

利用分形维数分析 Y 形苹果幼树叶片贡献率研究

刘 鹤¹, 雷 桢 桢¹, 张 社 奇¹, 李 丙 智², 韩 明 玉²

(1. 西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:采用分形理论和图像技术相结合的方法,调查了 Y 形苹果幼树不同品种、不同方位的分形维数,根据二维图像的分形维数提出了叶片贡献率(CRL)的概念,并将其作为描述叶片在树体结构中空间分布状态的参数。结果表明:5 个品种 Y 形苹果幼树的分形维数对比发现,果树树体结构的分形维数与枝条长度和数量呈正相关的关系,且不同品种的分形维数存在显著差异,5 个品种苹果幼树二维图像的分形维数表现为:“长富 2 号”>“玉华早富”>“富红早嘎”>“烟富 6 号”>“丽嘎啦”;二维图像的分形维数侧视图大于正视图;有叶片树和除叶片树的分形维数差异极显著,对于正视图来说,有叶片树的分形维数介于 1.592~1.661,除叶片树的分形维数介于 1.280~1.405;CRL 介于 15.13%~19.60%。对于侧视图来说,有叶片树的分形维数介于 1.627~1.728,无叶片树的分形维数介于 1.329~1.433,CRL 介于 16.55%~18.87%。表明,叶片贡献率可用来表征叶片在树体结构中的空间分布状态。

关键词:分形维数;叶片空间分布;树体结构;叶片贡献率(CRL);Y 形苹果幼树

中图分类号:S 661.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)11-0019-06

陕西省在我国乃至世界上被公认为是最佳苹果适生区和优势产业带,2011 年陕西苹果又获得了欧盟保护

第一作者简介:刘鹤(1986-),男,河北衡水人,硕士研究生,研究方向为环境生物物理学。E-mail:617661787@qq.com.

责任作者:张社奇(1964-),男,陕西扶风人,博士,教授,现主要从事环境生物物理等研究工作。E-mail:zhangsheqi@nwsuaf.edu.cn.

基金项目:国家农业部“948”资助项目(2011-Z24);国家苹果产业技术体系资助项目(CARS-28)。

收稿日期:2013-03-06

标识“原产地保护标识”^[1]。根据国家“十二五”规划,到“十二五”末,苹果面积要求达到 73.33 万 hm^2 ,产量将达到 1 000 万 t ^[2]。要实现规划要求,苹果生产技术势必面临新的考验。合理的树体结构是果树生长的基础,但是叶片的光合能力是果树优质丰产的决定性因素。叶片是果树进行光合作用的重要器官,其在树体结构中的空间分布决定叶片对光照的截获量^[3-5]。分析叶片在树体结构中的空间分布,能够为提高光截获率和改善树体结构并最终达到优质丰产提供理论依据。国外许多学者对叶片的光合评价做了大量的研究,通常的方法是

Phenophase Observation and Varieties Choice in Avoiding the Late Frost Damage of Early-fruiting Walnut Cultivars

XU Jing, ZHAI Mei-zhi, GUO Li-xia, BO Ying-sheng

(College of Forestry, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Suffering from late frost is one of the most serious problems that restrict the production of walnut. A field observation on the phenophase of 11 early-fruiting was carried out in a walnut experiment station in Shanyang-Shangluo in 2011. The phonological behavior of different walnut cultivars was designed and to evaluate their abilities in avoiding the late frost damage, as well as to choose appropriate pollination varieties. The results showed that different walnut cultivars had obvious difference in different phenological phases. The most significant phase was the end of female phase, and the beginning of male phase showed no obvious difference. Three kinds of walnut cultivars were protogyny ('Xilin No. 2', 'Wen-185', 'Qike', seven were protandry ('Xiangling', 'Xilin No. 3', 'Tulaier', 'Chandler', 'Yuanfeng', 'Fenghui', 'Xifu No. 1'), and one was monochogamy ('Xifu No. 2'); nine other varieties need to configure the pollination tree; 'Xiangling', 'Xilin No. 3', 'Tulaier', 'Chandler', 'Yuanfeng', 'Fenghui', 'Xifu No. 1', which could avoid late frost damage, were considered the first choice of walnut cultivation varieties in the place where have late frost damage.

Key words: walnut; phenophase; male and female florescence; avoiding late frost varieties

测量各种光合指标,但是叶片光合指标极易受到光照时间、光照强度、叶片质量和数量的影响,误差较大,很难反向描述和评价叶片的空间分布状态^[6-8]。果树对环境变化的反应产生生态格局,对于叶片也一样,叶片的空间分布导致光照分布的异质性,从而影响到净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度等光合指标。因此研究叶片的空间分布状态对提高叶片的光合能力有一定的意义。目前对果树的树体空间结构和叶片的空间分布研究很少,原因在于其结构的复杂性和无规则性,难以用传统的欧式几何来描述。现通过调查和分析同种树形不同品种苹果树树体结构二维图像的分形维数^[9-11],根据有叶片树和除叶片树的分形维数的差值得出叶片贡献率,以期在叶片在树体结构中的空间分布状态提供参数,并根据叶片贡献率有效改善树体结构。

1 材料与方法

1.1 试验材料

该试验在陕西省宝鸡市苹果专家大院(国家现代农业产业技术体系凤翔苹果综合试验站)试验园进行。以新疆野苹果为基础,M26 为中间砧,具体包括:M26 矮化中间砧“长富 2 号”、M26 矮化中间砧“富红早嘎”和 M26 矮化中间砧“烟富 6 号”,另有 M26 矮化自根砧“丽嘎啦”和 M26 矮化自根砧“玉华早富”。株行距为 $1.5\text{ m} \times 3.5\text{ m}$ 。5 个品种树分别为:“长富 2 号”、“玉华早富”、“富红早嘎”、“烟富 6 号”和“丽嘎啦”,均为 2 a 生幼树,根据树势、树形基本一致的原则,分别选取 5 个品种 10 株树,总 50 株。

1.2 试验方法

1.2.1 果树冠层枝条统计 果树枝条是构成树体结构的基本单位,枝条在空间的分布状态能够在很大程度上决定树体结构的走向,枝条的长度和数量也可表征树势强弱。该试验树是 2 a 生的幼树,将枝条按照以下标准进行统计:干高、主枝长度、侧枝总长度、总长度和枝条长度相对比率,分别用米尺测量。侧枝总长度为所有侧枝的长度总和;总长度=干高+主枝长度+侧枝总长度;枝条长度相对比率等于每个小于最大总长度的值与最大总长度的百分比。

1.2.2 叶片干重统计 叶片是光合作用的主要器官,叶片数量与光合面积和光合效率关系密切。叶片干重一方面反映植物的光合产率,另一方面反映叶片在整个树体结构中所占的比重。该试验将每株供试树上的所有叶片摘下分别装入贴有标签的纸袋中;将叶片放入烘箱(型号 101-1A)中,于 105°C ,杀青 3 min;然后在 80°C ,烘干 24 h。最后将烘干的叶片用电子天平称重,记录每株树的叶片干重。

1.2.3 图像的采集及处理 利用数码相机采集每株树的二维图像,该试验中的一个重要环节就是每株树体完整图像的采集。一是因为周围树枝与试验树体干枝之

间可能发生重叠,进而导致图像信息偏差,于是采用白布作为背景,将周边树与试验树用白布分隔,避免了其它树体干枝对试验树体图像的影响。二是因为从不同的角度看到的果树枝干结构是不一样的,即对同一株果树,从不同角度拍摄的图像计算得到的分形维数存在差异。为了使不同树体结构分形维数具有精确性和可比性,采集图像时做了如下处理:在拍摄每株试验树体图像时,相机拍摄高度为树体总高度的 $1/2$,相机没有倾角,距离试验树体距离为 5 m,然后从正北、正东 2 个角度进行拍摄,分别记为正视图和侧视图。再对每张图片进行处理。具体计盒方法参照张社奇等^[6]的方法。该试验对有叶树和无叶树分别拍摄,拍摄后的图片经处理后见图 1、2。

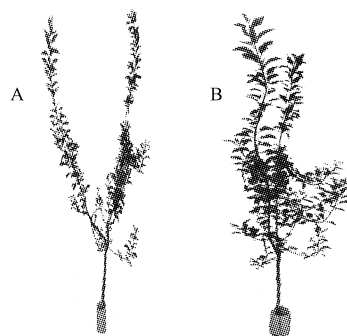


图 1 有叶片树的二维图像

注:A:正视图;B:侧视图。图 2 同。

Fig. 1 Two-dimensional images sample of apple tree with leaves
Note: A. Front-view image; B. Side-view image. The same as Fig. 2.

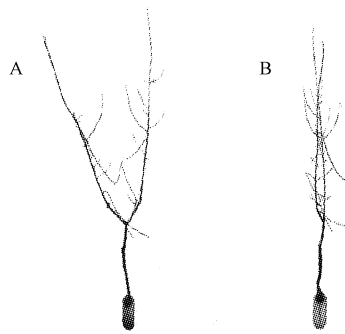


图 2 无叶片树的二维图像

Fig. 2 Two-dimensional images of apple tree without leaves

1.3 数据分析

1.3.1 二维图像分形维数的计算 将采集的二维图像输入计算机,用 Photoshop 软件对图像进行分割,测定方法采用改进的计盒维数(Box-counting dimension)。具体做法是:将 1 个树体的树形结构的图像用一个刚好包含整个图像的矩形框住,然后按边长的 $1/2$ 分割,计算含有枝干的矩形个数,计为 $N(1/K)$;然后再次对每个矩形按边长的 $1/2$ 分割,计算含有枝干的矩形个数 $N(1/K)$;如此,以使矩形边长达到极小(该试验进行了 6 次)。其中 K 表示测量尺度,6 次试验的尺度分别为 $1/2$ 、

1/4、1/8、1/16、1/32 和 1/64。计算包含枝干的矩形个数,这些矩形个数即为计盒维数的盒子数,计盒维数表征的是树体占据空间的能力,因此不含有枝干的矩形不被计算在盒子数内。相应的盒子数为 $N(K1)$ 、 $N(K2)$ 、 $N(K3)$ 、 $N(K4)$ 、 $N(K5)$ 和 $N(K6)$ 。令 $y = \ln N(1/c)$, $x = \ln 1/c$, 在 Excel 下对 x 、 y 进行直线线性回归,并应用 SPSS 12.0 做统计分析,如果回归显著,直线斜率即为苹果树形结构的分形维数 D 。

1.3.2 计算叶片对树体结构的贡献率 有叶片树与无叶片树的分形维数差值为叶片在树体结构中的分形维数,即叶片在树体结构中的空间占有率,基于此,叶片贡献率(CRL)的公式为: $CRL = (D_l - D_n) / D_l \times 100\%$ 。式中: D_l : 有叶树的分形维数; D_n : 无叶树的分形维数。

2 结果与分析

2.1 5 个品种 Y 形苹果幼树枝条长度和叶干重的差异

由表 1 可知,5 种 Y 形苹果幼树“长富 2 号”、“玉华早富”、“富红早富”、“烟富 6 号”和“丽嘎啦”的干高分别为 63.3、61.0、60.7、65.0、61.3 cm,品种间差异不显著,合理的干高为矮化密植创造了前提条件。

主枝长度在 314.1~421.0 cm,侧枝长度在

表 1 5 个品种 Y 形苹果幼树的枝条长度和叶片干重的差异

Table 1 The difference between shoot length and leaf weight among five young apple cultivars trained to Y-shaped configuration

| 品种 Cultivar | 干高 Trunk/cm | 主枝 Main shoots/cm | 侧枝 Lateral shoots/cm | 总长度(干+主+侧) Total length/cm | 枝条相对比率 Ratio/% | 叶片干重 Leaf dry weight/g | 叶干重相对比率 Ratio/% |
|----------------|----------------|----------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|
| “长富 2 号” | 63.3a | 421.0ba | 1 268.6a | 1 752.9a | 100.00 | 166.42 | 100.00 |
| “玉华早富” | 61.0a | 400.3a | 1 002.3a | 1 463.6a | 83.49 | 134.48 | 80.81 |
| “富红早富” | 60.7a | 386.4a | 977.0a | 1 424.1a | 81.24 | 111.43 | 66.96 |
| “烟富 6 号” | 65.0a | 354.5b | 596.0a | 1 005.5a | 57.36 | 84.37 | 50.70 |
| “丽嘎啦” | 61.3a | 314.1c | 511.6a | 887.0a | 50.60 | 63.96 | 38.43 |

2.2 5 个品种 Y 形苹果幼树正视图的分形维数比较

由表 2 可知,对于无叶片树,“长富 2 号”、“玉华早富”、“富红早富”、“烟富 6 号”和“丽嘎啦”正视图的分形维数分别为 1.405、1.380、1.362、1.316 和 1.280,其变化

表 2 5 个品种 Y 形苹果幼树正视图的分形维数和 CRL

Table 2 The fractal dimensions of front-view images and CRL of five young apple trees trained to Y-shaped configuration

| 品种 Cultivar | 线性方程 Line equation | R^2 | 分形维数 D | 分形维数差值 D-value | CRL/% |
|----------------|----------------------------------|-------|-------------------|-------------------|-------|
| “长富 2 号”* | $\ln N = 1.405 \ln(1/K) + 0.546$ | 0.984 | 1.405 ± 0.045 | 0.256 | 15.41 |
| “长富 2 号”** | $\ln N = 1.661 \ln(1/K) + 0.271$ | 0.999 | 1.661 ± 0.014 | | |
| “玉华早富”* | $\ln N = 1.380 \ln(1/K) + 0.523$ | 0.998 | 1.380 ± 0.017 | 0.246 | 15.13 |
| “玉华早富”** | $\ln N = 1.626 \ln(1/K) + 0.252$ | 0.998 | 1.626 ± 0.018 | | |
| “富红早富”* | $\ln N = 1.362 \ln(1/K) + 0.608$ | 0.987 | 1.362 ± 0.039 | 0.263 | 16.18 |
| “富红早富”** | $\ln N = 1.625 \ln(1/K) + 0.299$ | 0.998 | 1.625 ± 0.018 | | |
| “烟富 6 号”* | $\ln N = 1.316 \ln(1/K) + 0.518$ | 0.992 | 1.316 ± 0.029 | 0.301 | 18.61 |
| “烟富 6 号”** | $\ln N = 1.617 \ln(1/K) + 0.256$ | 0.991 | 1.617 ± 0.039 | | |
| “丽嘎啦”* | $\ln N = 1.280 \ln(1/K) + 0.620$ | 0.994 | 1.280 ± 0.025 | 0.312 | 19.60 |
| “丽嘎啦”** | $\ln N = 1.592 \ln(1/K) + 0.230$ | 0.998 | 1.592 ± 0.016 | | |

注: * 表示无叶树; ** 表示有叶树。表 3 同。

Note: * means the tree without leaves; ** means the tree with leaves. Same as Table 3.

511.6~1 268.6 cm,主侧枝总长度在 887.0~1752.9 cm;在这 3 个指标中,“长富 2 号”与“丽嘎啦”分别为最大值和最小值,表明“丽嘎啦”的枝条伸展范围小,空间利用率低,树势较弱;“长富 2 号”的主枝伸展范围大,表明树势强,空间利用率高。枝条长度相对比率是根据前 3 个指标假设最大值“长富 2 号”的枝条相对比率为 100%,则“丽嘎啦”仅为 50.60%、“烟富 6 号”为 57.36%、“玉华早富”为 83.49%、“富红早富”为 81.24%,比较这组数据发现最大值与最小值之间相差约 1/2,即“丽嘎啦”的枝条长度约是“长富 2 号”的 1/2,因此 5 个品种的枝条长度差异较为显著,这也将决定了树体结构在空间的占据程度上的差异性。

由表 1 还可知,5 个品种的叶片干重在 63.96~166.42 g,品种间变化趋势与枝条长度一致,叶片干重相对比率中“丽嘎啦”仅为“长富 2 号”的 38.43%,差值较大,充分表明“长富 2 号”的优势较强。

根据表 1 枝条长度和叶干重的数值,对 5 个品种进行排序,“长富 2 号”>“玉华早富”>“富红早富”>“烟富 6 号”>“丽嘎啦”。

规律与表 1 中枝条长度和叶干重的变化规律相同,排序为:“长富 2 号”>“玉华早富”>“富红早富”>“烟富 6 号”>“丽嘎啦”。

对于有叶片树,“长富 2 号”、“玉华早富”、“富红早嘎”、“烟富 6 号”和“丽嘎啦”正视图的分形维数分别为 1.661、1.626、1.625、1.617 和 1.592。这 5 个品种的变化规律同有叶树一致,表现为:“长富 2 号”>“玉华早富”>“富红早嘎”>“烟富 6 号”>“丽嘎啦”。

由表 2 还可知,对于每个品种来说,有叶树的分形维数均大于无叶树的分形维数,这一现象符合分形理论的特征,根据分形体的自相似性原理得出分形维数,具有自相似性特征的物体在一定空间占据的盒子数越多,相应的分形维数就越大^[7-8]。

叶片贡献率(CRL)旨在描述叶片在树体结构中所占的空间程度,以此来指导整形修剪。由于叶片是植物

体最重要的器官,光合作用积累有机物质为其它器官的生长提供必需的营养基础。叶片数量及分布状态直接影响植物的生理功能。由表 2 可知,“长富 2 号”、“玉华早富”、“富红早嘎”、“烟富 6 号”和“丽嘎啦”CRL 值分别为 15.41%、15.13%、16.18%、18.61%和 19.60%。品种间的叶片贡献率差异显著。

2.3 5 个品种 Y 形苹果幼树侧视图的分形维数比较

由表 3 可知,对于无叶树和有叶树的侧视图来说,从 5 个品种的 2 组数据来看,“长富 2 号”和“丽嘎啦”仍然分别为最大值和最小值,这与正视图表现一致,表明分形维数在描述果树空间状态上的准确性。

表 3 5 个品种 Y 形苹果幼树侧视图的分形维数和 CRL

Table 3 The fractal dimensions of side-view images and CRL of five young apple trees trained to Y-shaped configuration

| 品种 Cultivar | 线性方程 Line equation | R ² | 分形维数 D | 分形维数差值 D-value | CRL/% |
|----------------|----------------------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------|
| “长富 2 号”* | $\ln N = 1.433 \ln(1/K) + 0.547$ | 0.987 | 1.433 ± 0.041 | 0.295 | 17.07 |
| “长富 2 号”** | $\ln N = 1.728 \ln(1/K) + 0.169$ | 0.997 | 1.728 ± 0.023 | | |
| “玉华早富”* | $\ln N = 1.402 \ln(1/K) + 0.584$ | 0.990 | 1.402 ± 0.035 | 0.278 | 16.55 |
| “玉华早富”** | $\ln N = 1.680 \ln(1/K) + 0.247$ | 0.998 | 1.680 ± 0.019 | | |
| “富红早嘎”* | $\ln N = 1.386 \ln(1/K) + 0.622$ | 0.989 | 1.386 ± 0.037 | 0.291 | 17.35 |
| “富红早嘎”** | $\ln N = 1.677 \ln(1/K) + 0.233$ | 0.999 | 1.677 ± 0.015 | | |
| “烟富 6 号”* | $\ln N = 1.341 \ln(1/K) + 0.583$ | 0.990 | 1.341 ± 0.034 | 0.292 | 17.82 |
| “烟富 6 号”** | $\ln N = 1.633 \ln(1/K) + 0.284$ | 0.998 | 1.633 ± 0.018 | | |
| “丽嘎啦”* | $\ln N = 1.329 \ln(1/K) + 0.609$ | 0.990 | 1.329 ± 0.034 | 0.298 | 18.32 |
| “丽嘎啦”** | $\ln N = 1.627 \ln(1/K) + 0.244$ | 0.993 | 1.627 ± 0.033 | | |

注: * 表示无叶树; ** 表示有叶树。

Note: * means the tree without leaves; ** means the tree with leaves.

2.4 5 个品种正视图和侧视图的分形维数比较

由图 3、4 可知,5 个品种的无叶树和有叶树的侧视图的分形维数均大于正视图,这是由于 Y 形树的特殊结构所致,侧视图的拍摄方位为树的正东方向,Y 形树的 2 个主枝分别伸向东、西,当侧视拍摄时,正好 2 个主枝重合,间隙维数少,因此整个树的结构在二维图像中占据

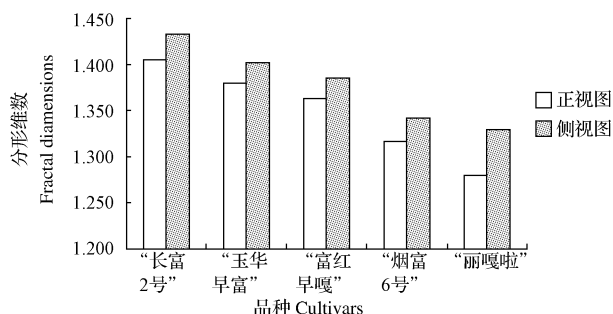


图 3 5 个苹果品种 Y 形无叶树正视图和侧视图的分形维数比较

Fig. 3 The comparison of fractal dimensions between front-view and side-view of Y-shaped apple tree without leaf among five cultivars

的盒子数多,分形维数也就大,反之,正视图的拍摄方向在树的正北,2 个主枝呈大写字母“Y”的形状呈现在二维图像中,2 个主枝间的间隙维数多,计盒维数就少,最终其分形维数低于侧视图。

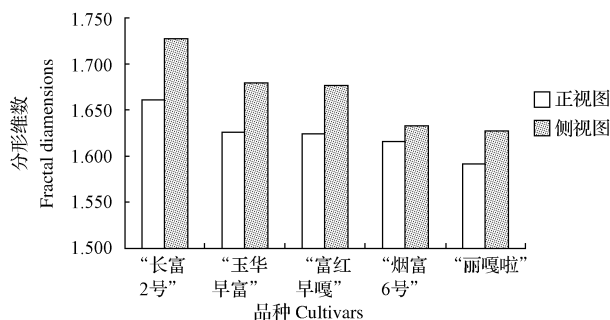


图 4 5 个苹果品种 Y 形有叶树正视图和侧视图的分形维数比较

Fig. 4 The comparison of fractal dimensions between front-view and side-view of Y-shaped apple tree with leaf among five cultivars

2.5 分形维数与叶片干重的关系

由图 5 可知,无论正视图还是侧视图其叶片干重和

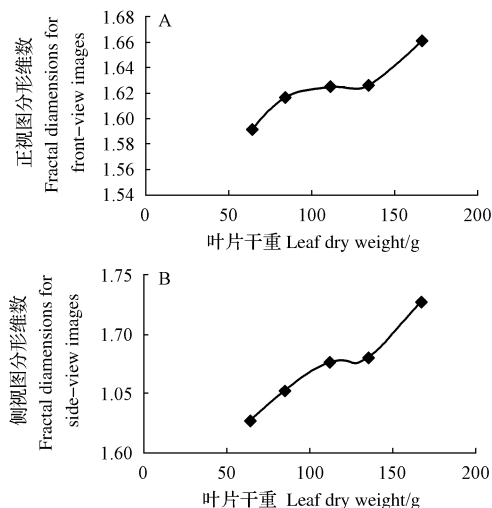


图5 5个品种的叶干重和分形维数的关系

Fig. 5 Relationship between leaf dry weight and fractal dimension of five cultivars

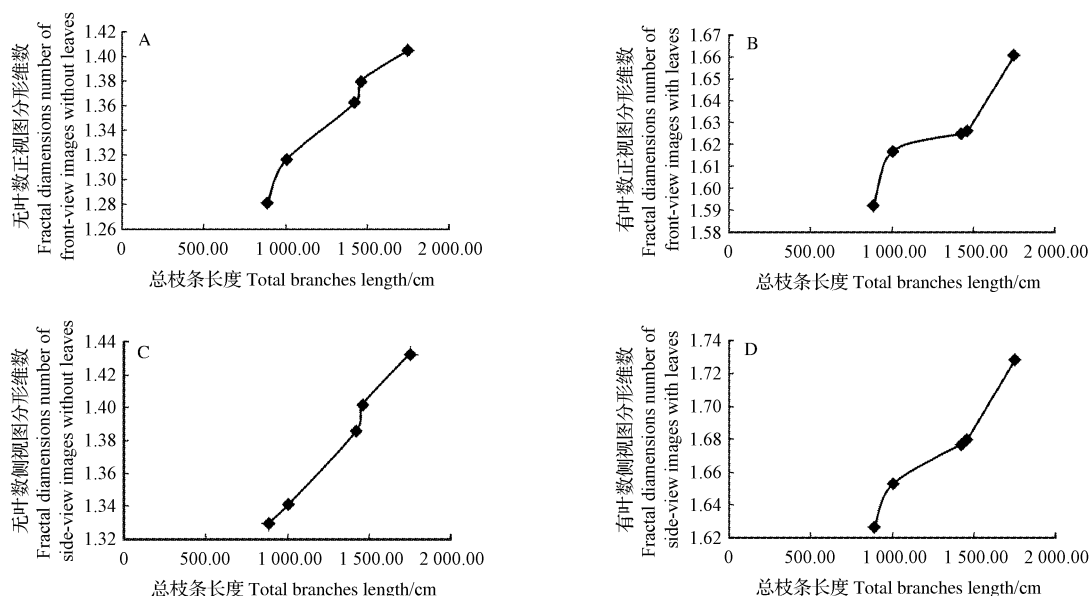


图6 5个品种的枝条长度和分形维数的关系

Fig. 6 Relationship between total length of shoots and fractal dimension number for the five cultivars

3 讨论与结论

该研究选取了极具代表性的Y形树体结构,论证了树体枝叶的空间分布将决定果树树形结构的分形维数,实际上,不同的干枝空间分布组成了不同的树形及结构,杆枝空间格局影响着树体结构的分形维数,果树本身的品种特性也决定了果树的生长状况,不同品种树呈现不同的分形维数。不同树形也可用分形维数来表征空间分布状态。因此,在栽培管理中,一些常见的苹果树树形如高纺锤形、细长纺锤形、大冠开心形、低干开心形、高干开心形、主干轴形、金字塔形、双层形等均可利用分形维数进行树形结构表征。

果园是复杂的人工生态系统,果树是复杂的非线性

分形维数呈正相关关系。叶片干重主要是叶片数量的指标,叶片干重大,叶片数量多,叶片在树体结构中覆盖范围大;对应品种的分形维数大表明树体结构在空间占据范围大,空间利用能力强。二者的关系在5个品种中无论正视图还是侧视图都表现一致,表明利用分形维数描述叶片和树体结构的空间分布状态上的准确性和科学性。

2.6 分形维数与枝条长度的关系

由图6可知,枝条总长度与正视图和侧视图的分形维数(包括有叶树和无叶树)均呈正相关关系。其原因在于果树树体结构的基本单位是枝条,枝条的长度、数量和枝条间的角度决定了果树的的空间分布状态,然而用枝条长度无法描述树体结构的空间状态,分形维数可以正确描述果树的的空间伸展状况和空间利用能力。枝条长度在5个品种中的变化趋势与分形维数一致,更加证明分形维数的实用性和准确性。

生命体,除了自身的遗传特性外,土壤状况、树龄、修剪、品种、肥水管理都会对果树的产量和品质产生影响。因此,苹果树形结构的评价是选择和培养合理树体结构的前提条件,因此结合当地生态环境条件,通过获取果树树体结构的分形维数,可对果树整形修剪提供理论指导。

该研究的5个品种Y形苹果幼树的二维图像的分形维数各不相同。对于正视图来说,有叶片树的分形维数在1.592~1.661之间,无叶片树的分形维数在1.280~1.405之间,显然,有叶片数的分形维数大于无叶片树的;叶片贡献率CRL在15.13%~19.6%之间。对于侧视图来说,有叶片树的分形维数在1.627~1.728之间,无叶片树的分形维数在1.329~1.433之间,CRL

在 16.55%~18.87%之间。表明 CRL 在 5 个品种 Y 形苹果幼树中表现不同;枝条长度和叶干重随着果树结构二维图像的分形维数增大而增大;按照分形维数的大小,5 个品种的排序为:“长富 2 号”>“玉华早富”>“富红早嘎”>“烟富 6 号”>“丽嘎啦”;以上结果证明,枝叶在空间的覆盖范围决定了果树树体结构的分形维数,同时分形维数为分析叶片在树体结构中的空间分布和光能利用率提供了理论依据。

参考文献

- [1] 刘伟玲. 陕西苹果产业 SWOT 分析及发展策略[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(9): 5591-5593, 5596.
- [2] 郭民主. 加快陕西苹果品种布局调整和结构优化的建议[J]. 西北园艺(果树), 2011(2): 11-12.
- [3] 杨飞, 卢桂宾, 杜俊杰, 等. 树形结构对果树生产能力的影响分析[J]. 山西林业科技, 2012, 41(1): 46-47.
- [4] 张显川, 高照全, 付占方, 等. 苹果树形改造对树冠结构和冠层光合能力的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(3): 537-542.

- [5] Li K T, Lakso A N. Photosynthetic characteristics of apple spur leaves after summer pruning to improve exposure to light[J]. Sci Hortic, 2004(5): 969-972.
- [6] Zhang S Q, Li B, Liu Y, et al. Fractal characteristics of two-dimensional images of 'Fuji' apple trees trained to two tree configurations after their winter pruning[J]. Sci Hortic (Amsterdam), 2011, 130: 102-108.
- [7] Cabrelli C A, Molter U M. Generalized self-similarity[J]. Math Anal Appl, 1999, 230: 251-260.
- [8] Mandelbrot B B. Fractals: Form, Chance and Dimension[M]. Benoit Mandelbrot, 1977.
- [9] Despland E. Fractal index captures the role of vegetation clumping in locust swarming[J]. Funct Ecol, 2003, 17: 315-322.
- [10] Zeide B, Charles A, Gresham. Fractal dimensions of tree crowns in three loblolly pine plantations of coastal[J]. South Carolina Canadian Journal of Forest Research, 1991, 21(8): 1208-1212.
- [11] Kaye B H. A Random Walk Through Fractal Dimensions[M]. Seconded. England: John Wiley and West Sussex, 1994: 427.

Study on the Analysis of the Contribution Rate of Leaves of Young Apple Tree Trained to Y-shaped Configuration Using Fractal Dimension

LIU He¹, LEI Zhen-zhen¹, ZHANG She-qi¹, LI Bing-zhi², HAN Ming-yu²

(1. College of Sciences, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Horticulture, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Using the fractal theory and imaging technology, the different cultivars and viewpoints were indicated, first proposed the new conception of the Contribution Rate of Leaves (CRL), which was used as a parameter for leaves spatial distribution within the tree architecture. The results showed that, by comparing the fractal dimensions of Y-shaped apple trees among five cultivars, the results revealed that the fractal dimension had the positive correlation with the length and quantity of shoots; there was significant difference of fractal dimensions in different apple cultivars; the comprehensive evaluation showed that 'Nagafu 2' > 'Yuhua zaofu' > 'Fuhong zaoga' > 'Yanfu 6' > 'Li Gala'; comparing the fractal dimension front-view and side-view images showed that the fractal dimensions of side-view images were larger than front-view ones; the fractal dimension varied from 1.592 to 1.661 and the CRL varied between 15.13% and 19.6% for the five cultivars. For the side-view images, the fractal dimensions varied from 1.627 to 1.728 and the CRL varied between 16.55% and 18.87%. CRL could be characterized as space distribution state in the tree structure.

Key words: fractal dimension; leaves spatial distribution; tree architecture; the Contribution Rate of Leaves (CRL); the young apple tree trained to Y-shaped configuration