

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201903006

侯远瑞, 黄小荣, 欧芷阳, 等. 岩溶石山台湾桤木生长表现及根瘤生物量特征 [J]. 广西植物, 2020, 40(6): 776–781.

HOU YR, HUANG XR, OU ZY, et al. Growth and nodule biomass characteristics of *Alnus formosana* in karst mountains [J]. Guihaia, 2020, 40(6): 776–781.

岩溶石山台湾桤木生长表现及根瘤生物量特征

侯远瑞^{1,2,3}, 黄小荣¹, 欧芷阳¹, 庞世龙¹, 申文辉¹

(1. 广西壮族自治区林业科学研究院, 南宁 530002; 2. 国家林业局中南速生材繁育实验室, 南宁 530002; 3. 广西优良用材林资源培育重点实验室, 南宁 530002)

摘 要: 了解台湾桤木(*Alnus formosana*)在岩溶石山的生长表现以及根瘤生物量的特征,对石山植被的恢复与重建具有重要意义。该文采用典型样地调查方法对岩溶石山 4.5 年生台湾桤木与速生乡土树种任豆(*Zenia insignis*)、顶果木(*Acrocarpus fraxinifolius*)进行了调查研究,并用方差分析方法进行统计和评价。结果表明:台湾桤木平均胸径、树高、材积和冠幅分别为 8.39 cm、7.72 m、0.0271 m³和 3.18 m,均大于任豆和顶果木,且差异达到极显著水平;台湾桤木冠长达 6.01 m,分别比任豆和顶果木增加 106.53%和 70.25%;台湾桤木在岩溶石山表现出速生的特性。对台湾桤木样株的根瘤生长状况进行深入调查分析发现,台湾桤木根瘤生物量平均每株达 52.77 g,根瘤在水平方向分布从树干基部至树冠投影范围均有生长,离树干 50 cm 与离树干 50~100 cm 范围的根瘤生物量相近,离树干 100 cm 至树冠投影范围的根瘤生物量最多,三个地段的根瘤分别占整株根瘤生物量的 15.7%、16.9%、67.4%;大根瘤(直径≥1 cm)在离树干 100 cm 至树冠投影范围分布最多;根瘤在垂直方向主要分布在 0~20 cm 土层,20~40 cm 土层少有根瘤出现;台湾桤木在岩溶石山表现出良好的结瘤固氮特性。该研究结果可为台湾桤木在岩溶石山的推广发展提供科学依据。

关键词: 台湾桤木, 任豆, 顶果木, 生长量, 根瘤, 岩溶石山

中图分类号: Q948.1 文献标识码: A

文章编号: 1000-3142(2020)06-0776-06

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Growth and nodule biomass characteristics of *Alnus formosana* in karst mountains

HOU Yuanrui^{1,2,3}, HUANG Xiaorong¹, OU Zhiyang¹, PANG Shilong¹, SHEN Wenhui^{1*}

(1. Guangxi Forestry Research Institute, Nanning 530002, China; 2. Key Laboratory of Central South Fast-growing Timber Cultivation of Forestry Ministry of China, Nanning 530002, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Superior Timber Trees Resource Cultivation, Nanning 530002, China)

收稿日期: 2019-08-22

基金项目: 广西科技攻关项目(桂科 AB16380127, 桂科 2016AB12032); 中央财政林业科技推广示范项目(2013TG10) [Supported by the Key Science and Technology Program of Guangxi (AB16380127, 2016AB12032); Central Financial Forestry Science and Technology Promotion Demonstration Project (2013TG10)]。

作者简介: 侯远瑞(1965-), 男, 广西合浦人, 硕士, 高级工程师, 主要从事岩溶石山树种研究, (E-mail) yrhou8581@163.com。

* 通信作者: 申文辉, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事森林培育及森林生态研究, (E-mail) shenwenhui2003@163.com。

Abstract: Understanding the growth and nodule biomass characteristics of *Alnus formosana* on karst mountains is very important for vegetation restoration. Typical sample methods were used to investigate 4.5 year old populations of *Alnus formosana*, *Zenia insignis* and *Acrocarpus fraxinifolius*. The results were as follows: On average, *Alnus formosana* had DBH 8.39 cm, height 7.72 m, volume 0.027 m^3 and crown width 3.18 m, significantly higher than those of *Zenia insignis* and *Acrocarpus fraxinifolius* ($P < 0.01$). Mean crown width of *A. formosana* was up to 6.01 m, 106.53% or 70.25% more than that of *Zenia insignis* or *Acrocarpus fraxinifolius*. *Alnus formosana* proved to be a fast-growing species on karst mountain. The root nodule growth of *A. formosana* was analyzed and its mean nodule biomass was 52.77 g per tree. The nodules dispersed within the range of crown projection around tree trunk. Nodule biomass at place < 50 cm from tree trunk was similar to that 50 cm to 100 cm away from the tree trunk, and the outer circle (> 100 cm from tree trunk to outer bound of crown projection) contained the most nodule biomass. The three segments on average contained 15.7%, 16.9% and 67.4% of the total nodule biomass, respectively, and large nodules (diameter ≥ 1 cm) always distributed in the outer circles. For nodule vertical distribution, they mainly dispersed in 0–20 cm soil layer, and few nodules occurred in 20–40 cm soil layer. *A. formosana* showed good nodulation and nitrogen fixation characteristics on karst mountain. This result provides scientific basis for recommending *A. formosana* afforestation in karst mountains.

Key words: *Alnus formosana*, *Zenia insignis*, *Acrocarpus fraxinifolius*, growth increment, root nodule, karst mountain

台湾桫欏木(*Alnus formosana*)为桦木科(Betulaceae)桫欏木属(*Alnus*)落叶大乔木,高达 20 m。原产于我国台湾省,属重点保护的森林资源和造林先锋树种,在台湾地区从低海拔到海拔 3 000 m 均有自然分布,分布范围广,适应性强(朱万泽等,2005;姜英等,2015)。Liao et al.(2002)研究认为台湾桫欏木光合速率、气孔导度、蒸腾速率及叶水势较高,这是台湾桫欏木适应较宽温度范围的重要因素。Liu et al.(2015)研究认为台湾桫欏木的光合速率、光饱和点、光补偿点、呼吸速率及抗氧化酶活性高,有助于台湾桫欏木入侵广泛的区域,形成密集单一栽培种。台湾桫欏木速生,其碳储量可达 $2\,738\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (Tsan et al.,2015),1987 年我国福建首次引种栽培(邹高顺,1995),8 年生林分平均树高达 14.1 m,胸径 15.6 cm,单株立木蓄积量 $0.043\,0\text{ m}^3$,单位面积蓄积量为 $146.7\sim 250.2\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。台湾桫欏木另一个重要特性是具有根瘤,为非豆科固氮树种,台湾桫欏木中幼林每年每 0.067 hm^2 平均固氮量为 $17.04\sim 30\text{ kg}$ (黄家彬等,1991;潘燕等,2008)。我国四川、湖南、广东等多个省开展了台湾桫欏木引种研究和推广应用(朱万泽等,2004;熊大国等,2006;吴际友等,2006;胡德活等,2009)。广西引种栽培起步较晚,2011 年从四川引进台湾桫欏木开展试验研究,3 年生最优单株树高达 10 m,胸径为 10.1 cm,材积为 0.078 m^3 (刘秀等,2016),且在台湾为落叶树种的

台湾桫欏木引种到广西后没有出现明显的落叶期,四季常绿。

已有的研究表明台湾桫欏木速生并具有固氮自肥的优良特性,国内大陆有较多的引种栽培,但各地均选择在较好的土山立地条件种植,未见在岩溶石山种植的相关研究报道。针对广西岩溶面积和石漠化面积大、分布广、退化程度深的现状,加快岩溶石漠化植被恢复是广西一项艰巨又紧迫的生态建设重任(侯远瑞等,2015)。岩溶石山植被恢复首选的树种应是原生性植物种类,但由于蚬木、金丝李、肥牛树等主要的原生性树种生长慢,种苗资源缺乏(向悟生等,2013;张俊杰等,2018;吕仕洪等,2009),从而制约其扩大发展。近十年来,广西岩溶石漠化治理造林主要以乡土速生树种任豆(*Zenia insignis*)和顶果木(*Acrocarpus fraxinifolius*)等落叶树种为主(侯远瑞等,2017),但冬季落叶期地表岩石裸露,出现季节性石漠化现象。为了探索台湾桫欏木在岩溶石山的生长表现,充分利用台湾桫欏木速生和固氮自肥特性,本项目组 2013 年在岩溶地区实施中央财政林业科技推广项目中引种了台湾桫欏木,与主要推广的乡土速生树种任豆和顶果木进行对比研究,并对其根瘤生物量进行调查分析,旨在丰富岩溶石山造林树种多样性、提高林木生长量、改良土壤和改变该地区季节性石漠化现象。

1 林地概况

示范林营建在广西壮族自治区平果县,地理位置为 107°21′—107°51′E、23°12′—23°51′N。该县气候属多雨的亚热带季风气候,夏季炎热多雨、春秋干旱、冬季干冷。年平均气温为 19~21.5℃,极端最低温为-1.3℃,极端最高温为 40.9℃,1 月份平均气温最低为 12.4℃,7 月份平均气温最高为 28.2℃,≥10℃的活动积温为 6 500~7 400℃,年无霜期为 300~350 d,年平均降雨量为 1 200~1 500 mm,相对湿度在 80%以上。示范林的地形为岩溶山地,海拔为 460~550 m,坡度为 20°~30°,岩石裸露率为 45%,轻度石漠化,土壤为石灰岩发育而成的零星分布的棕色或黑色石灰土,pH 值 7.22。原生植被有黄荆(*Vitex negundo*)、穿破石(*Cudrania cochinchinensis*)、红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)、黄茅(*Heteropogon contortus*)、肾蕨(*Nephrolepis cordifolia*)、飞机草(*Eupatorium odoratum*)等。

2 材料与方法

2.1 材料

台湾桫欏木、任豆和顶果木造林采用的苗木均为 1 年生苗龄的容器苗,容器材质为无纺布,规格为 10 cm × 12 cm,育苗基质为黄心土和椰糠各 50%,苗高为 30~40 cm,地径为 0.3~0.5 cm。

2.2 造林方法

2014 年 3 月栽植,台湾桫欏木、任豆和顶果木造林地环境条件一致,按株行距 2 m × 3 m 挖穴整地,穴的规格为 40 cm × 40 cm × 30 cm,每穴施放 250 g 钙镁磷肥作基肥。造林后头 3 年加强除草和施肥抚育,造林当年除草 2 次,施肥 2 次,每次每株施复合肥 100 g,第二、第三年每年除草和施肥各 1 次,每次每株施复合肥 200 g。

2.3 调查方法

在项目建立的 20 hm²示范林中选择有代表性的林分设置样地进行调查,样地面积为 0.02 hm²,每个树种分别调查 3 个样地,测定林木的胸径、树高、冠幅、枝下高等生长指标,根据广西阔叶树二

元材积公式计算树木的单株材积。计算公式:

$$V=0.667\ 054\times10^{-4}\times D^{1.847\ 954\ 50}\times H^{0.968\ 575\ 09}。$$

式中: V 为林木单株材积(m³); D 为胸径(cm); H 为树高(m)。

在台湾桫欏木林分中选择 3 株平均木调查其根瘤生长情况,每株平均木与其相邻植株的树冠未交叉重叠,分别调查水平方向离树干 0~50 cm、50~100 cm、100 cm 至树冠投影的 1/2 面积范围内的深度为 0~20 cm 和 20~40 cm 土层中的根瘤。挖出的根瘤先用清水洗净,再用滤纸吸干表面的水分,称量,乘以 2 得到整株的根瘤鲜质量,在 85℃ 下烘 3 d,称量,计为生物量。

2.4 数据处理方法

林木生长量的方差分析和多重比较采用 IBM SPSS Statistics 21.0 软件进行数据处理,利用软件 Microsoft Excel 2016 对台湾桫欏木根瘤生物量进行统计分析并作柱状图。

3 结果与分析

3.1 台湾桫欏木的胸径、树高、材积生长情况

从表 1 可以看出,台湾桫欏木与岩溶地区速生树种任豆和顶果木相比,其胸径生长量最大,4.5 年生林分平均胸径为 8.39 cm,极大值为 13.70 cm,年平均胸径生长量达 1.86 cm;顶果木年平均胸径为 1.37 cm,任豆年平均胸径为 0.95 cm,台湾桫欏木平均胸径生长量分别比顶果木和任豆增加 35.98% 和 96.03%。台湾桫欏木林分平均树高为 7.72 m,极大值为 9.5 m,年平均树高生长量达 1.72 m;顶果木和任豆的年平均树高分别为 1.46 和 1.13 m,台湾桫欏木平均树高生长量分别比顶果木和任豆增加 17.33% 和 52.27%。台湾桫欏木平均单株材积为 0.027 1 m³,若按初植密度 1 667 株·hm⁻²和现有保存率 92% 计算,则单位面积蓄积量达 41.56 m³·hm⁻²,台湾桫欏木平均单株材积分别比顶果木和任豆增加 84.35% 和 411.32%。方差分析及多重比较的结果表明,台湾桫欏木的平均胸径、树高和单株材积与顶果木、任豆生长差异均达到极显著水平(表 1)。台湾桫欏木在岩溶石山表现出了早期速生的特性,其生长量大于原生树种任豆和顶果木。

表 1 树种的生长量统计表
Table 1 Statistical table of growth increment of tree species

树种 Tree species	生长量 Growth increment				
	胸径 DBH (cm)	树高 Height (m)	材积 Volume (m ³)	冠幅 Crown width (m)	枝下高 Branch height (m)
台湾桫欏木 <i>Alnus formosana</i>	8.39±2.24Aa	7.72±1.07Aa	0.0271±0.0155Aa	3.18±0.67Aa	1.71±0.79Bc
顶果木 <i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	6.17±2.19Bb	6.58±1.35Bb	0.0147±0.0144Bb	1.57±0.78Bb	3.05±0.79Aa
任豆 <i>Zenia insignis</i>	4.28±1.19Cc	5.07±0.88Cc	0.0053±0.0036Cc	1.51±0.45Bb	2.16±0.46Bb

注：大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$),小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Capital letters indicate extremely significant differences ($P<0.01$), small letters indicate significant differences ($P<0.05$).

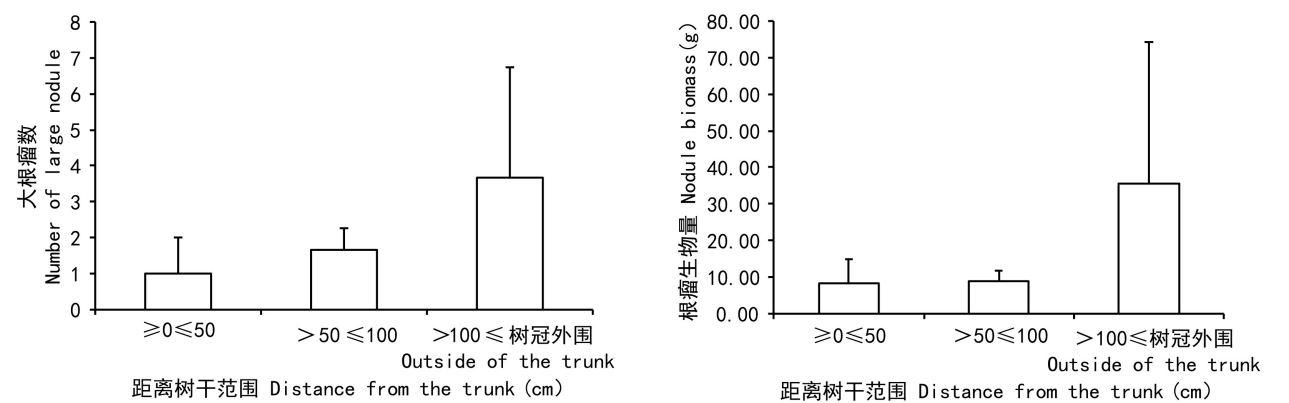


图 1 台湾桫欏木根瘤分布情况
Fig. 1 Distribution of nodule in *Alnus formosana*

3.2 台湾桫欏木的冠幅及冠长生长情况

台湾桫欏木的冠幅最大,4.5 年生林分平均冠幅为 3.18 m,比顶果木和任豆分别增加 102.55%和 110.60%,差异达到极显著水平。若以林木的平均冠幅为直径的圆面积作为该树木的理论冠幅面积(何开伦等,2006;王勇等 2014)来计算,则台湾桫欏木、顶果木和任豆单株理论冠幅面积分别为 7.93、1.94、1.79 m²,台湾桫欏木比其初植株行距 2 m × 3 m 的营养面积超出 1.3 倍,已郁闭成林;顶果木和任豆尚未郁闭。台湾桫欏木的平均枝下高为 1.71 m,比顶果木和任豆分别减小 43.93%和 38.93%。林木的树高与其枝下高的差值即为冠长,从表 1 可推算出,台湾桫欏木的平均冠长为 6.01 m,顶果木和任豆分别为 3.53 和 2.91m,台湾桫欏木的平均冠长比顶果木和任豆分别增加 70.25%和 106.53%。从总的来看,台湾桫欏木的冠幅和冠长均大于顶果

木和任豆。
3.3 台湾桫欏木根瘤生长情况

台湾桫欏木在岩溶石山生长的根瘤从外观形态来观察,其外表呈黄褐色或桔黄色,珊瑚状,直径最小为 0.2 cm,最大为 5.4 cm,最大的根瘤鲜重为 37.02 g。结瘤量最少的植株为 16.48 g,结瘤量最多的植株为 100.7 g,根瘤生物量平均每株达 52.77 g。从样株调查情况来看,台湾桫欏木根系在水平方向的分布到其树冠投影范围,在水平方向上从树干基部到根系的最远端均可生长出根瘤。其根瘤分布情况如图 1 所示,水平方向上离树干 50 cm 范围的根瘤生物量比离树干 50~100 cm 范围的少一些,但相差不大;离树干 100 cm 至树冠投影范围的最多,三个地段的根瘤分别占整株根瘤生物量的 15.7%、16.9%、67.4%。大根瘤(直径 ≥ 1 cm)个体数量在水平方向上的分布以离树干 100 cm 至

树冠投影范围的最多,且调查的样株中最大的根瘤出现在该范围内,大根瘤在水平方向上的分布规律与根瘤生物量相似。在垂直方向上,根瘤主要分布在0~20 cm深度的土层中,大于20 cm深度的土层中少有发现,大根瘤主要出现在0~10 cm的土壤浅层。此外,调查还发现,土壤疏松地段根系着生的根瘤多,土壤板结地段根瘤稀少。

4 讨论与结论

4.5年生台湾桫欏木与岩溶石山速生乡土树种顶果木和任豆生长量比较,其胸径、树高、单株材积差异极显著,台湾桫欏木平均胸径8.39 cm、平均树高7.72 m、平均单株材积0.027 1 m³、单位面积蓄积量达41.56 m³·hm⁻²,其平均单株材积分别比顶果木、任豆增加84.35%和411.32%,其年平均胸径和树高与引种于福建、四川及广西黄冕林场和高峰林场土山坡的3年生林分相当(邹高顺,1995;熊大国等,2007;刘秀等,2016),大于引种在广东东莞大岭山林场的4.5年生林分(胡德活等,2009)。台湾桫欏木在岩溶石山造林保存率达92%,3年生树龄以后每年均正常开花结果,其生长量高于原生树种,并与多个引种区的平均生长水平相当,可初步认为台湾桫欏木在岩溶石山表现出了良好的适应性和早期速生的特性。喻阳华等(2016)的研究表明,冠幅、冠长对树冠层持水量的影响较大,台湾桫欏木的平均冠幅比任豆和顶果木分别增加110.60%和102.55%,冠长分别比任豆和顶果木增加106.53%和70.25%。可见,台湾桫欏木对降雨的滞留作用、缓解雨滴对土壤的冲击都优于顶果木和任豆。因此,台湾桫欏木作为用材树种或水土保持树种应用于岩溶石山造林,将快速恢复该区域的森林植被,增加水土保持作用,促进森林面积和森林蓄积量双增长。

4.5年生台湾桫欏木平均单株根瘤生物量达52.77 g,根瘤分布呈现一定的规律性。水平方向上,根瘤生物量主要分布在离树干100 cm至树冠投影范围;垂直方向上,集中分布在0~20 cm深度的土层中。根瘤生物量是影响固氮量的主要因素,潘燕等(2008)的研究表明,台湾桫欏木根瘤的固

氮速率达0.27 mg·g⁻¹·h⁻¹。据此可预测,岩溶石山台湾桫欏木4.5年生林分每年每1.0 hm²固氮量可达187.2 kg,相当于含氮率46%的尿素407 kg,其固氮自肥的潜力巨大。此外,根瘤菌还可降解石漠化地区碳酸盐岩中高含量的难溶性钙和镁,增加土壤中的Ca²⁺和Mg²⁺(王明月等,2014)。因此,在岩溶石山种植台湾桫欏木不仅增加氮素来源,而且还增加植物生长需要的矿质元素,改良土壤也许是在相同立地条件下台湾桫欏木比任豆和顶果木生长量大的原因之一。

本研究仅对岩溶石山台湾桫欏木4.5年生林分的生长表现及其根瘤生长分布情况进行了初步评价,由于林木尚处在快速生长期,其生长性状尚未完全表现出来,所以后期生长表现如何以及潜在的经济价值、保持水土效应等还有待进一步观测和评价。朱亚杰等(2015)的研究表明根瘤菌具有丰富的遗传多样性和共生多样性,吴海龙等(2016)从花生根瘤菌筛选出高效固氮菌株,潘亭亭等(2018)从豌豆根瘤菌筛选出与花叶豌豆高效结瘤固氮的菌株。今后,可对台湾桫欏木根瘤菌进行分离、筛选及回接试验研究,选择出高效固氮菌株,进一步提高台湾桫欏木生长量和改良土壤性状。

参考文献:

- HUANG JB, LI ZZ, YANG LC, et al., 1991. Study on nodulation and nitrogen fixation of *Alnus formosana* [J]. Fujian For Sci Technol, 18(4): 25-28. [黄家彬, 李志真, 杨林聪, 等, 1991. 台湾桫欏木结瘤固氮的研究 [J]. 福建林业科技, 18(4): 25-28.]
- HU DH, WEI RP, ZHENG YG, et al., 2009. Preliminary report on introduction experiment of *Alnus formosana* [J]. Guangdong For Sci Technol, 25(6): 27-31. [胡德活, 韦如萍, 郑永光, 等, 2009. 台湾桫欏木引种试验初报 [J]. 广东林业科技, 25(6): 27-31.]
- HE KL, WEI AS, YU SB, 2006. Studies on relationship between diameter at breast height and crown width of yielding timber plantations in Guangdong Province [J]. Guangdong For Sci Technol, 22(1): 32-35. [何开伦, 魏安世, 余松柏, 2006. 广东省主要用材林树种胸径与冠幅相关性研究及应用 [J]. 广东林业科技, 22(1): 32-35.]
- HOU YR, SHEN WH, HUANG HS, et al., 2015. Direct seeding afforestation of *Leucaena leucocephala*, *Caesalpinia sappan* and *Dodonaea viscosa* in rocky desertification areas [J]. J W Chin For Sci, 44(2): 147-152. [侯远瑞, 申文辉, 黄宏珊, 等, 2015. 石漠化地区银合欢、苏木、车桑子

- 直播造林试验[J]. 西部林业科学, 44(2): 147-152.]
- HOU YR, LIN FC, YANG XX, et al., 2017. Growth differences of five commercial tree species in karst area [J]. Guangxi For Sci, 46(3): 277-280. [侯远瑞, 凌福诚, 杨秀昕, 等, 2017. 岩溶地区5种用材树种生长差异[J]. 广西林业科学, 46(3): 277-280.]
- JIANG Y, LU YY, LIU X, et al., 2015. Research status of *Alnus formosana* [J]. Guangxi For Sci, 44(4): 399-403. [姜英, 鲁莹莹, 刘秀, 等, 2015. 台湾桫欏木研究现状[J]. 广西林业科学, 44(4): 399-403.]
- TIEN-SZU LIAO, JEN-HSIEN WENG, 2002. Ecophysiological characteristics of *Taiwan alder* (*Alnus formosana*) seedlings adapted to the subtropical region [J]. Tree Physiol, 22: 355-362.
- SHILIANGLIU, YIMING LUO, RONGJIE YANG, et al., 2015. High resource-capture and use efficiency, and effective antioxidant protection contribute to the invasiveness of *Alnus formosana* plants [J]. Plant Physiol Biochem, 96: 436-447.
- LIU X, LU YY, JIANG Y, et al., 2016. The regional trial of *Alnus formosana* introduced in Guangxi [J]. Guangxi For Sci, 45(3): 301-305. [刘秀, 鲁莹莹, 姜英, 等, 2016. 广西引种台湾桫欏木区域试验[J]. 广西林业科学, 45(3): 301-305.]
- LU SH, LI XK, LU SH, et al., 2009. Preliminary study on seedling and afforestation of rare and endangered trees in karst region of Southwest Guangxi [J]. Guihaia, 29(2): 222-226. [吕仕洪, 李先琨, 陆树华, 等, 2009. 桂西南岩溶地区珍稀濒危树种育苗与造林初报[J]. 广西植物, 29(2): 222-226.]
- PAN Y, LI XW, RONG L, et al., 2008. Root nodulation of young *Alnus formosana* on forest lands converted from agricultural lands [J]. Chin J Ecol, 27(9): 1482-1486. [潘燕, 李贤伟, 荣丽, 等, 2008. 退耕地幼龄台湾桫欏木(*Alnus formosana*)根系结瘤[J]. 生态学杂志, 27(9): 1482-1486.]
- PAN TT, WANG L, YAO HL, et al., 2018. Screening of highly effective strains of *Pisum sativum* [J]. Jiansu J Agric Sci, 46(11): 119-121. [潘亭亭, 王乐, 姚红丽, 等, 2018. 豌豆根瘤菌高效菌株的筛选[J]. 江苏农业科学, 46(11): 119-121.]
- WU JY, CHENG Y, CHEN MG, et al., 2006. Growth performance of 11 *Alnus formosana* clones at seedling stage [J]. Hunan For Sci Technol, 33(5): 5-6. [吴际友, 程勇, 陈明皋, 等, 2006. 台湾桫欏木11个无性系苗期生长表现[J]. 湖南林业科技, 33(5): 5-6.]
- JYH-SHYANTSAY, PEI-HSIN KO, PAI-TSANG CHANG, 2015. Carbon storage potential of avenue trees: A comparison of *Barringtonia racemosa*, *Cyclobalanopsis glauca*, and *Alnus formosana* [J]. J For Res, 26(2): 307-314.
- WANG Y, JIANG Y, HUANG RL, et al., 2014. Study on relationship between diameter at breast height and crown width of *Keteleeria cyclolepis* froest from Guangxi [J]. Guangdong Agric Sci, 37(6): 62-65. [王勇, 蒋焱, 黄荣林, 等, 2014. 广西江南油杉人工林冠幅与胸径相关性研究及应用[J]. 广东农业科学, 37(6): 62-65.]
- WANG MY, LIU SX, XIONG Z, et al., 2014. Study on leguminous plants rhizobia degradation of calcium carbonate and magnesium carbonate [J]. J Ecol Environ, 23(10): 1581-1585. [王明月, 刘绍雄, 熊智, 等, 2014. 石漠化地区豆科植物根瘤菌降解碳酸钙、镁能力研究[J]. 生态环境学报, 23(10): 1581-1585.]
- WU HL, LI Y, CHEN MN, et al., 2016. Genetic diversity of the rhizobia and screening of effective rhizobia strains isolated from *Arachis hypogaea* [J]. J Peanut Sin, 45(2): 1-8. [吴海龙, 李岩, 陈明娜, 等, 2016. 花生根瘤菌遗传多样性及高效固氮菌株的筛选[J]. 花生学报, 45(2): 1-8.]
- XIONG DG, WANG HQ, LIANG HM, et al., 2006. Annual growth rhythm and biomass of *Alnus formosana* in Yuanba area [J]. Sichuan For Sci Technol, 27(6): 55-58. [熊大国, 王海琼, 梁红梅, 等, 2006. 元坝区台湾桫欏木年生长节律与生物量研究[J]. 四川林业科技, 27(6): 55-58.]
- XIANG WS, NONG CG, WANG B, et al., 2013. Growth models of *Excentrodendron hsienmu* population in a karst seasonal rain forest [J]. Guihaia, 33(3): 285-290. [向悟生, 农重刚, 王斌, 等, 2013. 喀斯特季节性雨林蚬木种群的增长模型[J]. 广西植物, 33(3): 285-290.]
- YU YH, LI GR, PI FJ, et al., 2016. Canopy water storage capacity of major tree species in the upper reaches of Chishui river [J]. J Northwest For Univ, 31(2): 8-14. [喻阳华, 李光容, 皮发剑, 等, 2016. 赤水河上游主要树种冠层持水能力[J]. 西北林学院学报, 31(2): 8-14.]
- ZHU WZ, WANG JX, XUE JH, et al., 2005. Climatically and ecologically adaptive regions for the introduction of *Alnus formosana* [J]. J Trop Subtrop Bot, 13(1): 59-64. [朱万泽, 王金锡, 薛建辉, 2005. 台湾桫欏木引种气候生态适区分析[J]. 热带亚热带植物学报, 13(1): 59-64.]
- ZOU GS, 1995. Research into silvicultural and nitrogen-fixing characteristics of *Alnus formosana* [J]. J Fujian Coll For, 15(2): 112-117. [邹高顺, 1995. 台湾桫欏木引种造林及其培肥能力的研究[J]. 福建林学院学报, 15(2): 112-117.]
- ZHU WZ, WANG JX, XUE JH, et al., 2004. Water physiological characteristics of introduced *Alnus formosana* [J]. J Wuhan Bot Res, 22(6): 539-545. [朱万泽, 王金锡, 薛建辉, 2004. 引种台湾桫欏木的水分生理特性[J]. 武汉植物学研究, 22(6): 539-545.]
- ZHANG JJ, WEI X, WU SH, et al., 2018. Morphological differentiation of *Garcinia paucinervis* fruits and seeds and effects of exogenous substances on its seed germination and seedling growth [J]. Guihaia, 38(4): 509-520. [张俊杰, 韦霄, 吴少华, 等, 2018. 金丝李果实、种子形态分化及外源物质对种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 广西植物, 38(4): 509-520.]
- ZHU YJ, LU JK, KANG LH, et al., 2016. Phylogenetic analysis of rhizobia nodulating with *Acacia melanoxylon* and their nodulation effects on several woody legume plants [J]. Microbiol Chin, 42(11): 2198-2206. [朱亚杰, 陆俊锟, 康丽华, 等, 2016. 黑木相思根瘤菌的系统发育分析及其结瘤效果研究[J]. 微生物学通报, 42(11): 2198-2206.]