

流域“健康”诊断指标*

——一种生态环境评价的新方法

张晓萍 杨勤科 李锐

中国科学院
(水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘要 介绍了澳大利亚学者建立的流域环境质量评价指标体系及其评价过程。该方法利用 10 项环境背景指标来分析流域的总体质量或功能水平, 10 项环境趋势指标以及 9 项土地生产力和经济效益指标来分析流域环境质量变化的趋势。通过这些指标体系所揭示主要的环境问题, 为环境管理提供依据。

中图分类号: S157.2, X321

关键词: 生态环境 流域健康 流域管理 环境评价 诊断指标

Diagnostic Indicators of Catchment Health

——A New Method of Evaluation of Ecological Environment

Zhang Xiaoping Yang Qinke Li Rui

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling District, Shaanxi Province, 712100, PRC)

Abstract A minimum set of indicators and the assessment procedure of evaluation of catchment ecological environment established by Australian Commonwealth Science and Industry Research Organization (CSIRO) has been introduced. These key indicators were chosen from a large number of candidate indicators which were ranked according to a standard set of 8 selection criteria. And the three subsets of indicators are recommended: 10 condition indicators are used to gauge the state of catchment relative to some desired condition, 10 biophysical trend indicators are used to monitor short term biophysical changes of the catchment, and 9 farm productivity and financial product quality trend indicators are used to monitor the profits changes of the catchment. After all the indicator data have been collected and evaluated, the catchment environmental health report card is completed, which gives a view of the long term health status of the catchment, and interprets the indicators data. Then people will know the strengths and weaknesses of land use practices exposed by the report card, and also know which remedial actions and the measures are needed for the catchment.

Keywords: ecological environment; catchment health; catchment management; environment assessment; diagnostic indicators

环境问题日益受到政治家、科学家和普通民众的普遍关注。由于不合理的人为活动, 特别

是陡坡耕种,林地开垦,草原过牧,平原地区不合理的灌溉,化肥、农药和除草剂的使用等,导致了一系列环境问题,如土壤侵蚀和土地退化,地下水资源的枯竭、土壤盐碱化、地表和地下水的污染等。为此,必须进行环境的诊断和环境质量评价。澳大利亚联邦科学和工业研究组织(CSIRO)的学者,在多年工作的基础上,建立了一种评价流域环境质量的指标体系——流域“健康”诊断指标(diagnostic indicators of catchment health)。该方法可以分析流域的总体质量或功能水平和环境质量变化的趋势,从而使人们明确应采取的行动和措施。该指标体系可以广泛地被农民、地方政府、中央政府接受。

1 流域“健康”评价指标

流域“健康”指流域的这样一种特性,即可以自我持续发展,可以从各种不良的环境影响中自行恢复,其结构和环境功能达到相对最佳稳定状态。在自然条件下,“健康”的流域总是从一种原始状态向生物种类多样化、结构复杂化和功能完善化的状态发展。

流域“健康”诊断指标通过田间观察、田间试验、遥感或对已有数据进行加工处理等方法 and 手段取得,并用来对环境进行全面的指示和说明。即反映出影响整个生态系统持续发展的主要因素,显示其在基本状态基础上的主要发展趋势。流域“健康”诊断指标对环境的反映就象医生对病人那样具有诊断能力。

1.1 指标选择的原则

指标首先应该能反映客观实际和具体问题,其次为了能让大多数用户接受,同时要求简单实用,用来为用户提出具体的环境改良和治理建议。指标选择的原则概括如下:

(1) 简易性,即对非专业人员来说其量测过程也较容易;(2) 经济性,要求费用经济;(3) 标准性,具有评价标准,含阈值;(4) 对流域环境的破坏或保育数据的敏感性;(5) 量测过程中出错率低;(6) 具稳定的测定周期;(7) 具可成图性,即空间特性;(8) 属诊断性指标;(9) 与其它背景信息(土壤、植被、气象、土地生产力等)的相关性。

1.2 指标的选择

在上述 8 项遴选指标原则的基础上,选择了 29 项评价流域“健康”的指标,对流域环境各要素所处现状、与人类生产活动(农业、商业、社会等)有关的环境动态、生产能力及生产水平进行全面调查与评价,判断各种人为活动或生产方式对流域“健康”是有益还是有害,为维持流域生态环境持续发展服务。

1.2.1 环境背景指标 环境背景指标描述了流域的整体背景状况所处的水平,判断了流域的相对质量好坏。表 1 是 10 项环境背景指标及其实际指示意义。

1.2.2 环境变化趋势指标 10 项环境变化趋势指标(表 2)反映了由于人类的各种活动,流域环境质量的变化趋势。在较短的时间内,我们可以通过调整土地利用结构和土地管理方式使环境指标变化或得以改善。如果其中有一个指标超出了我们的预期范围,就必需引起我们的高度重视,否则会引起环境质量更加恶化。

1.2.3 经济变化趋势指标 包括土地的生产力、经济收入、产品质量等方面的指标,如表 3。

2 流域“健康”评价方法和过程

2.1 确定评价指标的诊断标准

孤立的数字对流域环境和变化趋势无任何指示意义,必须和某一参考值或环境在某状态

表 1 环境背景指标及其实际指示意义

类 别	指 标	指 示 意 义
土壤形态	1. 土壤硬度	与土地生产力、土地利用形式、土壤侵蚀、管理有关
	2. 土壤质地	与植物生长和水流入渗有关
	3. 土壤颜色	与土壤中水分排灌状况有关
土壤理化性状	4. 土壤水分入渗率	是测定土壤物理性状的重要指标
	5. 土壤分散率	是测定土壤结构稳定程度的有效指标
	6. 土壤坚实度	是测定土壤结构紧实、恶化等性状的指标
	7. 土壤化学元素含量	是监测土壤肥力的指标
土壤生物	8. 棉丝测试*	是一项测试土壤生物活性状况的指标
水 质 量	9. 地下水导电性	是测试土壤表层水和地下水质量的有效指标
景 观	10. 林木覆盖率	表示区域内景观整水平, 指示区域生态功能的好坏

* 这是一项测试土壤生物活性状况的指标。测试是在 20 和最优土壤湿度情况下, 用一标准的棉纤维条, 埋于地下, 与标准基层比较。土壤生物活性与棉纤维条的腐烂程度有密切关系。用这种方法能区别出不同的土壤, 不同的植被覆盖, 原土与改良土, 不同耕作制度下土壤物理、化学、生物特征的变化。

表 2 环境变化趋势指示指标及其实际意义

类 别	指 标	指 示 意 义
土壤形态	1. 土层内有效根深度	估测地下水深, 土层内的坚实层及深度, 土壤有害物质
土壤化学	2. 土壤 pH 值	指示土壤化学过程及土壤向植物提供营养能力
	3. 土壤导电性	指示土壤盐碱化程度
水 质 量	4. 水流 pH 值	与化学反应速度、生物生长和一些物质的有害性有关
	5. 水流导电性	对水流盐碱化程度的监测
	6. 水流混浊度	反映土壤侵蚀、或与营养元素有关的水藻变化
	7. 无脊椎动物数量	监测水的质量
景 观	8. 地下水位	监测区域潜水的变化、地表水的淤积情况
	9. 裸土比率	估算发生侵蚀的潜势及河流中泥沙沉淀的潜势
	10. 外来杂草覆盖率	监测土质的变化、景观的衰退等情况

表 3 经济变化趋势指标及其实际意义

类 别	指 标	指 示 意 义
土地生产力	1. 土地生产潜势	依据降水的多少和分布来预测土地的生产潜势
	2. 草场干物质生产能力	每 1 hm ² 草场每 100 mm 降雨生产羊的干物质质量
	3. 木材平均生长量	林木生长利用水分的能力(m ³ · hm ⁻² · a ⁻¹)
经济收入	4. 农业/副业收入	评价农场的经济收入(澳元 · hm ⁻²)
产品质量	5. 作物蛋白质含量	粮食作物进行质量和预期收益
	6. 油料产油率	油料质量和预期收益
	7. 羊毛丝的长度	羊毛质量评价
	8. 奶蛋白质/乳脂的含量	奶质量评价

下的整体状况加以比较之后才具有指示性。参考状态有下列几种: (1) 流域或农场的历史水平; (2) 理想水平; (3) 流域各属性值的临界水平, 即某指标所处影响植(生)物生长、生存的临界值。第(3)种水平的数据需要严格的试验后才能确定, 在此不予考虑。此处利用流域的理

想状态与现实情况予以比较和评价。选择了数据比较的标准后,再确定具体指标的数据变化范围和阈值(如表 4,表 5)。

表 4 环境背景指标的级别评定

指 标	好	一 般	差
土壤硬度	0~0.25m, 软 0.25~0.5m, 硬或软	0~0.25m, 松软/硬 0.25~0.5m, 密实/坚硬	0~0.5m, 松软/坚硬/很坚硬
土壤质地	0~0.25m, S/scL 0.25~0.5m, scL/lC	0~0.25m, scL/Lc 0.25~0.5m, S/Mc, hC	0~0.5m, S/C
土壤水分入渗率/%	> 70	10~30	0~10
土壤分散率	2 h 后不分散 S:> 0.10	缓慢分散 S:0.06~0.10	完全分散 S:< 0.06
全 N (g/kg, 0~10cm)	L:> 2.0 C:> 2.5	L:> 1.5~2.0 C:> 1.8~2.5	L:< 1.5 C:< 1.8
棉丝测试	5~12	> 15	> 25
地下水导电性/ ($\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$)	G:< 240 Pe:< 500, CS:< 1000	G:240~750, Pe:500~1 000 CS:1 000~10 000	G:> 750, Pe:> 1 000 CS:> 10 000
林木覆盖率/%	> 30	5~30	< 5

注:(1) L, C, S, scL, lC, mC, hC 分别表示壤土、粘土、砂土、砂粘壤土、轻粘土、中粘土、重粘土; G, Pe, CS 表示灌溉水和人、牛羊饮用水; M, V, Pl 分别表示山、谷、平原,下同。(2) 土壤硬度:根据不同深度土层的硬度来测定。(3) 土壤水分入渗率单位为 mm/h。(4) 棉丝测试:指棉丝消失 50% 的天数。

表 5 环境变化趋势指标级别评定

指 标	很 好	好	一 般	差	很 差
最大裸土比率/%	0~5	5~10	10~30	30~70	> 70
土层内有效根深度/m	> 1.0	0.75~1.0	0.5~0.75	0.25~0.5	< 0.25
土壤 pH	6~7	5.5~7.5	7.5~8	5~5.5, 8~8.5	< 4.5, > 8.5
水流导电性/ ($\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$)	M:< 30 V:< 80 Pl:< 100	M:< 90 V:< 240 Pl:< 250	M:< 150 V:< 500 Pl:< 500	M:< 225 V:< 750 Pl:< 750	M:> 222 V:> 750 Pl:> 750
水流混浊度	M:< 5 V:< 10 Pl:< 15	M:< 7.5 V:< 12.5 Pl:< 17.5	M:< 10 V:< 15 Pl:< 20	M:< 12.5 V:< 22.5 Pl:< 30	M:> 12.5 V:> 22.5 Pl:> 30
水生无脊椎动物丰度	极多/多	多/丰富	较多	种类有限	不丰富

(1) “很好,好”:表示环境系统处于良好状态,基本无环境问题;(2) “一般”:表示环境系统处于边界状态,需要采取措施来解决问题,阻止环境中某一属性质量下降问题。(3) “差”:环境处于不健康状态,必需采取果断的措施扼制,否则会付出更昂贵的代价。(4) “很差”:环境需采取紧急措施加以拯救。所需财力物力的代价可能很高。

2.2 指标评价

这里需要明确的一个问题是,因为各个地方的环境条件不同,确定指标的临界值就有不同,应视具体地方和具体环境条件而定。将试验观察或田间获取的数据造成一报告单形式,与建立的该指标的诊断值相比较,判断该指标所测得的环境性状的好坏状况。综合多方面指标对流域形成总体判断。如果获取的数据表明,其它指标经过诊断后被评价为“好”,有一个指标

的数据反应为“差”,那么流域总体水平被视为“好”,但是“差”的指标警告人们这一性状需要引起重视,否则有可能导致流域总体水平下降;经过治理,这一指标由“差”变为“好”;流域的其它性状有可能得到改善,总体水平由“好”变为“更好”。

3 示 例

以澳大利亚新南威尔市的一个多种经营农场为例来说明其评价过程。首先收集与流域生态环境有关的资料,如气象资料、土壤资源及分布状况、侵蚀程度、植被、地形条件等。做为背景资料,它们即提供了确定当地指标临界值的基本资料,也为在评价过程中某指标上反应的问题提供尽可能的解释,从而建议人们治理流域活动的正确途径。

3.1 环境背景状况

根据指标集中所列完成报告单(表6),各种指标分别评价为“好”“一般”“差”。综合状况显示出该流域处于由“差”到“好”的中间状态,问题表现在:(1)地下水导电性高,容易引起地表水流盐碱化;(2)林木太少,会增强盐碱化问题;(3)土壤中生物成分缺乏,需通过增加有机炭的措施得到改善;(4)土壤肥力差,应通过施用N,P肥得到提高;(5)土壤水分入渗率很低,土壤硬实。

3.2 环境变化趋势指示

在5a的数据基础上进行趋势分析,结果如表7,表8,表9。

表6 环境背景指标报告单

指 标	好	一般	差
土壤硬度		√	
土壤质地		√	
土壤颜色		√	
土壤水分入渗率			√
土壤坚实度			√
土壤分散率		√	
棉丝测试			√
总 N		√	
总 P			√
交换性 K	√		
微量元素测试		√	
地下水导电性		√	
林木覆盖率/%			√
流域综合判断			

表7 一年生牧草环境变化趋势指标报告单

指 标	很好	好	一般	差	很差
裸土					
土层有效根深					
土壤 pH					
土壤导电性					
外来草覆盖率					
水流 pH					
水流导电性					
水流混浊度					
大无脊椎动物					
地下水深					
综合趋势					

其中“√”表示该指标反应的环境特征所处水平。“ ”表示该流域环境的总体水平。

其中“ ”表示该指标所反应的环境特征所处的水平;“ ”表示该指标所反应的环境特征在近5a内的变化趋势;“ ”表示该流域环境的土壤生物特征变化趋势。(下同)

一年生牧草指标反映总的趋势是恶化。因为:(1)杂草和裸土率太高,且呈增大趋势;(2)土壤有效根深度很浅,且呈减少趋势;(3)地下水深呈现稳定状态(可能是近5a降雨量少的原因)。

多年生牧场条件下,指标反应状况优于一年生牧场,总趋势是好转。(1)地下水深处于增大趋势;(2)土壤有效根深度大于一年生牧场;(3)降水利用率高(反应在土地生产潜力上);(4)水流质量(尤混浊度)总体上是好的。

然而仍有需要注意的地方:(1)土壤pH值的数据变化趋向表明,将来必需施用石灰来维

持土壤酸碱度; (2) 水流导电性增大, 暗示了盐碱化面积在增加, 或是流域其它部分潜水在升高; (3) 大无脊椎动物的数量减少, 暗示盐碱化程度的增加, 或是由以前的污染造成的。

表 8 多年生牧草地环境变化趋势指标报告单

指 标	很好	好	一般	差	很差
裸土					
土层有效根深					
土壤 pH					
土壤导电性					
外来草覆盖率					
水流 pH					
水流导电性					
水流混浊度					
大无脊椎动物					
地下水深					
综合趋势					

表 9 农业生产力、产品质量指示指标报告单

指 标	很好	好	一般	差
土地生产潜势				
草场干物质生产指标				
农作物蛋白质含量				
油料作物含油率				
羊毛丝长度				
综合趋势				

流域综合反应是状况在缓慢恶化。提议如下: (1) 将作物轮作地改为永久性牧场, 会改善土、水的状况; (2) 在流域中等高种植治理盐碱的树, 或在低的地面布设排水设施, 改善趋于稳定的盐碱化状况; (3) 水流的生物状况不好, 应引起关注。评价的结果给当地居民或流域管理者相当确凿的信息, 指导他们的农事活动和流域规划。

参 考 文 献

- 1 Walker J, Reuter DJ. Indicators of Catchment Health (a technical perspective). Queensland Complete Printing Services, Nambour Australia 4560 CSIRO publishing, Australia, 1996.

(上接第 52 页)

发展意见: 由于该区气候适宜, 野生刺梨分布范围广, 数量多, 但该区人口稠密, 资源破坏严重。今后在加强保护野生资源的同时, 应积极引进优良品种, 逐步形成刺梨生产基地。

5.2.2 秦岭巴山南坡刺梨适生区 年均温 12 ~ 14 , 10 年积温 4 000 左右, 年降水量 800 ~ 1 100 mm, 土壤以山地黄棕壤为主, 植被以栎、松林为主。

发展意见: 由于该区地貌变化大, 高差悬殊, 野生刺梨分布不平衡, 今后可在交通便利、距加工厂较近地区, 发展人工种植基地。

5.2.3 商洛南部北亚热带刺梨适生区 年均温 12 ~ 14 , 年降水量 800 ~ 900 mm, 10 年积温在 4 000 左右, 土壤以山地黄褐土、黄棕壤为主, 植被以马尾松及落叶阔叶林为主。

发展意见: 该区山峦叠嶂, 岭谷相间, 自然条件局部变化大, 今后宜在气候适宜的低山丘陵陵区种植刺梨, 既能保持水土, 又可促进当地经济发展。

5.2.4 秦巴中高山刺梨非适生区 该区年均温度 13 , 10 年积温不足 4 000 , 气候严寒, 不适于刺梨生长。

发展意见: 由于生态条件限制, 刺梨不适宜在此区种植, 今后宜发展其它水源涵养林和用材林。

参 考 文 献

- 1 西北植物研究所编著. 秦岭植物志. 第 1 卷第 2 册. 北京: 科学出版社, 1974. 576- 577
- 2 朱显谟. 陕西土地资源及其合理利用. 西安: 陕西科学技术出版社, 1998
- 3 史继孔, 等. 我国刺梨研究进展. 贵州农学院学报, 1991, 10(2): 88- 94
- 4 安兴国, 等. 秦巴山区刺梨资源与利用. 中国野生植物资源, 1997(1): 29- 31
- 5 王光陆, 等. 汉中地区的刺梨分布区划. 陕西农业科学, 1987(1): 12- 14
- 6 饶昆仑. 酉阳县刺梨资源调查及开发利用. 四川果树, 1993(2): 22- 23