

基于遥感和 GIS 的三北防护林工程生态效益评价研究 ——以山西省中阳县为例

王晓慧¹, 陈永富¹, 陈尔学¹, 张元应², 雒艳兰³

(1. 中国林业科学研究院 资源信息研究所, 北京 100091;

2. 山西省中阳县林业局, 山西 中阳 033400; 3. 山西省吕梁市水利局, 山西 吕梁 033000)

摘 要: 以山西省中阳县为试验区, 利用遥感监测和地面调查所形成的工程进展基础数据, 应用价值量对三北防护林工程的生态效益进行了计量, 并在 GIS 支持下获得三北防护林工程生态效益评价图, 为评价三北防护林工程建设质量和成效提供依据, 同时为开展生态补偿提供参考。结果表明, 中阳县三北防护林工程改善生态环境成效显著, 单位面积年平均生态效益为 40 807.05 元/(hm²·a), 年生态效益总价值为 3.08×10⁹ 元/a。从分布状况来看, 土石区立地条件比黄土区好, 大量分布着天然次生林, 土石区防护林生态效益价值量大于黄土区, 土石区和黄土区防护林单位面积年平均生态效益价值分别为 42 800.98 和 37 342.20 元/(hm²·a)。从植被类型来看, 针叶林、阔叶林和针阔混交林单位面积年平均生态效益价值量大于灌木林, 分别为 44 618.59 和 37 414.95 元/(hm²·a)。

关键词: 三北防护林工程; 生态效益; 遥感监测; GIS; 中阳县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0171-05

中图分类号: S718.56, X176

Ecological Benefit Evaluation of Three-north Shelter Forest Project Based on GIS —A Case Study in Zhongyang County, Shanxi Province

WANG Xiao-hui¹, CHEN Yong-fu¹, CHEN Er-xue¹, ZHANG Yuan-ying², LUO Yan-lan³

(1. Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF, Beijing 100091, China; 2. Zhongyang County Forestry Bureau, Zhongyang, Shanxi 033400, China; 3. Lüliang Water Resources Bureau, Lüliang, Shanxi 033000, China)

Abstract: Ecological benefits of the three-north shelter forest project were evaluated based on total value calculated from the data regarding project status, which was estimated using remote sensing monitoring and ground truthing in Zhongyang County, Shanxi Province. An ecological benefit evaluation map of the three-north shelter forest project was acquired using GIS, providing a basis for project evaluation and ecological compensation. The results show that the three-north shelter forest project in Zhongyang County has improved ecological environment significantly, resulted in annual average ecological benefit per unit area of 40 807.05 yuan/(hm²·a), and annual total ecological benefit of 3.08×10⁹ yuan/a. As of the spatial distribution, the sites located in the earthy-rocky mountainous area developed a large number of natural secondary forests, suggesting a better environmental conditions than in the loess area. Annual average ecological benefits per unit area in the earthy-rocky mountainous and in loess area were 42 800.98 and 37 342.20 yuan/(hm²·a), respectively. In terms of vegetation type, annual average ecological benefit per unit area of the forests (coniferous, broadleaved, and coniferous and broadleaved mixed) was greater than that of shrub, as of 44 618.59 and 37 414.95 yuan/(hm²·a), respectively.

Keywords: the three-north shelter forest project; ecological benefit; remote sensing; GIS; Zhongyang County

三北防护林工程实施 32 a 来, 三北地区生态环境发生了显著的变化, 对三北地区的工农业生产和人民生活产生了深远的影响。三北防护林工程生态效

益评价有利于及时、准确、规范地反映三北防护林工程对生态环境变化的影响, 科学、系统地评价三北防护林工程建设的成效, 可为三北防护林工程进一步实

施提供决策依据。从 20 世纪 80 年代起,国外一些学者采用价值量对生态效益进行评价^[1-2]。中国在 20 世纪 90 年代由侯元兆等^[3]对森林资源价值核算展开了案例研究。郎奎建等^[4]对林业生态工程的 10 种森林生态效益作了总体估计,包括涵养水源、水土保持、吸收二氧化碳、净化大气、改善小气候、抑制风沙、减轻水旱灾、游憩、保护野生生物和消除噪声。国家林业局发布了森林生态系统服务功能评估规范、退耕还林工程建设效益监测评价的行业标准和国家标准,为森林生态系统和林业生态工程建设评价提供指导^[5-6]。

近年来,国内外探索采用技术手段对生态资产或生态服务进行调查计量。法国地理信息系统实验室、北京师范大学、中科院地理所、中国林科院利用 GIS 将生态系统服务量化过程与经济评价方法结合起来,同时利用遥感反演温度变化图 and 变化数据^[7-9]。

国家“七五”重点科技攻关项目“三北防护林生态效益遥感综合研究”开展了应用遥感技术进行防护林生态效益的研究,完成了土壤、植被、地貌等防护林生态效益评价因子的遥感信息提取^[10]。目前三北防护林工程生态效益评价研究大多以县、省为统计单位,评价过程中应用遥感和 GIS 较少,评价结果不具有详尽的空间分布特征,难以落实到山头地块。同时,承担着维护国家生态安全重任的三北防护林工程长期以来存在着资金短缺、管护薄弱等困难和问题,急需推动森林生态效益基金补偿制度的落实。

本研究应用价值量对三北防护林工程生态效益进行计量,运用遥感和 GIS 获取生态效益的空间分布状况,为评价三北防护林工程建设质量和成效提供依据,同时为制定和完善三北防护林工程生态补偿制度提供参考。

1 研究区概况

中阳县地处晋西吕梁山中段西侧,行政上隶属山西省吕梁市,属暖温带大陆性气候,年平均气温 6~10℃,年平均降水量 460~600 mm,7—9 月降雨量占全年降雨量的 70%。地势东南高,西北低,海拔最高 2 100 m,最低 890 m,绝大部分为山地,其次为丘陵。按照地形和生态区位,中阳县分为 3 个类型区,东南土石山森林区,占总面积的 54.5%,山高沟深,石厚土薄,寒冷湿润,草木茂盛,利于发展林牧业。中部河谷区,占总面积的 2.5%,位于南川河两岸,地形平坦,是全县发展工农业生产的宝地。西部黄土丘陵,占总面积的 43%,多呈梁峁状黄土丘陵,沟壑纵横,地表破碎,自然植被稀疏,水土流失严重,农业生产水平低下。中阳县是三北防护林工程建设重点

县之一,1978 年被列入三北防护林体系建设范围,至 2006 年造林保存面积达 $3.31 \times 10^4 \text{ hm}^2$,工程建设已经初具规模^[11]。

2 研究方法

2.1 生态效益指标体系

干旱、风沙危害和水土流失导致的生态灾难,严重制约着三北地区经济社会的发展。在三北地区建立以森林为主体,多林种、多树种、多效益、带片网、乔灌草、造封管、人工治理与自然修复相结合的三北防护林体系,可以改善三北地区风沙危害和水土流失等造成的生态环境状况。

中阳县地处黄土高原水土流失区,针对该区域的特点,选取涵养水源、减少土壤侵蚀、减少泥沙淤积、保持土壤肥力、改良土壤、固碳、释氧、吸收二氧化硫和滞留粉尘等指标进行生态效益评价。三北防护林工程生态效益评价以防护林中发挥生态环境改善功能较大的有林地和灌木林地地为研究对象。

2.2 生态效益指标计算公式

$$V_1 = 10A(R - E - F)P \quad (1)$$

式中: V_1 ——年涵养水源价值(元/a); A ——防护林面积(hm^2); R ——年平均降水量(mm/a); E ——年平均防护林蒸散量(mm/a); F ——年平均地表径流量(mm/a); P ——每 1 m^3 库容成本(元/ m^3)。

$$V_2 = 0.01AP_2(X - Z)/(DS) \quad (2)$$

式中: V_2 ——年减少土壤侵蚀价值(元/a); A ——防护林面积(hm^2); P_2 ——单位面积防护林地年均收益(元/ hm^2); X ——无林地平均土壤侵蚀模数 [$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]; Z ——防护林地土壤侵蚀模数 [$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]; S ——土壤容重(t/m^3); D ——土壤耕作层厚度(cm)。

$$V_3 = 24\%AP(X - Z)/C \quad (3)$$

式中: V_3 ——年减少泥沙淤积价值(元/a); A ——防护林面积(hm^2); X ——无林地平均土壤侵蚀模数 [$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]; Z ——防护林地土壤侵蚀模数 [$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]; P ——每 1 m^3 库容成本(元/ m^3); C ——泥沙容重(t/m^3)。

$$V_4 = A(X - Z) \sum (Y_i H_i / B_i) \quad (4)$$

式中: V_4 ——年保持土壤肥力价值(元/a); A ——防护林面积(hm^2); X ——无林地平均土壤侵蚀模数 [$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]; Z ——防护林地土壤侵蚀模数 [$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]; Y_i ——土壤中氮、磷、钾含量(%); H_i ——氮、磷、钾肥料价格(元/t); B_i ——化肥中氮、磷、钾的折纯率(%).

$$V_5 = AGE \sum (W_i H_i / B_i) \quad (5)$$

式中: V_5 ——年改良土壤价值(元/a); A ——防护林面积(hm^2); G ——防护林凋落物量 [$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]; E ——防护林凋落物分解率(%); W_i ——凋落物中氮、磷、钾含量(%); H_i ——氮、磷、钾肥料价格(元/t); B_i ——化肥中氮、磷、钾的折纯率(%).

$$V_6 = 1.63MAQP_6 \quad (6)$$

式中: V_6 ——年固碳价值(元/a); M —— CO_2 中碳的含量,取 27.27%; A ——防护林面积(hm^2); Q ——单位面积防护林植被净第一性生产力 [$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]; P_6 ——固碳造林成本(元/t).

$$V_7 = 1.19AQP_7 \quad (7)$$

式中: V_7 ——年释氧价值(元/a); A ——防护林面积(hm^2); Q ——单位面积防护林植被净第一性生产力 [$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]; P_7 ——释氧造林成本(元/t).

$$V_8 = AOP_8 \quad (8)$$

式中: V_8 ——年吸收二氧化硫价值(元/a); O ——防护林吸收二氧化硫的能力 [$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]; A ——防护林面积(hm^2); P_8 ——降解二氧化硫的成本(元/t).

$$V_9 = AGP_9 \quad (9)$$

式中: V_9 ——年滞留粉尘价值(元/a); G ——防护林的滞尘能力 [$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]; A ——防护林面积(hm^2); P_9 ——削减粉尘的成本(元/t).

2.3 数据收集和获取

2.3.1 数据收集 收集中阳县的降雨、气温、土壤、森林分布、土地利用、DEM、遥感、社会经济、水土保持与防风固沙效益试验观测数据、图件和统计资料,以及水库库容成本、林业生产收益、化肥价格、固碳制氧成本、净化大气成本等价值量核算参数。

2.3.2 土地利用、土壤侵蚀和植被净初级生产力(NPP)提取 采用中阳县 2006 年 TM 遥感影像,在参考外业调查和森林分布图的基础上,按照土地利用类型,即针叶林、阔叶林、针阔混交林、疏林地、灌木林地、未成林造林地、无立木林地、农田、居民地、水体和未利用地,采用监督分类的方法对中阳县遥感影像进行分类,得到 2006 年中阳县土地利用图(附图 7)。

在此基础上,基于遥感和 GIS,应用修正的通用土壤流失方程(RUSLE)估算土壤侵蚀量。RUSLE 表达式为:

$$A = f \cdot R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (10)$$

式中: A ——年土壤流失量 [$\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$]; R ——降雨和径流因子; K ——土壤可蚀性因子; L ——坡长因子; S ——坡度因子; C ——植被与经营管理因子; P ——水土保持措施因子; f ——单位换算系数。 A 取常用的 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 时, $f = 224.2$ 。提取 RUSLE 方程中的各因子,在 GIS 支持下,得到土壤侵蚀分布图(图 1)。



图 1 中阳县土壤侵蚀分布

采用 Miami 模型,计算中阳县植被 NPP 值。Miami 模型为:

$$y_1 = 3\,000 / (1 + \exp(1.315 - 0.119T)) \quad (11)$$

$$y_2 = 3\,000 / (1 + \exp(-0.000\,664P)) \quad (12)$$

式中: y_1 ——根据年平均气温计算的 NPP [$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]; y_2 ——根据年降水量计算的 NPP [$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]; T ——年平均气温($^{\circ}\text{C}$); P ——年降水量(mm)。根据 Liebig 最低因子定律,选择 2 个数值中的较小值作为研究点的 NPP,即 $y = \min(y_1, y_2)$,该模型精度在 66%~75%^[12-14]。在中阳县年平均气温分布图和降水量分布图的基础上,运用 Miami 模型得到中阳县 NPP 分布图(图 2)。

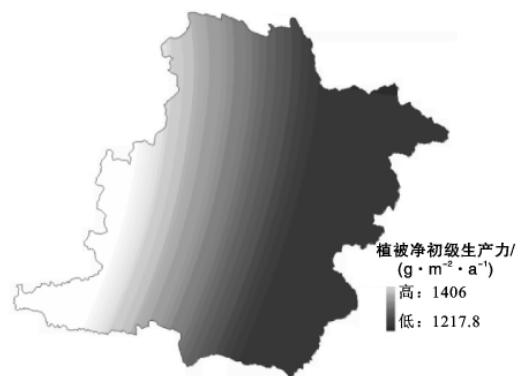


图 2 中阳县 NPP 分布图

2.4 指标测算

基于以上收集和获取的数据,分别采用价值量核算参数包括库容成本、林业生产收益、化肥价格、固碳制氧成本和净化大气成本,在 GIS 平台上,通过指标测算获得各项生态效益指标,再对各生态效益指标采用等权重法获得中阳县三北防护林生态效益评价图。

3 结果与分析

(1) 涵养水源效益。水量平衡法中的森林蒸发散目前难以准确测量,因此防护林涵养水源量采用降水储存量法计算。根据前人研究,林区林冠和树干的

蒸腾和扩散约占降水量的 30%，树木在蒸腾过程中又占 15%，因而森林涵养水源量只占林区降水量的 55%，而林区降水量可以降水量分布数据与森林覆盖率计算，因此年水源涵养量 = 降水量 × 防护林面积 × 55%^[15]。这种方法主要是根据森林蒸发的经验值计算水源涵养量，简便易行，可操作性强。年涵养水源的价值可以通过建设相同库容的水库所需投入的成本计算，采用影子工程法，即水源涵养价值 = 水源涵养量 × 每立方米库容成本^[16]。每立方米库容成本取 5.90 元/m³。防护林分布、面积和降水量分别取自中阳县土地利用分类图和降水量分布图，获得中阳县防护林涵养水源效益及其分布，价值量为 1.31 × 10⁹ 元/a。

(2) 减少土壤侵蚀、减少泥沙淤积及保持土壤肥力效益。这 3 项效益计算中都涉及的防护林地土壤侵蚀模数取自中阳县 2006 年土壤侵蚀分布图。平均土壤容重取 1.12 t/m³。由于常年浅耕和严重的水土流失，使大量的表土流失，耕作层厚度逐年变薄，土壤平均耕作层厚度为 20 cm，年平均林业生产收益为 2 878.13 元/hm²。无林地主要是宜林荒山荒地，土壤侵蚀模数取值 18 946.97 t/(km² · a)。获得中阳县防护林减少土壤侵蚀效益及其分布，价值量为 1.56 × 10⁷ 元/a。

三北防护林工程有效地控制了水土流失，减少了流入南川河的泥沙，对延长陈家湾水库使用寿命发挥着积极的作用。泥沙容重取 1.30 t/m³，水库库容成本按 5.90 元/m³ 计。获得中阳县防护林减少泥沙淤积效益及其分布，价值量为 1.32 × 10⁷ 元/a。

土壤侵蚀过程可带走了土壤中的有机质。中阳县土壤主要是耕作土壤，土壤孔隙、土壤耕性等物理性状良好，但结构差，有机质及氮素含量极低，潜在磷素较好，但速效磷较缺乏，钙、钾素较丰富。耕作层土壤中有有机质含量平均为 0.88%，全氮 0.05%，全磷 0.07%，全钾 1.85%。土壤侵蚀造成的氮、磷、钾损失，可通过施用化肥增加土壤肥力，补充损失的氮、磷、钾，因此采用替代市场法，用增加化肥的价钱作为森林保持土壤肥力的价值。硫酸铵、过磷酸钙、氯化钾中氮、磷、钾的平均折纯率分别为 20%，17%，55%，化肥的平均价格按 2 046 元/t 计算。获得中阳县防护林保持土壤肥力效益及其分布，价值量为 9.93 × 10⁸ 元/a。

(3) 改良土壤效益。参考黄土丘陵区林分营养元素生物循环特征的研究，中阳县针叶林中氮、磷、钾的年归还量分别取 29.85, 2.55, 11.42 kg/(hm² · a)，阔叶林 55.76, 5.85, 21.58 kg/(hm² · a)，针阔混

交林 42.81, 4.2, 16.5 kg/(hm² · a)，灌木林地 14.27, 1.4, 5.5 kg/(hm² · a)^[17]。化肥中氮、磷、钾的折纯率和化肥价格见保持土壤肥力价值计算中的相关数据。获得中阳县防护林改良土壤效益及其分布，价值量为 3.9 × 10⁷ 元/a。

(4) 固碳效益及释氧效益。按照生产成本法，我国固碳造林成本为 280 元/t，制氧造林成本为 370 元/t^[4]。基于中阳县 NPP 分布图，分别获得中阳县防护林固碳效益和释氧效益及其分布，固碳价值为 1.22 × 10⁸ 元/a，释氧价值为 4.30 × 10⁸ 元/a。

(5) 吸收二氧化硫效益及滞留粉尘效益。中阳县矿产资源丰富，煤、焦、铁、钢为主的工业发展较快。这些企业在为县域经济做出贡献的同时，也严重污染和破坏了生态环境，每年废气排放量为 7.00 × 10⁸ m³，废气中各种污染物排放量每年达 19 326 t，大气中总悬浮物浓度超过国家标准 3.48 倍。面对高污染企业破坏生态环境的严峻现实，三北防护林工程发挥着改善空气质量的作用。

防护林吸收二氧化硫能力随林分类型不同而不同。参考《中国生物多样性国情研究》，针叶林吸收二氧化硫的能力为 0.215 6 t/(hm² · a)，阔叶林吸收二氧化硫的能力 0.088 65 t/(hm² · a)，针阔混交林吸收二氧化硫的能力 0.152 12 t/(hm² · a)，灌木吸收二氧化硫的能力 0.045 64 t/(hm² · a)^[18]。采用工业治理二氧化硫的成本 600 元/t 作为降解二氧化硫的替代价格。

参考《中国生物多样性国情研究》，针叶林的滞尘能力为 33.2 t/(hm² · a)，阔叶林的滞尘能力 10.11 t/(hm² · a)，针阔混交林的滞尘能力 21.7 t/(hm² · a)，灌木林的滞尘能力 6.51 t/(hm² · a)^[18]。采用工业降尘成本 170 元/t 作为削减粉尘的替代价格。

分别获得中阳县防护林吸收二氧化硫效益和过滤空气滞留粉尘效益及其分布，吸收二氧化硫价值为 4.23 × 10⁶ 元/a，过滤空气滞留粉尘价值为 1.57 × 10⁸ 元/a。

(6) 生态效益总价值。通过各生态效益指标的等权重法获得中阳县三北防护林生态效益评价图(图 3)。中阳县三北防护林工程改善生态环境成效显著，单位面积年平均生态效益为 40 807.05 元/(hm² · a)，年生态效益总价值为 3.08 × 10⁹ 元/a。从中阳县三北防护林生态效益的分布状况来看，土石区立地条件比黄土区好，大量分布着天然次生林，植被覆盖和防护林生长状况更好，防治土壤侵蚀效果较好，因此土石区防护林生态效益价值量大于黄土区，土石区和

黄土区防护林单位面积年平均生态效益价值分别为 42 800.98 和 37 342.20 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)。从中阳县三北防护林植被类型来看,针叶林、阔叶林和针阔混交林单位面积年平均生态效益价值量大于灌木林,分别为 44 618.59 和 37 414.95 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)。

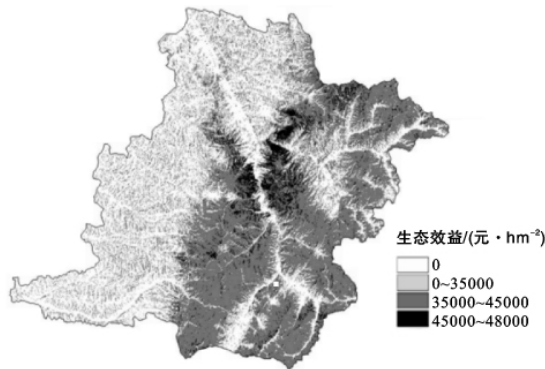


图 3 中阳县三北防护林生态效益评价图

4 结论

(1) 基于遥感和 GIS,结合地面调查和其它基础数据,应用价值量对三北防护林工程的生态效益进行计量获得各项生态效益指标,再通过各生态效益指标的等权重法获得生态效益评价图,从空间分布方面体现了三北防护林所产生的防护作用。三北防护林生态效益评价为三北防护林工程建设质量和成效的评价提供了依据,同时为三北防护林工程的生态补偿制度的制定和完善提供了参考。

(2) 生态效益评价中很多因子以长期定位观测或地面调查的数据为基础,在翔实、准确的样地观测数据的基础上,运用 GIS 扩展到具有同样生态系统类型的区域,或通过遥感进行反演,实现由点到面的转化,获得生态效益评价因子的空间分布状况。遥感和定位观测、地面调查相结合,构建点、线、面一体化的监测体系,才能得出更准确可靠的具有空间分布特征和差异的三北防护林工程生态效益评价结果。

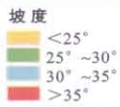
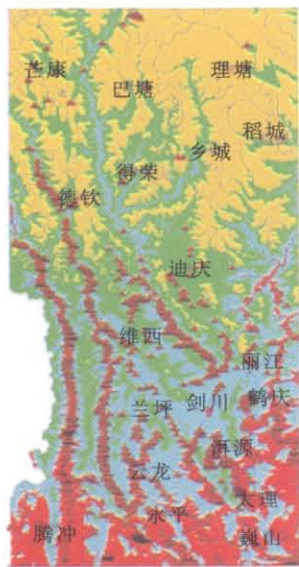
(3) 指标获取方面,还有很多生态因子可以通过遥感测算得到,采用光能利用率模型估算 NPP 值,基于地表能量平衡系统估算地表蒸散量^[19-21]。随着遥感新型传感器的出现和遥感新技术手段的发展,通过遥感可以获取更多的生态因子,从而提高生态效益评价的成效,快速、高效和准确地获得生态效益的时空分布状况。

[参 考 文 献]

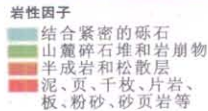
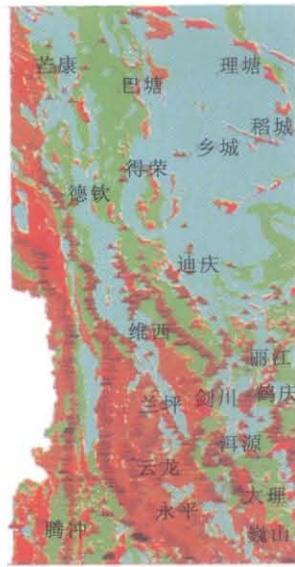
[1] Daily G. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington, District of Columbi-

a: Island Press, 1997.

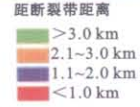
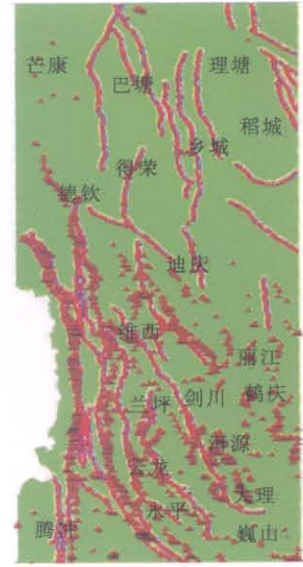
- [2] Costanza R. The value of the world ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 389:253-260.
- [3] 侯元兆,张佩昌,王琪,等. 中国森林资源核算研究[M]. 北京:中国林业出版社,1995.
- [4] 郎奎建,李长胜,殷有. 林业生态工程 10 种森林生态效益计量理论和方法[J]. 东北林业大学学报,2000,28(1):1-7.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化委员会. GB/T 23233-2009,退耕还林工程建设效益监测评价[S]. 北京:中国标准出版社,2009:1-5.
- [6] 国家林业局. LY/T 1721-2008,森林生态系统服务功能评估规范[M]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [7] 李京,陈云浩,潘耀忠,等. 生态资产定量遥感测量技术体系研究:生态资产定量遥感评估模型[J]. 遥感信息,2003(3):8-11.
- [8] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报,2003,18(2):189-196.
- [9] 侯元兆,吴水荣. 生态系统价值评估理论方法的最新进展及对我国流行概念的辨正[J]. 世界林业研究,2008,21(5):7-16.
- [10] 虞献平,贺红仕. 生态与环境遥感研究[M]. 北京:科学出版社,1990.
- [11] 刘来旺,苗文兵. 中阳县“三北”防护林工程建设经验总结[J]. 山西林业,2007(1):36-37.
- [12] 刘洪杰. Miami 模型的生态学应用[J]. 生态科学,1997,16(1):52-55.
- [13] 孙睿,朱启疆. 陆地植被净第一性生产力的研究[J]. 应用生态学报,1999,10(6):757-760.
- [14] 王维芳,王琪,李国春,等. 基于气象模型的黑龙江省植被净第一性生产力[J]. 东北林业大学学报,2009,37(4):27-29.
- [15] 张彪,李文华,谢高地,等. 森林生态系统的水源涵养功能及其计量方法[J]. 生态学杂志,2009,28(3):529-534.
- [16] 李长胜,王殿文,吴艳辉. 中国森林生态效益计量研究[J]. 防护林科技,2005(2):1-3.
- [17] 张希彪,上官周平. 黄土丘陵区主要林分生物量及营养元素生物循环特征[J]. 生态学报,2005,25(3):527-537.
- [18] 中国生物多样性国情研究报告编写组. 中国生物多样性国情研究报告[M]. 北京:中国环境科学出版社,1998.
- [19] 陈利军,刘高焕,励惠国. 中国植被净第一性生产力遥感动态监测[J]. 遥感学报,2002,6(2):129-135.
- [20] 王军邦,刘纪远,邵全琴等. 基于遥感—过程耦合模型的 1988~2004 年青海三江源区净初级生产力模拟[J]. 植物生态学报,2009,33(2):254-269.
- [21] 蔺文静,苏中波,董华,等. 基于 MODIS 产品影像及陆面能量平衡系统(SEBS)的河北平原区域蒸散估算[J]. 遥感学报,2008,12(4):663-672.



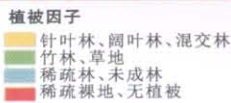
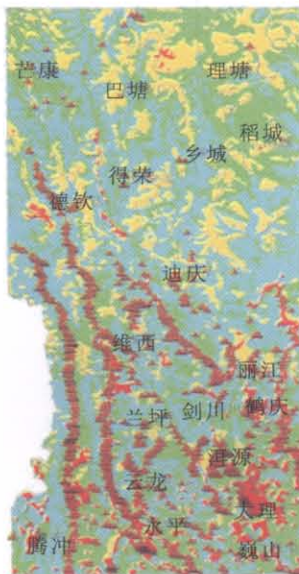
附图1 三江并流区坡度因子分级



附图2 三江并流区岩性因子分级



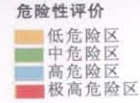
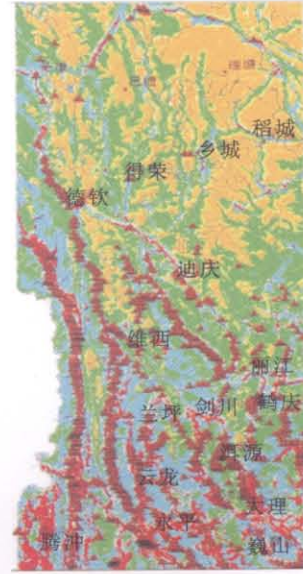
附图3 三江并流区断裂因子分级



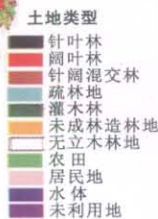
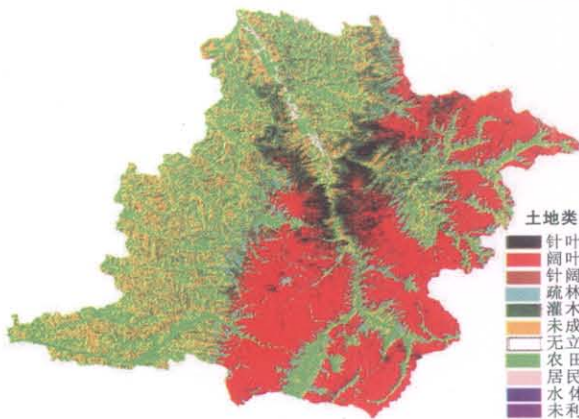
附图4 三江并流区植被因子分级



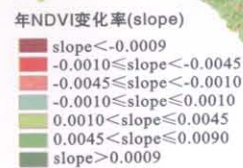
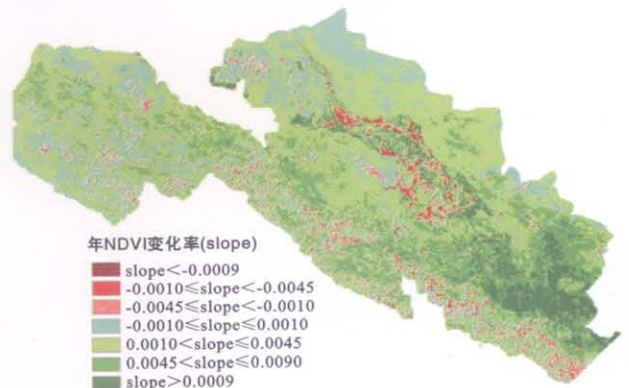
附图5 三江并流区道路因子分级



附图6 三江并流区泥石流危险性评价区划



附图7 山西省中阳县土地利用



附图8 张掖地区2000—2008年生长季NDVI变化率