

桂花叶片的分形特征

刘庭凯^{1,2}, 邹学新¹, 赵婷婷¹, 黄海波¹, 王俊刚¹, 麻琳^{1,2}

(1. 孝感学院生命科学技术学院, 湖北孝感 432000; 2. 孝感学院创新团队, 湖北孝感 432000)

摘要: 提供了一种叶片分形维数的测定方法, 并用其测定了桂花(*Osmanthus fragrans* Lour.)的叶片分形维数。通过分析发现: (1) 桂花叶片具有典型的分形特征并且这种分形特征可以用分形理论的一般方法加以研究; (2) 同一株桂花树的成熟叶片在统计意义上具有相同的分形维数; (3) 对于桂花这个物种的成熟叶片在统计意义上具有相同的分形维数。由此推测同一种植物的成熟叶片(或者其他构件)具有相同分形维数。最后提出创建植物分形分类学的设想。

关键词: 桂花; 叶片; 分形维数; 计盒维数

中图分类号: Q94-332; S685.13

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2005)02-0199-04

Fractal Characteristics of Leaves of *Osmanthus fragrans* Lour

LIU Ting-Kai^{1,2}, ZOU Xue-Xin¹, ZHAO Ting-Ting¹,

HUANG Hai-Bo¹, WANG Jun-Gang¹, MA Lin^{1,2}

(1. College of Life Science and Technology, Xiaogan University, Xiaogan, Hubei 432000, China;

2. Wonder School, Xiaogan University, Xiaogan, Hubei 432000, China)

Abstract: This paper offers a method to measure leaf's fractal dimension (FD) by introducing the box-counting dimension, one method the fractal theory provided. The scanned photos of mature leaves are treated according to the box-counting dimension. We use this method to measure the leaf's FD of *Osmanthus fragrans* Lour. By analyzing the result, we find that: (1) The goodness of linear fit of double-logarithmic plot of the number of boxes to box size is significantly great: all the absolute values of coefficient of correlation are greater than 0.9991 that is very close to 1, the expectation. So we conclude that leaves have typical fractal characteristics, which can be studied by fractal theory. (2) The FDs of all leaves of Tree01 from the sample are between 1.7258 and 1.8880, with an average of 1.8065, a standard deviation of 0.0393 and a coefficient of variation (CV) of 2.7180%, which imply the low discreteness. And all the data are normally distributed as well. Other trees in the sample share the same case, so we conclude that the mature leaves of the same tree have the same FD statistically. (3) The ANOVA using the completely random model shows that the differences between the 10 sample trees are not significant: $F=0.706 < F(9, 490, 0.05)=1.899$, which means that the mature leaves of *Osmanthus fragrans* Lour share the same FD statistically. Therefore we presume that the mature leaves (or other module) of the same species share the same FD statistically. Finally we propose an idea of founding plant fractal taxonomy.

Key words: *Osmanthus fragrans* Lour; Leaf; Fractal dimension; Box-counting dimension

分形(fractal, 在台湾译为碎形)的概念是法国数学家Mandelbrot B B在1975年首先提出来的^[1]。在不到30年的时间里, 它已经迅速发展成为

一门新兴数学分支, 成为研究和处理自然科学及社会科学中复杂性和非线性问题的理论工具, 应用几乎涉及各学科领域^[2]。20世纪80年代后期分形理

收稿日期: 2004-08-05, 修回日期: 2004-09-13。

基金项目: 孝感学院大学生科技活动基金会和孝感学院创新团队基金项目联合资助。

作者简介: 刘庭凯(1982—), 男, 在读本科四年级, 研究方向为分形生物学, 孝感学院创新团队(梦之队)队长(E-mail: tingkailiu@163.com)。

论才开始应用于植物学研究,现已广泛应用于植物形态学、树木冠层结构、生态学、林学等植物学领域,并逐渐显示出其强劲的势头^[3]。

高等植物是构件生物,是由构件不断增加形成的,具体地说植物通过其构件如根、茎、枝、芽、叶、花等反复形成而实现其生长^[4-6]。这些构件本身及由其构成的复杂植物体有着明显的自相似性。这种自相似性是非线性的,可以用分形理论来描述。高等植物的叶片一方面具有非常典型的分形特征,另一方面又是高等植物的重要构件,因此通过测定叶片分形维数(亦称分维值 fractal dimension, FD)可以定量地描述高等植物复杂程度^[7-9],进而为研究植物进化和分类提供一种新的理论依据。本研究提供了一种简便易行而又行之有效的叶片分形维数测定方法,并以桂花为例分析了高等叶片分形维数的特征,为进一步研究植物复杂性提供了基础信息。

1 材料与方法

1.1 材料、样品及采样地

选择桂花(*Osmanthus fragrans* Lour)作为实验材料,原因有二:其一,桂花生长区域范围广,材料易从全国各地采集到;其二,桂花叶片容易制成测定其维数所需的叶脉标本。桂花是一种多年常绿灌木或小乔木,高约 12 m;叶革质,椭圆形至椭圆状披针形,长 4~12 cm,宽 2~4 cm,顶端急尖,基部楔形,全缘或上半部疏生细锯齿;叶柄长约 2 cm,网状脉,叶面下凹,叶背隆起^[10]。从不同地点随机抽取 10 株桂花,再从这 10 株中随机抽取 50 片成熟而未老化的叶片进行实验。10 株桂花的采样地及类型见表 1。

表 1 采样地及类型
Table 1 Locality and type of trees

编号 No.	产地 Locality	类型 Type	编号 No.	产地 Locality	类型 Type
Tree01	广西桂林	野生	Tree02	广西桂林	栽培
Tree03	福建漳平	野生	Tree04	浙江象山	栽培
Tree05	湖北长阳	野生	Tree06	湖北长阳	栽培
Tree07	湖北巴东	野生	Tree08	湖北孝感	栽培
Tree09	江西九江	野生	Tree10	江西九江	栽培

1.2 获取叶片分形图像

观察到叶脉具有非常典型的分形特征(见图 1),所以选用叶脉的分形维数来表示叶片分形维数。

叶片处理:将所选叶片浸没于煮沸的 20%

NaOH 溶液中,并不断翻动至叶片变为褐色。捞出平铺于硬板上,用刷子轻轻刷去叶片正反面的叶肉,并用亚甲基蓝染色 5 min(便于扫描),置于干凉处晾干至无水后夹入报纸中重压 3 d,取出叶片,将其编号。

扫描:因扫描仪¹⁾每次最多只能扫描 12 个叶片,故在实验操作时将 500 个叶片随机分成 50 组(每组 10 个)进行扫描,重复 3 次随机分组、扫描。扫描时将扫描仪的分辨率调到最大(像素 1 200)。再将每个扫描得到的叶脉图形用绘图工具或 Adobe Photoshop 软件处理成只含叶脉信息的 BMP 黑白图像,保存为一个文件。处理过程要保持数据的无损性,即不改变分辨率大小和使用有损压缩工具。共得到 1 500 个 BMP 黑白图像文件。

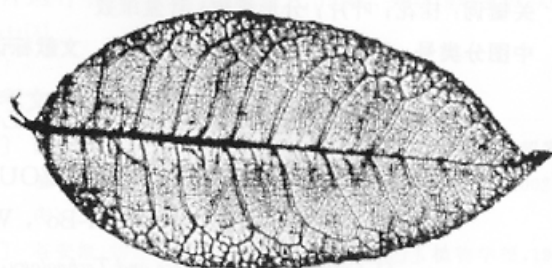


图 1 具有典型分形特征的叶脉
Fig. 1 The vein with typical fractal characteristics

1.3 维数测定

我们在测定原理上采用目前应用最广泛的计盒维数(box-counting dimension)法^[2,11-14],并选用 Fractal analysis system for windows (Version 3.4.5)软件²⁾测量叶片的分形维数值,具体操作方法是:打开处理好的叶脉 BMP 黑白图片,把区域定义为整个文件,然后点击 Fractal Dimension→Black 进行维数计算,计算完后把结果复制到 Excel 文件进行数据处理。

2 结果及分析

2.1 单个叶片的分形特征

对每个叶片的数据进行分析发现:相关系数的绝对值都大于 0.999 1。这一结果至少可以说明两个问题:其一,叶片本身具有明显的分形特征,这种分形特征可用分形理论的一般方法加以研究;其二,上述测定方法是非常精确而有效的。

2.2 同一株桂花树的叶片分形特征

以 Tree01 为例分析同一株桂花树叶片分形维

1) 联想(北京)有限公司委托台湾湾科公司制造的型号为 1200UB 的平台式扫描仪,图像处理软件为汉王 OCR5.0 增强版。

2) 由 National Agriculture and Bio-oriented Research Organization (NARO), Japan 开发。

数的特征,分形维数值在 1.725 8~1.888 0 之间,平均值是 1.806 5,样本标准差为 0.039 3,变异系数为 2.718 0%,说明 Tree01 叶片分形维数离散程度较低,分布变异程度较小,比较整齐。分别用 W 法、D 法、动差(矩)法进行正态性检测得到的结论都是 Tree01 的 50 个叶片分形维数呈正态分布。对 Tree01 的不同叶片的 3 次重复测量所得到的分形维数(FD)进行方差分析: $F=0.727<F(49,100,0.05)=1.481$,可以得出结论,不同叶片之间的分形维数差异不显著(见表 2)。综上分析,可以说明 Tree01 的这 50 个叶片的分形维数来自同一个整体。对所取样的 10 株树进行同样的分析均可以得到相同的结论。由此可推论同一株桂花的成熟叶片理论上具有相同的分形维数。

表 2 Tree01 不同叶片间的方差分析					
Table 2 ANOVA of different leaves of Tree01					
变异来源 Source of variances	平方和 Sum of squares	自由度 Free degree	均 方 Mean of squares	F 值 F value	显著水平 Significant level
处理间 Among treatments	0.2276	49	0.0046	0.727	0.8914
处理内 Within treatments	0.6386	100	0.0064		
总变异 Total variances	0.8662	149			

Notes: $F(49,100,0.05)=1.481$, $F(49,100,0.01)=1.742$

2.3 桂花的成熟叶片理论上具有相同的分形维数

将取样的 10 株树的 500 个叶片的分形维数值的样本特征数列于表 3 中,利用完全随机模型对其进行方差分析。

表 3 一个样本容量为 500 的随机样本的样本特征数描述

Table 3 The description of characteristics of a random sample with sample size of 500

Item	Tree01	Tree02	Tree03	Tree04	Tree05	Tree06	Tree07	Tree08	Tree09	Tree10
Sample Size	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Min	1.7258	1.7117	1.7200	1.7209	1.7320	1.7304	1.7295	1.7030	1.7231	1.7322
Max	1.8880	1.8820	1.8671	1.8886	1.8899	1.9035	1.8949	1.8817	1.8927	1.9137
Average	1.8065	1.7936	1.7964	1.8041	1.8023	1.7996	1.8036	1.7995	1.7930	1.8053
S	0.0393	0.0429	0.0382	0.0454	0.0336	0.0380	0.0410	0.0429	0.0399	0.0423
CV(%)	2.1780	2.3908	2.1254	2.5140	1.8624	2.1127	2.2715	2.3841	2.2266	2.3406

假设所有分类值来自同一个总体,即 $H_0:\delta_1=\delta_2=\delta_3=\cdots\delta_{10}$, $H_A:\delta_1,\delta_2,\delta_3,\cdots\delta_{10}$ 至少有两个不相等。Bartlett 方差齐性检验: $\chi^2=6.04<\chi^2(9,0.05)=16.19$ 。所以该样本数据具备方差齐性。

分别用 W 法、D 法、动差(矩)法进行正态性检验得到的结论都是各株桂花树的 50 个叶片分形维数呈正态分布。

完全随机方差分析见表 4, $F=0.706<F(9,490,0.05)=1.899$,所以接受 H_0 ,即树间差异不显著,所有叶片分维值来自同一整体。

分析结果表明,桂花的所有叶片理论上具有相

同的分形维数。在同一生长期桂花栽培种和野生种的叶片分形维数差异显著,不同区域的差异也不显著。实际测量值的差异是由随机误差造成的。

3 讨论

3.1 关于同一种植物的分形特征

本文以桂花作为实验材料,得出结论:在相同的生长时期,桂花的成熟叶片在理论上具有相同的分形维数。由此猜想:此结论是否适用于桂花的其他部位,如树皮,树冠等;是否普遍适用于各种植物。若这些猜想成立,那么通过测定同一生长时期的不同部位所得到的分形维数就可以作为植物分类的一个参数,为植物分类提供新的依据。

3.2 创建植物分形分类学的建议

叶片分形维数可以定量地描述高等植物的复杂程度。通常所说的植物进化从简单到复杂只是简单地定性描述了植物的进化程度和趋势。当两种具体的植物放在一起时难以说清哪一种更简单哪一种更复杂,而通过测定其叶片分形维数,可以解决这一问题。从这个意义上讲一定部位的分形维数为研究植物进化程度及其分类提供了新的依据。根据越复杂的物体分形维数越大的普遍规律^[15],可以通过进一

表 4 对所抽样本的 10 株树进行完全随机方差分析

Table 4 The analysis of completely random variance for the 10 trees from the sample

变异来源 Source of variances	平方和 Sum of squares	自由度 Free degree	均 方 Mean of squares	F 值 F value	显著水平 Significant level
处理间 Among treatments	0.0104	9	0.0012	0.706	0.7036
处理内 Within treatments	0.8022	490	0.0016		
总变异 Total variances	0.8126	499			

Notes: $F(9,490,0.05)=1.899$, $F(9,490,0.01)=2.443$

步研究、探索、实验测出各种植物的不同部位或不同器官的分形维数甚至不同大分子或细胞器的分形维数^[2,16],然后用数值分类的方法对这些植物进行系统分类和定位,进而创建植物分形分类学。因为分形是为处理复杂问题时建立起来的理论^[1,2],而植物系统分类正是要体现出植物进化的复杂程度的客观事实,因此建立植物分形分类学从理论上是必要的。

此外叶片分形维数还可能与光合作用^[16],CO₂排放^[17],树冠的空间占有能力^[18,19]及其它因素^[20-22]有密切联系,可以将其应用到这些领域的研究中去。

致谢:本论文在撰写过程中得到了姜益泉和肖淑芬两位老师的精心指导,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] Mandelbrot B B. Fractal: Form, Chance and Dimension [M]. San Francisco: W H Freeman, 1977. 1-10.
- [2] 张济忠. 分形[M]. 北京:清华大学出版社,1995. 256-278.
- [3] 李火根,黄敏仁. 分形在植物研究中的应用[J]. 植物学通报, 2001,18(6):684-690.
- [4] 黎云祥,刘玉成,钟章成. 植物种群生态学中的构件理论[J]. 生态学杂志, 1995,14(6):35-41.
- [5] Halle F R, Oldeman A A, Tomlinson P B. Tropical Trees and Forests: An Architecture Analysis [M]. New York: Springer-verlay, 1978. 10-15.
- [6] 巴雷,王德利. 羊草草地主要植物邻体干扰条件下构件形态特性比较[J]. 东北师范大学学报(自然科学版), 2003,35(1): 110-116.
- [7] Corbit J D, Carbary D J. Fractal dimension as quantitative measure of complexity in plant development[J]. *Pro Roy Soc B*, 1995, 262: 1-6.
- [8] Csete M E, Doyle J C. Reverse engineering of biological complexity[J]. *Science*, 2002, 295: 1664-1669.
- [9] Adami C, Ofria C, Collier T C. Special feature: evolution of biological complexity[J]. *PNAS*, 2000, 97: 4463-4468.
- [10] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴[M]. 北京:科学出版社,1987. 354.
- [11] Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature[M]. San Francisco: W H Freeman, 1982. 105-113.
- [12] Falcorner K. Fractal Geometry: Machemathical Foundations and Application [M]. New York: Wiew, 1990. 127-153.
- [13] Cai Q H, Chang J B. Growth pattern of reed in Caogang Lake, Huanghuaihai Plain, China[J]. *J Envir Sc*, 1999,11(1):100-105.
- [14] 蔡庆华,赵斌,潘文斌. 芦苇生长格局分形特征的初步研究[J]. 水生生物学报, 1999,22(2):123-127.
- [15] 黄真理,常剑波. 鱼类体长与体重的分形特征[J]. 水生生物学报, 1999,23(4):330-336.
- [16] Li X P, Patricia M M, Gilmore A M, Niyogi K K. PsbS-dependent enhancement of feedback de-excitation protects photosystem II from photoinhibition[J]. *PNAS*, 2002, 99: 15222-15227.
- [17] 王义琴,张慧娟,杨莫安,白克智,匡廷云. 大气CO₂倍增对植物根系生长影响的分形分析[J]. 科学通报. 1998,84(1): 26-33.
- [18] Zeide B. Fractal analysis of foliage distribution in loblolly pine crowns [J]. *Can J for Res*, 1998,21:1208-1212.
- [19] Berezovskaya F S, Karev G P, Kisliuk O S, Khlebopros R G, Tsel'niker Y L. A fractal approach to computer-analytical modelling of tree crowns [J]. *Trees-Struct & Func*, 1998, 28: 106-114.
- [20] Escócs J, Alados C L, Emlen J M. The impact of grazing on plant fractal architecture and fitness of a Mediterranean shrub *Anthyllis cytisoides* L. [J]. *Func Eco*, 1997, 11(1): 66-73.
- [21] West G B, Brown J H, Enquist B J. The fourth dimension of life: fractal geometry and allometric scaling of organisms [J]. *Science*, 1999, 284: 1677-1679.
- [22] Williams N. Biology: fractal geometry gets the measure of life's scales[J]. *Science*, 1997, 276: 34-40.