

黄土高原生态环境脆弱性计算方法探讨

王经民

汪有科

(西北林学院·陕西杨陵·712100)(中国科学院水利部水土保持研究所)

摘要 在前人工作的基础上,该文提出了评价黄土高原生态环境脆弱性的数学方法,并对黄土高原 105 个水土流失重点县进行了脆弱度指标计算。以脆弱度指标为依据,对黄土高原 105 个县生态脆弱性进行了分区,按其脆弱状况,划分为强脆弱区;中脆弱区;轻脆弱区 3 个区。因而为黄土高原生态环境评价提供了一种新的方法,也为黄土高原综合治理提供了依据。

关键词 黄土高原 生态环境脆弱性 数学方法

On the Calculation of Eco-environment Fragility in Loess Plateau Region

Wang Jingmin

(Northwest Forestry College, 712100, Yangling District, Xianyang Municipality, Shaanxi Province)

Wang Youke

(Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Resources)

Abstract A mathematical method of judging ecological fragility in loess plateau region is given, and the fragility indexes at 105 counties are calculated. Three types of eco-environmental fragility at those major erosion countries, i. e. intense fragility region, intermediate fragility region, slight fragility region, are divided on their fragility indexes. Thus, a new basis for comprehensive control in loess plateau region is provided.

Keywords loess plateau region; ecological fragility; applied mathematics

1 引言

随着生态学的不断深入,生态环境脆弱性的研究越来越受到学者们的关注。牛文元先生曾介绍^[1]了两种计算生态环境脆弱性的指标 F_1 和 F_2 。

第一种是用集合论的方法:

$$F_1 = \frac{R - E[R]}{\text{Max}[R] - E[R]} \quad (1)$$

式中: R ——实际观测 $A \cap B \cap C$ 的面积; $E[R]$ ——采用概率所计算的“期望面积”;
 $Max[R]$ ——最大 $A \cap B \cap C$ 的面积。

第二种是用“信息度量”:

$$F_2 = \frac{I(E_1, E_2)}{I(E_1, E_2)} \quad (2)$$

式中: $I(E_1, E_2)$ ——两个生态系统总体特征的联合信息量; $I(E_1, E_2)$ ——两个生态系统“自身信息量”与其“联合信息量”之差。

上述方法不论在理论研究,还是在指导实践中均具有十分重要的意义。但直接应用,特别是应用于大区域的生态环境评价,往往受到诸多参数确定困难的限制,所以近年我们国家的一些学者,在上述思想理论的指导下,分别采用自行修改后的方法评价生态环境^[2]。

生态环境脆弱度反映生态环境的脆弱性。就其脆弱性的涵义而言,它与生态环境质量的优劣并不完全等同。但对黄土高原我们认为二者是一致的,即黄土高原环境越差的地方,其生态系统稳定性越差,脆弱性越强。根据这一实际情况,我们提出了黄土高原生态环境脆弱度计算方法,并对黄土高原 105 个水土流失重点县进行了生态环境脆弱性分区。该工作对本学科的研究及黄土高原综合治理具有一定的价值。

2 数学原理

在评价一个生态系统时,首先要确定因子,因子选择的方法很多,如关联度分析,专家评判等。现在假定我们已选定 M 个因子来衡量该系统的状况,把该系统划分成 N 个子区域,并排列成序,用 x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, N$; $j = 1, 2, \dots, M$) 表示第 i 个子区域的第 j 个因子的指标。

$$x_j = \max_i \{x_{ij}\} \quad j = 1, 2, \dots, M$$

即 x_j 是 N 个子区域中第 j 个因子的最大值,一般情况下 $x_j > 0$ 。令

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \quad i = 1, 2, \dots, M$$

$0 \leq x'_{ij} \leq 1$, x'_{ij} 称为第 i 个子区域的第 j 个因子的相对比重。在实际中,由于考虑因子较多或数据差距较大,为了客观评价各因子的影响,可进行适当的数据转换。这里我们还可进一步要求转换后的数据 x'_{ij} 越大,此因子对生态环境的作用越好。令

$$F_i = \sum_{j=1}^M \frac{k_j x'_{ij}}{M} \quad i = 1, 2, \dots, N$$

式中: k_j 是第 j 个因子的权重, F_i 称为第 i 个子区域的脆弱度指标。 F_i 的大小是衡量该小区生态环境在整个系统中的脆弱程度的, F_i 越小,说明该区域生态环境所选因子越脆弱。

下面我们用测度的观点给出两个生态系统 E_1 和 E_2 的相对脆弱度的意义和算法,这个方法对相邻两个子区域也适应。

设有两个相邻生态系统 E_1 和 E_2 , 对其相同的 M 个因子进行衡量,那么可能 E_1 和 E_2 有许多相容之处,也可能截然不同,如何来研究它们之间的相容程度或相对脆弱性,我们有下列方法。

选定 A_1, A_2, \dots, A_M 等 M 个因子评价两个生态系统,对于这 M 个因子,我们给出 E_1 的标准,仍记为 A_1, A_2, \dots, A_M , 同时满足这 M 个标准的记为 $A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_M$ 。然后在 E_2 中确定出满足 $A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_M$ 的子区域,此子区域的集合记为 $E'_2 (\subset E_2)$ 。令

$$F(E_2, E_1) = \frac{|E'_2|}{|E_2|}$$

式中： $|\cdot|$ 表示集合 \cdot 的测度， $0 \leq F(E_2, E_1) \leq 1$ ， $F(E_2, E_1)$ 称为系统 E_2 对系统 E_1 的相对脆弱度指标。它表示系统 E_2 对 E_1 的“亲和”程度。同样可以给出 E_1 对 E_2 的相对脆弱度指标， $F(E_2, E_1)$ 越小，说明系统 E_2 对系统 E_1 越相对脆弱。

3 黄土高原生态系统生态环境脆弱性分区

3.1 脆弱度指标的度量原则

3.1.1 综合性原则 影响生态环境脆弱性的因素很多，在衡量它们脆弱性的时候必须坚持综合性原则，即要把影响生态环境的因素充分考虑和研究。

3.1.2 主导因子原则 在综合分析各影响因素后，根据实际情况选择一个主导因子，然后通过关联度分析，找出各因素中关联度较高的作为入选因子。

3.1.3 区域完整性原则 计算脆弱度指标是为了把脆弱区按一定类型划分，并把各个脆弱状况加以区别，为政府或管理部门提供依据，以便合理而有效地进行区域开发和治理，因此在分区时应注意区域完整以便于行政管理。我们这里是以县(市)为行政单位。

3.2 因子选择

在众多因子中，我们选定年降雨量作为主导因子，然后计算了它们的关联度，从中选出关联度较高的作为入选因子：

(1)年降雨量；(2)侵蚀模数；(3)年沙暴日数；(4)人口密度；(5)年平均气温；(6)日平均气温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温；(7)林木人均蓄积量。

对这7个因子采用专家打分法，分别给出它们的权重为10,9.5,9,8,7,6.5,6。计算出各县(市)的脆弱度指标及分区结果如表1。

表2,表3分别给出Ⅲ区和Ⅰ区关于这7个因子的标准。

表1 各县(市)脆弱度指标及分区表

序号	县(市)名	脆弱度	序号	县(市)名	脆弱度
I 区 3.542~4.445					
1	靖远	4.329	14	府谷	4.411
2	盐池	4.320	15	榆林	4.284
3	同心	4.226	16	米脂	4.288
4	海原	3.898	17	佳县	4.428
5	东胜	3.542	18	横山	4.213
6	清水河	4.165	19	子州	4.356
7	偏关	3.913	20	靖边	4.371
8	神池	3.663	21	吴旗	4.076
9	五寨	4.066	22	定边	3.816
10	保德	4.397	23	白银	4.443
11	岢岚	4.031	24	伊金霍洛	3.639
12	河曲	4.423	25	准格尔旗	4.036
13	神木	4.216	26	和林格尔	4.213

续表 1

序号	县(市)名	脆弱度	序号	县(市)名	脆弱度
I 区 4.446~5.478					
27	宁县	4.902	51	庄浪	5.424
28	合水	5.409	52	平凉	5.164
29	甘泉	5.433	53	彭阳	5.291
30	延安	5.048	54	镇原	5.241
31	延川	4.857	55	庆阳	5.356
32	延长	5.109	56	固原	4.457
33	永和	4.659	57	环县	4.678
34	石楼	4.567	58	华池	4.446
35	柳林	5.087	59	志丹	4.811
36	离石	5.163	60	安塞	4.462
37	方山	4.823	61	子长	4.508
38	中阳	4.764	62	清涧	4.706
39	隰县	4.873	63	绥德	4.488
40	蒲县	4.856	64	吴堡	4.873
41	大宁	5.266	65	临县	4.719
42	吉县	5.037	66	兴县	4.733
43	乡宁	5.381	67	定西	4.755
44	宜川	5.380	68	榆中	4.824
45	渭源	5.098	69	永靖	4.608
46	陇西	5.100	70	泾源	5.474
47	武山	5.459	71	会宁	4.464
48	通渭	5.005	72	西吉	4.482
49	静宁	4.815	73	西峰	5.381
50	隆德	5.219			
II 区 5.479~6.446					
74	天水	6.284	90	耀县	6.168
75	清水	6.001	91	正宁	5.533
76	张家川	5.928	92	旬邑	5.611
77	华亭	5.485	93	淳化	5.510
78	崇信	5.686	94	彬县	5.899
79	灵台	5.731	95	永寿	6.041
80	长武	5.943	96	乾县	5.985
81	富县	5.526	97	礼泉	6.325
82	洛川	5.729	98	麟游	5.833
83	白水	5.792	99	陇县	5.964
84	澄城	5.829	100	千阳	5.778
85	合阳	6.017	101	宝鸡	6.446
86	黄陵	5.822	102	韩城	6.097
87	宜君	5.700	103	甘谷	5.520
88	铜川	6.318	104	秦安	5.617
89	黄龙	5.822	105	泾川	5.642

表 2 III 区 7 个因子的标准指标

年降雨量 (mm)	侵蚀模数 (t/km ² ·a)	年沙暴日数 (日/a)	人口密度 (人/km ²)	年平均气温	年≥10℃积温	人均木材量 (m ³)
474.4	6 451	2.7	13.04	7℃	2 659.8	0.02
≥	≤	≤	≥	≥	≥	≥

表 3 I 区 7 个因子的标准指标

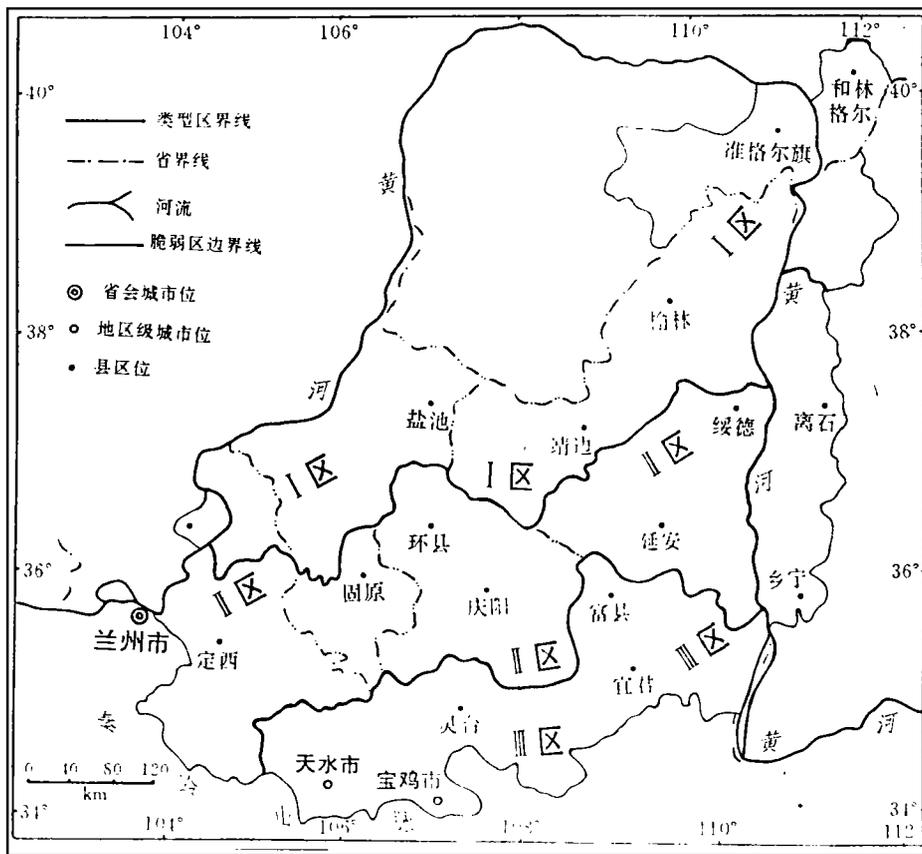
年降雨量 (mm)	侵蚀模数 (t/km ² ·a)	年沙暴日数 (日/a)	人口密度 (人/km ²)	年平均气温	年≥10℃积温	人均木材量 (m ³)
324	21 000	6.2	23.2	5.1℃	1 925	0.02
≥	≤	≤	≥	≥	≥	≥

在 I 区中同时满足表 2 中 7 个因子标准的县市有:宁县,合水,甘泉,离石,方山,中阳,隰县,蒲县,大宁,宜川,陇西,彭阳等 12 个县市。总面积 2 387 4.87 km², I 区整个区域面积为 10 509 3.37 km²,故由第 2 种算法得 $F(I, III) = 0.227$ 。在 I 区中同时满足了表 3 中 7 个因子标准的县为吴旗,面积 3 786.20 km², I 区总面积为 9 667 3.03 km²,故有

$$F(I, I) = 0.039$$

4 结果及讨论

根据各县市脆弱度指标的大小将其划分为 3 个子区域,见附图。I 区的 26 个县(市)位于



附图 黄土高原脆弱区类型划分图

(下转第 43 页)

度加快,高度、胸径、地径大幅度增加,经济效益显著。

(2)水分有效利用是促进树木生长,提高生物产量的关键,从试区林地土壤水分利用来看,通过修筑水平沟、鱼鳞坑、施肥3种处理水分利用率,小叶杨林比对照仅提高0.25,-0.08,0.29;刺槐0.33,0.23,0.16;榆树0.21,0.18,0.34;山杏0.32,0.15,0.22g/(m²·mm),而不同处理对水分的利用率虽有所提高,但变化幅度不大,进一步说明,在该区影响树木生长及生物产量的形成,水分只是一个方面。

(3)林地土壤养分的含量,4种林地综合养分要素评价,结果排序为刺槐>山杏>小叶杨>榆树。从土壤不同层次的养分要素含量来看0~0.5>0.6~1.5m,就目前的养分状况,不能满足树木生长的需要,因此,在有条件的地方还得适当进行施肥,通过施肥试验可以看出不同林地经济效益显著。这说明在该试区影响树木生长及生物产量不单是水分,更重要的还有养分。

(4)为提高林地的生物产量,对现有林采用水平沟,鱼鳞坑整地和施肥处理,结果4种林地生物产量的排序均为刺槐>山杏>小叶杨>榆树。

(5)该试区在林业建设方面,不但要从水分、养分的角度来研究,还要考虑林种布局问题。笔者认为,首先要从生态学的观点出发,在该区四旁造林应以用材林为主,树种为杨树、柳树;沟道以用材林为主,水土保持林为辅,树种为杨树、柳树、刺槐、榆树等;荒山、荒坡以水土保持林为主,薪炭林为辅,树种为榆树、刺槐、山杏等。

(上接第36页)

毛乌素沙漠南部边缘,年降雨量在492.5~243.9mm之间,年均气温9.2℃~4.8℃,年沙暴日数在27.5~3.1天之间,侵蚀模数最大达到26000t/(km²·a),我们把它划分强脆弱区。该区属风蚀水蚀交错区,治理应以防风为主,采用风蚀水蚀综合治理相结合的措施。

I区有47个县市,它位于整个区域的中部。年降雨量在650.9~324mm之间,年均气温11.3℃,年沙暴日数6.2~0.3天之间,侵蚀模数最大达到21000t/(km²·a),它与I区相比有较大区别。年沙暴日数明显减少,年降雨量有较大增加。我们把它划分成中脆弱区,它是黄土高原的水蚀重点区,以小流域为单位综合治理方针是正确的,应加快治理步伐。

II区包括32个县市,它位于整个区域的南部,年降雨量709.3~474.4mm,年均气温在13.5℃~7℃,年沙暴日数2.7~0,侵蚀模数最大只有6451t/(km²·a),各方面条件明显优于I区和I区。我们把它划分成轻脆弱区。该区经济、生态条件相对较好,今后应着重在保护环境的基础上加快经济建设。

从我们计算出的相对脆弱度指标来看, $F(I, II)=0.039$,也就是I区比II区更脆弱; $F(II, III)=0.227$,II区比III区更脆弱;但它与 $F(I, II)$ 相比要好得多,这和以往的研究是一致的。

由上述结果分析可看出,我们提出的生态环境脆弱性评价方法是可行的。与以往研究相比具有更明确的量化指标,所以是黄土高原生态环境研究中的一种新方法,具有一定的应用价值。

参 考 文 献

- 1 牛文元. 生态环境脆弱度 ECOTONE 的基础判定. 生态学报, 1989, 9(2): 97~104
- 2 苏维词, 杨汉奎. 贵州岩溶区生态环境脆弱性类型的初步划分. 环境科学研究, 1994, 7(6): 35~40