

中国北方农牧交错带河北省怀来县生态环境敏感性分析

娄安如

(生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 北京师范大学生命科学学院)

摘要: 该文运用卫星遥感数据, 在 Arc/info 和 Arcview 支持下, 对怀来盆地的土壤潜在侵蚀强度和坡度进行了计算, 并将结果运用于环境敏感性分类中。环境敏感性分类所选取的 6 项指标为行政村数目、土壤潜在侵蚀强度、坡度、年降水量、森林覆盖度和草地覆盖度。根据怀来县各区域的环境敏感度 S_r 的计算结果, 以环境敏感度值 11 为分类步长, 将怀来县 15 个乡镇划分成了 5 个等级, 分别代表 5 个区域: I 级属于不敏感区域, 有东花园乡、瑞云观乡、小南辛堡乡、孙庄子乡和大黄庄乡 5 个乡镇; II 级属于轻微敏感区域, 包括桑园乡、存瑞乡、王家楼乡和北辛堡乡 4 个乡镇; III 级属于中度敏感区域, 包括沙城、鸡鸣驿和西八里 3 个乡镇; IV 级属于高度敏感区域, 包含官厅镇、新保安、东八里和狼山乡 4 个乡镇; V 级为极敏感区域, 只有土木乡 1 个乡镇。怀来县生态环境敏感性区域的划分, 可为怀来县进行生态规划、产业结构调整、实现资源与经济的可持续发展提供指导作用。

关键词: 农牧交错带, 河北省, 怀来县, 环境敏感性分析

中图分类号:S718.5; X171.1 文献标识码:A 文章编号:1000-1522(2006)03-0046-07

LOU Anru. Environmental sensitivity analysis of Huailai County, Hebei Province of the agriculture-pasture ecotone of northern China. *Journal of Beijing Forestry University* (2006)28(3) 46-52 [Ch, 19 ref.]
Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Ministry of Education, College of Life Sciences, Beijing Normal University, 100875, P. R. China.

Based on Arc/info and Arcview technological support, utilizing remote sensing data, the soil potential erosion intensity and slope of Huailai County, Hebei Province, were calculated, and the two indices were used in the environmental sensitivity analysis. For environmental sensitivity analysis, six indices were selected: the number of villages, soil potential erosion intensity, slope, annual precipitation, forest coverage and grass coverage. According to the numerical value of environmental sensitivity S_r in each township of Huailai County, environmental sensitivity of fifteen towns belonging to Huailai County was divided into five grades and the classification length was eleven. These five grades stand for five different areas. Grade I: areas that are not sensitive, including the townships of Donghuayuan, Ruiyunguan, Xiaonanxinpu, Surzhuangzi and Dahuangzhuang. Grade II: areas that are slightly sensitive, including the townships of Sangyuan, Cunrui, Wangjialou and Beixinpu. Grade III: areas that are moderately highly sensitive, including the townships of Shacheng, Jimingyi and Xibali. Grade IV: areas that are highly sensitive, including the townships of Guanting, Xinbaoan, Dongbali and Langshan. Grade V: area that is very highly sensitive, including the only township of Tumu. Environmental sensitivity analysis of Huailai County can play an important guiding role for the ecological planning, industrial structure adjustment and sustainable development of resources and the economy of Huailai County.

Key words agriculture-pasture ecotone, Hebei Province, Huailai County, environmental sensitivity analysis

改革开放 20 多年来, 我国的经济取得了前所未有的增长, 尤其是国家实施的西部大开发战略, 将持续推动我国的经济发展。然而, 未来我国经济的发展

必然对环境保护提出更高的要求, 同时对环境的压力也在增大。因此研究环境的脆弱性对土地的科学利用具有重要的意义。我国在过去的几十年中, 尤其

收稿日期: 2005-05-20

<http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目:“973”国家重点基础研究发展规划项目 (G2000018607).

作者简介: 娄安如, 博士, 副教授。主要研究方向: 生态系统生态学、植被生态学。电话: 010-58807916 Email: louanru@bnu.edu.cn 地址: 100875 北京师范大学生命科学学院。

是自 20 世纪 70 年代以后,对环境的研究与整治主要集中在对污染源的调查和对工业污染物的控制与治理上,并取得了巨大成绩^[1].然而在环境敏感性分析方面仍然缺乏系统地研究.环境敏感性是环境及其组成要素对外界扰动发生响应的灵敏程度,它取决于区域环境的内部结构^[2].通过环境敏感度分类可以清晰地掌握一个地区的自然环境状况,能够划分哪些区域是需要优先重点保护的,哪些区域相对来说,对外界的干扰承受能力较大,可以进行适当的资源开发和利用.

长期以来,对于北方农牧交错带,我国科技工作者展开了内容广泛的研究工作^[3-8],曾先后提出了一些适合草地和农牧交错带特点的农牧业发展模式.然而,综观过去对北方农牧交错带退化生态系统的研究,主要是围绕着土地荒漠化及其治理而进行的,缺乏对农牧业复合生态系统生产力形成机制和动态过程的深入认识^[9-16].尤其对处于我国北方农牧交错带东南缘的怀来县的生态环境更是缺乏系统性的研究.

本文在实地考察的基础上,利用卫星遥感数据,尝试对怀来盆地不同区域的环境敏感性进行研究,划分出环境脆弱的区域.环境敏感性分类所选取的 6 项指标为行政村数目、土壤潜在侵蚀强度、坡度、年降水量、森林覆盖度和草地覆盖度,这 6 项指标值都是可以实际获得的较为准确的数据,排除了以往在环境敏感性分类中所采用的一些定性指标,而且这 6 个指标都与环境敏感性之间有着密切的关系.因此,环境敏感性分类的结果能够比较客观地反映怀来县的实际环境状况,可以为怀来县退化生态系统的恢复与重建提供理论依据.

1 研究区自然概况

怀来县位于北方农牧交错带的东南缘,隶属于河北省张家口市,其东部与北京市的延庆县接壤,南部与门头沟区交界,地理位置 $115^{\circ}06'48'' \sim 115^{\circ}58'00''E$, $40^{\circ}04'10'' \sim 40^{\circ}35'21''N$.怀来县东临燕山山脉,北有大马群山,南依太行山山脉的余脉,洋河与桑干河在境内相汇,向东注入官厅水库.怀来县总面积 1 801 km²,其中山区占 41.6%、河川区 33.4%、丘陵区 25%,共辖 17 个乡镇,总人口 32.5 万人,人口密度约为 180 人/km².怀来县独特的“V”字形地质结构和狭管状的地形,不仅使从西北方向过来的大风能够毫无阻挡地长驱进入首都北京的上空,而且还加速了风的速度.怀来县整体生态环境的优劣,直接影响到北京空气质量的洁净程度.因此,研究怀来县不同区域的环境敏感性,对于合理利用土地资源,保护

本地区与北京市的环境具有重要的现实意义.

2 环境敏感性分类计算方法

影响环境敏感性的因子有很多,比如土壤侵蚀(包括风蚀、水蚀)、降雨、植被覆盖度、人口密度、坡度、坡长等,都可以从一个侧面反映环境的脆弱性.有些因子的变化可以增加环境的敏感性,而另一些因子的变化则可以降低生态环境的敏感性.因此本文在这里将环境因子分为两大类:一类是正面的因子,即可以加剧环境敏感性的因子,如降水量、水土流失、人类活动、干旱、洪水灾害、土壤侵蚀等;另一类是负面因子,这类因子可以减弱环境的敏感性,增强环境对外界干扰的能力,如草地覆盖率、森林覆盖率、农田灌溉的比例、土地生产力、对土壤侵蚀的控制程度等.

为了评价每个因素对环境敏感性的影响,本文采用专家打分的方法来确定各个影响因子的权重,选择了在该领域里的 10 位专家,请他们对各个影响因子的重要程度给予了分值.通常采用下列公式来确定每个因子的权重.

$$P_i = \sum_{j=1}^U P_j / U \quad (1)$$

$$P_k = \sum_{l=1}^U P_l / U \quad (2)$$

式中, P_j 是专家给的第 j 个正面因子的分数, P_l 是专家给的第 l 个负面因子的分数, U 为专家的人数, P_i 是专家对第 i 个正面因子给的平均分数, P_k 是专家对第 k 个负面因子给的平均分数.所以,正面因子与负面因子的权重分别为:

$$G_i = P_i / \sum_{i=1}^m P_i \quad (3)$$

$$G_k = P_k / \sum_{k=1}^n P_k \quad (4)$$

式中, G_i 是第 i 个正面因子的权重, G_k 是第 k 个负面因子的权重, m 是对生态环境敏感性有正面影响的因子的个数, n 是对生态环境敏感性有负面影响的因子的个数.

为了消除各因子量纲上的不同,对所取得的数据进行标准化:

$$C_{xy}^* = C_{xy} / \max C_{xy} \times 100 \quad (5)$$

$$C_{pq}^* = C_{pq} / \max C_{pq} \times 100 \quad (6)$$

式中, C_{xy} 为第 x 个正面因子在第 y 区域的实际值, C_{xy}^* 是 C_{xy} 标准化以后的值, $\max C_{xy}$ 是第 x 个正面因子在 N 个区域中的最大值; C_{pq} 为第 p 个负面因子在第 q 区域的实际值, C_{pq}^* 是 C_{pq} 标准化以后的值, $\max C_{pq}$ 是第 p 个负面因子在 N 个区域中的最大值.

因此利用加权的方法可以计算出各个区域的环境敏感度 S_r :

$$S_r = \sum_{i=1}^m G_i C_{xy}^* - \sum_{k=1}^n G_k C_{pq}^* \quad (7)$$

式中, S_r 为第 r 个区域的环境敏感度的值.

3 怀来县环境敏感性分类指标选取

鉴于怀来县的具体情况,本文在进行环境敏感性分类时,重点考虑的是那些对环境敏感性影响最大且其数值可准确获得的指标(因子).一共选取 6 个指标(因子),其中正面指标(因子)4 个,负面指标(因子)2 个(见表 1).

3.1 土壤潜在侵蚀强度与坡度指标

土壤侵蚀的强度主要与土壤表面的侵蚀强度和雨水的侵蚀强度有关^[17-18].根据怀来县 1:250 000 全要素矢量数据,在 Arc/info 与 Arcview 地理信息系统的支持下,将原始数据进行了 Grid 转换,利用 Arc/info 中提供的土壤潜在侵蚀强度的计算模块,进行了土壤潜在侵蚀强度的计算.计算结果表明怀来县土壤潜在侵蚀强度最高达到 0.891,平均为 0.482.由此可见,整个怀来县的土壤潜在侵蚀是比较严重的.目前,怀来全县境内水土流失面积达 930 km²,占全县土地面积的 51.6%,其中强度侵蚀区占 49%,每年的土壤流失量高达 420 万 t.严重沙化土地面积已占总土地面积的 14.1%.所以,对于怀来县的土壤潜在侵蚀强度的计算是比较符当地实际情况的.

在进行土壤潜在侵蚀强度计算的同时,还进行了坡度的计算,坡度值的范围为 0°~90°.坡度对环境敏感性的影响是比较大的.坡度越大的地方,其环境敏感性就越大,反之就越小.计算结果表明,怀来县的坡度分布可以划分为 9 个等级,其坡度值为:0°~4.969°、4.970°~9.938°、9.939°~14.907°、14.908°~19.876°、19.877°~24.845°、24.846°~29.814°、29.815°~34.783°、34.784°~39.752°、39.753°~44.721°.如果以 4.969° 为最小坡度,44.721° 为最大坡度,那么怀来县地形的平均坡度则为 24.845°.

3.2 年降水量指标

年降水量的多少直接关系到地表植被的生长发育情况,如果地表植被稀少,降水量又大时,则可以引起水土流失,导致环境脆弱性增强.因此,降水量可以作为一个指标来计算环境敏感性.怀来县的多年平均降水量为 383 mm.为了更好地反映出怀来县不同区域(如山区、丘陵和平原区)的降水情况,本文根据怀来县周围县市的年均降水与温度情况,通过 Arcview 中的 Kriging interpolation 模块进行了内差计算,得到了整个怀来县降水分布图(图 1).

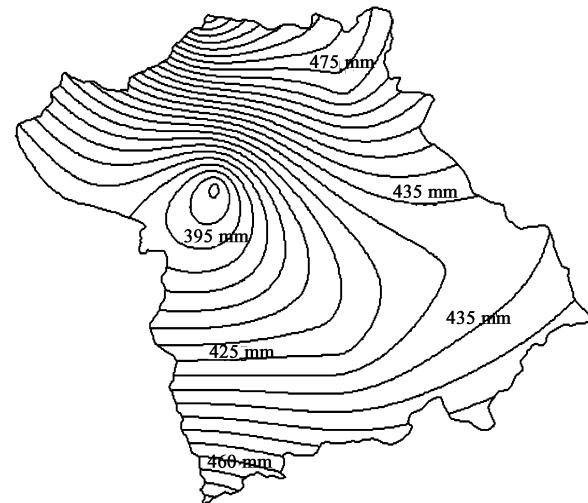


图 1 怀来县年降水分布

FIGURE 1 Distribution of annual precipitation of Huailai County

降水量以怀来县县城沙城的 383 mm 降水量为基础,根据海拔高度的不同,降水量发生变化.降水量最高的地区是水口山林场(520 mm),那里的大黑峰海拔为 1 950 m.

3.3 人口密度指标

人口密度这一指标对环境敏感性的影响比较大.人口密度越大,人们需要开垦更多的土地来解决吃饭与住宅问题,因此对环境的压力也就越大,同时还会对环境造成很大的污染.由于统计各乡村人口比较困难,而且数据又多不准确.因此,本文采用各个乡镇的行政村数,来代替人口数.因为每个乡镇的行政村数在一定程度上可以反映人口数,同时还能反映人口与宅基地的分布状况,从而比较客观地反映出人口密度对环境的影响程度.从 1:250 000 全要素矢量数据中,可以得到整个怀来县的村镇分布.

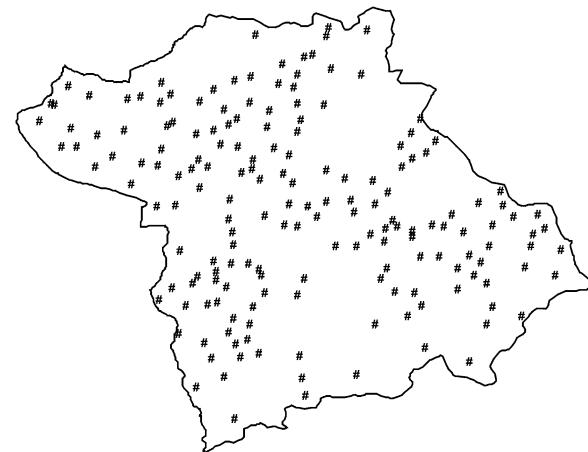


图 2 怀来县村镇分布

FIGURE 2 Distribution of villages of Huailai County

据统计,怀来县全县共有 270 个自然行政村,村数最多的乡为东花园乡,有 24 个村.村数最少的乡为东八里乡,仅有 6 个村.各乡镇的具体行政村数见表 2.

3.4 森林覆盖度与草地覆盖度指标

森林覆盖度与草地覆盖度这两个指标能够减弱环境的敏感度,增强环境对干扰的抵抗能力。也就是说,森林覆盖度与草地覆盖度越高,环境就稳定,环境敏感度就越低。因此,植树(或种草)是改善生态环境、提高环境稳定性、降低环境敏感性的重要而有效的措施。怀来县各乡镇的森林覆盖度是通过各乡镇的果园面积(不含葡萄园面积)与该乡镇的总土地面积之比计算出来的;而草地覆盖度是通过各乡镇的天然草场面积与该乡镇的总土地面积之比计算出来的。怀来县的森林覆盖率为30.59%,天然草地面积占整个怀来县土地面积的24.13%。由于东八里乡与西八里乡的面积较小,因此,将东八里乡与新保安乡合并(两乡毗邻),西八里乡与鸡鸣驿乡合并(两乡毗邻),这样怀来县的17个乡镇就变为15个乡镇。

表2 怀来县15个乡镇各环境敏感性指标统计值
TABLE 2 Indices of environmental sensitivity of 15 townships in Huailai County

乡镇	森林覆盖度/%	草地覆盖度/%	土壤潜在侵蚀强度	坡度/(°)	降水量/mm	村庄分布/个
1. 东花园乡	20.57	5	0.153 5	2.500	434.6	24
2. 瑞云观乡	22.67	14	0.328 5	17.390	440.0	10
3. 小南辛堡乡	21.54	12	0.248 0	14.907	425.0	23
4. 官厅镇	11.67	10	0.649 5	24.850	420.0	21
5. 孙庄子乡	19.61	16	0.328 5	19.876	435.0	14
6. 桑园乡	21.01	8	0.167 5	7.450	383.0	23
7. 沙城	8.24	5	0.080 0	2.500	383.0	19
8. 大黄庄乡	19.11	5	0.167 5	4.969	383.0	9
9. 新保安与东八里	5.66	15	0.328 5	7.454	405.0	26
10. 鸡鸣驿与西八里	11.81	5	0.167 5	2.500	405.0	14
11. 存瑞乡	18.04	12	0.408 5	20.45	445.0	14
12. 王家楼乡	11.10	25	0.489 0	22.36	480.0	16
13. 土木乡	12.21	5	0.321 5	17.45	425.0	23
14. 狼山乡	14.2	5	0.321 5	17.45	425.0	13
15. 北辛堡乡	26.65	8	0.314 5	12.50	435.0	11

表3 怀来县15个乡镇各环境敏感性指标标准化后的数值
TABLE 3 Standardized indices of environmental sensitivity of 15 townships in Huailai County

乡镇	森林覆盖度/%	草地覆盖度/%	土壤潜在侵蚀强度	坡度/(°)	降水量/mm	村庄分布/个
1. 东花园乡	0.672 4	0.207 2	0.618 9	0.503 1	0.835 8	0.923 1
2. 瑞云观乡	0.741 0	0.580 2	0.831 7	0.875 0	0.846 2	0.384 6
3. 小南辛堡乡	0.704 2	0.497 3	0.627 8	0.750 0	0.817 3	0.884 6
4. 官厅镇	0.381 5	0.414 4	0.889 7	0.805 3	0.807 7	0.807 7
5. 孙庄子乡	0.641 1	0.663 1	0.831 6	0.800 0	0.836 5	0.538 5
6. 桑园乡	0.686 8	0.331 5	0.675 4	0.749 6	0.736 5	0.884 6
7. 沙城	0.269 4	0.207 2	0.341 9	0.503 2	0.736 5	0.730 8
8. 大黄庄乡	0.624 7	0.207 2	0.341 9	0.500 0	0.736 5	0.346 2
9. 新保安与东八里	0.185 0	0.621 6	0.803 2	0.750 1	0.778 8	1.000 0
10. 鸡鸣驿与西八里	0.386 1	0.207 2	0.675 4	0.503 1	0.778 8	0.538 5
11. 存瑞乡	0.589 7	0.497 3	0.717 9	0.823 1	0.855 8	0.538 5
12. 王家楼乡	0.362 9	0.036 1	0.859 4	0.899 9	0.923 1	0.615 4
13. 土木乡	0.399 2	0.207 2	0.786 1	0.877 9	0.817 3	0.884 6
14. 狼山乡	0.464 2	0.207 2	0.786 1	0.877 9	0.817 3	0.500 0
15. 北辛堡乡	0.871 2	0.331 5	0.796 2	0.838 5	0.836 5	0.423 1

表4 怀来县不同区域的环境敏感度大小

TABLE 4 Values of environmental sensitivity of 15 townships in Huailai County

区域	敏感度	区域	敏感度	区域	敏感度
1. 东花园乡	11.35	6. 桑园乡	22.81	11. 存瑞乡	20.19
2. 瑞云观乡	12.49	7. 沙城	25.86	12. 王家楼乡	15.00
3. 小南辛堡乡	12.74	8. 大黄庄乡	2.41	13. 土木乡	53.33
4. 官厅镇	44.06	9. 新保安与东八里	40.73	14. 狼山乡	44.63
5. 孙庄子乡	12.69	10. 鸡鸣驿与西八里	30.52	15. 北辛堡乡	16.03

5 怀来县不同区域环境敏感性分类结果

环境敏感性分析的目的在于根据当地经济发展与资源保护的要求,对该地区内各环境单元和生态系统进行分析与评价,明确各种敏感区域,为经济发展与资源开发的合理布局奠定基础。本文将影响环境敏感性高低的6个因子(坡度、土壤潜在侵蚀程度、年降水量、人口密度、森林覆盖度、草地覆盖度)分成了正面因子和负面因子。正面因子可以增加环境敏感性,而负面因子则会降低环境敏感性。根据怀来县各个区域的环境敏感度 S_r 的计算公式可以看出, S_r 的大小决定于每个区域中正面因子产生的环境敏感度的值与负面因子产生的环境敏感度的值之差。所得到的 S_r 越大,说明该区域环境敏感性就越大,反之亦然。因此,根据怀来县各个乡镇环境敏

感度值 S_r 的大小情况,将怀来县各个乡镇的环境敏感性划分为不同的等级。通常生态环境敏感性评价分为极敏感、高度敏感、中度敏感、轻度敏感、不敏感5个等级。

根据对怀来县不同区域环境敏感度的计算结果(表4),可以看出,怀来县15个乡镇的环境敏感度值的变化范围在2.41~53.33之间。也就是说不同的乡镇在上述6个环境因子的综合作用下,环境的脆弱性明显不同。因此,为了反映怀来县不同乡镇环境敏感性的差异,本文以环境敏感度值11为分类步长,将怀来县15个乡镇根据其环境敏感度值大小的不同,划分出了5个等级,这5个等级分别代表5个区域,即极敏感区域($S_r > 46$)、高度敏感区域(S_r 在35.0~46.0之间)、中度敏感区域(S_r 在24.0~35.0之间)、轻度敏感区域(S_r 在13.0~24.0之间)和不敏感区域(S_r 在2.0~13.0之间)(见表5)。

表5 怀来县生态环境敏感度分类

TABLE 5 Classification of environmental sensitivity in Huailai County

分类级别	环境敏感性的数值范围	所属乡镇
I 不敏感区域	2.0~13.0	东花园乡、瑞云观乡、小南辛堡乡、孙庄子乡、大黄庄乡
II 轻度敏感区域	13.0~24.0	桑园乡、存瑞乡、王家楼乡、北辛堡乡
III 中度敏感区域	24.0~35.0	沙城、鸡鸣驿与西八里
IV 高度敏感区域	35.0~46.0	官厅镇、新保安与东八里、狼山乡
V 极敏感区域	> 46.0	土木乡

根据表5中的分类结果,得出怀来县不同区域的环境敏感性分布图(图3)。

6 结论与讨论

根据表5中的分类,怀来县的15个乡镇按照其环境敏感度值的大小被分为了5个等级。

1) I级属于不敏感区域,有东花园乡、瑞云观乡、小南辛堡乡、孙庄子乡和大黄庄乡6个乡镇都属于这一区域。这些乡镇除孙庄子乡外,地势都比较平坦,森林植被覆盖度较高;而孙庄子乡虽然山地较多,但由于其海拔较高,降水较充沛,因而果树的面积比较大,山地的植被覆盖率较高。全县270个行政

村中,有80个分布在这6个乡镇中,占29.62%。所以人口对环境的压力相对来说比较轻。

2) II级属于轻度敏感区域,包含桑园乡、存瑞乡、王家楼乡和北辛堡乡4个乡镇。桑园乡为丘陵地区,是怀来县的葡萄基地,大面积的葡萄园水利设施完善,夏季植被覆盖度很高。其他3个乡镇有较多的果园和一些人工林植被,但是在一些区域由于坡度较大,土壤潜在侵蚀强度较高,所以当植被受到人为破坏后,容易引起水土流失。在这些区域如果环境保护的好,就可以降低环境的敏感性。

3) III级属于中度敏感区域,包含沙城、鸡鸣驿与西八里3个乡镇。这里人口稠密,又是怀来县政府所



图3 怀来县环境敏感性分区图

FIGURE 3 Classification map of environmental sensitivity in Huailai County

在地,植被稀疏,人类活动对环境的破坏与污染较重.

4) IV级属于高度敏感区域,包含官厅镇、新保安与东八里、狼山乡4个乡镇.这些区域山地、丘陵较多,而且大于 25° 的坡耕地较多,植被覆盖度很低,土壤风蚀与水蚀严重,尤其是官厅镇的丘陵地带,无论坡度多大,几乎全部开垦成了耕地,风蚀与水蚀将黄土丘陵沟壑切割的很深.每年有大量的泥沙流入官厅水库.

5) V级属于极敏感区域,只有土木乡1个乡镇.该乡镇的所有土地面积仅有 1万 hm^2 ,但却有23个行政村,因此人口密度很大.山体多为石质性的,有土层的坡面基本都开垦为农田,自然植被稀疏.水土流失极为严重.

虽然怀来县整个区域属于半干旱的气候区,但是由于各乡镇地质地貌、水资源的分布、土地的利用形式以及人类活动情况的不同,从而导致各区域环境敏感性具有很大的不同.

总体来说,怀来县的高度敏感区域和极敏感区域主要集中在怀来县的中南部,中度敏感区域集中在怀来县的西部.因此,对于怀来县环境敏感度属于IV、V两级的乡镇来说,要格外注重环境的保护与建设.极敏感区应该是怀来县的特别保育区,该区域内由于受地形、土壤等因素的影响,不同地理环境单元的水土流失敏感性差异极大.这些地区由于自身的自然条件和人类活动干预的结果,生态环境已经十分脆弱,如再不加以恢复与改善,将会严重制约经济的发展和威胁当地群众的生存.因此水土保持及水源涵养是这个区域环境恢复与重建的重要内容.

对于环境敏感度属于II、III两级的乡镇来说(主要集中在怀来县的北部),虽然目前经过多年的建设与恢复,山上的人工林面积较大,天然草场的面积也

较大,环境承受外界干扰的能力较强,但是如果不再继续建设生态环境,盲目开发自然资源,尤其是不控制在天然草地上自然放养的山羊数目,天然草地将会由于过度放牧而退化,环境敏感性将会很快提高.

对于环境敏感度属于I级的乡镇来说(主要集中在怀来县的东部),这些区域由于地势平坦,水源丰富,是怀来县农业发展的主要地区.农田水利基础设施比较完善,农田林网建设也比较规范,这些区域的生态环境比较优越.但是这些区域的荒沙地很多,由于地势比较平坦,被开垦的荒地比例不是太高,所以植被的覆盖度较高.然而,一旦沙荒地被大面积不合理开垦,天然次生植被的覆盖度就会迅速降低,这些区域的环境敏感性也就会随之增加.据研究表明:当植被恢复到一定程度时,降雨与地形特征对土壤侵蚀的影响已基本上不起作用,植被成为影响土壤侵蚀的主要因子^[19].但是,植被一旦遭人为破坏开垦后,土壤侵蚀急剧发展,无论是谷地、梁坡还是全坡面,其侵蚀强度是同样条件下林地侵蚀模数的几百倍至几千倍.由此可见,人为对生态环境的破坏是造成土壤侵蚀、导致环境敏感性增强的主要原因.

生态环境敏感性分析是生态功能区划重要的内容之一.通过环境敏感性分析可以使人们对某一区域的环境特点、资源状况有一个明确的认识.从而在进行产业结构调整、资源开发、环境恢复等工作时,可以根据生态环境敏感性的高低,科学地规划生态功能区,使生态系统服务功能达到最优化.上述划分出的怀来县的生态环境敏感性区域,可以为怀来县进行生态规划、合理布局与调整产业结构、实现资源与经济的可持续发展,提供一定的指导作用.

致谢 在课题研究过程中,得到了张新时院士、徐如梅教授和高尚玉教授的帮助,在此表示衷心的感谢.

参 考 文 献

- [1] LIU J. China's environmental scientific research and technology development: review and envisage [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 1997, 9 (3): 376-384.
- [2] 田光进, 张增祥, 赵晓丽, 等. 中国耕地土壤侵蚀空间分布特征及生态背景[J]. 生态学报, 2002, 22 (1): 10-16.
- [3] TIAN G J, ZHANG Z X, ZHAO X L, et al. The soil erosion distribution characteristics and ecological background of Chinese cultivated land[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (1): 10-16.
- [4] 娄安如. 中国北方农牧交错带怀来盆地的生态潜力分析[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18 (4): 87-90.
- [5] LOU A R. Ecological potential analysis of Huailai Basin in ecotone between agriculture and animal husbandry of northern China [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2004, 18(4): 87-90.
- [6] 娄安如. 河北省怀来盆地近30年来的气候变化与起沙扬尘之间的关系[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2003, 39 (4): 531-536.
- [7] LOU A R. Relationship between climate changes over 30 years and sand storm at Huailai Basin [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2003, 39(4): 531-536.

- [5] 王静爱,徐霞,刘培芳.中国北方农牧交错带土地利用与人口负荷研究[J].资源科学,1999,21(5):19-24.
- WANG J A, XU X, LIU P F. Land use and land carrying capacity in ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China [J]. *Resources Science*, 1999, 21(5):19-24.
- [6] 周锁铨,戴进,姚小强.土地生产潜力和人口承载力方法的研究——以陕西宝鸡地区为例[J].自然资源,1992,14(6):56-62.
- ZHOU S Q, DAI J, YAO X Q. A study on the calculation methodology of land potential productivity and population supporting capacity—take Baoji Prefecture of Shaanxi Province as the example [J]. *J Natural Resources*, 1992, 14(6): 56-62.
- [7] 张新时,李博,史培军.南方草地资源开发利用对策研究[J].自然资源学报,1998,13(1):1-7.
- ZHANG X S, LI B, SHI P J. Development and utilization of grassland resources in southern China [J]. *Journal of Natural Resources*, 1998, 13(1):1-7.
- [8] 张新时.毛乌素沙地生态背景及其草地建设的原则与优化模式[J].植物生态学报,1994,18(1):1-16.
- ZHANG X S. Principles and optimal models for development of Maowusu sandy grassland [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, 18(1): 1-16.
- [9] 郑元润,张新时.毛乌素沙地高效生态经济复合系统诊断与优化设计[J].植物生态学报,1998,22(3):262-268.
- ZHENG Y R, ZHANG X S. The diagnosis and optimal design of high efficient ecological economy system in Maowusu sandy land [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(3):262-268.
- [10] 朱震达.最近十年来中国北方农牧交错地区土地沙质荒漠化发展趋势的一例[J].中国沙漠,1994,14(4):1-6.
- ZHU Z D. An example for sandy desertification in agro-pasture zone of northern China in recent ten years [J]. *Journal of Desert Research*, 1994, 14(4): 1-6.
- [11] 朱震达,刘恕,杨有林.试论中国北方农牧交错地区沙漠化土地整治的可能性和现实性[J].中国科学,1984,4(3):197-205.
- ZHU Z D, LIU S, YANG Y L. Remark on probability and realism of renovation of land desertification in ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China [J]. *Science in China*, 1984, 4(3):197-205.
- [12] 李凤民.论我国半干旱地区农业生产力与生态系统可持续发展[J].资源科学,1999,21(5):25-30.
- LI F M. On agricultural productivity and ecosystem's sustainability in semiarid areas of China [J]. *Resources Science*, 1999, 21(5):25-30.
- [13] 周道纬,卢文喜,夏丽华.北方农牧交错带东段草地退化与水土流失[J].资源科学,1999,21(5):57-61.
- ZHOU D W, LU W X, XIA L H. Grassland degradation and soil erosion in the eastern ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China [J]. *Resources Science*, 1999, 21(5): 57-61.
- [14] 周广胜.气候变化对生态脆弱地区农牧业生产力影响机制与模拟[J].资源科学,1999,21(5):46-52.
- ZHOU G S. Impact of climate change on NPP of agriculture and animal husbandry in ecologically vulnerable areas: mechanism and modelling [J]. *Resources Science*, 1999, 21(5): 46-52.
- [15] 张立峰,徐长金.北方高寒半干旱农牧交错带资源环境障碍与农牧生产力开发[J].资源科学,1999,21(5):62-65.
- ZHANG L F, XU C J. Environmental problems and development of agro-pastoral productivity in ecotone between agriculture and animal husbandry in cold semiarid areas in northern China [J]. *Resources Science*, 1999, 21(5):62-65.
- [16] 周廷儒,张兰生.中国北方农牧交错带全新世环境演变及预测[M].北京:地质出版社,1992.
- ZHOU T R, ZHANG L S. *Holocene environmental change and forecast of ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China* [M]. Beijing: Geology Press, 1992.
- [17] 孙福来,谷奉天.论山东农田种草改制种植业的科学性与可行性[J].中国草地,2000(4): 68-72.
- SUN F L, GU F T. On scientific character and feasibility of planting forage grass, reforming planting form in Shandong Province [J]. *Grassland of China*, 2000(4): 68-72.
- [18] 张科利,蔡永明,刘保元,等.黄土高原地区土壤可蚀性及其应用研究[J].生态学报,2001,21(10):1 687-1 695.
- ZHANG K L, CAI Y M, LIU B Y, et al. Evaluation of soil erodibility on the Loess Plateau [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10):1 687-1 695.
- [19] 郑粉莉,唐克丽,张科利,等.自然侵蚀和人为加速侵蚀与生态环境演变[J].生态学报,1995,15(3):251-259.
- ZHENG F L, TANG K L, ZHANG K L, et al. Relationship of eco-environmental change and natural erosion and man-made accelerated erosion [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(3): 251-259.

(责任编辑 冯秀兰)