

DOI: 10.5846/stxb201504080718

董孟婷,唐明方,李思远,曹慧明,邓红兵,吴钢.调水工程输水管道建设对地表植被格局的影响——以南水北调河北省易县段为例.生态学报, 2016,36(20): - .

Dong M T, Tang M F, Li S Y, Cao H M, Deng H B, Wu G. Effects of water transfer project construction on vegetation patterns. Acta Ecologica Sinica, 2016,36(20): - .

调水工程输水管道建设对地表植被格局的影响 ——以南水北调河北省易县段为例

董孟婷^{1,2}, 唐明方¹, 李思远^{1,2}, 曹慧明¹, 邓红兵¹, 吴 钢^{1,*}

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:随着生态环境不断恶化,水资源紧缺已成为全球性的环境问题,跨流域调水工程是保障区域水资源合理配置,保证区域生态安全、区域经济和社会可持续发展的重要措施之一。但是调水工程会不可避免的对施工建设区的生态系统带来人为干扰,对施工建设的地表植被格局产生影响。本研究以南水北调中线一期工程河北省易县段大型输水管道工程建设区作为研究对象,选取了施工建设前(2000年)、施工建设期(2008年)和施工建设后(2013年)3个不同时间段的遥感影像数据,通过解译施工建设区地表植被类型的变化,采用象元二分法提取植被覆盖度,比较不同时期植被覆盖格局和土地利用格局的动态变化,探讨了输水管道建设对周边生态系统影响的范围和特点。研究表明:施工建设前、中、后期管道沿线土地利用类型有较大变化;随着输水管道的建设,人为干扰逐渐增强,施工作业带成为该区域的主要建设用地,并造成了弃置用地和土地裸露,减少了耕地和草地的面积。同时,输水管道建设施工对研究区内植被覆盖度产生了明显的影响,总体上呈现出先减少后增加的趋势。管道建设期对沿线植被、土壤生态系统影响明显,其范围主要在管道施工作业带中心两侧各 100 m;在这个区域以外,影响强度大幅降低。
关键词:输水管道;南水北调;植被覆盖度;土地利用;遥感影像

Effects of water transfer project construction on vegetation patterns

DONG Mengting^{1,2}, TANG Mingfang¹, LI Siyuan^{1,2}, CAO Huiming¹, DENG Hongbing¹, WU Gang^{1,*}

1 State Key of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Development of human society depends greatly on the utilization of water resources, with a corresponding deterioration of the ecological environment. Water shortages have become a global environmental problem. Inter-basin water transfer projects can improve the existing patterns of land and water resources, to achieve a rational allocation of water resources to facilitate sustainable social, economic, and environmental development. However, inter-basin water transfer projects will inevitably bring about adverse ecological effects, such as the deterioration of water quality, the loss of biogeographical integrity, frequent and drastic alterations of hydrological regimes, the loss of endemic biotas, etc. Therefore, specific objective appraisals are necessary, before embarking on such projects. The South-North Water Transfer Project is a multi-decade infrastructural mega-project in China; it is the largest of its kind in the world. In the present study, Yi County, which is located in the vicinity of the Middle Route of the South-North Water Transfer Project in Hebei Province, was selected as the subject of study. Through the interpretation of remote sensing images, three land use types in three different construction stages (pre-construction period, construction period, and post-construction period) were

基金项目:环保公益性行业科研专项(201209029-3)

收稿日期:2015-04-08; 网络出版日期:2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wug@cees.ac.cn

selected, and the dimidiate pixel model was used to extract vegetation coverage. The impacts of corridor type projects on landscape structure in surrounding areas can be analyzed by buffer analysis. The present study used four kinds of buffers, namely the 100 m range, 500 m range, 1000 m range, and 3000 m range. In addition, the canal, which was within the 100 m range was a key study area. The present study analyzed the dynamic changes of vegetation coverage, land use patterns, and the relative change rates of vegetation coverage with different buffers. The results show that the Inter-basin water transfer project: directly changed the composition and structure of the ecological system along the construction area; transformed the ecological system from its natural condition to one showing anthropogenic effects. This last finding is the main factor that influenced the dynamics of the ecological system in the area under study. The land use types along the canal varied within different stages of construction. With construction of the canal, inevitably, human interference gradually increased. In addition, the introduction of a relatively large construction site in the region, resulted in increased land areas either laid bare or used for waste disposal, and reduced farmlands and grasslands. The degree of fragmentation was increased, and there was a reduction in ecological function of the regional ecosystem. The construction of the canal had significant effects on vegetation coverage, over three periods of study, showing an increasing trend after first being reduced. During the pre-construction period, vegetation coverage in the 100 m range was significantly higher than it was in other buffers, but significantly lower than it was in the control plot. During the construction period, vegetation coverage in all buffers was significantly lower than it was in the control plot with the lowest coverage recorded in the 100 m range. After almost four years of recovery, vegetation coverage in the 100 m range increased considerably, attaining levels recorded in the 500 m range, but remained significantly lower than that observed in the control plot. The rate of relative change in vegetation coverage in the 100 m range decreased from 0.71 to 0.68 during the period of construction, then rebounded to 0.71 in the post-construction period, to attain the same rate as was recorded during pre-construction. The scope of main influence was the construction area within the range of 100 m; beyond which, the strength of ecological impact was greatly reduced.

Key Words: water transfer project; the South-North Water Transfer Project; vegetation coverage; land use; remote sensing

人类社会的发展离不开水资源的开发与利用,随着全球气候的改变,一些国家和地区的自然环境加剧恶化,洪涝、干旱等灾害现象日趋严重,引起了一系列生态环境和社会经济问题,严重影响了人类的生存和发展。因此,许多国家通过兴建调水工程对水资源进行重新分配来解决这一问题^[1-2]。跨流域调水工程是指在两个及以上流域系统之间,通过调剂水量余缺所进行的合理水资源开发利用的工程,其是改善水土资源的现有组合格局,实现水资源合理配置,保证国家社会、经济和环境持续协调发展的一项重要战略任务。一般来讲,跨流域调水工程的主要类型有:水源工程、渠系建筑物、受水区的蓄水、提水和饮水等设施,以及输水工程。输水管道建设工程是从远距离水源输水到用水地点的管道和渠道工程的统称。广义上指长距离的整个输水系统,包括管道、明渠、暗渠和隧洞等。狭义上仅指跨越山谷、河谷或低洼地的输水构筑物。输水管道有各种不同的形式:按供水情况分有重力供水和水泵供水(或称压力供水);按水力条件分有重力流和压力流;按水流形式分有满流和非满流;按构筑物类型分有地面渠道、高架渠道(包括渡槽)、管道和隧洞等^[3-7]。大型跨流域输水管道建设工程往往是多种输水管道形式的组合。

然而,跨流域调水工程是一个跨学科、结构复杂、形式多样的系统工程问题^[8]。大型输水管道建设工程会不可避免的对所经过区域的生态系统带来人为干扰,产生各种影响^[9],大型跨流域输水管道建设项目工程量大、线路长,沿线所经过的生态系统类型多样,因此对沿线生态环境和生态系统的影响也十分复杂^[10-11]。在建设过程中,会对生态环境和生态系统有直接影响,例如挖掘、运输等需要铲除地表植被,铺设道路,堆放土方工程措施;间接及长期的影响例如,引入对区域景观格局的影响,新的景观类型会增加景观异质性,产生边缘效应,并永久性的将人类活动干扰带入到沿线区域生态环境中^[12-15]。

为缓解水资源短缺问题,中国实施了多项跨流域调水工程^[16]。其中,南水北调工程是缓解中国北方水资

源严重短缺、优化配置水资源的重大战略性基础设施,关系到经济社会可持续发展和子孙后代的长远利益^[17]。目前,土地利用/覆盖变化研究是我国所有与可持续发展相关问题的核心,也是全球变化研究的前沿和热点^[18-21]。植被覆盖度是指植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积所占统计区总面积的百分比^[22-25]。它是刻画地表植被覆盖的一个重要参数,是植物群落覆盖地表状况的一个综合量化指标,是描述生态系统的重要基础数据,能够很好的反映地表植被状况,土地利用和植被覆盖变化的研究可以为区域生态环境建设以及经济建设提供参考,具有现实意义^[26-28]。本文在已有研究的基础上,选取南水北调工程为研究对象,结合土地利用/土地覆盖的变化,研究大型跨流域输水管道建设工程对植被覆盖度的影响,定量分析了大型输水管道建设对沿线生态系统的影响范围和强度,旨在为大型输水管道建设工程对沿线生态环境影响的定量化研究提供数据参考,为支持完善区域生态安全格局建设,开展沿线保护措施提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

本研究选取南水北调中线一期工程河北省易县段作为重点研究对象(图1)。研究区位于保定市西北部,太行山北端东麓。地理坐标东经114°51′—115°37′,北纬39°02′—39°35′。易县地处太行山区向华北平原过渡的倾斜地带,十分之七为山地,与定兴县相邻的高陌乡是全县唯一的平原乡,平均海拔324 m,地势由西向东下降明显,流水落差大,易患水灾;山体多为侵蚀、剥蚀、岩溶地貌。易县属温带季风气候区,春秋干旱多风,夏季炎热多雨,春季平均气温3.2℃,夏季平均气温32.2℃,秋季平均气温-3.3℃,全年极端最低气温-23℃,极端最高气温41℃。冬季严寒少雪,四季分明。年降水量564.5—668.6 mm,年内降水量8月份降水量最多,为190—220 mm,其次是7月降水量为170—190 mm。境内土壤类型繁多,有6个土类、13个亚类、41个土属、114个土种。棕壤土类分布在西部700 m以上地区,褐土类分布在地脚,潮土类分布在中易水、北易水两岸低洼处,草甸土类分布在山间河谷地带,水稻土类分布在北易河、中易河沿岸洼地,风沙土类分布在中易水、北易水及拒马河沿岸。易县平原大部分地区原始植被的阔叶林,已经破坏殆尽,垦为农田,低山丘陵地带阔叶林被破坏以后发育着旱生灌草丛,东部以荆条、黄背草为主,向西北较干旱的酸枣、白羊草增多,同时混入一些草原的旱生种类,如针茅属等。

易县输水管道建设工程位于中国河北省中部偏西,保定市下辖的易县,自南水北调中线总干渠荆轲山口门引水,穿越北易水河后至规划地表水厂,采用明渠输水,渠道断面形式为梯形断面,按不同地形条件分别为半填半挖、全挖、全填三种构筑形式,采用全断面混凝土衬砌,渠底宽度22.5—7 m,渠底纵坡1:30000—1:20000,边坡1:2.5—1:3,水深5—3.8 m。在渠道两侧布设宽度为5 m的一级马道和8 m的防护林带。利用重力自流输水,线路全长41.2 km。工程于2009年竣工,是南水北调工程体系的重要组成部分^[29]。研究区域中没有其他工程项目实施,易县段输水管道工程是研究区域中唯一实施的工程项目,可以较好的排除其他工程对沿线的影响。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源与选择

根据南水北调中线河北省易县段输水管道工程施工期,选取施工前(2000年)、施工期(2008年)以及施工后(2013年)作为研究时段。2000年该地区南水北调工程并未启动,沿线生态系统处于人为干扰较少的自然状态,2008年处于工程建设期,工程建设沿线地区的环境受到了工程建设的影响。到了2013年,该地区的南水北调一期工程已经建设结束,并且有了一段时间的自然恢复,选择这三个时期能够分别代表大型输水管道建设的不同时期。由于管线跨度较大,属于中尺度范畴,故选用Landsat TM5和Landsat 8数据遥感影像作为数据源,采集时间为3—5月,空间分辨率为30 m,数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)和美国地质调查局(<http://earthexplorer.usgs.gov>)。DEM数据采用的是日本METI和美国NASA研制的ASTER GDEM。

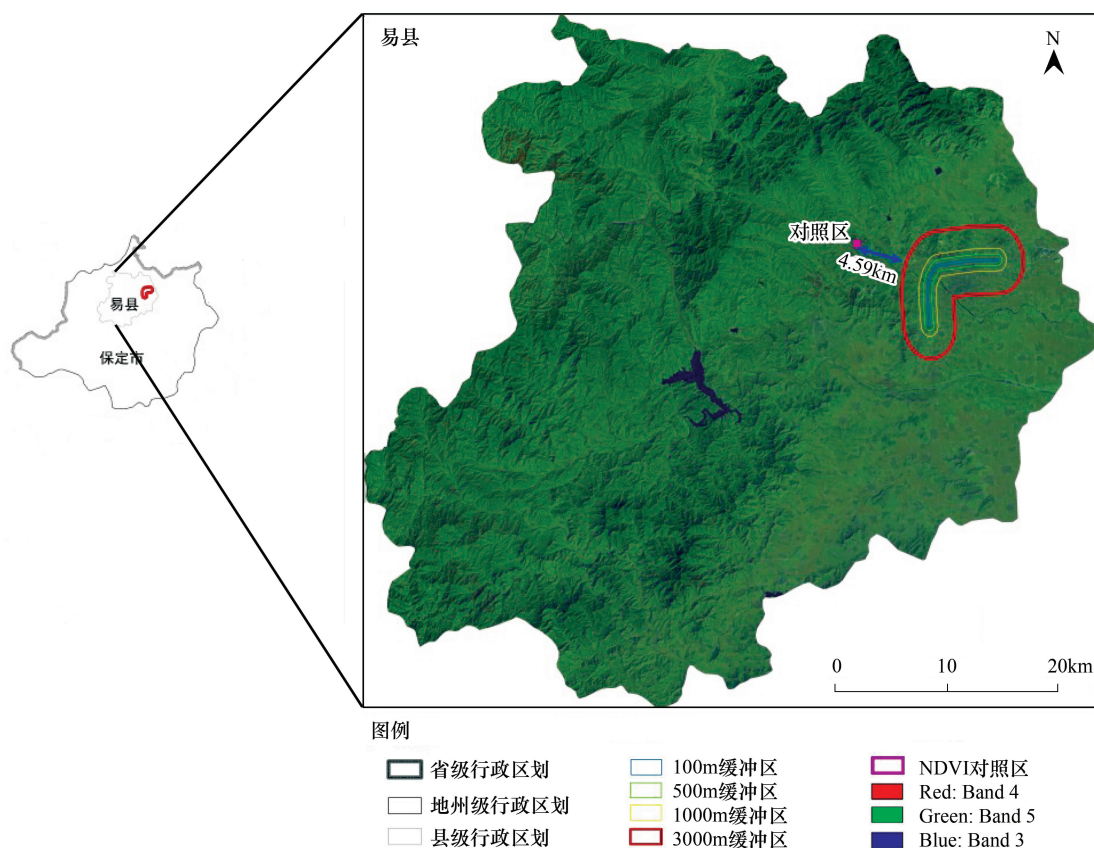


图1 研究区示意图

Fig.1 Study area and control area

1.2.2 缓冲区划分

廊道式工程项目对周边区域景观结构的干扰可以通过缓冲区分析来辨析。在本研究中,利用 106 个 GPS 实测点确定管线走向,考虑到边缘效应的影响和数据的粒度大小,将管线中心两侧 100m 内的区域作为工程建设影响的重点区,并扩展到 500m、1000m 和 3000m 进行分析,以此来判断工程建设对沿线地区景观格局影响。

1.2.3 植被覆盖度分析方法

植被覆盖度和 NDVI 之间存在极显著的线性相关关系,通常通过建立二者之间的转换关系,直接提取植被覆盖度信息。本文采用像元二分模型进行估算,假设每个像元的 NDVI 值可以由植被和土壤两部分合成,则其公式如下:

$$NDVI = NDVI_v C_i + NDVI_s (1 - C_i)$$

式中, $NDVI_v$ 为植被覆盖部分的 NDVI 值, $NDVI_s$ 为土壤部分的 NDVI 值, C_i 为植被覆盖度。根据公式(1), C_i 的算式如下:

$$C_i = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s}$$

本研究在实际计算过程中,分别用生长季内植被 NDVI 最大值和最小值代替 $NDVI_v$ 和 $NDVI_s$,则植被覆盖度计算公式如下:

$$C_i = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

在每个缓冲区内随机抽取 100 个象元,分别计算 C_i ,取其平均值来代表该缓冲区的 C_i 值。另外,每个缓

冲区随机设置 6 个 1m^2 的方形样方,调查植被覆盖度情况,记录经纬度,对遥感解译结果进行校正,保证计算精度。

为了排除降雨、温度等气候因素的影响,我们定义植被覆盖度相对变化率来研究工程建设引起的植被格局变化,计算公式如下:

$$f = \frac{C_i(n)}{C_i(0)}$$

其中, f 为某一年份某一区域植被覆盖度的相对变化率, $C_i(n)$ 为该区域当年的植被覆盖度, $C_i(0)$ 为对照区当年的植被覆盖度。由于三个时相的对照区相同,因此可以认定为处于同一参照系,使得不同年份的植被覆盖度相对变化值具有可比性。计算植被覆盖度的对照区选取原则为:地形类似、距离工程建设地点较远和植被覆盖均匀(图 1)。

2 结果与讨论

2.1 对土地利用类型的影响

根据研究区内主要的土地利用方式,将土地利用类型划分为 5 大类:草地、耕地、林地、水域以及建设用地。草地包括低覆盖度(5%—20%)和中覆盖度(20%—50%)的天然草地和改良草地,此类草地一般水分不足,草被比较稀疏。耕地包括无灌溉水源及设施,靠天然降水生长作物的耕地;有水源和浇灌设施,在一般年景下能正常灌溉的旱作物耕地;以及以种菜为主的耕地,正常轮作的休闲地和轮歇地。水域是指天然形成或人工开挖的河流及主干渠常年水位以下的土地,人工渠(包括堤岸)。林地指郁闭度>30%的天然木和人工林。包括用材林、经济林、防护林等成片林地。郁闭度>40%、高度在 2 m 以下的矮林地和灌丛林地也归于此类。建设用地包括农村居民点;大、中、小城市及县镇以上建成区用地;交通用地和独立于城镇以外的厂矿、大型工业区、油田、盐场、采石场等其他建筑用地。

不同宽度缓冲区历年土地利用类型变化图显示(图 2),2000 年该地区土地利用类型以草地和耕地为主,林地呈零星分布,在 3000 m 缓冲区集中呈现的建设用地为县城所在地。到了 2008 年,耕地和草地的面积萎缩,建设用地面积急剧增加,且增加的建设用地主要来自耕地。建设用地的分布范围也发生变化,呈现出明显的施工作业带,建设用地呈条带状分布,并使管道两侧出现了弃置用地和裸露土地。这说明随着南水北调中线工程输水管道的建设,人为干扰增强。2013 年时情况类似,耕地和草地的面积持续减少,由于管道建设完成导致建设用地面积进一步扩大,区域内景观破碎化程度加大,生态结构复杂化,说明人为活动对自然生态环境产生了持续性影响。

2.2 植被覆盖度变化分析

2.2.1 缓冲区植被覆盖变化

比较各缓冲区植被覆盖度的变化可以发现(图 3),在管道还未建设的 2000 年,100 m 范围内植被覆盖度显著高于其他范围,但显著低于完全没有人干扰的对照区植被覆盖度,其他各个缓冲区之间的植被覆盖情况没有显著差异。2008 年是输水管道的建设区,缓冲区受人为扰动影响较大,植被覆盖度普遍降低,显著低于完全没有人干扰的对照区植被覆盖度。尤其是 100 m 内的范围中,植被覆盖度处于最低值,与其他区域相比有显著性差异,从 500m 缓冲带外到 3000 m 内的范围的缓冲区之间没有显著性差异,说明这一范围内工程的影响强度类似,说明工程影响强度在 500 m 范围以外显著降低。

2013 年南水北调中线工程输水管道建设结束后已进行了将近四年的恢复,可以看出,在 100 m 内范围中,植被覆盖度仍然处于最低值,但是较 2008 年比植被覆盖度明显提高,甚至达到了 500 m 范围的水平,而其他缓冲区也有所恢复,说明干扰强度下降,范围缩小,与 2000 年未建设期情况相同。

从得出的结果中,我们发现输水管道的建设对研究区植被覆盖度产生了明显的影响,直接影响范围主要是管道施工建设中心两侧的 100 m,间接影响范围能够达到作业带外侧 500 m 以内。管道外侧 100 m 的区域

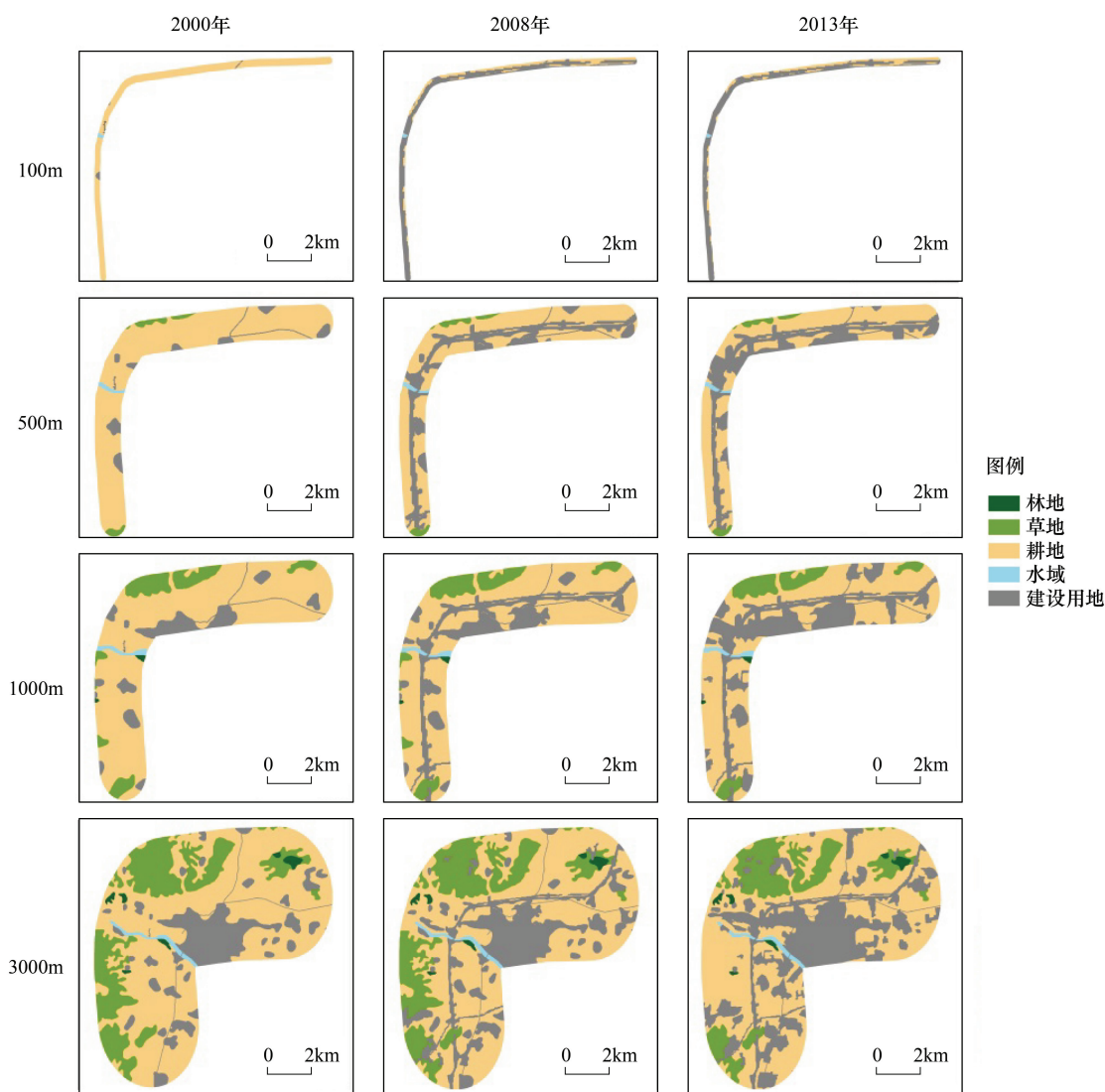


图2 研究区土地利用类型变化示意图

Fig.2 Change of the land use types in the study area

可以视作是管道工程建设影响的缓冲区域:在这个区域以内,生态环境和生态系统受到了较大强度的干扰;在这个区域以外,影响强度大幅降低。

2.2.2 植被覆盖度相对变化分析

根据本文中定义的相对变化率的概念,缓冲区植被覆盖度相对变化率的大小可以指示输水管道建设对沿线区域植被的影响状况。当缓冲区的植被覆盖度相对变化低于1时,其值越小说明受到的工程影响越大。

比较三个年份相同缓冲区植被覆盖度相对变化率(表3),可以发现在100 m范围内,植被覆盖度有明显的先降低后增加的规律。该区域生态环境在受到输水管道建设人为干扰后,2008年管道100 m缓冲区植被覆盖的相对变化率为0.68,说明植被生长受到的抑制作用十分明显,覆盖度降低;而在2013年人工措施恢复及自然恢复的过程中,植被覆盖度得到了提高,植被覆盖相对变化率达升高到0.71,同2000年施工建设之前相同,说明的生态环境逐渐得到了良好的恢复,恢复措施的效果十分明显。区域其他区域范围内植被覆盖度有着先增加后降低的变化规律。

比较各年份不同区域的植被覆盖度相对变化率可以发现,2000年100 m缓冲区的植被覆盖度相对变化率显著高于其他各区域,其他各区域的植被覆盖度相对变化率之间没有显著性差异;到了2008年,100 m缓冲区的植被覆盖度相对变化率显著低于其他各区域,说明管道建设对植被覆盖的影响较大,工程建设给区域

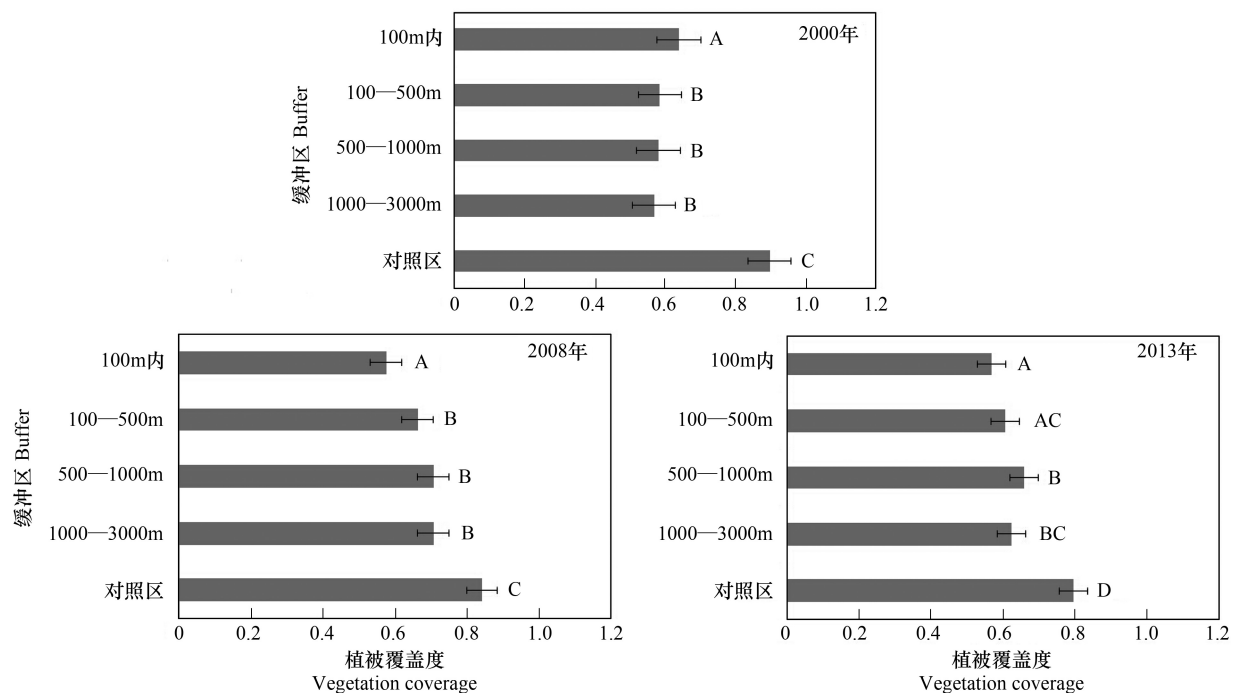


图3 不同年份各缓冲区植被覆盖度变化

Fig.3 Change of the vegetation coverage of the buffers in different years

大写字母不同代表 $p=0.05$ 水平的显著性差异

生态环境带来了负面影响。500 m 的数值也略低于 1000 m 和 3000 m,说明影响范围能够达到管道施工作业中心两侧 500 m 左右,强度随着距离的增加而降低;2013 年,100 m 缓冲区的植被覆盖度相对变化率仍然显著低于其他各区域,但是较 2008 年数值差距缩小,说明经过一段时间的人工及自然恢复,该地区的植被覆盖有所好转。

表1 植被覆盖相对变化率

Table 1 The relative change rate of the vegetation coverage

年份 Year	缓冲区 Buffer			
	100 m	500 m	1000 m	3000 m
2000	0.71A	0.65B	0.65B	0.63B
2008	0.68A	0.79B	0.84B	0.84B
2013	0.71A	0.76AB	0.79B	0.78B

大写字母不同代表 $p=0.05$ 水平的显著性差异

3 结论

3.1 大型输水管道建设直接改变了沿线地区生态系统的组成结构,将自然条件下的生态系统改造成人为干预下的生态系统,通过土地利用类型和植被覆盖度变化的分析,可以看出在研究区中,外界因素作用于生态系统的干扰因子主要是工程建设,人为干扰破坏了生态系统的稳定性,形成生态系统结构和功能的破损,管道工程建设是周边土地利用类型和植被构成变化的主要推动力,也是成为该区域生态系统动态演替的主要影响因素,人为干扰引入的建设用地成为该区域的主要建设用地,造成了弃置用地和土地裸露,减少了耕地和草地的面积,土地利用格局更加复杂化,加大了区域内景观破碎化的程度,降低了区域生态系统服务功能,对区域生态环境产生了比较明显的影响。

3.2 研究区 3 年之间植被覆盖度的变化出现了先减少后增加的趋势,管道建设期对沿线生态环境系统的影

响范围主要在管道施工作业中心以外两侧 100 m,在这个区域以外,影响强度大幅降低。建设完成后,经过一段时间的自然恢复,植被覆盖度有所恢复,但由于研究区域地表植被格局和生态系统组成发生了改变,短期内无法恢复到建设前的水平。

致谢:在文章完成之际,首先向我的导师吴钢研究员表示最诚挚的感谢!感谢课题组的邓红兵研究员、董仁才副研究员、严岩副研究员、付晓博士、刘昕博士、唐明方博士对本文提出的宝贵意见,感谢李思远、曹慧明、邱莎等同门的关心和帮助,感谢环保部环保公益性行业科研项目的支持。

参考文献(References):

- [1] 刘莹,王冬梅,刘孝盈,于琪洋,徐慧. 国外调水工程对生态与环境影响的研究与对策. 国外水利, 2008, (8): 64-68.
- [2] Meador M R. Inter-basin water transfer: ecological concerns. Fisheries, 1992, 17(2): 17-22.
- [3] 詹喜峰,张维中. 管道输水灌溉技术在渠灌区的应用探讨. 河南水利与南水北调, 2014, (2): 21-22.
- [4] 方妍. 国外跨流域调水工程及其生态环境影响. 人民长江, 2005, 36(10): 9-10.
- [5] 杨开林,董兴林. 水电站长输水道管流气泡动力特性研究. 水利学报, 1998, 29(11): 6-16.
- [6] 朱拥政. 黄材水库输水道及其主洞加固. 湖南水利水电, 2006, (2): 22-23, 28-28.
- [7] 唐庆艳,边可斌. 汤河水库输水道测流系统改造措施. 中国科技信息, 2011, (9): 159-159.
- [8] 吴新. 跨流域调水理论和随机配水模型研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2006.
- [9] 肖俊,汪亚峰,陈利顶. 廊道式建设工程生态环境影响评价研究现状与展望. 生态学杂志, 2012, 31(10): 2694-2702.
- [10] Yevjevich V. Water diversions and interbasin transfers. Water International, 2001, 26(3): 342-350.
- [11] 王惠. 大型水利工程建设对生态环境的影响. 山西水土保持科技, 2012, (4): 14-15.
- [12] 陈利顶,王计平,姜昌亮,张海萍. 廊道式工程建设对沿线地区景观格局的影响定量研究. 地理科学, 2010, 30(2): 161-167.
- [13] 刘昌明. 南水北调工程对生态环境的影响. 海河水利, 2002, (1): 1-5.
- [14] 冯耀龙,练继建,王宏江,殷会娟. 用水资源承载力分析跨流域调水的合理性. 天津大学学报, 2004, 37(7): 595-599.
- [15] 陈进,黄薇. 跨流域长距离引调水工程系统的风险及对策. 水利水电技术, 2004, 35(5): 95-97.
- [16] 张勃,张华,张凯. 河西地区土地利用/覆盖变化研究. 土壤, 2003, 35(4): 292-297.
- [17] Shao X, Wang H. Interbasin transfer projects and their implications: a China case study. International Journal of River Basin Management, 2003, 1(1): 5-14.
- [18] Petit C, Scudder T, Lambin E. Quantifying processes of land-cover change by remote sensing: resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(17): 3435-3456.
- [19] 沈金祥,陈曦,杨辽,王杰,李宝明. 额尔齐斯河-斋桑湖流域近 20 年来土地利用/土地覆被时空演变. 干旱区地理, 2010, 33(2): 189-195.
- [20] 陈颖彪,李雁,千庆兰,郭冠华. 基于 TM 数据的广州市番禺区土地覆被格局分析. 地理科学, 2012, 32(4): 458-463.
- [21] 肖峻,汪亚峰,时鹏,陈利顶. 荒漠草原区油气管道建设对地表植被格局的影响. 中国环境科学, 2013, 33(11): 2027-2034.
- [22] 刘兆孝,穆宏强,陈蕾. 南水北调中线工程水源地保护问题与对策. 人民长江, 2008, 40(16): 73-75.
- [23] Godínez-Alvarez H, Herrick J E, Mattocks M, Toledo D, Van Zee J. Comparison of Three vegetation monitoring methods: their relative utility for ecological assessment and monitoring. Ecological Indicators, 2009, 9(5): 1001-1008.
- [24] Purevdorj T S, Tateishi R, Ishiyama T, Honda Y. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(18): 3519-3535.
- [25] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, Rundquist D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. Remote Sensing of Environment, 2002, 80(1): 76-87.
- [26] Brazel A J, Nickling W G. Dust storms and their relation to moisture in the Sonoran-Mojave Desert region of the south-western United States. Journal of Environmental Management, 1987, 24(3): 279-291.
- [27] Shoshany M, Kutiel P, Lavee H. Monitoring temporal vegetation cover changes in Mediterranean and arid ecosystems using a remote sensing technique: case study of the Judean mountain and the Judean desert. Journal of Arid Environments, 1996, 33(1): 9-21.
- [28] 廖春华,张显峰,孙权,赵杰鹏,王旭阳,包慧漪. 基于 HJ-1 高光谱数据的植被覆盖度估测方法研究. 遥感应用, 2011, (5): 65-70.