

疗养院人工绿地三维绿量分布特征及影响因子

王东良¹, 金荷仙^{1,2}, 范丽琨³, 唐宇力³

(1. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 临安 311300; 2. 《中国园林》杂志社, 北京 100037; 3. 杭州市园林文物局 钱江管理处, 浙江 杭州 310008)

摘要: 为探求小面积人工绿地三维绿量的分布特征及快速有效的测算方法, 以杭州市3家疗养院绿地为研究对象, 从中筛选36个20 m × 20 m的样地, 通过调查并对数据进行处理得到14个群落指标。依据林木的分形原理, 采用对群落指标进行Pearson相关显著性检验和逐步回归的方法, 获得4个模拟方程。结果表明: 样地总体三维绿量呈正态分布, 其中乔木层三维绿量占总三维绿量的近90%。4个模拟方程决定系数 R^2 为0.922~0.973, 残差分析没有呈现明显图案, 所得最优方程为 $y=2\,679.155x_{11}+77.620$ (y 为模拟三维绿量, x_{11} 为胸高断面积)。根据模拟方程标准回归系数, 14个因子中对小面积人工绿地三维绿量影响最大的因子为胸高断面积。图2表7参22

关键词: 园林学; 疗养院; 人工绿地; 三维绿量; 影响因子; 分布特征; 模拟

中图分类号: S731.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2013)04-0529-07

Distribution and influencing factors of three-dimensional green biomass for artificial greenbelts in sanatoriums

WANG Dongliang¹, JIN Hexian^{1,2}, FAN Likun³, TANG Yuli³

(1. School of Landscape and Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Chinese Landscape Architecture Magazine Publication, Beijing 100037, China; 3. Hangzhou Garden & Cultural Relics Bureau, Hangzhou 310008, Zhejiang, China)

Abstract: This study was conducted to find a method for measurement and distribution of three-dimensional green biomass (TGB) in an artificial greenbelt of a small area. Thirty-six 20 m × 20 m plots from artificial greenbelts of three sanatoriums in Hangzhou were chosen, and destructive measurements were used. According to a field vegetation survey, 14 community indicators were selected, and then a stepwise regression and a Pearson correlation test were carried out to derive a total of 4 simulated equations for TGB. Results showed that overall, TGB had a normal distribution, and the tree layer took up nearly 90% of the total TGB. The coefficient of determination (R^2) for the 4 simulated equations ranged from 0.922 to 0.973, but no evident pattern was shown in the residual analysis meaning that the simulated equations could be used to predict TGB of the artificial greenbelt. The most convenient simulated equation was $y = 2\,679.155x_{11} + 77.620$, where y was simulated TGB and x_{11} was basal area at breast height. Thus, according to the standard regression coefficients for the simulated equations, basal area at breast height was the most important factor affecting TGB of a small area, artificial greenbelt. [Ch, 2 fig. 7 tab. 22 ref.]

Key words: landscape architecture; sanatoriums; artificial greenbelt; three-dimensional green biomass; influencing factors; distribution characteristics; simulation

收稿日期: 2012-06-13; 修回日期: 2012-08-11

基金项目: 杭州西湖风景名胜区管委会杭州市园林文物局课题(2011003)

作者简介: 王东良, 从事植物造景、康复花园理论与实践等研究。E-mail: 419200392@qq.com。通信作者: 金荷仙, 研究员, 从事风景园林历史与理论、植物造景设计、室内外植物对人体健康的影响等研究。E-mail: lotussummer@sina.com.cn

三维绿量又称绿化三维量,是指所有生长植物的茎叶所占据的空间体积^[1]。作为城市绿化指标体系的第1个立体指标,三维绿量可以更全面、更准确地分析绿化的环境效益和城市绿化需求总量,以及城市绿化群落布局的合理性等^[2]。随着遥感技术的广泛应用,三维绿量得到极大的发展,逐步被业界认可。周坚华等^[3],刘常富等^[4-5],赵军等^[6],周一凡等^[7]以不同的方法测算了上海、宁波、沈阳和兰州等城市的整体三维绿量,取得了良好的效果。目前,基于遥感技术三维绿量的测算研究,大都集中在城市尺度,在小尺度的范围内,特别是针对疗养院等小面积人工绿地内,存在着植物种类多样、分布破碎、结构层次复杂、遥感图像难以获得等难题,研究上还比较少。分形几何理论与方法是树体结构分析最有效的研究手段之一,可以对树体的分枝结构和树冠的形体结构进行准确的描述和定量分析^[8-9]。根据分形几何学理论^[10-12],林木的生长具有自相似性,利用测量形状参数可以比较地上生物量的大小,得到的拟合检验结果准确性较高^[13-14]。本研究借鉴刘常富等^[15]的研究方法,基于自相似原理,将三维绿量与分形理论相结合,以小面积人工绿地植物群落特征值为基础,采用相关显著性分析和逐步回归分析方法,研究人工绿地三维绿量总体分布特征,探讨显著影响疗养院人工绿地植物群落三维绿量的因子,并获得最优的模拟方程,以期三维绿量在小面积人工绿地上的广泛应用打下基础。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区概况

杭州市(29°11'~30°33'N, 118°21'~120°30'E)地处长江三角洲南沿和钱塘江流域,地形复杂多样,西部属浙西丘陵区,主干山脉有天目山等,东部属于浙北平原,地势低平,河网密布。该市处于亚热带季风区,植被属中亚热带北缘典型的常绿和落叶阔叶混交林,四季分明,夏季气候炎热、湿润,冬季寒冷、干燥,春秋两季气候宜人,是观光旅游的黄金季节。全年平均气温为17.5℃,平均相对湿度70.3%,年降水量1454mm,年日照时数1765h。本研究选取杭州市西湖区五云山疗养院、上海铁路局钱江疗养院、南京军区杭州疗养院等3家疗养院为研究对象。3家疗养院分别建于1953年、1953年和1950年。院内植物群落属于典型的人工植物群落,群落结构稳定。3家疗养院内共有植物47科81属112种(包含品种),主要种类有樟树 *Cinnamomum camphora*, 马尾松 *Pinus massoniana*, 雪松 *Cedrus deodara*, 荷花玉兰 *Magnolia grandiflora*, 杜英 *Elaeocarpus sylvestris*, 白玉兰 *Magnolia denudata*, 枫香 *Liquidamba formosana*, 苦槠 *Castanopsis sclerophylla*, 鸡爪槭 *Acer palmatum*, 七叶树 *Aesculus chinensis*, 水杉 *Metasequoia glyptostroboides* 有桂花 *Osmanthus fragrans*, 垂丝海棠 *Malus halliana*, 含笑 *Michelia champaca*, 山茶 *Camellia japonica*, 日本晚樱 *Prunus lannesiana*, 梅花 *Prunus mume*, 紫薇 *Lagerstroemia indica*, 罗汉松 *Podocarpus macrophyllus*, 紫叶李 *Prunus cerasifera*, 棕榈 *Trachycarpus fortunei*, 紫荆 *Cercis chinensis*, 海桐 *Pittosporum tobira*, 蜡梅 *Chimonanthus praecox*, 紫叶桃 *Prunus persica* var. *persica* f. *atropurpurea*, 南天竹 *Nandina domestica*, 茶梅 *Camellia sasangua*, 八角金盘 *Fatsia japonica*, 金丝桃 *Hypericum chinense*, 蔷薇 *Rosa multiflora*, 毛鹃 *Rhododendron pulchrum*, 红花檵木 *Loropetalum chinense* var. *rubrum*, 栀子花 *Gardenia jasminoides*, 玉簪 *Hosta plantaginea*, 洒金桃叶珊瑚 *Aucuba chinensis*, 沿阶草 *Ophiopogon japonicus*, 红花酢浆草 *Oxalis corymbosa*, 吉祥草 *Reineckia carne* 等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选取 基于疗养院提供的小区平面设计图,结合对疗养院疗养人员的问卷调查和对疗养人员活动区域的实地勘察,对3家疗养院进行样地选取,共获得36个样地(20m×20m)。样地不仅包括植物群落绿地,还包括植物与周围的道路、广场等裸地,从而可以综合考虑与人为行为密切相关的人工绿地三维绿量特征。群落调查内容主要包括样地内植物种类、地径、胸径、树高、枝下高、冠幅、树冠形状等指标。

1.2.2 样地三维绿量调查 目前,三维绿量的测算均是利用公式进行推算,精度主要取决于在模拟计算中的精确程度、实地调查时的误差大小及在对航片分析的准确度^[16]。基于遥感技术,三维绿量获得了极大的发展,但遥感技术对冠层结构和植物种类在辨析上存在一定的困难,在精度上也难以得到保证。因此,本研究直接采取现场调查的方法,对样地内所有植物进行实地测算,虽然工作量较大,但可以很好地满足对精度的要求。样地内单株植物根据公式计算出三维绿量(表1)。由于人工绿地中地被植物^[17]经

过修剪，所以，地被植物通过实测面积和高度相乘的体积作为绿量，草坪由于经常进行修剪高度保持在 5 cm 左右的水平，以此作为计算的高度^[18]，为计算方便，把草坪归入到地被植物中。

1.2.3 数据处理 将样地内所有植物的三维绿量汇总累加得到样地总三维绿量 (TGB)，即样地三维绿量实测值。以 400 m² 为基准，获得样地内乔灌木整体的平均树高(x_1)，平均冠高(x_2)，平均冠幅(x_3)，平均地径(x_4)，地径断面积(x_5)，乔灌密度 (x_6)，乔灌比(x_7)，针阔比(x_8)，种类数(x_9)等 9 个指标；获得乔木的平均胸径(x_{10})，胸高断面积(x_{11})，郁闭度(x_{12})等 3 个指标，获得地被植物的高度(x_{13})和占地面积(x_{14})等 2 个指标，总计 14 个常用指标。以样地总三维绿量为因变量 (TGB)，以 14 个其他指标为自变量，采用 SPSS 统计软件，进行总三维绿量与各个指标之间的 Pearson 相关显著性检验，并对经过显著性检验的指标进行逐步回归，逐步回归以 $P \leq 0.05$ 变量进入， $P \geq 0.1$ 变量退出。

表 1 三维绿量计算公式^[4]

Table 1 Calculation formula of tridimensional green biomass(TGB)					
序号	树冠形状	计算公式	序号	树冠形状	计算公式
1	卵形 OV	$\frac{\pi x^2 y}{6}$	5	球扇 SF	$\frac{\pi (2y^3 - y^2 \sqrt{4y^2 - x^2})}{3}$
2	圆锥形 CO	$\frac{\pi x^2 y}{12}$	6	球缺形 AS	$\frac{\pi (3xy^2 - 2y^3)}{6}$
3	球形 SP	$\frac{\pi x^2 y}{6}$	7	圆柱形 RC	$\frac{\pi x^2 y}{4}$
4	半球形 SS	$\frac{\pi x^2 y}{6}$			

说明：x 为冠幅，y 为冠高。

表 2 样地三维绿量调查结果

五云山疗养院/m ³					钱江疗养院/m ³					杭州疗养院/m ³				
编号	总量	乔	灌	地被	编号	总量	乔	灌	地被	编号	总量	乔	灌	地被
1	2 545.1	2 545.1	0.0	0.0	1	1 746.4	1 448.2	76.9	221.3	1	3 005.9	2 814.5	35.4	156.0
2	2 262.2	2 083.2	101.4	77.6	2	3 197.9	2 820.4	159.1	218.4	2	201.6	0.0	111.3	90.3
3	2 284.2	2 017.2	226.9	40.1	3	2 272.9	2 032.9	57.8	182.2	3	25.1	0.0	5.1	20.0
4	216.8	59.9	133.5	23.4	4	916.7	773.2	122.2	21.3	4	2 394.6	2 324.2	53.1	17.3
5	3 459.5	3 248.4	77.8	133.4	5	1 802.1	1 420.5	177.0	204.6	5	2 423.9	2 279.7	85.2	59.0
6	2 387.9	2 264.2	61.6	62.0	6	1 961.8	1 721.6	68.4	171.8	6	4 387.3	4 265.8	0.0	121.5
7	20.4	0.0	0.4	20.0	7	4 358.5	4 097.2	42.9	218.4	7	1 230.7	1 050.2	125.2	55.4
8	3 169.1	3 038.9	30.8	99.5	8	1 966.9	1 668.3	129.4	169.2	8	3 196.1	2 893.1	212.6	90.3
9	2 475.6	2 309.9	63.7	102.0	9	1 048.6	693.8	167.1	187.6	9	1 082.1	704.2	280.5	97.4
10	78.0	0.0	67.0	11.0	10	8 04.9	575.9	55.0	174.0	10	2 137.3	1 954.9	43.5	138.9
11	2 044.0	1 875.8	32.5	135.6	11	3 926.1	3 684.9	48.8	192.4	11	688.3	575.4	16.6	96.3
12	241.1	0.0	196.3	44.8	12	1 644.8	1 447.7	87.6	109.6	12	478.1	290.0	149.2	38.8
总量	21 183.8	19 442.6	991.8	749.4	总量	25 647.7	22 384.7	1 192.1	2 070.8	总量	21 250.9	19 152.0	1 117.8	981.1
比例/%		91.8	4.7	3.5	比例/%		87.3	4.7	8.1	比例/%		90.1	5.3	4.6

2 结果与分析

2.1 样地三维绿量总体分布特征

将样地所有植物三维绿量汇总得到 3 家疗养院总体三维绿量(表 2)。3 家疗养院中，以钱江疗养院三维绿量水平最高，五云山疗养院与杭州疗养院绿量水平相似。从乔灌地被 3 层所占据的比例来看，3 家疗养院乔木层的三维绿量均占总三维绿量近 90%，而灌木和地被所占比例相对较小，仅占 10%左右，因此，可以得出乔木层三维绿量决定总三维绿量总水平的高低。将 3 家疗养院植物群落调查所得36 个样方总三维绿量作为一个整体数据，在 SPSS 统计软件上，通过 D 检验 (Kolmogorov-Smirnov 检验)和 W 检

验 (Shapiro-Wilk 检验) 进行正态分布检验, 当统计量确定的概率 $P > 0.05$ 时, 不能拒绝零假设, 可以认为服从正态分布。通过对 36 个样方的正态分布分析结果显示, 显著度均大于 0.05, 可以认为 36 个样方内植物的三维绿量值服从正态分布(表 3)。

表 3 样地三维绿量正态分布检验

Table 3 Test of normality of TGB in all samples

D 检验 (Kolmogorov-Smirnov)			W 检验 (Shapiro-Wilk)		
统计量	样本数	显著度	统计量	样本数	显著度
0.078	36	0.200*	0.957	36	0.209

说明: * 在 0.05 水平上显著相关。

2.2 三维绿量与各因素相关性分析

在实际调查过程中, 由于地被植物经常修剪, 其分形特征与自然生长的乔灌木有明显差别。同时, 从表 2 数据中可以得出: 3 家疗养院样地乔灌木在总体三维绿量中占得比例高达 96.5%, 92.0%, 95.4%, 占有绝对的比例。因此, 为减少实验误差, 本研究应用与乔灌木有关的 12 个指标为自变量, 来衡量众多变量因子与乔灌三维绿量的相关密切程度, 进而探讨影响绿地三维绿量显著性因子。

将 3 家疗养院调查所得 36 个样地乔灌三维绿量作为一个整体数据, 进行正态分布检验。结果显示(表 4), 显著度均大于 0.05, 可以认为 36 个样方内植物的三维绿量值服从正态分布。

表 4 样地乔灌木三维绿量正态分布检验

Table 4 Test of normality of arbor and shrub's TGB in all samples

D 检验 (Kolmogorov-Smirnov)			W 检验 (Shapiro-Wilk)		
统计量	样本数	显著度	统计量	样本数	显著度
0.080	36	0.200*	0.960	36	0.175

说明: * 在 0.05 水平上显著相关。

在 12 个指标中, 并非所有指标都与总绿量密切相关, 为衡量众多变量因素与总绿量的相关密切程度, 以样地乔灌三维绿量(TGB)作为因变量, 进行 Pearson 相关显著性检验。从结果可以得出平均树高、平均冠高、平均冠幅、平均胸径、胸高断面积、平均地径、地基断面积、郁闭度等 8 个指标的 Pearson 相关显著性检验均为极显著相关 (显著度 < 0.01), 见表 5, 说明这 8 个指标与三维绿量之间存在着良好的统计自相似性, 与三维绿量有显著的相关性, 可以用于三维绿量的模拟。

表 5 各指标相关显著性检验

Table 5 Test of correlations of each factor in all samples

相关性检验	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}
显著度(双侧)	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.219	0.367	0.432	0.153	0.001	0.000	0.000
Pearson 相关性	0.865**	0.778**	0.672**	0.566**	0.892**	0.210	0.155	0.135	0.243	0.520**	0.960**	0.859**

说明: ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关, * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

2.3 三维绿量影响因子分析及方程模拟

在许多自变量共同影响着一个因变量的关系中, 利用逐步回归, 可以判断哪个自变量的影响是显著的, 将影响显著的自变量选入模型中, 从而可以剔除影响不显著的无关变量。以样地实测乔灌三维绿量为因变量, 对 8 个与三维绿量呈极显著相关的因子进行逐步回归, 生成以胸高断面积、平均冠幅、平均树高、平均地径等 4 个指标的模拟方程(表 6), 表明 4 个指标对乔灌三维绿量的贡献量最大。在获得的 4 个模拟方程中, R^2 决定系数为 0.922 ~ 0.973, 拟合优度较高, 模拟方程的标准化残差图(图 1)没有呈现明显的图形形状, 说明模型方程有效, 可以用来预测人工绿地植物群落的三维绿量。

在实际绿化建设中, 相对于树高、冠高、冠幅、地径等测量指标, 胸径是一个测量便捷, 用途广泛的指标。胸高断面积与胸径密切相关, 胸径经过换算可得到胸高断面积, 因此, 可以把胸高断面积作为

唯一指标测量三维绿量，自变量从 4 个减少到 1 个，而自变量对因变量的回归贡献并未明显减少(R^2 从 0.973 减少至 0.922)，残差图也没有呈现明显的形状(图 1 和图 2)。因此，模拟方程 1，即 $y=2\ 679.155x_{11} + 77.620$ ，更加便于实际应用，当然，在更多的科研活动中，为使精度达到要求，仍然可以选择多因子的模拟方程。

表 6 模拟方程
Table 6 Simulation equation

序号	模拟方程	R^2	F	显著度
1	$y=2\ 679.155x_{11} + 77.620$	0.922	400.320	0
2	$y=2\ 358.568x_{11} + 140.715x_3-337.229$	0.953	333.700	0
3	$y=1\ 976.564x_{11} + 113.379x_3 + 79.012x_1 -471.090$	0.966	301.644	0
4	$y=1\ 947.979x_{11} + 189.803x_3 + 92.646x_1 - 2\ 209.987x_4 -471.633$	0.973	284.236	0

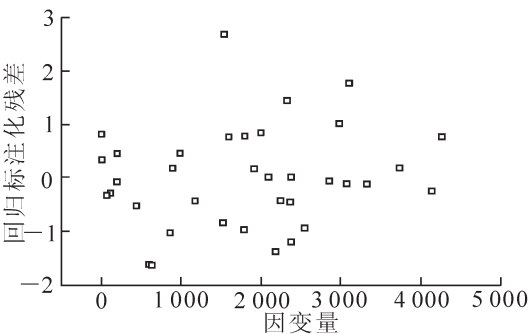


图 1 基于 4 因子的以 TGB 为因变量的标准
化残差散点图
Figure 1 Dispersion pattern of ZRESID taking TGB as four
dependent variables based on four factors

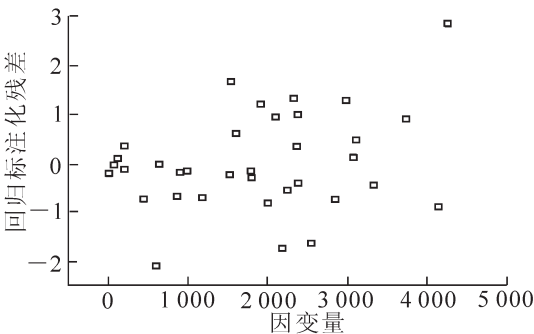


图 2 基于单因子的以 TGB 为因变量的标准
化残差散点图
Figure 2 Dispersion pattern of ZRESID taking TGB as a
dependent variable based on one factor

根据逐步回归所得模拟方程中所有因子的标准化回归系数(β)，可以得出各因子对三维绿量影响从大到小(表 7)，依次是：胸高断面积>平均冠幅>平均冠高>平均地径。因此可以得出，人工绿地三维绿量主要影响因子为胸高断面积、平均冠幅、平均地径、平均冠高等 4 个指标，其中以胸高断面积影响值最大。

表 7 拟合方程的标准回归系数(β)

Table 7 Standardized coefficients(β)of simulation equations				
方程序号	x_{11}	x_3	x_1	x_4
1	0.960			
2	0.845	0.211		
3	0.708	0.170	0.199	
4	0.698	0.284	0.233	-0.157

3 结论

在人工小面积绿地三维绿量的研究中，采取现场调查的方法，克服了卫星遥感技术对植物种类多样、分布破碎、结构层次复杂的小面积绿地难以获得层次清晰图像的难题，虽然工作量很大，但方程拟合精度较高。对于经常修剪的地被植物，分形特征与自然生长的单株植物有较大差异，三维绿量模拟中未涉及地被植物的计算。

根据分形理论和方法，把实地调查获得的 12 个指标进行 Pearson 相关显著性检验，结果有平均树高、平均冠高、平均冠幅、平均胸径、胸高断面积、平均地径、地基断面积、郁闭度等 8 个指标为极显著相关(显著度<0.01)，将这 8 个指标进行逐步回归分析得到 4 个模拟方程，4 个模拟方程的决定系数为 0.922~0.973，残差分析并未呈现明显图案，证明方程可以用来模拟人工绿地三维绿量，最优方程 $y=2\ 679.155x_{11} + 77.620$ 为最后采用的方程。根据模拟方程的标准回归系数(β)，说明影响人工绿地三

维绿量的最主要因子是胸高断面面积。

在 Pearson 相关显著性检验中, 平均密度与三维绿量相关性不强, 可见在绿地规划中, 密度越高并不意味着三维绿量值越大, 而胸高断面面积与胸径有重要的关系, 因此增加树木的胸径, 是提高人工绿地三维绿量的最有效方法。因此, 在疗养院等小尺度绿地规划中要重视乔木, 尤其是高大乔木的作用。这与前人研究的结论一致^[15,18-20]。

疗养院绿地环境可以改善疗养人员焦虑的心情, 帮助疗养人员缩短住院期, 减少用药量, 提供一个安宁舒适的沟通交流环境^[21-22]。引入三维绿量指标, 发挥出三维绿量定量研究的优势, 可以使我们能够准确全面地描述绿化的空间结构和定量研究绿化与环境的相关关系, 可以更加精准反映绿地系统与其生态服务功能之间的关系, 更加有效地指导疗养院绿地规划, 为不同需求的疗养人员提供不同功能性的空间, 最终可以创造一个有利于疗养人员康复的环境。

参考文献:

- [1] 周廷刚, 罗红霞, 郭达志. 基于遥感影像的城市空间三维绿量(绿化三维量)定量研究[J]. 生态学报, 2005, **25**(3): 415 - 420.
ZHOU Tinggang, LUO Hongxia, GUO Dazhi. Remote sensing image-based quantitative study on urban spatial 3D green quantity virescence three-dimension quantity [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25**(3): 415 - 420.
- [2] 周坚华. 城市生存环境绿色量值群的研究(5)绿化三维量及其应用研究[J]. 中国园林, 1998, **14**(5): 61 - 63.
ZHOU Jianhua. Study on green biomass indices of urban living environment [J]. *J Chin Lands Archit*, 1998, **14**(5): 61 - 63.
- [3] 周坚华, 孙天纵. 三维绿色生物量的遥感模式研究与绿化环境效益估算[J]. 环境遥感, 1995, **10**(3): 162 - 174.
ZHOU Jianhua, SUN Tianzong. Study on remote sensing model of three-dimensional green biomass and the estimation of environmental benefits of greenery [J]. *Remote Sens Environ*, 1995, **10**(3): 162 - 174.
- [4] 刘常富, 何兴元, 陈玮, 等. 沈阳城市森林三维绿量测算[J]. 北京林业大学学报, 2006, **28**(3): 32 - 37.
LIU Changfu, HE Xingyuan, CHEN Wei, et al. Tridimensional green biomass measures of Shenyang urban forests [J]. *J Beijing For Univ*, 2006, **28**(3): 32 - 37.
- [5] 刘常富, 何兴元, 陈玮, 等. 沈阳城市森林绿量测算[J]. 应用生态学报, 2007, **18**(6): 1208 - 1212.
LIU Changfu, HE Xingyuan, CHEN Wei, et al. Estimation of Shenyang urban forest green biomass[J]. *Chin J Appl Ecol*, 2007, **18**(6): 1208 - 1212.
- [6] 赵军, 刘琳, 李霞. 基于 RS 与 GIS 的半干旱区城市绿化三维量测算研究: 以兰州市安宁区为例[J]. 地理与地理信息科学, 2007, **23**(4): 37 - 40.
ZHAO Jun, LIU Lin, LI Xia. Calculation on urban three-dimensional vegetation quantity in semi-arid region based on RS and GIS: A case study in Anning District of Lanzhou City [J]. *Geogr Geo-Inf Sci*, 2007, **23**(4): 37 - 40.
- [7] 周一凡, 周坚华. 绿量快速测算模式[J]. 生态学报, 2006, **26**(12): 4204 - 4211.
ZHOU Yifan, ZHOU Jianhua. Fast method to detect and calculate LVV [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26**(12): 4204 - 4211.
- [8] 陈军, 李春平, 关文彬, 等. 林带小钻杨树冠的分维结构[J]. 林业科学, 2006, **42**(12): 6 - 12.
CHEN Jun, LI Chunping, GUAN Wenbin, et al. Fractal characteristics of tree crown of *Populus x xiaozhuanica* in shelterbelts [J]. *Sci Silv Sin*, 2006, **42**(12): 6 - 12.
- [9] KARL J N. Computer simulated plant evolution [J]. *Science*, 1986, **254**(3): 78 - 86.
- [10] BENOIT B. *Mandelbrot: The Fractal Geometry of Nature* [M]. New York: Henry Holt And Company, 1982: 236 - 237.
- [11] 李火根, 黄敏仁. 分形及其在植物研究中的应用[J]. 植物学通报, 2001, **18**(6): 684 - 690.
LI Huogen, HUANG Minren. Fractal theory and its application to plants researches [J]. *Chin Bull Bot*, 2001, **18**(6): 684 - 690.
- [12] PEITGEN H O, JURGENS H, SAUPE D. *Fractals for the Classroom* [M]. New York: Springer-Verlag, 1991: 78.
- [13] 李伟成, 葛滢, 潘柏荣, 等. 塔克拉玛干沙漠梭梭地上结构和生物量的自相似模型[J]. 生物数学学报, 2003, **18**(4): 477 - 481.

- LI Weicheng, GE Ying, PAN Borong, *et al.* The self-similarity models between shoot structure and biomass of *Haloxylon ammodendron* in the Taklamagan desert, China [J]. *J Biomath*, 2003, **18**(4): 477 – 481.
- [14] 李伟成, 盛海燕, 潘伯荣, 等. 3 种沙漠植物地上部分形结构与生物量的自相似性[J]. 林业科学, 2006, **42**(5): 11 – 16.
- LI Weicheng, SHENG Haiyan, PAN Borong, *et al.* Self-similarity relationship between component of shoot and biomass of three hungriness plants [J]. *Sci Silv Sin*, 2006, **42**(5): 11 – 16.
- [15] 刘常富, 何兴元, 陈玮, 等. 沈阳城市森林三维绿量模拟及其影响因子[J]. 应用生态学报, 2008, **19**(6): 1173 – 1178.
- LIU Changfu, HE Xingyuan, CHEN Wei, *et al.* Simulation of three-dimensional green biomass of urban forests in Shenyang City and the factors affecting the biomass [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2008, **19**(6): 1173 – 1178.
- [16] 李伟, 贾宝全, 王成, 等. 城市森林三维绿量研究现状与展望[J]. 世界林业研究, 2008, **21**(4): 31 – 34.
- LI Wei, JIA Baoquan, WANG Cheng, *et al.* Research status and prospect of 3D green quantity of urban forest [J]. *World For Res*, 2008, **21**(4): 31 – 34.
- [17] 赵可新, 何加宜, 唐宇力. 地被植物在传统景点改造中的地位和作用: 以杭州曲院风荷公园为例[J]. 中国园林, 2006, **22**(11): 63 – 67.
- ZHAO Kexin, HE Jiayi, TANG Yuli. Analysis on the status and function of the groundcovers in the traditional Landscape: with Quyuanfenghe Park, Hangzhou as an example [J]. *J Chin Lands Archit*, 2006, **22**(11): 63 – 67.
- [18] 李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等. 居住区植物绿量与其气温调控效应的关系[J]. 生态学报, 2011, **31**(3): 830 – 838.
- LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, *et al.* Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(3): 830 – 838.
- [19] 吴菲, 李树华, 刘剑. 不同绿量的园林绿地对温湿度变化影响的研究[J]. 中国园林, 2006, **22**(7): 56 – 60.
- WU Fei, LI Shuhua, LIU Jian. Effects of urban green space with different vegetation quantity on temperature and humidity [J]. *J Chin Lands Archit*, 2006, **22**(7): 56 – 60.
- [20] 李英汉, 王俊坚, 陈雪. 深圳市居住区绿地植物冠层格局对微气候的影响[J]. 应用生态学报, 2011, **22**(2): 343 – 349.
- LI Yinghan, WANG Junjian, CHEN Xue, *et al.* Effects of green space vegetation canopy pattern on the microclimate in residential quarters of Shenzhen City [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, **22**(2): 343 – 349.
- [21] ULRICH R S, SIMONS R F, LOSITO B D, *et al.* Stress recovery during exposure to natural and urban environment[J]. *J Environ Psychol*, 1991, **11**(3): 201 – 230.
- [22] TYSON M M. *The Healing Landscape: Therapeutic Outdoor Environment* [M]. Madison: Parallel Press, 2008: 4 – 12.