

基于三维绿量的林分生态效益测算与分析

——以上海浦江郊野公园为例

董艳杰, 万福绪

(南京林业大学, 南京 210037)

摘要:为了精确地评估城市绿地生态效益及价值,提高郊野公园的经营管理水平,选取上海浦江郊野公园的 5 种典型林分香樟、栎树、桂树、无患子、池杉为研究对象,在逐株实测的基础上,根据绿量方程计算三维绿量,通过三维绿量换算林分产生的生态效益,再利用生态经济学方法评估生态效益价值。结果表明:所选 5 个林分在 0.648 5 hm^2 的总面积上创造的生态效益价值为 23.07 万元,合 35.57 万元/ hm^2 。单位面积的生态效益,在产氧量和吸收 CO_2 量方面,香樟>栎树>桂树>池杉>无患子;在吸收 SO_2 量、滞尘量(TSP)、夏季蒸腾量方面,香樟>栎树>池杉>桂树>无患子;各林分的单位面积总生态效益价值香樟>栎树>桂树>池杉>无患子。林分生态效益及价值与三维绿量呈正相关关系。

关键词:生态效益;价值评估;三维绿量;上海浦江郊野公园

中图分类号:TU986

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)03-0347-06

Ecological Benefits and Value Assessment of Forest Stands Based on Three-Dimensional Green Volume —A Case Study of Pujiang Country Park of Shanghai

DONG Yanjie, WAN Fuxu

(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: In order to accurately assess the ecological benefits and value of urban green space, improve the management level of country parks, we took 5 typical forest stands (*Cinnamomum cam Phora*; *Koelreuteria paniculata*; *Osmanthus fragrans*; *Sapindus mukorossi* Gaertn; *Taxodium ascendens*) as an objects of study in Pujiang country park of Shanghai, used green quantity equation to calculate the three-dimensional green volume of plants, used the three-dimensional green volume to convert the ecological benefit produced by Stands, and the ecological benefits values of five forest stands were estimated by using several ecological economic methods based on the measurement of each tree. The results showed that the ecological benefit values of the selected five forest stands on the total area of only 0.648 5 hectares was 230 700 yuan/year, equivalent to 355 700 yuan/ hm^2 ; with respect of releasing Oxygen quantity and absorbing carbon dioxide quantity, the ecological benefits per hectare decreased in the order: *Cinnamomum cam Phora*>*Koelreuteria paniculata*>*Osmanthus fragrans*>*Taxodium ascendens*>*Sapindus mukorossi* Gaertn; with respect to absorption sulphur dioxide quantity, laying dust quantity and transpiration quantity decreased in the order: *Cinnamomum cam Phora*>*Koelreuteria paniculata*>*Taxodium ascendens*>*Osmanthus fragrans*>*Sapindus mukorossi* Gaertn; value of ecological benefit per hectare of each stand Order decreased in the oder: *Cinnamomum cam Phora*>*Koelreuteria paniculata*>*Osmanthus fragrans*>*Taxodium ascendens*>*Sapindus mukorossi* Gaertn. There is a positive correlation between the ecological benefit of stand, its value and three-dimensional green volume.

Keywords: ecological benefits; value assessment; three-dimensional green volume; Shanghai Pujiang country park

工业化、城市化的发展带来了一系列的生态环境问题,如热岛效应、大气污染、土壤污染、水污染^[1]等,绿地作为城市公共设施的重要组成部分,不仅为居民提供美学景观和休闲娱乐场所,而且具有明显的固碳释氧、净化环境、降温增湿等生态效益^[2-4],能明显改善人居环境和维护生态安全^[5]。大量研究表明,生态效益的好坏与三维绿量具有明显的相关性^[6]。三维绿量,作为一项衡量绿地质量的新兴绿化指标,可比传统的平面绿量指标(绿化覆盖率等)更好地评价城市公园绿地的生态效益^[7-8]。

目前国内对生态效益及价值评估的研究,研究尺度大多着眼于区域^[9-10]、省^[11]、市^[12-13]等大尺度,而本研究限于郊野公园的几种典型林分类型,研究区域更小,研究内容更加细致、精确。郊野公园在国内属于新兴概念,因此国内对郊野公园生态效益及其价值的研究较少,从生态经济学角度定量评估其生态效益价值的研究更不多见。对上海浦江郊野公园不同林分类型的生态效益及经济价值进行评估,能够从货币角度让人很直观的看到林分的生态效益及其价值,提高人们的环保意识,促进生态补偿机制的建立^[14],为公园的经营管理和生态保护方案提供指导,为可持续发展与生态环境建设提供帮助,为全国生态 GDP 核算提供科学依据^[15]。

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究地概况

上海市地处东经 120°52′—122°12′,北纬 30°40′—31°53′,位于太平洋西岸,亚洲大陆东沿,中国南北海岸中心点,长江和黄浦江入海汇合处。上海属北亚热带季风性气候,四季分明,日照充分,雨量充沛。上海气候温和湿润,春秋较短,冬夏较长。年平均气温 16.5℃。冬季 1 月最冷,月平均气温 3.3℃,较同纬度内陆温和;夏季 7 月最热,月平均气温 27.8℃,又不如同纬度内陆炎热。日照条件较为充足,年日照时间 2 000 h 左右。全年无霜期 241 d,年降雨量 1 200 mm,雨日多达 132 d。降雨的季节分配较均匀,夏季约占 40.1%,冬季占 13.0%,约有 70%的降雨集中

在 4—9 月。降雨强度多以中小雨为主,春季始于 3 月,夏季自梅雨开始,进入盛夏后,高温干燥,形成伏旱;秋季金风送爽,时有连绵阴雨;冬季晴朗少雨,北方冷空气阵阵南下,偶有寒潮侵袭。

上海浦江郊野公园位于上海市闵行区浦江镇黄浦江东侧、大治河以北,其规划总面积为 15.29 km²,以“森林游憩、滨水休闲”为主要功能。公园汇集“郊野、艺术、秋景”三大理念的复合型功能,园内河网水系发达,杜行老街、自然村落点缀其中,古树和村庄交相辉映^[16]。建设郊野公园是上海贯彻落实中央生态文明战略、全面提升生态环境的重大举措。选择上海浦江郊野公园为研究区,因为它是上海市目前开放的 4 个郊野公园中,距离市中心最近的一个,是市民最易达的郊野公园,故对其典型林分进行生态效益及其价值研究显得极为迫切,对整个郊野公园的后期运营具有重要意义。

1.2 研究方法

1.2.1 实地调查 选取上海浦江郊野公园的 5 种典型林分:香樟、栎树、桂树、无患子、池杉,采用实际调查的方法,收集 5 种林分的林分基本情况和树种基本情况。林分基本情况包括林分面积、郁闭度(树冠相对稳定的夏季)、株行距、株数(表 1);树种基本情况包括生长型、树冠形状、树高、胸径、冠下高、冠高、冠幅(表 2)。

林分面积采用实际测量绘图近似计算所得;郁闭度采用样点法;株行距、冠幅通过皮尺测量;树高和冠下高采用 CGQ-1 型测高仪;胸径测定采用测树钢围尺测量距地面 1.3 m 处树干的直径;冠形按树冠立体几何模型^[7]分为:卵形、球形、半球形、圆锥形、圆柱形、球扇形、球缺形。

表 1 林分基本情况

序号	树种	郁闭度	林分 面积/hm ²	株行距	株数/ 株
1	香樟	0.758	0.360	3 m×3 m	400
2	栎树	0.820	0.040	2 m×2 m	200
3	桂树	0.950	0.096	2 m×2 m	240
4	无患子	0.830	0.0625	2.5 m×2.5 m	100
5	池杉	0.700	0.090	2 m×2 m	225

表 2 树种基本情况

序号	树种	生长型	树高 H/m	胸径 d _{1.3} /cm	冠幅 D/m	冠高 H ₂ /m	树冠形状
1	香樟	常绿阔叶乔木	10.85	20.43	3.19	4.05	卵形
2	栎树	落叶阔叶乔木	12.12	14.53	2.73	7.02	卵形
3	桂树	常绿阔叶灌木	5.10	10.06	2.50	3.90	矩形
4	无患子	落叶阔叶乔木	13.18	17.04	2.58	4.04	卵形
5	池杉	落叶针叶乔木	14.79	19.07	3.22	12.59	圆锥形

1.2.2 绿量的计算 绿化三维量(三维绿量,简称绿量)是指绿色植物的茎、叶所占据的空间体积^[2](单位一般用 m³),绿量的计算方法比较多,本文采用“以平面量模拟立体量”的方法^[17],选用该方法计算绿量操作相对简单,误差小。此种方法源于上海园林绿地调查研究时所得出的,该计算方法相对误差一般不大于 7%,最大不大于 10%^[18]。根据实际调查情况对植物冠形分类,然后按照相对应冠形的绿量计算公式进行计算,不同冠形的三维绿量计算公式见表 3。

1.2.3 生态效益的计算 生态效益的计算,根据绿量计算结果,结合“上海市绿化三维量遥感调查”课题组研究得出的基于绿量的绿化环境效益标准换算

量^[19](表 4),换算出植物的产氧量、吸收二氧化碳量、吸收二氧化硫量、滞尘量、蒸腾量,从这几个方面来评价 5 种典型林分的生态效益。

表 3 三维绿量计算公式

序号	树冠形状	计算公式
1	卵形	$x^2 y/6$
2	球形	$x^2 y/6$
3	半球形	$x^2 y/6$
4	圆锥形	$x^2 y/12$
5	圆柱形	$x^2 y/4$
6	球扇形	$(2 y^3 - y^2)/3$
7	球缺形	$(3 x y^2 - 2 y^3)/6$

注: x 为冠幅(m); y 为冠高(m)。

表 4 基于绿量的绿化环境效益标准换算量

项目	数据库使用单位	标准换算量
产氧量	t/a	常绿植物年产氧量:35.2 t/1 万 m ³ 绿量,落叶植物年产氧量:19.0 t/1 万 m ³ 绿量
吸收 CO ₂ 量	t/a	常绿植物年吸收 CO ₂ 量:48.5 t/1 万 m ³ 绿量,落叶植物年吸收 CO ₂ 量:26.2 t/1 万 m ³ 绿量
吸收 SO ₂ 量	kg/a	针阔混生林年吸收 SO ₂ 量:30.3 kg/1 万 m ³ 绿量
滞尘量(TSP)	t/a	针阔混生林年滞尘量:11 t/1 万 m ³ 绿量
夏季蒸腾量	t/d	针阔混生林夏季蒸腾量:5.5 t/1 万 m ³ 绿量,相对绿量 72357 m ³ 蒸腾范围 100 m 高的空间时温度降低 11.8℃

1.2.4 生态效益价值的估算 本研究根据《中国生物多样性国情研究报告》^[20]中森林固定 CO₂ 和释放 O₂ 的成本,我国分别为 273.3 元/t 和 369.7 元/t,计算各林分每年固定 CO₂ 和释放 O₂ 的价值;参照国家林业局《森林生态系统服务功能评估规范》^[21],采用治理成本法^[22-23],治理 SO₂ 的费用是 1 200 元/t,清理降尘的费用是 150 元/t,分别估算各林分吸收 SO₂,滞尘的价值;按照效益费用分析法^[24],蒸腾增湿量根据洒水车喷洒等量水的成本进行估算,参照上海市水务局公布的居民用水价格表中自来水价格 1.92 元/t,分别估算各林分夏季的蒸腾增湿量的价值。

木绿量的方法与其他学者^[4,26-27]所用方法一致。

栎树、无患子、池杉的单株绿量按照表 3 中三维绿量计算公式。

结合各林分株数或林分面积计算各林分整体绿量。综合上述,各林分单株绿量及整体绿量状况见表 5。

表 5 各林分绿量情况

树种	单株绿量/m ³	总绿量/m ³
香樟	146.370	58548
栎树	27.380	5476
桂树	24.375	5850
无患子	14.070	1407
池杉	34.160	7686

由表 5 可得,在郁闭度属于同一等级^[9](0.7 以上)的情况下,不同树种、冠形中,香樟的单株绿量远远大于其余 4 个树种,无患子最小,其余几个树种单株绿量相当,各林分单株绿量排序为香樟>池杉>栎树>桂树>无患子,各林分总绿量排序为香樟>池杉>桂树>栎树>无患子。

2.2 5 种林分的生态效益状况

根据以上计算的绿量结果,按照表 4 对应的项目计算绿化环境效益,换算出各林分的产氧量、吸收 CO₂,吸收 SO₂,滞尘量、夏季蒸腾量的效益,结果见表 6。

由各林分总生态效益(表 6)可以看出香樟林提供的生态效益最多,无患子提供的最少,这是因为香樟的树冠绿量较其他 4 个树种大很多。在产氧量和

2 结果与分析

2.1 5 种林分的绿量状况

根据实际调查情况对树种冠形分类,然后按照相对应冠形的绿量计算公式计算植物的单株绿量。其中,由于香樟树形较大、株行距较小,且绿量与胸径关系极显著^[25]($p<0.01$),故选用胸径方程计算单株绿量最为合适,即

$$Y=0.234 X_1^{2.134}$$

其中: Y 为三维绿量(m³); X_1 为胸径(cm);

由于桂树侧枝分叉位置接近地面,树冠发达,故在本研究中视桂树为灌木。因密植导致枝叶交叉掩映,整体林分树冠呈立方体,故计算其三维绿量时,按照立方体计算,即用林分面积乘以树冠平均高度,这种计算灌

吸收 CO₂ 量方面,各林分排序为香樟> 桂树> 池杉> 栎树> 无患子;在吸收 SO₂ 量、滞尘量(TSP)、夏季蒸腾量方面,各林分排序为香樟> 池杉> 桂树> 栎树> 无患子。

由各林分单位面积生态效益(表 7)可以看出,单位面积产生的生态效益,香樟依然是最高,无患子也是最小。在产氧量和吸收 CO₂ 量方面,各林分排序为香樟> 栎树> 桂树> 池杉> 无患子;在吸收 SO₂ 量、滞尘量(TSP)、夏季蒸腾量方面,各林分排序为香

樟> 栎树> 池杉> 桂树> 无患子。由于桂树是常绿树种,故出现了桂树单位面积的固碳释氧量大于池杉,而吸收 SO₂ 量、滞尘量(TSP)、夏季蒸腾量却小于池杉的情况。虽然桂树是灌木,但其单位面积生态效益却是无患子的 2.7~5 倍,这是因为桂树单位面积绿量较无患子大。同样地,虽然栎树和无患子都属于无患子属,且就树高和胸径而言,无患子甚至还略大于栎树,但是栎树的单位面积生态效益却是无患子的 6.08 倍,这也是因为无患子单位面积绿量太小。

表 6 各林分总生态效益

树种	产氧量/ (t·a ⁻¹)	吸收 CO ₂ 量/ (t·a ⁻¹)	吸收 SO ₂ 量/ (kg·a ⁻¹)	滞尘量 (TSP)/(t·a ⁻¹)	夏季蒸腾量/ (t·d ⁻¹)
香樟	206.089	283.958	177.400	64.403	32.201
栎树	10.404	14.347	16.592	6.024	3.012
桂树	20.592	28.373	17.726	6.435	3.218
无患子	2.673	3.686	4.263	1.548	0.774
池杉	14.603	20.137	23.289	8.455	4.227

表 7 各林分单位面积生态效益

树种	产氧量/ (t·a ⁻¹ ·hm ⁻²)	吸收 CO ₂ 量/ (t·a ⁻¹ ·hm ⁻²)	吸收 SO ₂ 量/ (kg·a ⁻¹ ·hm ⁻²)	滞尘量(TSP)/ (t·a ⁻¹ ·hm ⁻²)	夏季蒸腾量/ (t·d ⁻¹ ·hm ⁻²)
香樟	572.469	788.772	492.779	178.897	89.448
栎树	260.110	358.678	414.807	150.590	75.295
桂树	214.500	295.547	184.641	67.031	33.516
无患子	42.773	58.981	68.211	24.763	12.382
池杉	162.260	223.748	258.762	93.940	46.970

表 8 各林分总生态效益价值

价值 树种	产氧量/ (元·a ⁻¹ ·hm ⁻²)	吸收 CO ₂ 量/ (元·a ⁻¹ ·hm ⁻²)	吸收 SO ₂ 量/ (元·a ⁻¹ ·hm ⁻²)	滞尘量(TSP)/ (元·a ⁻¹ ·hm ⁻²)	夏季蒸腾量/ (元·a ⁻¹ ·hm ⁻²)	总计/ (元·a ⁻¹ ·hm ⁻²)
香樟	76191.089	77605.667	212.881	9660.420	22566.741	186236.797
栎树	3846.507	3921.068	19.911	903.540	1040.878	9731.903
桂树	7612.862	7754.204	21.271	965.250	2254.824	18608.411
无患子	988.319	1007.477	5.116	232.155	267.443	2500.509
池杉	5398.877	5503.530	27.946	1268.190	1460.955	13659.498
总计	94037.654	95791.945	287.124	13029.555	27590.841	230737.118

注:年蒸腾日数,常绿植物按 365 d 计算,落叶植物按照 180 d 计算。

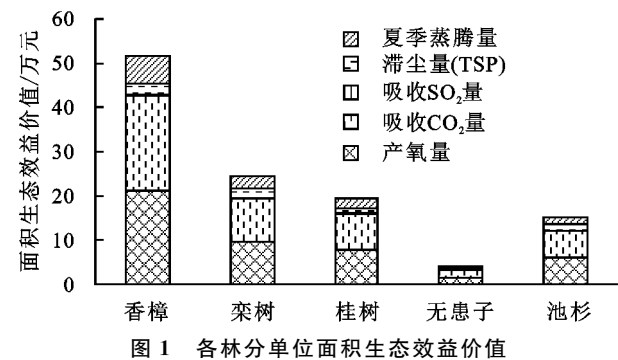
2.3 5 种林分的生态效益的价值状况

按照上述生态效益的价值估算方法,计算得出的各林分的年生态效益价值见表 8。

由表 8 可以看出各林分总生态效益价值,香樟最高、无患子最小,这是因为林分总绿量和总生态效益香樟最大、无患子最小。各个林分总生态效益价值的贡献主要来源于产氧量、吸收 CO₂ 量、滞尘量(TSP)和夏季蒸腾量,吸收 SO₂ 量的生态效益价值很小,几乎可以忽略不计,产生这种结果的原因可能是空气中

SO₂ 含量较少,树木只能吸收林分附近有限距离内的少量 SO₂,且树木吸收 SO₂ 的能力有限。5 个林分在总面积不到 1 hm² 的情况下,总生态效益价值高达 23.07 万元。香樟对总生态效益的贡献率高达 81%,这是因为香樟的单株绿量最大,且林分面积较大。各林分总生态效益价值排序为香樟> 桂树> 池杉> 栎树> 无患子。同一林分的各生态效益价值排序相同,均为吸收 CO₂ 量> 产氧量> 夏季蒸腾量> 滞尘量(TSP)> 吸收 SO₂ 量。

由各林分单位面积生态效益价值(图 1)可以看出,各林分单位面积的生态效益价值,香樟最高、无患子最小,这是因为单位面积的绿量和生态效益都是香樟最大、无患子最小。各个林分单位面积吸收 SO_2 量的生态效益价值很小,几乎可以忽略不计。各林分的单位面积总生态效益价值排序为香樟>栎树>桂树>池杉>无患子。总体来讲,产氧量和吸收 CO_2 量产生的生态效益价值远远大于其他 3 种生态效益产生的价值,说明在所研究的 5 种生态效益中,林木光合作用为环境提供重要价值;吸收 SO_2 量的生态效益价值小到几乎可以忽略不计;桂树、池杉单位面积绿量和生态效益接近,故 5 种生态效益的价值也都相差无几。单位面积的生态效益价值不同林分排序相同,均为吸收 CO_2 量>产氧量>夏季蒸腾量>滞尘量(TSP) >吸收 SO_2 量。



3 结论与讨论

本次研究所选 5 个典型林分的 5 种生态效益,在总面积 0.6485 hm^2 的情况下,创造的生态效益价值为 23.07 万元,合 35.57 万元/hm^2 ,整个郊野公园占地 15.29 km^2 ,按照我国公园设计规范,绿地率必须达到 65% 以上,考虑到本研究未选择草本类植物,按照最低标准 65% 进行核算,浦江郊野公园林分产生的生态效益价值约为 3.54 亿元,绿地产生的生态效益价值是不可估量的。单位面积产生的生态效益,香樟最高,无患子最小;在产氧量和吸收 CO_2 量方面,各林分排序为香樟>栎树>桂树>池杉>无患子;在吸收 SO_2 量、滞尘量(TSP)、夏季蒸腾量方面,各林分排序为香樟>栎树>池杉>桂树>无患子;各林分的单位面积总生态效益价值排序为香樟>栎树>桂树>池杉>无患子。

三维绿量,作为一项衡量绿地质量的新兴绿化指标,打破了传统的平面绿化指标(绿化覆盖率等)的局限性^[7],能更好地反映绿地的空间结构^[28],对量化城市绿地的生态效益具有重要意义。本研究通过结合三维绿量对上海浦江郊野公园典型林分的生态效益

测算与分析,结果表明:

(1) 生态效益、生态效益价值均与绿量成正比例关系,绿量越大,其对应的生态效益和生态效益价值也越大,这与王萍^[15]、陈翠玉等^[23]研究结果相符。影响绿量的因素有很多,树种类型、生长型、树冠形状、林龄、郁闭度、林分面积、株行距等。就生态效益和生态效益的价值而言,常绿树种>落叶树种;乔木>灌木>草本。郊野公园今后的树种配置要考虑这些因素,将能产生更大的效益和价值。

(2) 香樟作为常绿乔木,对总生态效益价值的贡献率高达 81%,单位面积生态效益价值,香樟分别是栎树、桂树、无患子、池杉的 2.1,2.7,12.9,3.4 倍,这是由于其单株绿量和单位面积绿量较大,故对生态效益和生态效益价值的贡献也最为突出。这与张艳丽^[29]对成都沙河廊道植物群落及生态效益的研究结果相符。在浦江郊野公园的后期规划中,种植香樟等绿量较大的常绿乔木树种,能在有限的土地上产生更大的生态环境效益和价值。

(3) 虽然桂树作为灌木,长势较无患子矮很多,但其单位面积生态效益和价值却是无患子的 2.7~5.5 倍,这是因为桂树单位面积绿量较无患子大。同样地,虽然栎树和无患子都属于无患子属,且就树高和胸径而言,无患子甚至还略大于栎树,但是栎树的单位面积生态效益却是无患子的 6 倍,这也是因为无患子单位面积绿量太小。综合以上,在园林绿化的树种配置上选择常绿灌木比选择树冠体积较小的乔木能提供更多的生态效益和经济价值。

绿地作为城市公共设施的一部分,具有明显的生态效益,如改善小气候、净化空气等^[2-4]。本文对上海浦江郊野公园典型林分的生态效益进行货币化估算,结果表明:

(1) 5 个林分香樟、栎树、桂树、无患子、池杉的单位面积固碳释氧量的价值占总生态效益价值比重较大,分别为 83%、80%,83%、80% 和 80%。李英^[30]等人对伊春林区生态效益价值的研究结果中固碳释氧价值占总生态效益价值的比重较大,这与笔者研究结果一致。说明林木具有极强的固碳释氧能力,更说明其作为天然氧吧的重要性和为居住环境带来的巨大的生态效益。郊野公园的后期活动项目策划在林中布置,能使人舒缓身心、放松自我,极大的发挥郊野公园的野趣效果。

(2) 林分单位面积吸收 SO_2 产生的价值占总生态效益价值的比重为 0.1%~0.2%,说明仅仅通过

种树来改善空气中的 SO_2 含量,效果不佳,可以在人工治理的基础上通过种树来辅助治理改善空气中的 SO_2 浓度。

(3) 近年来,夏季高温酷暑对人们工作学习的影响也愈加明显,城市绿地的夏季蒸腾降温增湿效应研究得到重视^[1],本研究中5个林分在总面积 0.6485 hm^2 的情况下,夏季日蒸腾增湿量 43.43 t ,相当于洒水车洒 43.43 t 水产生的增湿效果。从中不难看出,林分的降温增湿价值很高,所以,夏季在林中举行各种游乐项目的优势更为明显,能明显提高人体舒适度,符合国家节能减排,低碳环保的绿色理念。

参考文献:

- [1] 毛齐正,罗上华,马克明,等.城市绿地生态评价研究进展[J].生态学报,2012,32(17):5589-5600.
- [2] 苏泳娴,黄光庆,陈修治,等.广州市城区公园对周边环境的降温效应[J].生态学报,2010,30(18):4905-4918.
- [3] 周志翔,邵天一,王鹏程,等.武钢厂区绿地景观类型空间结构及滞尘效应[J].生态学报,2002,22(12):2036-2040.
- [4] Xie G D, Zhen L, Lu C X, et al. Applying value transfer method for Eco-service valuation in China[J]. Journal of Resources and Ecology, 2010,1(1):51-59.
- [5] 张彪,高吉喜,谢高地,等.北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估[J].生态学报,2012,32(24):7698-7705.
- [6] 吴云霄,陈永翔,王海洋.消光度与绿地结构的关系[J].东北林业大学学报,2008,36(5):28-30.
- [7] 郑俊鸣,朱丹丹,蒋梦莹.福州市3个山地公园三维绿量与其影响因子特征研究[J].中国园林,2018,34(2):89-93.
- [8] 安勇,卓丽环.哈尔滨市紫丁香绿量[J].东北林业大学学报,2004,32(6):81-83.
- [9] 杨朝晖,王浩,褚俊英,等.海河流域生态系统价值评估与空间特征[J].水利学报,2010,41(9):1121-1127.
- [10] 赵晶,高照良,蔡艳蓉,等.高速公路建设对土地利用类型的影响及其生态服务价值评估:以陕西省5个典型区域为研究对象[J].水土保持研究,2011,18(3):226-231,237.
- [11] 李勇,刘亚州.青海生态系统服务功能价值量评价[J].干旱区资源与环境,2010,24(5):1-10.
- [12] 肖强,肖洋,欧阳志云,等.重庆市森林生态系统服务功能价值评估[J].生态学报,2014,34(1):216-223.
- [13] 熊善高,万军,龙花楼,等.重点生态功能区生态系统服务价值时空变化特征及启示:以湖北省宜昌市为例[J].水土保持研究,2016,23(1):296-302.
- [14] 刘胜涛,高鹏,刘潘伟,等.泰山森林生态系统服务功能及其价值评估[J].生态学报,2017,37(10):3302-3310.
- [15] Yang W R, Li F, Ru S, et al. Ecological benefits assessment and spatial modeling of urban ecosystem for controlling urban sprawl in Eastern Beijing, China[J]. Ecological complexity, 2011(8):153-160.
- [16] 卢为民.上海浦江郊野公园开门迎客[N].中国国土资源报,2017-08-09(2).
- [17] 徐阳.上海市五种主要绿化树种三维绿量、叶面积指数等生态指标相关研究[D].北京林业大学,2010.
- [18] 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(5):61-63.
- [19] 王萍,蒋文绪.昆明市大观河岸植被三维绿量及生态效益分析[J].山东林业科技,2010,40(6):8-11,97.
- [20] 中国生物多样性国情研究报告编写组.中国生物多样性国情研究报告[M].北京:中国环境科学出版社,1998.
- [21] 王兵,杨锋伟,郭浩,等.森林生态系统服务功能评估规范[S].北京:中国标准出版社,LY/T 1721—2008,2008.
- [22] Pistorius T, Schaich H, Winkel G, et al. Lessons for REDDplus: A comparative analysis of the German discourse on forest functions and the global ecosystem services debate [J]. Forest Policy and Economics, 2012,18:4-12.
- [23] 赵军,杨凯.生态系统服务价值评估研究进展[J].生态学报,2007,27(1):346-356.
- [24] 张宏芝.大连城市森林生态系统服务功能价值动态仿真研究[D].河北保定:河北农业大学,2006.
- [25] 郭雪艳.南京市常见园林植物的绿量研究[D].南京林业大学,2009.
- [26] 刘常富,何兴元,陈玮,等.沈阳城市森林三维绿量测算[J].北京:北京林业大学学报,2006,28(3):32-37.
- [27] 陈翠玉,杨善云,黎良财.柳州市主城区河岸植被三维绿量及生态效益分析[J].中国农学通报,2012,28(10):304-308.
- [28] 刘畅,刘兆刚.基于AHP哈尔滨城市森林三维绿量规划分析[J].东北林业大学学报,2011,39(4):52-55.
- [29] 张艳丽.成都市沙河廊道植物群落结构特征分析与环境效益研究[D].四川雅安:四川农业大学,2010.
- [30] 李英,齐丹坤.基于生态区位测度的伊春林区森林生态系统服务功能价值评估[J].林业科学,2013,49(8):140-147.