

黄土高原丘陵沟壑区草地植物群落健康动态评价*

肖云丽¹ 温仲明^{1,2*} 李锐^{1,2} 魏振荣³

(¹西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; ²中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100;

³西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100)

摘要 植被恢复重建是遏制水土流失的有效措施之一,研究植被恢复重建过程、评价植物群落健康状况对加速植被建设具有重要的实践意义。本文根据黄土丘陵沟壑区的特点,建立了植物群落健康评价指标体系,对草地植被恢复重建过程中的不同阶段的植物群落的健康状况进行了评价。结果表明:植被群落活力变化过程呈抛物线型;群落组织力基本呈波动性变化;恢复力的变化则与活力变化过程相反,在群落活力达到最高水平时,群落的恢复力降至最低;土壤健康呈波动性上升的变化趋势。综合评价表明,植物群落健康水平随着演替过程的发展呈波动性且逐渐上升的变化过程。

关键词 植被群落健康性评价;活力;组织力;恢复力;评价指标

中图分类号 X171.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2009)06-1087-06

Dynamic assessment of steppe community health in loess hilly and gully region. XIAO Yun-li¹, WEN Zhong-ming^{1,2*}, LI Rui^{1,2}, WEI Zhen-rong³ (¹College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; ²Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China; ³College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(6): 1087-1092

Abstract: Vegetation restoration and rehabilitation is one of the effective measures in controlling soil erosion. To study the process of vegetation restoration and rehabilitation and to assess vegetation community health are of great practical significance in speeding up vegetation construction. Based on the characteristics of loess hilly and gully region, a relevant index system for vegetation community health assessment was built to assess the health status of the steppe community at different stages of vegetation restoration and rehabilitation. During the process of vegetation restoration and rehabilitation, the vigor of steppe community changed in parabolic, the organizing force of the community was basically in fluctuation, and the restoring force changed in opposite way to the vigor. When the vigor index reached to the maximum, the restoring index dropped to the minimum. Soil health presented a fluctuated improving trend. The comprehensive assessment indicated that with the succession of vegetation, the steppe community health in loess hilly and gully region had a fluctuated ascending trend.

Key words: vegetation community health assessment; vigor; organizing force; restoring force; assessment index

*国家重点基础研究发展计划项目(2007CB407203)、国家科技支撑项目(2006BAD09B03)、中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(2006HX01)和国家自然科学基金资助项目(40871246)。

**通讯作者 E-mail: zwen@ms.iswc.ac.cn

收稿日期: 2008-10-28 接受日期: 2009-02-19

植被恢复重建是遏制水土流失的有效措施之一,黄土高原作为我国水土流失最为严重的地区,恢复植被对控制水土流失的重要性不言而喻(李鹏等,2006)。自 20 世纪 50 年代以来,黄土高原地区虽然植被恢复重建规模较大(吴钦孝,1998),人工植被对防治土壤侵蚀发挥了积极作用。但由于植物群落物种单一,植被缺乏稳定性和持续性(师江澜和杨正礼,2002;毛德华等,2003;董华英和董婕,2007),如何构建可持续的健康的植物群落仍然是黄土高原植被恢复重建面临的重大挑战。健康的植物群落就是能够维持自身的组织结构长期稳定,具有自我运作能力,对自然干扰的长期效应具有抵抗力和恢复力等特征的植物群落,是生态系统能够健康持续发展的重要基础,但作为一个小的生态系统,植物群落健康目前还缺乏研究,而对于生态系统的健康性前人却做了大量的工作,如梁燕等(2004)对草地生态系统进行了健康评价,而后梁瑛等(2006)又对草地生态系统健康评价体系进行了比较研究,肖风劲等(2003)对森林生态系统进行了健康性研究,均提出了各自的评价体系。本文以植被的自然演替过程为基础,借鉴生态系统健康评价,对自然植被演替过程中植物群落健康状态的动态变化进行研究,以期为该区域植被恢复重建提供依据和借鉴。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于安塞县境内,属于典型的黄土高原丘陵沟壑地区(109°29'22"E—109°20'29"E, 36°43'1"N—37°8'61"N),总面积 2950.33 km²。境内地形地貌复杂多样,沟壑纵横,川道狭长,梁峁遍布,沟壑密度为 4.7 万条·km⁻²。最高海拔为 1731.1 m,最低海拔为 1012 m,平均海拔为 1371.9 m。境内气候属中温带大陆性半干旱季风气候,年平均气温 8.8 (极端最高温 36.8,极端最低温 -23.6),年平均降水量 505.3 mm (最多为 645 mm,最少为 296.6 mm),年日照时数为 2395.6 h,日照百分率达 54%,全年无霜期 157 d。据黄土高原植被区划,安塞属森林草原区,北部为草原植被,南部分布有少量乔木林,中部则是草原植被和森林植被的过渡带。本研究所选的点主要集中在安塞县的中部,典型地带性草本植物群落有长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芨芨蒿(*Artemisia giraldii*)和达乌里胡枝子(*Les-*

pedeza davurica)群落等(雷明德等,1999)。

1.2 研究方法

1.2.1 植物群落健康评价指标 评价指标选择主要以植物群落的健康稳定发展为目标,同时考虑特殊的立地环境条件对植物群落的影响。本文针对黄土丘陵区特殊环境,借鉴有关研究(袁兴中等,2001;肖风劲和欧阳华,2002;Lu & Li,2003;郝敦元等,2004;侯扶江等,2004;周立业等,2004;黄和平等,2005),选定该地区稳定的白羊草群落为参照群落,其他群落的健康状况与之做比较。选择的评价指标主要有:

(1)活力指数。植物群落的活力是指它的活动性、新陈代谢和初级生产力。在评价中,常用群落的生物量代表群落的活力。具体操作中,以生物量的相对值来测定: $V_i = B_i / B_s$,式中, V_i 为群落的活力指数, B_i 和 B_s 分别为群落*i*的生物量和所选定的参照群落的生物量。

(2)组织力指数。组织力是群落自身组分之间共同作用的表征,一般认为,植物群落的自组织力越强,则群落的稳定性越高。影响其组织力的因素可分为群落盖度、物种多样性、建群种的高度等(郝敦元等,2002)。因此,在评价群落组织力时采用以下模型: $O_i = (C_i / C_s + H_i / H_s + h_i / h_s) / 3$,式中, O_i 为群落组织力指数, C_i 、 C_s 为群落*i*的盖度和所选定的参照群落的盖度, H_i 、 H_s 为群落*i*的 Shannon-Wiener 指数和所选定的参照群落的 Shannon-Wiener 指数, h_i 、 h_s 为群落建群种的高度和所选定的参照群落的高度。其中 Shannon-Wiener 指数的计算公式为: $H = - \sum (P_i \ln P_i)$,式中, H 为 1 个具有已知比例多度为 P_1, P_2, \dots, P_s 的 s 种组成的无限群落中的平均不确定性(马克平,1994;郝敦元等,2005)。

(3)恢复力指数。鉴于研究区域光照条件充足,植物群落的关键胁迫因素就是土壤水分,经过查阅文献和数据分析可知,2 m 以内土壤含水量在不同的植物群落演替阶段的变化比较明显(陆凡和李自珍,2004),因此,本文选择土壤水分作为群落的恢复力指标: $R_i = M_i / M_s$,式中, R_i 为恢复力指数, M_i 、 M_s 分别为群落*i*的 2 m 土壤平均含水量和所选定的参照群落的 2 m 以内土壤平均含水量。

(4)土壤健康性指数。土壤是植物群落健康发展所依赖的重要环境因素之一(郑淑华等,2005),土壤有机质含量是土壤健康状况的最有效的表征,

因此,本文用土壤有机质含量作为计算土壤的健康性的指标,为了方便计算,将其无量纲化,计算公式为: $SH_i = OM_i / OM_s$, 式中, SH_i 为土壤健康性指数, OM_i 、 OM_s 分别为群落 i 的土壤有机质含量和所选定的参照群落的土壤有机质含量。

(5) 群落健康评价的综合指标。Costanza 等 (1992) 和 Rapport 等 (1998) 提出一个概念性的生态系统健康指数模型: $HI = VOR$, 式中, HI 为系统健康指数, V 、 O 、 R 分别为系统活力指数、组织力指数和恢复力指数, 本文在该模型的基础上增加土壤健康指标, 为了方便计算和比较, 把各个指标无量纲化。综合各个评价指标, 提出适合该区的评价模型: $HI_i = \sqrt{V_i \times O_i \times R_i \times SH_i}$ 。

1.2.2 数据采集与处理 1) 样方设置。根据森林草原区植被演替规律 (马祥华和焦菊英, 2005; 温仲明等, 2005)、植被自然恢复的群落类型及数量分布, 充分考虑群落所处的立地条件如坡度、坡位、坡向等, 通过实际调查, 初步确定了黄土丘陵区植物群落自然演替的主要序列: 猪毛蒿 (*Aristida scoparia*) 群落 猪毛蒿 + 达乌里胡枝子 + 长芒草群落 达乌里胡枝子 + 长芒草群落 白羊草 + 达乌里胡枝子群落 (表 1)。所形成的草本群落可能会进一步的演替成灌木群落, 但需要更长的时间。

各植物群落样方规格为: 灌木样方大小一般设置为 5 m × 5 m; 小半灌木及草本层的样方大小一般设置为 2 m × 2 m, 选择该群落最有代表性区域作为样方。

2) 数据采集。根据植物群落健康评价指标选择, 本文需要采集的数据包括群落信息数据、养分数据、土壤水分数据、生物量数据。各因子数据采集与处理方法如下:

群落信息: 包括物种组成、株高、盖度、各物种数量等。在调查时, 在选定的样地内, 为避免主观因素或立地条件引起的误差, 对每个群落类型进行重复采样。在每个样点进行 10 个重复采样。

养分数据: 采取 S 形随机采样, 每个样点 6 个重复。每个重复采样深度为 60 cm, 分为 3 层, 每层 20 cm, 采集的 6 个重复样, 按层混合, 用于室内分析。室内分析时, 土壤有机质采用重铬酸钾容量法 外加加热法分析。

土壤水分: 在选定的样地同时采集土壤水样品, 水分样的采集深度为 5 m, 每 20 cm 取样 1 次, 用以测定不同深度土壤的含水量。测定方法采用

表 1 各样地实地调查观测结果

Tab 1 Field investigation results of plots

演替年限 (a)	群落名称	优势种株高 (m)	盖度 (%)	优势种株 (丛) 数	生物量 ($g \cdot m^{-2}$)
1	猪毛蒿 + 猪毛菜 ¹ 群落	0.80	20	4	13.30
2	猪毛蒿群落	0.50	25	62	82.02
3	赖草 ² 群落	0.40	45	440	106.94
3	猪毛蒿群落	0.55	27	15	55.13
3	猪毛蒿 + 阿尔泰狗娃花 ³ 群落	0.45	30	240	120.74
4	赖草 + 猪毛蒿群落	0.25	45	320	72.59
4	猪毛蒿群落	0.50	30	88	138.06
5	猪毛蒿群落	0.60	28	34	81.23
6	猪毛蒿群落	0.50	30	100	25.34
10	达乌里胡枝子群落	0.32	50	104	32.88
11~12	猪毛蒿群落	0.28	47	168	74.18
14	达乌里胡枝子 + 长芒草群落	0.15	40	21	21.32
14~15	达乌里胡枝子 + 长芒草群落	0.30	45	21	128.16
14~15	长芒草群落	0.15	40	42	133.71
15	达乌里胡枝子 + 长芒草群落	0.25	55	76	46.27
17	长芒草群落	0.12	60	124	39.19
20	达乌里胡枝子群落	0.45	83	64	279.71
21	白羊草 + 蒿类群落	0.30	90	33	202.74
22	达乌里胡枝子群落	0.40	75	120	258.21
30	达乌里胡枝子 + 长芒草群落	0.30	85	112	163.61
40*	白羊草 + 达乌里胡枝子群落	0.35	70	72	154.60
41	白羊草 + 达乌里胡枝子群落	0.30	85	112	163.61

根据演替年限对植物群落进行排列, 并采用聚类分析法, 计算出各群落的优势种, 并以其优势种命名。1 *Salsola collina*; 2 *Leyn us scalinus*; 3 *Heteropappus altatus*; * 所选定的参照群落。

105 恒温烘干法。

生物量 ($g \cdot m^{-2}$): 草本采用收获法, 即将群落内的草本全部刈割, 将其地上部分带回实验室; 灌木采用标准株标准枝方法测定; 所有样品均在在 85 恒温下烘干并称其干质量。

2 结果与分析

2.1 植物群落活力变化

植物群落活力是表征植物群落生命力的重要指标。黄土丘陵区植物群落活力随演替时间整体上呈现抛物线型变化 (图 1)。在演替初期, 群落活力较低且波动较大, 群落演替的前 5 年活力是逐渐增强的, 但随后又逐渐降低, 前 20 年活力变化的波动性非常明显, 但总体趋势呈上升变化。这样的变化规律, 可能与演替过程中物种的更替有关。在演替初期, 群落物种主要由 1 年生草本植物组成, 植物数量及种类都较少, 植株也比较矮小, 生物量相对较低, 这也就是初期群落活力较低的原因。经过 20 余年的演替, 群落物种基本上由地带性物种构成, 不论是植物数量还是植株种类均有所增加, 但群落内仍有

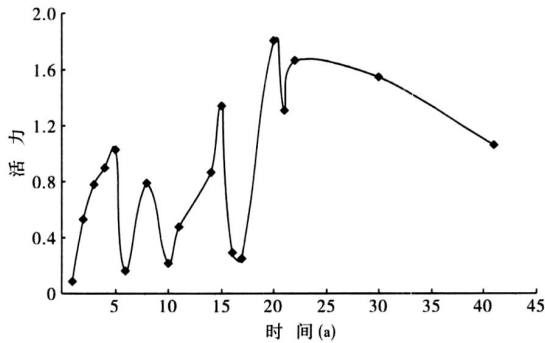


图 1 活力指标随着时间的变化

Fig 1 Changes of vigor with time

较多的 2 年生或多年生的半灌木植物,生物量大大增加,因此,群落活力达到最大。之后,随着植物群落的进一步演替,活力指标又有缓慢下降的趋势,但基本稳定在相对较高的水平。从图 1 可以看出,在演替的前 20 年只有 3 个 ($< 1/4$) 群落的活力指标高于参照群落,也有一半群落的活力指标接近参照群落。而当演替进行到 20 年以后,群落的活力指标均高于参照群落。

2.2 植物群落组织力变化

从图 2 可以看出,演替初期,植物群落的组织力较高,随着时间的推移,组织力呈波动性下降的变化趋势。就植被演替的前 15 年来看,组织力指数的总体变化趋势是随着时间呈波动性下降的。根据群落演替的规律可知,演替初期,群落内的养分、水分条件比较优越,植被长势较好,群落盖度较大,故群落具有很高的组织力指数。随着演替时间的延续,群落内的植被会从 1 年生草本发展成多年生草本植物,植物群落与环境因子相互作用,致使植物群落的组织力始终呈现波动性下降的趋势。随着植物演替的进一步进行,经过 20 余年,植物群落

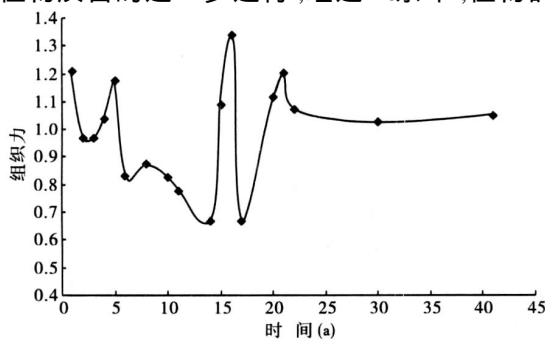


图 2 组织力指标随时间的变化

Fig 2 Changes of organization force with time

的组织力指数基本上稳定在一个相对较高的水平。

2.3 植物群落恢复力变化

从图 3 可以看出,随着时间的延长,恢复力的变化走势不是很明显。在演替的前 15 年,植物群落的恢复力呈波动性下降趋势,但变化不明显,总体上维持在较高的水平。这是因为演替初期群落内的植物大多是 1 年生的草本植物,其对水分的消耗(蒸腾作用等)比较小,又由于初期植被盖度比较大,地表的蒸发作用也比较小,故而土壤具有较高的含水量。随着演替时间的进一步延长,群落的恢复力指数骤然下降,到 17 年左右时最小,随后又渐渐上升。说明当群落演替到一定阶段,群落内土壤的含水量会维持在较高的水平,这一现象很好地证明了植被的保水、持水作用。

2.4 植物群落土壤健康动态变化

从图 4 可以看出,随着时间的推移,土壤健康状况呈波动性上升的趋势,但是前后总体变化不明显。演替初期,植物群落的土壤健康水平波动性比较明显,但总体上仍呈上升性变化,分析其原因可能是因为退耕初期,土壤中残留了大量的有机物质和肥料,由于环境条件比较适宜,群落中的植被逐渐增多,对养分的消耗增加,消耗的量大于积累的量,致使土壤中的有机质含量迅速降低。植物生长过程中的竞争是始终存在的,随着竞争的进行,适应环境的物种逐渐出现,在群落中占据优势,并迅速的发展起来,其枯落物大量归田,使土壤的有机质含量又有了一定的提高。当演替进行到 20 年以后,植物群落的土壤健康水平的波动性变化消失,呈线性缓慢上升变化。纵观整个演替过程,群落土壤健康性呈上升的变化趋势。

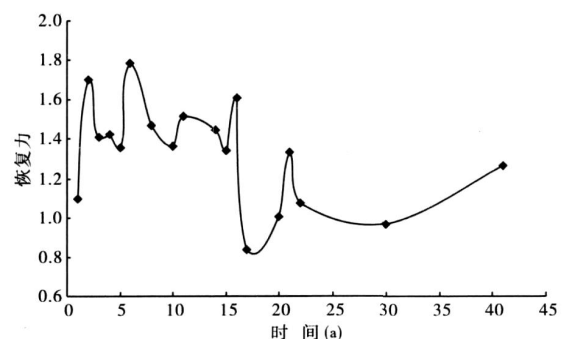


图 3 恢复力指标随着时间的变化

Fig 3 Changes of restoring force with time

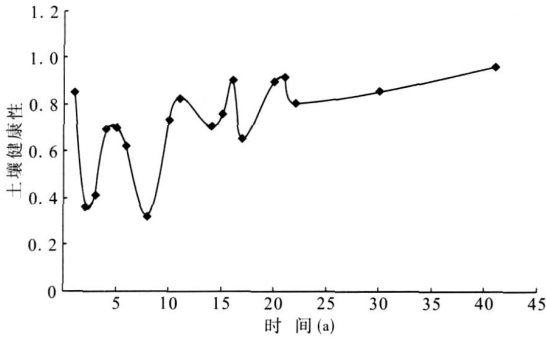


图 4 土壤健康性随时间的变化
Fig 4 Changes of soil health with time

2.5 植物群落健康动态变化的综合评价

随着时间的延长,综合评价指标基本上呈线性变化(图 5)。从图 5 可以看出,演替初期,植物群落的健康水平较低,随着时间的推移,更加适应生存环境的植物逐渐在群落中占据了优势,其健康状况得到了提高,然而并不是一直升高,而是呈波动性变化的,当然,这种波动性也可能受样地选择的影响,但其总体变化趋势是增加的。从图 5 还可以看出,当经过 20 余年以后,群落的健康水平持续处于较高的状态,根据该区植被演替规律和实地调查,经过 20 余年的演替,该区草地群落基本上达到了该地区的顶级草本群落阶段,并逐渐向半灌木、灌木群落过渡的时期,植物群落向着更加稳定的状态发展,群落的健康水平也逐渐向着最佳的状态推进。

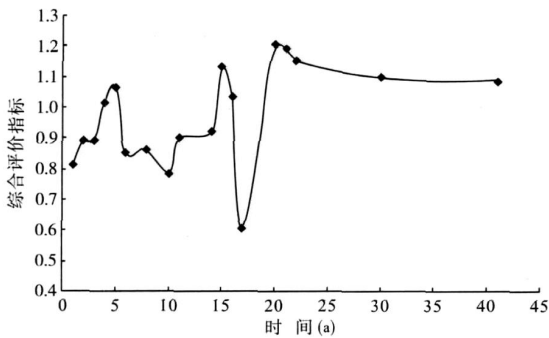


图 5 综合评价指标随时间的变化
Fig 5 Changes of comprehensive evaluation index with time

3 讨论

黄土丘陵区的植被恢复重建备受关注,恢复重建工作的成功与否关系到黄土丘陵区水土流失治理的成效。因此,植物群落健康评价研究具有重要的理论与实践意义。关于生态系统健康评价,目前已

有较多的研究,并提出了活力、组织力、恢复力等指标。本文根据黄土丘陵区植被恢复实践需求,采用活力、恢复力、组织力和土壤健康性综合指标,对草地植物群落的健康动态变化进行分析研究,结果表明,草地植物群落健康状况有明显的波动过程。

在黄土丘陵区,由于地形、气候等多种因素的影响,评价参照的选择较为困难。因为在该特定的环境条件下,可以形成多种稳定的顶级或亚顶级群落,如长芒草群落、铁杆蒿群落、白羊草群落等,本文根据该区植被演替过程,参考朱志诚(1994)和邹厚远等(1998)研究,选择白羊草群落作为评价参照。从评价的结果可以看出,选择白羊草作为参照可以较好地揭示植被自然演替过程中群落的健康动态变化。在自然植被演替的前 20 年,与参照相比较,只有不到 1/3 植物群落的健康程度达到参照的 80%,说明在演替的前 20 年,多于 2/3 的群落处于不稳定状态。而演替到 20 年以后,植物群落的健康状态指标都高于参照群落。当然,本文所揭示的植物群落健康的动态变化的年限范围,仅仅根据所调查数据所得,只能是现实情况的大体概括,在实践中或许略有差异。

植物群落的健康状况,是各个生态过程综合作用的结果。根据本文研究结果,只有在群落活力、组织力与恢复力都处于一种相对平衡状态时,植物群落才能具有最佳的健康水平。这一结论对于人工构建植物群落具有重要的指导意义。在植被建造过程中,不能一味地追求高生产力,而是要使植物群落在达到最佳健康状态的前提下再提高群落的其他服务功能。

参考文献

董华英,董 婕. 2007. 黄土高原植被建设中的问题与对策探讨. 国土与自然资源研究, (1): 64- 65.
 郝敦元,高 霞,刘钟龄,等. 2004. 内蒙古草原生态系统健康评价的植物群落组织力测定. 生态学报, 24 (8): 1671- 1677.
 郝敦元,刘钟龄,王 炜,等. 2002. 内蒙古草原植物群落组织力的分析. 干旱区资源与环境, 16(3): 97- 102
 侯扶江,于应文,傅 华,等. 2004. 阿拉善草地健康评价的 CVOR 指数. 草业学报, 13(4): 117- 126
 黄和平,杨 劼,宋炳煜,等. 2005. 内蒙古黄土丘陵沟壑区生态系统健康评价. 生态学报, 25(5): 48- 56
 雷明德. 1999. 陕西植被. 北京: 科学出版社.

- 李 鹏, 崔文斌, 郑良勇, 等. 2006 草本植被覆盖结构对径流侵蚀动力的作用机制. *中国水土保持科学*, 4(1): 55-59.
- 梁 燕, 韩国栋, 赵萌莉, 等. 2004 草地生态系统健康评价的内容与实施方法. *畜牧与饲料科学*, (6): 107-109.
- 梁 瑛, 王 宁, 赵莉莉, 等. 2006 草地生态系统健康评价的研究现状. *农业科学研究*, 27(2): 79-82.
- 陆 凡, 李自珍. 2004 干旱区生态系统健康评价的指标、模型及应用. *西北植物学报*, 24(3): 538-541.
- 马克平. 1994 生物多样性的测度方法. 生物多样性研究的原理和方法. 北京: 中国科学技术出版社.
- 马祥华, 焦菊英. 2005 黄土丘陵沟壑区退耕地自然恢复植被特征及其与土壤环境的关系. *中国水土保持科学*, 3(2): 15-22, 31.
- 毛德华, 夏 军, 黄友波. 2003 西北地区生态修复的若干基本问题探讨. *水土保持学报*, 17(1): 15-18.
- 师江澜, 杨正礼. 2002 黄土高原植被恢复中的主要问题与对策探讨. *西北林学院学报*, 17(3): 16-18.
- 温仲明, 焦 峰, 刘宝元, 等. 2005 黄土高原森林草原区退耕地植被自然恢复与土壤养分变化. *应用生态学报*, 16(11): 2025-2029.
- 吴钦孝. 1998 黄土高原植被建设与持续发展. 北京: 科学出版社.
- 肖风劲, 欧阳华, 傅伯杰, 等. 2003 森林生态系统健康评价指标及其在中国的应用. *地理学报*, 58(6): 803-809.
- 肖风劲, 欧阳华. 2002 生态系统健康及其评价指标和方法. *自然资源学报*, 17(2): 203-209.
- 袁兴中, 刘 红, 陆健健. 2001 生态系统健康评价——概念构架与指标选择. *应用生态学报*, 12(4): 627-629.
- 郑淑华, 赵萌莉, 珊 丹, 等. 2005 草原基况及其评价方法. *中国草地*, 27(2): 72-76.
- 周立业, 郭 德, 刘秀梅, 等. 2004 草地健康及其评价体系. *草原与草坪*, (4): 17-20.
- 朱志诚. 1994 黄土高原森林草原的基本特征. *地理科学*, 14(2): 152-157.
- 邹厚远, 程积民, 周 麟. 1998 黄土高原草原植被的自然恢复演替及调节. *水土保持研究*, 5(1): 126-138.
- Costanza R, Norton BG, Haskellds BD. 1992 *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management* Washington DC: Island Press
- Lu F, Li ZZ. 2003 A model of ecosystem health and its application. *Ecological Modelling*, 170: 55-59.
- Rapport DJ, Costanza R, McMichael AJ. 1998 Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology and Evolution*, 13: 397-402.

作者简介 肖云丽,女,1983年生,硕士研究生,研究方向为资源环境遥感监测与评价。E-mail: xiaoyl_2005@163.com
责任编辑 王 伟