

基于遥感和 GIS 的元阳梯田分形美的多尺度研究

角媛梅¹, 杨丽萍²

(1. 云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650092; 2. 福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350007)

摘要: 以哀牢山区元阳梯田为研究对象, 以快鸟影像为原始数据, 经矢量化得到小流域梯田田块分布图, 运用 Arcview 计算得到梯田边缘的计盒维数和信息维数, 从分形理论和复杂性理论出发, 分析梯田的分形美特征。结果表明: 1. 梯田是介于单调和复杂之间的景观, 最利于产生审美快感; 2. 计盒维数的存在表明梯田边缘具有统计自相似性, 不同尺度梯田部分与整体的结构相似性形成梯田的相似性与非相似性美; 3. 计盒维数值比较接近, 但又有所差别, 体现了梯田景观空间层次的复杂嵌套性, 形成了梯田形状的秩序性与不规则性美; 4. 信息维数表明, 梯田景观具有复杂精细结构和不规则的、破碎的、粗糙的形状, 从而形成梯田景观的结构精细性与形状“粗糙性”美。另外, 信息维数随研究幅度的增加呈现增加趋势。

关键词: 元阳梯田; 分形美; 计盒维数; 信息维数; 遥感与 GIS

中图分类号: P28 TP79

文献标识码: A

云南红河梯田景观是具有生产性、古老性、独特性、和谐性(可持续性)和极高美学价值等特征的、名扬海内外的观光与摄影胜景, 其中元阳梯田最为著名^[1,2]。在元阳梯田景观中, 最美的景观要素莫过于梯田本身。正如毛佑全^[3]写的:“在起伏连绵的哀牢群山中, 无数座高达数十级乃至数百级的‘田山’巍然屹立, 蔚为壮观。鳞次栉比的梯田, 顺着山势的蜿蜒, 层层叠叠, 犹如数不完的道道天梯, 从远远的山脚箐底直挂山颠云天。当冬末春初, 梯田里灌满水的时候, 梯田显得奇巧而壮丽……。”而描述梯田美景的网络文章更多, 如“梯田美丽的线条构成层叠花瓣, 这些花瓣大小不一, 但紧紧相连, 错落有致”^[4]。纵观这些文章, 无一不在定性地说说明梯田具有典型的分形美特性。

分形几何是描述自然物形态结构的一门新几何学^[5], 其量化指标是分形维数(通常是计盒维数和信息维数)。分形形态在自然界遍存在, 如白云、树、河流、海岸线^[6]、城市^[7,8]、旅游景点^[9]、交通网络^[10]等。从原本意义上看, 分形研究并不担负审美

的使命。但分形从提出就与美联系在一起, 被认为是“美的科学”^[11]。分形理论的创始人曼德尔布罗特(Mandelbrot)的奠基性著作充满大量美妙的分形图, 并以自然现象如湍流、海岸线等为研究对象。分形图的美学价值是毋庸置疑的, 而自然景观的分形美则是人类美感的终极源泉。分形美是分形体提供给人在感受和认知方面的愉悦之情^[12]。分形体具有的平衡、和谐及对称等特点与传统美学不同。首先, 其平衡是动态平衡, 是各部分在变化中相互制约的平衡; 其次, 其和谐是自然的和谐, 每个形状的变化, 每块颜色的过渡都是一种自然流动, 毫无生硬之感; 第三, 其对称不同于传统的左右对称或上下对称, 而是局部与更大范围局部或局部与整体的对称, 体现为分叉、缠绕、不规整边缘和丰富的变换, 是一种纯真的自然多样性美。而传统美感形式如局部与局部相似所呈现的对称均衡美, 局部与整体之间迭代所呈现的韵律美等在信息意义上是有序、简单、平衡的体现^[13]。从这个意义上说, 分形美是复杂的美, 而且正形成一种新的审美理想和情趣。另外, 分

收稿日期(Received date): 2007-11-20; 改回日期(Accepted): 2008-03-02

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(编号: 40401022); 云南省自然科学基金项目(编号: 2004D0016Q)[National Natural Science Foundation of China(40401022); Natural Science Foundation of Yunnan Province(2004D0016Q).]

作者简介(Biography): 角媛梅(1972-), 女, 云南马龙人, 副教授, 博士, 主要从事景观生态研究。[Jiao Yuamei, Doctor, Associate Professor, Engaged in landscape ecology.] Email: ynjiao@sina.com

形是系统空间复杂性的表现^[14],分形美是把层次嵌套的自相似性与无规则性、破碎性、混乱性有机地结合起来的一种“既复且杂”的美^[15],它不同于现代美的主流——传统的欧式几何美。然而,确定事物是否具有分形特性的首要条件是其存在分维数。因此,本文以梯田田埂(线条)为研究对象,利用计盒维数和信息维数来定量计算田埂的分形特征,并分析其分形美特性。

1 研究区概况

元阳梯田以其壮观美丽闻名。本文研究对象是元阳县胜村乡的全福庄小寨和中寨的部分梯田,是观赏元阳梯田最易进入的核心地区之一,位于 23.09°~23.14°N 102.72°~102.79°E。研究区梯田分布在海拔 1 470~1 850 m 梯田面积共 955 316 m²,田块共 6 541 块,最大与最小田块面积分别为

2 828 m² 和 5 m²。梯田(田埂)形状有近圆形、近正方形、近椭圆形的等无数形状,且与微地貌如影随形。蜿蜒曲折的田埂与明镜般的田面相互映衬,确是一幅精美的分形画面。

2 数据与方法

2.1 数据来源

研究中使用的原始数据为 2005—04—23 接收的分辨率为 0.6 m 的 QUICKBIRD(快鸟)影像(图 1),并运用 ArcView 经数字化获得全福庄梯田分布图。研究中选取小流域、子流域(21 和 22)、由两个坡面组成的相对独立的微地貌单元(31、32 和 33)、最小地貌单元坡面(41、42、43 和 44)等 4 个尺度的梯田片区进行分析和计算。4 个尺度梯田片区的划分参照河谷、山脊线或人工水渠进行划界。

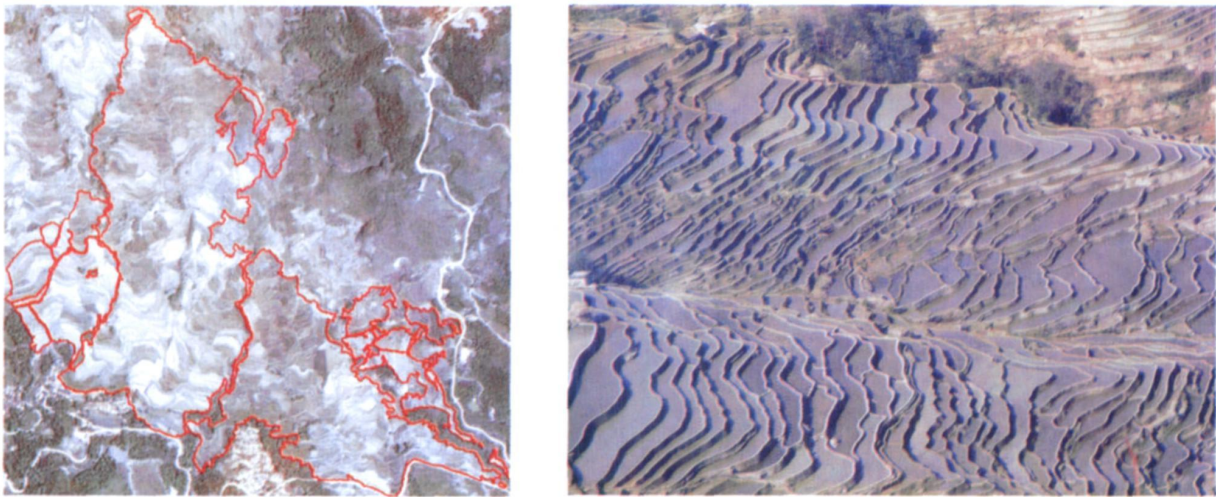


图 1 研究区梯田的快鸟影像及照片
Fig 1 The Quickbird Lmage and picture of terrace in the study area

2.2 研究方法

根据计盒维数和信息维数的计算方法(公式 1 和 2),在分形维数的计算过程中,均以每个梯田片区的长边为基准,分别选取其长边边长的 1/2、1/4、1/8、…1/1024 为方格边长,计算各梯田片区的计盒维数和信息维数(结果见表 1)

$$D_b = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log(N(\epsilon))}{-\log(\epsilon)} \tag{1}$$

$$D_I = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{I(\epsilon)}{\ln(\epsilon)} \tag{2}$$

式中 D_b 为计盒维数, ϵ 为覆盖方格的边长, $N(\epsilon)$ 为对应于划分尺度的非空盒子数, D_I 为信息维数, $I(\epsilon) = \sum P_i \ln P_i$ 是覆盖方格边长为 ϵ 时的 Shannon 信息量,其中 P_i 为梯田边缘落在第 i 个格子中的概率。计算中,将 $I(\epsilon)$ 与相应的方格边长 (ϵ) 在双对数坐标下进行直线拟合,所得拟合直线斜率的绝对值为信息维数。

在分形维数的计算过程中,首先在 GIS 软件 ArcView3.2 中对计算单元(如小流域)的地理坐标进行读数,然后绘制相应的格网图,在将计算单元梯

田分布图转换为栅格图后, 将计算单元栅格图与计算单元梯田分布栅格图进行叠加, 运用空间分析模块计算并统计计算单元的非零格子数, 4 个尺度 10 个梯田片区边缘的分形维数计算结果见图 2 和图 3。

3 结果分析

3.1 梯田形状的自相似与非自相似性美

计盒维数的存在说明梯田边缘具有统计自相似

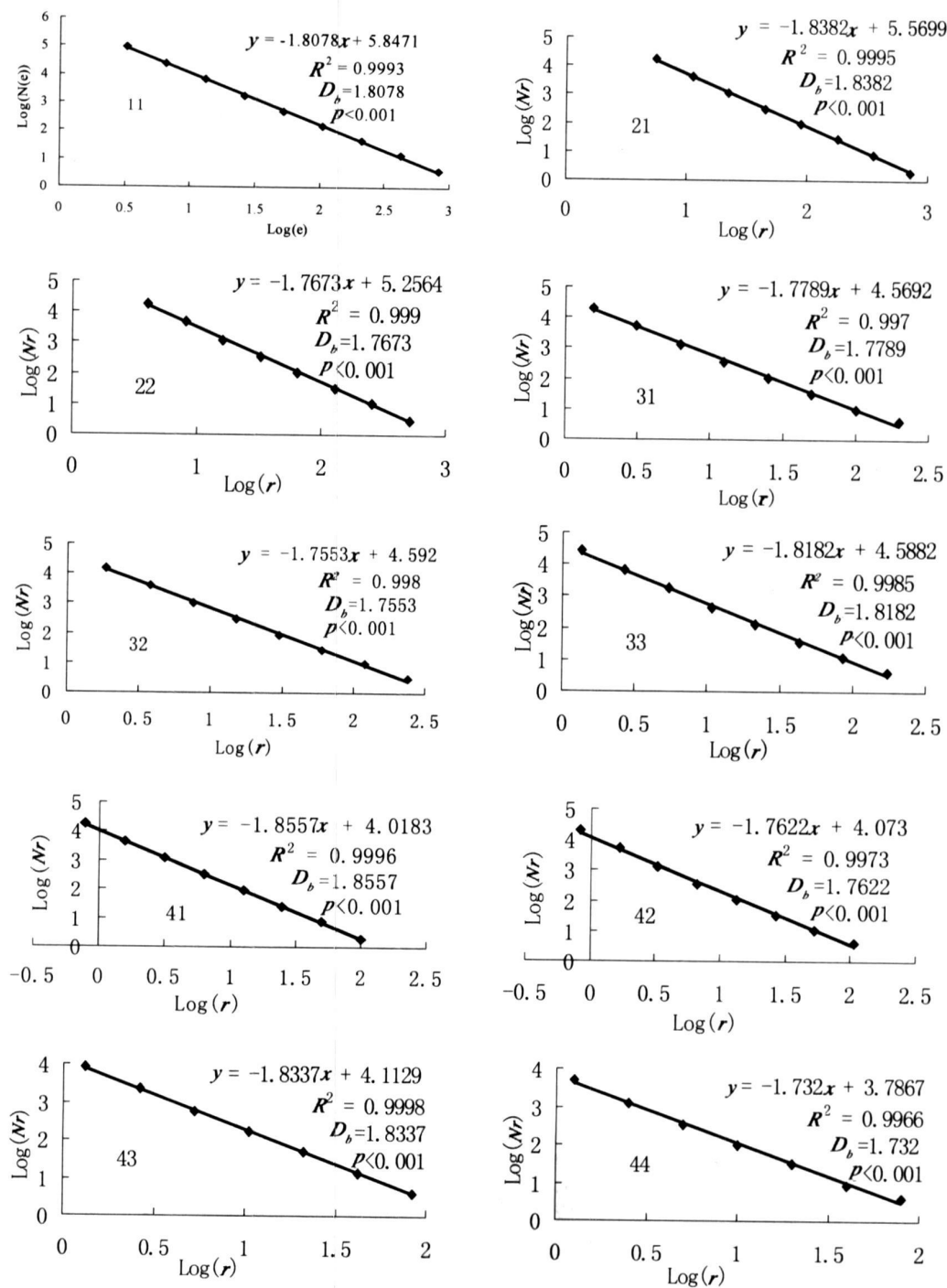


图 2 4 个尺度 10 个梯田片区边缘的计盒维数

Fig 2 The Box-counting Dimension of ten terrace pieces at four scales

性。由图 2 可见,在小流域、一级(子流域)、二级和三级(坡面)地貌单元尺度上,10个处于四个尺度梯田片区的计盒维数均 $> 1.732\ 0(44)< 1.855\ 7(41)$,且每个尺度上的盒子边长与其相对应的非空盒子数在双对数坐标上都呈现出明显的线性分布特征,没有出现拐点,说明梯田的层次超过当前研究的

4层(尺度),且不同层次(或尺度)上都具有相同的结构,即部分与整体的结构具相似性。这种自相似性在无数个微地貌单元上不断地重复并扩展着,使观察者无论驻足于梯田中的哪个角落,还是放眼于其中的任何方向,都会看到似曾相识的梯田景观片,而研究区所属的梯田景观片是地跨元阳县内新街

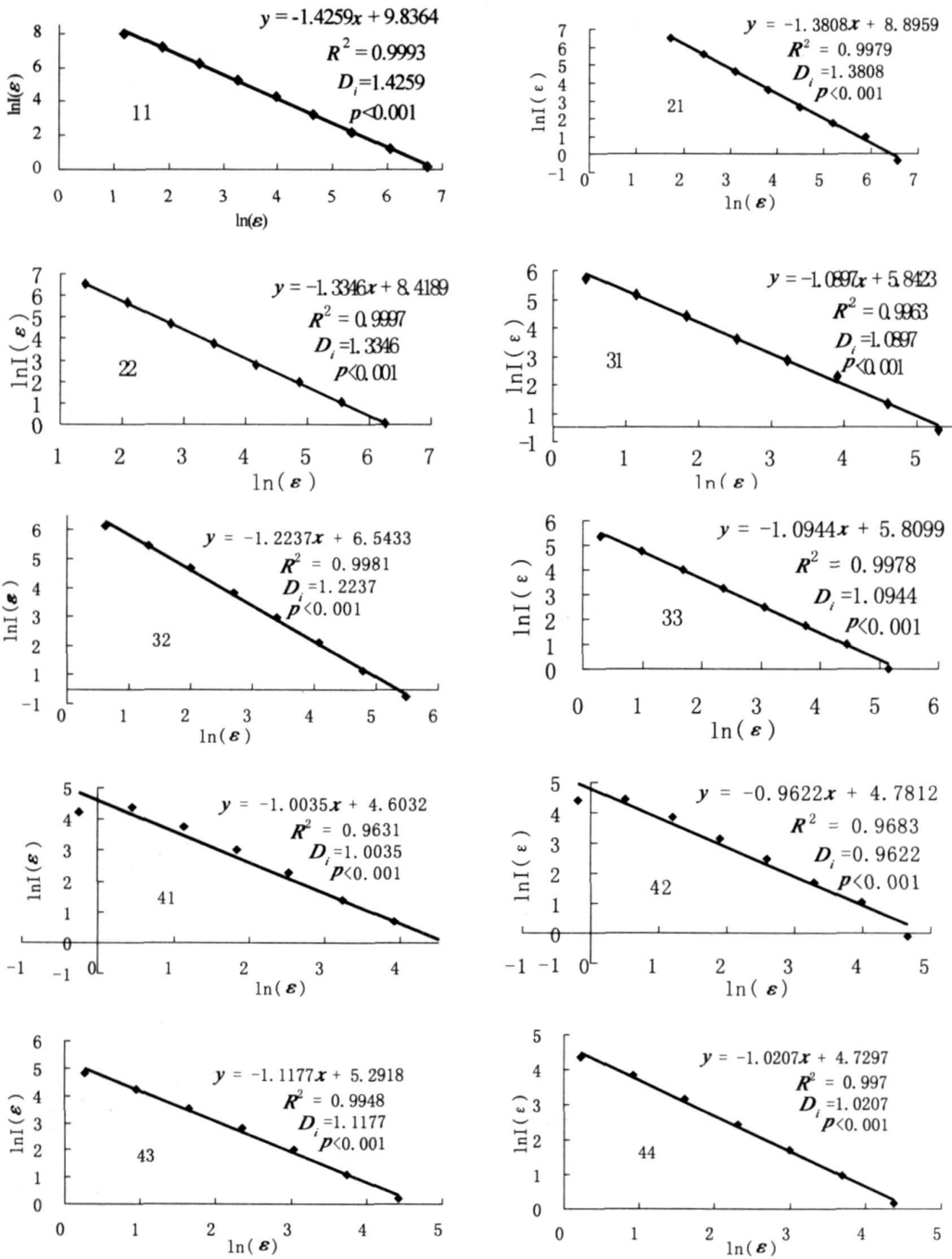


图 3 4个尺度十个梯田片区边缘的信息维数

Fig 3 The Information Dimension of ten terrace pieces at four scales

镇、胜村乡的坝达—麻栗寨—多依树梯田片区, 是整个元阳梯田中面积最大的斑块, 其面积高达 $9\,132.6\text{ hm}^2$, 梯田级数达 5 000 余级^[1], 置身其中, 旅游者无一不被这种规模巨大而又极其相似的水梯田景观所折服, 从而获得一种震撼人心的美学感悟。

梯田是相似的, 但绝不是完全相似的, 这可从图 2 中 4 个尺度 10 个梯田片区计盒维数值存在一定差异得到证明。即使是在一个地势起伏比较一致的坡面上, 如图 4 中的 33 尽管梯田形状相似, 却由于梯田面积的差异、长短的不同、田面水的深浅, 以及阳光反射的强弱, 或是田埂倒影都使它们相异。

3.2 梯田形状的秩序性与不规则性美

建立在自相似性基础上的秩序性与不规则性的统一是现代不规则艺术形式的突出特点, 这样的特点使其具有更丰富的层次、更复杂的意义, 从而也具有更强大的艺术感染力。由图 2 中的计盒维数值比较接近可见, 不同尺度的田片都由田埂与田面不断地重复或累加而成, 使梯田景观具有空间层次上的嵌套性 (见图 1)。这种不同层次或尺度的重复是形成梯田景观空间自相似性的主要因素, 使景观局部与整体之间的关系体现为形态上的多重趋同性, 形成梯田景观强烈的混沌序美 (见图 1 和图 4)。所谓混沌序, 是介于有序与无序之间的中间序, 是无序中的有序、有序中的无序。

另外, 处于不同尺度的、相似的梯田片区或田块

相互嵌套分布在流域单元内, 有的是简单的空间邻接关系, 有的是复杂的穿插关系, 有的是单一的隶属关系, 有的是多重的叠置与邻近关系, 形成复杂多样的空间镶嵌格局。正是这种在自相似基础上形成的空间秩序与不规则性形成梯田景观丰富多样的艺术感染力。

3.3 梯田景观的结构精细性与形状“粗糙性”美

信息是系统结构复杂性程度的度量。信息维数揭示系统结构复杂性的尺度变化程度。小的信息维数表明系统结构复杂性的尺度变化微弱, 结构简单; 大的信息维数则表明系统具有高的结构复杂性。由图 3 可见, 小流域尺度上信息维数约为 1.4 子流域 21 和 22 的值分别约为 1.38 和 1.33 梯田片区的值在 1.1~1.2 间, 坡面尺度上的值在 1.0~1.1 间。同时, 信息维数与计盒维数一样, 每个尺度上的盒子边长与其相对应的 Shannon 信息量在双对数坐标上都呈现出明显的线性分布特征, 没有出现拐点。以上数据说明: 1. 梯田范围越大, 信息维数越大, 梯田结构复杂性越高; 2. 同一层次 (如坡面尺度) 不同梯田片区的信息维数值不同, 说明同层梯田结构的复杂性不同 (见图 1 和图 3); 3. 拐点的缺失说明梯田层次超过四个尺度 (见图 3); 4. 如果研究范围增大 (如流域尺度), 则梯田层次必然增加。由此可见, 梯田景观具有多重嵌套的复杂精细结构, 这种复杂精细结构的嵌套性带来梯田景观极大的丰富性,

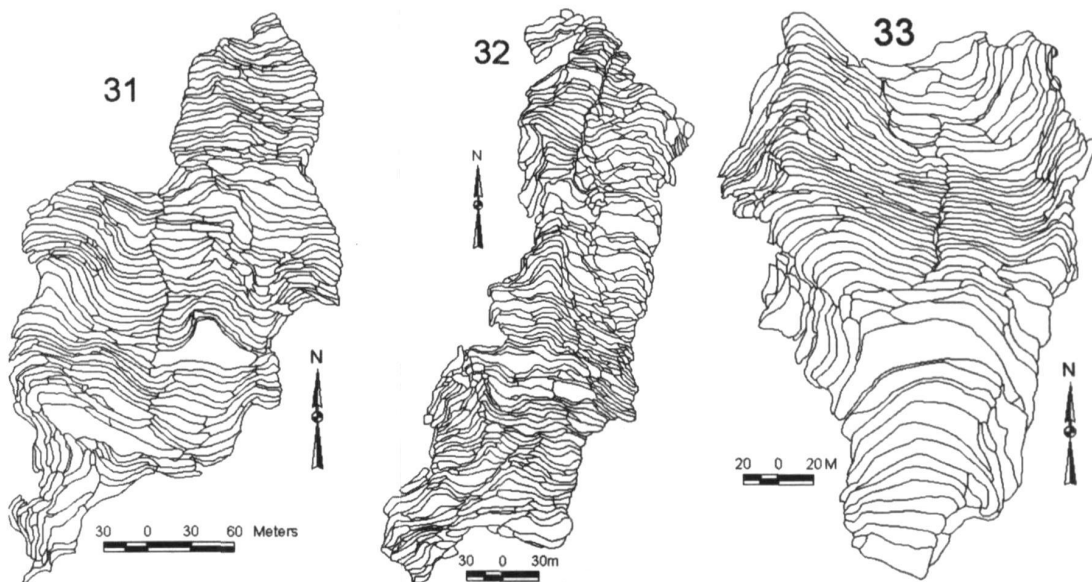


图 4 二级地貌单元尺度的梯田形态

Fig 4 The terrace shape at the scale of micro-unit of physiognomy

使景观随观察距离的变化而不断展现出新的结构元素, 观察者从任何距离望去都能看到某种赏心悦目的精致细节。正是这种具有每一种尺度或没有特征尺度的复杂精细结构, 使景观中的审美主体如置身于迷宫而失去方向感或空间尺度感, 使观察者不能轻而易举的品味景观的所有美感, 而对梯田景观之外的观景者而言, 这种多层次自相似空间则给人一种强烈的视觉冲击力。

从几何学的角度看, 直线、方形、圆形、锥形等是光滑的、规则的、处处可微分的欧几里德形状, 而云、山脉、海岸线、闪电等是粗糙的、破碎的、不可微的分形体。由前述的计盒维数与信息维数可见, 梯田是典型的分形体, 因而其形状是“不规则的、破碎的、粗糙的”。正因为如此, 绵延于山岭间的 $35 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 元阳梯田才会呈现出多姿多彩的丰美景象, 使进入元阳的旅游者无一不被梯田复杂多变的形状所震撼。

4 结论与讨论

综上所述, 通过梯田分形维数的计算和分析可知, 梯田是介于单调和复杂之间的景观, 最利于产生审美快感, 因为“单调的图案难于吸引人们的注意力, 过于复杂的图案则会使知觉系统负荷过重而停

止对它进行观赏。”梯田有极多的层次且每个局部都在动态变化之中, 但它杂而不乱, 其内在秩序是局部与整体对称的自相似结构, 这种对称摒弃了欧几里德几何形式 (如三角形、正方形等) 的对称给人带来的呆板感觉。正因为如此, 梯田被不同的欣赏者描绘为花瓣、弯月、奔马、天梯……世间万物等 (见图 1 和图 4) 人们熟悉并热爱的自然景物。这种处于不同层次的由观察人的阅历、精神与状态所决定的梯田美景形态, 是因地、因时、因人、因景而异的。总之, 元阳梯田的分形美具有以下特性:

1. 梯田田埂具有分维数, 是介于单调和复杂之间的景观, 最利于产生审美快感; 2. 计盒维数体现出的梯田边缘的统计自相似特性, 使梯田形状具有自相似与非自相似性美; 3. 计盒维数显示, 由梯田形状自相似性产生的混沌序与复杂多样的空间镶嵌格局, 使梯田具有秩序性与不规则性美; 4. 信息维数显示, 梯田景观多重嵌套的复杂精细结构, 使其具有极大的丰富性和迷幻性, 而其形状的“不规则、破碎、粗糙”性则形成景观的多样性美。

事实上, 元阳梯田的美不仅包括梯田田埂的线条美, 还包括梯田面积的规模美、梯田景观的格局美, 以及梯田所反映的农耕历史、文化价值和生态意义等方面。因此, 本文仅是梯田田埂线条美的一种新的研究思路和方法的尝试, 关于梯田美学价值的

表 1 不同尺度梯田单元的特性及其与分形维数的相关性
Table 1 The characteristics of terraces at different scales and its correlation with fractal dimensions

| 计算单元 Calculating units | 梯田数 Numbers of terraces | 面积 (m ²) Area | | | 周长 (m) Perimeter | | |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------|---------------------------|------------------|---------------|---------------------------|
| | | 总计 Total | 平均值 Average | 标准差 Standard deviation | 总长 Total | 平均 Average | 标准差 Standard deviation |
| 11 | 6 419 | 944 841 | 2 828 | 157 | 461 629 | 72 | 43 |
| 21 | 3 404 | 482 593 | 142 | 158 | 238 876 | 70 | 44 |
| 22 | 1 477 | 263 386 | 178 | 184 | 115 389 | 78 | 43 |
| 31 | 339 | 48 338 | 143 | 136 | 25 745 | 76 | 43 |
| 32 | 475 | 52 243 | 110 | 105 | 52 243 | 110 | 105 |
| 33 | 218 | 46 336 | 212 | 238 | 21 052 | 97 | 63 |
| 41 | 49 | 10 850 | 221 | 131 | 5 460 | 111 | 53 |
| 42 | 84 | 13 642 | 926 | 143 | 6 935 | 83 | |
| 43 | 43 | 195 | 14 095 | 72 | 62 | 9 503 | 49 |
| 44 | 43 | 7 380 | 172 | 202 | 3 565 | 83 | 33 |
| 与计盒维数的 相关系数① | 0.23 | 0.21 | 0.03 | −0.22 | 0.20 | −0.12 | −0.14 |
| 与信息维数的 相关系数② | 0.83 | 0.84 | 0.41 | 0.04 | 0.84 | −0.29 | 0.09 |

注: ① The correlation index with Box-counting dimension ② The correlation index with Information dimension
©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

综合研究尚待深入。

对大多数人来说, 与传统美有极大区别的分形美还是一个新概念, 其研究内容、方法尤其是科学的量化方法尚处于萌芽阶段, 有待多学科的交叉分析和研究。元阳梯田是勤劳智慧的当地民族在具有分形性质的自然地貌上创造而成的, 具有典型的分形美特性。在其传统美研究尚处于零散的定性描述的现状下, 要深入研究其分形美特征尚任重而道远。

从分形维数的意义可知, 不论是计盒维数还是信息维数, 从理论上讲均是不依赖于尺度(如幅度)的参数, 即其值随研究尺度的增加不会相应增加。然而, 从表 1 可见, 计盒维数与相应地貌单元尺度上梯田的数目、面积与周长的总和、平均值及标准差等指标的相关系数均低于 0.21, 部分指标甚至呈现负相关的特点。信息维数则显示出新的特点, 表现为与相应尺度的梯田数目、总面积和总周长呈显著相关(信度 > 0.01), 而与相应地貌单元尺度上梯田面积与周长的平均值及标准差等指标的相关系数较低。从计算过程可知, 信息维数能更准确地计算并统计对应尺度上的非空盒子数目, 因而其值能够更好地体现梯田景观格局的复杂性随尺度变化的特征。也就是说, 信息维数随研究尺度(如幅度)的增加呈现增加的趋势, 体现出随着研究幅度的增加, 梯田景观格局的复杂性也增加, 其分形美的特征也更为复杂。

参考文献 (References)

- [1] Jiao Yuamei, Xiao Duning, Cheng Guodong. Research on the harmonious development between ethnic culture and environment in subtropical mountains: a case study of Yuanyang Hani terraced cultural landscape[J]. Journal of Mountain Research, 2002, 20(3): 266~271 [角媛梅, 肖笃宁, 程国栋. 亚热带山地民族文化与自然环境和谐发展的实证研究——以元阳梯田文化景观为例[J]. 山地学报, 2002, 20(3): 266~271]
- [2] Jiao Yuamei, Yang Youjie, Hu Wenying, et al. Analysis of the landscape pattern and aesthetic characteristics of the Hani Terraced Fields[J]. Geographic Research, 2006, 25(4): 624~632 [角媛梅, 杨有洁, 胡文英, 等. 元阳梯田景观空间格局与美学特征分析[J]. 地理研究, 2006, 25(4): 624~632]
- [3] Mao Youquan, Li Qibo. Hani Nationality[M]. Kunming Nationality Press, 1989 [毛佑全, 李期博. 哈尼族[M]. 昆明: 民族出版社, 1989.]
- [4] Walking in the mystic Aibo Mountain. <http://www.cctv.com/west/20041026/101800.shtml> [穿行神秘的哀牢山. <http://www.cctv.com/west/20041026/101800.shtml>]
- [5] Zhang Jizhong. Fractal[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1995. [张济忠. 分形[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.]
- [6] Zhu Xiaohua, Cai Yunling, Yang Xidun. On Fractal Dimensions of China's Coastlines[J]. Mathematical Geology, 2004, 36(4): 447~461
- [7] Liu Jisheng, Chen Yanguang. Review and expectation on the fractal studies of urban geography[J]. Geography Science, 2000, 20(2): 166~171 [刘继生, 陈彦光. 城市地理分形研究的回顾与前瞻[J]. 地理科学, 2000, 20(2): 166~171]
- [8] Mao Yalong, Ouyang Meie. Characteristics of fractal aesthetics in mountainous cities[J]. Journal of Mountain Research, 2007, 24(2): 148~152 [冒亚龙, 欧阳梅娥. 山地城市的分形美学特征[J]. 山地学报, 2007, 24(2): 148~152]
- [9] Dai Linjun, Lin Lan, Xu Zhihui, et al. Research on the scale structure of tourist region's system based on fractal method[J]. Geography Science, 2006, 26(2): 244~250 [戴学军, 林岚, 许志晖, 等. 基于分形方法的旅游景区(点)系统等级结构研究——以南京市旅游景区(点)系统为例[J]. 地理科学, 2006, 26(2): 244~250]
- [10] Chen Yanguang, Liu Jisheng. The DBM characteristics of traffic network fractal: a case study of Laplacian fractal features of traffic network[J]. Geography Science, 1999, 19(2): 114~118 [陈彦光, 刘继生. 区域交通网络分形的 DBM 特征——交通网络的 Laplacian 分形性质的实证研究[J]. 地理科学, 1999, 19(2): 114~118]
- [11] Pitegen, Lixite (Translated by Jing Zhujun, Zhang Xiangsun). Fractal Science of Beauty: Graph of Complex Dynamic System[M]. Beijing: Science Press, 1994. [派特根, 里希特著. 井竹君, 章祥荪译. 分形——美的科学: 复动力系统图形化[M]. 科学出版社, 1994.]
- [12] Qi Libo, Li Yaping. The fractal beauty of landscape aesthetics[J]. Journal of Nanjing Forestry University, 2006, 6(1): 88~92 [齐立博, 李艳萍. 景观美学研究中的分形美[J]. 南京林业大学学报(人文社会科学版), 2006, 6(1): 88~92]
- [13] Sun Bowen. Fractal Art of Computer[M]. Harbin: Art Press of Heilongjiang, 1999. [孙博文. 电脑分形艺术[M]. 哈尔滨: 黑龙江美术出版社, 1999.]
- [14] Lin Xiaohui. Fractal Philosophy[M]. Beijing: Capital Normal University Press, 1999. [林夏水. 分形的哲学漫步[M]. 北京: 首都师范大学出版社, 1999.]
- [15] Miao Dongshen. Fractal and complexity[J]. Journal of System Dialectics, 2003, 11(2): 7~12 [苗东升. 分形与复杂性[J]. 系统辩证学学报, 2003, 11(2): 7~12]

Multi-scale Research on the Fractal Beauty of Hani Terrace Based on Remote Sensing and Geographic Information System

JIAO Yuamei¹, YANG Liping²

(1. Tourist and Geography College of Yunnan Normal University, Kunming 650092, China)

2. Geography College of Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: In this paper, the object is the Hani terrace landscape in Yuanyang County of Ailao Mountain. The original data is the Quick Bird Images of the study area. At the data processing, the terrace distribution map is vectorized manually from Quick Bird Images, the Box-counting dimension and the information dimension of terrace edges are calculated in using Arcview, and the fractal beauty is analyzed by using the fractal and complexity theory. The results indicate that: 1) The terrace is a landscape between simple and complex which is benefit to beauty. 2) the Box-counting dimension indicates the statistic self-similarity of terrace edge, and the structure similarity of part and whole at different scales shapes the similar and un-similar beauty. 3) The close but differ value of Box-counting dimension at all scale indicate the complex nesting of terrace levels, which form the order and scrambling beauty of terrace edge. 4) The information dimension indicate the terrace landscape have complex fine structure and anomalous, fragmentized and coarse shape, which form the beauty of fine structure and coarse shape. In addition, the information dimension is increased with spatial scales.

Key words: Yuanyang terrace; Fractal Beauty; Box-counting dimension; information dimension; Remote Sensing and Geographic Information System