

桉树人工混交林营造技术研究综述

邓海燕¹, 胡绍平², 莫晓勇¹, 刘丽婷^{3*}

(1. 华南农业大学, 广东 广州 510642; 2. 信丰县金盆山林场, 江西 赣州 341600; 3. 江西省林业科学院, 江西 南昌 330000)

摘要: 如今生态问题已上升到生态安全的高度, 为建设“美丽中国”, 恢复由连年多代栽种桉树纯林所形成的生态环境, 营建桉树人工混交林日益受到人们的重视。混交林对改善立地条件、增强森林防护作用、抗性能力和提高效益等具有重要的意义。本文通过分析我国大片栽植桉树人工纯林所带来的生态问题和国内外桉树人工混交林的试验研究特点, 指出我国过去对桉树人工混交林的研究主要侧重于提高经济效益, 而对提高生态效益的研究处于一个较低水平, 并提出了桉树人工混交林营造技术的要点, 以期消除桉树纯林种植所带来的弊端, 为营造混交林提供技术指导。

关键词: 桉树; 混交林; 营造技术; 树种选择; 混交方式

中图分类号: S725.2

文献标识码: A

Afforestation Technology of Mixed *Eucalyptus* Plantations

DENG Hai-yan¹, HU Shao-ping², MO Xiao-Yong¹, LIU Li-ting³

(1. South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China;

2. Forestry Station of Jinpenshan in Xinfeng County, Ganzhou 341600, Jiangxi, China;

3. Jiangxi Academy of Forestry, Nanchang 330000, Jiangxi, China)

Abstract: Nowadays ecological problems increasingly threaten ecological security. In order to build a beautiful China and resolve ecological problems caused by planting monoculture plantations of *Eucalyptus* over successive rotations, increasing attention is being paid to the establishment of *Eucalyptus* in mixed species plantations. Such mixed plantations can make important contributions to improving site conditions, enhancing forest protection and improving ecological, economic and social benefits that plantations can provide. By analyzing ecological problems created by planting pure species plantations of *Eucalyptus* and studying the characteristics of mixed species plantations involving *Eucalyptus* at home and abroad, this study found that research to date from China has focused mainly on increasing the economic benefits whilst largely ignoring improved ecological benefits that mixed species plantations might provide. Following the analyses conducted, recommendations are provided on development of mixed species plantations involving *Eucalyptus* to eliminate the disadvantages of pure species plantations of *Eucalyptus*, and some technical guidance is provided for establishment of mixed *Eucalyptus* plantation.

Key words: *Eucalyptus*; mixed plantation; afforestation technology; tree species selection; mixed methods

桉树(*Eucalyptus*)因具有适应性强、生长速度快、轮伐期短、用途广泛等优点, 在全球范围被引种植与推广。在我国, 桉树人工林大规模营造, 多采用多代连年栽种桉树纯林的林地利用模式, 营林树种单一, 林相结构简单, 导致林分出现生物量和生产力下降、物种多样性减少等问题。营造合适的桉树混交林可以更充分地利用林地条件, 更有效地改善林地环境条件, 增强抗御灾害和病虫害的能

力, 提高林分生产力, 发挥林地的生态效益。本文通过分析国内外桉树人工混交林的概况, 提出了桉树人工混交林营造技术的要点, 以期为合理营造桉树混交林提供技术指导。

1 国内外桉树混交林研究概况

1.1 国内桉树与其他树种混交的研究概况

基金项目: 江西省林业科学院重大科研专项“低效阔叶林质量提升关键技术研究”(2017511201); 广东省省级科技计划项目“桉树高抗性优质无性系选育”(2014B020202013)。

作者简介: 邓海燕(1992—), 女, 在读硕士, 研究方向为森林经理。

***通讯作者:** 刘丽婷(1979—), 女, 副研究员, 主要从事森林培育和森林经理研究, E-mail: 39191393@qq.com.

我国桉树与其他树种最早的混交研究记录为1981年储建中等^[1]的研究,他们在广西南宁开展了14年生柠檬桉(*Corymbia citriodora*)与相思(*Acacia*)混交造林的试验研究,采用行间混交方式(株行距3 m × 3 m),得出了相思与柠檬桉混交每公顷可提供87 ~ 123 m³用材,生产优质薪炭材40 976 kg(干质量)的结论,这表明柠檬桉与相思混交效益高,对解决农田防护、用材及能源短缺等具有十分重要的现实意义。他们还提出可采取株间、行间或行带混交方式,土壤条件好的密度可适当降低,土壤贫瘠地带,密度可适当增加。为解决桉树纯林种植所带来的生态问题而又有一定的经济效益,不少学者对不同品种的桉树与其他树种的混交进行探索,选用的桉树品种主要有柠檬桉^[1-3]、尾叶桉(*E.urophylla*)^[3-6]、巨桉(*E.grandis*)^[7]、尾巨桉(*E.urophylla* × *E.grandis*)^[8-10]、窿缘桉(*E.exserta*)^[11-15]、赤桉(*E.camaldulensis*)^[16]、刚果12号桉(*E.ABL12*)^[11]、伞房花桉(*E.gummifera*)^[11]、雷林1号桉(*E.leizhou* No.1)^[3,5,11,14-15,17]、桉树无性系DH3229^[18-19]和U6^[18,20]等,选用的混交树种有马尾松(*Pinus massoniana*)^[3,12,16,21]、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)^[12,21-23]、福建柏(*Fokienia hodginsii*)^[24-25]、豆科树种相思^[1-2]、黑荆(*A.mearnsii*)^[14-15,26]、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)^[16]、格木(*Erythrophleum fordii*)^[27]、降香黄檀(*Dalbergia odorifera*)^[27]、木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)^[13,19,28]、母生(*Homalium hainanense*)^[11]、油茶(*Camellia oleifera*)^[11]、木荷(*Schima superba*)^[11-12]、米老排(*Mytilaria laosensis*)^[11]、火力楠(*Michelia macclurei*)^[11]、香叶树(*Lindera communis*)^[11]、檫木(*Sassafras tzumu*)^[11]、红椿(*Toona ciliata*)^[7,11]、台湾桤木(*Alnus formosana*)^[7,11]、越南安息香(*Styrax tonkinensis*)^[29]、闽粤栲(*Castanopsis fissa*)^[9]、红锥(*Castanopsis hystrix*)^[30]等。其中,桉树与具有固氮作用的相思树种的混交试验研究为最多,主要有大叶相思(*A.auriculiformis*)^[1-2,4,14-15,17,31]、台湾相思(*A.confusa*)^[11]、厚荚相思(*A.crassicarpa*)^[3,5,18,20]、马占相思(*A.mangium*)^[6,18]、卷荚相思(*A.concinnatai*)^[10,23],这主要是因为混交树种的固氮功能一方面可促进桉树对

氮的吸收,提供重要的氮源,另一方面可使土壤环境具有很高的动物多样性与微生物多样性,有效维持土壤肥力和土地生产力。唐仕明^[31]通过调查桉树与大叶相思的行间混交情况,发现桉树与大叶相思混交可以改良土壤、涵养水源、调节气候、促进生态平衡,提高林分的抗灾害能力,提高单位面积的生物产量。郑海水等^[17]对雷林1号桉与大叶相思进行株间、行间、双株、2:1行间混交及两树种纯林等6种不同混交方式试验,结果表明雷林1号桉与大叶相思的行间混交比株间混交效果好,其中1:1行间混交林分结构最好,形成了复层林冠结构,比其他处理生长快,产量高。谢伟东等^[6]研究了尾叶桉与马占相思不同混交处理对林分生长的影响,结果表明尾叶桉与马占相思以1:1.6比例混交,尾叶桉的胸径、树高、单株材积分别比纯林高45.6%、10.1%和113.6%;混交林林分每公顷蓄积比纯林高10.3%。杨海根^[10]在闽南山地开展桉树与卷荚相思不同混交比例和混交方式的造林试验,结果表明:桉树与卷荚相思可采用星状或行带状混交,星状混交的卷荚相思株数比例控制在整个林分的30%~50%,行带状混交以3行相思2行桉树为宜。

1.2 国外桉树与其他树种混交的研究概况

国外对桉树混交林研究较多的国家为澳大利亚、巴西和刚果。澳大利亚的学者多对蓝桉(*E.globulus*)和黑荆进行混交生长分析,如Khanna等^[32]研究了澳大利亚维多利亚州Cann河南部的蓝桉和黑荆单作和混交的生长和养分情况,并对5种混交比例(100E,75E:25A,50E:50A,25E:25A,100A)进行对比分析,结果显示林龄为33个月的混交林中50E:50A的处理在株行距为3.3 m × 3 m的密度下有更大的高生长。2004年,Forrester等^[33]研究了凯恩河东南5 km处蓝桉和黑荆混交林的生长动态变化,发现种植后3~4年生混交林的树高、胸径、材积、地上生物量和枯落物含量皆高于纯林,生产力逐年增加;2005年,他们通过对蓝桉和黑荆混交的系统分析,除树种特性以外,立地条件(如氮含量、磷含量、有效水分等)对混交林间的相互作用和生长有着重要的影响^[34];2006年,他们进而研究了蓝桉和黑荆混交林的碳分配情况^[35];2010年,研究了蓝桉和

黑荆混交林中不同养分和光照情况对混交林中水分利用率的影响^[36]。除了蓝桉和黑荆的混交研究,澳大利亚学者还做了不少桉树与其他树种混交配比的研究,如粗皮桉(*E.pellita*)和金合欢楹(*A.peregrina*)的生长和种间影响^[37],巨桉和圆果桉(*E.pilularis*)的生长速度对比^[38]。巴西学者多研究巨桉和马占相思的混交林生长情况,如:2008年,Bouillet等^[39]研究巨桉和马占相思的生长动态和净初级生产力,以及林分中的N积累和生物固氮^[40];2013年,Maire等^[41]通过测量巨桉和马占相思混交林的叶面积、叶角分布、叶面积密度、叶片和土壤光学性质定义MAESTRA模型参数和利用光合吸收有效辐射构建MAESTRA模型,研究结果表明分层树种有利于林分利用光照进行营养生长。同年,Bouillet等^[42]对5种不同配比混交林的整个林分生长周期和地上生物量积累进行了对比研究,并分析了巴西和刚果的林分生长差异;Epron等^[43]通过使用活立木生物量、枯落物和土壤CO₂通量的碳预算方法和耦合测量法,评估了巴西和刚果两个热带地点的巨桉和马占相思混交林的地下碳通量、净初级生产力(NPP)和地上地下分区的影响。近两年,巴西学者研究了尾巨桉和马占相思的地上生物量积累的动态变化^[44]和5年内的营养养分循环^[45]。除澳大利亚、巴西和刚果有研究桉树混交林以外,其他国家对桉树人工混交林也有一些研究。如Parrotta^[46]研究了波多黎各的大叶桉(*E.robusta*)、木麻黄和银合欢(*L.leucocephala*)混交林的生产力、养分循环和演替动态。Dan Binkley等^[47]在夏威夷研究了柳桉(*E.saligna*)和蓝洋楹(*F.moluccana*)生长20a来的林分生长情况,并发现纯林中桉树在7年生时高生长显著下降,混交林的材积基本为纯林的两倍之多,20a后更明显。

经分析,国内对桉树人工混交林研究最多的为桉树混交造林后生长效果分析,评价指标为胸径、树高、单株材积等,较多侧重涉及经济效益的研究。而国外更侧重于研究桉树人工混交林的生态情况,如:水分利用情况、碳分配、生产力、养分循环、演替动态等。因此,为建设“美丽中国”,恢复由连年多代栽种桉树纯林所形成的生态环境,应加大桉树生态生物学特性的研究^[49-51]进行选择,也可借鉴

研究桉树人工混交林的营造技术,多从生物多样性、林下气候变化、养分和水分循环利用等方面研究混交林的生态效益,实现生态、经济、社会效益的充分发挥。

2 桉树人工混交林营造技术

混交林是指林冠由两个或多个优势乔木树种或不同生活型的乔木所组成的森林,可形成多层次或多冠层的林分结构^[48]。桉树混交林中桉树的生长必然受混交树种的影响,混交树种的生长也会受到桉树的制约,故研究桉树混交林不可忽视种间关系。混交营造技术是影响桉树混交林中种间关系的重要决定因素。

2.1 明确混交目的,构建系统的评价体系

营造桉树人工混交林之前,要先明确混交目的和目标。混交目的可通过营林需求、现有桉树纯林面临的重大问题或桉树纯林与造林地之间的突出矛盾等来明确。明确混交目的后,根据混交目标构建系统的评价体系可为混交造林施工指明方向。

2.2 确定立地、选择适宜的桉树品种和混交树种,合理混交

根据现有立地条件选择主要树种的品种和适宜的混交树种,因地制宜,适地适树造林,有利于混交的成功和森林三大效益的发挥。混交造林的林地有可能是在新造林地,也有可能是在现有林地中进行间伐后再补植混交,这可称为林分改造。林分改造可调整林分结构,营建丰产优质的商品林,也可改造为生态公益林,建立一个更稳定的生态系统。

不同的树种存在生态生物学特性的差异,树种间的生态生物学差异会影响它们之间的生长是呈现相互促进的关系还是相互抑制的状态。桉树为深根强阳性树种,树冠较窄且稀疏,干形通直高大,生长快,自然整枝剧烈,林内透光度大;浅根中性中小乔木树种,生长居于桉树的下层,可形成明显的复层林的树种为最佳混交树种。桉树人工混交可选用针阔混交、阴阳混交、乔灌混交等混交类型。明确混交目的后,选择桉树的混交树种可根据现有桉树现有成功的混交试验林树种进行搭配,如具有固氮

作用的豆科植物：台湾相思、马占相思、大叶相思、黑荆树等，或具有形成典型针阔混交模式的针叶树种：马尾松、福建柏、杉木等。如若所选混交树种之前没有与桉树混交研究案例的情况下，那么选择混交树种要充分考虑以下几个条件：①与所选桉树品种是否有生态互补性。即在生长速度、喜光程度、根型及对水分、养分的需求上与桉树应有所差别，否则就会形成强烈的竞争关系，不利于桉树的生长；②选用乡土树种对土壤是否有保土护土、增加腐殖质和促进涵养功能的作用；③选用与桉树的病虫害不同的树种，减少病虫害传播；④考虑树种间化感物质的相互影响，选用具有促进关系的混交树种。

2.3 确定合理的混交比例和适当的混交方式，协调种间关系

混交比例与混交方式既有联系又有区别，同一比例可配置不同的混交方式，同一方式也能有不同的混交比例。不同的混交比例和方法，影响着混交林的种间关系、生长状况和混交效果，最终也影响到人工林的产量和质量。确定桉树人工混交林的混交比例应以有利于桉树生长为前提，综合考虑树种的竞争力和立地条件的差异来改变比例。桉树人工混交方法主要有：株间混交、行间混交、带状混交和块状混交。合理的混交模式能有效促进林木生长、避免被压、维持林分稳产，提高规格材出材量。

2.4 控制造林时间，兼顾三大效益

桉树是一种阳性的速生树种，如果为同一年造林，混交树种的生长速度和生长高度不得大于桉树，不然就会与桉树争夺阳光资源，导致强烈的种间竞争关系，影响混交林的稳定性和混交效果，这极易影响整个林分的经济、生态和社会效益。控制各个树种造林时间的先后以调整林分结构，有利于充分利用空间和阳光资源，也有利于协调三大效益的发挥。

2.5 紧抓抚育管理，调整种间关系发展趋势

混交林种植后，应坚持去弱留强、去劣留优、去密留疏的原则，紧抓林木整个生长期的抚育管理工作，包括补种换植、割灌修枝、间株定株、间伐择伐、病虫害防治和风害冻害防治等。除了与纯林一样加强常规抚育管理之外，还要根据混交林种间关系出现的具体情况，有针对性采取间伐、修枝、

平茬、择伐或施肥等抚育管理措施精准培育，培养异林复层林，使种间关系继续维持相互有利的状态，确保混交林的稳定性。

2.6 充分利用高科技技术，降低营林成本

我国现有的营林技术水平低，很多地方仍采用传统的营林方式，并未广泛应用高科技设备。整个营林过程涵盖育种、育苗、栽植、施肥、杀虫、采伐等工序，这些过程若能充分应用上简易便捷的高科技设备，更方便管理，定额定量生产，提高效率。

3 结语

桉树混交营造技术应遵循自然规律和因地制宜的原则，按照经济条件、立地条件、林业生产水平、培育目的、树种生物学及生态学特性等综合考虑，选择合适的混交树种与桉树进行科学合理的混交，充分利用高科技，精准抚育管理，将有利于桉树与混交树种的相互补充和促进，充分利用空间和营养，提高林分的抗逆性能，发挥桉树人工混交林的生态优势和生长优势，改善和提高林地生产力，形成稳定林分结构。加大研究混交林的林下气候、空间结构、生物量、土壤养分、碳汇等生态影响方面，以创造最大的经济效益和社会效益，改善生态环境，促进林业的可持续发展。

参考文献

- [1] 储建中,罗敬业,杨迺庄.柠檬桉与相思混交造林的试验研究[J].桉树科技协作动态,1981(3):7-13.
- [2] 储建中,杨迺庄.贫瘠丘陵地带柠檬桉与马尾松混交造林的研究[J].林业科技通讯,1982(1):13-16.
- [3] 蓝佩玲,廖新荣,廖观荣,等.桉树与粗果相思混交对土壤养分的影响[J].热带亚热带土壤科学,1998,7(1):77-79.
- [4] 翁启杰,郑海水,黄世能,等.桉树薪炭林混交试验—IV尾叶桉和大叶相思或肯氏相思混交试验[J].林业科技通讯,1994(12):13-15.
- [5] 肖文光,王尚明,陈孝,等.两种桉树与厚荚相思混交的生长效应研究[J].广东林业科技,1999,15(3):10-15.
- [6] 谢伟东,叶绍明,郑小贤,等.尾叶桉与马占相思不同混交处理对林分生长的影响[J].林业资源管理,2008(6):45-49.
- [7] 赵燕波,纪托未,张丹桔,等.3个树种与巨桉混交土壤理

- 化性质、凋落物量和养分含量特征[J].应用与环境生物学报,2015,21(5):948-953.
- [8] 郭祥泉.尾巨桉与马尾松不同混交处理3年生造林研究[J].福建林学院学报,2003,23(4):338-342.
- [9] 杨文火.桉树与闽粤栲混交造林效果[J].科技致富向导,2012(20):10-11.
- [10] 杨海根.桉树与卷荚相思人工混交经营技术试验研究[J].林业调查规划,2015,40(1):91-95.
- [11] 朱荣耀,温茂元,陈伟明,等.桉树混交防护林[J].热带作物研究,1983(1):51-54.
- [12] 储建中.桉树混交林效益的调查研究[J].桉树科技,1984(2):21-32.
- [13] 郭坚城.滨海地区窿缘桉与木麻黄混交造林试验[J].广东林业科技,1986(2):11-16.
- [14] 何克军,郑海水,赖汉兴,等.桉树薪炭林混交试验—I.不同密度不同比例混交试验初报[J].林业科学研究,1988,1(6):671-676.
- [15] 杨曾奖,郑海水.桉树与固氮树种混交对地力及生物量的影响[J].广东林业科技,1995,11(2):10-16.
- [16] 陶金川,潘如圭,赵树新.赤桉、马尾松、胡枝子混交幼林的生物量[J].江西林业科技,1990(4):1-5.
- [17] 郑海水,何克军.雷林1号桉与大叶相思不同混交方式试验[J].林业科技通讯,1992(10):21-24.
- [18] 吕成群,黄宝灵,张明慧,等.桉树×相思树混交与纯林土壤微生物区系比较[C].微生物实用技术生态环境应用学术研讨会,2008.
- [19] 施成坤.闽南沿海丘陵山地桉树木麻黄混交造林研究[J].安徽农学通报,2011,17(17):140-141.
- [20] 杨曾奖,陈元,徐大平,等.桉树与豆科植物混交种植对土壤速效养分的影响[J].生态学杂志,2006,25(7):725-730.
- [21] 陈柳英.韦赤桉与杉木、马尾松混交造林成效研究[J].桉树科技,2016,33(2):15-18.
- [22] 代凤贵.不同混交比的桉杉混交林土壤肥力及生物活性差异分析[J].华东森林经理,2011(3):25-28.
- [23] 杨骏.桉树与杉木、相思混交的技术研究[J].现代园艺,2015(13):6-7.
- [24] 李渊顺.桉树福建柏混交造林效果分析[J].福建林业科技,2016,43(1):57-60.
- [25] 吴国阳.福建柏巨尾桉不同混交比例生长效果分析[J].绿色科技,2016(11):37-38.
- [26] 林清锦,张樟萍,林清顺,等.黑荆树巨尾桉混交造林的研究[J].经济林研究,1996(S1):27-29.
- [27] 莫慧华.大青山珍贵树种格木、降香黄檀与巨尾桉混交效果初步评价[D].南宁:广西大学,2013.
- [28] 何德镇.闽南山地巨尾桉与木麻黄混交造林初步研究[J].绿色科技,2015(7):70-71.
- [29] 赵惠珍.桉树与越南安息香混交造林效果研究[J].现代农业科技,2011(12):195-196.
- [30] 张文元.红锥与桉树混交造林试验[J].防护林科技,2016(6):28-30.
- [31] 唐仕明.桉树与大叶相思混交造林初报[J].桉树科技,1982(2):16-17.
- [32] Khanna P K. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia meamsii*[J].Forest Ecology and Management,1997,94(1/3):105-113.
- [33] Forrester D I, Bauhus J, Khanna P K. Growth dynamics in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*[J].Forest Ecology and Management,2004,193(1/2):81-95.
- [34] Forrester D I, Bauhus J R, Cowie A L. On the success and failure of mixed-species tree plantations: lessons learned from a model system of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*[J].Forest Ecology and Management,2005,209(1/2):147-155.
- [35] Forrester D I, Bauhus J, Cowie A L. Carbon allocation in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*[J].Forest Ecology and Management,2006,233(2/3):275-284.
- [36] Forrester D I, Theiveyanathan S, Collopy J J, et al. Enhanced water use efficiency in a mixed *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii* plantation[J].Forest Ecology and Management,2010,259(9):1761-1770.
- [37] Bristow M, Vanclay J K, Brooks L, et al. Growth and species interactions of *Eucalyptus pellita* in a mixed and monoculture plantation in the humid tropics of north Queensland[J].Forest Ecology and Management,2006,233(2/3):285-294.
- [38] Forrester D I, Smith R G B. Faster growth of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus pilularis* in mixed-species stands than monocultures[J].Forest Ecology and Management,2012,286:81-86.
- [39] Laclau J P, Bouillet J P, Gonçalves J L M, et al. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus*

- grandis* in Brazil: 1: Growth dynamics and aboveground net primary production[J].Forest Ecology and Management,2008,255(12):3905–3917.
- [40] Bouillet J P, Laclau J P, Gonçalves J L M, et al. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil: 2: Nitrogen accumulation in the stands and biological N₂ fixation[J].Forest Ecology and Management,2008,255(12): 3918–3930.
- [41] Maire G, Nouvellon Y, Christina M, et al.Tree and stand light use efficiencies over a full rotation of single- and mixed-species *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* plantations[J].Forest Ecology and Management,2013, 88:31–42.
- [42] Bouillet J, Laclau J, Gonçalves J L D M, et al. *Eucalyptus* and *Acacia* tree growth over entire rotation in single- and mixed-species plantations across five sites in Brazil and Congo[J]. Forest Ecology and Management,2013,301: 89–101.
- [43] Epron D, Nouvellon Y, Mareschal L, et al. Partitioning of net primary production in *Eucalyptus* and *Acacia* stands and in mixed-species plantations: Two case-studies in contrasting tropical environments[J]. Forest Ecology and Management,2013,301:102–111.
- [44] Santos F M, Balieiro F D C, Ataíde D H D S, et al. Dynamics of aboveground biomass accumulation in monospecific and mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia* on a Brazilian sandy soil[J].Forest Ecology and Management,2016,363:86–97.
- [45] Santos F M, Chaer G M, Diniz A R, et al. Nutrient cycling over five years of mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia* on a sandy tropical soil[J].Forest Ecology and Management,2017,384:110–121.
- [46] Parrotta J A. Productivity, nutrient cycling, and succession in single- and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico[J].Forest Ecology and Management,1999,124(1):45–77.
- [47] Binkley D, Senock R, Bird S, et al. Twenty years of stand development in pure and mixed stands of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Facaltaria moluccana*[J]. Forest Ecology and Management,2003,182(1/3):93–102.
- [48] 陈辉,耿晓雪.浅谈黑杨混交林营造技术及混交林优点[J].中国科技财富,2010(16):301–301.
- [49] 张昌仁.桉树的生长特性与种植管理技术研究[J].经营管理者,2014(28):391–391.
- [50] 杜阿朋,赵知渊,王志超,等.不同品种桉树人工林生长特征及持水性能研究[J].热带作物学报,2014,35(7):1306–1310.
- [51] 朱英娟,刘丽婷,张水花,等.25个桉树无性系生长量及抗风性研究[J].广东农业科学,2016,43(7):37–44.