

施肥对巨桉幼树生长及生物固碳量的影响

王东¹, 龚伟¹, 胡庭兴¹, 陈宏志^{1,2}, 王景燕¹, 李小平¹

(1. 四川农业大学 生态林业工程省级重点实验室, 四川 雅安 625014; 2. 四川省林业调查规划院, 四川 成都 610081)

摘要: 桉树 *Eucalyptus* 作为世界三大速生树种之一, 广泛用于营造人工林, 其中巨桉 *Eucalyptus grandis* 以生长速度快和经济效益好而成为目前栽培面积最大的一种桉树。以不施肥为对照, 研究不同施肥水平(含氮、五氧化二磷和氧化钾各 15%的复合肥 0, 90, 180, 270 g·株⁻¹)下巨桉的生长及生物固碳量。结果表明: 施肥 90 ~ 270 g·株⁻¹ 与不施肥条件下相比, 巨桉地径、冠径、树高、整株生物量和根冠比分别增加 16.3% ~ 38.3%, 17.1% ~ 44.5%, 15.8% ~ 45.5%, 21.8% ~ 59.5% 和 2.1% ~ 5.8%, 且地径、冠径、整株生物量以及生物固碳量都显著大于不施肥处理; 施肥 180 g·株⁻¹ 的地径和树高与 270 g·株⁻¹ 和 90 g·株⁻¹ 差异均不显著, 但施肥 270 g·株⁻¹ 均显著高于 90 g·株⁻¹, 施肥 90 g·株⁻¹ 的树高与不施肥处理间的差异不显著; 各施肥水平下的冠径之间存在显著性差异。地径、冠径和树高生长速度与施肥量呈极显著正相关关系($P<0.01$), 且在 7 月和 8 月的生长速度相对较快。除施肥 270 g·株⁻¹ 外, 其他施肥处理的根冠比与不施肥处理差异不显著, 各施肥水平的整株生物量和生物固碳量之间均存在显著性差异。说明在试验地条件下 0 ~ 270 g·株⁻¹ 肥料用量范围内增加施肥量有利于促进巨桉生长, 提高生物量和生物固碳量以及根冠比。这对巨桉林的科学施肥管理以及缓解全球气候变化具有重要的作用。图 4 参 36

关键词: 森林生态学; 施肥; 巨桉; 生长; 生物固碳

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2011)02-0207-07

Growth and biomass carbon sequestration of young *Eucalyptus grandis* with fertilization

WANG Dong¹, GONG Wei¹, HU Ting-xing¹, CHEN Hong-zhi^{1,2}, WANG Jing-yan¹, LI Xiao-ping¹

(1. Sichuan Provincial Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, Sichuan, China; 2. Sichuan Forest Inventory and Plan Institute, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: *Eucalyptus* is one of three fast growing tree types used widely in tree plantations, and *Eucalyptus grandis* has the largest cultivated area of all species because of its fast growth and favorable economic opportunities. To determine the effects of fertilization on growth and biomass carbon sequestration of *E. grandis*, a compound fertilizer containing 15% N, 15% P₂O₅, and 15% K₂O was applied with different treatments of (in g·stem⁻¹) 0 (ck), 90 (I), 180 (II), and 270 (III), and a correlation analysis was employed. Each treatment has three replicates and each was arranged in random blocks. The soil was a Purple soil with an average pH of 5.60, and contained soil organic matter 15.3 g·kg⁻¹, total soil N 1.23 g·kg⁻¹, available N 82.8 mg·kg⁻¹, available P 51.38 mg·kg⁻¹ and available K 61.45 mg·kg⁻¹ prior to the start of the pot experiment. Results showed that compared to the control, fertilization treatments I, II, and III significantly (One-way ANOVA Duncan Multiply Test) increased the stem base ($P<0.05$, 16.3% – 38.3%), crown width ($P<0.05$, 17.1% – 44.5%), tree height ($P<0.05$, 15.8% – 45.5%), biomass ($P<0.05$, 21.8% – 59.5%), and root-shoot (R/S) ratio ($P<0.05$, 2.1% – 5.8%). For stem base and tree height, fertilized treatments III were significant

收稿日期: 2010-07-01; 修回日期: 2010-08-10

基金项目: “十一五”国家科学技术支撑计划项目(2008BADC2B01); 四川省教育厅资助项目(08zb038)

作者简介: 王东, 从事植物营养及土壤生态等研究。E-mail: wangdong0926@126.com。通信作者: 龚伟, 副教授, 博士, 从事林业生态工程及土壤生态等研究。E-mail: gongwei@sicau.edu.cn

higher than I, but no significant difference was observed between II and III or I. Among fertilized treatments, crown width was significantly different ($P<0.05$). Growth of the stem base, crown width, and tree height were significantly and positively correlated with the amount of applied fertilizer ($P<0.01$) and with growth faster in July and August than other months (June and September). For R/S, III was significantly greater than ck. Also, among different treatments, significant differences in biomass ($P<0.05$) and biomass carbon sequestration ($P<0.05$) were found. Thus, for scientific management and for global warming mitigation, fertilization (at the rate of 0 – 270 g·stem⁻¹) could be beneficial for promoting growth of *E. grandis*, and increasing biomass, biomass carbon sequestration, and root-shoot ratio (R/S). [Ch, 4 fig. 36 ref.]

Key words: forest ecology; fertilization; *Eucalyptus grandis*; growth; biomass carbon sequestration

巨桉 *Eucalyptus grandis* 是桃金娘科 Myrtaceae 桉树属 *Eucalyptus* 双蒴盖亚属 *Subgenus symphyomyrtus* 横脉组 *Transversara* 柳桉系 *Saligance* 树种^[1]，可用于矿柱、建筑、包装箱板以及纸浆等^[2]，是当今世界普遍用作纸浆材的造纸原料树种。此外，巨桉的叶片含有丰富的桉叶油等具有较强生理活性的物质，在食品、化工、医药、环境、能源等方面有着广泛的用途^[3-5]。其叶形似樟树 *Cinnamomum camphora*，叶、枝和干皮通体呈褐红色，是一种优良的观叶树种，具有较高的园艺观赏价值。在发达国家巨桉已日渐成为一种重要的景观树种。巨桉作为一种经济树种，已广泛用于营造人工林，是当今世界栽培面积最大的一种桉树。也正因为如此，大面积栽植的巨桉在调节全球气候，维持全球碳循环平衡上表现出突出的生态效应。巨桉的大量栽植带来了显著的经济效应和突出的生态效应，但在我国巨桉栽植还存在很多问题，如低温冻害^[6-7]、高温和干旱胁迫^[8]以及桉树人工林生物多样性下降^[9]和桉树化感作用^[10-13]等。许多学者在这些方面的研究上做出了突出的贡献。作为世界三大速生树种之一，巨桉在其生长过程中对土壤肥力的消耗较大，因此，土壤肥力退化成为巨桉人工林的突出问题^[14-15]。由于人们对化肥的认识不足，从而过低地估计了化学肥料的作用，认为化肥效果差，甚至主张减少化肥施用^[16]。然而，许多学者的研究表明，中国现阶段人工林的质量较差，科学施肥能明显提高人工林的质量^[17-18]。目前，关于巨桉营养方面的研究已有少量报道^[19-21]，有些是巨桉的缺素诊断试验^[22-23]，还有的是关于巨桉材积以及植株营养效应的研究^[24]，但有关施肥对巨桉生长量以及生物固碳量影响方面的研究尚未见报道。鉴于此，笔者研究了不同施肥水平对巨桉生长及生物固碳量的影响，为巨桉人工林的施肥管理及缓解全球气候变暖提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于四川农业大学林学系教学科研基地($30^{\circ}80' N$, $103^{\circ}00' E$)，海拔为620 m，年平均气温为16.2 °C，极端低温为-3.0 °C，极端高温为37.7 °C，年均降水量1774.3 mm，年均相对湿度79%，年均日照时数1045.0 h^[25]。试验地土壤为紫色土，有机质为15.3 g·kg⁻¹，全氮1.23 g·kg⁻¹，碱解氮82.8 mg·kg⁻¹，有效磷51.38 mg·kg⁻¹，速效钾61.45 mg·kg⁻¹，pH 5.60。

1.2 试验方法

于2009年3月下旬，将生长状况基本一致，株高15 cm左右的巨桉组培苗栽种于试验地土壤上。栽植密度为2.5 m × 3.0 m。基肥采用含氮、五氧化二磷和氧化钾各15%的复合肥。施肥量设置4个水平：0, 90, 180, 270 g·株⁻¹，3次重复，栽植10株·重复⁻¹，并进行正常的田间浇水和除草等管理。于当年6月1日开始，隔7 d测定1次巨桉幼树地径、冠径和树高，一直测定到当年10月6日。测定结束后，在每个处理的每个重复中选择1株最具有代表性的巨桉植株，收获地上(茎、叶和枝)和地下(根)生物量，并根据其所占的比例制成有代表性的混合样，测定植株有机碳质量分数。同时，采用Davis电子气象站记录降水量和温度。测定方法：采用游标卡尺测量距离地面高10 cm处南北向和东西向的树干直径，取两者的平均值作为地径；采用卷尺测量植株东西向和南北向的冠径，取两者的平均值作为冠径；采用塔尺测量植株高度；植株中有机碳质量分数采用重铬酸钾氧化-外加热法测定。

2 结果与分析

2.1 施肥对巨桉生长的影响

2.1.1 地径、冠径和树高日平均生长量 由图 1 可知, 巨桉地径、冠径和树高日平均生长量均以不施肥条件下最低。施肥 90, 180 和 270 g·株⁻¹ 与不施肥处理相比, 地径日平均生长量分别增加 16.3%, 27.3% 和 38.3%, 且均显著高于不施肥处理, 施肥 180 g·株⁻¹ 与 270 g·株⁻¹ 和 90 g·株⁻¹ 差异不显著, 但施肥 270 g·株⁻¹ 显著高于 90 g·株⁻¹; 冠径日平均生长量分别增加 17.1%, 31.6% 和 44.5%, 各施肥水平之间差异均达到显著水平; 树高日平均生长量分别增加 15.8%, 30.9% 和 45.5%, 除施肥 90 g·株⁻¹ 与不施肥处理间差异不显著外, 其他施肥水平均显著高于不施肥处理, 施肥 180 g·株⁻¹ 与 270 g·株⁻¹ 和 90 g·株⁻¹ 差异不显著, 但施肥 270 g·株⁻¹ 显著高于 90 g·株⁻¹。相关分析结果表明: 地径 ($r = 0.995, P < 0.01$), 冠径 ($r = 0.998, P < 0.01$) 和树高 ($r = 1.000, P < 0.01$) 日平均生长量与施肥量间呈极显著线性正相关关系。说明施肥能够促进巨桉生长, 且巨桉生长量在一定范围内随施肥量的增加而增加。

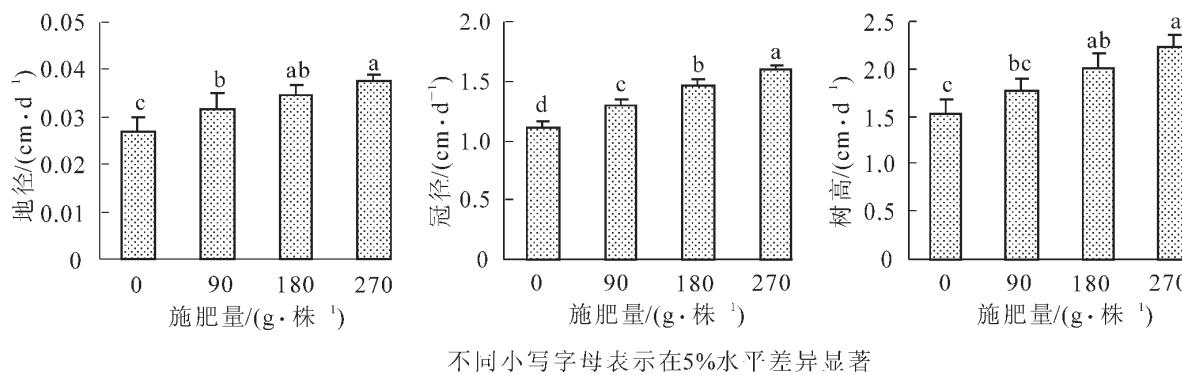


图 1 施肥对巨桉地径、冠径和树高日平均生长量的影响

Figure 1 Effects of fertilization on daily average stem base, crown width and tree height growth of *Eucalyptus grandis*

2.1.2 地径、冠径和树高月生长量 由图 2 可知, 巨桉地径、冠径和树高月生长量均呈现出相同的趋势: 施肥 270 g·株⁻¹ > 180 g·株⁻¹ > 90 g·株⁻¹ > 不施肥处理, 且 7 月和 8 月生长量高于 6 月和 9 月。各施肥水平巨桉在 7 月和 8 月地径月生长量差异不显著, 但都显著高于 6 月的地径月生长量; 各施肥处理的巨桉在 7 月和 8 月的冠径月生长量差异显著, 且都显著高于 9 月的冠径月生长量; 除施肥 90 g·株⁻¹ 巨桉 7 月和 8 月的树高月生长量存在显著差异外, 其他各施肥水平差异不显著, 但都显著高于 6 月和 9 月的树高月生长量。同一时期测得的气象资料: 6~9 月的月平均气温分别为 23.3, 25.3, 26.1 和 23.7 °C, 月总降水量分别为 131.2, 398.5, 503.6 和 182.8 mm。说明 7 月和 8 月巨桉生长量高于 6 月和 9 月的原因与 7 月和 8 月的月平均气温和月总降水量高于 6 月和 9 月有关。可见, 适宜的水热条件有利于巨桉的

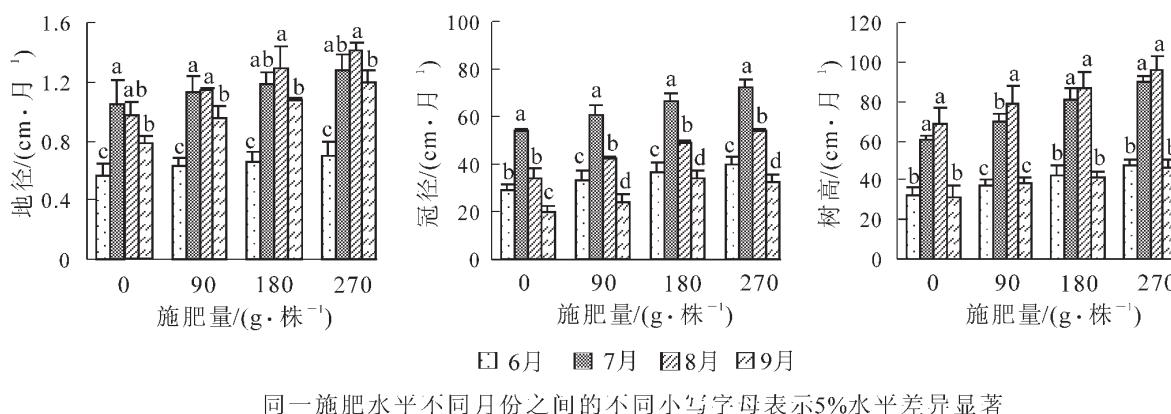


图 2 施肥对巨桉地径、冠径和树高月生长量的影响

Figure 2 Effects of fertilization on monthly stem base, crown width and tree height growth of *Eucalyptus grandis*

快速生长。

2.1.3 地径、冠径和树高生长动态变化 由图3可知，在巨桉生长初期各施肥水平下巨桉地径、冠径和树高的差异并不明显，但随着施肥后巨桉生长时间的延长，不同施肥水平下巨桉生长量的差异呈逐渐增大的变化趋势。出现这一现象的原因可能是由于巨桉在幼苗期对养分的需求量较少，土壤本身的肥力完全能够满足其生长发育的需要，故在巨桉幼树生长的初期生长量的差异不明显，但随着植株的不断生长，其对养分的需求不断增加，土壤中原有的养分不能满足植株的需求，巨桉生长量的差异逐渐增大。适量的施肥能改善土壤养分的供应状况，满足巨桉幼树快速生长对养分的需求，从而使得巨桉地径、冠径和树高生长量随施肥量的增加而增加。

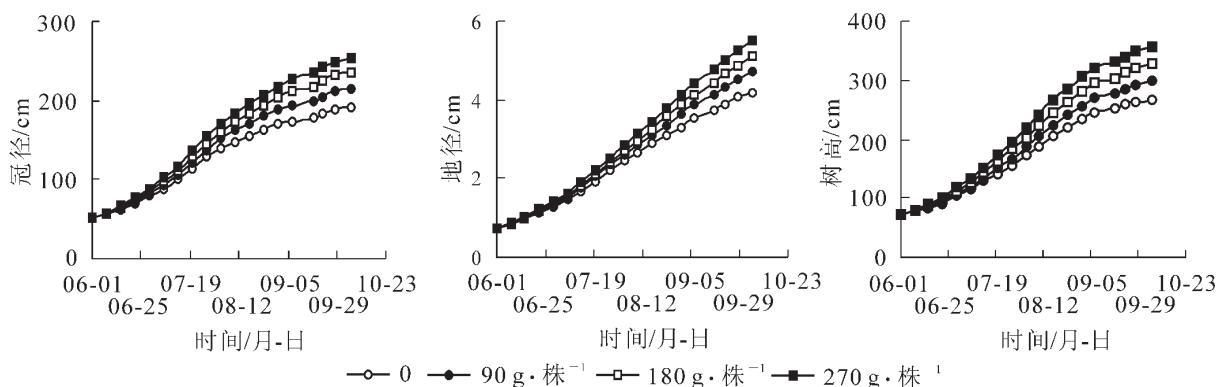


图3 不同施肥处理下巨桉的生长动态曲线

Figure 3 Growth dynamic of *Eucalyptus grandis* under different fertilization treatments

2.2 施肥对巨桉生物量及生物固碳量的影响

由图4可知，施肥90, 180, 和270 g·株⁻¹与不施肥处理相比，总生物量分别增加21.8%，46.4%和59.5%，且不同施肥水平间差异显著，经相关性分析，得出巨桉总生物量与施肥量存在显著线性正相关关系 ($r = 0.993$, $P < 0.01$)；根冠比分别增加4.6%，2.1%和5.8%，除施肥270 g·株⁻¹显著高于不施肥处理外，其他各处理间差异均不显著；生物固碳量分别增加21.2%，46.2%和59.8%，且各施肥水平之间存在显著的差异。说明适量的施肥有利于巨桉总生物量、植株根冠比和生物固碳量的增加，且总生物量和生物固碳量随施肥量的增加而增加。

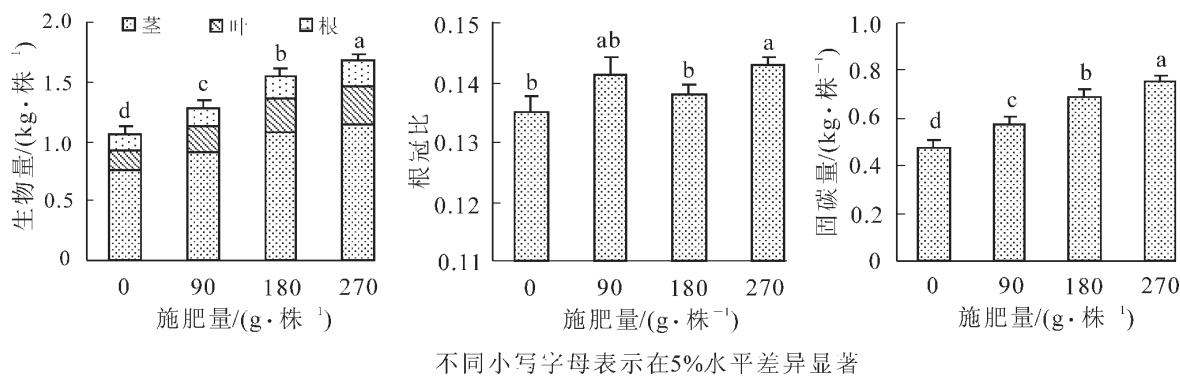


图4 施肥对巨桉根冠比、生物量以及固碳量的影响

Figure 4 Effects of fertilization on root-shoot ratio, biomass and biomass carbon sequestration of *Eucalyptus grandis*

3 讨论

有研究^[26]表明：桉树在2–3月造林且配合1 a 2次施用总量225 g·株⁻¹的化肥能获得较好的效果。本研究结果发现：施用含氮、五氧化二磷和氧化钾各15%的复合肥，其用量在270 g·株⁻¹时对生长的促进作用最佳。据报道^[27]：肥料施用量过少，不能满足植株生长发育的需要，就不能较好地促进植株生长，而肥料施用量过多，则会出现植物营养过剩或造成毒害，也会影响植株生长。本研究中，施肥量在

0 ~ 270 g·株⁻¹ 范围内时随肥料施用量的增加巨桉的生长速度不断加快, 且各施肥水平下巨桉的地径、冠径和树高月生长量均在 7 月和 8 月较高, 但继续增加肥料用量是否有利于加快巨桉生长速度, 有待进一步研究。

植物的生物量可以反映植物利用自然潜力的能力, 在一定程度上和植物的生产力有着密切的联系, 通过测定植物的生物量大小可以反映该种植物生产力的高低。测定某一树种生物量, 对于评价该树种生产力及提高营林水平和综合利用其产品具有重要意义^[28]。通过本试验的施肥处理, 发现巨桉总生物量与施肥量呈显著的正相关关系, 这与彭明俊等^[29]在云南省红河州屏边县对北美红杉 *Sequoia sempervirens* 幼林进行施肥试验所得结果相一致。说明施肥有利于植物的生长, 且施肥在提高人工林生产力方面具有重要作用。根冠比的大小反映了植物地下部分与地上部分生长的相关性。张建国等^[30]研究酸性土壤上氮磷营养对杉木 *Cunninghamia lanceolata*, 湿地松 *Pinus elliottii* 和尾叶桉 *Eucalyptus urophylla* 苗木根冠干物质分配的影响时指出, 在营养亏缺条件下, 苗木的根冠比会有所提高。同时, 也有人指出^[31], 高磷和钾营养可以增大植物的根冠比。本试验研究发现, 各施肥处理下植株的根冠比均高于不施肥处理, 这与张建国等^[30]的研究结果有一定的差异。究其原因, 可能与试验地速效钾含量较低有关。经分析, 试验地速效钾 (61.45 mg·kg⁻¹) 质量分数较南方地区土壤肥力评价主要理化指标建议参考标准值^[32] (速效钾 80 ~ 100 mg·kg⁻¹) 低, 通过施肥处理增加了土壤中含钾量, 从而使得巨桉根冠比随着施肥量的增加而增加。此外, 也有可能与试验地环境条件的差异以及植物种类不同有关, 具体原因还有待进一步研究。

自从《京都议定书》正式生效以来, 全球步入低碳经济时代, 世界各国都在想办法减少二氧化碳的排放量, 越来越多的学者关心碳汇与碳源的问题^[33~34]。森林生态系统作为陆地生态系统的主体, 在调节气候变化, 保持生态平衡上起着十分重要的作用^[35]。森林的二氧化碳源汇功能不仅会对本地区的碳循环产生巨大的作用而且还会影响到全球的碳循环^[36]。经过施肥处理的巨桉植株生物固碳量与不施肥处理相比均有显著增加, 且随着施肥量的增加而呈明显上升的趋势, 这说明适量施肥能够增加巨桉生物固碳量, 在相同的时间内比不施肥或施肥量较少的巨桉植株能固定更多的二氧化碳, 这对增加生物碳固定及减缓全球气候变化具有重要的作用和意义。

4 结论

通过对巨桉幼树进行施肥试验, 得出在本试验地条件下施用含氮、五氧化二磷和氧化钾各 15% 的复合肥 270 g·株⁻¹ 巨桉的生长速度明显快于施用 180 g·株⁻¹ 和 90 g·株⁻¹ 以及不施肥的巨桉, 在 0 ~ 270 g·株⁻¹ 肥料用量范围内呈现出随施肥量的增加其生长速度加快的变化趋势, 且巨桉在 7 ~ 8 月生长速度较 6 月和 9 月快。巨桉总生物量与施肥量呈显著线性正相关关系, 同时随着施肥量的增加, 巨桉的生物固碳量也逐渐增加。

参考文献:

- [1] 冯茂松, 张健, 钟宇. 四川巨桉人工林 DRIS 诊断及养分标准研究[J]. 江西农业大学学报, 2008, **30** (4): 265 ~ 270.
FENG Maosong, ZHANG Jian, ZHONG Yu. A study on DRIS nutrient diagnosis of *Eucalyptus grandis* plantation in Sichuan [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2008, **30** (4): 265 ~ 270.
- [2] 祁述雄. 中国桉树[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008: 43.
- [3] 田玉红, 张祥民, 黄泰松, 等. 桉叶油的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2007 (10): 138 ~ 143.
TIAN Yuhong, ZHANG Xiangmin, HUANG Taisong, et al. Research advances on the essential oils from leaves of *Eucalyptus* [J]. *Food Ferment Ind*, 2007 (10): 138 ~ 143.
- [4] 韦学丰, 邓年方. 桉树叶的开发利用[J]. 贺州学院学报, 2008, **24** (2): 133 ~ 136.
WEI Xuefeng, DENG Nianfang. Development and utilization of *Eucalyptus* leaves [J]. *J Hezhou Univ*, 2008, **24** (2): 133 ~ 136.
- [5] 王晗光, 张健, 杨婉身, 等. 气相色谱-质谱法分析巨桉叶的挥发性化感成分[J]. 四川农业大学学报, 2006, **24** (1): 51 ~ 54.
WANG Hanguang, ZHANG Jian, YANG Wansheng, et al. Analysis of volatile allelopathic constituents of leaf of *Eucalyptus* [J]. *Acta Sci Polon Silv*, 2006, **24** (1): 51 ~ 54.

- calyptus grandis* by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *J Sichuan Agric Univ*, 2006, **24** (1): 51 – 54.
- [6] 刘建, 叶露, 周坚, 等. 夜间低温对2种桉树幼苗光合特性的影响[J]. 西北植物学报, 2007, **27** (10): 2024 – 2028.
- LIU Jian, YE Lu, ZHOU Jian, et al. Effects of nocturnal low temperature on photosynthetic characteristics of *Eucalyptus urophylla* and *E. dunnii* [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2007, **27** (10): 2024 – 2028.
- [7] 刘奕清, 李会合, 陈泽雄. 尾巨桉幼苗对低温胁迫的生理生化反应[J]. 福建林业科技, 2007, **34** (4): 24 – 26.
- LIU Yiqing, LI Huihe, CHEN Zexiong. The physiological and chemical changes of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* seedlings stressed by low temperature [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2007, **34** (4): 24 – 26.
- [8] 刘奕清, 陈泽雄, 杨婉晴. 高温和干旱胁迫对尾巨桉幼苗生理特性的影响[J]. 园艺学报, 2008, **35** (5): 761 – 764.
- LIU Yiqing, CHEN Zexiong, YANG Wanqing. Effect of high temperature and drought stress on the physiological characteristics of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* seedlings [J]. *Acta Hort Sin*, 2008, **35** (5): 761 – 764.
- [9] 陈秋波. 桉树人工林生物多样性研究进展[J]. 热带作物学报, 2001, **22** (4): 82 – 90.
- CHEN Qiubo. A review of researches on biodiversity in *Eucalyptus* plantations [J]. *Chin J Trop Crop*, 2001, **22** (4): 82 – 90.
- [10] 刘小香, 谢龙莲, 陈秋波, 等. 桉树化感作用研究进展[J]. 热带农业科学, 2004, **24** (2): 54 – 61.
- LIU Xiaoxiang, XIE Longlian, CHEN Qiubo, et al. A review of allelopathic researches on *Eucalyptus* [J]. *Chin J Trop Agric*, 2004, **24** (2): 54 – 61.
- [11] 王晗光, 张健, 杨婉身, 等. 巨桉根系和根系土壤化感物质的研究[J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2006, **29** (3): 368 – 371.
- WANG Hanguang, ZHANG Jian, YANG Wanshen, et al. A research on the allelopathic substances in root system and root system soil of *Eucalyptus grandis* [J]. *J Sichuan Norm Univ Nat Sci*, 2006, **29** (3): 368 – 371.
- [12] 陈秋波, 彭黎旭, 贺利民, 等. 刚果12号桉树根及根际土壤中化感物质的成分分析[J]. 热带农业科学, 2002, **22** (4): 28 – 34.
- CHEN Qiubo, PENG Lixu, HE Limin, et al. Allelopathic substances in root and rhizosphere-soil of *Eucalyptus* 12ABL [J]. *Chin J Trop Agric*, 2002, **22** (4): 28 – 34.
- [13] 高丹, 胡庭兴, 万雪, 等. 巨桉枯落物化感物质的研究[J]. 浙江林学院学报, 2008, **25** (2): 191 – 194.
- GAO Dan, HU Tingxing, WAN Xue, et al. Allelopathic constituents from litterfall of *Eucalyptus grandis* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (2): 191 – 194.
- [14] 胡曰利, 吴晓芙. 林木施肥研究(I)肥效理论与基本模型[J]. 中南林学院学报, 1994, **14** (1): 1 – 6.
- HU Yueli, WU Xiaofu. Study on forest fertilization(I) principle of fertilization efficiency and basic models [J]. *J Central South For Univ*, 1994, **14** (1): 1 – 6.
- [15] 万泉. 土壤林木营养诊断与平衡施肥现状及展望[J]. 福建林业科技, 2008, **35** (1): 239 – 243.
- WAN Quan. The present situation and future development of soil and forest nutrient diagnosis and balance fertilization [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2008, **35** (1): 239 – 243.
- [16] 李生秀. 植物营养与肥料学科的现状与展望[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, **5** (3): 193 – 205.
- LI Shengxiu. The current state and prospect of plant nutrition and fertilizer science [J]. *Plant Nutr Fert Sci*, 1999, **5** (3): 193 – 205.
- [17] 李家康, 林葆, 梁国庆, 等. 对我国化肥使用前景的剖析[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, **7** (1): 1 – 10.
- LI Jiakang, LIN Bao, LIANG Guoqing, et al. Prospect of consumption of chemical fertilizer in China [J]. *Plant Nutr & Fert Sci*, 2001, **7** (1): 1 – 10.
- [18] 袁巍, 皮兵. 林业施肥的特点及配肥中应注意的问题[J]. 湖南林业科技, 2006, **33** (6): 81 – 83.
- YUAN Wei, PI Bing. Characteristics of fertilization on forestry and the issues be paid attention to formula fertilization [J]. *J Hunan For Sci Technol*, 2006, **33** (6): 81 – 83.
- [19] SCHÖNAU A P G. The effects of fertilizing on the foliar nutrient concentration in *Eucalyptus grandis* [J]. *Fertil Res*, 1981, **2**: 73 – 87.
- [20] SCHÖNAU A P G. Additional effects of fertilizing on several foliar nutrient concentrations and ratios in *Eucalyptus grandis* [J]. *Fertil Res*, 1982, **3**: 385 – 397.

- [21] SCHÖNAU A P G, HERBERT M A. Relationship between growth rate, fertilising and foliar nutrient concentrations for *Eucalyptus grandis*; preliminary investigations [J]. *Nutr Cycl Agroecos*, 1983, **4**: 369 – 380.
- [22] 仲崇禄, PAUL R. 6 种土壤类型上巨桉苗缺素试验[J]. 林业科学研究, 1994, **7** (6): 704 – 708.
ZHONG Chonglu, PAUL R. Nutrient omission experiment of *Eucalyptus grandis* seedlings in six forest soil types [J]. *For Res*, 1994, **7** (6): 704 – 708.
- [23] 仲崇禄. 巨桉苗期矿质营养试验[J]. 林业科学研究, 1996, **9** (5): 538 – 543.
ZHONG Chonglu. Mineral nutrient experiment of *Eucalyptus grandis* seedlings on latored soil [J]. *For Res*, 1996, **9** (5): 538 – 543.
- [24] 林书蓉, 李淑仪, 廖观荣, 等. 施肥对桉树生长及植株营养效应的研究[J]. 热带亚热带土壤科学, 1998, **7** (3): 184 – 187.
LIN Shurong, LI Shuyi, LIAO Guanrong, et al. Effect of fertilization on *E. urophylla* growth and plant nutrition [J]. *Trop Subtrop Soil Sci*, 1998, **7** (3): 184 – 187.
- [25] 张新全, 杨春华. 多花黑麦草新品系产量及农艺性状研究初探[J]. 四川草原, 2004 (3): 23 – 26.
ZHANG Xinquan, YANG Chunhua. Study on agronomic trait and forage yield of new ryegrass strain [J]. *J Sichuan Grassl*, 2004 (3): 23 – 26.
- [26] 汤加荣. 施肥对桉树幼林生长量的影响[J]. 防护林科技, 2007 (6): 28 – 30.
TANG Jiarong. Effect of fertilization on young growth of *Eucalyptus* spp. [J]. *Prot For Sci Technol*, 2007 (6): 28 – 30.
- [27] 田丽华. 氮对作物生长发育的影响及其施肥方法[J]. 河北农业科技, 2008 (15): 40.
TIAN Lihua. Effects of N on plant growth and development and methods of fertilization [J]. *J Hebei Agric Sci Technol*, 2008 (15): 40.
- [28] 薛立, 杨鹏. 森林生物量研究综述[J]. 福建林学院学报, 2004, **24** (3): 283 – 288.
XUE Li, YANG Peng. Summary of research on forest biomass [J]. *J Fujian Coll For*, 2004, **24** (3): 283 – 288.
- [29] 彭明俊, 左显东, 汪政初, 等. 施肥对北美红杉幼林生物量及磷素分布的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2005, **29** (2): 61 – 64.
PENG Mingjun, ZUO Xiandong, WANG Zhengchu, et al. Effects of fertilizations on biomass, P content and storage in young plantation of *Sequoia sempervirens* [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2005, **29** (2): 61 – 64.
- [30] 张建国, 李贻铨, 万细瑞. NP 营养对杉木、湿地松、尾叶桉苗木干物质分配的影响[J]. 林业科学, 2006, **42** (5): 48 – 53.
ZHANG Jianguo, LI Yiquan, WAN Xirui. Effects of different levels of N, P nutrition on the dry matter distribution of root and shoot of Chinese fir, slash pine and timor mahogany seedlings [J]. *Sci Silv Sin*, 2006, **42** (5): 48 – 53.
- [31] 乌丽雅斯. 红栌欧美杨温室苗木生长与抗逆性调控技术研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2004.
WU Liyasi. *Studies on Seedling Growth and Stress Resistance Modification Technique for Continus coggygria Atropurpurea and Populus eurameriana in Greenhouse* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2004.
- [32] 中华人民共和国农业部. NY/T 1749–2009 南方地区耕地土壤肥力诊断与评价[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [33] 方精云. 探索 CO₂ 失汇之谜[J]. 植物生态学报, 2002, **26** (2): 255 – 256.
FANG Jingyun. Seeking for the missing carbon sinks [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2002, **26** (2): 255 – 256.
- [34] 杨学明, 张晓平, 方华军. 农业土壤固碳对缓解全球变暖的意义[J]. 地理科学, 2003, **23** (1): 101 – 106.
YANG Xueming, ZHANG Xiaoping, FANG Huajun. Importance of agricultural soil sequestering carbon to offsetting global warming [J]. *Sci Geogr Sin*, 2003, **23** (1): 101 – 106.
- [35] WOODWELL G M, WHITTACKER R H, REINERS W A, et al. The biota and the world carbon budget [J]. *Science*, 1978, **199** (4325): 141 – 146.
- [36] 方精云, 陈安平. 中国森林植被碳库的动态变化及其意义[J]. 植物学报, 2001, **43** (9): 967 – 973.
FANG Jingyun, CHEN Anping. Dynamic forest biomass carbon pools in China and their significance [J]. *Acta Bot Sin*, 2001, **43** (9): 967 – 973.