

## 小流域生态安全景观指标的提取方法研究

田静毅<sup>1,2</sup>, 王立新<sup>2</sup>, 王继彬<sup>2</sup>

(1. 吉林大学 环境资源学院, 长春 130026; 2. 中国环境管理干部学院, 河北 秦皇岛 066004)

**摘要:**景观指标是生态安全指标的重要组成部分,以小流域为单元的生态安全景观指标体系的构建以及指标提取方法是区域生态安全评价的基础。基于GIS、景观结构分析软件fragstats,制作了小流域土地覆盖景观图。基于数字地形技术实现了小流域的划分,提取了秦皇岛市84个小流域的生态安全景观指标。对小流域土地覆盖景观制图、小流域生态安全评价景观指标体系的构建和提取方法进行了探索。

**关键词:**小流域;景观指标;生态安全;GIS and fragstats

**中图分类号:**P208

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2007)05-0040-03

## The Extraction Methods of Ecological Security Landscape Metrics in Small Watershed

TIAN Jing-yi<sup>1,2</sup>, WANG Li-xin<sup>2</sup>, WANG Ji-bin<sup>2</sup>

(1. College of Environmental and Resource, Jilin University, Changchun 130026, China;

2. Environmental Management College of China, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

**Abstract:** Qinhuangdao is selected as study area. The establishment and extraction methods of ecological security landscape metrics system of small watershed are very important. The land cover landscape maps of small watersheds are compiled based on the land use interpreted from Landsat ETM+ images in 2002. The landscape metrics system is an important part of the ecological security indicator system. Based on GIS and landscape software fragstats, the ecological security landscape metrics of small watersheds were extracted. The establishment and extraction methods of ecological security landscape metrics system of small watershed were studied.

**Key words:** small watershed; landscape metrics; ecological security; GIS and fragstats

景观格局与生态过程的相互作用是景观生态学研究的核心内容。景观斑块的形状、面积、数量和空间组合与景观中的物种分布、水土流失等生态过程密切相关<sup>[1,2]</sup>。使用景观指标定量分析景观结构特征和变化的理论、方法和应用研究是景观生态学研究的核心<sup>[3]</sup>。将地理信息系统与景观格局分析软件相结合以定量研究景观格局是当前的新趋势<sup>[4]</sup>。

### 1 小流域生态安全景观指标的建立

生态安全的核心内容包括3个方面:一是生态健康,是指一个生态系统所具有的稳定性和可持续性。生态系统健康可以通过活力、组织结构和恢复力3个特征来定义。二是生态风险,指特定生态系统中所发生的非期望事件的概率和后果,取决于生态系统或环境自身的脆弱性<sup>[5]</sup>。三是生态系统的服务功能,指生态系统结构是否合理及完整。人类的活动导致了景观的变化,如植被的演替、城市空间的扩展、土地覆盖变化等。景观结构的稳定性是生态安全的基础。景观的稳定性包括2个方面的含义:一是景观保持现有状态的能力,即抗干扰能力;二是系统受干扰后的恢复能力。从概念上我们看到,景观结构的稳定性是生态安全的必要条件,因此,景观结构指标是区域生态安全评价体系的重要指标因子群组。根据生态

安全的概念和景观指标生态学意义,研究选取了高生态功能景观指标、蔓延度指数、景观丰度、多样性指数、生态弹性度、人类干扰指数作为小流域生态安全景观指标。

### 2 景观指标模型

#### 2.1 高生态功能景观指标

高生态功能景观斑块,是指在区域生态系统和生态环境中发挥重要保护作用和服务功能的景观斑块。研究表明,高生态功能景观对维持景观的稳定,抗干扰力具有至关重要的作用,因而,高生态功能景观指数是评价生态安全的重要景观指标。高生态功能景观斑块包括有林地和高覆盖草地2种类型的景观斑块。研究选取了高生态功能景观的平均斑块面积、面积比例、破碎度、面积加权的平均形状因子4个指标。

##### 2.1.1 高功能景观平均斑块面积

$$MPS_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{N_i} \left( \frac{1}{1000} \right) \quad (1)$$

式中:  $MPS_i$  ( $MPS_i \geq 0$ )——某类斑块平均面积;  $N_i$ ——第  $i$  类景观要素的斑块总数量(下同);  $a_{ij}$ ——第  $i$  类景观要素的第  $j$  个斑块的面积(下同),单位:  $hm^2$ 。

收稿日期:2006-07-22

基金项目:河北省技术研究与发展项目(04276905);河北省教育厅自然科学基金项目(2004469)

作者简介:田静毅(1965—),女,副教授,博士,主要从事生态环境评价研究。

高功能斑块平均面积  $MPS$  是景观中高功能景观要素斑块面积的算术平均值,反映了该类景观要素斑块规模的平均水平,用于描述景观粒度,在一定意义上揭示景观破碎化程度。一般来说,斑块中的能量和矿物养分的总量与其成正比,物种多样性和生产力水平也随其增加而增加。

### 2.1.2 高功能景观斑块的面积比例

$$PLAND = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{A} \quad (100) \quad (2)$$

式中: $A$ ——景观总面积。 $PLAND(0 < PLAND \leq 100)$ 等于某一斑块类型的总面积占整个景观面积的百分比。其值趋于0时,说明景观中此斑块类型变得十分稀少;其值等于100时,说明整个景观只由一类斑块组成。

$PLAND$  度量的是景观的组分,用它计算高功能生态景观占整个景观面积的相对比例,是决定景观中的生物多样性、优势种和数量等生态系统指标的重要因素。

### 2.1.3 高功能景观破碎度指数

$$F_1 = MPS \times (N_f - 1) / A \quad (3)$$

式中: $F_1(0 < F_1 < 1)$ ——重要生态功能景观斑块的破碎度指数; $N_f$ ——重要生态功能景观斑块的斑块数; $A$ ——景观总面积<sup>[5]</sup>(下同)。

景观破碎度是指景观被分割的破碎程度,其值越小,景观破坏程度越高,是描述景观异质性和景观稳定性的一个重要指标。生境破碎化,尤其是高功能景观破碎化与自然保护密切相关,许多濒危物种需要大面积的自然生境才能保证生存,景观破碎化是生物多样性丧失的一个最主要原因<sup>[6]</sup>。

### 2.1.4 高功能景观面积加权的平均形状指数

$$AWMSI_i = \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \left( \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right] \quad (4)$$

$AWMSI_i(AWMSI \geq 1)$ 等于某斑块类型中各个斑块的周长与面积比乘以各自的面积权重之后的和。公式表明面积大的斑块比面积小的斑块具有更大的权重。当  $AWMSI = 1$  时说明所有的斑块形状为最简单的方形,当  $AWMSI$  值增大时说明斑块形状变得更复杂,更不规则。 $AWMSI$  是度量景观空间格局复杂性的重要指标之一,对生物的扩散、动物的迁移和觅食以及物质和能量的迁移等生态活动具有重要的影响。斑块形状最重要的生态学特征是边缘效应<sup>[7]</sup>。

### 2.2 蔓延度指数

$$CONTAG = \left[ 1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[ \left( P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \ln \left( P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln m} \right] \quad (100) \quad (5)$$

$CONTAG(0 < CONTAG \leq 100)$ 。 $g_{ik}$ ——斑块类型  $i$  和斑块类型  $k$  之间所有邻接的栅格数目(包括景观  $i$  中所有邻接的栅格数目); $p_i$ ——景观类型  $i$  的景观百分比; $m$ ——景观中所有类型的数目(下同)。

$CONTAG$  以栅格邻接为基础,概括景观里不同斑块类型的团聚程度信息。蔓延度值受到斑块间散布和分散程度的影

响,一般来说,高蔓延度值说明景观中的某种优势斑块类型形成了良好的连接性;当景观类型分散程度越大,蔓延度的值越小。Graham 等<sup>[8]</sup>曾用蔓延度指标进行生态风险评估。

### 2.3 景观丰度

$$PR = m \quad (6)$$

$PR(PR \geq 1)$ 等于景观中所有斑块类型的总数。

$PR$  是反映景观组分以及空间异质性的关键指标之一,并对许多生态过程产生影响。在景观中,景观丰度和物种丰度之间存在很好的正相关<sup>[9]</sup>,特别是对于那些生存需要多种生境条件的生物来说  $PR$  就显得尤其重要<sup>[10]</sup>。

### 2.4 多样性指数

这里我们采用 Shannon 多样性指数( $SHDI$ ):

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i) \quad (7)$$

$SHDI(SHDI \geq 0)$ 在景观级别上等于各斑块类型的面积比乘以其值的自然对数之后的和的负值。 $SHDI = 0$  表明整个景观仅由一个斑块组成; $SHDI$  增大,说明斑块类型增加或各斑块类型在景观中呈均衡化趋势分布。

$SHDI$  是斑块的丰富度和面积分布均匀程度的综合反映,当不同斑块类型即斑块丰富度增加或者不同斑块面积分布越均匀的时候, $SHDI$  的值也相应增加。 $SHDI$  对景观中各斑块类型非均衡分布状况较为敏感,即强调稀有斑块类型对信息的贡献,这也是与其它多样性指数不同之处。一般认为,景观多样性导致景观稳定性。景观生态学中的多样性与生态学中的物种多样性有紧密的联系,一般呈正态分布<sup>[10]</sup>。

表1 秦皇岛市景观生态弹性度赋值表

斑块类型	景观编码	分值
高功能景观	1	0.9
水田	2	0.85
旱地	3	0.8
林地	4	0.7
草地	5	0.6
水域	6	0.4
湿地	7	0.4
建设用地	8	0.3
未利用土地	9	0

### 2.5 生态弹性度

在生态安全评价中,我们比较关注的是生态弹性限度。生态环境限度主要反映生态系统缓冲和调节能量的大小<sup>[11]</sup>。对于复合生态系统,更为准确的方法是通过生态系统的景观结构来判断弹性度的大小。构建生态弹性度模型:

$$E = \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} V_i \right) / A \quad (8)$$

式中: $E(0 \leq E < 1)$ ——生态弹性限度; $V_i$ ——第  $i$  类景观的弹性分值,根据生态弹性度的意义、研究区的生态环境特征和专家打分的方法,确定了秦皇岛市景观生态弹性分值,见表1。 $E$  值越大,表明系统的生态弹性限度越高。

### 2.6 人类干扰指数

$$R = \sum_{i=1}^R PLAND_i \quad (9)$$

式中: $PLAND_i$ ——第  $i$  类人为干扰景观面积比例; $R$ ——人

为干扰景观类型最大数目。本研究采用水田、旱地和建设用地面积比例之和。

人类干扰指数反映人类为了自己的生存对生态环境系统的干扰强度,为景观中的人为干扰景观面积与景观面积之比。

表 2 秦皇岛市土地覆盖景观斑块分类

斑块类型	景观编码	土地利用二级分类
高功能景观	1	21—有林地,31—高覆盖度草地
水田	2	11—水田
旱地	3	12—旱地
林地	4	22—灌林地,23—疏林地,24—其它林地
草地	5	32—中覆盖度草地,33—低覆盖度草地
水域	6	41—河流,42—湖泊,43—坑塘
湿地	7	45—滩涂,46—滩地,64—沼泽地
建设用地	8	51—城镇用地,52—农村居民点,53—工交建设用地
未利用土地	9	61—沙地,63—盐碱地,65—裸土地,66—裸岩石砾地

### 3 土地覆盖景观制图

地球表层或者特定区域都是由各类景观单元组成的空间镶嵌体。在景观格局研究中,常常把镶嵌体类型视为土地利用类型,也就是说用一定级别的土地覆盖类型表述景观中的镶嵌体类型。因此,在景观生态学中空间镶嵌体与土地利用

用/土地覆盖类型可视为同义语,景观空间格局亦即为土地利用/土地覆盖空间格局。首先,在 ARC/INFO 中,基于水文分析模块,利用 1:5 万 DEM 数据将秦皇岛市分割为 84 个小流域(小流域的平均面积为 93 km<sup>2</sup>)。通过 2002 年 ETM+ 遥感影像数据解译得出的土地覆盖图基础上,归纳为 9 种景观斑块类型,见表 2。生成 Coverage 格式的土地覆盖景观生态图,将之与小流域的 Coverage 叠加形成一个新的具有景观类型属性和小流域属性的 Coverage 文件,实现提取秦皇岛市以及各小流域的土地覆盖景观各类型的斑块数、各类斑块面积、周长等数据。

### 4 小流域景观指数的提取

#### 4.1 文件的批处理

在 ARC/INFO 中把 Coverage 格式的土地覆盖景观生态图转化为 25 m×25 m 的 grid 文件,并按照小流域矢量图将其划分为 84 个小流域土地覆盖景观分类 grid 文件。利用 Fragstats 软件的批处理文件功能把所有的批处理文件都加到编辑器的框里,然后保存为扩展名是 \*.fbi 的批处理文件。

#### 4.2 提取景观指数

设置正确的参数,以获取研究需要的景观指数,并把该设置模式保存为 \*.frg 文件下来。然后,执行运行命令,即可获取 84 个小流域的景观指数,见表 3。

表 3 2002 年秦皇岛市小流域生态安全景观指标计算(部分流域)

ID	F1	PLAND	AWMSI	MPS	CONTAG	SHDI	PR	E	R
1	0.0031	0.6142	14.0898	14.0313	88.9577	0.3364	6	0.0561	2.7044
2	—	—	—	—	85.3522	0.3858	5	0.0772	9.2917
3	0.0213	2.2816	28.2398	20.9750	65.5930	1.0191	6	0.1699	12.8821
4	0.0386	4.1538	41.4277	15.0223	67.0386	0.7512	4	0.1878	9.0495
5	0.0007	0.0986	2.8221	1.2188	65.8083	1.0307	6	0.1718	16.9365
6	—	—	—	—	63.2093	0.8292	4	0.2073	12.7455
7	0.0077	0.8763	19.8470	13.4297	75.0932	0.7541	6	0.1257	9.7646
8	0.0226	3.3893	30.4710	21.2917	60.1263	1.0636	5	0.2127	28.0096
9	0.0098	1.1446	12.4803	6.9286	64.8631	1.1490	7	0.1641	26.2678
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
84	—	—	—	—	72.7510	0.7408	5	0.0629	0.8121

### 5 结 语

研究基于 GIS 技术,采用与 GIS 高度集成的景观格局分析软件 FRAGSTATS,以秦皇岛市为例,提取了小流域生态安全评价中所需的景观指标。对小流域景观制图、小流域生态安全评价景观指标体系的建立和提取方法进行了探索,案例效果令人满意,为区域生态安全评价奠定了基础。

#### 参考文献:

- [1] Forman R T T. Land Mosaics: the Ecology of Landscape and Region[M]. Cambridge: Cambridge and University Press, 1995. 36.
- [2] Forman R T T, Gordon M. Landscape Ecology [M]. New York: John Wiley & Sons, 1986. 18—20.
- [3] 卢玲,李新,程国栋,等.黑河流域景观结构分析[J].生态学报,2001,21(8):1218—1225.
- [4] 角媛梅,马明国,肖笃宁.黑河流域中游张掖绿洲景观格局研究[J].水土保持,2003,25(1):94—99.
- [5] 王根绪,程国栋,钱鞠.生态安全评价研究中的若干问

题[J].应用生态学报,2003,14(9):1552—1556.

- [6] 刘茂松,张明娟.景观生态学—原理与方法[M].北京:化学工业出版社,2004.29—59.
- [7] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等.景观生态学原理及应用[M].北京:科学出版社,2004.237—266.
- [8] Graham E J, Hunsaker C T, O'Neill R V, et al. Ecological risk assessment at the regional scale[J]. Ecological Application, 1991, 1: 196—206.
- [9] Mc Garigal K, McComb W C. Relationship between landscape structure and breeding birds in the Oregon Coast Range[J]. Ecol. Monogr., 1995, 65(3): 235—260.
- [10] MacArthur R H, Wilson E O. The Theory of Island Biogeography [M]. Princeton: Princeton University Press, 1967. 203.
- [11] 傅伯杰,陈利顶.景观多样性的类型及其生态意义[J].地理学报,1996,51(5):454—462.
- [12] 高吉喜.可持续发展理论探索—生态承载力理论、方法与应用[M].北京:中国环境出版社,2001.12—27.