

晋冀鲁豫接壤区生态环境现状评价*

刘全友 张遂业

(中国科学院生态环境研究中心 北京 100085)

摘要 用“中国资源、生态环境预警研究”的有关方法,建立了晋冀鲁豫接壤区11个地、市的生态环境质量评价指标体系,并用层次分析法,对11个地市作出的生态环境质量进行了排序,以表征该区经济持续发展能力及其潜力。

关键词: 生态环境质量, 评价, 现状。

指标体系 治理对策

ASSESSMENT ON THE CURRENT STATUS OF THE ECO-ENVIRONMENTAL QUALITY IN THE CONTIGUOUS AREAS OF SHANXI, HEBEI, SHANDONG, AND HENAN PROVINCES

Liu Quanyou Zhang Suiye

(Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100085, China)

Abstract Assessment indexes of the eco-environmental quality in the 11 cities in the contiguous areas of Shanxi, Hebei, Shandong, and Henan Provinces were established according to the methods described in “Study on the Advance Warning on the Resources and Eco-environment in China”. We ranked the eco-environmental quality in these cities by using hierarchical analysis, so that the economic sustainable developing capability and potential in these cities could be illustrated.

Key words: eco-environmental quality, assessment, current status.

本文主要从区域的生产力、环境的缓冲力、稳定性对区域动态活动的识别、管理的控制能力、资源的承载力等5个方面作为主要支持系统,表征着区域持续发展能力和较全面地比较一个地区持续发展的潜力。从而对该区持续发展水平进行排序。

1 生态环境评价指标体系的建立

用“中国资源、生态环境预警研究”的有关方法^①,从自然资源、生态环境、环境污染和社会经济等方面入手,选取相应的评价指标,建立生态环境综合评价体系,用层次分析法^[1]对该区11个地市的生态环境质量进行评价。

根据区域生态环境评价指标体系建立的原则,经过理论分析和经验判别,将指标体系分为4个层次:即

* 中国科学院第二期区域开发前期研究项目。

① 中国科学院生态环境研究中心“预警”研究课题组,1992.1:中国资源、生态环境预警研究报告。

本文得到陆仲臣研究员的指导,特此致谢。

收稿日期:1997-01-12,修改稿收到日期:1997-10-10。

目标层(A),约束层(B),指标层(C),分指标层(D),通过相关分析,筛选资料从而确定层次分析的结构。

A 目标层 生态环境质量现状评价

B 约束层 制约和影响生态环境质量的因素 主要为:B1,生态破坏;B2,自然资源;B3,环境污染;B4,社会经济要素。

C 指标层 具体反映约束层的多项指标 C1:水土流失;C2:自然灾害;C3:土地盐碱化;C4:土地承载力;C5:水资源;C6:森林资源;C7:大气污染;C8:水污染;C9:固体废弃物;C10:人口;C11:经济发展。

D 分指标层 指标层的具体化和明细化 D1:水土流失率;D2:水蚀模数;D3:水土流失治理率(-);D4:自然灾害成灾率;D5:自然灾害受害率;D6:盐碱地占有率;D7:盐碱地治理率;D8:土地利用(-);D9:土地生产率(-);D10:人均水资源量;D11:灌溉率(-);D12:森林覆盖率(-);D13:草地覆盖率(-);D14:废气排放量;D15:废气处理率(-);D16:废水排放量;D17:废水处理率(-);D18:废渣排放量;D19:废渣处理及综合利用(-);D20:土地污染指数;D21:人口出生率;D22:人口自然增长率;D23:人均国民收入;D24:可持续发展;D25:城市化水平。

指标体系的权重计算 通过聘请33位专家讨论和打分,按照层次结构关系进行判别比较,分别构造出A~B,C~D等判别矩阵,然后用和面积计算出矩阵的最大特征根 λ_{max} 及其对应的特征向量W,W为排序权值,计算结果如表1、表2。

表1 C层对A层的权重

Table 1 The weights for C layer to A layer

B	B1	B2	B3	B4	C层对A层 总排序取值
C	0.373	0.181	0.264	0.184	
C1	0.538	0	0	0	0.200
C2	0.297	0	0	0	0.111
C3	0.167	0	0	0	0.062
C4	0	0.333	0	0	0.060
C5	0	0.333	0	0	0.060
C6	0	0.333	0	0	0.060
C7			0.242	0	0.064
C8			0.378	0	0.100
C9			0.190	0	0.050
C10			0	0.5	0.050
C11			0	0.5	0.091

表2 D层对A层权重

Table 2 The weights for D layer to A layer

因素 Factor	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
数值 Value	0.061	0.06	0.08	0.056	0.054	0.031	0.031	0.024	0.036	0.030	0.030	0.036	0.024
因素	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	
数值	0.040	0.024	0.060	0.040	0.030	0.020	0.050	0.045	0.045	0.031	0.030	0.030	

在众多的分指标层中,把相关性不好的组群中的若干因素排除,取出对目标贡献大的因素,这样共筛选出分指标层(D)25个因素。

根据25个指标对目标层贡献的正、负分与其权重值相乘,最后求总和,即可得出综合评分值,其公式为:

$$EEQ = \sum V_i \cdot W_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

EEQ:为各地市生态环境质量综合评分值;V:各因素评分值,即各地市因素的实际值比该因素在这一地区的最大值再乘以100;W:因素的权重。

求出值的大小将反映出该地区环境质量的好坏,其值越大,环境质量越差。结果如表3并将排序图作于图1。

表3 11个地市综合评分值

Table 3 Comprehensive assessment score of the environmental qualities in 11 cities

地市 City	邢台	晋城	焦作	新乡	濮阳	鹤壁	安阳	聊城	长治	邯郸	菏泽
评分值 Score	5.07	13.18	2.18	7.36	0.73	10.2	6.4	0.25	17.56	17.96	1.23

并按计算结果11个地市分成4种生态环境类型: I类为综合生态环境质量好的,评分值在0.75~2.08之间,包括聊城、濮阳、菏泽和焦作。II类为生态环境质量较好的,其评分值在5.07~7.36之间,包括邢台、安阳和新乡。第III类为生态环境质量较差的,评分值在10.2~13.18,包括鹤壁和晋城。第IV类为生态环境差的,评分值为17.5~18,包括长治和邯郸两地市。上述计算结果表明,与实际情况是非常一致的(图2)。

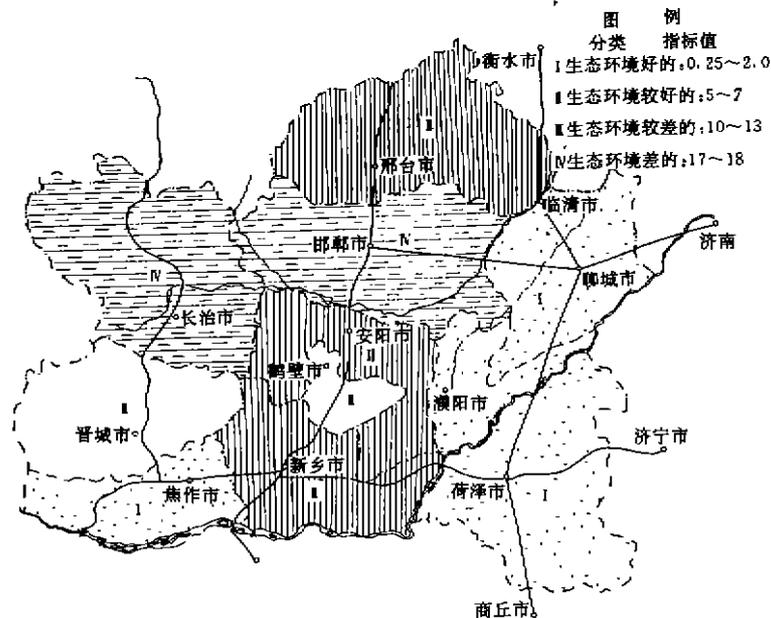


图1 生态环境质量综合评价分类

Fig. 1 Classification of comprehensive assessment on eco-environmental qualities

2 生态环境质量分析

晋冀鲁豫接壤区的主要生态环境问题从类型上分有:气候型生态灾害,包括旱、洪水、风雹、霜冻等。土壤类生态灾害,包括土壤侵蚀、沙化、盐碱等。污染类生态问题,包括三废、农药、化肥污染等。生物类生态问题,包括病虫害等。地质环境类生态问题,包括地下水漏斗、地面塌陷和水资源短缺等。而且有的生态环境灾害仍在不断恶化。当然造成目前生态环境恶化的原因是多方面的,也是复杂的。既有不容忽视的自然因素,也有人为作用的因素;既有长期积累的历史演变因素,也有近期产生的现实障碍;它是自然因素和人为因素相互交替影响的必然结果,也是历史延伸与现实相互叠加作用的客观反映。本文就自然地理环境特征,加以分析。

2.1 生态环境脆弱

晋冀鲁豫接壤区,从宏观上来看,处在干湿交替的生态环境脆弱带上。从本区微观上看,山西的晋城、长治市属太行山及以西的黄土高原东南部,处于我国地势总阶梯的第3个阶带上,加之京广路以西,太行山

以东邢台、邯郸、安阳、鹤壁、新乡和焦作市的山丘部分,正处在梯度连接带上,因此重力梯度大,只要自然植被一旦破坏,在雨水冲刷和侵蚀作用下,极易形成水土流失,加速生态环境失衡。在京广铁路以东的濮阳、菏泽和聊城等地市,处在华北平原水陆变迁频繁的水陆交界带上。因此,晋冀鲁豫接壤区处于不同生态环境脆弱带范围内,所以生态环境脆弱,它是生态破坏、自然灾害多发的空间域。

为衡量脆弱带的脆弱程度,本文用脆弱度指标表示,即指该区各地市对自然灾害影响的敏感程度^[2]。以本区西部山丘区的水土流失与其自然灾害的关系为例,长期而严重的水土流失,是造成本区西部生态环境恶化的主要因素之一,由于水土流失,破坏了生态平衡,致使水旱灾害频繁。为此用接壤区西部有山丘的地市的土壤侵蚀模数与成灾率建立相互关系,得出二者的关系式为:

$$y = 52.74x^{0.005} \quad r = 0.79$$

式中, y ——成灾率(%); x ——侵蚀模数($t/km^2 \cdot a$)。由上式可说明自然灾害对水土流失的依赖关系,即随着土壤侵蚀模数的增加,本区西部各地市的成灾率亦增加。不过也可看出方程的斜率较小,这则说明影响本区成灾的不仅是水土流失,还有其它生态灾害在制约着本区的成灾率。纵然由于土壤侵蚀而引起如耕作层流失,肥力降低,蓄水能力削弱,使土地生产力下降甚至丧失,从而使整个生态系统失调,旱时加重灾情,暴雨易于形成山洪,沟谷侵蚀发育,促进和加剧山崩、滑坡和泥石流灾害的形成和发展。加剧了贫困与灾害的恶性循环。

为了说明本区山丘区地市脆弱度的变化规律,用脆弱度指标(B/A ,成灾面积与耕地面积之比)定量的将山丘区分级(图2),从而把不同脆弱度的地市分开。图上有明显的三组点群,这三组点群即代表着不同的脆弱程度。上面两点群反映同一个模式,即土壤侵蚀模数越大,遇到灾年时,灾情越严重,则愈敏感或愈脆弱。同时将各地市按脆弱度的大小,定量的区分出来,如晋城、焦作、安阳、新乡为脆弱度指标值最大($B/A = 54 \sim 64$);即最脆弱(I);邢台、长治为较脆弱(II);指标值为38~51;鹤壁市为弱脆弱(III),指标值为35.8。

为了说明全区11个地市的脆弱性,用该区旱灾和水灾的受灾率和成灾率作指标,进行定性和定量的比较,通过计算将该区各地市分3个脆弱区:①最脆弱区,如焦作、新乡市,旱灾和水灾的成灾率均大于受灾率,说明它们最脆弱。②次脆弱区,旱灾的成灾率均大于受灾率,而水灾的成灾率均小于受灾率,如晋城、长治、邢台、菏泽等地,说明该区对旱灾的抗御能力,相对来说较差。③脆弱区,包括安阳、鹤壁、濮阳、聊城,这类地区的水灾成灾率皆大于受灾率,而旱灾的成灾率皆小于受灾率,则说明该区对水灾的抗御能力小于旱灾。虽然上面只就旱、水两个灾种作出脆弱性分析,但其结果与上述山丘区用灾情作指标的分析结果却基本一致。

2.2 抗灾能力的分析

用数学方法来分析该区的抗灾能力。先将各地市的历年的粮食与棉花减产(万t)与病虫害的成灾率点绘在双对数纸上,然后分别建立指数方程(表4)。从11个地市粮食减产方程和棉花减产方程的指数看,粮食减产方程的指数在0.28~1.28的范围内,平均为0.47;而棉花减产方程和指数在2.67~7.34范围内,平均为4.86。指数方程的指数在数学上代表斜率,在此则代表着粮食和棉花随着病虫害成灾率的增加而减产的速率,由此可见,病虫害对棉花的危害远远大于粮食,从而说明该区棉花减产主要是受病虫害的影响。

式中, y_1 ——粮食减产产量(万t); y_2 ——棉花减产产量(万t); x ——病虫害成灾率。根据表4,可作进一步分析,如在同样成灾率情况下,粮食减产率最大的有鹤壁、晋城、焦作、长治、邢台等地市;棉花减产率最大

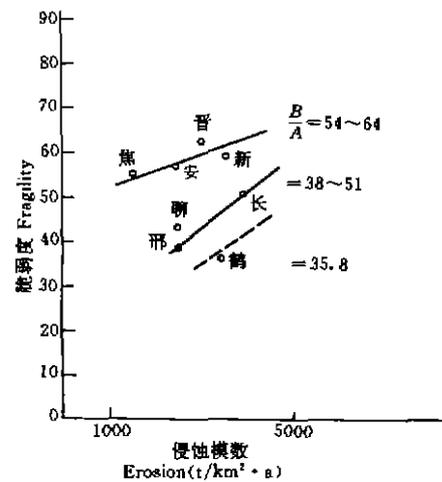


图2 侵蚀模数与脆弱度关系

Fig. 2 The relationships between erosion and fragility

的有晋城、焦作、鹤壁、安阳、聊城等地,这则说明这些地区在一般情况下,一方面灾情严重;另一方面减灾抗灾工作做得不得力。

表4 粮食和棉花随病虫害减产的定量分析

Table 4 Quantitative analysis of the correlation between grain and cotton yield decreasing and plant diseases and insect pests

地市 City	粮食减产公式 Grain decreasing	相关系数 <i>r</i>	棉花减产公式 Cotton decreasing	相关系数 <i>r</i>
濮阳	$y_1 = 68.89x^{0.29}$	0.47	$y_2 = 44.59x^{2.67}$	0.46
鹤壁	$y_1 = 55.46x^{1.28}$	0.84	$y_2 = 64.33x^{6.10}$	0.48
焦作	$y_1 = 50.11x^{0.75}$	0.71	$y_2 = 59.75x^{7.13}$	0.64
晋城	$y_1 = 60.94x^{1.02}$	0.73	$y_2 = 69.1x^{7.34}$	0.40
长治	$y_1 = 63.07x^{0.74}$	0.61	无种植	
邢台	$y_1 = 56.53x^{0.54}$	0.59	$y_2 = 47.46x^{3.64}$	0.70
聊城	$y_1 = 61.85x^{0.38}$	0.76	$y_2 = 39.79x^{4.08}$	0.96
新乡	$y_1 = 66.22x^{0.24}$	0.51	$y_2 = 59.54x^{3.58}$	0.64
安阳	$y_1 = 52.63x^{0.40}$	0.28	$y_2 = 49.50x^{5.39}$	0.74
菏泽	$y_1 = 61.28x^{0.28}$	0.27	$y_2 = 48.33x^{3.89}$	0.71

2.3 先天的地形要素

本区的西部为山丘区,地面坡度大,是决定水土流失强度的主要因素之一,在同样降雨条件下,地面坡度小的地区,侵蚀就弱,反之就大。根据对黄土高原研究结果表明,在缺乏植被的情况下,地面坡度在2~3°,便发生水力冲刷现象;5°~6°或7°~8°以上,细沟侵蚀普遍出现,坡度愈大,水土流失愈强烈;在25~35°的坡度就会发生严重的水土流失。以晋城地区为例作进一步说明,晋城位于太行山之西部,为黄土高原的一部分,全市地面坡度3°以下的有1882km²,占总面积的20%。3~25°的有5615km²,占总面积的59.63%;25°以上的1919km²,占总面积的20.37%。因此晋城的土壤流失强度大。所谓土壤流失强度是按照7~9月平均径流深所输送的土壤流失厚度,推求每100mm径流深所输送的土壤层厚度,即(mm/100mm)。根据土壤流失强度,可判别某个地区水土流失轻重程度,一般分为5个等级^①;

(1)土壤侵蚀强度值小于10mm为弱;(2)土壤侵蚀强度值为10~15mm为中等;(3)土壤侵蚀强度值为15~20mm为强;(4)土壤侵蚀强度值为20~25mm为很强;(5)土壤侵蚀强度值大于25mm为极强。

依据上述标准,描述晋城市不同水土流失类型区的情况^②。

土石山区大部分地区的切沟和冲沟不太发育,侵蚀缓慢。沁县、阳城县和陵川东部地区土壤侵蚀强度一般在5~10mm,如陵川县分水岭以西地区土壤侵蚀强度大于10mm/a,一般达到10~15mm/a。侵蚀模数为600~800t/km²·a,年土壤侵蚀量达640万t。黄土丘陵区是本市水土流失比较严重的地区,其特点是坡度起伏较大,植被稀少,土质疏松,水土易流失。主要分布在城区、郊区的中部、北部和东部、高丰县的大部分地区,土壤侵蚀强度在8~12mm/a,侵蚀模数为1500~2500t/km²·a,年土壤侵蚀量为400万t。冲积平原区,由于地面坡度较小,地势平缓,所以水土流失轻微,侵蚀强度一般在3~6mm/a,侵蚀模数为200~400t/km²·a,年侵蚀量达1.0万t,主要分布在高平的城关、河西二镇的狭长地带和郊区巴公镇等。

2.4 植被对环境的影响

水土保持是治理流域的根本,而水土保持的措施,必然是生物措施、工程措施和耕作措施的紧密结合。但也有人认为^[3],水土保持的目的是拦截泥沙和径流,但根本目的乃在于贴附在地表的植物群落阻滞延缓坡面径流的汇集过程,既防止了土壤冲刷,又为径流与坡面入渗赢得时间,增大河流枯季流量,从而改变河

① 王礼先等,黄河中游土壤侵蚀的鉴定和分类,黄土高原水土流失综合治理科学讨论会资料汇编,1990。

② 晋城市水利局水保监督站,晋城市水土保持监测网络规划,1994,7。

床形态。水土保持能从根本上治河,它是不能以工程方法所代替的。由此可见,种草种树增加植被率的重要性。更有王化云认为^[4],水土保持的根本出发点首先是绿化大西北,改造山河面貌,治穷致富,努力发展农林牧业生产。从对晋冀鲁豫接壤区西北山丘区的植被覆盖率对土壤侵蚀强度影响的关系看,总的趋势是随着植被覆盖的增加,而土壤侵蚀强度减小,相关性较好,相关系数为-0.83,其表达式为:

$$y = 47.07x^{-0.006}$$

由此表明这个地区,要改变西部山丘陵地生态环境的恶化,种草种树,植村造林是很有作用的。

2.5 人类活动对生态环境的影响

由于人类的不合理开垦,和不协调的土地利用结构,则起到了人为加速侵蚀的作用,仍以该区西部为例。

1)开垦系数加大 随着本区人口不断地增加,土地的开垦愈加不合理,则是引起水土流失越来越重的原因之一。从统计的资料看,土壤侵蚀强度的大小与开垦系数有直接的关系,随开垦率的增加,土壤侵蚀强度增加。

2)农林牧土地利用结构不合理 调整农林牧结构,治理水土流失,实际上是发挥生物措施在水土保持中的作用。根据统计资料计算出林牧占农林牧的比例和林牧占农的比例与土壤侵蚀强度关系,其指数方程分别为:

$$y = 41.08x_1^{-0.005} \quad r = 0.81$$

$$y = 64.52x_2^{-0.009} \quad r = 0.82$$

式中,y——土壤侵蚀强度(t/km²·a);x₁——林牧/农林牧,x₂——林牧/农。结果表明,随着二者的增加而侵蚀强度减小。

3 不同生态环境类型区的主要问题及治理对策

根据该区生态环境质量评价指标体系,在综合排序的基础上,将晋冀鲁豫接壤区按生态环境质量的好坏,分为4个类型区,总的说来,其生态环境问题主要是自然和人为两种因素造成的。自然因素是由多种类型的脆弱带组成,生态环境脆弱,抗御自然灾害的能力差,加之生态灾害频繁发生,严重影响着本区生态环境质量。同时还有先天的地面坡度陡,降水集中和植被稀少的自然地理环境特征。因此,生态环境质量是制约本区经济发展的主要因素之一。人为因素主要体现在不合理的开垦和土地利用结构的不合理以及污染等;长期的叠加和相互作用的结果,造成该区严重的水土流失和土地沙化、盐渍化,以及土地塌陷和地下水漏斗地质环境事件。现综合评价对4种类型的主要生态问题。

第Ⅰ种类型 生态环境质量好的,包括焦作、濮阳、菏泽和聊城地区,综合指标评分值在0.25~2.0之间,该类型处在两个脆弱带上,濮阳、菏泽、聊城在水陆交接带。焦作为梯度交接带,但从面积上看,大部分是平原区,仅焦作市有占总面积44.3%的山丘区。本区主要生态问题是土地盐碱化,晋冀鲁豫接壤区共有盐碱地102.1万hm²,而该区就有盐碱地52.3万hm²,占51.2%。治理的措施,除进一步推广井灌井排,放淤压碱的办法外,还可以应用生物技术,保护生态环境^[5],用生物技术培育和制造有利于生态环境的生物新品种,有很重要的意义。一方面可以维护地球上生物的多样化,更重要的是,可以改善农作物的品质,提高农作物抗病虫害和草害、耐旱抗寒,以及抵抗盐碱的能力。

第Ⅱ类型区 为生态环境质量较好的,包括邢台、安阳和新乡3地区,综合指标评分值在5~7范围,处于梯度转换带内。主要的生态环境问题是该区处于山前丘陵和冲积洪积平原,不管地表水还是地下水其水质都很好,但水资源量不多,只占接壤区总水资源量的22.7%,人均水资源量为291.7m³/人,是4种类型区中最少的一个,因此缺水较为严重。水是生命的源泉,是自然环境的重要因素。随着本区人类社会各种活动用水,工农业生产的发展,人民生活水平的提高,本区由于人口的增长和经济活动的增强,需水对可利用水资源不断增长的压力定会危害区域经济社会的发展目标。解决的对策尽快实施中线南水北调和树立节约用水的思想。

第Ⅲ类型区 生态环境质量较差的,包括鹤壁和晋城两地区,综合指标评分值在10~13之间。在各类生态灾害中,晋城在气候型灾害中,属最差的一级,鹤壁属好的一级;在土壤型灾害中,晋城亦属最差级。在

污染型灾害中,晋城属较好级。在生态灾害综合评分和排序中,晋城属最差,而鹤壁属较好级。本区主要的生态环境问题是水土流失和土壤污染。两地市的水土流失率达80%以上,水蚀模数达3500t/km²·a左右;土壤的污染指数(每hm²产粮中所施的纯化肥量),晋城最高,即为663.0kg。治理的办法主要应用生物技术,保护生态环境,减少化肥用量,增加农作物产量,用基因工程技术,把固氮微生物的固氮基因转移到禾本科植物的根部的一些细菌里去,让农作物自己就有固氮能力。

第Ⅳ类型区为生态环境质量差的,包括邯郸和长治两市,综合指标评分值在17~18之间。主要的生态环境问题是水土流失和三废污染。长治市的流失率(流失面积与山丘面积百分比)为89.1%;邯郸为71.4%,水蚀模数为4000t/km²·a以上,是接壤区侵蚀强度最大的地市。治理的对策,重点开展以流域为单元的小流域综合治理。两地市“三废”的排放是接壤区最多的,“三废”的排放量分别为废水18079.7万t/a,废气2003.5亿m³/a,废渣410.5万t/a,分别占总排放量的25%、42.3%和11.5%。土壤污染指数在本区属第2,由于本类型区内污染严重,引起动植物急性和慢性中毒,直接和间接地危害着人类和牲畜的健康。同时,由于化学农药的长期使用和“三废”排放,一些害虫产生了很强的抗药性,而许多害虫的天敌又被大量杀死,这就反而使一些害虫十分猖獗,很难防治。

4 整个区域环境质量的评估

在用生态环境评价指标分类型进行了综合分析的基础上,就人类活动对整个区域环境质量的影响进行评估。

以色列希伯来大学的道尼尔在1983年提出,运用发展度和感应度,测量和计算人对区域的作用。他建议使用人口百分比表达发展度(DD),使用文盲人数的百分比表达人对自然演替缺乏知识的感应度(DP)。统计表明,城市人口百分比与文盲人数的百分比恰好成负相关。用VP代表前者,DN代表后者。则(VP+DN)/2为一个社会指标,如该平均值低于50%,则说明地理环境相对安全,若高于50%,则说明人为的作用已起过了地理环境的容忍度。长此下去,必然引起环境质量的下降,必须采取有效的措施保护地理环境^[4]。

晋冀鲁豫接壤区的社会指标见表5。可以看出,其社会指标值小于50%,则说明该区的地理环境相对安全。但要强调指出,虽然该区有一定的地理环境容忍度,但绝不能在发展经济的同时,忽视了生态环境的保护,要做到发展经济和环境保护相协调一致。

表5 接壤区社会指标

Table 5 Social indexes of the contiguous areas

地市	邢台	晋城	焦作	新乡	濮阳	鹤壁	安阳	聊城	长治	邯郸	菏泽	平均
文盲百分比 (DN)	22.8	11.3	0.26	(16.2)	15.2	19.8	12.8	1.31	(15.2)	16.9		
城市人口(VP)	6.9	14.0	17.8	20.0	9.3	23.5	10.1	9.2	18.3	14.9	15.7	
(VP+DN)/2	19.85	12.65	17.0	18.1	15.75	20.05	12.65	14.5	15.55	15.05	16.3	16.13

上述例子只考虑社会因素和人文因素,这在地理环境中是不够的,只有综合考虑人文和自然因素,才有可能得出更准确的结果。所谓的自然因素,选择区域的气候和地形作为自然要素参加评价,于是提出一个称为人为影响地理环境的潜在指数(M)^[6],但需要今后进一步的工作才能确定。

参 考 文 献

- 1 赵焕臣等编著,层次分析法——一种简易的新决策方法,北京,科学出版社,1988
- 2 牛文元. 自然灾害管理系统,科学通报,1990,(17),18
- 3 侯晖昌. 水土流失、水土保持和河流形态的关系. 泥沙研究,1987,(6),127
- 4 王化云. 坚定信心,脚踏实地地进一步发展黄河流域水土保持事业. 中国水土保持,1986,(1),37
- 5 亦 鸟. 应用生物技术,保护生态环境. 中国科学报,1995年5月16日,第2版
- 6 牛文元. 信息时代的地理学. 地理知识,1984,(7),29