

基于 ETM+ 影像的唐山地区生态环境质量评价

张明华^{1,2}, 谭悦²

(1. 厦门理工学院 空间信息科学与工程系 361024 福建 厦门; 2. 桂林理工大学 地球科学学院 广西 桂林 541004)

摘要:以 ETM+ 影像为数据源,在对唐山地区进行土地覆盖分类的基础上,选取生物丰度、植被覆盖度、土壤亮度系数和土壤湿度 4 个指标,通过主成分分析法定量计算各参评因子的权重系数,用综合指数模型对唐山地区生态环境质量进行评价。从评价结果中生态环境质量与土地覆盖类型的关系来看,控制城镇建设用地的快速扩张、改良滨海盐碱地,加强矿产开发的监管和整治,重视开发后期的生态恢复治理,是改善唐山地区生态环境质量的有效途径。

关键词:唐山市; ETM+ 影像; 生态环境质量; 评价; 土地覆盖

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0104-05

Ecology Environmental Quality Assessment of Tangshan Region Based on ETM+ Image

ZHANG Ming-hua^{1,2}, TAN Yue²

(1 Department of Spatial Information Science and Engine, Xiamen University of Technology, Xiamen, Fujian 361024, China; 2. Faculty of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: This paper studied the ecology environmental quality based on ETM+ image, classified the land cover types of Tangshan region, chose four indices of biology abundance, percentage of vegetation cover, soil degradation, and soil moisture as indicators, computed weight-coefficient to each factor evaluated with method of principal component analysis, evaluated the ecology environmental quality to Tangshan region with comprehensive index model. On the fact of ecology environmental quality of Tangshan region and relation between land cover type and ecology environmental quality, the effective way to improve the ecology environmental quality of Tangshan region is that overspreading of land use in cities and towns must be controlled, alkaline land on the beach must be improved, mineral resources exploitation should be supervised and regulated, the recovery of ecological environment in mining area should be valued.

Key words: Tangshan city; ETM+ image; ecology environmental quality; assessment; land cover

生态环境是人类社会生存与发展的基础,保护生态环境、实施可持续发展战略,已经成为全世界的共识,美国、日本、欧洲等发达国家十分注重生态环境的保护与评价工作,已先后研制并发射了大量的环境遥感卫星和传感器,对大气、水和生态环境等进行监测,20 世纪 90 年代以来,国内外学者对生态环境质量监测与评价开展了大量的研究工作^[1-4]。

目前,生态环境质量评价主要是以统计和观测资料为主要数据源,对非定量评价因子以专家评分方法进行量化和确定其权值,以行政区域(市或县)为评价单元进行评价^[5-7],这种方法实质上是一种半定量的评价方法,数据来源复杂、信息获取时间不一致甚至

相差久远,评价因子繁多庞杂,评价结果受主观和人为因素影响大,导致评价结果的可信度不高甚至与实际情况相差甚远。近年来,随着遥感技术的快速发展,有些学者开始直接利用遥感影像来提取生态环境因子来进行生态环境质量评价^[8-9],提高了信息获取、更新速度和评价的定量化程度,但仅局限于利用遥感影像提取个别生态环境信息,对遥感影像中生态环境信息的利用极不充分。本文以唐山地区为试验区,在国土资源部《唐山市周边地区矿产资源开发多目标遥感调查与监测》项目研究的基础上,探讨利用遥感技术挖掘遥感影像中的生态环境信息,直接从 ETM+ 影像中提取生态环境质量评价指标因子,以像元为评价单元对

唐山地区生态环境质量进行评价,结合 GIS 支持下的空间统计分析,查明唐山地区生态环境质量状况和空间分布,为改变唐山市及周边地区生态环境差的不利状况^[10],改善和提高生态环境质量提供重要的参考依据。

1 研究区概况

研究区主要包括唐山市及周边丰润、丰南、滦县、滦南四县所辖地带。其地理坐标范围为东经 $117^{\circ}30' - 119^{\circ}17'$,北纬 $39^{\circ}06' - 40^{\circ}05'$,唐山市地处环渤海湾中心地带,北依燕山,南临渤海,东与秦皇岛市接壤,西与北京、天津毗邻,地势北高南低,北部为山地,发育暖温带森林灌丛植被,以天然次生和人工针、阔混交林为主,中部和南部分别为山前平原和滨海平原。属暖温带半湿润季风型大陆性气候,其年平均气温 11.3°C ,年平均降雨量 $620 - 750 \text{ mm}$,境内主要有滦河、陡河、还乡河、沙河等河流。唐山地区矿产资源丰富,主要有煤、铁和有色金属等多种优势矿产。

2 研究方法

2.1 图像预处理

研究区包含四景 ETM+ 卫星影像(121/32、121/33、122/32、122/33),成像时间为 2005—2006 年 8—10 月,影像清晰,含云量均在 5% 以下,无条带和噪声干扰,质量较好。先以 1:10 万地形图在 ENVI 4.2 软件下以二次多项式模型、双线性内插方法分别对四景 ETM+ 影像进行几何精校正,然后以 121/32 景影像为基准,对其余三景影像进行相对辐射校正,利用像元灰度值建立多时相遥感图像各个波段之间的校正方程,采用伪不变特征法对遥感图像进行归一化处理。用基于坐标参考方法对四景影像进行图像镶嵌,对研究区行政区划矢量文件(.shp 格式)进行投影变换,再在 ENVI 4.2 下转换为感兴趣区(ROI),对研究区镶嵌影像进行裁剪,生成研究区生态环境质量评价遥感影像底图。

2.2 土地覆盖类型划分

土地覆盖类型是反映一个地区生态环境状况的重要表征参数。以 TM7(R)、TM 4(G)、TM 1(B)波段组合与 TM8 全色波段进行影像融合,通过对比度扩展和均衡化处理,生成覆盖研究全区的假彩色影像作为遥感解译底图。通过影像的光谱特征和空间结构,结合野外遥感地面调查,建立各种土地覆盖类型的遥感解译标志,对唐山地区土地覆盖类型进行图像识别与解译分析,得出主要土地覆盖类型为裸地、耕地、水体、盐碱地、建筑用地、林地。

在对影像进行波谱统计分析的基础上,结合研究

区地物类型及特征,选择第 TM1—5、TM7 六个波段在 ENVI 4.2 下进行土地覆盖类型的样本采集,然后用训练样本进行影像的监督分类。由于研究区绝大部分地区为平原区,地势变化小,图像分类选用较为成熟的极大似然法,通过反复的样本纯化和分类试验,得出唐山地区不同土地覆盖类型的分类影像图,对比遥感解译图与野外调查资料,抽取一定数量像元进行精度检验,林地、水体分类精度达 86% 以上,其分类总精度达 83%。

2.3 生态环境质量评价

生态环境质量评价的关键问题包括 3 方面内容:生态环境质量评价指标体系、评价因子权重值的确定、生态环境质量评价模型。

2.3.1 生态环境质量评价指标 目前,国内对生态环境质量评价还没有统一的规范和方法,不同学者因研究的区域和地理背景不同,所采用的指标体系有所差异^[11-14],参照国家环境保护总局颁布的《生态环境状况评价技术规范(试行)(HJ/T192—2006)》,一个地区生态环境质量综合评价一般需涉及生物的丰度、植被情况、土地退化、水资源和污染承载 5 个方面因素,考虑到研究区的基础数据和遥感图像特征,本文选择生物丰度、植被覆盖度、土地退化、水资源状况 4 个方面的遥感指数作为评价指标。

(1)生物丰度指数。生物多样性是人类社会赖以生存和发展的基础,生物丰度决定着生态系统的面貌,是反映生态环境质量最本质的特征之一。根据国家环境保护总局生态环境状况评价技术规范(试行)(HJ/T192—2006)生物丰度信息间接用土地覆盖类型来获取,其计算模型为:

$$A_{\text{bio}} = (0.35a_1 + 0.21a_2 + 0.28a_3 + 0.11a_4 + 0.04a_5 + 0.01a_6) / A$$

式中: A_{bio} ——生物丰度指数; a_1 ——林地; a_2 ——草地; a_3 ——水域湿地; a_4 ——耕地; a_5 ——建设用地; a_6 ——未利用地; A ——区域总面积。

(2)植被覆盖度。植被是构成生态环境系统的基本成分,直接反应一个地区生态环境状况。由于红光和红外波段包含 90% 以上的植被信息,通常利用植物在近红外与红光两个波段光谱值的差异值来估算植被覆盖度,多采用归一化植被指数(NDVI)^[15]求取。即:

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}$$

式中:TM4、TM3 分别代表 TM 影像的第 4 波段图像、第 3 波段图像的亮度值。

(3)土壤亮度指数。土壤亮度指数是体现土壤裸

化程度的一种定量指数,反映一个地区的土壤退化程度。土壤亮度指数可以从 TM 影像中用缨帽变换的亮度分量(TC1)或 NDSI 指数^[16]来提取。其中:

$$NDSI = \frac{TM3 - TM2}{TM3 + TM2}$$

式中:TM3、TM2 分别代表 TM 影像的第 3 波段图像、第 2 波段图像的亮度值。

唐山地区两种亮度指数与土地覆盖类型的关系如图 1。对比研究表明,TC1 与 NDSI 呈二次函数关系(近似抛物线),但 NDSI 在非水体覆盖区对不同地类的差异性反映更明显,拟采用 NDSI 指数提取土壤亮度指数。

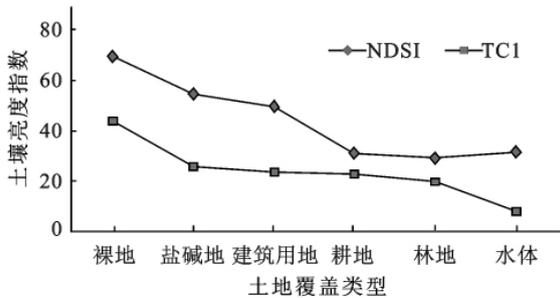


图 1 唐山地区土地覆盖类型与土壤亮度指数关系图

(4)土壤湿度指数。土壤湿度指数是反映土壤中水分含量和作物水分状况的一个指标,土壤湿度也是各类生态系统中的重要因素之一。土壤湿度指数可用缨帽变换的湿度分量(TC3)或 NDMI 指数^[17]提取。其中:

$$NDMI = \frac{TM2 - TM5}{TM2 + TM5}$$

式中:TM2、TM5 分别代表 TM 影像的第 2 波段图像、第 5 波段图像的亮度值。

唐山地区两种湿度指数与土地覆盖类型的关系如图 2。对比研究表明,两种湿度指数 TC3 与 NDMI 呈非线性函数关系,但 NDMI 反映地物差异性好于 TC3,拟采用 NDSI 指数提取土壤亮度指数。

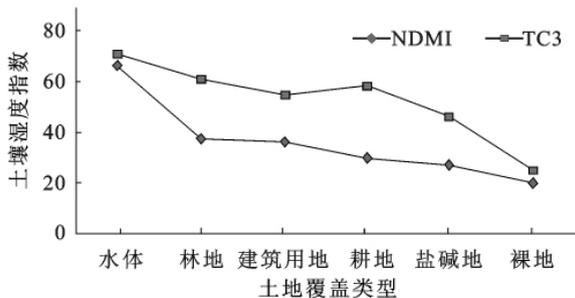


图 2 唐山地区土地覆盖类型与土壤湿度指数关系图

2.3.2 评价因子权重值 对生态环境评价因子权重的确定方法较多,为减少评价中的主观性,拟选择主成份分析法来计算各评价因子的权重。

首先,对各评价指标采用统计法去除极像元后,进行标准化处理(范围 [0,5]),并求解参评因子之间的相关系数:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^N (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}}$$

式中: i, j ——参评因子数($i, j = 1, 2, 3, 4$); k ——参评因子影像像元数; r_{ij} ——第 i 个参评因子和第 j 个参评因子之间的相关系数; N ——研究区像元总数; x_{ik}, x_{jk} ——第 i, j 个因子影像的第 k 个像元点的 DN 值; \bar{x}_i, \bar{x}_j ——第 i, j 个因子影像像元的平均值。

其次,根据相关系数计算各评价指标影像的相关系数矩阵,用雅可比法求出特征值 λ_i ,再求解主成分贡献率和累积贡献率。其中:

贡献率:

$$z_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{k=1}^N \lambda_k} \quad (i=1, 2, 3, 4)$$

累积贡献率:

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^i \lambda_k}{\sum_{k=1}^N \lambda_k} \quad (i=1, 2, 3, 4)$$

式中: i ——指标影像数; N ——主成分数; z_i, v_i ——第 i 个主成分贡献率、累积贡献率; λ_i, λ_k ——第 i, k 个评价指标影像的特征值。

然后,计算各个参评因子在各个主成分上的比重系数、公因子方差。其中:

$$\text{比重系数: } P(pca_i, x_j) = \sqrt{\lambda_i} e_{ij}$$

式中: j ——参评因子数; i ——主成分数; $P(pca_i, x_j)$ ——第 j 个参评因子 x_j 在第 i 主成分 pca_i 上的比重系数; λ_i ——第 i 主成分的特征值; e_{ij} ——第 i 主成分的特征值的第 j 分量; m ——所选取的主成分的数量。

公因子方差:

$$H_j = \sum_{i=1}^m P(pca_i, x_j) z_i \quad (j=1, 2, \dots, m)$$

式中: j ——参评因子数; i ——主成分数; H_j ——第 j 个参评因子的公因子方差; $P(pca_i, x_j)$ ——第 j 个参评因子 x_j 在第 i 主成分 pca_i 上的比重系数; z_i ——第 i 个主成分贡献率; m ——所选取的主成分的数量。

最后,对各参评因子指数的公因子方差进行归一化处理,即得各参评因子的权重值 ω (表 1)。

2.3.3 生态环境质量评价 目前,生态环境质量评价方法或模型主要有层次分析法、综合指数法、模糊评价法、人工神经网络法等。为了全面综合地反映研究区的自然生态现状,根据各参评因子的权重,以影像像元为评价的基本单元,采用综合指数法对所有参评因子影像进行逐像元运算和评价,其生态环境质量

综合指数(W)的计算模型为:

$$W = \sum_{i=1}^N \omega_i x_i$$

式中: N ——参评因子总数; ω_i ——第 i 个参评因子的权重系数; x_i ——第 i 个参评因子指数。

表 1 评价因子指数在主成分中的系数及权重值

评价因子	主成分系数			权重值
	PC1	PC2	PC3	
生物丰度指数	0.5349	0.7650	0.3583	0.1733
植被覆盖度	0.8149	0.1842	-0.5394	0.2640
土壤亮度指数	0.9639	-0.1685	-0.0219	0.3121
土壤湿度指数	0.7736	-0.5130	0.3478	0.2506

在 ENVI 4.2 平台中根据评价指标影像和权重值进行数学运算,得出生态环境质量综合指数影像图,影像各像元点的 DN 值即为所求的综合指数(W),范围为[0,5]。根据统计直方图所显示的生态环境综合指数的空间分布特征,并参照《生态环境状况评价技术规范(试行)(HJ/T192-2006)》,将生态环境质量综合指数划分为 I、II、III、IV 4 级,分别对应于优、良、中等、差 4 种生态环境质量等级。最后得出唐山地区生态环境质量分级图如附图 13。

3 结果与分析

通过在 ENVI 4.2 中进行影像分割和在 Arc-Gis9.2 中的拓扑分析、属性统计,得出唐山地区不同等级的生态环境质量区的占地面积及不同土地覆盖类型的占地面积如表 2。

利用行政区划矢量图对唐山地区生态环境质量

表 2 唐山地区生态环境质量分区面积

等级	林地	耕地	建筑用地	盐碱地	裸地	总面积
IV	—	71.8879	113.7585	221.9826	1287.5368	1695.1658
III	—	133.4627	807.3176	169.7351	319.7954	1430.3108
II	885.6277	704.3678	67.3745	13.2109	58.6296	1729.2105
I	149.0536	—	—	—	—	149.0536
总计	1034.6813	909.7184	988.4506	404.9286	1665.9618	5003.7407

表 3 唐山地区生态环境质量统计

等级	唐山市	丰润区	丰南县	滦县	滦南县
IV	165.9386	259.8607	214.0254	581.1507	484.2391
III	369.8117	370.7336	370.3811	145.9231	180.4332
II	145.8054	538.8576	447.5384	251.1729	337.9609
I	14.0373	43.8339	64.7006	6.8172	19.6751

对比唐山地区矿产资源开发及矿山环境状况^[18],唐山市、滦县及周边地带由于过度的矿业开发和忽视后期的恢复治理,在唐山市东部及东南部滦县等矿集区,由于煤矿、铁矿及非金属矿露天开采,使地表覆盖层受到破坏或剥离,造成基岩裸露、植被损毁和耕地破坏,同时,大量的固体废弃物(煤矸石、铁

综合指数分级图进行裁剪,根据行政区划进行生态环境质量统计,得出唐山地区各区县不同生态环境质量等级的分布面积如表 3,各区县生态环境质量指数平均值如表 4。

3.1 唐山地区生态环境质量特征与分布

唐山地区生态环境质量分布不均一, I 级分布较局限、面积小,主要在丰润区、滦县的北部山地区域,占总面积的 2.76%; II 级分布范围较广、面积较大,主要在丰润区南部、丰南县、滦南县东部地区,约占总面积的 32.11%; III 级在各县分布也较广泛,主要集中在唐山市、丰南县西南部,占总面积的 26.57%; IV 级主要分布在研究区的东部和北部、以滦县、滦南县、唐山市分布最多,占总面积的 31.68%。

唐山地区所辖各区县生态环境质量存在较大差异。唐山市城市化程度较高,建筑用地面积比例较大,生态环境质量中等,以 III 级为主,占总面积的 48.85%;丰润区耕地分布较广,北部有大量的林地,生态环境质量综合指数均值最高,以 II 级最多,占总面积的 44.4%, III、IV 级也占有一定的比例;丰南县耕地、林地均有较大面积的分布,滨海盐碱地也分布较广,生态环境质量综合指数均值排第 2 位,以 II 级、III 级为主,分别占总面积的 35.24%和 29.16%;滦县耕地分布广,但裸地面积也较大,生态质量质量以 IV 级和 II 级为主,分别占总面积的 58.42%和 25.25%;滦南县盐碱地分布较广,耕地由于盐碱化作用,使生态环境质量下降,生态环境质量以 III、IV 级为主,分别占总面积的 29.72%和 42.58%。

矿剥离物、尾矿)占压耕地,部分耕地、林地变为裸地或建筑用地,使生态环境质量下降。

表 4 唐山地区生态环境质量指数(ω)均值

	唐山市	丰润区	丰南县	滦县	滦南县
ω 均值	1.66	1.96	1.95	1.26	1.24

3.2 生态环境质量与土地覆盖类型的关系

唐山地区林地生态环境质量为 I 级和 II 级,以 II 级为主,分别占林地面积的 85.6%和 14.6%;耕地、建筑用地、盐碱地和裸地的生态环境质量变化较大,包含了 II 级—IV 级三个等级,其中,耕地属于人工生态系统,生态环境质量总体较好,主要以 II 级为主,约占耕地面积 77.43%, III 级、IV 级分别占 14.67%、

7.9%;建筑用地是人类活动较为强烈的区域,以Ⅲ级为主,占建筑用地面积的81.67%,另外,Ⅳ级、Ⅱ级分别占11.5%和6.83%;盐碱地生态环境质量较差,主要为Ⅲ级和Ⅳ级,分别占盐碱地面积的41.92%和54.82%,Ⅱ级占5.23%;裸地生态环境质量最差,Ⅳ级占总面积77.3%,Ⅲ级占19.2%,Ⅱ级仅占3.5%。

4 结论

唐山地区生态环境质量存在较大的差异,西部、北部和南部地区林地和耕地分布面积较广,生态环境质量较好,而中部地区城镇建筑用地和矿产资源开发占地较多,东部裸地分布较广,东南部受海水侵蚀盐碱化程度较高,生态环境质量较差。因此,合理有序地进行矿产资源开发、重视和加强矿产开发后的恢复治理,控制城镇建设用地的快速扩张,减轻海水侵蚀和改良盐碱地等是从宏观上控制和改善唐山地区生态环境质量的有效途径。

唐山地区生态环境质量与土地覆盖类型有较密切的关系,研究表明:林地生态环境质量最好,全部为Ⅰ级和Ⅱ级,耕地生态环境质量次于林地,以Ⅱ级为主,建筑用地以Ⅲ级为主,盐碱地生态环境质量较差,主要为Ⅲ、Ⅳ级,裸地的生态环境质量最差,大多数为Ⅳ级。总体上,生态环境质量表现出“林地>耕地>建筑用地>盐碱地>裸地”的特点。

随着城市扩展和矿产资源开发快速增长,唐山市及周边地区大量耕地被占用,过度的矿业开发和忽视后期的恢复治理,使大量地表覆土层被剥离,造成基岩裸露、植被损毁和耕地破坏,同时,大量的固体废弃物(煤矸石、铁矿剥离物、尾矿)占压耕地,使唐山市、滦县及滦南县等矿集区生态环境质量下降。加强矿产开发的监管和整治、改善矿山生态环境是提高唐山地区生态环境质量急需解决的重要问题。

参考文献:

[1] Klung P, Taylor M. microncomputer-based-sysytem for multicriteria environmental impacts evaluation of urban road networks[J]. Comput. Environ. Urban Syst, 1998,

22(5):425-446.

- [2] Thomas M, Quigley, Richard W, et al. Estimating Ecological Integrity in the Interior Columbia River Basin[J]. Forest Ecology and Management, 2001, 153: 161-178.
- [3] 孙德勇, 李云梅, 乐成峰, 等. 南京市区土地覆被及生态环境遥感动态监测[J]. 地球信息科学, 2008, 10(3): 338-343.
- [4] 万本太. 中国生态环境质量评价研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [5] 贾艳红, 赵军. 白银市区域生态环境质量评价研究[J]. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2004, 40(4): 91-95.
- [6] 孙玉军, 王效科, 王如松. 五指山保护区生态环境质量评价研究[J]. 生态学报, 1999, 19(3): 365-370.
- [7] 芦彩梅, 郝永红. 山西省区域生态环境质量综合评价研究[J]. 水土保持通报, 2004, 24(5): 71-73.
- [8] 徐鹏伟, 赵多. 基于RS和GIS的杭州城市生态环境质量综合评价技术[J]. 应用生态学报, 2006, 17(6): 1034-1038.
- [9] 吴炳方, 孙卫东, 黄签, 等. 中国西部典型区生态环境本底遥感调查[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 46-50.
- [10] 李文君. 唐山市环境污染现状及治理对策[J]. 中国人口·资源与环境, 2000, 10(专刊): 65-67.
- [11] 熊鹰, 王克林, 黄道友. GIS支持下的湖南省生态环境质量综合评价[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 174-178.
- [12] 刘振波, 赵军, 倪绍祥. 绿洲生态环境质量评价指标体系研究: 以张掖市绿为例[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 580-585.
- [13] 梅卓华, 方东, 宋永忠, 等. 南京城市生态环境质量评价指标体系研究[J]. 环境科学与技术, 2005, 28(3): 81-82, 95.
- [14] 万本太, 王文杰, 崔书红, 等. 城市生态环境质量评价方法[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1068-1073.
- [15] 马驰, 卢玉东. 重庆南部 TM 图像植被指数与植被覆盖度信息的关系研究[J]. 水土保持研究, 2008, 12(6): 136-138.
- [16] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 8(4): 327-333.
- [17] 刘伟东, Frédéric Bar, 张兵, 等. 高光谱遥感土壤湿度信息提取研究[J]. 土壤学报, 2004, 9(5): 700-706.
- [18] 张明华, 张建国, 吴虹. 基于GIS的唐山市及周边地区矿山环境遥感调查及动态监测[J]. 中国矿业, 2008, 17(4): 59-62.