

万娟,王舒,罗睿,等. 籐竹属 10 个竹种净光合速率和固碳释氧能力分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(8):104-107.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.08.029

籐竹属 10 个竹种净光合速率和固碳释氧能力分析

万娟¹, 王舒¹, 罗睿¹, 陈剑成², 何天友², 陈礼光², 荣俊冬¹, 郑郁善^{1,2}

(1. 福建农林大学林学院, 福建福州 350002; 2. 福建农林大学园林学院, 福建福州 350002)

摘要:在福建农林大学百竹园内选取籐竹属 10 个竹种:长枝竹、观音竹、花眉竹、马甲竹、木竹、牛儿竹、坭竹、霞山坭竹、信宜石竹、银丝竹作为研究对象进行净光合速率测定,通过计算对这 10 个竹种的固碳释氧能力进行定量化研究。结果表明,各竹种中整株固碳释氧能力以花眉竹为最优,适宜作为绿化植物种植于人口密度较大的地区。

关键词:竹种;净光合速率;固碳释氧

中图分类号: S795.901 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)08-0104-03

城市是人类进行各项生产活动的场所,汽车尾气、工厂废气等都会造成城市空气污染,空气中二氧化碳含量增加,温室效应增强,城市“热岛效应”越来越显著。城市绿地是城市生态系统的主体,它具有调节气候、固定二氧化碳、释放氧气等生态服务功能。竹子作为我国极具文化内涵和观赏价值的一种植物,一直深受国人喜爱,在改善生活环境的同时具有一定的社会效应^[1-3]。目前针对竹类植物的研究主要集中在种质资源、分子生物、园林应用、竹制品及相关技术的提高等方面^[4-9]。本研究以籐竹属植物为例,评价分析了竹类植物作为观赏植物,在其净化城市环境的过程中固碳释氧的生态效益,并为今后竹类植物在园林方面的应用提供借鉴。

1 研究区概况

采样地为福建农林大学百竹园,地处福建省福州市境内。福州市位于我国东南沿海地区,地理坐标为北纬 25°15′~26°39′,东经 118°08′~120°31′,是典型的亚热带季风气候区,夏长冬短,无霜期达 326 d。百竹园内植有不同竹种 348 种,环境洁净,光照充足,空气清新怡人,人为干扰较少,自然生态系统较为稳定。

2 材料与方法

2.1 研究材料

从福建农林大学百竹园中选出籐竹属的 10 个竹种:长枝竹(*Bambusa dolichoclada*)、观音竹(*Bambusadea multiplex* var. *riviereorum*)、花眉竹(*Bambusa longispiculata*)、马甲竹(*Bambusa tulda*)、木竹(*Bambusa rutila*)、牛儿竹(*Bambusa prominens*)、坭竹(*Bambusa gibba*)、霞山坭竹(*Bambusa xiashanensis*)、信宜石竹(*Bambusa subtruncata*)、银丝竹(*Bambusa multi-*

plex cv. *silverstripe*)作为试验材料,进行净光合速率、单叶面积等指标的测定。

2.2 研究方法

2.2.1 光合速率测定方法 本研究采用 LCI-001/C 型便携式光合测定仪于 2012 年 4—8 月对福建农林大学百竹园中籐竹属的 10 个竹种进行单位叶面积光合速率测定。为避免其他气象因素的干扰,每月选取 1 周在晴朗无风的天气状况下从 8:00—18:00 每隔 1 h 进行 1 次测定,净光合速率的测定单位为 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。遇风雨天则暂停。每个竹种各选取 5 株标准竹,同一方向、同一位置功能无损的完好叶片进行活体测定。

2.2.2 单叶面积的测定 在 2012 年 9 月中旬对每个竹种的标准竹进行调查取样,每个竹种采集 25 张完整的健康叶片,将采集的叶片用 MSD-971 叶面积扫描仪进行扫描,取 25 张叶片叶面积的平均值作为这个竹种的单叶面积。

2.2.3 叶面积指数 LAI 的计算 为避免因绿量不同造成的差异,本研究将各被测竹种的占地面积规定为 1 m^2 ,根据绿量的计算公式[绿量 = 种植面积(m^2) × 叶面积指数],可认为叶面积指数大小即代表了其绿量的大小^[10]。叶面积指数表征了单位土地面积上植物的总叶面积,叶面积指数越大,表示叶片交错重叠的程度越大。本研究采用标准枝法^[11]调查整株竹子的着叶量以计算其叶面积指数。

2.2.4 单位叶面积固碳释氧量计算 以光合速率为依据即可通过计算得出竹子的固碳量和释氧量,并对其固碳释氧效应进行评价^[12]。

根据植物光合作用原理采用简单积分法,通过测得的光合速率值得竹子当日的单位叶面积净同化量,公式为:

$$P = \sum_{i=1}^j [(P_{i+1} + P_i)] / 2 \times (t_{i+1} - t_i) \times 3\,600 / 1\,000. \quad (1)$$

式中: P 为测定当日的同化总量 [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; P_i 为初测点的瞬时光合作用速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; P_{i+1} 为下一测点的瞬时光合作用速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; t_i 为初测点的瞬时时间 (h); t_{i+1} 为下一测点的瞬时时间 (h); j 为测量的次数 (次); 3 600 指 1 h = 3 600 s; 1 000 指 1 mol = 1 000 mmol。

竹子当日单位叶面积的同化总量换算为测定当日固定的 CO_2 量:

收稿日期:2016-06-28

基金项目:福建省科技重大项目(编号:2011N5002);福建省科技重点项目(编号:2009N0006)。

作者简介:万娟(1992—),女,江西南昌人,硕士研究生,主要从事自然地理方面的研究。E-mail:745065754@qq.com。

通信作者:郑郁善,博士,教授,主要从事园林植物应用、园林规划设计及森林培育学方面的研究。E-mail:zys1960@163.com。

$$W_{CO_2} = P \times 44 / 1\,000。$$
 (2)

式中: W_{CO_2} 为单位叶面积固定 CO_2 的质量 [$g/(m^2 \cdot d)$]; 44 为 CO_2 的摩尔质量。

再根据光合作用的反应方程: $CO_2 + 4H_2O \rightarrow CH_2O + 3H_2O + O_2$, 可计算出竹子测定当日释放 O_2 的质量:

$$W_{O_2} = P \times 32 / 1\,000。$$
 (3)

式中: W_{O_2} 为单位叶面积释放 O_2 的质量 [$g/(m^2 \cdot d)$]; 32 为 O_2 的摩尔质量。

2.2.5 整株植物固碳释氧量计算 整株竹子日固碳释氧量 ($g/m^2 \cdot d$) 计算公式为:

$$Q_{CO_2} = W_{CO_2} \times LAI \times C。$$
 (5)

$$Q_{O_2} = W_{O_2} \times LAI \times C。$$
 (6)

式中: Q_{CO_2} 为整株植物固碳量; Q_{O_2} 为整株植物的释氧量; LAI 为叶面积指数; C 为冠幅。冠幅大小为竹冠东西与南北直径相乘的结果^[13]。

3 结果与分析

3.1 净光合速率分析

对这 10 个竹种进行光合作用测定时发现, 中午光照充足时, 全光下竹子的光合速率明显下降, 光合进程都呈现双峰曲线, 并伴随有“午休”现象, 且所有竹种均表现出上午净光合速率高于下午的特性。测定的 10 个竹种日平均净光合速率均大于 $1.00 \mu mol/(m^2 \cdot s)$, 日平均净光合速率排名前 3 位的竹种分别为牛儿竹 > 马甲竹 > 霞山坭竹(表 1)。

表 1 各竹种净光合速率

竹种	净光合速率 [$\mu mol/(m^2 \cdot s)$]		
	第 1 个峰值	第 2 个峰值	日平均
长枝竹	7.92	3.55	3.81
观音竹	3.41	1.52	1.83
花眉竹	7.15	3.27	3.61
马甲竹	9.23	4.15	4.58
木竹	7.12	3.33	3.52
牛儿竹	8.94	4.72	4.88
坭竹	7.36	3.71	3.58
霞山坭竹	7.73	3.61	3.89
信宜石竹	6.79	3.16	3.37
银丝竹	4.53	2.33	2.68

结合各竹种的单叶面积进行相关性分析(图 1), 可以看出, 各竹种日平均净光合速率与单叶面积相关性不大。日平均净光合速率最大值(牛儿竹) $4.88 \mu mol/(m^2 \cdot s)$ 是最小值(观音竹) $1.83 \mu mol/(m^2 \cdot s)$ 的 2.67 倍, 但单叶面积最大的却是信宜石竹, 在被测竹种中净光合速率排名靠后, 可见其净

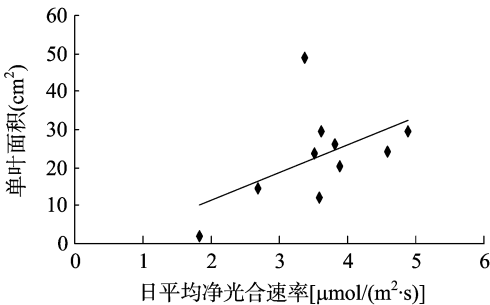


图1 日平均净光合速率与单叶面积相关性分析

光合速率的大小主要受其他因素的影响, 例如光照强度、温度、矿物元素等。

3.2 单位叶面积固碳释氧能力比较分析

通过测定各竹种净光合速率并结合公式计算, 可以得到各竹种单位叶面积日固碳释氧量, 并采用统计软件 SPSS 19.0 对其进行聚类分析(表 2)。结果表明, 被测的 10 个竹种虽然属于同一竹属, 但固碳释氧能力差别较大, 单位叶面积日固碳量最大值为 $7.730 g/(m^2 \cdot d)$ (牛儿竹), 最小值为 $2.899 g/(m^2 \cdot d)$ (观音竹), 二者之间效应比值达 2.67。聚类分析后 10 个竹种被分为 3 类: 第 1 类竹种仅有观音竹, 单位叶面积日吸收 $CO_2 < 3.0 g/(m^2 \cdot d)$, 固碳释氧能力最差; 第 3 类竹种有马甲竹和牛儿竹, 单位叶面积日吸收 $CO_2 > 7.0 g/(m^2 \cdot d)$, 牛儿竹固碳释氧能力最强, 马甲竹次之; 第 2 类则包括了剩下的霞山坭竹等 7 个竹种, 单位叶面积日吸收 CO_2 量为 $3.0 \sim 7.0 g/(m^2 \cdot d)$, 固碳释氧能力居中, 依次排列为霞山坭竹、长枝竹、花眉竹、坭竹、木竹、信宜石竹、银丝竹。

表 2 竹种单位叶面积日固碳释氧能力

竹种	日平均净光合速率 [$\mu mol/(m^2 \cdot s)$]	固碳量 [$g/(m^2 \cdot d)$]	释氧量 [$g/(m^2 \cdot d)$]	排序	聚类
长枝竹	3.810	6.035	4.389	4	2
观音竹	1.830	2.899	2.108	10	1
花眉竹	3.610	5.718	4.159	5	2
马甲竹	4.580	7.255	5.276	2	3
木竹	3.520	5.576	4.055	7	2
牛儿竹	4.880	7.730	5.622	1	3
坭竹	3.580	5.671	4.124	6	2
霞山坭竹	3.890	6.162	4.481	3	2
信宜石竹	3.370	5.338	3.882	8	2
银丝竹	2.680	4.245	3.087	9	2

从图 2 可以看出, 各竹种固碳释氧能力与日平均净光合速率呈正相关关系, 光合速率越大, 固碳释氧能力越强, 特别是竹子的固碳能力, 与净光合速率变化趋势基本一致。牛儿竹是光合速率最快的竹种, 其固碳释氧能力也最强, 分别为 7.730 、 $5.622 g/(m^2 \cdot d)$, 净光合速率为 $4.880 \mu mol/(m^2 \cdot s)$; 观音竹是光合速率最慢的竹种, 其固碳释氧能力最弱, 分别是 2.899 、 $2.108 g/(m^2 \cdot d)$, 净光合速率为 $1.830 \mu mol/(m^2 \cdot s)$ 。由此可以推测各竹种的固碳释氧能力与其本身属性有一定关系。

同时, 固碳释氧能力与单叶面积存在一定的相关性, 各竹

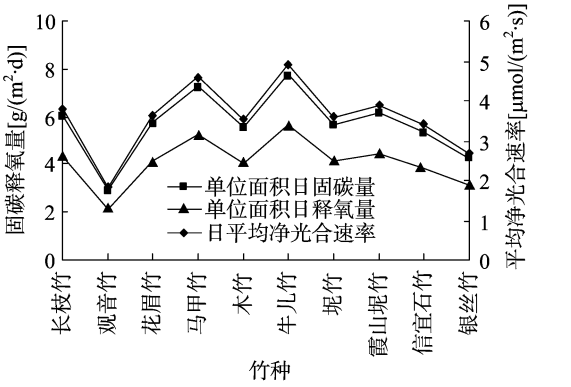


图2 竹种固碳释氧量与平均净光合速率变化趋势

种的固碳释氧量与单叶面积呈现出一定程度的正相关关系,即单叶面积越大其固碳释氧量越大(图 3)。

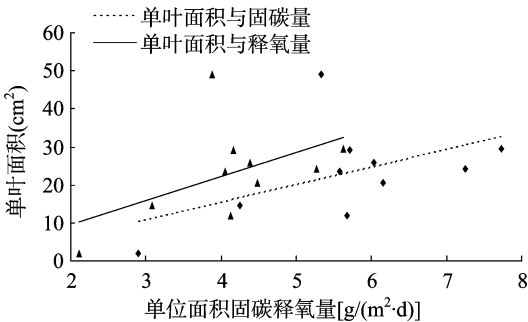


图3 竹种单叶面积与固碳释氧能力相关性分析

3.3 整株固碳释氧能力分析

为比较各竹种单株日固碳释氧能力的大小,采用统计软件 SPSS 19.0 对各竹种的叶面积指数进行聚类分析(表 3)。结果表明,聚类分析后各竹种被分为 3 类:第 1 类仅有木竹,其叶面积指数最大,达 57.44,远超其他竹种;第 2 类仅有银丝竹,叶面积指数为 28.07;第 3 类包括剩下的长枝竹等 8 个竹种,叶面积指数为 4.51 ~ 15.32。除观音竹与花眉竹外,其他各竹种排名与单位叶面积固碳释氧能力排名均有较大变动,例如,马甲竹的叶面积指数虽然只在被测竹种中排名第 8,但其单位叶面积固碳量达 7.255 g/(m²·d),排名第 2。

表 3 各竹种叶面积指数分析

竹种	冠幅 (m ²)	总叶面积 (m ²)	叶面积指数	排序	聚类
长枝竹	1.21	11.58	9.55	7	1
观音竹	0.18	0.81	4.51	10	1
花眉竹	7.59	96.76	12.75	5	1
马甲竹	1.31	11.07	8.47	8	1
木竹	0.80	45.76	57.44	1	3
牛儿竹	2.89	41.41	14.33	4	1
坭竹	5.20	34.44	6.62	9	1
霞山坭竹	4.90	52.11	10.64	6	1
信宜石竹	2.89	44.22	15.32	3	1
银丝竹	2.07	58.01	28.07	2	2

由表 4 可知,花眉竹是单株固碳释氧能力位居第 1 的竹种,单株日固碳量高达 553.28 g/(m²·d),被归为第 1 类竹种。

表 4 各竹种单株日固碳释氧能力

竹种	固碳量 [g/(m ² ·d)]	释氧量 [g/(m ² ·d)]	排序	聚类
长枝竹	69.90	50.84	9	2
观音竹	2.35	1.71	10	1
花眉竹	553.28	402.38	1	4
马甲竹	80.28	58.39	8	3
木竹	255.16	185.57	4	3
牛儿竹	320.10	232.80	3	3
坭竹	195.33	142.06	7	3
霞山坭竹	321.10	233.53	2	3
信宜石竹	236.05	171.67	6	3
银丝竹	246.28	179.11	5	3

采用统计软件 SPSS 19.0 对 10 个竹种的单株日固碳释氧能力进行聚类分析后,所有竹种被分为 4 类:第 1 类仅有花眉竹;第 2 类单株日固碳量为 80.28 ~ 321.10 g/(m²·d),包括马甲竹、牛儿竹等 7 个竹种,这一类占被测竹种的大多数;第 3 类单株日固碳量为 69.90 g/(m²·d),仅为长枝竹;第 4 类单株日固碳量为 2.35 g/(m²·d),仅为观音竹。

4 结论与讨论

通过对籐竹属 10 个竹种固碳释氧能力的对比分析,结果表明:(1)10 个竹种的竹子光合进程呈现双峰曲线,光合速率有“午休”现象,上午净光合速率最高点出现在 9:30 左右;下午净光合速率最高点出现在 15:00 左右,且上午净光合速率高于下午;(2)各竹种日平均净光合速率与单叶面积相关性不大,净光合速率最大的牛儿竹为 4.88 μmol/(m²·s),是净光合速率最小的观音竹 1.83 μmol/(m²·s)的 2.67 倍,但单叶面积最大的却是信宜石竹,在被测竹种中光合速率排名靠后,可见净光合速率的大小主要受其他因素的影响;(3)10 个竹种虽然属于同一竹属,但固碳释氧能力差别较大,从单位叶面积固碳释氧能力来看,以牛儿竹为最优;但从单株固碳释氧能力来看,以花眉竹为最优;(4)虽然花眉竹的单位叶面积以及叶面积指数都只处于中等位置,但其冠幅远超其他竹种,这才是花眉竹单株固碳释氧能力位居第 1 的主要原因;(5)牛儿竹的固碳释氧能力不论从单位叶面积还是单株叶面积来看排名都比较靠前,各项指标都比较稳定。

空气是人类生存不可或缺的外部环境因素,如今人类活动频繁,煤、石油、天然气等消耗量激增,大气中 CO₂ 含量不断增加,而由此造成的城市热岛效应,会形成上空逆温层,加剧空气的污染^[14]。李新宇等研究表明,当空气中 CO₂ 浓度达到 0.05% 时,人的呼吸会受到影响;当含量达到 0.2% ~ 0.6% 时,更加危害人体健康^[15]。李正才等相关研究表明,竹类具有相对较强的固定 CO₂、释放 O₂ 的能力^[16-17]。所以,在学校、居民区等人口密度大的地方可以选择竹类作为园林植物,如花眉竹、牛儿竹等,既能满足人们对园林景观文化内涵与审美的需求,也能对提高空气中 O₂ 浓度降低 CO₂ 浓度起到一定的作用,有利于创造更为舒适的人居环境。

参考文献:

[1] 辉朝茂,杨宇明,郝吉明. 论竹子生态环境效益与竹产业可持续发展[J]. 西南林学院学报,2003,23(4):25-29.

[2] 普映山,张志毅. 云南民族文化生态旅游研究[J]. 中国林学(英文版),2001(1):37-49.

[3] 陈国金,朱永法. 论竹产业发展与安吉新农村建设[J]. 福建林业科技,2008,35(2):211-214,223.

[4] Kow K W, Yusoff R, Aziz A R A, et al. From bamboo leaf to aerogel: Preparation of water glass as a precursor[J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 2014, 386: 76-84.

[5] 于 芬,丁雨龙. 毛竹竹秆基本组织发育过程中 ATP 酶的超微定位[J]. 江西农业大学学报,2011,33(2):300-305.

[6] 娄永峰,杨海芸,张有珍,等. 部分竹类植物遗传变异的 AFLP, ISSR 和 SRAP 分析[J]. 福建林学院学报,2011,31(1):38-43.

[7] Jian H, Yue Z. A study on strain properties of bamboo in process of

马 师, 苟光前. 合江方竹竹笋培育施肥研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(8): 107–110.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.08.030

合江方竹竹笋培育施肥研究

马 师^{1,2}, 苟光前^{1,2}

(1. 贵州大学竹类研究所, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州大学生命科学学院, 贵州贵阳 550025)

摘要: 为了解合江方竹笋对土壤养分的需求, 建立竹笋丰产的科学施肥配方。采用“3414”试验对合江方竹林进行施肥研究, 建立了合江方竹笋产量与 N 、 P_2O_5 、 K_2O 施用量之间的肥效模型。结果表明, 三元二次方程拟合结果与实际吻合, 各处理笋产量之间不存在显著差异; $N-P$ 、 $P-K$ 存在正交互作用, $N-K$ 之间不存在交互作用; 笋产量随着单因素施肥量的增大而增大, 当施肥量超过最大值时, 笋产量不再增加; 氮磷钾对笋产量的增加效果依次为 $P > K > N$; 合江方竹林地施肥具有明显的经济效益, 各个处理产投比为 2.21 ~ 3.19, 其中以 $N_2P_2K_2$ 处理的最大, $N_2P_0K_2$ 处理的最小。以 $N_2P_2K_2$ 处理的纯利润最高, 为 55 079 元/hm²。通过频数分析得出了林地的推荐施肥量为尿素 295 ~ 520 kg/hm², 过磷酸钙 260 ~ 450 kg/hm², 钾肥 93 ~ 160 kg/hm²。

关键词: 合江方竹笋; “3414”施肥试验; 施肥效果; 推荐肥量

中图分类号: S795.905 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)08-0107-04

合江方竹 (*Chimonobambusa hejiangensis*) 又称大竹、箐竹, 分布于四川合江及贵州赤水、习水等地, 合江方竹笋肉嫩肥厚、香脆可口, 富含丰富的蛋白质和氨基酸, 色泽美观, 耐储存, 具有很高的经济价值, 其笋期在秋季 9—11 月, 为鲜笋供应淡季, 市场价格可观^[1-3]。目前, 合江方竹以天然林为主, 生产粗放, 人工育林也缺少施肥管理措施, 加强竹林施肥培育, 提高竹笋丰产等问题亟待解决。

“3414”试验在农业上被广为使用, 而在林业竹类中的运用只见于慈竹林、撑绿竹林、毛竹林^[4-7], 且施肥处理结果也并不相同, 可能是由不同竹种和不同林地土壤情况的差异所致。合江方竹为笋材两用的优良竹种^[1], 针对合江方竹进行施肥的研究尚未见报道。本研究通过对贵州省赤水市宝源乡合江方竹林进行“3414”施肥试验, 研究氮磷钾施用量与笋产

量的关系, 建立肥效模型, 确定氮磷钾推荐施肥量, 为当地合理施肥和促进高产增收提供科学的施肥依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概述

研究地区是贵州省赤水市宝源乡, 赤水市地处 105°36′ ~ 106°15′E、28°16′ ~ 28°46′N, 最高海拔 1 730 m, 最低海拔 221 m, 年降水量 1 200 ~ 1 300 mm, 无霜期 340 ~ 350 d, 年均相对湿度 82%^[8]。试验林地土壤 pH 平均值 4.13, 为酸性土壤。有机质含量均值为 56.38 g/kg, 全氮含量均值为 2.49 g/kg, 碱解 N 含量均值为 249.60 mg/kg, 有效磷含量均值为 5.04 mg/kg, 速效钾含量均值为 61.57 mg/kg。

1.2 试验设计与材料

试验林地面积共 2 100 m², 采用“3414”设计施肥方案, 设氮磷钾 3 个因素, 每个因素设 4 个水平的肥料用量, 共 14 个处理, 每个处理为 10 m(长) × 5 m(宽)。14 个处理为 1 个区组, 设 3 个区组, 随机布置, 地形、土壤一致。供试肥料为尿素 (含 N ≥ 46%)、过磷酸钙 (含 P_2O_5 ≥ 12%)、氯化钾 (含 K_2O ≥ 60%), 具体设计方案见表 1。

施肥采用撒施方式, 施肥后立即覆土, 以确保肥料充分融

收稿日期: 2016-07-04

基金项目: 国家科技支撑计划 (编号: 2012BAD23B05); 贵州省农业科技攻关项目 (编号: 黔科合 NY[2012]3074)。

作者简介: 马 师 (1989—), 男, 贵州安顺人, 硕士研究生, 主要从事植物系统发育与进化研究。E-mail: mashi2014@163.com。

通信作者: 苟光前, 博士, 教授, 主要从事竹类植物资源与培育研究。E-mail: ggqian106@163.com。

heating and cooling[J]. Advanced Materials Research, 2011, 337: 724–727.

[8] Ogawa K, Hirogaki T, Aoyama E, et al. Bamboo fiber extraction method using a machining center[J]. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 2008, 2(4): 550–559.

[9] 肖建武, 康文星, 尹少华, 等. 城市森林固碳释氧功能及经济价值评估——以第三个“国家森林城市”长沙市为实证分析[J]. 林业经济问题, 2009, 29(2): 129–132.

[10] 徐玮伟, 李晓储, 汪成忠, 等. 扬州古运河风光带绿地树种固碳释氧效应初步研究[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24(5): 575–580.

[11] 康永武. 茶秆竹的叶面积指数测定[J]. 浙江林业科技, 2002, 22(1): 45–46.

[12] 赵 萱, 李海梅. 11 种地被植物固碳释氧与降温增湿效应研究[J]. 江西农业学报, 2009, 21(1): 44–47.

[13] 饶显龙, 王 丹, 吴仁武, 等. 杭州西湖公园 6 种木兰科植物固碳释氧能力[J]. 福建林业科技, 2014(3): 1–5.

[14] 杨贵丽. 城市园林绿地规划[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 31.

[15] 李新宇, 唐海萍. 陆地植被的固碳功能与适用于碳贸易的生物固碳方式[J]. 植物生态学报, 2006, 30(2): 200–209.

[16] 李正才, 傅懋毅, 徐德应. 竹林生态系统与大气二氧化碳减量[J]. 竹子研究汇刊, 2003, 22(4): 1–6.

[17] 申贵仓, 张旭东, 张 雷, 等. 蜀南苦竹林生态系统碳储量与碳汇能力估测[J]. 林业科学, 2013(3): 78–84.