [4]邹慧,高光耀,傅伯杰.干旱半干旱草地生态系统与土壤水分关系研究进展[J].生态学报,2016,27(11):3127-3136.
- [5]张锐,李兆富,辛强,等.原状水稻土土壤湿度高光谱特征及反演模型[J].土壤通报,2017,48(1):32-38.
- [6]孙淑芬.陆面过程的物理、生化机理和参数化模型[M].北京:气象出版社,2005.
- [7]刘惠民.陆面过程模型研究进展简介[J].气象研究与应用,2009,30(4):35-37.
- [8]马柱国,魏和林,符澡斌.中国东部区域土壤湿度的变化及其与气候变率的关系[J].气象学报,2000,58(3):278-287.
- [9]王静,祁莉,何金海,等.青藏高原春季土壤湿度与我国长江流域夏季降水的联系及其可能机理[J].地球物理学报,2016,59(11):3985-3995.
- [10]张悦,沈润平,彭露露,等.基于重建MODIS无云数据反演京津冀地区土壤湿度[J].江苏农业科学,2016,44(12):375-378.
- [11]郑兴明,赵凯,李晓峰,等.利用微波遥感土壤水分产品监测东北地区春涝范围和程度[J].地理科学,2015,35(3):334-339.
- [12]陈敏玲,张兵伟.内蒙古半干旱草原土壤水分对降水格局变化的响应[J].植物生态学报,2016,40(7):658-668.
- [13]刘宇峰,孙虎,原志华.基于小波分析的汾河河津站径流与输沙的多时间尺度特征[J].地理科学,2010,32(6):764-770.

(上接第18页)

②蒲河北污河道。沈阳市蒲河北部污水厂排

水河道时而受事故排污影响,属中等污染型河道见表8。

表8 北污河道水质

采样位置	DO	COD	氨氮	总氮	总磷	底质
上段	4.8~9.9	75	0.50	8.21	1.68	黑
中段	5.0~8.5	67	0.52	8.20	1.45	黑
下段	4.5~9.7	80	0.72	8.30	0.99	黑

表8的测试结果表明,该河道DO较高且变化较大,但未达到黑臭河道的水平。初步验证分析结果表明,水体COD与人工湖相似,其它指标验证分析结果也基本与人工湖相同。

4.3.3 重污染水体

①白塔堡河污染河道。沈阳市白塔堡河是以污水为主体的水体,表9为该水系按程序的测试结果。该河道水体DO值在3 mg/L左右且变化范围小,具有重污染水体特征。COD等指标的验证结果证明DO值判定的可信性。

表9 水体DO等指标测试结果					mg · L ⁻¹
采样位置	DO	COD	氨氮	总磷	
白塔堡河上游	2.2	247	14.21	2.34	
白塔堡河中游	3.0	109	27.11	3.15	
白塔堡河下游	4.2	98	11.9	1.32	

②蒲河纳污河道。沈阳市蒲河纳入制药废水的河道水质波动大且污染较重。DO测试值小于3 mg/L。初步验证为COD较高但能见度较好。相关测试结果见表10。

表10 企业排水水质

采样位置	DO	COD	氨氮	总磷
排水处	1.0	195	18.9	1.31
中段河道		170	18.0	1.10
入蒲河口	2.0~3.0	112	12.8	1.04

5 结论

针对城市河流特点,在水体构成、生物多样性环境建设、水体质量等方面筛选了代表性考核指标,建立了包括指标和控制值的水生态考核指标体系,研究制定了指标体系的应用办法,通过实践验证了指标体系应用的可行性。研究成果为城市河流的水生态管理提供了支撑,对其它类型河流的水生态修复与建设亦具有重要的参考价值。

参考文献

- [1]宋梦林.城市水生态系统健康评价及水生态文明建设应用研究[D].郑州:郑州大学,2016.
- [2]荆勇.蒲河流域污染状况与生态修复技术对策的研究[J].环境保护科学,2011,37(06):29-32.
- [3]陈璞.水生态文明城市建设的评价指标体系研究——以安徽省六安市为例[D].济南:济南大学,2014.
- [4]刘星光.生态城乡系统研究——以敦煌地区为例[D].兰州:兰州大学,2016.
- [5]荆勇.蒲河流域水生态特点与规律的研究[J].环境保护科学,2013,39(02):27-32.
- [6]单保庆,王超,李叙勇,等.基于水质目标管理的河流治理方案制定方法及其案例研究[J].环境科学学报,2015,35(08):21-30.
- [7]左其亭.水生态文明建设几个关键问题探讨[J].中国水利,2013(04):9-11+14.
- [8]王文珂.水生态文明城市建设实践思考[J].中国水利,2012(23):49-52.
- [9]荆勇.蒲河水资源调控与水质环境质量改善对策的研究[J].环境保护科学,2013,39(01):26-30+48.