

文章编号:1004-8227(2011)02-0161-06

南水北调中线丹江口库区生态环境质量评价

王立辉^{1,2}, 黄进良^{1*}, 杜 耘¹

(1. 中国科学院测量与地球物理研究所, 湖北 武汉 430077; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:以南水北调中线工程的主要淹没区和水源地——丹江口库区为研究区域,以区域生态环境质量评价理论为基础,以遥感影像为主要数据源,选取水热条件、地形地貌、土地利用和土壤侵蚀等环境评价因子,建立生态环境质量综合评价模型,对丹江口库区的生态环境现状进行定量评价。结果表明:库区的自然生态环境现状整体一般偏好,达到良好标准的占 43.24%,较差及以下的面积达到区域总面积的 10.06%。较好地段主要集中于河谷平坝,500~1 000 m 的中海拔地区生态环境质量差异较大,生态脆弱度高。库区中东部地区相对较好,北部和西部相对较差。需要采取积极的生态环境保护措施,以保障南水北调中线工程的安全运营和效益的充分发挥。

关键词:南水北调中线工程;自然生态环境评价;丹江口库区;遥感

文献标识码:A

“南水北调”是我国一项具有战略意义的工程。其中,中线工程从加坝扩容后的丹江口水库引水,沿唐白河流域西侧长江流域与淮河流域的分水岭方城垭口,经黄淮海平原西部边缘在郑州以西孤柏嘴处穿过黄河,沿京广铁路西侧北上,可基本自流到北京、天津^[1]。中线工程可以从根本上缓解京、津、华北地区水资源危机,对改善供水区生态环境和投资环境,推动我国中部地区的经济发展具有重要意义。但同时,中线工程跨长江、淮河、黄河、海河四大流域,调水将改变流域间水资源的自然分布,加之工程施工、移民等诸多因素的作用,将对水源区、受水区和输水区沿线的生态环境,特别是水源区的生态环境带来长期的,甚至是永久的不容忽视的影响,保证丹江口水库一库清水,关系到南水北调中线的输水安全和工程效益。也就是说,南水北调中线工程的安全运营和效益的充分发挥不仅仅决定于工程本身的工程建设质量,还决定于丹江口库区的生态环境质量。库区的生态环境质量越高,工程发挥效益和使用寿命就越长。因此,对库区的生态环境质量进行综合定量评价,可为工程生态建设以及库区社会经济可持续发展提供一定的科学依据。

遥感和 GIS 技术为生态环境质量评价提供了

理想的数据源和极为有效的研究工具。在区域尺度上,遥感技术可以快速、客观、重复地提供大量的地面信息。遥感信息的运用解决了生态环境质量评价中指标难获取的问题,而 GIS 则可以提供与之相关的空间分析和数据管理技术,二者相辅相成。本文以遥感数据为基础,结合 DEM、气象数据以及其他辅助数据,综合考虑库区的土地资源、植被状况、土壤侵蚀状况,建立生态环境质量评价指标体系,对丹江口库区的生态环境质量进行定量评价。

1 研究区与数据源

1.1 研究区概况

丹江口库区地处鄂西北,汉江中上游,行政区划包括湖北省十堰市所属的丹江口市、郧县、郧西、张湾区、茅箭区和河南省南阳市所属的淅川和西峡 7 个县(市、区),总面积 1.8 万 km² 左右(图 1)。区域内地貌类型复杂,主地貌类型包括丘陵、低山、中山和高山,副地貌类型为河谷平地和山间盆地。区域位于我国南北气候过渡地带的秦巴山气候区^[2],具有四季分明、雨量充沛、光照充足等北亚热带大陆性季风气候特征。受地形和季风影响,降雨时空分布

收稿日期:2010-04-22;修回日期:2010-06-12

基金项目:国家自然科学基金项目“丹江口库区可持续发展的生态建设与土地利用研究”(40871260)

作者简介:王立辉(1985~),男,河北省承德人,博士研究生,主要从事遥感在生态环境与农业中的应用研究。

E-mail:wanglihui1985@126.com

*通讯作者 E-mail:hjl@asch.whigg.ac.cn

不均,由南向北递减;多年平均气温为 12~16℃,年日照总时数为 1 500~1 980 h,无霜期年均 225~255 d^[3]。区域内流域水系发达,河流众多,均属于长江的第一大支流汉江水系,河流均由北向南流向丹江口水库。

1.2 数据源

(1)遥感影像数据:三景覆盖丹江口库区的美国陆地资源卫星 Landsat 的 TM 影像,轨道号为:125/37、125/38 和 126/37,数据获取时间为 2007 年 9 月。

(2)DEM 数据:来源于日本 METI 和美国 NASA 合作,使用 ASTER 数据生成的全球数字高程模型产品 GDEM。ASTER GDEM 基本的单元按 1°×1°分片,空间分辨率 1 弧度秒(约 30 m),垂直精度 20 m,水平精度 30 m。

(3)水热气象数据:包括每日平均气温、20~20 时降水量,来源于中国气象科学数据共享服务网的《中国地面国际交换站气候资料日值数据集》,并由此计算出多年平均气温、多年平均降水量、≥0℃积温、≥10℃积温以及湿润系数。

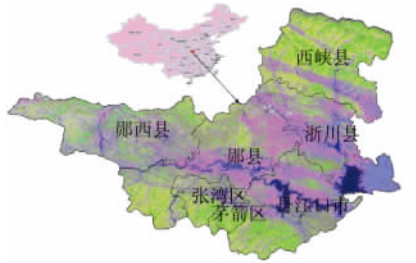


图 1 丹江口库区位置示意图

Fig. 1 Location of the Danjiangkou Reservoir Area

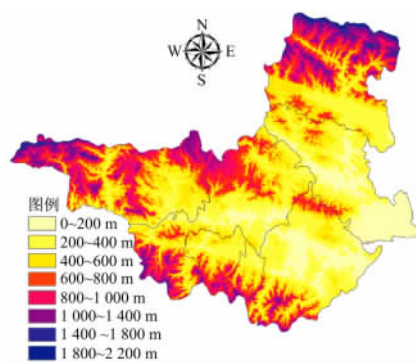


图 2 库区海拔高度

Fig. 2 Map of Altitude Classified

e_5	e_2	e_6
e_1	e	e_3
e_4	e_4	e_7

图 3 3×3 窗口计算点的坡度

Fig. 3 Calculation of the Slope at Each Pixel with 3×3 Window

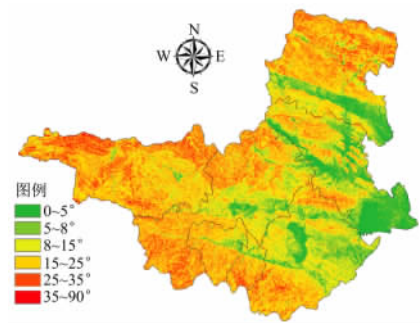


图 4 库区坡度分级图

Fig. 4 Map of Slope Classified

2 生态环境因子

以库区生态环境质量综合评价为目标,本文选取地形地貌、水热状况、土地覆被以及土壤侵蚀 4 类因子,建立丹江口库区生态环境质量综合评价指标体系。

2.1 地形地貌因子

库区地形起伏较大,最高海拔为 2 200 m。为了从宏观上掌握海拔高度的变化,本文根据一定的阈值(低海拔处高差 200 m,高海拔处 400 m)对 DEM 进行重分类,共分为 8 级,如图 2。坡度由 DEM 数据计算得到,利用 ARCGIS,采用拟合曲面法^[4]求解。拟合曲面法一般采用二次曲面,即 3×3 的窗口(如图 3),每个窗口中心为一个高程点,点 e 的坡度计算公式如下:

$$\text{坡度: } Slope = \tan \sqrt{Slope_{ux}^2 + Slope_{sy}^2}$$

$$Slope_{ux} = \frac{(e_8 + 2e_1 + e_5) - (e_7 + 2e_3 + e_6)}{8 \times cellsize}$$

$$Slope_{sy} = \frac{(e_7 + 2e_4 + e_8) - (e_6 + 2e_2 + e_5)}{8 \times cellsize}$$

式中: $Slope_{ux}$ 为 X 方向上的坡度; $Slope_{sy}$ 为 Y 方向上的坡度。计算得到的坡度如图 4 所示。

2.2 水热气象因子

收集分布在丹江口库区及其周边(范围为 30°~35°N,106°~15°E)50 余个气象台(站)数据,去掉异常值和缺值的台(站),实际参与空间插值的气象站点为 44 个,数据年限为 1959~2008 年。根据各气象台(站)50 a 的每日平均气温和每日 20~20 时降水量计算多年平均气温、多年平均降水量、≥0℃积温、≥10℃积温和湿润系数。本文采用修正的谢良尼诺夫公式计算湿润系数^[5]:湿润系数=(全年≥10℃期间降水量)/0.16×(全年≥10℃积温)。采用 Co-Kriging 空间插值方法进行空间内插得到库区多

年平均气温、多年平均降水量、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、湿润系数等指标(图 5~9)。

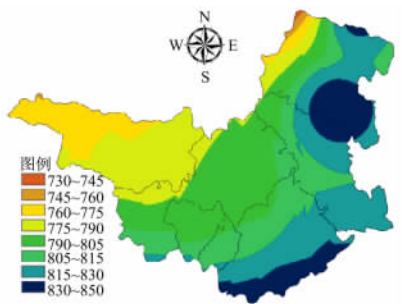


图 5 多年平均降水空间分布(mm)

Fig. 5 Spatial Distribution Map of Annual Average Rainfall

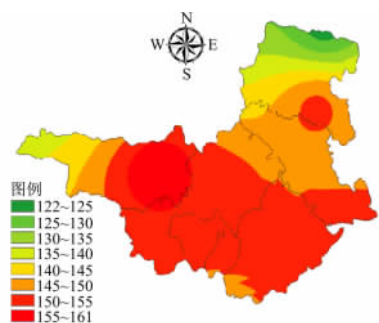


图 6 多年平均气温空间分布(0.1°)

Fig. 6 Spatial Distribution Map of Annual Average Temperature

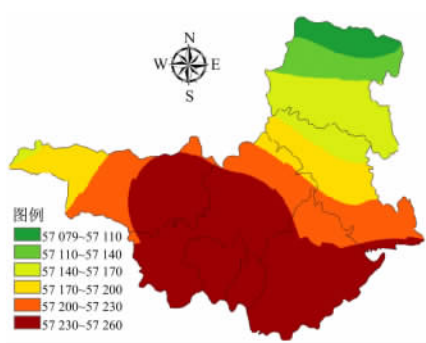


图 7 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温(0.1°)

Fig. 7 Spatial Distribution Map of $\geq 0^{\circ}\text{C}$ Accumulated Temperature

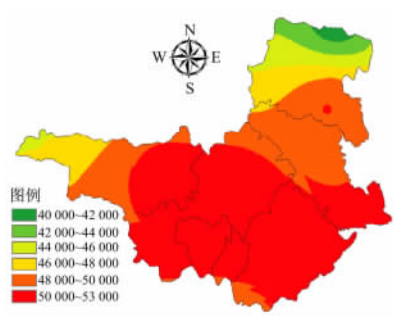


图 8 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温(0.1°)

Fig. 8 Spatial Distribution Map of $\geq 10^{\circ}\text{C}$ Accumulated Temperature

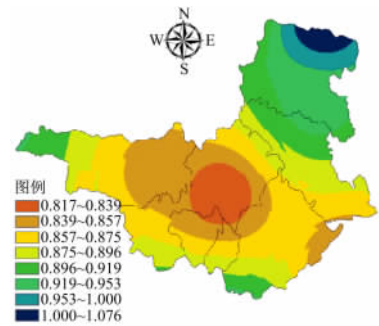


图 9 多年平均湿润系数

Fig. 9 Map of Annual Average Moist Coefficient

2.3 植被指数与土地覆盖因子

根据 TM 数据计算得到库区植被指数(图 10), 计算公式为 $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$, 式中: NIR 为近红外的反射率; R 为红光的反射率。

选择覆盖库区的 Landsat 卫星 TM 影像, 对影像进行地形纠正、几何精校正、图像镶嵌等处理。根据地物的光谱特征和野外考察采样数据建立解译标志, 参照 2000 年中国资源与环境数据中心的全国 1:10 万土地利用数据, 利用基于 BP 神经网络算法对遥感影像进行监督分类^[6,7]。将库区的土地利用分为 7 类: 水田、旱地、林地、草地、水体、建设用地和未利用地。将分类后的影像进行聚类统计、去除分析等分类后处理, 得到库区土地利用/土地覆被图(图 11)。

2.4 土壤侵蚀因子

以预处理后的 TM 影像和 DEM 为主要数据源, 参考水利部 2008 年 1 月颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-2007)^[8], 采用多因素综合法, 选取土地覆被类型、植被覆盖度和坡度 3 个因子, 对研究区土壤侵蚀状况进行监测, 得到库区土壤侵蚀强度图(图 12)。将土壤侵蚀分为轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀 5 个等级, 分级参考指标见表 1。

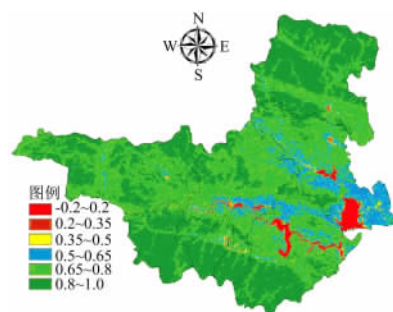


图 10 库区植被指数分级图

Fig. 10 Map of Vegetation Index

表 1 土壤面蚀强度分级^[8]
Tab.1 Standard of the Soil Erosion

土地利用类型	林草覆盖率	坡度				
		5° ~8°	8° ~15°	15° ~25°	25° ~40°	>40°
耕地		轻度	中度	强度	极强度	剧烈
除上述外土地利用类型	<30	中度	中度	强度	极强度	剧烈
	30~45	轻度	中度	中度	强度	极强度
	45~60	轻度	轻度	中度	中度	强度
	60~75	轻度	轻度	轻度	中度	中度

3 生态环境评价模型

3.1 数据标准化

评价指标确定以后,由于各指标性质不同,量纲各异,随自然生态环境变化的方向也不一致,真实数据差异很大。为此,需要通过标准化处理形成无量纲的数据结果。本文采用极差标准化进行数据变换。各个参评因子数据经标准化处理后,是一组反映其属性特征的数值,均居于 0~10。所用处理公式如下:

具有积极健康意义: $\varphi_{ij} = 10 \times (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min})$

具有消极健康意义: $\varphi_{ij} = 10 \times (X_{j\max} - X_{ij}) / (X_{j\max} - X_{j\min})$

各评价因子中,具有积极健康意义的有:多年平均气温、多年平均降水量、 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、湿润系数、土地覆盖、植被指数等。具有消极健康意义的指标有:海拔、坡度以及土壤侵蚀。

3.2 确定权重

如何计算植被覆盖度指数、土地覆盖指数、年积温、年降水、海拔、坡度等因子在生态环境质量评价中的权重,是生态环境质量评价结果好坏的关键。为了使评价结果更加准确和客观,多种数理统计以及其它确定权重的理论与方法被引进生态环境质量评价实践中,目前常用的定权方法大体上可分为两类:一类是主观赋权。这类赋权法多数采取综合咨询评分的定性方法确定权重,然后对无量纲的数据进行综合,如模糊综合评判法、综合指数法、层次分析法、功效系数法等。另一类是客观赋权法,即根据指标数据之间的相关关系或各项指标值的变异程度来确定权重,如主成份法、因子分析法等。主成分分析法对高维变量进行最佳综合与简化,同时也客观地确定各个指标的权重,避免主观随意性,而综合评价的焦点正是如何科学、客观地将一个多目标问题

综合成单指标形式。因此,本文采用主成分分析法确定指标因子的权重^[9]。在 MATLAB 的支持下,将地形地貌、水热状况、土地覆被以及土壤侵蚀因子进行主成分分析。

3.3 生态环境质量综合评价模型

采用多级加权求和的方法来实现区域生态环境质量的定量化评价,其结果代表环境评价综合指数。计算模型如下:

$$P_i = \sum_{j=1}^n F_{ij} \cdot W_j$$

式中: P_i 为 i 评价指标的评分值; F_{ij} 为 i 评价指标中 j 评价因子的值; W_j 为评价因子的权重。则某区域生态环境质量总评价值:

$$P = \sum_{i=1}^m P_i \cdot W_i$$

式中: W_i 为 i 评价指数的权重值; m 是参与评价的指数数量。

4 结果分析

4.1 生态环境质量评价结果

将研究区各生态环境因子代入生态环境质量综合评价模型,得到丹江口库区综合环境指数,评价结果见图 13。其值分布范围为 3.559 8~9.776 1,平均值为 7.82。综合评价指数越高,则环境质量越好。将综合环境指数归一化为 0~10,并将其划分为 5 级:一级(优良),综合环境指数[9~10];二级(较好),综合环境指数[8~9];三级(一般),综合环境指数[7~8];四级(较差),综合环境指数[6~7];五级(差),综合环境指数[0~6]。在所出现的各种环境质量区中,第三级环境区位于平均值范围段,占有的面积比例最大,为 46.70%;其次是第二级环境区,分布面积也比较大,占 32.76%(如图 14),这两者的总和占到库区总面积的 79.46%,说明库区生态环境质量多数居于一般和良好的水平。质量差的环境区(环境评价综合指数<6)和质量最好的环境区(环境评价综合指数>9)所占的面积比例都较小,前者为 10.06%,后者为 10.48%。

4.2 生态环境质量垂直地带性分布特征

丹江口的地形起伏,丘陵、山地、河谷平地 and 山间盆地交错,气候垂直变化以及人类活动程度的不同,使得区域自然生态环境具有垂直地带性分布的特点(图 15)。图 15 显示,中高海拔区(1 000~2 200 m)的环境质量最差,质量差的环境区占 44.19%,其中环境质量最差的五级所占的面积比例

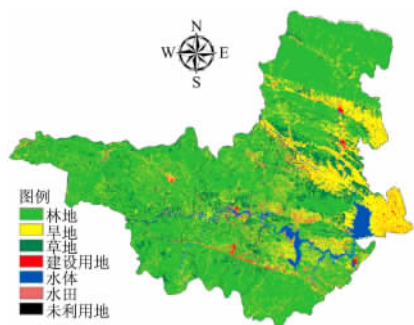


图 11 土地利用/覆被分类图

Fig. 11 Land Use/Cover Classification Map of the Danjiangkou Reservoir Area

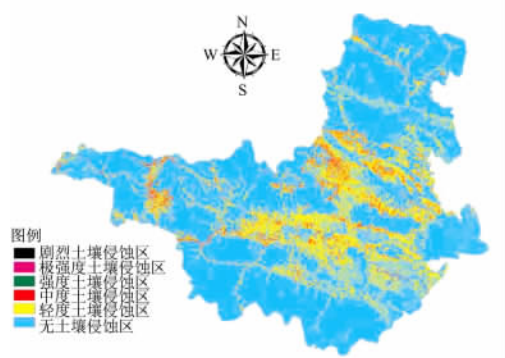


图 12 库区土壤侵蚀强度图

Fig. 12 Map of Soil Erosion

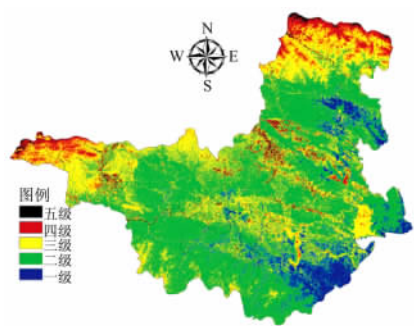


图 13 丹江口库区自然生态环境质量综合评价图

Fig. 13 Comprehensive Assessment of Ecological Environmental Quality of the Danjiangkou Reservoir Area

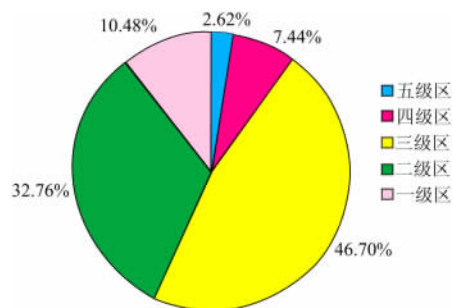


图 14 各个自然综合指数等级占总面积的比例

Fig. 14 Classification of Integrated Index of Eco-environment Quality in the Danjiangkou Reservoir Area

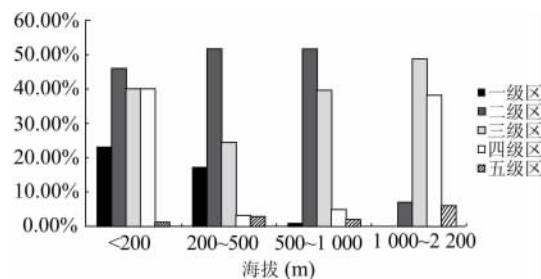


图 15 不同海拔区生态环境质量等级分布图

Fig. 15 Distribution of Environmental Quality in Different Altitude Area

为 6.01%,分布在研究区的北部地区。200 m 以下的平缓河谷区域环境质量最好,环境质量优良的占 21.52%,环境质量最差的五级所占的面积 1.29%。

5 结论与讨论

南水北调中线工程实施后,随着蓄水位的提高,自然生态环境会发生很大的变化。做好环境评价,对确保调水区的生态安全和南水北调工程的顺利实施都有十分重要的意义。生态环境质量评价是一项系统性研究工作,是资源开发利用、制定经济社会可持续发展规划和生态环境保护对策的重要依据。将遥感技术、GIS 技术、数学模型方法应用于生态环境质量评价,开展库区环境质量综合评价研究是可行的,其评价结论可以分析和表达库区生态环境质量的空间特性。采用遥感的方法提取生态环境评价指标,和传统的统计调查方法相比,具有快捷、及时、更新速度快的优点,为掌握生态环境信息提供了实时数据,也为动态监测生态环境变化提供了可能。

以生态环境评价理论为基础,运用遥感和 GIS 技术,选取水热条件、地形地貌、土地利用和土壤侵蚀等环境评价因子,建立生态环境质量综合评价模型,对中线调水工程区的生态环境现状进行定量评价并对评价结果进行分析。结果表明:库区的自然生态环境现状整体一般偏好,达到良好标准的占 43.24%,较差及以下的面积达到区域总面积的 10.06%。较好地段主要集中于河谷平坝,500~1000 m 的中海拔地区生态环境质量差异较大,1000 m 以上的高海拔区植被覆盖相对较好,但地势险峻,生态脆弱度高。中东部地区相对较好,北部和西部相对较差。

本文为丹江口库区的环境保护提供了一定的科学依据和决策支持。但本文的成果仅仅是初步性

的。还存在的问题及今后努力方向主要有:(1)库区的自然生态环境质量是动态变化的,丹江口库区这一生态敏感地区,随着南水北调中线工程的建设,移民工作的展开,其生态的动态变化尤其剧烈。由于时间及数据所限,只进行了现状评价,但为以后生态环境质量状况动态变化研究打下了基础。(2)由于受目前相关学科科技水平的制约,研究资料数据及手段的限制,本文建立的指标体系并不完善。部分数据仍然是一个相对数据,随着 RS 和 GIS 技术的发展,资料的积累会越来越丰富,环境评价的方法会有很大的进步,环境评价从速度上和质量上都会有质的提高。

参考文献:

[1] 水利部长江水利委员会. 南水北调中线工程规划(2001 年修

订)简介[J]. 中国水利,2003(2):48~50,55.

[2] 陈 华,郭生练,柴晓玲,等. 汉江丹江口以上流域降水特征及变化趋势分析[J]. 人民长江,2005,36(11):29~31.

[3] 张利华,梁 俊,蒋金龙,等. 基于 RS-GIS 的湖北丹江库区土壤水力侵蚀定量分析[J]. 生态环境,2006,15(6):1 319~1 323.

[4] 秦福来,王晓燕,王丽华,等. 基于 DEM 的流域特征提取及应用[J]. 河北师范大学学报:自然科学版,2006,30(1):109~112.

[5] 孟 猛,倪 健,张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述[J]. 植物生态学报,2004,28(6):853~861.

[6] 李朝锋. 遥感图像智能处理[M]. 北京:电子工业出版社,2007.

[7] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.

[8] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准(SL190—2007)[S]. 2008.

[9] 王思远,张增祥,赵晓丽,等. 遥感与 GIS 技术支持下的湖北省生态环境综合分析[J]. 地球科学进展,2002,17(3):426~431.

ECO-ENVIRONMENTAL EVALUATION OF MIDDLE ROUTE OF THE SOUTH-TO-NORTH WATER TRANSFER PROJECT

WANG Li-hui^{1,2}, HUANG Jin-liang¹, DU Yun¹

(1. Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The investigation object of this paper is the Danjiangkou Reservoir Area, which is the main submerged area and water source area of Middle Route of the South-to-North Water Transfer Project. Using remote sensing as the main data source, aiming at the main ecological problems in the region, choosing precipitation and heat, land use/land cover, topography, soil erosion as assessing factors, we established comprehensive assessment model for ecological environmental quality and studied the spatial distribution of assessed results. The result showed that the quality of the Danjiangkou Reservoir Area was ordinary and slightly good as a whole, 43.24% area reaching good level, 10.06% area under relatively poor level. The condition of ecological evaluation showed vertical distribution. Good level area focused on the valley. The area between 500~1 000 m showed different environmental quality and were vulnerable to human activities interference. Thus, more measures should be taken and adjusted to local conditions in order to make ecological environment better.

Key words: Middle Route of the South-to-North Water Transfer Project; ecological evaluation; Danjiangkou Reservoir Area; remote sensing