

公路景观生态环境风险评价体系的建立和应用:以 315 国道新疆依吞布拉克—且末段为例

周华荣^{1,2}, 钱亦兵², 吴兆宁³, 周可法²

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 3. 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830008)

摘要:应用景观生态学思想, 依据层次分析模式建立了公路生态环境风险评价体系, 在专家思想库的基础之上, 为突出各评价指标的空间属性, 规定其权重值由评价指标影响空间范围的大小来确定. 其中环境因子的影响范围, 即所占面积, 利用 GIS 对相关图件解读获得, 灾害因子影响路段的长度则在施工设计和路线勘测阶段实测而得. 使用该评价体系对 315 国道新疆依吞布拉克—且末段的生态环境风险性进行评价, 结果表明, 该路域生态环境风险指数 ERA 介于 1.55 ~ 3.23 之间. 由于 ERA 包含的生态环境脆弱性指数 $\sum x_i w_i$ 和灾害系数 $\sum y_i w_j$ 存在空间异质性, 故据其最终对路域内的 8 个景观生态单元, 用 4 个风险级别进行了评价, 较真实地反映了该路段生态环境风险特征.

关键词:公路; 生态环境; 风险评价体系

中图分类号: X171.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2005)03-0192-06

Establishment and Application of Eco-environmental Risk Assessment System of Highway: A Case Study from G315 Yitunbulake—Qiemo Section of Xinjiang

ZHOU Hua-rong^{1,2}, QIAN Yi-bing², WU Zhao-ning³, ZHOU Ke-fa²

(1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 3. College of Resources and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: The eco-environmental risk assessment system of highway, based on the Analytic Hierarchy Process and specialists' ideas, is set up. To give prominence to the spatial attribute of each assessment index the weight values were determined by the magnitude of special range that was influenced by assessment index. By translating relative maps using GIS the influenced range of environmental factors, the area occupied, was gotten. The lengths impacted by disaster factors were measured by the route reconnaissance and design. The results of applying the assessment system to evaluate the eco-environmental risk assessment of G315 Yitunbulake—Qiemo section of Xinjiang show that the eco-environmental risk indices of the road region, eco-environmental risk assessment (ERA) were between 1.55 ~ 3.23. According to the heterogeneity of the ecoenvironmental vulnerability indices ($\sum x_i w_i$) and disasters indices ($\sum y_i w_j$) included in ERA, 4 risk ranks to assess the eight units of landscape ecology in the Yitunbulake—Qiemo section of G315 highway were carried out, which factually reflects the characteristics of the ecoenvironmental risk for the highway.

Key words: highway; eco-environment; risk assessment system

在特殊的生态环境区内兴建等级公路, 路域内将形成一个人文与自然相互影响的景观生态系统. 各环境因子/景观要素(包括灾害)对公路工程安全会产生影响, 而公路的占地、施工活动和运营也会对路域生态环境形成很大压力. 人们出于维护生态环境安全的需要, 倍加关注公路工程对环境的影响, 相关评价体系应运而生^[1~3]. 近年来, 众多专家学者对诸如公路景观这类人文和自然双向作用的生态环境体系安全评价, 着重于在生态环境风险分析基础上进行, 而生态环境风险的识别包含风险因素(如灾害)的确定和生态环境脆弱性的认识^[4]. 世界银行针对其援助项目提出的指导意见中也将自然灾害列

为公路特殊环境评价的主要内容^[3].

公路生态环境系统的这种特殊性, 决定了对它的认识要有一个科学的、可操作的评价手段. 公路景观生态环境风险评价, 是在区域和景观尺度上, 对公路路域生态环境进行的风险评价, 其功能性指标的选取更多地落脚于遥感和图件所确定的格局指标^[5~7], 这样更易于操作和反映公路工程环境风险

收稿日期: 2004-06-30; 修订日期: 2004-09-27

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(G1999043509); 西部交通建设科技项目(200131836591); 国家自然科学基金资助项目(40271011).

作者简介: 周华荣(1960—), 男, 乌鲁木齐市人, 研究员, 博士, 主要从事景观生态学和生态环境评价研究.

的真实性.国内外一些类似的工作中,研究者强调风险的时空分布,如 Amborn 对非洲一些国家的景观生态进行评价时,采用了空间意义上的风险分析^[8].借鉴上述思想,本研究对干旱区公路生态环境所做的风险评价,首先在该景观生态系统的空间结构属性基础上,通过实地调查和专业判断及专家咨询,筛选出隶属于干旱区生态环境脆弱性因子和公路路害因子的各项评价指标,并对其影响程度进行分级.然后,用评价指标级别和影响范围(空间格局)的统计结果来表征景观生态环境的风险.由此建立的公路生态环境风险评价体系,不仅可为路域内公路工程本身及其生态环境,在各种风险下能否健康地可持续发展提供判据;也可为新疆尚处空白的

公路景观生态环境风险评价,提供理论和方法上的参考.

1 研究区概况

315 国道依吞布拉克-且末段(简称依-且段)穿越新疆人迹罕至、生态环境脆弱的干旱荒漠区(内含生态敏感性极强的国家级野骆驼自然保护区).研究区沿 315 国道依-且段左右各 1 km 的范围,蜿蜒于阿尔金山间和山前地带,起点在阿尔金山区的依吞布拉克镇,海拔 2 900 m,终点为山前冲洪积平原上的且末县,海拔 1 260 m.地势总体为东南高,西北低.根据公路沿途地形地貌、土壤、植被及水文等地理特征,该路域可分为 8 个景观生态单元(表 1).

表 1 依吞布拉克-且末公路段景观生态单元
Table 1 Landscape ecology units of Yitunbulake-Qie mo section

序号	单元	地形地貌	植被	土壤	社会环境
1	依吞布拉克—巴什考贡	山前倾斜砾质平原和山岭重丘区,局部 V、U 型河谷发育	局部可见高山草甸,荒漠灌木,泉水和溪水发育地段灌木茂密	主要有淡棕钙土、山地棕漠土、盐化石质土,以及石膏棕漠土和高山寒漠土	起点为石棉厂厂区,末端与新疆罗布泊野骆驼国家级自然保护区接壤
2	巴什考贡—红卫	山岭重丘区、平原荒漠区,冲沟地貌在红柳沟处非常发育	局部可见高山草甸,溪流流经的沟谷灌木茂盛	以盐化石质土、石膏棕漠土为主,可见高山寒漠土和漠境盐土	无居民点,位于新疆罗布泊野骆驼国家级自然保护区内(科学实验区)
3	红卫—米兰	平原荒漠区,东部宽浅冲沟发育,西部发育沙漠景观	稀疏植被,低地草甸,西部出现农田	石膏棕漠土、风沙土、盐化草甸土、石质土、黄土状灌耕棕漠土	东部无居民点与新疆罗布泊野骆驼国家级自然保护区接壤,西部为绿洲农业区
4	米兰—若羌	平原绿洲区	农田、林带、芦苇、灌木、草场	石膏棕漠土、漠境盐土、盐化草甸土、黄土状灌耕棕漠土	县政府所在地、居民点、学校
5	若羌—瓦石峡	东部为砾质冲洪积平原,西部为平原绿洲,中部冲沟发育	灌木,东部有农田、园林	砾质棕漠土、灌耕棕漠土	西部无居民点,东端为乡政府所在地、居民点、学校
6	瓦石峡—亚喀托格拉克	平原绿洲,洪积、风积地貌和冲积平原	农田、胡杨林、桉柳沙包	灌耕土、棕漠土、砾质土、风沙土、低地草甸土	农业综合开发区,沿途无固定道路和居民点
7	亚喀托格拉克—塔提让	冲积平原、波形沙地和大沙垄,中西部为车尔臣河绿洲与沙漠交接带	胡杨林、桉柳灌木丛	风沙土、盐化草甸土、盐土	偶见居民点
8	塔提让—且末县	冲积平原、平原绿洲	农田、林带、胡杨林、红柳、芦苇	灌耕土、草甸土、风沙土	县、乡村政府所在地、居民点、学校

2 资料来源与获取

本研究中的主要环境因子特征,如植被群落状况、土地利用程度和土壤类型及其空间分布和结构等信息是借助 GIS 对《新疆维吾尔自治区草地资源图,1:100 万》(新疆维吾尔自治区畜牧厅主编,新疆维吾尔自治区测绘局第二测绘大队制图)、《新疆维吾尔自治区土地利用类型图,1:10 万》(中国科学院

新疆生态与地理研究所据 30 m 分辨率的 TM 数据编制)和《新疆维吾尔自治区土壤类型图,1:50 万》(中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所编)矢量化处理后,提取而来.并在此基础上进行了野外调查和一定程度的实地验证.

各灾害因子,如水害、沙害和盐碱危害的类型、强度及影响范围等资料和数据,由项目设计单位新疆交通科学研究院提供.

3 评价体系的建立

公路生态环境风险评价体系 (Eco-environmental Risk Assessment System , ERAS) 可采用目标-指标层次结构^[1]. 本研究的评价体系由 3 个层次构成, 即目标层、准则层和指标层(图 1). 该体系的建立体现了 3 项基本原则: ①层次性原则, 即层次越高, 指标的综合性应越强, 层次越低, 指标越具体^[9]; ②完备性原则, 本评价体系既不是一般意义上的生态环境稳定性评价, 也非普通的工程风险性诊断, 而是将公路工程和周围生态环境视为一体, 就自然环境类型、敏感性及其与公路工程的双向作用, 进行系统风险性评价, 故在一个合理的层次范围, 尽可能多地涵盖了那些评价指标; ③可操作性原则, 本研究选择的指标, 不仅与包含人文因素在内的生态环境因子及灾害密切相关而具代表性, 而且简单明了, 为人们所熟知, 可量化、易获取、可比性强.

3.1 评价因子

作为准则层的评价因子主要有植被、土壤、土地利用及常见自然灾害(主要为路害). 由于它们的存在状况和表现形式是人为作用、气候、地貌及其它一些人文自然景观的反映, 具有相对的独立性: 植被所反映的是景观的生物量及其功能特性, 土壤反映是景观的潜在生产力和承载力特性, 土地利用类型反映的是景观在人类活动下的综合表征, 公路灾害反映的是景观对自然力的抗性和敏感性特征. 故以其为评价准则, 可基本保证该路域生态风险评价的典型性和客观性.

(1) 植被 路域内植被因子可分为 3 类: 天然植被、农业植被和无植被, 其对应多种植物组合(表 2). 各群落(群丛) 生态稳定性指标 C_i 的确定, 不仅依据自然生长状态的稳定性, 还应考虑受工程干扰时表现出的抗干扰性及遭破坏后的自然恢复能力. 通过研究、专家咨询和资料总结^[10], 路域内植物群落稳定性指标分为 6 级(表 2).

(2) 土地利用 路域土地利用程度分为 4 类数种(表 3). 根据广大专家的思想^[11~14], 从土地利用类型对应的土壤保持价值、各生态系统的价值当量、以及生物多样性保护诸方面综合评判, 将其稳定性指标分成 10 个级别(表 3).

(3) 土壤因子 路域内分布的土壤有 7 纲, 若干土类(表 4). 其稳定性的排列是以专家思想为基础^[10,15~19], 通过野外调查和实验分析建立的. 根据之一是土壤在工程干扰下的生态破坏程度; 二是受

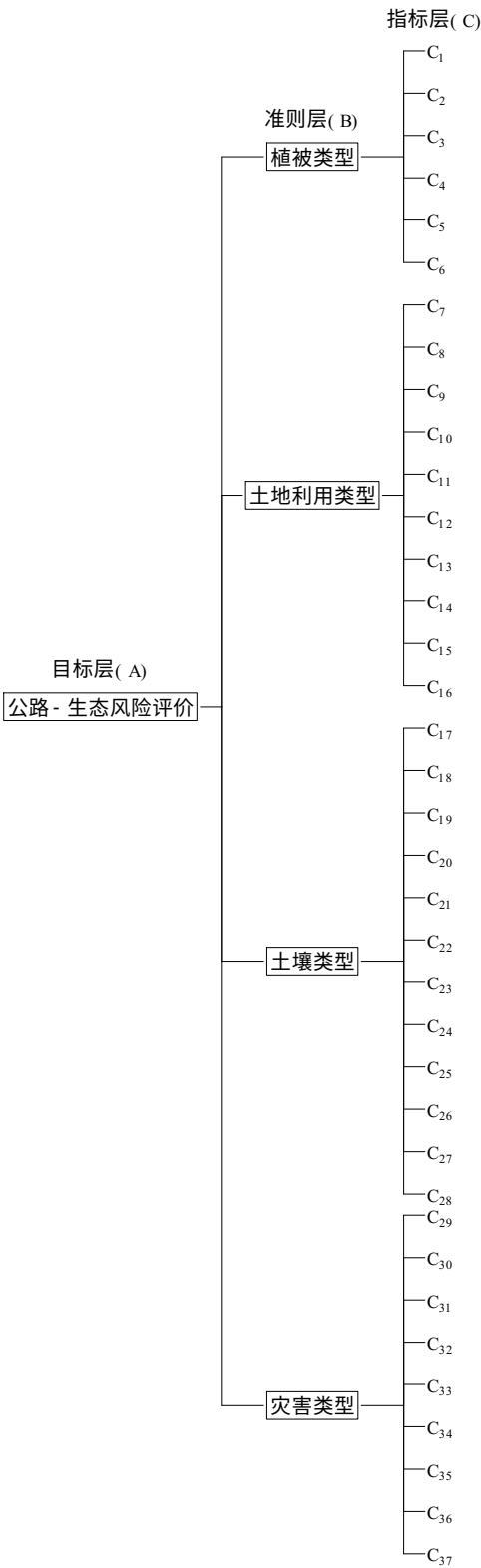


图 1 公路-自然生态环境风险评价体系层次结构

Fig.1 Hierarchical structure of eco-environmental risk assessment system for highway

破坏土壤的植被恢复难易; 三是影响自身稳定性的土壤形成与演变过程, 以及土壤的内在变化和发展

表 2 植被类型及生态稳定性量化指标

项目	天然植被				农业植被	无植被
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
群落组合	芦苇;胡杨、芦苇、多枝怪柳;芦苇、疏叶骆驼刺;杂类草、苔草草甸	多枝怪柳、芦苇、疏叶骆驼刺	多枝怪柳、芦苇、黑果枸杞;多枝怪柳、芦苇、盐穗木;黑果枸杞、芦苇、大叶白麻	新疆琵琶柴;合头草、驼绒藜;松叶猪毛菜、合头草;多枝怪柳、花柴	一年一茬或多茬农作物	裸地或盖度<5%的稀疏植被
稳定指标值 C _i	6	5	4	3	2	1
正规化值 x _i	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1

表 3 土地利用类型及生态稳定性量化指标

土地利用程度	未(难)利用土地		自然状态土地					农业用地		城镇用地
	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆
土地利用类型	裸岩石砾地、戈壁	沙地、裸土地、盐碱地	低覆盖度草地	中覆盖度草地、有林地、疏林地	高覆盖度草地	河滩地、沼泽地、湖泊	灌木林地	平原旱地	渠系、园林、其他林地	城镇用地
稳定指标值 C _i	2	1	4	7	9	8	10	6	5	3
正规化值 x _i	0.89	1	0.67	0.33	0.11	0.22	0	0.44	0.56	0.78

方向,它包括土壤理化属性和植被盖度等.据此可将土壤稳定性指标分为 10 级(表 4).

表 4 土壤类型及生态稳定性量化指标

项目	土类	稳定指标值 C _i	正规化值 k _i
干旱土	淡棕钙土、淡棕钙土 + 钙质石质土、棕钙土 + 钙质石质土、石质土 + 山地棕漠土	7	0.33
漠土	石膏盐盘棕漠土、盐化棕漠土	4	0.67
	黄土状灌耕棕漠土	8	0.22
初育土	流动风沙土、半固定风沙土	1	1
	固定风沙土	5	0.56
半水成-水成土	氯盐化林灌草甸土、氯盐化草甸土、苏打盐化林灌草甸土、苏打盐化草甸土	6	0.44
	下潮黄潮土、灌淤潮土、氯盐化沼泽土、草甸沼泽土	9	0.11
盐碱土	氯化物典型盐土、苏打-硫酸盐典型盐土	2	0.89
	氯化物草甸盐土 + 氯盐化林灌草甸土	3	0.78
高山土	高山寒漠土	4	0.67
	高山漠土	5	0.56
人为土	硫酸盐灌淤土、下潮灌淤土、黄灌淤土	10	0

(4) 灾害因子 该公路生态系统涉及的灾害因子主要有水害、沙害和盐害,包含的具体内容按公路设计规范确定(表 5).其危害程度以规范为评价标准,结合本文作者和其他专家的相关研究进行评定^[10,20~23],即基本指导思想是各灾害指标等级大

小取决于其对公路危害程度以及对公路生态恢复和防护体系建设的影响.由此,路域内各灾害项目危害程度评判为 5 个等级(表 5).

3.2 权重的确定

关于权重的确定,人们多采用德尔菲法(Delphi)和层次分析法(AHP)^[1,24~27].这些方法可在很大程度上顾及到各评价因子对评价结果的影响,但对具有空间格局的生态环境系统来说,其稳定性与该系统中各影响因素所控制的范围大小密切相关,所以,不稳定因素占据的空间(面积)越大,该系统的生态风险就越大.考虑到本评价体系筛选出的环境因子及灾害因子均具空间结构属性,故利用这些因子在各景观单元的影响范围(空间)来确定其权重,即该因子控制(占据)的空间与各景观单元空间之比为该因子权重,更能把握公路生态环境风险的内在特征.这属于对空间属性的环境因子在结构上的约定,所以具某种意义上的信息权概念^[1,9,28,29].具体操作中,环境因子与灾害因子评价项目权重的获得存在差异.前者利用 GIS 技术首先测算出路域内各景观单元的面积,之后从前文所述的相关图件上解读出各环境因子对各景观单元的影响范围或控制面积,进而求出各环境因子评价项目在空间结构上的权重.而后者则是在施工设计和工程勘测阶段,经实地调查各景观单元内存在的自然灾害类型,并测出其影响的路段长度,再根据该长度与各景观单元路段总长之比,确定各灾害评价项目的权重.

表 5 灾害类型及生态稳定性量化指标

Table 5 Disaster types and quantification indices of ecological stabilization									
项目	水害		沙害		盐害				
	C ₂₉	C ₃₀	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄	C ₃₅	C ₃₆	C ₃₇
类别	高汇水量或高洪水 频度的冲沟、季节 性和常年性水系	低汇水量 的面流 路基防护 工程	砾质戈 壁+小 丘沙包	沙地沙 丘沙垄	氯化物硫酸盐 弱盐渍土、非 盐渍土	氯化物硫酸盐 中盐渍土、氯 化物弱盐渍土	氯化物硫酸盐 强盐渍土、氯 化物中盐渍土	硫酸盐氯(亚)硫酸盐过 氯化物强盐 渍土	硫酸盐过 氯化物过盐渍土
危害程度 指标值 C _j	4	3	3	5	1	2	3	4	5
正规化值 y _j	0.75	0.5	0.5	1	0	0.25	0.5	0.75	1

由于各影响因子间实际上存在着相互渗透,相互影响和控制面积的重叠,很难从理论和实践上将其分解成独立的子系统,故不宜对权重值整体归一化处理。

3.3 评价方法与结果

本研究借助层次分析(部分思路)构建的公路生态环境风险评价体系,为能综合、较全面和真实地反映该公路生态环境风险的复杂性和叠加性,而采用(1)式:

$$ERA = \sum_{i=1}^m x_i \cdot w_i + \sum_{j=m+1}^n y_j \cdot w_j \quad (1)$$

式中,ERA为生态环境风险评价指数,i为环境影响因子评价项目,m=28;x_i为相关评价项目稳定性等级的正规化值;w_i为该评价项目在相关景观生态单元中的权重;j为灾害因子评价项目,n=37;y_j为评价项目危害程度等级的正规化值;w_j为该评价项目在相关景观生态单元的权重。

由(1)式看出,生态环境风险指数ERA分为2个部分,前一部分可以看成生态脆弱性指数,后一部分可看作灾害系数。

本研究为使双向描述(生态稳定性和危害程度)的各项指标度量方向一致,并且评价指标等级分值统一,而做如下正规化处理^[30]:

对原指标等级越高,生态稳定性越好的评价项目,转换公式为 $x_i = (C_{max} - C_i) / (C_{max} - C_{min})$;

对原指标等级越高,危害程度越大的评价项目,转换公式为 $y_j = (C_j - C_{min}) / (C_{max} - C_{min})$;处理后的数据 x_i 或 y_j ∈ [0,1]。

根据原始数据、评价准则和计算公式,求得路域内各景观生态单元的风险综合评价指数 ERA(表6)。目前公路生态环境风险评价尚缺乏统一分级标准,本研究采用等间隔分级法,级差定为0.5,最终将8个景观生态单元(路域区段)分为4个风险级别

(表7)。

表 6 景观生态单元公路生态环境风险评价(ERA)指数

Table 6 Ecοenvironmental risk assessment indices of each landscape ecology units			
景观生态单元	生态脆弱性指数	灾害系数	ERA
	$\sum x_i w_i$	$\sum y_j w_j$	
依吞布拉克—巴什考供	2.20	0.34	2.54
巴什考供—红卫	2.19	0.30	2.49
红卫—米兰	2.50	0.73	3.23
米兰—若羌	2.49	0.30	2.79
若羌—瓦石峡	2.48	0.33	2.81
瓦石峡—亚喀托格拉克	1.66	1.11	2.77
亚喀托格拉克—塔提让	1.57	1.05	2.62
塔提让—且末	1.24	0.31	1.55

评价结果表明,红—米段为路域内风险性最高的Ⅰ级风险景观生态单元,其生态环境最为脆弱,灾害影响很重(主要是盐害和水害),并且位于生态敏感性很强的野骆驼自然保护区内;依—巴段、米—若段、若—瓦段、瓦—亚段和亚—塔段虽同属风险性次之的Ⅱ级风险景观生态单元,但产生风险的主要原因却不尽相同:前三者主要是生态环境非常脆弱所致,后二者则是灾害成分较重(主要是盐、沙害)的结果;巴—红段风险性已明显降低,属Ⅱ级风险景观生态单元,但其脆弱的生态环境使其作为野骆驼自然保护区的一部分,加重着该保护区的生态敏感性;塔—且段是风险性最低的景观生态单元(Ⅳ级),其无论生态环境还是灾害影响都处于一个较理想状态。

4 结论

本研究的生态环境风险评价体系主要建立在专家思想的层次分析基础之上,评价指标充分体现了区域景观格局特征,其中较关键的各指标权重值是根据评价因子具空间属性而进行结构约定求出,实

表 7 景观生态单元的生态风险性级别

Table 7 Degrees of ecœnvironmental risk for each landscape ecology units				
生态环境风险性级别	IV	III	II	I
ERA	1.5 ~ 2.00	2.00 ~ 2.50	2.50 ~ 3.00	3.00 ~ 3.50
			依吞布拉克—巴什考供	
			米兰—若羌	
景观生态单元	塔提让—且末	巴什考供—红卫	若羌—瓦石峡	红卫—米兰
			瓦石峡—亚喀托格拉克	
			亚喀托格拉克—塔提让	

际应用中,准则层和指标层具有较高的客观性和较好的可操作性,同时因加入了工程设计规范的要求而具有原则性,保证了该评价体系的切实可行.公路景观生态环境的物种和群落水平生态风险评价,对于物种和资源保护(如该研究区的野骆驼)具有重要意义,应在充分了解物种生境特征的基础上,通过长期的生态监测,建立相应的生态风险评价体系.

由于本研究的范围有限,生态环境风险评价指数值较少,尚不足以从统计学的角度对其更加科学合理地进行分级.但这个问题会随着评价范围的扩大和终端资料的积累得到妥善解决.

参考文献:

[1] 陈雨人,朱照宏.道路环境影响评价指标体系的研究[J].同济大学学报,1997,25(6):640~644.

[2] 师利明,罗德春.公路生态环境影响评价的几种定量分析方法[J].中国公路学报,1998,11(1):43~53.

[3] 蔡华辉.公路工程的环境影响评价及其方法[J].交通环保,1997,18(6):41~48.

[4] 王根绪,程国栋,钱鞠.生态安全评价研究中的若干问题[J].应用生态学报,2003,14(9):1551~1556.

[5] 陈鹏,潘晓玲.干旱区内陆流域区域景观生态风险分析——以阜康三工河流域为例[J].生态学杂志,2003,22(4):116~120.

[6] 付在毅,许学工,林辉平,等.辽河三角洲湿地区域生态风险评价[J].生态学报,2001,21(3):365~373.

[7] 刘建,朱选伟,于飞海,等.浑善达克沙地榆树疏林生态系统的空间异质性[J].环境科学,2003,24(4):29~34.

[8] 李梅,朱红旗,蔡永立.景观生态风险信息系统的概念、方法和步骤[J].国土与自然资源研究,2002,(2):42~44.

[9] 徐建华,卢艳,岳文泽,等.区域可持续发展水平综合评价,排序计算模型研究——以三西地区为例[J].干旱区地理,2002,25(1):44~49.

[10] 丘君,陈立顶,高启晨,等.施工影响下的生态系统稳定性评价——以西气东输管道工程沿线新疆干旱荒漠区为例[J].干旱区地理,2003,26(4):316~322.

[11] 高旺盛,陈源泉,董孝斌.黄土高原生态系统服务功能的重要性与恢复对策探讨[J].水土保持学报,2003,17(2):59~61.

[12] 肖玉,谢高地,安凯.莽措湖流域生态系统服务功能经济价值变化研究[J].应用生态学报,2003,14(50):676~680.

[13] 王宗明,张树清,张柏.土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响[J].中国环境科学,2004,24(1):125~128.

[14] 吴秀芹,蔡运龙,蒙古军.塔里木河下游典型区景观生态质量评价[A].肖笃宁等,中国干旱区景观生态学研究进展[C].乌鲁木齐:新疆人民出版社,2003,253~257.

[15] 李子熙.新疆土壤高级分类系统[A],中科院新疆生物土壤沙漠研究所,新疆土壤及土地资源研究[C].北京:科学出版社,1991,45~55.

[16] 王树基,刘兴文.阿克苏河-塔里木河流域水土资源合理利用与环境保护对策[M].北京:气象出版社,1993,171.

[17] 张斌.西藏高山草原土[A],中科院新疆生物土壤沙漠研究所,新疆土壤及土地资源研究[C].北京:科学出版社,1991,75~77.

[18] 新疆维吾尔自治区农业厅等.新疆土壤[M].北京:科学出版社,1996,397~400.

[19] 季方.塔里木盆地绿洲土壤水盐动态变化与调控[M].北京:海洋出版社,2001,23.

[20] 钱亦兵,徐新文,雷加强,等.新疆两大沙漠线形工程区生物防护体系建设的环境对比[J].干旱区资源与环境,2004,18(3):33~37.

[21] 李新荣,张景光,刘立超,等.我国干旱沙漠地区人工植被与环境演变过程中植物多样性的研究[J].植物生态学报,2000,14(3):257~261.

[22] 董治宝,陈渭南,董光荣,等.植被对风沙风蚀作用的影响[J].环境科学学报,1996,16(4):437~443.

[23] 许志坤.新疆盐碱土的改良[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1980,32~34.

[24] 朱唯,朱铭.高等级公路环境景观评价方法研究[J].西安公路交通大学学报,1999,19(增):29~30.

[25] 王让会.地理信息科学的理论与方法[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,2002,235~237.

[26] 马剑英,孙学刚,贾戎.森林旅游资源综合评价体系的建立与应用研究[J].干旱区地理,2002,25(4):372~376.

[27] 周华荣.新疆生态质量评价指标体系研究[J].中国环境科学,2000,20(2):150~153.

[28] 廖顺宝,孙九林.基于GIS的青藏高原人口统计数据空间化[J].地理学报,2003,58(1):25~33.

[29] 张华良,刘振义,刘朝杰.数学地质[M].北京:冶金工业出版社,1994,176~177.

[30] 陈东景,徐东民.西北内陆河流域生态安全评价研究-以黑河流域中游张掖地区为例[J].干旱区地理,2002,25(3):219~224.