

南水北调中线工程陕西水源区 生态环境质量综合评价

王晓峰¹, 张晖¹, 董小平², 余正军¹, 朗康², 昂多²

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 西藏芒康县畜牧技术推广站, 西藏 昌都 854500)

摘要: 对南水北调中线陕西水源区生态环境质量进行客观评价, 可为南水北调工程的顺利实施提供决策和参考。利用 RS 和 GIS 分析方法, 在生态系统理论的指导下, 提取了研究区影响环境质量的 6 个因子图层数据, 叠加形成一个综合环境指数图层数据, 并将其划分为 4 个环境分区。从空间统计分析结果来看, 综合自然指数 I, II 级最好, 占整个水源区面积的 64.69%, III 级较好, 占整个水源区面积的 31.52%; IV 级区综合自然指数较差, 占整个水源区面积的 3.79%。对整个陕南水源区进行生态环境质量综合评价研究, 能够对南水北调中线水源区生态补偿和水土保持建设提供数据支持和决策依据。

关键词: 南水北调; 遥感; 生态环境; 质量评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0230-03

中图分类号: TP79

Comprehensive Eco-environmental Evaluation of Shaanxi Water Source Area in Middle-Route of South-to-North Water Transfer Project

WANG Xiao-feng¹, ZHANG Hui¹, DONG Xiao-ping², YU Zheng-jun¹, LANG Kang², ANG Duo²

(1. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi

710062, China; 2. Mangkang Station of Animal Husbandry Technical Advice, Changdu, Tibet 854500, China)

Abstract: To evaluate the quality of eco-environment in Shaanxi water source area in the middle route of the south-to-north water transfer project objectively can provide the decision-making and reference for the implementation of the project. Under the guidance of ecological system theory and by using remote sensing techniques and the analysis methods of geographic information systems, the paper extracts six factor layer data affecting environmental quality in the study area, then stacks them to be the integrated environmental index layer data, and finally divides it into four environment divisions. From the result of spatial statistical analysis, the first and the second integrated natural indexes are the best, accounting for 64.69 percent of the total water area; the third is better, accounting for 31.52 percent; and the fourth is poor, accounting for 3.79 percent. To evaluate and study the eco-environmental quality in Shaanxi Province comprehensively can provide a data support and a decision-making basis for ecological compensation and soil and water conservation in the middle route of the south-to-north water transfer project.

Keywords: south-to-north water transfer; remote sensing; ecological environment; quality evaluation

生态环境是区域经济社会可持续发展的核心和基础, 充分认识和理解区域生态环境的状况, 正确评价现有生态环境的质量, 是制订和规划区域国民经济发展计划的重要依据^[1-2]。生态环境质量综合评价是在区域生态环境调查的基础上, 针对本区域的生态环境特点, 选取一定的评价指标采用数学方法进行评价, 以判明不同评价单元的生态环境质量状况, 存在

的问题并提出综合治理的对策措施^[3-7]。针对大范围区域环境评价和监测, 与传统调查方法相比遥感具有不可比拟的优势, 它可以快速、准确地提供丰富的资源环境信息; 而 GIS 又为遥感信息加工, 处理和应用创造理想的环境, 二者的有机结合为自然环境评价及监测提供实时、动态的变化信息。南水北调中线工程是为了缓解我国华北地区水资源严重短缺和生态环境

收稿日期: 2009-12-02

修回日期: 2010-03-04

资助项目: 陕西省水土保持局科技计划基金资助项目“南水北调中线陕西水源区水土保持生态补偿研究”(2007-06-11); 国家自然科学基金项目“秦岭南北全球适应度评价及可持续发展模式选择”(40871052)

作者简介: 王晓峰(1972-), 男(汉族), 陕西省合阳县人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事资源开发与 GIS 研究。E-mail: wangxf@snnu.edu.cn.

恶化状况, 促进水资源在全国整体优化配置的一项大型调水工程^[8]。本文以大量的外业调查资料和卫星图像资料为基础, 首先系统认识研究区的生态环境条件, 查明生态环境问题; 其次分析各生态环境问题的影响因素, 最后构建评价指标体系, 利用生态环境综合指数评价了南水北调中线水源区的生态环境质量。

1 研究区和数据

1.1 研究区概况

南水北调中线工程陕西水源区包括秦岭以南的陕西南部地区, 大部分处在丹江口水库的上游水源区, 涉及宝鸡、汉中、安康、商洛和西安 5 个市的 31 个县(区), 区内总面积 $6.27 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占丹江口水库控制面积 $9.52 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的 65.9%, 其中水土流失面积 $3.39 \times 10^4 \text{ km}^2$, 总耕地面积 103.78 km^2 , 其中 25° 以上的坡耕地占 28%。陕西境内南部地区丹江和汉江年均入丹江口水库水量 $2.847 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 占丹江口水库多年平均入库水量 $4.085 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 的 70%。

1.2 数据来源及处理

本研究所用的基本数据为覆盖研究区的 15 景 Landsat ETM 遥感影像, 成像时间为 2006 年 8 月; 90 m 分辨率的 SRTM Elevation Data 的 DEM 数据; 近 20 a 的气温和降水数据; 1: 100 万全国基础地理信息数据 1 km 插值数据, 以及对研究区实地调查的报告、图表等资料。

利用遥感图像处理软件 ERDAS9.2 和地理信息系统软件 ArcGIS9.2 对研究区数据进行处理。

(1) 遥感数据。在 ERDAS9.2 平台下, 以 1: 50 000 的地形图作为参考图, 通过在地形图和遥感图像上选取同名地物控制点, 将覆盖研究区的 15 景 ETM 遥感影像进行几何精纠正, 并对图像进行拼接处理; 然后将数据裁剪, 提取出研究所需的范围, 并参照国内土地类型划分方法对纠正的遥感影像进行监督分类, 将土地类型划分为: 草地、林地、水地、水域、建筑用地、雪、未利用地和旱地 8 类, 得到研究区土地覆盖类型。

(2) 降水量、气温数据。从国家气象中心、中国气象局、中国气象科学数据共享中心(<http://cdc.cma.gov.cn/>) 获取。为了得到年均气温和降水的空间分布, 采用克里金插值方法对陕南各气象站点年平均气温和降水数据进行了空间插值^[9]。

(3) 植被净初级生产力。采用 1: 100 万全国基础地理信息数据 1 km 网格插值数据。

(4) 植被覆盖度。在 ArcGIS 9.2 平台下, 对分幅裁剪的遥感数据进行植被指数(NDVI) 计算, ND-

VI = $(TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$, 并结合野外实地调查, 将研究区的 NDVI 分为 4 类, 得到研究区植被覆盖度, 即高植被覆盖度($NDVI > 0.5$)、中高植被覆盖度($0.3 < NDVI < 0.5$)、中植被覆盖度($0.15 < NDVI < 0.3$)、低植被覆盖度($NDVI < 0.15$)。为了进行叠加分析, 对以上各类空间数据均进行投影变换, 然后再将这些空间数据与已经纠正好的 ETM 图像进行配准, 最后对参与环境评价的各因子图层进行重采样。

2 评价方法

生态环境评价的方法多, 例如: 层次分析法、均值模型法、主成份分析法以及聚类分析法等方法^[9-10]。但无论采用哪种评价方法, 都必须经过以下 3 个步骤: (1) 选择建立评价指标体系; (2) 确定指标体系中各因子的权重; (3) 选择评价模型并计算其综合得分。

2.1 评价指标的选取

2.1.1 建立评价指标体系 以水源区生态环境综合评价为目标, 结合自然环境状况, 本文选取降水量、土地覆盖类型、植被覆盖度、气温、植被初级生产力、高程 6 个指标, 建立南水北调中线工程陕西水源区生态环境评价指标体系。

2.1.2 数据标准化 评价指标确定后, 由于各生态环境要素具有不同的量纲, 无法直接对它们进行评价, 因此需要通过标准化处理形成无量纲的数据结果。对于不同的专题数据, 针对不同的因子性质, 选择的标准化公式也不同, 如对海拔高度、土地使用类型、植被覆盖度因子利用的标准化量化公式为:

$$Y_i = \frac{E_i - E_{\min}}{E_{\max} - E_{\min}} \times 10$$

式中: Y_i ——自然环境因子指数; E_i ——环境因子。反映自然环境因子指数 Y 随环境因子值 E 增大而增大。

对降水、气温、植被净初级生产力因子, 利用的标准化公式为:

$$Y_i = \left(1 - \frac{E_i - E_{\min}}{E_{\max} - E_{\min}}\right) \times 10$$

式中: Y_i ——自然环境因子指数; E_i ——环境因子。反映自然环境因子指数 Y 随环境因子值 E 的增大而减小^[11]。

2.2 权重的确定

多指标综合评价的关键在于如何合理确定各个指标的权重。确定权重的方法分为主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法有层次分析法、专家评分法等; 客观赋权法有熵权法、主成分分析法、标准离差法

等。本研究采用熵权法确定各个因子的权重。熵权法是一种在综合各因素提供信息量的基础上计算一个综合指标的数学方法^[12]。作为客观综合定权法,其主要根据各指标传递给决策者的信息量大小来确定权重。对统计数据进行标准化后就可以计算各指标的信息熵。第 j 个指标的熵 H_j 可以定义为:

$$H_j = -k \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

式中: m —— 被评价对象数目; n —— 评价指标数目;

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}}, k = \frac{1}{\ln m}, r_{ij} \text{ —— 第 } i \text{ 个指标的第 } j \text{ 个值。}$$

在指标熵值确定以后就可以根据下面的式子确定第 i 个指标的熵权 W_i 。 $W_i = \frac{1 - H_i}{n - \sum_{i=1}^n H_i}$, 利用 Excel

统计计算, 得到各个因子的熵权, 如表 1 所示。

表 1 评价指标的信息熵及其权重

项 目	气温	降水	NPP	NDVI	土地覆盖类型	DEM
熵 H_j	0.97	0.96	0.88	0.99	0.67	0.97
熵权 W_i	0.06	0.07	0.22	0.02	0.58	0.05

2.3 生态环境质量综合评价模型

通过对植被覆盖度、海拔高度、土地覆盖类型、陆地植被净初级生产力、年均温度、年均降水量(附图 5—8)的标准化处理, 分析整个研究区域的自然环境生态状况, 建立研究区综合自然环境指数公式为:

$$E = \sum_{i=1}^6 W_i Y_i$$

3 结果分析

3.1 研究区分级

在 ArcGIS 中将 6 个极差标准化处理的数据进行空间叠加运算, 形成一个综合自然环境指数图, 其值域为 [0, 10], 结合当地的实际情况, 对计算出的综合自然环境指数的空间分布情况, 将其分为 4 级。

I 级区: 综合自然环境指数 [0, 3]; II 级区: 综合自然环境指数 [3, 6]; III 级区: 综合自然环境指数 [6, 8]; IV 级区: 综合自然环境指数 [8, 10]。

得出的水源区综合自然环境指数分级分布情况, 如附图 9 所示。

3.2 分区概况

(1) I 级区。面积 $1.396 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占水源区面积的 22.26%, 自然环境条件最好, 土地覆盖类型以林地为主, 植被覆盖度高, 盖度大于 85%, 海拔较高, 降水量大, 年均温度 $12 \text{ }^\circ\text{C} \sim 14 \text{ }^\circ\text{C}$, 主要分布在山地, 地形起伏大。

(2) II 级区。面积 $2.66 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占水源区面积的 42.43%, 自然环境条件好, 土地覆盖类型以林地和草地为主, 植被覆盖度较高, 盖度大于 65%, 海拔高度分布在 1500~2000 m, 降水量较大, 多在 650~850 mm, 年均温度在 $12 \text{ }^\circ\text{C} \sim 15 \text{ }^\circ\text{C}$, 主要分布在山地, 地形起伏较大。

(3) III 级区。面积 $1.98 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占水源区面积的 31.52%, 自然环境条件居中, 土地覆盖类型以草地、耕地和城市建筑用地为主, 植被覆盖较低, 盖度小于 40%, 海拔高度在 500~1500 m 之间, 降水量较大, 在 700~900 mm 之间, 年均温度多在 $13 \text{ }^\circ\text{C} \sim 15 \text{ }^\circ\text{C}$, 主要分布在河谷和丘陵地带, 地形起伏小。

(4) IV 级区。面积 $2.38 \times 10^3 \text{ km}^2$, 占水源区面积的 3.79%, 自然环境条件较差, 土地覆盖类型以草地和灌丛为主, 还有部分积雪, 植被覆盖度较低, 海拔高度在 3000 m 以上, 主要分布在高山地带, 地形起伏大。

4 结论

本文利用 RS 和 GIS 空间分析方法, 对南水北调中工程陕西水源区的遥感影像进行了判读和分析, 获得了水源区的地形地势、土地覆盖类型和植被覆盖度等自然环境因子, 并将获得的气温、降水和高程等数据与之叠加, 通过建立生态环境综合指数, 计算出水源区自然生态环境综合指数空间分布情况, 并将其划分为 4 个等级范围。从空间统计分析结果来看, 综合自然指数 I, II 级最好, 占整个水源区面积的 64.69%, 说明中线工程整体的自然生态环境较好; III 级较好, 土地覆盖类型主要为草地、农田和建筑用地, 占整个水源区面积的 31.52%; IV 级区综合自然指数较差, 主要分布在水源区西北部的高山地带, 占整个水源区面积的 3.79%。对整个陕南水源区进行生态环境质量综合评价研究, 能够对南水北调中线水源区生态补偿和水土保持建设提供数据支持和决策依据, 确保“一江清水供北京”的目标的最终实现。

[参 考 文 献]

- [1] 史宝忠. 环境影响评价[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994: 3-10.
- [2] 陆雍森. 环境评价[M]. 上海: 同济大学出版社, 1999: 71-95.
- [3] 王玉梅, 尚金城, 邓朝生, 等. 中国开展战略环境影响评价中存在的问题及其对策[J]. 地理科学, 2004, 24(2): 222-225.
- [4] 田家华. 矿产资源开发环境影响评价的指标体系及方法[J]. 科技进步与对策, 2004, 21(10): 51-52.

等改善基质的 pH 值, 为植物生长提供有利条件。根据复垦植物的选择, 复垦区的土壤基质可用生活垃圾和无机肥进行改良, 生活垃圾可直接从下塘背村运出。

3.2 服务期满后复垦建议

3.2.1 废石场的复垦 由于废石场不能用于直接种植植被, 因此, 应先对废石堆场进行整治, 覆土 0.5 m 以上, 边坡缓在 35° 以下, 再进行植被种植。可以考虑先种植草本植物, 待土质熟化后再种植竹林、马尾松和油茶等适应性强的林木。

3.2.2 尾矿库复垦 由于尾矿凝聚能力差, 透气和容气性能低, 属于不符合植物生长的土壤结构; 尾矿中富集重金属, 可能对植物根系产生伤害或通过食物链转移; 而且尾矿中缺乏植物生长的营养物质, 土壤细菌及微生物无法生存, 因此尾矿复垦前应做如下处理: (1) 挖松干涸硬化的表面层, 平整尾矿库表面; (2) 在挖松表层中撒铺碎粒(粒径不大于 6mm); (3) 在尾矿库表面铺盖 15~25 cm 厚的土层; (4) 种植前用中和药剂处理播种苗床, 并施加足够的肥料^[10]。做好以上处理后, 即可先种植草本植物, 待土质熟化后再种植用材林木。应选择生长快, 抗逆境能力强, 生物化学活跃的树种营造人工林, 同时考虑不同植物群落和品种植物的搭配, 本地和外地植物品种结合, 以及有固氮作用的作物种植方案。但是不可在尾矿坝边坡处种植根深乔木, 以免破坏坝基的稳定, 适宜种植低矮匍匐型根浅草种。

4 结论

通过研究区的污染现状评价认为, 研究区的重金属污染严重, 以 As 和 Cd 为主。其中尾矿库周围的土壤已达到了中度污染, 下塘背村的农田也达到了轻度污染, 废石场废石 Cd 含量超标。

研究区的复垦主要采取生物复垦, 辅助以稳定技术和污染防治技术。服务期运用生活垃圾和无机肥

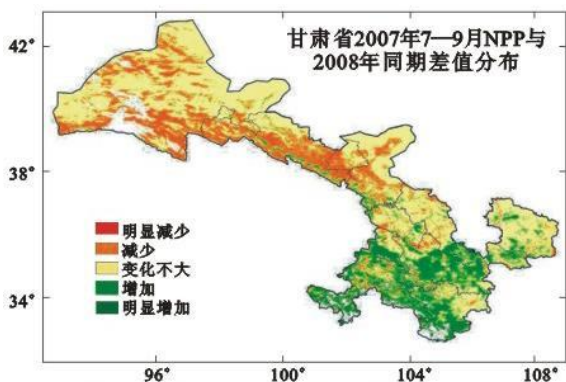
对土壤进行改良, 选取蜈蚣草、苜蓿和香根草修复土壤。服务期满后, 先改善土壤矿区土壤质量, 再种植草本和乔木植物。

[参 考 文 献]

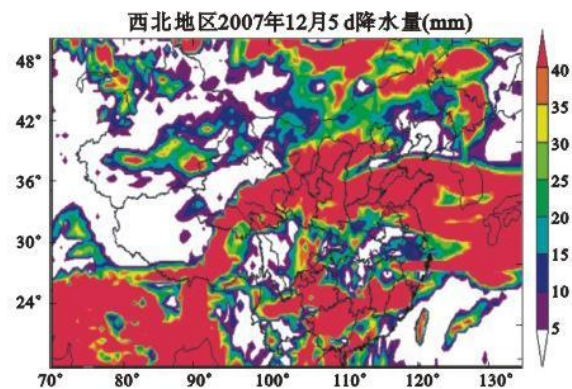
- [1] 李宗禹. 前苏联的林业土地复垦[J]. 世界林业研究, 1996, 9(5): 37-44.
- [2] 彭建, 蒋一军, 吴健生, 等. 我国矿山开采的生态环境效应及土地复垦典型技术[J]. 地理科学进展, 2005, 24(2): 38-48.
- [3] 马文明. 矿区沉陷地复垦与生态重建研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(1): 135-139.
- [4] 董华斌, 段建南, 黄卫常. 郴州市矿区生态环境状况与土地复垦研究[J]. 热带农业科学, 2005, 25(4): 48-52.
- [5] 许中坚, 吴灿辉, 刘芬, 等. 典型铅锌冶炼厂周边土壤重金属复合污染特征研究[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2007, 22(1): 111-115.
- [6] 张从. 环境评价教程[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 148-149.
- [7] 黄铭洪, 骆永明. 矿区土地修复与生态恢复[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 161-169.
- [8] 刘国华, 舒洪岚. 矿区废弃地生态恢复研究进展[J]. 江西林业科技, 2003(2): 21-25.
- [9] 周连碧. 矿山复垦与生态恢复[J]. 有色金属工业, 2004(6): 19-21.
- [10] 北京矿冶研究总院. 有色金属矿山尾矿库复垦与生态恢复技术[Z]. 国家科技成果, 2003.
- [11] 安志装, 陈同斌, 雷梅, 等. 蜈蚣草耐铅、铜、锌毒性和修复能力的研究[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2594-2598.
- [12] 雷梅, 岳庆玲, 陈同斌, 等. 湖南柿竹园矿区土壤重金属含量及植物吸收特征[J]. 生态学报, 2005, 15(5): 1146-1151.
- [13] 韦朝阳, 陈同斌. 高砷区植物的生态与化学特征[J]. 植物生态学报, 2002, 26(6): 695-700.
- [14] 代剑平, 揭雨成, 冷鹏, 等. 镉污染环境 中镉在苜蓿植株各部分分布规律的研究[J]. 中国麻业, 2003, 25(6): 279-293.
- [15] 李明顺, 唐绍清, 张杏辉, 等. 金属矿山废弃地的生态恢复实践与对策[J]. 矿业安全与环保, 2005, 32(4): 16-18.
- [9] 汤国安, 杨昕. ARCGIS 地理信息系统空间分析实验[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 263-264.
- [10] 戴西超, 张庆春. 综合评价中权重系数确定方法的比较研究[J]. 煤炭经济研究, 2003, 23(11): 37.
- [11] 白艳芬, 马海洲, 沙占江, 等. 基于熵权法的南水北调西线工程区生态环境综合评价[J]. 盐湖研究, 2008, 16(1): 12-16.
- [12] 杨慧娟, 李宁, 杜子璇, 等. 气候变化对内蒙古牧区白灾的影响: 基于熵权法分析的锡林浩特市案例研究[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 62-66.

(上接第 232 页)

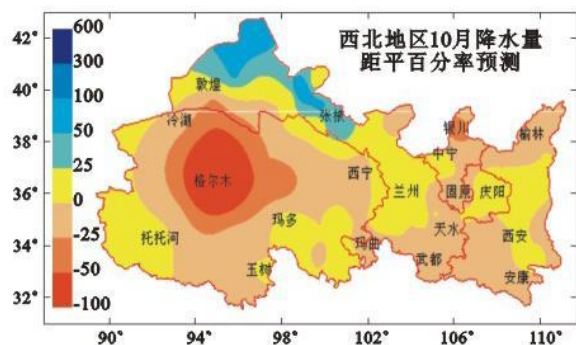
- [5] 赵文晋, 董德明, 龙振永, 等. 战略环境评价指标体系框架构建研究[J]. 地理科学, 2003, 23(6): 751-754.
- [6] 董德明, 赵文晋, 王宪恩, 等. 战略环评若干问题研究[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 609-612.
- [7] 畅俊杰, 李万寿. 南水北调西线工程与受水区生态环境问题[J]. 水土保持通报, 2003, 23(3): 6-10.
- [8] 刘文治, 卜红梅, 刘贵华, 等. 丹江口库区湿地植被对南水北调中线工程响应研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(4): 149-152.



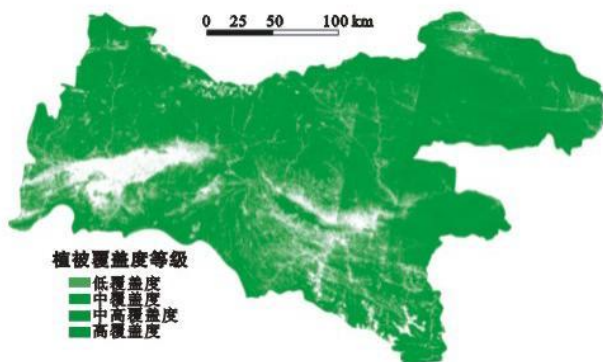
附图2 西北地区干旱监测预警评估业务系统生态干旱预测结果（以植被净初级生产力NPP为例）



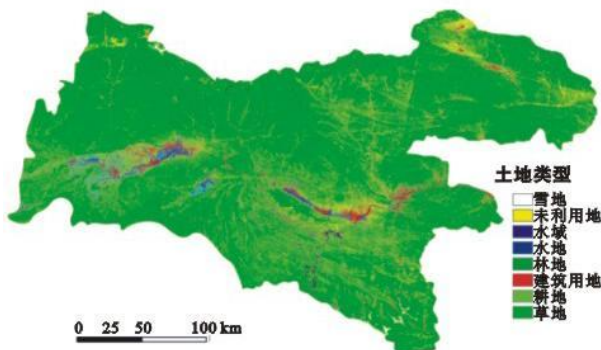
附图3 西北地区干旱监测预警评估业务系统降水预测结果（以候尺度为例）



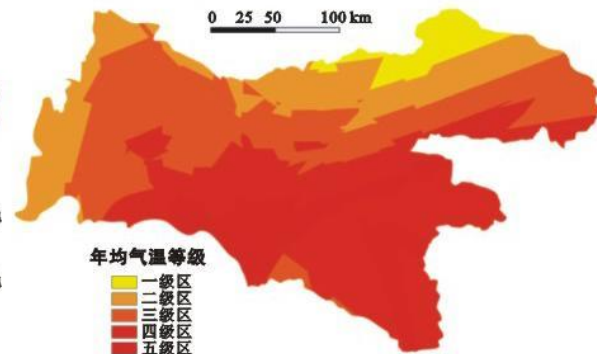
附图4 西北地区干旱监测预警评估业务系统降水预测结果（以月尺度为例）



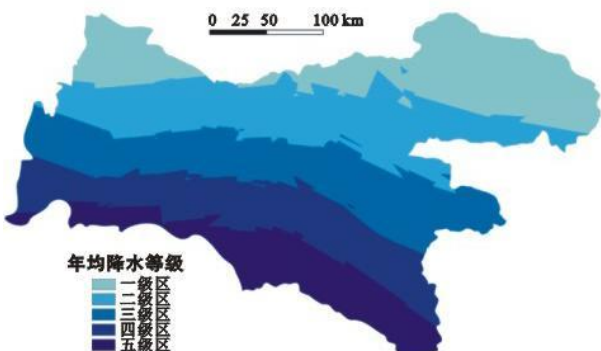
附图5 南水北调中线工程植被覆盖度图



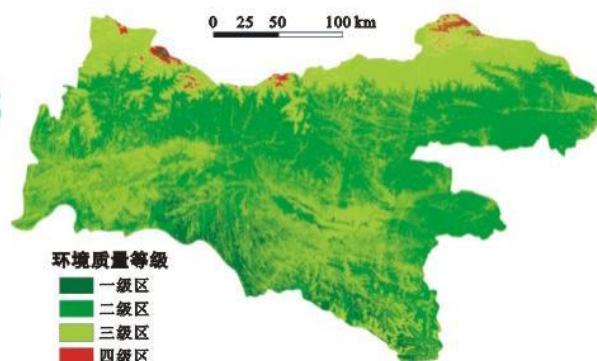
附图6 南水北调中线工程土地覆盖类型图



附图7 南水北调中线工程年均气温图



附图8 南水北调中线工程年均降水等级图



附图9 水源区生态环境质量综合分区图