

基于 Fishnet 网格的小流域生态系统健康评价体系构建

苏毅¹ 滕明君² 肖文发² 黄志霖² 雷静品² 曾立雄² 王鹏程¹

1. 华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070;

2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所/国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091

摘要 以三峡库区典型小流域——兰陵溪小流域为例,在遥感影像和野外调查数据的支持下,基于压力-状态-响应模型,通过专家咨询法和层次分析法确定评价指标和权重,运用 Fishnet 网格法构建小流域生态系统健康评价指标体系和分析模型。结果显示,共筛选出 12 个相对独立的生态指标,运用生态系统健康综合评价模型,生成了基于 Fishnet 网格的兰陵溪小流域生态系统健康综合评价等级分布图,能直观反映兰陵溪小流域生态系统健康状况的空间特征。

关键词 Fishnet 网格; 健康评价; 指标体系; 生态系统健康制图; 兰陵溪小流域

中图分类号 S 75 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2015)02-0065-07

全球环境变化导致不同尺度的生态系统结构和功能变化,并对人类社会和环境的可持续发展造成影响。如何有效维护生态系统结构和功能完整性,提升不同尺度上生态系统的健康水平成为应对环境变化影响的重要策略^[1]。在这一背景下,生态学、社会学和健康科学等多学科的交叉融合促使生态系统健康研究体系迅速发展。近年来,随着对流域生态环境问题的日益关注,流域生态健康状况评价成为生态资源可持续管理领域的热点。健康的生态系统具有恢复力,保持着内外稳定性,对干扰具有恢复力和抵抗力^[2-4],可为人类社会提供可持续的高质量生态系统服务^[2,5-6]。

生态系统健康评价是通过研究生态系统的结构、功能、适应力和社会价值来判断其健康状况,评估和预测生态系统结构功能维持中的潜在问题,为寻求有效的生态系统管理对策提供可靠的依据^[2-3,7]。以生态适宜性指标模型为基础,从生态系统结构完整性和功能持续性等维度对生态系统健康状况进行评价的方法框架受到广泛认可,并迅速成为生态系统健康评价的首要途径。但生态适宜性评价模型的指标体系和判别标准仍存争议,评价理论和技术也不成熟^[8-10]。GIS 技术是开展空间决策的重要工具^[11],以此为基础的网格空间分析通过空间

数据网格单元划分,进行相关空间分析,研究生态过程或生态环境要素的空间分异规律^[12]或开展生态评价和生态规划^[13-15]。Fishnet 网格分析方法是地理空间统计基础方法,该方法既便于各种统计数据与自然地理要素数据的结合,也可提高区域生态系统健康评价精度及反映各评价单元的分异特征。

本研究以三峡库区典型小流域——兰陵溪小流域为例,在收集和调查相关数据的基础上,确定评价单元,运用 Fishnet 网格法构建小流域生态系统健康评价指标体系和分析模型,以为小流域健康评价提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

兰陵溪小流域位于长江三峡大坝上游南岸 5 km 处(110°56'E, 30°50'N),流域面积 14.82 km²,包括兰陵溪、中坝子、松树坳 3 个村。多年平均降雨量 1 439 mm,降雨主要集中在 5—8 月,年内呈单峰型分布。该小流域西南部多为山地,最高海拔 1 585 m。流域土壤为花岗岩母质发育的石英砂土,水土流失以沟蚀、面蚀为主,植被主要包括天然马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、柏木(*Cupre-*

收稿日期: 2014-01-10

基金项目: 国家“十二五”科技支撑项目“长江流域防护林体系整体优化及调控技术研究”(2011BAD38B04)

苏毅, 硕士, 研究方向: 恢复生态学. E-mail: longlan1984@163.com

通信作者: 王鹏程, 博士, 副教授. 研究方向: 森林生态学. E-mail: pengchengwang@163.com

ssus funebris)等生态公益林,并有灌木林分布;中部河谷地带地势较为平缓,以园地和耕地为主。

兰陵溪小流域是“长江上游、黄河中上游退耕还林(草)工程”科技支撑示范点。至 2009 年,流域林地实施封禁管育和补植补造,森林覆盖率超过 65%,水土流失量由 1 950 t/hm²降至 1 450 t/hm²。近年来,兰陵溪小流域农业种植结构得到良性调整,现已形成了低山脐橙、中山多经济作物、高山反季节蔬菜和河汉水产养殖 4 个产业经济带,农民人均收入大幅提高。

1.2 数据的获取与预处理

以 2002 年和 2009 年两期遥感影像为基础数据,包括 QuickBird 遥感影像(2002-06-02/2009-09-23)和 Landsat TM 影像(2002-09-03/2009-08-03),以及由秭归县林业局提供的 1:100 00 地形图、土壤类型图。对 Quickbird 遥感影像预处理后,进行人工目视解译,获取小流域土地利用覆盖数据。对 TM 遥感数据进行校正后计算归一化植被指数(NDVI)。此外,还收集小流域内各行政村年农业报表。遥感数据处理和分析在 ERDAS IMAGE 9.2 和 ArcGIS 9.3 软件中实现。

1.3 小流域生态系统健康评价体系构建

1)评价指标筛选与权重确定。以压力-状态-响应模型^[16]为基础,依据流域生态系统健康内涵和生态服务组分,按照“概念的普遍性、可解释性,有效性、空间性、系统性,完备性、可操作性、独立性”等原则筛选评价指标,并结合专家咨询法(共咨询湖北省林业和生态领域专家 5 人)筛选和确定评价指标。在此基础上,在 Yaahp 0.5.0 软件支持下,应用层次分析法确定所选指标的权重,评价指标权重值反映评价指标对小流域生态系统健康的贡献率。

2)评价模型构建。基于选择的指标,选用相对综合评价法评价小流域生态系统健康状况,综合评价模型如下:

$$EI = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (1)$$

式中,EI 为流域生态系统健康综合指数, X_i 为指标的评价值, W_i 为指标权重, n 为该等级指标数。

为确定不同指标的评价标准,参考国内外相关研究成果,对综合评价分值进行排序,以反映生态系统健康状况的优劣,按照非等间距方法确定各等级阈值,将兰陵溪小流域生态系统健康状况分为很好、较好、一般、较差和极差等 5 个等级。

1.4 数据分析

基于小流域生态健康评估模型,应用 Fishnet 网格方法计算和分析兰陵溪小流域生态系统健康状况。

1)评价单元的确定。评价单元大小影响评价结果,根据小流域景观结构特征和前人研究经验^[14-15],在单元大小测试的基础上将小流域生态系统健康评价单元定为 100 m×100 m,在 ArcGIS 9.3 软件中利用 Fishnet 分析工具将小流域划分为 1 583 个评价单元。

2)评价指标空间数据处理。按照不同生态系统健康评价指标所用数据差异,具体可分为统计数据、面状矢量数据、栅格数据等 3 类,利用 Fishnet 工具分别对各类评价指标进行空间数字化处理:

①统计数据数字网格化。评估模型中涉及到的统计数据主要包括化肥和农药使用强度、人口密度、物质生产量、人均收入等社会经济统计数据。化肥和农药使用强度采用单位面积化肥/农药施用量计算。基于小流域土地利用/覆盖数据,提取各网格对应区域耕地面积,结合相应年度化肥和农药施用总量,计算各网格的化肥施用强度和农药施用强度,其中化肥施用量按折纯量计算。以人均建筑面积指标指示人口分布状况,计算各网格中居民点的面积得到小流域人口密度分布数据。物质生产和人均年收入采用行政村内平均值表示^[17-18];物质生产量分别由农业作物产品价值、畜牧业产品价值、林业产品价值、渔业产品价值累计获得。

②面状矢量数据网格化。人类干扰指数是区域内耕地和建设用地占土地总面积的百分比。对土地利用/覆盖数据网格化,可计算研究区各网格单元的人类干扰指数。土地垦殖指数为单元网格内耕地面积百分比。高质量植被重要值、景观破碎度、生态弹性指数以行政村为单位计算。在网格化过程中,如存在多源区域,则采用面积占优法确定落在多个源区的网格的属性。基于土地利用/覆盖数据,生成高质量植被(有林地、灌木林地、高覆盖草地)图层,并计算每个网格中各类型平均面积、密度和面积比例,归一化处理后,利用公式(2)计算高质量植被的重要值 Do :

$$Do = (\text{平均面积} + \text{密度} + \text{比例}) / 3 \quad (2)$$

式中,平均面积=高质量植被面积/斑块总数;密度=高质量植被斑块数/斑块总数;比例=高质量植被面积/土地总面积。

景观破碎度 C 采用公式(3)进行计算:

$$C = \frac{\sum N_i}{A} \quad (3)$$

式中, N_i 为景观中所有类型斑块的总个数, A 为斑块总面积(hm^2)。

生态弹性指数采用公式(4)计算:

$$\text{ECO}_{\text{res}} = D_i \times \sum (S_i \times P_i) = (- \sum S_i \times \log_2 S_i) \times \sum (S_i \times P_i) \quad (4)$$

式中, D_i 为 Shannon-Winner 多样性指数, S_i 为地物 i 的覆盖面积, P_i 为地物 i 的弹性分值。

③ 栅格数据网格化。栅格数据包括有机质生产和土壤侵蚀强度 2 个指标。有机质生产指标按照每个网格 NDVI 的面积均值计算。土壤侵蚀强度按照《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007) 确定的水力侵蚀强度分级进行计算。利用 DEM 数据计算小流域坡度, 结合 NDVI、土地利用/覆盖、土壤类型数据、植被覆盖数据, 计算各 Fishnet 网格的土壤侵蚀强度。

3) 数据标准化处理。运用极值处理法进行数据

标准化处理。标准化后分级数值介于 0~1 间。公式如下:

$$\text{正向指标: } x = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (5)$$

$$\text{逆向指标: } x = \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (6)$$

2 结果与分析

2.1 小流域生态系统健康评价指标体系

本研究共筛选出 12 个相对独立的生态指标, 从压力、状态、响应等 3 个层面反映兰陵溪小流域生态系统健康状况(表 1), 且所有指标均可通过调查统计数据 and 遥感数据获取。指标权重反映该指标对小流域生态系统健康的影响程度, 权重值越大, 其影响越大。总体来看, 生态系统状态是各种影响因素长期作用的结果, 具有较大的权重, 其对生态系统的健康具有决定性影响; 其中, NDVI 和生态弹性指数对生态系统状态影响较大; 在响应方面, 土壤侵蚀强度是反映健康的主要因素。

表 1 小流域生态系统健康评价指标体系

Table 1 The ecosystem health evaluation system of the small watershed

策略层(权重) Strategy layer (Weightiness)	准则层(权重) Criterion layer (Weightiness)	指标层(权重) Indicator layer(Weightiness)	数据来源 Data sources	作用 ¹⁾ Effect	
压力 Pressure (0.267 6)	农业生产活动压力 Land pressure(0.450 2)	化肥施用强度 Intensity of fertilizer(0.500 0)	统计调查 Statistical survey	-	
		农药施用强度 Intensity of pesticide application (0.500 0)	统计调查 Statistical survey	-	
	人口压力 Human pressure(0.549 8)	人口密度 Population density(0.550 0)	统计数据 Report	-	
		人为干扰指数 Man-made interference index (0.450 0)	遥感影像 Remote sensing	-	
	状态 Condition (0.426 7)	活力 Vigor(0.292 1)	NDVI(1.000 0)	遥感影像 Remote sensing	+
		组织结构 Organization structure(0.292 1)	高质量植被重要值 Importance value of high quality vegetation (0.550 2)	遥感影像 Remote sensing	+
景观破碎度 Landscape fragmentation (0.449 8)			遥感影像 Remote sensing	-	
响应 Response (0.305 7)	恢复力 Restoring force(0.277 8)	生态弹性指数 Ecological elastic index (1.000 0)	遥感影像 Remote sensing	+	
	服务功能 Service function(0.138 0)	物质生产 Material production(1.000 0)	统计数据 Report	+	
	自然响应 Natural response (0.645 7)	土壤侵蚀强度 Soil erosion intensity(1.000 0)	遥感影像 Remote sensing	-	
		社会响应 Social response(0.354 3)	土地垦殖指数 Land reclamation index (0.598 7)	遥感影像 Remote sensing	-
	人均年收入 Annual per-capita income (0.401 3)		统计数据 Report	+	

1) “-”表示负向作用, “+”表示正向作用 “-” indicates negative effect, while “+” shows positive effect.

根据指标筛选结果,生态压力主要包括农业生产活动压力和人口压力。其中,农业生产活动压力用农田化肥施用强度和农药施用强度表示;而人口压力则用人口密度和人为干扰指数共同反映,分别表示人类活动对小流域生态系统的潜在影响强度和直接影响强度。上述 4 个指标值大小用来解释外界干扰活动对生态系统的胁迫或者影响程度,均与生态系统健康状态呈负相关。

生态系统状态是生态系统各种生物和非生物因素的长期作用结果。参照专家咨询结果,选择生态系统的活力、组织结构、弹性度、服务功能等 4 个指标反映生态系统状态。生态系统活力是指生态系统的能量输入和营养循环容量,通常用生态系统生产力表示。考虑到数据生态意义和计算便利性,本研究选取小流域植被 NDVI 指数指示小流域生态系统的活力水平,其值越大,活力水平越高。生态系统组织结构是生态系统服务功能和生态过程的基础,反映生态系统结构的完整性,如景观多样性和景观结构特征等。通过对指标及其生态意义的分析,小流域水平的生态系统结构可由高质量植被重要值和景观破碎度共同反映。高质量植被重要值越高,其对生态系统的控制能力越高,生态系统状态越好;破

碎度则与生态连通度相关联,可反映重要生境斑块的连通性,其值越低,则表明景观功能结构越好^[19]。生态系统恢复力由弹性度表示,并根据不同土地利用/覆盖类型对生态弹性度的贡献和作用差异确定,系统的组成越复杂,生态弹性越大,系统越健康(表 2)。生态系统服务功能主要包括物质产品生产、改善水质、降低水土流失等。选用物质生产能力作为衡量生态系统服务功能维持的正指标,来反映生态系统的健康状况。

土壤侵蚀是三峡库区面临的主要生态环境风险之一,对生态系统健康状态具有较好的指示作用。按照水利部颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》,选择植被覆盖度、坡度和土地利用土地覆盖 3 个指标反映植被因子、地形因子、地表特征,建立研究区水土流失强度面蚀分级指标,并按等差赋分值(表 3)。生态系统结构合理与否决定土地生产潜力,选用土地垦殖指数和人均收入值来反映社会经济系统对生态系统变化的响应。土地垦殖指数是区域内耕地面积占土地总面积的比例,反映土地资源开发利用程度,垦殖指数越大,开发潜力越弱。人均年收入综合反映小流域的社会发展水平和居民生活水平。

表 2 小流域不同土地利用/覆盖类型生态弹性度赋值

Table 2 The value of ecological elastic of different land-use/land-cover types at watershed level

土地利用/覆盖类型 Type of land-use/land-cover	分值 value	备注 Comment
林地、水域 Forest, water	9~10	
高覆盖草地、灌木林地 High coverage grassland or shrubland	8~9	在维持生态弹性度方面起决定性作用 Play the decisive effect on maintaining ecological elastic limit
中覆盖草地、疏林地 Middle covered grassland or open forest	6~8	
园地、滩地 Garden plot	5~6	
耕地 Cultivated land	4~5	对维持生态弹性度有重要作用 Play the important effect on maintaining ecological elastic limit
建设用地 Construction land	2~4	
低覆盖草地 Low coverage grassland	0~2	对生态弹性度的贡献相对较小 Play quite small contribution to maintaining ecological elastic limit
未利用土地 Unused land	0	

表 3 土壤侵蚀强度分级标准和得分值

Table 3 The classification criteria and value of soil erosion intensity

级别 Grade	平均侵蚀模数/ (t/(km ² ·a)) Average erosion modulus	平均流失厚度/ (mm/a) Average erosion thickness	分值 Value
微度 Mired	<500	<0.37	1.0
轻度 Slight	500~2 500	0.37~1.90	0.8
中度 Moderate	2 500~5 000	1.90~3.70	0.6
强度 Strength	5 000~8 000	3.70~5.90	0.4
极强度 Pole strength	8 000~15 000	5.90~11.10	0.2
剧烈 Severe	>15 000	>11.10	0.0

2.2 小流域生态系统健康评价标准

参考相关标准,结合综合评价分值,将兰陵溪小流域生态系统健康分为 5 级,分别反映不同生态系统健康状态(表 4)。

2.3 小流域生态系统健康评价结果的可视化表达

运用生态系统健康综合评价模型,生成基于 Fishnet 网格的兰陵溪小流域生态系统健康综合评价等级分布图(图 1)。制图分析显示,2002—2009 年兰陵溪小流域生态系统健康状态发生了明显好转,“很好”等级的区域明显扩大,成为扩张面积最大

表 4 小流域生态系统健康状态分级

Table 4 Health grading of ecosystem in the small watershed

健康等级 Grade	健康状态 Status	标准化分值 Score	状态描述 Description of status
1	很好 Very good	>0.90	生态结构非常合理、生态系统活力极强，自然环境完善，外界干扰压力较小，生态系统功能极其完善，结构极稳定，处于可持续状态
2	较好 Good	0.70~0.90	生态结构比较合理、格局较好，自然环境较为完善，系统活力较强，外界压力较小，无生态异常，生态系统功能较完善，生态系统组成结构尚稳定，生态系统处于可持续状态
3	一般 Common	0.50~0.70	生态结构完整，具有一定的系统活力，外界压力较大，生态系统稳定性接近生态阈值，敏感性强，偶见生态异常，可发挥基本的生态功能，生态系统可维持
4	较差 Deficient	0.35~0.50	生态结构出现不完整，系统活力较低，外界压力大，频发，生态功能难以维持生态系统的需要，轻微退化
5	极差 Seriously deficient	<0.35	生态条件恶劣，结构极不合理，自然植被破碎化严重，活力极低，生态异常大面积出现，生态系统经严重恶化

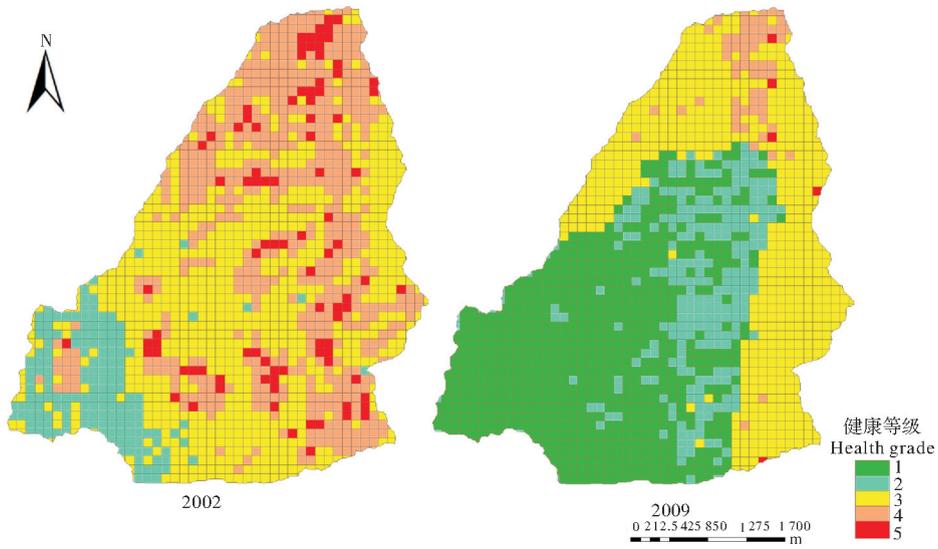


图 1 2002 年和 2009 年兰陵溪小流域生态系统健康等级分布图

Fig. 1 Distribution maps of the small watershed health grade in 2002 and 2009 based on Fishnet

表 5 兰陵溪小流域生态系统健康状态面积比例

Table 5 The statistics of ecosystem health evaluation index in Lanlingxi small watershed

健康等级 Grade	2002		2009	
	面积/hm ² Area	百分比/% Percentage	面积/hm ² Area	百分比/% Percentage
很好 Very good	0.00	0.00	6.69	45.13
较好 Good	1.60	10.82	2.44	16.46
一般 Common	6.92	46.69	5.06	34.12
较差 Deficient	5.36	36.16	0.59	3.98
极差 Seriously deficient	0.94	6.34	0.04	0.30

的健康等级。由于 Fishnet 网格具有唯一可辨识度，因此，不同时期生态系统健康状态制图分析不仅能够准确揭示生态系统健康状况变化的空间差异，而且可以反映确定位置的生态系统健康状态变化特征。

从评价结果来看，兰陵溪小流域生态系统健康状态在 2002—2009 年间明显改善，“一般”健康状态以上的土地覆盖面积比例显著增加(表 5)。

3 讨论

了解小流域生态系统健康状态是开展小流域或更高尺度生态系统管理的前提。本研究以兰陵溪小流域为例，构建了基于 Fishnet 网格的小流域生态

系统健康评价体系。该小流域健康评价指标体系以压力-状态-响应模型为基础,通过专家咨询法和层次分析法确定评价指标和权重,所选出的 12 个指标具有系统性、独立性和可操作性,能够系统地反映小流域生态系统健康状态。基于规则化的 Fishnet 评价单元,实现健康评价结果的可视化表达,可直观表达健康状态的空间分异。模型中各评价指标均可通过易于获取的社会经济发展统计数据或遥感数据获取,实现了可操作性与数据可靠性的有机结合。研究结果也证实了该评价体系的可行性和可靠性,且评价结果能直观反映流域生态系统健康状况的空间特征。

本研究结果揭示出 Fishnet 网格大小和精度对评价结果具有重要影响,因此,数据精度决定了小流域乃至区域生态评价的可靠性^[20]。网格单元划分越细致,评价精度越高,但同时数据收集与处理的难度增加,因此,网格大小需充分考虑到研究区规模、景观粒度特征、主要生态过程及数据精度等。同时,评价指标的筛选必须充分考虑到小流域主要生态环境压力、生态系统状态及其响应特征等因素,选择具有内容系统、相对独立、易于获取数据的指标。但由于难以获取实测数据,本研究对部分面源数据进行的栅格化处理可能对评价精度产生一定影响。

尽管研究结果揭示了兰陵溪小流域生态系统健康的相对状态,但真实生态系统健康的阈值选择仍有待进一步研究。由于生态健康评价指标体系和标准仍缺乏统一认识,实际研究中一般采用相对评价法比较研究区内不同单元的健康状态差异,其评价结果仅反映评价对象在小流域范围内的相对健康状况,不能定量反映实际状态。因此,完善健康评价方法,确定小流域健康等级划分标准是流域健康评价研究亟待解决的问题。

流域尺度是生态学理论研究和实际应用相结合最适宜的“实验地”^[21-22]。在全球生态环境恶化,严重威胁人类生存之际,开展小流域健康评价研究有利于生态学理论和应用的发展^[23]。本研究主要侧重于基于 GIS 的 Fishnet 网格方法在流域生态系统健康评价中的应用,基本实现了小流域健康评价指标的数据源网格化,没有系统研究利用数学模型实现评价指标的数据源的网格化技术,因此,今后还需要探索适合于各类指标的数据源网格化技术,使小流域健康评价更具科学意义及推广价值。

参 考 文 献

- [1] MCMICHAEL A J, BOLIN B, COSTANZA R, et al. Globalization and the sustainability of human health: an ecological perspective [J]. *Bioscience*, 1999, 49: 205-210.
- [2] RAPPORT D J, COSTANZA R, MCMICHAEL A J. Assessing ecosystem health [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1998, 13(10): 397-402.
- [3] COSTANZA R. Ecosystem health and ecological engineering [J]. *Ecological Engineering*, 2012, 45: 24-29.
- [4] PAGE T. Environmental existentialism [M]//COSTANZA R, NORTON B G, HASHELL B D. *Ecosystem health: new goals for environmental management*. Washington D C: Island Press, 1992: 97-123.
- [5] MAGEAU M T, COSTANZA R, ULANOWICZ R E. The development and initial testing of a quantitative assessment of ecosystem health [J]. *Ecosystem Health*, 1995, 1(4): 201-213.
- [6] BUNN S E, ABAL E G, SMITH M J, et al. Integration of science and monitoring of river ecosystem health to guide investments in catchment protection and rehabilitation [J]. *Freshwater Biology*, 2010, 55(s1): 223-240.
- [7] 郭秀锐. 城市生态系统健康评价——以广州市为例 [D]. 北京: 北京师范大学图书馆, 2003.
- [8] 孔红梅, 赵景柱, 吴钢, 等. 生态系统健康与环境管理 [J]. *环境科学*, 2002, 23(1): 1-5.
- [9] 袁兴中, 刘红, 陆健. 生态系统健康评价——概念构架与指标选择 [J]. *应用生态学报*, 2001, 12(4): 627-629.
- [10] 马克明, 孔红梅, 关文彬. 生态系统健康评价方法与方向 [J]. *生态学报*, 2001, 21(12): 2106-2116.
- [11] 程建权. GIS 技术支持多指标综合评价 [J]. *系统工程*, 1997, 15(5): 50-56.
- [12] 范一大, 史培军, 辜智慧, 等. 行政单元数据向格网单元转化的技术方法 [J]. *地理科学*, 2004, 24(1): 105-108.
- [13] 田光进. 基于遥感与 GIS 的 90 年代中国城乡居民点用地时空特征研究 [D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2002.
- [14] 王耕, 王伟. 基于 GIS 格网技术的流域生态安全可视化评价 [J]. *大连理工大学学报*, 2006, 46(5): 667-671.
- [15] 赵申申, 王混, 孙根行, 等. 基于 GIS 和 RS 的土壤侵蚀监测研究——以青海省乐都县为例 [J]. *中国水土保持*, 2009(11): 27-28, 55.
- [16] 麦少芝, 徐颂军, 潘颖君. PSR 模型在湿地生态系统健康评价中的应用 [J]. *热带地理*, 2005, 25(4): 317-320.
- [17] 刘建军, 李春来. 基于遥感和 GIS 的巢湖流域人口信息提取 [J]. *科学通报*, 2002, 47(23): 1835-1837.
- [18] 吕安民, 李成名, 林宗坚. 面积内插算法初探 [J]. *测绘通报*, 2002, 24(1): 44-46.
- [19] 罗治敏. 基于遥感信息的流域生态系统健康评价——以三峡库区大宁河流域为例 [D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2006.

- [20] 林文鹏. 遥感影像屏幕数字化提取土地利用现状信息[J]. 地矿测绘, 2001, 17(4): 12-14.
- [21] 李春晖, 崔崑, 庞爱萍, 等. 流域生态健康评价理论与方法研究进展[J]. 地理科学进展, 2008, 27(1): 9-17.
- [22] 邓红兵, 王庆礼, 蔡庆华. 流域生态学——新学科、新思想、新途径[J]. 应用生态学报, 1998, 9(4): 443-449.
- [23] 尚宗波, 高琼. 流域生态学——生态学研究的一个新领域[J]. 生态学报, 2001, 21(3): 468-473.

Fishnet grid based construction of health evaluation system of Lanlingxi small watershed ecosystem

SU Yi¹ TENG Ming-jun² XIAO Wen-fa² HUANG Zhi-lin²
LEI Jing-pin² ZENG Li-xiong² WANG Peng-cheng¹

1. *College of Horticultural and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*

2. *Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration / Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China*

Abstract Quantitatively evaluating the ecological health of a small watershed is a basis of carrying out scientific planning of ecology and formulating scheme of practicable treatment. The small watershed of Lanlingxi was selected as an example and pressure-state-response model was used to systematically study the indicator composition of health assessment system, screening of indicators, determination of weight, processing of grid data, establishment of source database of evaluation indicator, determination of health evaluation model, and health grading based on Fishnet grid. Results showed that the model integrated twelve independent factors into health assessment of ecosystem. The methods could achieve combined application of statistic data and natural data of geographical element, and enhance the accuracy of health assessment of small watershed ecosystem and reflect the differentiation characteristics of health status of assessment units. It will provide theoretical and technical foundation for the health assessment of small watershed ecosystem.

Key words Fishnet grid; health assessment; indicator system; ecosystem health mapping; small watershed of Lanlingxi

(责任编辑: 张志钰)