

# 基于 RS 与 GIS 的封育植被景观镶嵌结构研究 ——以皇甫川流域五分地沟试验区为例

黄和平<sup>1,2</sup>, 杨劼<sup>1</sup>, 龚建周<sup>1,3</sup>

(1. 内蒙古大学 省部共建国家重点实验室培育基地——内蒙古草地生态学实验室, 内蒙古 呼和浩特 010021;  
2. 南京大学 环境学院, 江苏 南京 210093; 3. 中山大学 环境科学与工程学院, 广东 广州 510275)

**摘要:** 以皇甫川流域五分地沟试验区为背景, 以 RS 和 GIS 为技术手段, 运用多样性指数、优势度、均匀度、破碎度、分离度等指标研究其景观镶嵌结构的数量特征。运用分形理论和相关数量化方法建立各种景观类型形态的分形结构模型, 以分维数为依据分析各种景观形态的复杂性。结果表明: (1) 草原景观在其斑块数和面积上虽然仍居首要地位, 但其优势并不十分明显, 而且该区原生植被本氏针茅草原只占很小的比重, 呈现出非常明显的人类干扰特征; (2) 研究区斑块的多样性程度和均匀度较高, 而面积的多样性程度和均匀度较低, 同时, 典型草原的景观破碎度最大, 景观分离度也最大; (3) 景观形态上, 人工乔木林和耕地的景观形态最为简单, 典型草原和人工灌丛这 2 种景观类型还处于很不稳定的阶段。可以认为, 由于研究区的人为干扰比较大, 景观结构还不尽合理, 因而其原生植被景观的恢复还需要一段较长的时期。

**关键词:** 景观镶嵌结构; 分形; 封育植被; 数量特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)04-0028-05

中图分类号: Q948.158

## Mosaic Structure for Closely Cultivated Vegetation Landscape Using GIS and RS —Taking Wufendigou Experimental Area in Huangfuchuan Basin as an Example

HUANG He-ping<sup>1,2</sup>, YANG Jie<sup>1</sup>, GONG Jian-zhou<sup>1,3</sup>

(1. The Cultivation Base For the State Key Laboratory—Inner Mongolia Grassland Ecology Laboratory, Inner Mongolia University, Huhhot, Inner Mongolia 010021, China; 2. School of Environment, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China; 3. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China)

**Abstract:** Based on the applications of GIS and RS and the indices such as diversity, dominance, evenness, fragmentation, isolation, etc., the landscape mosaic structure of Wufendigou experimental area in Huangfuchuan basin was studied. In terms of fractal dimension, the complexity of all landscape types was analyzed by constructing the fractal structure model of all landscape types and through using fractal theory and concerned quantitative methods. The steppe landscape is dominant but not apparent in its patch and area, and the percentage of the original vegetation of *Stipa bungeana* steppe is very low in the study area, which is apparently characterized by human disturbance. The diversity and evenness of patches in the study area are higher than those of the steppe landscape area, and the fragmentation and the isolation of the steppe are the highest. The landscape shapes of artificial arbor woods and cultivated lands are the simplest, and the landscape shapes of classical steppe and artificial shrub are in an unstable stage. From above results, we can conclude that it will spend a long time to restore original vegetation in the study area because of the strong disturbance and the unreasonable landscape structure.

**Keywords:** landscape mosaic structure; fractal; closely cultivated vegetation; quantitative characteristics

景观是由一系列不同土地单元或生态系统镶嵌构成的具有明显视觉特征的地理实体<sup>[1]</sup>, 它是生态学与地理学研究的对象<sup>[2]</sup>。地理学主要强调景观的空间性、区域性和综合性, 而生态学则主要强调其异

质性、物质性和视觉性<sup>[3]</sup>。在一个特定地域空间上, 各种景观相互交错, 重复出现, 嵌套分布, 就形成了一个景观镶嵌体<sup>[4]</sup>。景观镶嵌体的结构、功能及其演化规律, 是景观生态学研究的核心问题<sup>[1-10]</sup>。

收稿日期: 2005-12-29

资助项目: 内蒙古自然科学基金重大项目(200408020501); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-04-0260); 国家自然科学基金(30060018)

作者简介: 黄和平(1968—), 男(汉族), 江西人, 博士研究生, 主要从事草地生态学和生态系统管理的研究。电话(025)83595092, E-mail: hphuang2004@163.com。

通讯作者: 杨劼(1965—), 女(蒙古族), 内蒙古呼和浩特人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为植被生态学和景观生态学。电话(0471)4992531, E-mail: jyang@imu.edu.cn。

植被景观是陆地上比较普遍的景观镶嵌体,其结构、功能及其演化过程,极大地影响物种多样性及其格局的变化发展,并对水文、沉积物的产生、野生动物、河流生境、土地利用规划和控制水土流失都会产生累积效应<sup>[11]</sup>。因此,从景观的角度研究封育植被具有重要意义。

皇甫川流域是黄河中游典型的砒砂岩分布区,位于半干旱气候条件下的农牧交错带。流域内砒砂岩大面积裸露,原始植被破坏殆尽,水土流失十分严重<sup>[12]</sup>。由此而带来生物多样性大量丧失,人类社会赖以生存和发展的环境受到威胁。近25a来,皇甫川流域开展了大规模的水土保持治理工作,水土流失综合治理成绩显著,植被状况得到明显改善<sup>[13-14]</sup>。

本文基于2002年Ikonos遥感影像图,从小尺度景观角度,运用有关数量分析方法和分形理论,研究该区封育植被景观镶嵌结构的数量特征及分形特征,以期对研究区生态环境建设和生态系统管理提供参考依据。

## 1 区域背景

皇甫川是黄河中游的一级支流,发源于鄂尔多斯高原与黄土高原的过渡地带,在陕西省境内注入黄河,是一条典型的半干旱区河流,位于北纬39°12′—39°54′、东经110°18′—111°12′之间。皇甫川由纳林川和十里长川2大支流组成,整个流域面积为3246 km<sup>2</sup>,其中大部分位于内蒙古准格尔旗境内,面积2798 km<sup>2</sup>,占86.2%,达拉特旗境内33 km<sup>2</sup>,约占1%,陕西省府谷县境内415 km<sup>2</sup>,占12.8%。

本文研究的五分地沟试验区是国家黄土高原11个造林示范区之一,面积4.18 km<sup>2</sup>,位于皇甫川流域2大支流之一——长川中游东岸,东经111°07′,北纬39°45′,平均海拔1130 m。年均温6.2℃,年均降水量369 mm,6—9月降水量占80%,年均蒸发量2040 mm。主体地貌为小流域沟壑丘陵,地形坡度平缓,平均为15.4°。土壤主要由3大类型组成,以砒砂岩为母质的栗钙土面积最大,占44.5%;风沙土占42.2%;以黄土为母质的黄绵土和黄土占13.3%。1978年以来,开始造林种草实验,目前各类林地和草地面积的覆盖率占实验区总面积的66%。主要植被覆盖类型有人工油松(*Pinus tabulaeformis*)林、人工小叶杨(*Populus simonii*)林及沙柳(*Salix psammophyla*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana intermedia*)等人工灌木林和本氏针茅(*Stipa bungeana*)、百里香(*Thymus serpyllum*)草原等天然植被。

## 2 研究方法

### 2.1 研究资料与技术路线

(1) 研究资料。<sup>①</sup>由记录在高密度磁带HDTs (high-density tapes)上的卫星图像信息数据通过在遥感图像处理系统中处理输出的2002年Ikonos影像图(4, 3, 2波段合成并与8波段融合处理,分辨率1 m);<sup>②</sup>1:10 000地形图(1998年版)。

(2) 技术路线。<sup>①</sup>结合研究区生态环境背景,用ikonos遥感影像,经过判读和解译,划分景观类型,划分依据主要采用植被生态类型为主要景观斑块的景观生态类型分类系统<sup>[24]</sup>。<sup>②</sup>据遥感影像和1:10 000地形图,对研究区植被现状进行实地调查,现场调绘各种景观类型斑块;<sup>③</sup>将各种影像与图形资料(包括遥感影像、地形图、现场调绘资料及来源的图形资料)数字化;<sup>④</sup>运用Arcview等软件,通过遥感影像纠正、地图配准、栅格—矢量数据格式转换、属性数据输入、建立拓扑关系等程序,建立空间数据库和属性数据库;<sup>⑤</sup>基于以上数据库,运用有关数量分析方法研究区域景观镶嵌结构的数量特征,运用分形结构模型研究各种景观类型分布形态的分形特征。

### 2.2 研究方法

2.2.1 景观镶嵌结构的数量特征 在景观格局分析方面,国内外学者已经提出了许多定量指标,包括景观组分斑块特征和景观类型多样性指数特征。在参考有关文献<sup>[8-10, 15-17]</sup>的基础上,结合该区特点与研究的空间尺度,按照上面提取的空间数据库和属性数据库,选用斑块大小(Patch area)、斑块数(Patch number)、斑块密度(Patch density)、景观多样性(Diversity)、优势度(Dominance)、均匀度(Evenness)、破碎度(Fragmentation)、分离度(Isolation)等指标对该区景观镶嵌结构进行定量化描述,其中后5个指数的计算公式如下。

(1) 多样性指数。是对景观类型丰富程度和均匀程度的综合描述,其计算公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (1)$$

式中:  $s$ ——景观类型数目;  $P_i$ ——第  $i$  类景观面积占景观总面积的比重,即计算结果为景观面积的多样性,  $P_i$  为第  $i$  类景观斑块数占总斑块数的比重,即计算结果为景观斑块数的多样性,以下多样性指数均为以上两种类型;  $H$ ——景观多样性指数。 $H$  值越大,表示景观类型越丰富,景观类型的多样性越大。

(2) 优势度。用于测度景观镶嵌结构中一种或少数几种景观类型占据支配地位的程度,其公式为:

$$D = \ln s + \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (2)$$

式中:  $s$  与  $P_i$  的意义与(1)式中相同;  $D$  —— 优势度。 $D$  值越大, 就表示景观结构受一种或少数几种景观类型支配的程度越大。

(3) 均匀度。用于测度景观斑块的均匀程度, 其计算公式为:

$$E = H / \ln s \quad (3)$$

式中:  $H$  —— 多样性指数;  $s$  的意义与(1)式中相同。 $E$  越大, 表示景观斑块越均匀。

(4) 破碎度。单位面积内的斑块数测度, 即斑块密度, 它表示景观斑块的破碎程度, 其计算公式为:

$$F = \sum_{i=1}^s n_k / A \quad (4)$$

式中:  $s$  的意义与(1)式中相同;  $n_k$  —— 第  $k$  类景观类型的斑块数;  $A$  —— 景观总面积;  $F$  —— 破碎度。 $F$  越大, 表示景观斑块越破碎。

(5) 分离度。反映的是区域景观镶嵌体中同一景观类型的不同斑块个体的分布情况, 其计算公式为:

$$I_k = \frac{1}{A_k/A} \sqrt{\frac{n_k}{A}} \quad (5)$$

式中:  $I_k$  —— 第  $k$  中景观类型的分离度;  $n_k$  和  $A$  的意义与(4)式中同;  $A_k$  —— 第  $k$  种景观类型面积。

对于一种景观类型而言, 它的分离度表示该景观类型被其它类型或廊道 (Corridor) 切断和分离的程度。也就是说, 如果某种景观类型的分离度越大, 就表示该种景观类型的斑块越分散<sup>[18]</sup>。

2.2.2 景观形态的分形特征 研究表明, 景观镶嵌体是自然界中最典型的分形几何体<sup>[16-17, 19-21]</sup>。对于其中各景观类型的形态结构, 可以运用分形理论进行量化研究。

Mandelbrot 在研究分形几何体的形态结构时, 建立了如下模型<sup>[22]</sup>:

$$[S(r)]^{\frac{1}{D}} \sim [V(r)]^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

式中:  $S(r)$  —— 表面积;  $V(r)$  —— 体积;  $r$  —— 度量尺度;  $D$  —— 分形维数 (Fractal dimension), 即分维值。

董连科应用(6)式推导出了适合于  $n$  维欧氏空间的分形结构模型<sup>[23]</sup>:

$$[S(r)]^{\frac{1}{D_{n-1}}} = kr^{(n-1-D_{n-1})/D_{n-1}} [V(r)]^{\frac{1}{n}} \quad (7)$$

在(7)式中, 令  $n = 2$ , 便得到 2 维欧氏空间中的分形结构模型:

$$[P(r)]^{1/D_1} = kr^{(1-D_1)/D_1} [A(r)]^{1/2} \quad (8)$$

式中:  $P(r)$  —— 周长;  $A(r)$  —— 面积;  $k$  —— 常数;  $D_1$  —— 二维欧氏空间中的分形维数。

为了计算某种景观类型的分维值, 对(8)式作对数变换, 就得到:

$$\ln A(r) = \frac{2}{D_1} \ln P(r) + C \quad (9)$$

这样, 对于某一种景观类型, 只要根据各个斑块的面积与周长数据, 建立形如(9)式的回归模型就可以得到回归系数  $2/D_1$ , 这样就求出了该景观类型的分形维数  $D_1$ 。 $D_1$  的大小表示了该景观类型的复杂性与稳定性,  $D_1$  的理论值范围在 1~2 之间, 它越大, 就表示该景观类型越复杂;  $D_1 = 1$ , 则表示景观斑块的形状为正方形;  $D_1 = 2$ , 则表示景观斑块的形状最复杂;  $D_1 = 1.50$ , 则表示该景观类型处于一种类似于布朗运动的随即状态, 即最不稳定状态;  $D_1$  越接近 1.5, 表示该景观类型越不稳定<sup>[23]</sup>。另外, 用分维数  $D_1$  可以比较不同景观要素的格局特征, 确定不同生态因子对景观格局的影响, 若 2 种景观要素具有相同的分维数  $D_1$  时, 说明二者具有一致的格局<sup>[16]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 景观总体特征

通过调查, 结合上述研究方法和技术路线, 采用数量分类和传统分类相结合的方法<sup>[11]</sup>, 将该区的封育植被景观及少量其它景观从微观的尺度划分为典型草原植被、人工灌丛、人工乔木林、耕地、其它 5 个大类 21 个覆盖类型景观要素, 并计算出各类型景观要素各种特征值, 如表 1 所示。

在研究区各景观大类中, 典型草原斑块数最多, 达到 93 个, 占研究区总斑块数的 31%, 其后依次是其它用地、人工灌丛、人工乔木林和耕地, 其斑块数依次为 68, 61, 44, 38, 分别占总斑块数的 23%, 20%, 15%, 12%。在典型草原中, 斑块数从少到多的顺序依次为: 本氏针茅+百里香(5)、百里香+牛枝子+隐子草(21)、改良草原(33)、牛枝子+隐子草+黄蒿(34)。说明该区经过 20 a 余的人工封育治理, 表现出向典型的暖温带草原这一地带性植被逐步过渡的特征, 但其原生植被本氏针茅草原仍然占很小的比重, 而牛枝子+隐子草+黄蒿撂荒地草原占了首要地位, 这恰恰说明了人类扰动的影响仍然比较强烈。在封育治理过程中, 由于大力营造小叶杨 (*Populus simonii*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*) 等乔木林和沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、柠条 (*Caragana intermedia*) 等灌木林, 因此造成了研究区人工林地和人工灌丛地斑块数也较多的特征。从面积上看, 典型草原和人工乔木林最大, 均占总面积的 28% 左右, 平均斑块面积也较大, 特别是人工乔木林, 平均斑块

面积达 2.63 hm<sup>2</sup>, 这主要是由于成规模造林的结果; 而人工灌丛面积最小, 只占总面积的 12% 左右, 甚至少于耕地面积, 平均斑块面积也只有 0.81 hm<sup>2</sup>, 这是

由于连续成片土地都已被开垦或被用于造林种树, 因而人工灌丛大部分只见于破碎的沟谷或坡度较大的山坡上。

表 1 研究区各类型景观要素数据统计

植被类型	植物群落类型	斑块数	占总斑块数比	面积/hm <sup>2</sup>	占总面积比	斑块平均面积/hm <sup>2</sup>	周长/m	斑块平均周长/m	占总周长比	斑块密度/(块·hm <sup>-2</sup> )	分离度
典型草原	本氏针茅+ 百里香	5	0.02	5.83	0.01	1.17	2976	595.2	0.01	0.0120	3.92
	百里香+ 牛枝子+ 隐子草	21	0.07	9.41	0.02	0.45	8803	419.2	0.04	0.0502	4.98
	改良草原	33	0.11	72.07	0.17	2.18	35427	1073.5	0.14	0.0789	0.81
	牛枝子+ 隐子草+ 黄蒿	34	0.11	29.10	0.07	0.86	20466	601.9	0.08	0.0813	2.05
	合计	93	0.31	116.41	0.28	1.25	67672	727.7	0.27	0.2225	17.31
人工灌丛	沙棘林	44	0.15	24.05	0.06	0.55	31971	726.6	0.13	0.1053	2.82
	羊柴林	1	0.00	0.15	0.00	0.15	185	185.0	0.00	0.0024	68.24
	柠条林	12	0.04	23.35	0.06	1.95	10221	851.7	0.04	0.0287	1.52
	玫瑰+ 沙棘林	4	0.01	2.28	0.01	0.57	1660	415.0	0.01	0.0096	8.97
	合计	61	0.20	49.68	0.12	0.81	43852	718.9	0.18	0.1459	14.02
人工乔木林	高郁闭度的杨树林	9	0.03	12.96	0.03	1.44	9495	1055.0	0.04	0.0215	2.37
	中、低郁闭度的杨树林	19	0.06	85.73	0.21	4.51	31362	1650.7	0.13	0.0455	0.52
	高郁闭度的油松林	8	0.03	5.01	0.01	0.63	3443	430.4	0.01	0.0191	5.77
	低郁闭度的油松林	6	0.02	8.31	0.02	1.38	3565	594.1	0.01	0.0144	3.01
	榆树林	1	0.00	1.18	0.00	1.18	479	478.8	0.00	0.0024	8.64
	果园	1	0.00	2.69	0.01	2.69	818	818.4	0.00	0.0024	3.80
	合计	44	0.15	115.88	0.28	2.63	49163	1117.3	0.20	0.1053	11.91
耕地	川台、沟坝地	3	0.01	18.95	0.05	6.32	4384	1461.3	0.02	0.0072	0.93
	坡耕地	32	0.11	41.53	0.10	1.30	20370	636.6	0.08	0.0766	1.39
	合计	35	0.12	60.48	0.14	1.73	24754	707.3	0.10	0.0837	10.62
其它	水域	4	0.01	2.46	0.01	0.61	2379	594.7	0.10	0.0096	8.31
	沟壑地	38	0.13	65.43	0.16	1.72	52722	1387.4	0.21	0.0909	0.96
	居民点	15	0.05	2.87	0.01	0.19	3465	231.0	0.01	0.0359	13.78
	新撂荒地	8	0.03	3.72	0.01	0.47	2820	352.5	0.01	0.0191	7.77
	风沙裸地	3	0.01	0.92	0.00	0.31	1316	438.6	0.01	0.0072	19.27
	合计	68	0.23	75.40	0.18	1.11	62701	922.1	0.25	0.1627	14.81
总计	301	1.00	418.0	1.00	1.39	248327	825.0	1.00	0.7201	31.15	

### 3.2 景观镶嵌结构的综合数量特征

为了揭示研究区域的景观镶嵌结构, 笔者运用上述公式(1) —(5) 计算了研究区的景观多样性指数、优势度、均匀度、破碎度及各景观类型的分离度, 结果见表 2 及表 1 的最后两列。

表 2 研究区景观多样性指数、优势度、均匀度及破碎度统计

项目	多样性指数	优势度	均匀度	破碎度/(块·hm <sup>-2</sup> )
面积	2.3828	0.6617	0.7827	0.7201
斑块	2.6149	0.4296	0.8589	

由表 2 知, 研究区内景观面积的多样性程度与景观斑块的多样性程度不同, 斑块的多样性程度和均匀

度较高, 而面积的多样性程度和均匀度较低, 说明景观的斑块分布比面积的分布均匀。同时, 面积的优势度较斑块的大, 这正好与景观多样性的情况相反。

破碎度用斑块数/总面积表示, 即斑块密度, 代表着景观被各种廊道( Corridor, 沟渠、道路等) 切割的程度<sup>[18]</sup>。显然, 研究区中典型草原的景观破碎度最大, 达 0.2225 块/hm<sup>2</sup>, 而耕地的破碎度最小, 只有 0.0837 个/hm<sup>2</sup>(表 1), 这与斑块数的特征是一致的, 说明人类开垦耕地的结果导致天然植被特别是典型草原的破碎化, 显示出人类干扰的明显特征。

对于一种景观类型而言, 其分离度表示该景观类型被其它景观类型或廊道切割和分离的程度。也就是说, 如果某种景观类型的分离度越大, 就表示该种

景观类的斑块分布越分散<sup>[18]</sup>。由表 1 的计算结果表明,耕地的分布最为集中,其次为人工乔木林,而典型草原的斑块分布最为分散,进一步说明了这些特征是人工干预的结果。

### 3.3 景观形态的分形特征

在 GIS 支持下,将地形图与景观类型分布图叠加,自动生成各种景观类型的面积和周长,利用公式(9)进行回归分析计算,再反算出分形维数  $D_1$ ,得到如表 3 所示的结果。

表 3 研究区不同植被类型的景观分形维数统计

植被类型	典型草原	人工灌丛	人工乔木林	耕地	其它
分形维数	1.4615	1.5240	1.2953	1.3292	1.5876

从表 3 可以看出,分形维数从小到大的顺序依次是:人工乔木林、耕地、典型草原、人工灌丛、其它,说明在人为干预下,人工乔木林和耕地的景观形态最为简单;而典型草原和人工灌丛的分形维数接近 1.5,表示该景观类型接近于一种类似于布朗运动的随即状态,即最不稳定状态,说明这 2 种景观类型还处于很不稳定的阶段<sup>[23]</sup>,说明本研究区的人工治理过程已处于关键阶段,仍需要加大力度,合理改善人类干预措施,引导代表当地植被类型的典型草原和人工灌丛更快恢复,使其景观形态向简单而又稳定的方向发展。其它类型景观由于水域、居民点及沟壑地等的零星分散性质使得其景观形态极为复杂。

由于本研究区生境条件的恶化,其气候具有过渡性质,成为许多种植物区系的交汇场所,后来经过封山育林及水土保持,形成了目前封育植被景观复杂的交错镶嵌格局。通过对其景观格局的分析,可看出本研究区原生植被景观的恢复还需要一段较长的时期。为提高植被群落的质量与生态功能,加速其进展演替过程,可在人为干预下,大力培植本土灌草植物种,改善群落结构,形成人工—天然复合植被类型,对提高生态工程和水土保持功能有重要意义。

## 4 结 论

(1) 研究区域虽然地处典型的农牧交错区,但又是一个显著的农林牧景观镶嵌体。草原景观在其斑块数和面积上虽然仍居首要地位,但其优势并不十分明显,而且其原生植被本氏针茅草原只占很小的比重,呈现出非常明显的人类干扰特征。

(2) 通过对植被景观多样性分析,研究区的景观多样性、优势度、均匀度、破碎度等指标综合反映了研究区封育植被景观的特征,可用来衡量该区植被景观类型和结构。

(3) 研究区由于过去的逆行演替,使得该区的生境条件遭到很大程度的破坏。经过 20 a 余封山育林和水土保持,顺应次生演替规律,形成了目前针、阔叶人工林与大量天然封育植被景观的镶嵌状分布格局。但要恢复到其原生植被景观状态,还需要一段较长的时间。

尽管如此,本研究区在封山育林和水土保持过程中,仍然存在一些问题。例如,由于人们在造林认识上的偏差造成人工乔木林的面积大于人工灌木林,这种情况似乎并不合理,这是由于该研究区地处黄土高原向北延伸的边缘部分,在植被气候带上属于暖温带半干旱典型草原区,其水热条件并不能保证乔木林的大量存在和自然更新。因此,在今后的治理过程中,更应注重适应当地气候及基质条件的灌木树种及草本植物的推广,避免大规模乔木林在其成林后造成水分管理上的困难。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Forman R T, Godron M. Landscape Ecology[M]. New York: Wiley & Sons, 1986. 188—210.
- [2] 肖笃宁. 论现代景观生态科学的形成和发展[J]. 地理科学, 1999, 19(4): 379—384.
- [3] Naveh Z, A S Lieberman. Landscape Ecology: theory and application[M]. New York: Springer-verlag, 1984. 286—356.
- [4] Forman R T T. Land Mosaics: the ecology of landscapes and regions [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 141—321.
- [5] 李贞, 刘静艳, 张宝春, 等. 广州市城郊景观的演化分析[J]. 应用生态学报, 1997, 8(6): 633—638.
- [6] 陈利顶, 傅伯杰. 干扰的类型、特征及其生态学意义[J]. 生态学报, 2000, 20(4): 581—586.
- [7] 邬建国. 景观生态学——概念和理论[J]. 生态学杂志, 2000, 19(1): 42—45.
- [8] Anthony W K. Translating models across scales in the landscape [A]. In: turner, M. G., Gardner, R. H. (eds). Quantitative methods in landscape ecology [M]. New York: Springer-verlag, 1991. 479—517.
- [9] Hulshoff R M. Landscape indices describing a Dutch landscape [J]. Landscape Ecology, 1995, 10(2): 101—111.
- [10] 肖笃宁. 景观生态学的理论基础和特性[A]. 见: 肖笃宁. 景观生态学: 理论、方法及应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991. 13—25.
- [11] Li Q H, Li C Z, Shi Q F. The hillclosing afforested vegetation landscape and its functions in sandrock region of Taihang Mountain [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2002, 16(1): 71—76.

- [4] 杜晓辉. 沙地地表结皮的研究[J]. 中国沙漠, 1990, 10(4): 31—37.
- [5] Belnap J, Gardner J S. Soil microstructure of the Colorado plateau: the role of the cyanobacterium *Microcoleus Vaginatus*[J]. Great Basin Nat, 1993, 53(1): 40—47.
- [6] Jungerius P D, Meulen F. Erosion progresses in a dune landscape along the Dutch coast[J]. Catena, 1988, 15(2): 217—228.
- [7] Kidron G J, et al. Two different causes for runoff initiation on microbiotic crusts: hydrophobicity and pore clogging[J]. Soil Sci., 1999, 164(1): 18—27.
- [8] Lange O L, et al. Photosynthesis and water relations of lichen soil crusts: Field measurements in the coastal fog zone of the Namib Desert[J]. Funct. Ecol, 1994, 8(2): 253—264.
- [9] Eldridge D J. Cryptogam cover and soil surface condition: effects on hydrology on a semiarid woodlands soil[J]. Arid Soil Res. Reh, 1993, 7(1): 203—217.
- [10] Eldridge D J. Cryptogam, vascular plants and soil hydrological relations: some preliminary results from the semiarid woodlands of eastern Australia[J]. Great Basin Nat, 1993, 53(1): 48—58.
- [11] 李新荣, 贾玉奎, 龙利群. 干旱半干旱地区土壤微生物结皮的生态学意义及若干研究进展[J]. 中国沙漠, 2001, 21(1): 4—12.
- [12] Belnap J, Gillete D A. Vulnerability of desert biological soil crusts to wind erosion: the influences of crust development, soil texture, and disturbance[J]. Journal of Arid Environment, 1998, 39: 133—142.
- [13] 吴楠, 潘伯荣, 张元明. 土壤微生物在生物结皮形成中的作用及生态学意义[J]. 干旱区研究, 2004, 21(4): 44—450.
- [14] Green R S B, Charires C J. The effect of fire on the soil of the degraded semiarid woodland. I. Cryptogam cover and physical microphological properties[J]. Australian J. Soil Res, 1990. 755—777.
- [15] 李新荣, 张景光, 王新平, 等. 干旱沙漠区土壤微生物结皮及其对固沙植被影响的研究[J]. 植物学保, 2004, 42(9): 965—970.
- [16] 贾宝全, 张红旗, 张志强. 甘肃省民勤沙区土壤结皮理化性质研究[J]. 生态学报, 2003, 23(7): 1443—1448.
- [17] 邵玉琴, 赵吉. 库布齐固定沙丘土壤微生物数量与土壤生态因子的研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1997, 28(5): 715—719.

(上接第32页)

- [12] 金争平, 史培军, 侯福昌, 等. 黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式[M]. 北京: 海洋出版社, 1992. 1—33.
- [13] 金争平, 苗宗义, 王正文, 等. 水土保持与土地资源和环境——以黄土高原准格尔试验区为例[J]. 水土保持学报, 1999, 5(2): 1—6.
- [14] 杨劼, 高清竹, 李国强, 等. 内蒙古皇甫川流域植被空间动态变化分析[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 41—43.
- [15] 吴波, 慈龙俊. 毛乌素沙地景观格局变化研究[J]. 生态学报, 2001, 21(2): 191—196.
- [16] 张金屯, 邱扬, 郑凤英. 景观格局的数量化研究方法[J]. 山地学报, 2000, 18(4): 346—352.
- [17] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 海南岛景观空间结构分析[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 20—27.
- [18] 徐建华, 方创琳, 岳文泽. 基于RS与GIS的区域景观镶嵌结构研究[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 365—375.
- [19] Loehle C, Li B L. Statistical properties of ecological and geologic fractals[J]. Ecological Modeling, 1996, 85: 271—284.
- [20] Li B L. Fractal geometry applications in description and analysis of patch patterns and patch dynamics[J]. Ecological Modeling, 2000, 132: 33—50.
- [21] 徐建华, 艾南山, 金炯, 等. 西北干旱区景观要素镶嵌结构的分形研究——以黑河流域为例[J]. 干旱区研究, 2000, 18(1): 36—39.
- [22] Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature[M]. New York: W H Freeman, 1982. 244—320.
- [23] 董连科. 分形理论及其应用[M]. 沈阳: 辽宁科学出版社, 1991. 5—30.
- [24] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 等. 中国生态区划方案[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 1—6.

## 刊 误

本刊2006年第3期第132页“关于小流域可持续发展几个问题的思考”一文作者工作单位均应为东北林业大学森林资源与环境学院, 特此更正, 并向作者、读者朋友致歉。

《水土保持通报》编辑部