

景观格局指标对不同景观格局的反应

李秀珍, 布仁仓, 常禹, 胡远满, 闻青春, 王绪高, 徐崇刚, 李月辉, 贺红仕

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

摘要:探讨了在人为控制不同因子变量的条件下各景观格局指标对由中性随机模型产生的不同景观格局系列的反应,以评价一些常用指标的实用性和局限性。研究结果表明,大部分指标所指示的格局特征往往是不全面的,即它们只对格局系列中个别因子的变化敏感,而对另一些因子的变化反应迟钝。比较值得推荐的指标有:总斑块数目,平均斑块大小,总边界密度,分维数,蔓延度,聚集度。但即使是这些指标,也各有其局限性,且存在冗余。由此提醒读者在运用景观格局指标时应在了解其实际意义的基础上,结合生态学过程慎重选择和解释,避免陷于数字游戏。

关键词: 景观格局;格局指标;反应;中性模型

The response of landscape metrics against pattern scenarios

LI Xiu-Zhen, BU Ren-Cang, CHANG Yu, HU Yuan-Man, WEN Qing-Chun, WANG Xu-Gao, XU Chong-Gang, LI Yue-Hui, HE Hong-Shi (Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 123~134.

Abstract: Landscape metrics have been widely used to describe landscape patterns quantitatively in the last two decades. With the quick development of geographical information system, more and more metrics are designed and calculated with ever increasing speed. Packages which can provide numerous varieties of landscape metrics, such as FRAGSTATS and APACK, make it more convenient for users to calculate those metrics without querying about their ecological meaning, or even without knowing their arithmetic formulas. Therefore more and more users are using and interpreting landscape metrics arbitrarily, especially in China. It is high time to clarify if the metrics we are using so often can really indicate the desired pattern or not.

This paper tested the behavior of some landscape pattern metrics against six pattern scenarios generated by neutral landscape models, by changing one spatial parameter while keeping all the others stable. The scenarios include: (1) Number of Classes, with map size 1000×1000 , and 2~100 classes randomly distributed at equal area percentages; (2) Scale - Map Extent, with 10 equal classes randomly distributed at map size 8×8 , 16×16 , ..., 500×500 , and 1000×1000 ; (3) Scale - Resolution, with a 3-class predefined 10×10 map resampled by cell size 1, 0.5, ..., and 0.05; (4) Proportion of One Class, with the area of one class changing from 1%, 10%, ..., to 99% consequently in binary maps; (5) Aggregation Level - Rule, with 4-equal-classes in 1024×1024 cells maps at different aggregation levels according to the neutral landscape model RULE; and (6) Aggregation Level - SimMap, with 4-equal-classes in 500×500 cells maps at different aggregation levels according to the neutral landscape model SimMap. Landscape metrics were calculated and compared for different pattern cases in each scenario.

Results demonstrated that most of the metrics response to some of the pattern scenarios only, for example, Average Patch Perimeter/Area Ratio and Shonnon Diversity, while they are not sensitive to the others. Therefore none of them can indicate all aspects of a landscape pattern. However, in spite of those limitations, still some of the metrics are recommended for future

基金项目:中国科学院“引进国外杰出人才”资助项目;国家重点基础研究专项经费资助项目(2002CB111506);国家自然科学基金资助项目(40331008,40001002,30270225,40171037);中国科学院知识创新资助项目(SCXZY0102)

收稿日期:2002-12-29; **修订日期:**2003-10-03

作者简介:李秀珍(1970~),女,山东宁津人,博士,研究员,主要从事景观生态学研究。E-mail: landscape2001@sina.com

Foundation item:Chinese Academy of Sciences; National 973 project (No. 2002CB111506); National Natural Science Foundation of China (No. 40331008,40001002,30270225,40171037)

Received date:2002-12-29; **Accepted date:**2003-10-03

Biography:LI Xiu-Zhen, Ph. D., Professor, main research field: landscape ecology. E-mail: landscape2001@sina.com

use: Total number of patches, Average patch size, Total edge density, Fractal double-logged, Contagion (Li & Reynolds), and Aggregation index. But attention must be paid on the limitation, redundancy and real meaning of the metrics. The relationship between metric values and ecological processes are more important than the values themselves. For instance, suitable habitat area, number of patches and lacunarity metrics might be well related to population size and growth, while pattern metrics of erosion-sensitive land use types could be related to hydrological indicators such as modulus of runoff, or modulus of erosion.

However, this paper could not answer all questions regarding to the relationship between metrics and landscape patterns. For example, why there is a peak at class level when $N=5$ for Number of Patches in the Number of Classes scenario? Why the landscape level Average Patch Size is the lowest when one class reaches 10%~20% in a binary map? Similar questions also arise for more complicated indicators such as Fractal and Contagion. Further study on mathematical analysis of the research results is expected for future consideration.

Key words: landscape pattern; pattern metrics (indices); response; neutral model

文章编号:1000-0933(2004)01-0123-12 中图分类号:Q149 文献标识码:A

景观格局指标(landscape indices or metrics)是景观生态学界广泛使用的一种定量研究方法,随着GIS技术的推广应用,以及FRAGSTATS, APACK等免费软件包的不断升级,人们可以很容易地对一幅或多幅景观类型图进行处理,获得大量多种多样的格局指标数据,然后人云亦云地去进行分析对比,但很少有人去探究所使用的格局指标是否真正能够代表所谓的格局,哪怕其中的一些方面。对格局指标的生态学意义,更是很少有人探索。近年来国际景观生态学界已经开始反思格局指标的实际意义和价值^[1,2],笔者在有关文章中也呼吁过^[3],但似乎并未起到多大作用。现在国内不少人还在乐此不疲、不假思索地大肆使用,本文作者希望通过此文唤醒国内的同行,请大家慎用这些唾手可得的景观格局指标。同时也希望通过部分指标的剖析,能起到抛砖引玉的效果,引起国内同行对景观格局指标的反思和讨论。

相对简单的指标如面积、周长、相对面积、斑块形状等多直接来自数理统计,而很多较复杂的景观格局指标则来源于信息论^[4,5],如多样性(Shannon-Weaver Diversity),优势度(Dominance),蔓延度(Contagion)等^[6]。也有一些新的指标不断产生,如孔隙度(Lacunarity)^[7],聚合度(Aggregation Index)^[8]等。由于这些指标以景观空间结构的几何特征为基础,对复杂的现象进行简单定量地描述,有些指标虽然不乏抽象,但还是深得景观生态学研究人员的喜爱。近十几年来随着遥感和地理信息系统技术的飞速发展,这方面的研究工作也层出不穷^[9]。

本文在研究过程中大量使用了中性景观模型(Neutral Landscape Models),原因是通过这些模型,可以重复产生大量具有相似统计特征的格局来加以对比,而且不受任何特定生态过程或自然地理过程的限制,从而可以独立地对一系列格局进行研究。较之真实景观,它具有可操作性、可重复性和随机性等一系列优点,因此对难于进行大量重复野外实验的景观生态学来说是一种不可或缺的研究工具,近年来在国际上已获得广泛应用。

文中使用的模型之一是由美国橡树岭实验室开发的 RULE^[10,11]。该模型通过给定一系列的参数值,可以产生出大量类似真实景观的、具有不同聚集程度的格局图,同时还可以保持各类型间的相对面积比例不变。但此类模型的缺点是,所产生的格局中有些类型总是邻接,而另一些类型总是被其它类型隔开,因此不够“随机”,虽然实际景观中也可能会发生类似的情况。另一种模型是“全随机”的 SimMap,由西班牙莱达大学的 Saura 等人开发^[2,12]。它可以生成不同聚集程度的、不同类型面积比例的随机格局图。

本项研究的思路是,通过对不同格局指标对不同格局系列(类型数量、图区范围、分辨率、类型相对面积、聚集程度)在景观总体水平和不同类型水平上的反应,探讨所选取的指标能否如人们一般所认为的那样,反映不同格局的空间变化特征,进而阐明这些指标用于景观格局量化的实用性与局限性。

1 研究方法

针对影响景观格局特征的主要因素,在保证其它参数不变的情况下,只改变其中的一个参数,研究不同格局指标对它的变化所发生的反应。作者主要选取了6个系列来剖析各个指标所反应的格局特征,详见表1。景观格局指标的计算方法详见附录。

(1) 类型数量(Number of classes) 即在图形区总面积(1000×1000 单位)、分辨率不变的情况下,探讨不同格局指标对图中出现的类型数目多少的反应。其中各类型都具有相同的面积百分比。分析了随机景观中各有 $N=2,3,4,5,8,10,15,20,30,40,50,80,100$ 类的情况,图形由 Arc/Info Grid 模块的 Rand 命令直接产生,部分结果见图版 I。

(2) 尺度之一 图区范围(Map Extent) 本文选取了 $8 \times 8, 16 \times 16, 32 \times 32, 64 \times 64, 125 \times 125, 250 \times 250, 500 \times 500, 1000 \times 1000$ 等不同图幅大小的随机景观图,各图都有 10 种面积比例基本相等的类型,也由 Arc/Info Grid 模块产生。部分结果见图

版 I。

(3) 尺度之二 分辨率(Resolution) 给定一幅含有 3 种类型、 10×10 单位大小的随机图(图 1), 分别用 0.5, 0.25, 0.2, 0.1, 0.05 和 0.01 个单位的分辨率对它重新进行栅格化, 看似不变的一幅图就有了不同的栅格聚集程度, 有些指标会随之发生变化, 但也会有一些指标保持不变。

表 1 不同格局系列的参数

Table 1 Parameters used for different pattern scenarios

系列名称 Scenarios	图区范围 Map size (cells)	分辨率(像元) Resolution (cell)	类型数量 Number of classes	面积比例 relative class area	随机程度 Randomness
类型数量 Number of classes	1000×1000 $8 \times 8, 16 \times 16, 32 \times$ $32, 64 \times 64, 125 \times$ $125, 250 \times 250, 500 \times$ $500, 1000 \times 1000$, 共 8 种, 8 cases	1 1 1 1 10	2, 3, 4, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 80, 100, 共 13 种, 13 cases	均等 Equal	完全随机 Random
图区范围 Map extent	10×10			均等 Equal	完全随机 Random
分辨率 Resolution	10×10		1, 0.5, 0.25, 0.2, 0.1, 0.05, 0.01, 共 6 种, 6 cases	均等 Equal	固定 Predefined
面积比例 Area percentage	100×100	1	2	1%, 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 共 7 种, 7 cases	完全随机 Random
聚集度 Rule Aggregation level: 1024×1024 Rule		1	4	均等 Equal	不完全随机, 分 10 种聚 集程度, Randomly aggregated at 10 levels
聚集度 SimMap Aggregation level: 500×500 SimMap		1	4	均等 Equal	不完全随机, 分 9 种聚 集程度, Randomly aggregated at 9 levels

(4) 面积比例(proportion) 由于 3 种以上类型的情况比较复杂, 不便在不同面积比例大小的图之间进行比较, 本文只探讨两种景观组分类型(二元景观, binary maps)随机图的情况。图区范围为 100×100 单位, 其中类型 1 的面积比例分别为 1%, 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%。与之相应, 类型 2 的面积比例则分别为 99%, 95%, 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 详见图 2。

(5) 聚集程度之一 Rule 系列 由该模型可产生不同聚集程度(Aggregation level)的多级分维图(multi-fractal map), 采纳了 1024×1024 单位的栅格图, 4 种类型, 面积各占 25%, 聚集程度指标值的值域为 0~1。在本项研究中的 H 取值分别为 0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8。 H 值越高, 聚集程度越高, 但各类型之间的面积比例也越难以保证相等, 因此 H 只做到 0.8 的情况。图版 II 给出了该系列的部分图形。

(6) 聚集程度之二 SimMap 系列 与 Rule 相似, 该模型也可以生成聚集程度不同的、类似真实景观的栅格图, 但这些图形更为“随机”。控制聚集程度的内定参数 p 的取值范围为 0~0.5928, 当 p 值接近 0.5928 时, 聚集程度迅速加剧, 因此本文选择了 $p=0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.57$ 来进行研究, 当 p 值达到 0.59 时, 已无法保证各类型面积比例之间的相对一致性, 所以只做到 $p=0.57$ 这个水平。图区大小为 500×500 单位, 4 种类型, 面积各占 25%, 部分图形见图版 IV。

几个常用的景观格局指标对不同格局系列的敏感性, 具体包括: 总斑块数、平均斑块大小、平均斑块周长/面积比, 总斑块边界密度, 分维数, 多样性, 均匀度, 优势度, 蔓延度, 和聚合度。关于这些指标的公式或计算方法, 请参阅本文附录及有关文献^[6, 13, 14]或软件说明书。本项研究所用的分析软件是美国威斯康星大学开发的 APACK, 其功能与 FRAGSTATS 相似, 即可以根据一幅二维数字地图计算出各种景观格局指标值, 但比后者灵活性强。

研究中针对以上各格局系列所计算得出的格局指标, 以各系列变化特征参数(如类型数目、图区范围、聚集程度等)为横坐

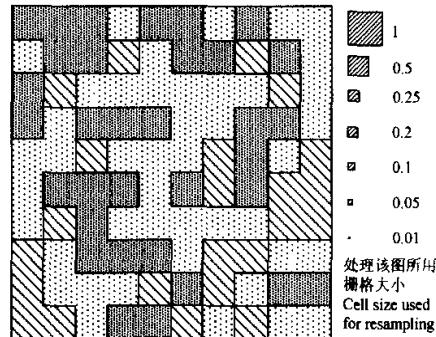


图 1 分辨率系列

Fig. 1 Scale-Resolution scenario

图中右侧是用来处理此图的栅格大小 Squares on the right side indicate the cell size used to resample the map on the left

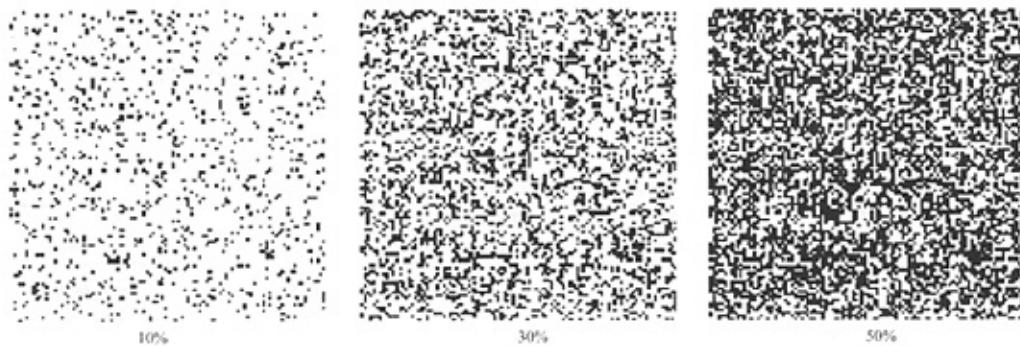


图2 相对面积系列

Fig. 2 Proportion of one class

图中数字表示黑色类型所占面积比例 Figures indicate the proportion of the black class

标,以相应格局所对应的指标值为纵坐标,绘制格局-指标关系图,进而分析不同指标的变化规律。需要指出的是,除“相对面积”系列外,其余各系列不同类型间的面积比例大体一致,因此在类型水平上只选择“类型1”为代表来进行指标的评价。而在相对面积系列里,由于两种类型的面积百分比之和为1,不难根据“类型1”的指标变化趋势推知“类型2”的变化。

评价一个指标的优劣主要看它以下几方面:(1)规律性,即随着格局特征参数的变化,指标值是否呈现有规律的增减;(2)稳定性,主要是当有些参数(如尺度)变化而大的格局特征不变时,指标值是否如期望的那样保持稳定;(3)敏感性,即对相应格局参数的变化敏感。以上几个方面并非相互独立,但由于不同指标反应的格局特征不同,只能根据指标和各格局系列的具体情况,选择不同的评判标准。只要一个指标能够准确地反映某一个或者几个方面的格局特征信息,就可以认为这是一个“好的”格局指标。

2 结果分析

2.1 总斑块数(Total number of patches)

斑块数是标志景观破碎化程度的一个重要指标,无论在景观水平上,还是类型水平上,其生态学意义都比较容易理解,因此常用来指示景观或生境的破碎化。

在景观水平上,当其它条件(图区大小、分辨率、各类型相对面积)不变时,随机图的总斑块数随类型数目的增加而增加(图3a),而且增加速度呈递减趋势,即当类型数达到20类左右时,总斑块数随类型数的增加速度放慢。而当类型数目等相对稳定,只改变图区范围大小时,斑块数随图区增大而增大(图3b)。当用更小分辨率的栅格对同一图形进行处理时,其总斑块数保持不变(图3c)。当用更大分辨率的栅格对该图进行处理时,因大栅格会随机综合掉一些小栅格,总斑块数量的变化趋势应与改变随机图图区大小所造成的结果相似。

如果改变仅有两种类型的随机图(二元景观)的组分相对面积,总斑块数会在其中某一类面积达到15%~20%左右时出现一峰值(图3d)。至于不同聚集程度的格局对总斑块数目影响,与人们的主观想象大体一致,即聚集程度愈高,总斑块数愈少(图3e,f)。

在类型水平上,某一类型的斑块数目变化趋势与景观水平上总斑块数随各因子的变化趋势大体一致,唯景观类型数目变化对斑块数的影响与景观水平上有所不同。当随机图的类型数达到5类左右时,单一类型的斑块个数出现峰值(图7g),当然是在各类型面积百分比相等,总面积、分辨率等条件不变的情况下。

上述结果表明该指标随各因子的变化趋势比较稳定,只在相对面积系列和类型数目系列的类型水平上出现了峰值,可能一般读者不会意识到。在遇到相关的实际问题时,应注意这一特点。

2.2 平均斑块大小(Mean patch size)

这又是一个比较简单又富有生态学意义的格局指标,它既可用来对比不同景观的聚集或破碎程度,也可以指示景观各类型之间的差异。

在景观水平上,平均斑块大小会随着景观类型数目的增加而下降得很快,但当类型数达到20以上时,这种下降会变得越来越慢,最终趋近于1(图4a)。图区大小对它的影响主要是在范围比较小时(图4b),对于类型数在20以内的随机图来说,比较大的图区(100×100单位以上)平均斑块大小就比较稳定了,而实际景观范围一般都比这一阈值大得多。对于同一图形来说,随着

制图分辨率变细(图 1), 以网格数为单位的平均斑块大小会呈指数增长(图 4c), 但以实际面积单位如米来衡量的平均斑块大小则不会发生变化。平均斑块大小会随着景观组分聚集程度的提高而增大(图 4e,f), 这是可以理解的。

在类型水平上, 上述因子对该指标变化趋势的影响与景观水平上的基本相似。

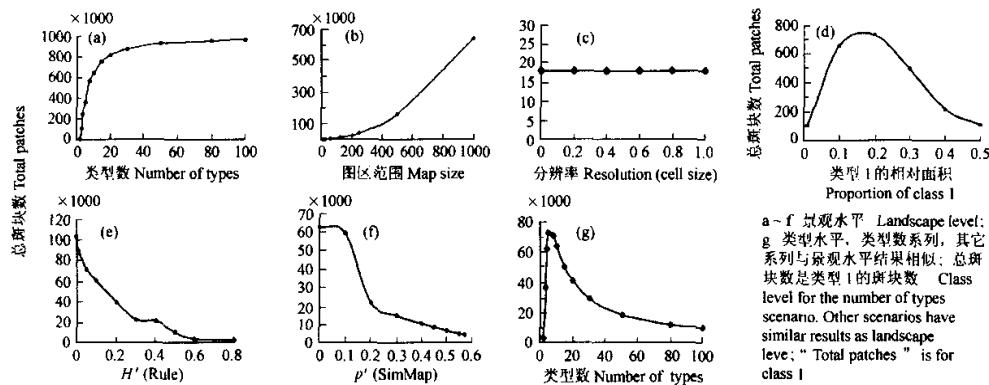


图 3 总斑块数目对不同格局系列的反应

Fig. 3 Behavior of Total number of patches against different pattern scenarios

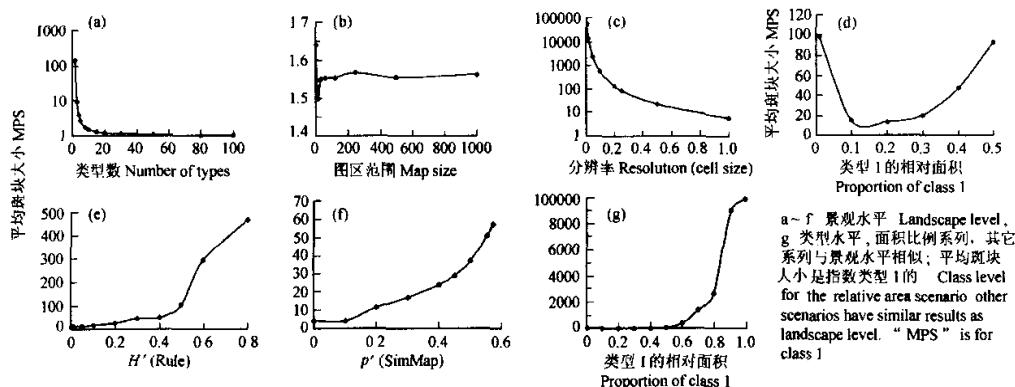


图 4 平均斑块大小对不同格局系列的反应

Fig. 4 Behavior of mean patch size (MPS) against different pattern scenarios

各类型相对面积的大小对平均斑块大小的影响是显而易见的。在景观水平上, 当二元景观中某一类型的相对面积为 10% ~ 20% 时, 该指标出现一低谷(图 4d)。而在类型水平上, 该指标会随着这一类型所占面积比重的增加而增加(图 4g)。

这一指标对主要格局特征变化的敏感性和其简明的生态学意义, 决定了它是一个比较常用的、可靠的景观格局指标。

2.3 平均斑块周长/面积比(Average patch perimeter/area ratio)

这是中外文献中经常遇到的一个指标, 主要体现斑块的平均形状, 有时与形状指数(shape index)通用, 但后者已被证明是一个现实意义不大、有时甚至自相矛盾的一个指标^[1,2]。

在本项研究中, “平均斑块周长(边界栅格数)/面积(内部栅格数)比”这一指标对 3 种以上类型的景观变化比较有规律, 即当类型数增加时, 指标值呈现先快后慢的增长趋势(图 5a)。图区范围较小时平均斑块周长面积比变化剧烈, 随着图区的增大, 这一指标值渐趋稳定(图 5b)。它对分辨率的反应呈直线型, 即随着栅格的减小, 平均斑块周长/面积比也成比例地减小(图 5c)。上述 3 个系列无论是在景观水平上, 还是在类型水平上, 该指标变化趋势基本一致。

这一指标对另外 3 个格局系列的反应就比较没有规律了, 无论在景观水平上, 还是类型水平上, 变化曲线都不太平滑(图 5d-i)。对于二元景观来说, 在景观水平上, 当其中某一类的相对面积达到 30% 左右时, 平均斑块周长面积比出现一低谷(图 5d); 而在类型水平上, 随着某一类型相对面积的增大, 这一指标呈不规则下降趋势(图 5g)。

在对不同聚集程度格局的反应上,该指标的变化就更加没有规律。在 Rule 系列里,它对不同聚集程度的格局基本没有什么反应(图 5e,h),而在 SimMap 系列里,它对不同聚集程度的反应也不太敏感,不过在参数值 p' 达到 0.4 左右时,出现一低值(图 5f,i)。

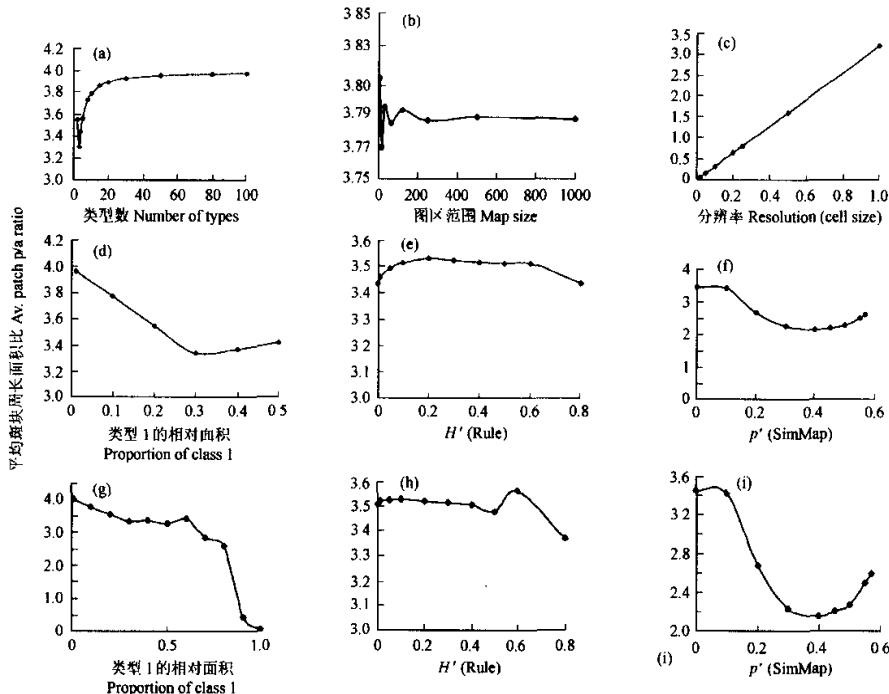


图 5 平均斑块周长/面积比对不同格局系列的反应

Fig. 5 Behavior of Average patch perimeter/area ratio against different pattern scenarios

a~f: 景观水平 Landscape level; g~i: 类型水平 Class level for the Relative area and Aggregation level scenarios; Other scenarios have similar results as landscape level. The metric value is for class 1

以上分析表明,平均斑块周长面积比不是一个很好的格局指标,建议在实际工作中尽量少用。但也不能完全否定它的价值,在与尺度变化有关的格局系列里,如图区大小、分辨率等,它又有一定的规律性。此外,单个斑块的周长面积比或许比景观和类型水平上的平均值更有实际意义。

2.4 总斑块边界密度(Total edge density)

这是一个基于总斑块边界长度(边界栅格数)与以栅格数表示的总面积之比的指标,它也可以用来指示景观或某一类型的破碎化程度。

在景观水平上,总边界密度随类型数的增加呈先快后慢的增长趋势(图 6a);但随着图区范围的扩大,呈现先快后慢的减小趋势(图 6b),二者最终都倾向于稳定在某一特定值。但在类型水平上,此 2 系列的变化趋势与景观水平上的大相径庭(图 6c, h)。首先是边界密度随着类型数目的增加呈减少的趋势(图 6g),而随着图区范围的扩大,它的取值先是上下大幅度波动,然后渐趋稳定(图 6h)。

总边界密度对另外几个格局系列的反应都比较有规律,而且景观水平和类型水平上的基本一致。它随分辨率的改变呈线性变化(图 6c),而随景观中某一类型相对面积的增加呈类似抛物线的形状增加,且当两类面积相等时达到最高点(图 6d)。对于不同聚集程度的两个系列来说,随着景观内各组分聚集程度的提高,总边界密度呈下降趋势(图 6e,f)。

以上分析表明,总边界密度是一个比较有代表性的格局指标,它对大部分因子的改变反应敏感,或者有较强的规律性。在生态学上,它也是一个比较有意义的指标,许多野生动物对边界特征反应敏感,或利用,或回避,因此值得推荐。

2.5 分维数(Fractal double-logged)

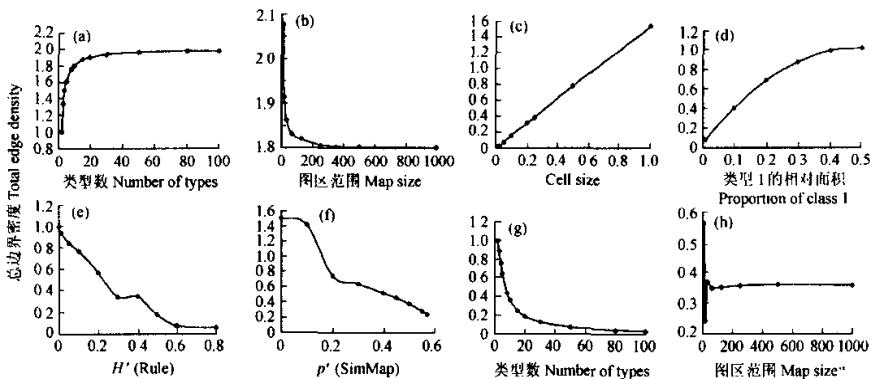


图 6 总斑块边界密度(单位网格边界数/网格)对不同格局系列的反应

Fig. 6 Behavior of Total edge density (edges/cell) against different pattern scenarios

a~f: 景观水平 Landscape level; g,h: 类型水平, 图中为类型 1 的指标值对类型数和图区范围系列的反应, 对其它系列的反应与景观水平上的相似, 指标值为指类型 1 值 Class level for the “Number of class” and “Map extent” scenarios. Other scenarios have similar results as landscape level, and the metric value is for class 1

这是一个先对斑块的周长、面积分别取对数, 然后进行线性回归分析取其斜率的 2 倍得来的指标, 它主要用以描述斑块边界形状的复杂程度, 比起上面提到的几个指标来要复杂得多, 也因此更为一些人所青睐。尽管前人对它的实用性也进行过探究^[15~18], 得出一些或褒或贬的结论, 但大都是就它在某一案例中的表现来衡量的, 难免以偏盖全。事实上, 它在各格局系列中的表现的确不太一样, 而且在同一系列景观水平和类型水平上的表现也不尽一致。

在景观水平上, 分维数随类型数的增加呈不规则递减的趋势(图 7a), 而且对二元景观的反应比较特殊, 当某一类型的面积比重达到 40% 左右时, 它有一个不太明显的峰值(图 7d)。当图区范围较大时, 它对改变图区大小(图 7b), 或改变分辨率(图 7c)反应稳定, 对不同聚集程度的景观反应敏感(图 7e,f), 在 Rule 系列里尤其具有规律性(图 7e), 这或许与 Rule 软件本身的设计思想中就包含了分维理念有关。

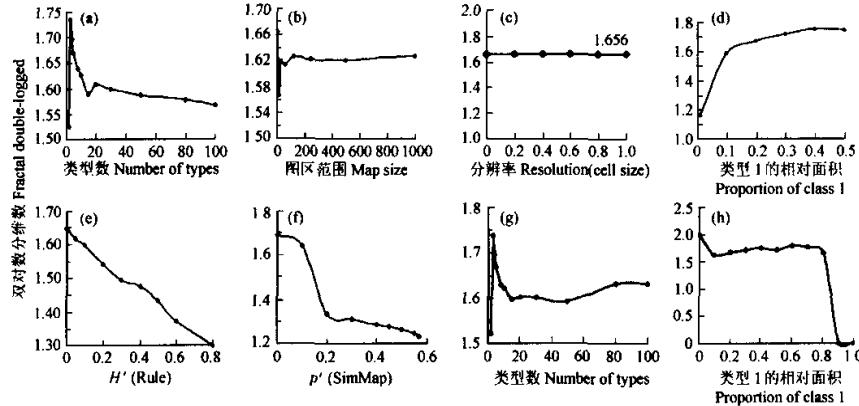


图 7 分维数对不同格局系列的反应

Fig. 7 Behavior of fractal double-logged against different pattern scenarios

a~f: 景观水平 Landscape level; g,h: 类型水平, 图中为类型 1 的指标值对类型数和面积比例系列的反应, 对其它系列的反应与景观水平上的相似 Class level for Number of classes and Relative area scenarios, and metric value is for class 1

在类型水平上, 它随类型数目的增加呈现不规则的波动(图 7g), 而在相对面积系列里(图 7h), 当类型 1 的面积在 10%~80% 之间时, 其值相对稳定, 超过 80% 后突然降得很低。因此该指标在类型水平上的使用有一定的局限性。不过, 它对其他 4 个

格局系列在类型水平上的反应与景观水平上的基本一致,不再赘述。

2.6 多样性(Shannon-Weaver Diversity),均匀度(Shannon-Weaver Evenness),优势度(Dominance)

这是一组基于各类型相对面积比重的指标,因此只适用于景观水平,只要各类型的相对面积不变,无论格局如何改变(如图版I~图版IV所示的聚集程度系列),它的值就是稳定的。人们常用它们,尤其是多样性指标,来表示格局的异质性或均匀性程度,实际上它们对格局的均质程度并不敏感,而只对各组分类型之间相对面积的大小敏感(图8c);对于类型数比较敏感的,也只有多样性指数(图8a)。这是由其名称所带来的一个误区。

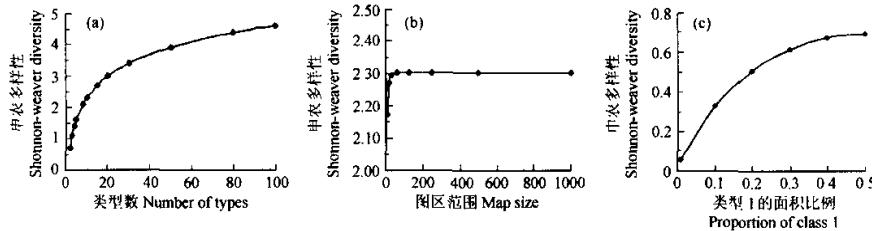


图8 多样性指标对不同格局系列的反应

Fig. 8 Behavior of Shannon-Weaver diversity against different pattern scenarios

随分辨率的改变,该指标的值始终为1.065;随聚集程度的改变,该指标的值始终为1.386,Rule和SimMap系列皆此。The value remains 1.065 at any resolution, and 1.386 at any aggregation levels.

图8给出了多样性指标在一些格局系列里的反应。它随着景观中类型数目的增加而呈近对数型增加(图8a)。在相对面积系列里,各类型之间相对面积越接近,它的值就越高,反之就越低(图8c)。它在其它几个系列里的反应都很稳定,既不随分辨率发生改变,也不随聚集程度而改变,对图区范围的反应也只是当图区很小时才有(图8b)。

均匀度和优势度指标与多样性指标表现差不多,只是这两者又增加了对类型数目不敏感。当各类型的相对面积百分比相等时,不管格局如何变化,均匀度的值都为1,优势度的值都为0。此外,优势度指标随相对面积的变化趋势是,类型间的面积越接近,优势度值越低;均匀度的变化趋势与优势度相反。

当所对比的景观类型数目不一致时,不宜用申农多样性指标,但可以用均匀度和优势度指标,因为后二者对类型数的变化不敏感。鉴于这组指标对格局组分聚集程度及布局形式反应迟钝,在用它们来进行景观异质性方面的对比时,应当慎做解释,不能单从字面上看,多样性值高或优势度值高,景观就怎样,而应当进一步分析这些指标值背后的原因。

2.7 蔓延度(Contagion)

该指标只适用于景观水平。这是景观生态学界最早使用^[18]、也是最有争议的指标之一^[5,20,21]。由于计算依据(公式)、方法(四邻法、八邻法)不同,对同一幅图的分析处理可能会得出不同的结果。尽管如此,各种不同方法得出的蔓延度值对各系列的反应趋势还是基本一致的。本文选择了APACK软件中提供的方法之一——Li & Reynolds蔓延度指数,来研究这一指标在不同格局系列中的表现。该指标的取值范围在0~1之间,因此优于其它版本的蔓延度指标。

这是一个对类型数(图9a)和图区范围(图9b)都很稳定的指标。图9中它在这两个系列里的反应是放大的,从它们的纵坐标值就可以看出来。在全随机景观中相同类型的栅格很难“凑”在一起结成斑块,造成这一指标的取值偏低。

蔓延度指数对改变制图分辨率很敏感(图9c)。一般说来,分辨率越细,其指标值越高。对于二元景观来说(图9d),当两种类型的相对面积比较接近时,蔓延度的值会比较低,反之,则越高。该指标对不同聚集程度的景观反应也比较灵敏,高聚集度可以通过高指标值体现出来(图9e,f)。

因此,客观地说,这个指标还是不错的,但在使用时应当注意其对分辨率反应比较敏感这一点。

2.8 聚合度(Aggregation index)

这是由贺红等人提出的一个格局指标^[8],取值范围在0~1之间,也是体现景观组分聚集程度的,在景观水平和类型水平上都可以计算。

它对聚集程度(Rule和SimMap)和相对面积等格局系列的反应(图10e,f,d)与蔓延度指标(图9e,f,d)相似,不同之处在于,它对类型数目(图10a)和图区范围较小时(图10b)的反应也比较敏感。随着类型数目的增加,它呈现先快后慢的下降趋势(图10a)。此外,它与分辨率的关系几乎呈直线型(图10c)。

在类型水平上,聚合度指标与景观水平上的表现大部分情况下基本一致,但当图区范围较小时,它的表现不太稳定(图

10h)。它对二元景观中某一类型面积比重增加的反应呈直线型(图 10g)。

聚合度比蔓延度指标对某些格局特征的反应更为敏感,计算方法也唯一,适于做景观水平和类型水平上的比较,因此是一个值得推荐的指标,关于它的详细说明和讨论,请参阅文献^[8]。

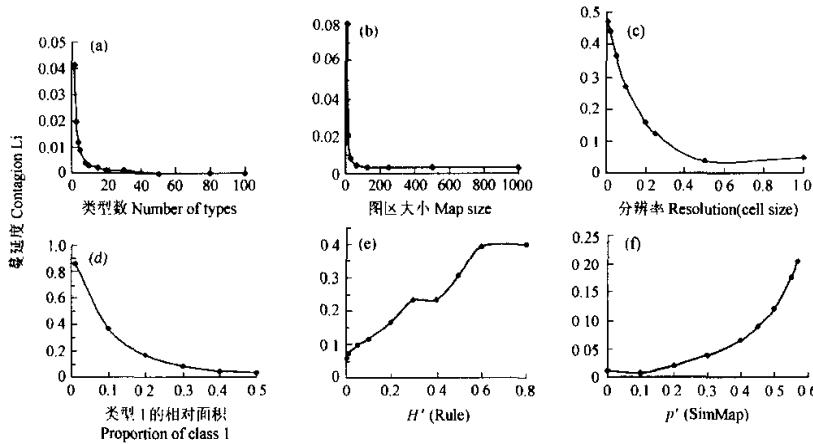


图 9 蔓延度指数对不同格局系列的反应

Fig. 9 Behavior of Contagion (Li & Reynolds) against different pattern scenarios

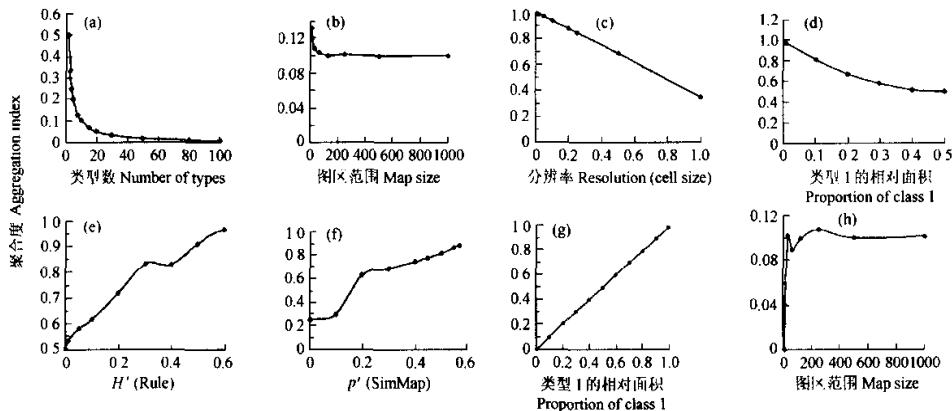


图 10 聚合度指数对不同格局系列的反应

Fig. 10 Behavior of Aggregation index against different pattern scenarios

a-f: 景观水平 Landscape level; g,h: 类型水平 Class level, 图中为类型 1 的指标值对面积比例和图区范围系列的反应, 对其它系列的反应与景观水平上的相似, 指标值是指类型 1 的 Class level for Relative area and Map extent scenarios, and the metric value is for class 1

3 结果讨论

对于景观格局指标的实际意义,笔者在过去的工作中也曾涉及,还就部分格局指标对湿地景观营养物质去除功能的敏感性进行过探讨^[22~26],但没有这样比较全面、系统地进行过研究。目前国内用景观指标研究景观变化、对比不同景观的论文越来越多,而对其实际意义的探讨却少之又少,作者认为很有必要来澄清一个事实,就是景观格局指标既不是“万能的”,也不是“垃圾”,应该在充分了解所用指标特点的前提下,根据研究的具体内容和目的,慎重选取能说明问题的、尽量简单的指标,而不是人云亦云,或者片面追求复杂的公式。

本文所涉及的这几个指标在描述景观格局特征的能力上各有优劣,有的指标可以很好地描述不同类型数目多少所带来的格局变化,但却不能很好地体现景观组分的聚集程度,还要受到分辨率的影响,如多样性指数。不过本文提到的大部分指标对不

同聚集程度的格局还是比较敏感的。实际上,任何一个指标所描述的格局特征,只是其众多特征中的一个方面,到目前为止,还没有一个可以全面概括格局所有特征的指标。

关于二元景观的问题,除了文中提到的平均斑块周长面积比外,还有一些指标对它的反应与对3种类型以上景观的反应存在“不规律”现象,如分维数、修正的平均斑块周长面积比、归一化的平均斑块面积等。在进行野生动物生境方面的研究时人们常用二元景观来代替真实景观^[7,27~29],在选择量化指标时,应尽量避免使用这类对二元景观反应特殊的指标。

除了本文中提到的几个指标,还研究了许多其它指标,其中比较值得推荐的有:总周长(Total perimeter)、平均斑块周长(Average patch perimeter)、孔隙度(Lacunarity)等,由于篇幅所限,本文不做详细介绍。

另外,由于许多格局指标的计算基础是对斑块的周长和面积进行各种统计处理,难免存在冗余,因此在选择时应注意各指标间的相互独立性。有关这方面的讨论可参阅 Riitters 等人在1995年发表的“景观格局与结构指标的因子分析”^[21]。

不管使用何种指标,都应以理解其所代表的生态学意义为前提。当务之急不是去计算和设计各种格局指标,而是将这些指标同现实景观中的生态过程或自然地理过程、乃至人为过程结合起来。比如,在研究野生动物生境格局变化时,可考虑将适宜生境类型的破碎度指标、连接度指标、孔隙度指标等与种群大小、种群增长率的变化联系起来;在研究土地利用格局变化对流域水文过程的影响时,可把对水土流失敏感的用地类型面积、聚集度指标等与水文学上的产流系数、侵蚀模数等相比较,探讨其相互之间是否有呼应关系。任何有关这方面的研究,都是对景观生态学理论的贡献。

当然,本文完全以人工模拟景观代替真实景观,有一定的局限性,但这些模拟景观基本上涵盖了真实景观中可能出现的大部分情况,当运用景观格局指标来评价或描述真实景观时,本文的研究结果当具有一定的参考价值。关于中性景观模型的适用范围和局限性,请参阅文献^[30]。

本项研究的有待进一步提高之处是对研究结果的数学解释。比如“斑块数”这一简单指标在“类型数目”系列里,为什么在景观水平上当类型数为20类左右时斑块数目会出现拐点(图3a),而在类型水平上当类型数达到5类左右时会出现峰值(图3g),这背后肯定有其数理统计上的逻辑存在,但作者数学水平有限,无法深入下去。类似的还有二类型景观与三类型以上景观对“平均斑块周长面积比”等指标反应的不连续性(图5a),以及为什么二元景观中当一种类型的相对面积为10%~20%时景观水平上的平均斑块面积最小(图4d),等等,都需要从数学上做出合理解释。而那些更为复杂的指标,如双对数分维数、聚合度、蔓延度指标等等随不同格局系列的变化,其数学解释就更为复杂,作者水平有限,希望对此问题感兴趣的读者进一步深入分析。

[附录]本文涉及的景观格局指标的计算方法

(1) 总斑块数目(Total number of patches)

景观或类型水平上的斑块数目。

(2) 平均斑块大小(Mean patch size, Average area per patch)

$$MPS_i = \frac{\sum_{j=1}^n \text{area_of_patch_} j}{\text{total_patches_of_class_} i}$$

式中 MPS_i 是指类型 i 的平均斑块大小, n 是类型 i 的斑块个数。此指标在景观水平上也适用。

(3) 平均斑块周长/面积比(Average patch perimeter/area ratio)

$$PA_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{\text{perimeter_of_patch_} j}{\text{area_of_patch_} j}}{n}$$

式中, PA_i 为平均斑块周长面积比, n 是类型 i 的斑块个数。此指标在景观水平上也适用。

(4) 总斑块边界密度(Total edge density)

$$ED_i = \frac{\text{perimeter_of_class_} i}{\text{total_study_area}}$$

式中, ED_i 为类型 i 的斑块边界密度。此指标在类型水平和景观水平上都适用。

(5) 分维数(Fractal double-logged)

该指标实际上是一个回归系数的2倍,即:

$$D = 2k$$

这里 D 是分维数, k 是斑块面积与周长之间的回归系数:

$$\log_2(l/4) = k \log_2(s) + c$$

式中, l 是斑块的周长, s 是同一斑块的面积, c 是常数。此指标在类型水平和斑块水平上都可以计算,取值范围为1~2。其值越接近1,景观中斑块的边界形状越简单,接近于直线;分维数越接近2,构成景观的斑块边界形状越复杂。

(6) 多样性(Shannon-Weaver Diversity)

$$SWD = - \sum_{i=1}^m p_i \times \ln p_i$$

式中, SWD 为多样性, p_i 为类型 i 在整个景观中所占的面积比例, m 为景观中斑块类型的总数, 当各类型面积比例相当时, 该指标达到最大值, 当只有一种类型时, 其值为 0。这是一个景观水平上的指标。

(7) 均匀度(Shannon-Weaver Evenness)

$$SWE = \frac{- \sum_{i=1}^m p_i \times \ln p_i}{\ln m}$$

式中, SWE 为均匀度, p_i 为类型 i 在整个景观中所占的面积比例, m 为景观中斑块类型的总数, $\ln m$ 是式中分子的最大取值, 也就是 SWD 的最大值。该指标只适用于景观水平, 取值范围为 0~1, 取值越低, 各类型所占面积比例差异越大; 越接近 1, 则类型间的面积比例越接近。

(8) 优势度(dominance)

$$SWD = \ln m + \sum_{i=1}^m p_i \times \ln p_i$$

式中, SWD 为优势度, p_i , m 和 $\ln m$ 的含义同 SWD 和 SWE , 也只适用于景观水平。其取值越高, 说明景观中某一种类型的斑块在面积上越占据优势。

(9) 蔓延度(或聚集度, Contagion)

$$C = 1 - \frac{- \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}}{\ln(m)}$$

式中, m 为景观中的斑块类型数, P_{ij} 为面积加权的概率值, Li 等^[20]将其定义为 i 类与 j 类像元相邻的条件概率与 i 类像元在景观中所占面积的比例之积。即:

$$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_i} \cdot \frac{A_i}{A}$$

N_{ij} 是栅格景观图中类型 i 的像元与类型 j 的像元相邻的次数, N_i 是 i 类像元与所有像元相邻的总次数(包括 i 类像元本身), A_i 是 i 类像元的总面积, A 是所研究区域的总面积。

C 的取值范围在 0~1 之间, 当 C 接近于 1 时, 代表景观由少数团聚的大斑块组成, C 值小则代表景观由许多小斑块组成。

10. 聚合度(Aggregation index) 该指标是基于栅格数据的, 计算公式为^[8]:

$$\begin{aligned} AI &= e_{ii}/\max_e e_{ii}, \text{ 其中,} \\ \max_e e_{ii} &= 2n(n-1) (m=0) \\ \max_e e_{ii} &= 2n(n-1) + 2m-1 (m < n) \\ \max_e e_{ii} &= 2n(n-1) + 2m-2 (m \geq 0) \\ m &= Ai - n^2 \end{aligned}$$

式中, AI 为景观中某一类型的聚合度, e_{ii} 为类型为 i 的网格自相邻的公共边缘数; $\max_e e_{ii}$ 为类型为 i 的网格间最大可能公共边数, A_i 为类型为 i 的网格总面积, n 为面积比 A_i 小的最大正方形边长。该指标适用于类型水平和景观水平, 取值范围为 0~1, 值越高, 景观中同类型像元的聚集程度越高。

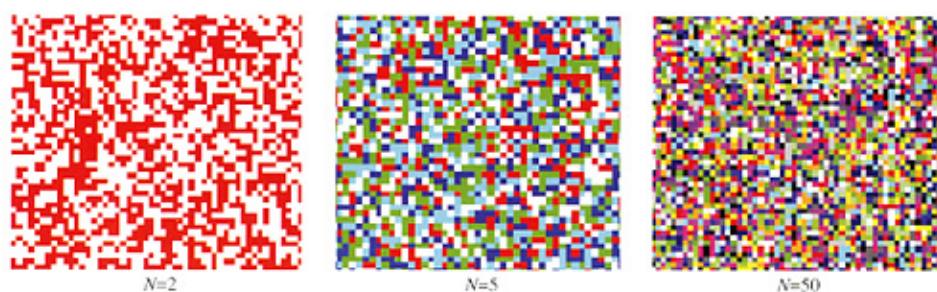
References:

- [1] Tischendorf L. Can landscape indices predict ecological processes consistently? *Landscape Ecology*, 2001, **16**: 235~254.
- [2] Saura S and Martínez-Millán J. Sensitivity of landscape pattern metrics to map spatial extent. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2001, **67**(9): 1027~1036.
- [3] Li X Z. Prospect of the development of landscape ecology's focus and frontline from the 15th IALE~US annual conference. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(6): 1113~1115.
- [4] Turner MG, Gardner RH eds. *Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity*. New York: Springer, 1991.
- [5] Ricotta C, Coronab P and Marchettic M. Beware of contagion! *Landscape and Urban Planning*, 2002, **62**(3): 173~177.
- [6] Baker W and Cai Y. The r. le programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. *Landscape Ecology*, 1992, **7**(4): 291~302.
- [7] Schumaker NH. Using landscape indices to predict habitat connectivity. *Ecology*, 1996, **7**: 1210~1225.
- [8] He HS, DeZonia B and Mladenoff DJ. An aggregation index (AI) to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology*, 2000, **15**(7): 591~601.
- [9] Lausch A and Herzog F. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and

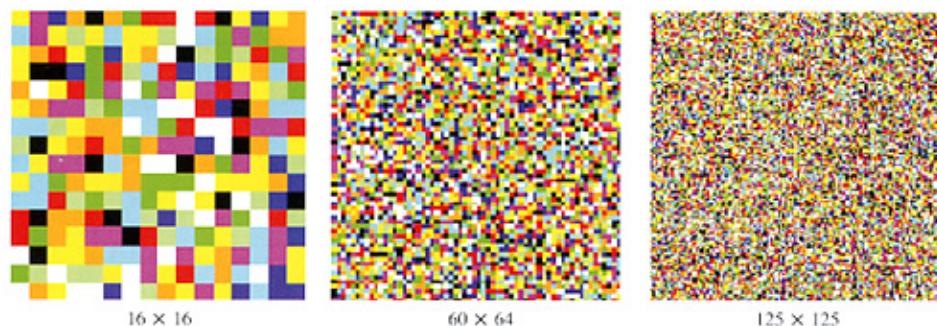
- interpretability. *Ecological Indicators*, 2002, 2(1~2): 3~15.
- [10] Gardner RH, Milne BT, Turner MG, et al. Neutral models for the analysis of broad-scale landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1987, 1: 19~28.
- [11] Gardner RH. RULE: Map generation and a spatial analysis program. In: Klopatek JM and Gardner RH eds. *Landscape ecological analysis: Issues and Applications*. New York: Springer, 1999. 280~303.
- [12] Saura S and Martínez-Millán J. Landscape patterns simulation with a modified random clusters method. *Landscape Ecology*, 2000, 15 (7): 661~678.
- [13] Forman RTT and Godron M. *Landscape Ecology*. New York: Wiley, 1986.
- [14] Forman RTT. *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*, Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [15] Burrough PA. Multiscale sources of spatial variation in soil I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation. *J. Soil Sci.*, 1983, 34: 577~597.
- [16] Milne BT. Measuring the fractal geometry of landscapes. *Applied Mathematics and Computation*, 1988, 27: 67~79.
- [17] Milne BT. Lessons from applying fractal models to landscape patterns. In: *Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity*. Turner: M. G., Gardner, R. H. ed., New York: Springer, 1991. 199~235.
- [18] Milne BT. Spatial aggregation and neutral models in fractal landscapes. *American Naturalist*, 1992, 139: 32~57.
- [19] O'Neill RV, Krummel JR, Gardner RH, et al. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, 1: 153~162.
- [20] Li H and Reynolds JF. A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology*, 1993, 8(3): 155~162.
- [21] Rüitters KH, O'Neill RV, Hunsaker CT, et al. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, 1995, 10 (1): 23~39
- [22] Li X. *Assessment of Landuse Change Using GIS: A case study in the Llanos de Orinoco*. Wageningen University Press, 1999. 88.
- [23] Li X. *Purification Function of Wetlands: Spatial modelling and pattern analysis of nutrient reduction in the Liaohe Delta*. Wageningen University Press, 2000. 123.
- [24] Li X Z, Xiao D N, Hu Y M, et al. Effect of landscape pattern on the nutrient reduction in the Liaohe Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(1): 32~43.
- [25] Li X, Jongman R, Xiao D, et al. The effect of spatial pattern on nutrient removal of a wetland landscape. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 60(1): 27~41.
- [26] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. Classification, application and creation of landscape indices. *Chinese J. of Applied Ecology*, 2002, 13 (1): 121~125.
- [27] Gustafson E and Parker G. Using an index of habitat patch proximity for landscape design. *Landscape and Urban Planning*, 1994, 29 (1994): 117~130.
- [28] Rüitters K H, O'Neill R V and Jone K B. Assessing habitat suitability at multiple scales: A Landscape level approach. *Biological Conservation*, 1997, 87: 191~202.
- [29] Langevelde F van. *Habitat connectivity and fragmented nuthatch populations in agricultural landscapes*. Wageningen: Ph. D thesis of Wageningen Agricultural University, 1999. 205.
- [30] With KA and King AW. The use and misuse of neutral landscape models in ecology. *Oikos*, 1997, 79(2): 219~229.

参考文献:

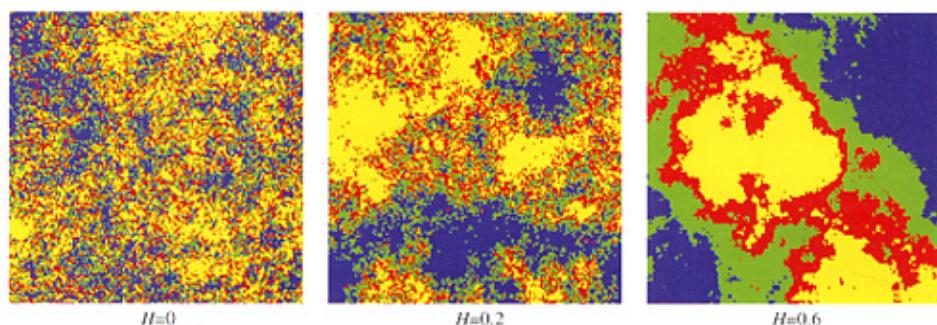
- [3] 李秀珍. 从第十五届美国景观生态学年会看当前景观生态学发展的热点和前沿. 生态学报, 2000, 20(6): 1113~1115.
- [24] 李秀珍, 肖笃宁, 胡远满, 等. 辽河三角洲湿地景观格局对养分去除功能的影响. 地理学报, 2001, 56(1): 32~43.
- [26] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究. 应用生态学报, 2002, 13(1): 121~125.



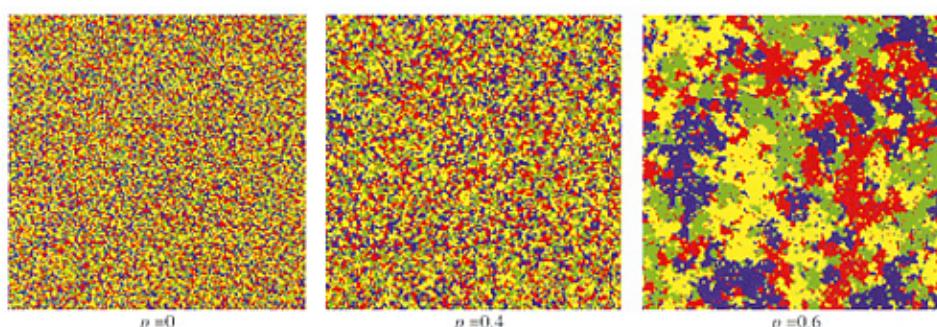
图版 I 类型数目系列部分随机图
Plate I Random maps for the Number of Classes scenario



图版 II 图区范围系列部分随机图
Plate II Scale - Map Extent scenario



图版 III 聚集程度: Rule 系列
Plate III Aggregation level - Rule scenario



图版 IV 聚集程度: SimMap 系列
Plate IV Aggregation level - SimMap scenario