

基于 GIS 的宁夏生态环境敏感性综合评价

朱志玲¹, 吴咏梅², 张 敏¹

(1. 宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021; 2. 银川能源学院建筑工程学院, 银川 750105)

摘 要:生态环境问题是制约区域发展的主要因素,区域生态环境敏感性评价对制定区域环境政策、有效进行区域生态建设具有重要作用。基于宁夏主要生态敏感问题,选取土壤侵蚀、土地沙漠化、土壤盐渍化作为评价因子,运用 GIS 技术在单因子评价的基础上,采用多因子综合评价模型对研究区生态环境敏感性进行综合分析。结果表明:宁夏生态环境敏感性分不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感 4 个等级,不敏感区主要分布在森林生态系统类型区;轻度敏感区主要分布在宁夏南部黄土丘陵区、盐池南部低山丘陵台地区以及北部引黄灌区;中度敏感区主要分布在宁夏中部干旱带生态环境脆弱区以及贺兰山山前洪积平原区;高度敏感区主要分布在陶乐东部边缘区、中卫北部边缘区以及盐池的土地沙化严重地区。研究进一步明确了宁夏生态环境敏感性的空间分布特征,为宁夏生态环境保护和区域社会经济发展政策的制定提供理论依据,对区域可持续发展具有重要意义。

关键词:生态环境敏感性; 土壤侵蚀; 土地沙化; 土壤盐渍化; GIS

中图分类号:X826

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0101-05

Comprehensive Evaluation on Eco-environment Sensibility of Ningxia Hui Autonomous Region Based on GIS

ZHU Zhi-ling¹, WU Yong-mei², ZHANG Min¹

(1. School of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. School of Energy Resources Yinchuan, Yinchuan 750105, China)

Abstract: Eco-environmental problems are the main constraint factors for regional development. Regional eco-environment sensibility evaluation is important for making environmental policy and ecological construction. Based on main eco-environmental problems of Ningxia Hui Autonomous Region, soil erosion, desertification of land and soil salinization were taken as the assessment factors of eco-environment sensibility in this study. GIS technology was used for the single-factor evaluation. And on the basis, overall merit of ecological environment sensibility of Ningxia Hui Autonomous Region was gotten. The results showed that: there were four grades of eco-environment sensibility of Ningxia Hui Autonomous Region, namely insensitive, slight sensitive, moderate-sensitive and highly sensitive. Insensitive area distributed in the region of forest ecosystem, slight sensitive area distributed in loess hilly area of south Ningxia Hui Autonomous Region, low Mountain land, hills, plateaus of Yanchi and irrigation districts along the Yellow River. Moderate-sensitive area distributed in the ecological frangible zone of Ningxia Middle Arid Area and the floodplains of Helan Mountain. Highly sensitive area distributed in the fringe area of the east of Taole, the fringe area of the north of Zhongwei and serious soil desertification of Yanchi. This paper further clarified the space distribution of eco-environment sensibility of Ningxia Hui Autonomous Region, and provided the theoretic basis for policy making of environmental protection and economic development in different regions which might be of significance for regional sustainable development.

Key words: eco-environment sensibility; soil erosion; land desertification; soil salinization; GIS

收稿日期:2011-12-08

修回日期:2012-02-23

资助项目:国家自然科学基金项目“宁夏中部干旱带生态移民与生态建设互动关系研究”(41161078);宁夏大学 211 工程重点学科建设项目“草业科学与生态工程”子项目

作者简介:朱志玲(1969—),女,宁夏银川人,硕士,副教授,硕士生导师,从事城市与区域发展规划研究。E-mail:zhuzlnxdx@163.com

通信作者:吴咏梅(1985—),女,宁夏固原人,硕士研究生,主要从事城市与区域发展规划研究。E-mail:wuyym232@126.com

生态环境和社会经济发展之间的矛盾与冲突已成为区域经济发展面临的严峻挑战。保护和改善生态环境已经成为当今世界各国日益重视的重大问题。目前,国外对于生态敏感性研究主要针对单一生态敏感性问题展开^[1]。早在 1980 年,Suffling 提出了从生态敏感到生态扰动的指标^[2],Horne 研究了澳大利亚雨林对选择性伐木的生态敏感性^[3],Rodriguez 研究了大陆架生态敏感性^[4],Japtap 则研究了湿地生态敏感区的海草生态系统^[5]等。国内研究目前已从单一生态敏感性问题发展到基于单一生态敏感性评价的生态敏感性综合评价,包括中国生态环境的敏感性及其区域分布规律^[6]、省域尺度的生态敏感性^[7]及流域和城市范围的生态敏感性^[8-9]等研究。本文基于 GIS 技术,运用单因子敏感性评价和多因子加权几何平均法,对宁夏生态环境敏感性进行综合评价,以期对宁夏生态环境保护 and 区域经济可持续发展提供理论依据。

1 宁夏生态环境现状

宁夏面积 5.18 万 km², 占我国国土面积的 0.6%, 其轮廓表现为南北狭长、东西短窄,黄河从中北部穿越,地处中国地质、地貌“南北中轴”的北段,处在黄河中上游及黄土高原与沙漠的过渡地带,位于中国自然区划的三大自然区——东部季风区、西北干旱区和青藏高寒区的交汇区附近^[10]。宁夏深居中国内陆,远离海洋,西、北、东三面为沙漠环绕,其独特的自然地理位置决定了宁夏自然环境具有过渡性、多样

性、干旱性及脆弱性等特征。干旱多风,植被稀少,水蚀风蚀活跃等众多因素的影响导致宁夏生态环境容量低,自我修复能力和自然净化功能差,极易发生生态破坏或环境污染。此外,复杂的自然环境特征决定了宁夏生态系统类型的多样性,包括森林、草地、荒漠、水域、农田和城镇等。各类生态系统相互作用,共同维持生态环境的稳定和平衡。但是,由于水热组合不协调,自然生态系统功能低,加之人为活动的影响,原本脆弱的生态环境进一步恶化,呈现人口、资源和环境之间的恶性循环。

2 宁夏生态环境敏感性评价

生态环境敏感性是指生态系统对区域中各种自然和人类活动干扰的敏感程度,它反映的是区域生态系统遇到干扰时,发生生态环境问题的难易程度和可能性大小,也就是在同样的干扰强度或外力作用下,各类生态系统出现区域生态环境问题的可能性,用于表征外界干扰可能造成的结果^[11]。区域生态敏感性评价可为区域发展规划、产业布局、生态环境整体规划提供参考。

2.1 宁夏生态环境敏感性评价指标体系

依据宁夏生态环境现状和主要生态环境问题,本文选取土壤侵蚀、土地沙化、土壤盐渍化 3 个主要生态敏感问题及其影响因子作为评价指标。参照国家环保总局 2002 年出台的《生态功能区划暂行规程》及研究区现状,建立的评价指标体系如表 1 所示。

表 1 宁夏生态环境敏感性影响因素及分级

生态环境问题	影响因素	分级				
		不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
土壤侵蚀	降雨侵蚀力/(J·cm·m ⁻² ·h ⁻¹)	<25	25~100	100~400	400~600	>600
	土壤质地	石砾、沙	粗砂土、细砂土、黏土	面砂土、壤土	砂壤土、粉黏土、壤黏土	砂粉土、粉土
	地形起伏度/m	0~20	20~50	51~100	101~300	>300
	植被覆盖类型	水体、草本沼泽、稻田	阔叶林、针叶林、草甸、灌丛和萌生矮林	稀疏灌木草原	荒漠	裸地
土地沙化	湿润指数	>0.65	0.50~0.65	0.20~0.50	0.05~0.20	<0.05
	冬春季大于 6 m/s 大风天数/d	<15	15~30	30~45	45~60	>60
	土壤质地	基岩	黏质	砾质	壤质	沙质
土壤盐渍化	植被覆盖	茂密	适中	较少	稀疏	裸地
	蒸发量/降雨量	<1	1~3	3~10	10~15	>15
	地下水埋深/m	>10	2~10	1.5~2	1~1.5	<1
	地下水矿化/(g·L ⁻¹)	<1	1~5	5~10	10~25	>25
	地貌类型	山区	洪积平原、三角洲	泛滥冲积平原	河谷平原	闭流盆地
综合评价	分级赋值	1	3	5	7	9
	分级标准(SS)	1.0~2.0	2.1~4.0	4.1~6.0	6.1~8.0	>8.0

注:参照国家环保总局《生态功能区划暂行规程》。

2.2 宁夏生态环境敏感性评价方法

根据宁夏主要生态环境问题及影响因素,宁夏生态环境敏感性评价利用基础图件资料(宁夏行政区划图、土壤类型图、气候区划图、植被类型分布图、水土流失现状图等)与各类基础数据,运用GIS技术绘制区域单要素敏感性空间分布图(附图1),在此基础上进行多因素综合评价。

2.2.1 单因子评价

(1) 降雨侵蚀力 R 。降水是影响土壤侵蚀的主要因素,参考汤小华^[12]等的大量研究成果,降雨侵蚀力 R 的简便算式为:

$$R = \sum_{i=1}^{12} (-2.6398 + 0.6046P_i) \quad (1)$$

式中: R ——降雨侵蚀力 $[(J \cdot cm)/(m^2 \cdot h)]$; P_i ——月降雨量(mm)。

根据公式(1),利用全省各气象站点2001—2010年的降雨记录资料计算出宁夏各气象站点的 R 值,在地理信息系统软件支撑下得到降雨侵蚀力 R 对土壤侵蚀的敏感性图(附图1a)。

(2) 土壤质地。土壤质地是影响土壤侵蚀的主要因素之一。土壤质地以石砾和砂粒为主的地区,地表不易被侵蚀;土壤质地为砂土和黏土的区域,土壤侵蚀较敏感;面砂土、偏砂性壤土广布的区域土壤侵蚀更加敏感;土壤质地为沙壤土、粉黏土、壤黏土为主的区域极易发生土壤侵蚀。土壤质地对土地沙化来说,土壤质地为基岩、砾岩的区域,其土地沙化敏感性等级为不敏感和轻度敏感区;土壤质地为壤土偏黏性的区域,土地沙化敏感性等级为中度敏感区;土壤质地为壤土偏沙性的区域,土地沙化敏感性属于高度敏感;土壤质地为沙质区域,其土地沙化敏感性等级为极敏感。在此基础上以宁夏土壤类型图为基础图件,利用GIS软件生成全省土壤质地对土地沙化的敏感性图(附图1b)。

(3) 地形起伏度。通过利用ArcGIS软件在Spatial Analysis下使用栅格邻域计算工具对 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 的宁夏地形DEM影像进行处理,得到宁夏地形起伏度等级分布图。在此基础上利用GIS软件,结合上述分级标准生成地形起伏度对土壤侵蚀的敏感性图(附图1c)。

(4) 植被类型。结合上述土壤侵蚀敏感性分级指标,根据2006年宁夏回族自治区资源环境地图集中 $1:350$ 万的宁夏植被类型分布图等资料,利用地理信息系统软件生成全省植被类型对土壤侵蚀和土地沙化的敏感性图(附图1d,e)。

(5) 湿润指数。结合2001—2010年宁夏年降水量和蒸发量相关数据和资料,以比例尺为 $1:350$ 万

的宁夏干燥指数图为基础图件,利用GIS软件生成全省湿润指数对土地沙化的敏感性图(附图1f)。

(6) 冬春季大于 6 m/s 的大风天数。根据2001—2010年宁夏各气象站点的冬春季大风天数,利用GIS软件生成全冬春季大于 6 m/s 的大风天数对土地沙化的敏感性图(附图1g)。

(7) 蒸发量/降水量。结合上述分级标准,利用宁夏全省各气象站点的多年平均降雨量和蒸发量得出二者的比值,以2006年宁夏回族自治区资源环境地图集中 $1:350$ 万的宁夏年蒸发量和降水量图为基础图件,在此基础上运用GIS软件绘制蒸发量/降水量对土壤盐渍化的敏感性图(附图1h)。

(8) 地下水埋深。以宁夏水利工程图和灌区地下水埋深图为基础图件资料,利用GIS软件绘制地下水埋深对土壤盐渍化的敏感性图(附图1i)。

(9) 地下水矿化度。参考2006年宁夏资源环境地图集中宁夏地下水矿化度数据及相关资料,以比例尺为 $1:180$ 万的宁夏地下水系统图为基础图件,利用GIS软件绘制地下水矿化度对土壤盐渍化的敏感性图(附图1j)。

(10) 地形与土壤盐渍化。地形因素对与土壤盐渍化而言,山区和洪积平原、三角洲地区土壤不易发生盐渍化,其土壤盐渍化敏感性等级为不敏感和轻度敏感;泛滥冲积平原区为中度盐渍化区;河谷平原区土壤盐渍化敏感性等级为高度敏感;闭流盆地易发生土壤盐渍化,其土壤盐渍化敏感性等级为极敏感。在此基础上结合土壤盐渍化分级标准,以2006年宁夏回族自治区资源环境地图集中 $1:180$ 万的宁夏地形地貌图及相关资料为基础图件,利用GIS软件绘制地形对土壤盐渍化的敏感性图(附图1k)。

2.2.2 多因子综合评价 从单因子分析得出的生态环境敏感性,只反映了某一因子的作用程度,要将各类生态环境敏感性的区域差异综合地反映出来,则根据上述各项因子的敏感性分级进行赋值(C_i),通过以下计算公式来计算土壤侵蚀敏感性指数:

$$SSj = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 C_i} \quad (2)$$

式中: SSj ——空间单元生态环境敏感性指数; C_i —— i 因子敏感性等级值。然后根据表1中的分级标准来确定各类生态环境敏感性分布^[13]。

根据公式(2),利用地理信息系统软件中的空间叠加分析功能,将各主要生态环境的单因子敏感性图层进行叠加,计算每一个空间单元的各类生态环境问题敏感性指数,最后根据表1中的分级标准得到宁夏生态环境敏感性评价图。

3 宁夏生态环境敏感性评价结果

3.1 土壤侵蚀敏感性评价结果

通过多因素综合评价得到宁夏土壤侵蚀敏感性综合评价结果。宁夏土壤侵蚀敏感性分不敏感、轻度敏感、中度敏感及高度敏感 4 个等级,如附图 2a 所示。

(1) 不敏感区。主要分布在引黄灌区,主要包括惠农区、平罗县、银川平原、青铜峡灌区以及卫宁平原的部分地区。本区大部分位于银川平原,是宁夏自然地理条件最好的区域,也是宁夏区域经济发展最快的区域。该区地形平坦,是宁夏引黄灌溉农业的集中区;土壤类型以石砾和沙土为主;植被稀少,常年干旱少雨,日照充足,不易发生土壤侵蚀。

(2) 轻度敏感区。主要分布在陶乐、灵武、吴忠的部分地区以及中宁、盐池和同心北部地区。本区地处宁夏中部干旱带,自然环境条件恶劣,生态环境脆弱,水资源贫乏。地貌类型属于丘陵台地,地形比较平坦,起伏不大。由于地处黄土区北缘以北,地表组成物质较粗,土地沙化和草地退化现象严重。气候干旱,大风多沙,日照充足,降水稀少,蒸发强烈,土壤侵蚀轻度敏感。

(3) 中度敏感区。主要集中在宁南黄土丘陵区、中卫的大部分地区以及贺兰山山前洪积平原地带。本区主要分布在宁南黄土丘陵区,由于黄土广布,地表植被覆盖度低,新构造运动活跃,加之人为活动的影响,水土流失现象十分严重。土壤侵蚀模数在 $5\,000\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以上。贺兰山山前洪积平原地带降水较丰富,土壤类型以粉黏土为主,加之畜牧业生产的影响导致该区土壤侵蚀现象也比较严重。

(4) 高度敏感区。主要分布在北部贺兰山森林灌丛草原区和南部六盘山、南华山山区。本区地处宁夏山地地貌类型区,地形起伏大,自然垂直带分明,气候、植被、土壤发生明显更替,降水丰富,降雨侵蚀力强,加之农业生产过程中的乱砍、滥伐等人为活动的影响,使本区成为宁夏土壤侵蚀的高度敏感区。

3.2 土地沙化敏感性评价结果

通过宁夏土地沙化敏感性综合评价,结果显示:宁夏土地沙化敏感性分不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极敏感 5 个等级,如附图 2b 所示。

(1) 不敏感区。北部主要分布于贺兰山山地;南部主要分布于六盘山山地,西吉县的月亮山以东(包括火石寨、白崖、沙沟和偏城等地区),原州区的西南部和隆德县的中部地区。本区植被覆盖度高,年降水量大,蒸发量小,湿润指数大,冬春季大于 6 m/s 的大

风天数小于 15 d ,此外,土壤质地以基岩和砾岩为主,不易形成沙质地表,为宁夏土地沙化不敏感区。

(2) 轻度敏感区。主要分布在北部灌区(包括惠农区东南部、平罗县、陶乐县的西北部、银川市的大部分,青铜峡市、灵武市西部、利通区和中宁县的东南部)以及南部黄土丘陵区(包括西吉县、彭阳县、原州区、隆德和泾源两县)。北部灌区地形平坦,土壤类型以粉砂土为主,常年降水稀少,日照强烈,湿润指数小,且冬春季大风天数多,加之灌区农业生产的发展,疏松的地表容易沙化。宁南黄土丘陵区地表黄土广布,土质疏松,畜牧业的发展使草甸草原退化,地表遭到一定程度的破坏,易造成土地沙化。但由于本区降水丰富,蒸发小,湿润指数大,植被覆盖度较宁夏中、北部地区大,使本区的土地沙化得到了一定程度的缓解,属于宁夏土地沙化轻度敏感区。

(3) 中度敏感区。主要位于贺兰山东麓以及严重风沙化区域的周边地区。北部主要位于贺兰山与青铜峡灌区的中间地区,长城沿线以东,包括惠农区、大武口区 and 青铜峡市的西部和中宁的北部;中部主要位于牛首山以南、太阳山镇以西,中宝线以东、大小罗山以北的区域。南部主要位于小罗山以南、云雾山以北,同心东部(包括下马关镇、田老庄、马高庄、预旺、张家垣),海原和固原的北部(云雾山以北,包括七营、炭山、黑城、寨科)等区域。贺兰山东麓洪积平原区泥沙堆积,土质疏松,原有的草甸草原生态系统遭到人为以及山洪等自然灾害的影响,使本区的土地沙化现象日益严重。位于中部干旱带高度沙化区周围的大部分荒漠草原区,常年干旱少雨,蒸发强烈,冬春季大于 6 m/s 大风的天数在 60 d 左右,风沙危害严重,加之人为活动使草场严重退化,极易导致土地沙化进一步恶化,属于宁夏土地沙化中度敏感区。

(4) 高度敏感区。主要分布在与毛乌素沙漠接壤的盐池大部分地区以及红寺堡移民区的部分地带。包括灵武县域内东部的区域,形成灵武猪头岭沙漠带(包括临河镇、东塔镇、金银滩镇、扁担沟镇、宁东镇、马家滩镇和崇兴镇的一部分);盐池的铁柱泉—哈巴湖流沙带(高沙窝镇、花马池镇、冯记镇、青山、惠安堡和大水坑镇)。本区由于受东部边缘毛乌苏沙地的影响,土地沙化程度严重,加之区域内常年干旱少雨,植被稀少,荒漠与荒漠草原面积大,土地沙化高度敏感。

(5) 极敏感区。主要集中在与腾格里沙漠接壤的中卫市的北部边缘地带(包括镇罗镇、柔远镇、东园镇、迎水桥镇、常乐镇等地)。本区位于宁夏中部干旱带,受腾格里沙漠南缘的影响,成为宁夏土地沙化最严重的地区,加之区域内部恶劣的自然环境的影响,

土地沙化面积容易扩大,为宁夏土地沙化的极敏感区。

3.3 土壤盐渍化敏感性评价结果

宁夏土壤盐渍化敏感性综合评价结果显示:宁夏土壤盐渍化敏感性分不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极敏感5个等级,如附图2c所示。

(1) 不敏感区。主要分布在贺兰山和六盘山区、中卫市北部边缘沙漠地带以及宁南黄土丘陵地区。贺兰山和六盘山山地和宁南黄土丘陵区地形起伏大,气候湿润,降水丰富,蒸发量小,地下水水质属于淡水或微咸水,矿化度小于1 g/L和1~3 g/L之间。加之本区内旱作农田面积大,灌溉农业不发达,土壤不易盐渍化。

(2) 轻度敏感区。主要分布在中部干旱带的大部分地区,包括中卫的中、南部,海原、盐池的大部分地区;其次,有少部分分布在贺兰山山前洪积平原区,陶乐东部边缘地带。本区地形平缓,以低山丘陵和山间平原为主,降水少蒸发强,地下水位较浅,水质以半咸水为主,矿化度达3~5 g/L,灌溉农田区地下水矿化度大于5 g/L,加之人为活动的影响,使本区出现轻度的土壤盐渍化。

(3) 中度敏感、高度敏感和极敏感区。主要分布在北部引黄灌区(包括惠农、平罗、贺兰、银川三区、青铜峡、卫宁灌区、中宁、中卫的部分地区)、中部扬黄灌区(包括中宁、红寺堡、盐池中部闭流盆地)以及库井灌区(包括海原东部边缘地带、同心西部边缘地带及红寺堡的大部分地区)。这些区域地形平坦,以平原为主,容易造成地表水的沉积。地下水矿化度大于5 g/L,地下水位浅。北部引黄灌区、红寺堡扬黄灌区以及南部清水河流域库井灌区农业发展导致严重的土壤盐渍化现象。

3.4 宁夏生态环境敏感性综合评价结果

基于上述单因子评价,参考《生态功能区划暂行规程》,利用GIS技术将土壤侵蚀敏感性、土地沙化敏感性、土壤盐渍化敏感性评价结果图件进行空间叠置,对不同属性的空间单元进行分级赋值评价和属性聚类,得到宁夏生态环境敏感性综合评价结果及空间分布规律。评价结果显示:宁夏生态环境敏感性分4个等级,即高度敏感、中度敏感、轻度敏感和不敏感。不同敏感区分布状况如附图2d所示。

(1) 不敏感区。主要分布在森林生态系统类型区,包括北部贺兰山天然林区和六盘山森林自然保护区及森林灌丛草甸区。本区水土流失现象严重,其他生态环境敏感性问题并不显著。

(2) 轻度敏感区。主要分布在宁南黄土丘陵区、

盐池南部低山丘陵台地区以及北部引黄灌区。中度水土流失和土壤盐渍化是本区主要的生态环境问题,生态环境敏感性综合评价为轻度敏感。

(3) 中度敏感区。主要分布在宁夏中部干旱带生态环境脆弱区以及贺兰山山前洪积平原区,包括中卫中南部、吴忠、海原和同心的大面积草原及荒漠草原分布区以及盐池中部闭流区。土地逐步沙化和草场退化是本区的主要生态敏感问题。

(4) 高度敏感区。主要分布在土地沙化严重的地区,包括陶乐东部边缘荒漠地带、与腾格里沙漠接壤的中卫北部边缘沙漠区、灵武东部矿区土地沙化区以及深受毛乌苏沙地影响的盐池大面积的荒漠及荒漠草原分布区。

4 结论

(1) 宁夏生态环境敏感性分为不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感4个等级。宁夏中部干旱带是宁夏生态环境高度敏感区;轻度敏感区主要分布在北部银川平原和卫宁平原以及南部丘陵地区;不敏感区主要集中在贺兰山及六盘山山区地带。

(2) 主要的生态敏感问题是土地沙化、土壤盐渍化以及土壤侵蚀。土地沙化敏感区主要集中在宁夏中部干旱带的荒漠以及荒漠草原区,土壤盐渍化敏感区主要分布在宁夏北部引黄灌溉农田区,土壤侵蚀敏感区主要分布在贺兰山和六盘山森林生态系统类型区。

(3) 生态环境问题是制约区域发展的主要因素,本研究明确宁夏生态环境敏感性空间分布规律,为宁夏环境保护与生态建设以及区域社会经济发展政策的制定提供理论依据,对区域可持续发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] 徐广才,康慕谊,赵从举,等.阜康市生态敏感性评价研究[J].北京师范大学学报:自然科学版,2007,43(1):88-91.
- [2] Suffling R. An index of ecological sensitivity to disturbance, based on ecosystem age, and related to landscape diversity[J]. Journal of Environmental Management, 1980,10(3):253-263.
- [3] Horne R, Hickey J. Ecological sensitivity of Australian rain-forests to selective logging[J]. Australian Journal of Ecology, 1991,16(1):119-129.
- [4] Rodriguez E, Vila L. Ecological sensitivity atlas of the argentine continental shelf[J]. International Hydrographic Review, 1992,69(2):47-53.

(下转第111页)

成和结构,使群落结构简单化,物种数下降,均匀度降低,不利于群落的发展演替。

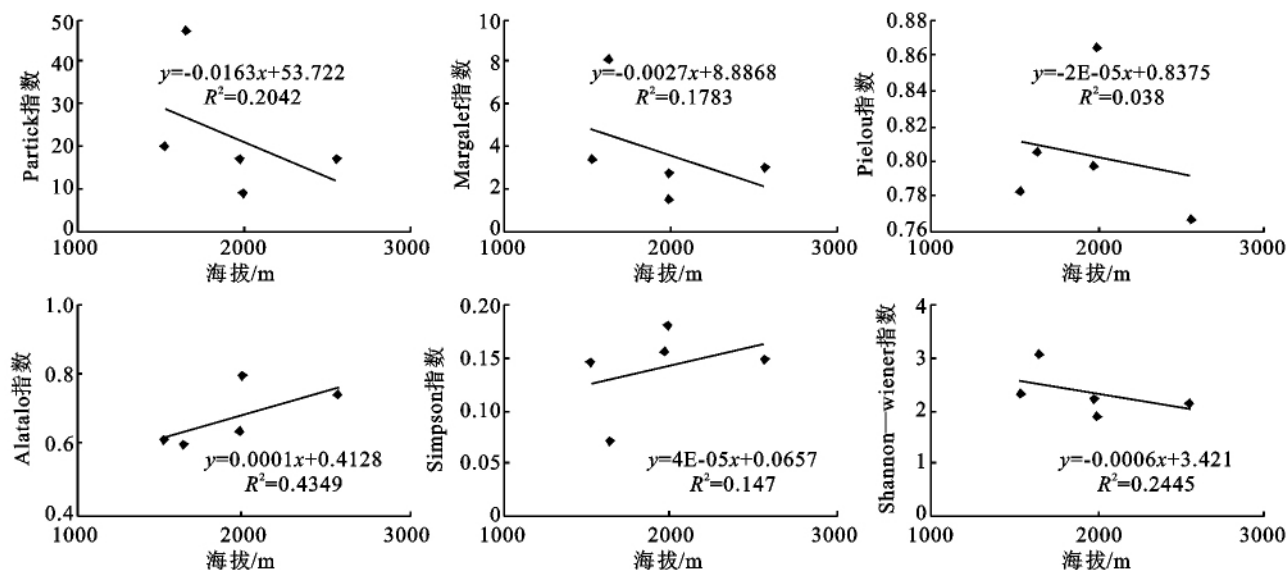


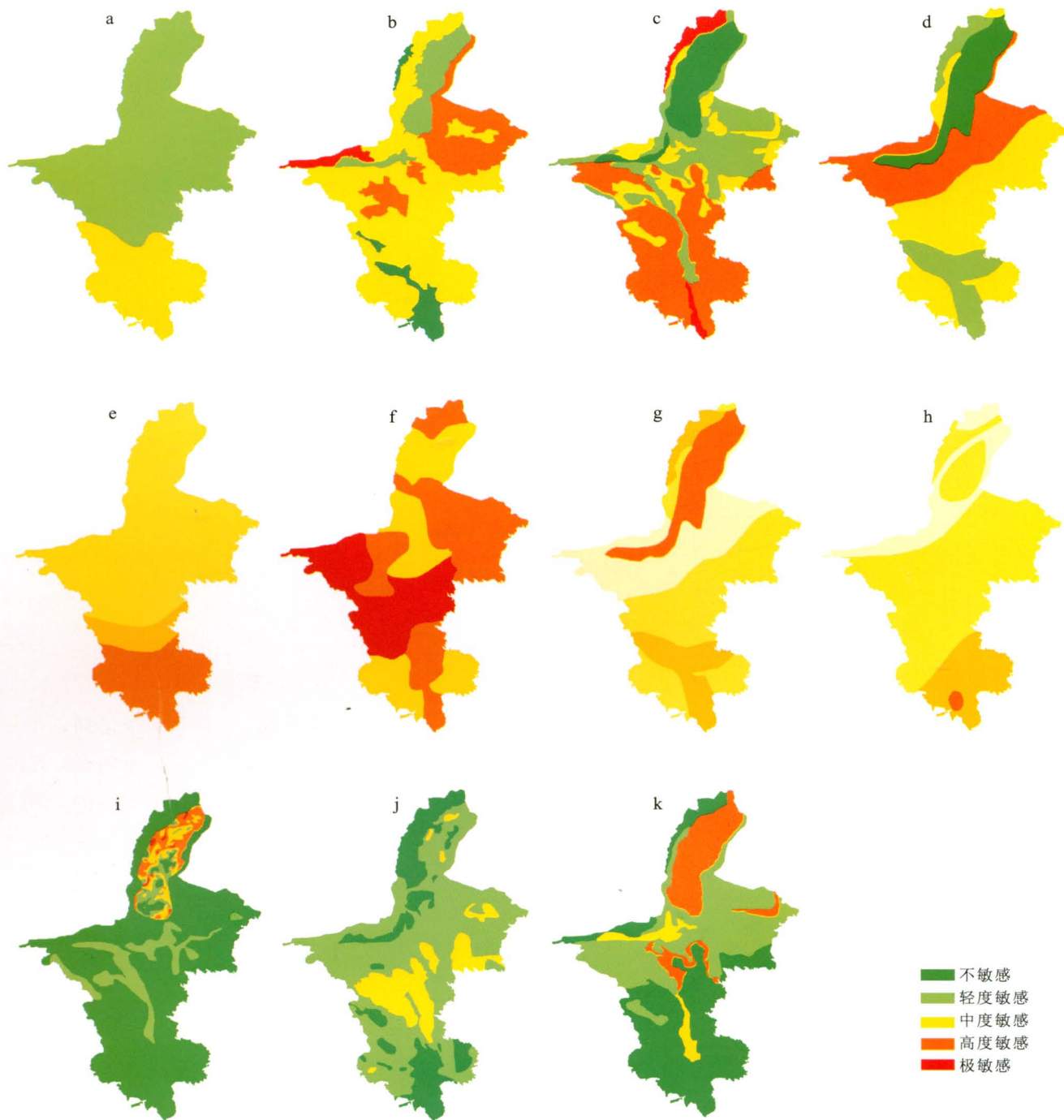
图 5 非干扰区森林群落物种多样性与海拔的关系

(3) 非干扰区森林群落物种多样性与海拔的关系研究表明,非干扰区群落随着海拔高度的增加,除 Simpson 指数和 Alatalo 指数外,其它指数都呈现出下降的趋势。这种多样性的变化趋势与这些群落随着海拔升高而向顶级阶段演替的趋势相一致。

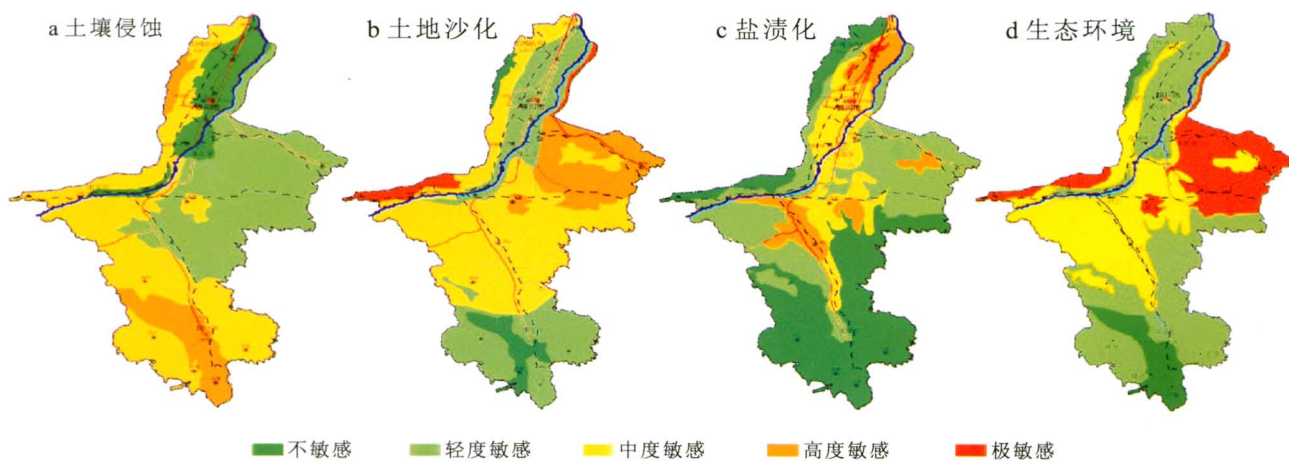
参考文献:

- [1] Rai S C, Sundriyal R C. Tourism and biodiversity conservation: The Sikkim Himalaya[J]. Ambio, 1997, 26 (4):235-242.
- [2] Pickering C M, Hill W. Impacts of recreation and tourism on plant biodiversity and vegetation in protected areas in Australia[J]. Journal of Environmental Management, 2007, 85(4):791-800.
- [3] 石强,廖科,钟林生. 旅游活动对植被的影响研究综述[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(2):217-223.
- [4] 刘艳红,赵惠勋. 干扰与物种多样性维持理论研究进展[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(4):101-105.
- [5] 文陇英,李仲芳. 干扰对物种多样性维持机制的影响[J]. 西北师范大学学报:自然科学版, 2006, 42(4):87-91.
- [6] 邱扬,张金屯. 关帝山八水沟天然植物群落时空梯度的数量分析[J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(2):113-120.
- [7] 程占红,张金屯,上官铁梁. 芦芽山自然保护区旅游开发与植被环境关系:旅游影响系数及指标分析[J]. 生态学报, 2003, 23(4):703-711.
- [8] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社, 2004.
- [5] Jagtap T G, Komarpant D S, Rodrigues R S. Status of a seagrass ecosystem: an ecologically sensitive wetland habitat from India[J]. Wetlands, 2003, 23(1):161-170.
- [6] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. 生态学报, 2000, 20(1):9-12.
- [7] 刘康,欧阳志云,王效科,等. 甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布[J]. 生态学报, 2003, 23(12):2711-2718.
- [8] 林涓涓,潘文斌. 基于 GIS 的流域生态敏感性评价及其区划方法研究[J]. 安全与环境工程, 2005, 12(2):23-26.
- [9] 杨志峰,徐俏,何孟常,等. 城市生态敏感性分析[J]. 中国环境科学, 2002, 22(4):360-364.
- [10] 米文宝. 宁夏人文地理[M]. 北京:中国社会科学出版社, 2006:17-20.
- [11] 皓国玉. 河南省生态功能区划研究[D]. 郑州:河南农业大学, 2010.
- [12] 汤小华. 福建省生态功能区划研究[D]. 福州:福建师范大学, 2005.
- [13] 冯存. 开封市生态功能区划研究[D]. 河南开封:河南大学, 2008.

(上接第 105 页)



附图1 宁夏生态环境敏感性单因子敏感性评价



附图2 宁夏土壤侵蚀、土地沙化、盐渍化及生态环境敏感性空间分布