

文章编号: 1001-1498(2007)02-0165-05

我国南亚热带珍优乡土阔叶树种大径材人工林的培育

蔡道雄, 贾宏炎, 卢立华, 郭文福, 张万幸

(中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600)

摘要:在我国南亚热带地区培育珍优阔叶树种大径材人工林,可以兼顾珍贵用材生产和生物多样性保护、生态效益最大化追求、森林生态系统稳定性维持,实现森林可持续经营。近 20 余年的研究和实践增进了人们对珍优乡土阔叶树种的了解,必须重新评价其林学特性和重要性。经营珍优乡土阔叶树种大径材人工林的关键技术环节在于:依据生境异质性和树种特性细致规划林地,使用良种壮苗,适时调控林分密度,运用多树种混交,通过抹芽修枝培育无节良材,实施择伐和林隙更新保证森林生态系统稳定。本文以红椎为例,对经营珍优乡土阔叶树种的经济效益进行了概算,并提出了珍优阔叶树种大径材培育的未来优先研究方向。

关键词:珍优阔叶树种;大径级阔叶材;人工林林业;生物多样性;经济效益

中图分类号: S750

文献标识码: A

On Large-size Timber Plantation Forestry of Valuable Hardwood Species in Warm Sub-tropical Areas of China

CAI Dao-xiong, JIA Hong-yan, LU Li-hua, GUO Wen-fu, ZHANG Wan-xing

(Experimental Centre of Tropical Forestry, CAF, Pingxiang 532600, Guangxi, China)

Abstract: Large-size timber plantation of valuable hardwood species can combine high-quality hardwood production with biodiversity conservation and great pursuit on ecological benefit and stability of forest ecosystem, and successfully achieve forest sustainable management. In the past two decades much more attentions have been paid to research on a number of valuable hardwood species and promote greatly understanding about their biological and ecological characteristics, thus their forestry regimes and importance should be re-assessed. The key techniques for developing large-size timber plantations of valuable hardwood species are: (1) to plan forested lands considerably on the basis of habitat heterogeneity and species characteristics; (2) to use elite seeds and saplings; (3) to control stand density in time; (4) to establish mixed forests with two or more species; (5) to produce knot-free timber by pruning; and (6) to regenerate in gaps formed by harvesting selectively so as to keep forest ecosystem stable. Economic benefits for developing valuable hardwood species were also calculated taking *Castanopsis hystrix* as example. And the priority in the fields of research on large-size timber plantation forestry of valuable hardwood species has been pointed out.

Key words: valuable hardwood species; large-size hardwood; plantation forestry; biodiversity; economic benefits

长期以来,我国珍优阔叶材基本上来自天然林。活水平的不断提高,对于中高档大径级阔叶材的需求一方面,随着我国社会经济实力的不断增强,人们生活需求急剧上升;另一方面,由于大量采伐使天然林资源

收稿日期: 2006-12-01

基金项目: 科技部农业科技成果转化项目“米老排高效生态型混交模式的试验示范”(04EFN216700342)

作者简介: 蔡道雄(1961—),男,广西北海人,高级工程师,主要从事南亚热带人工林资源培育研究,示范与推广。

已显严重不足,而且过量采伐天然林对环境的负面影响也日益突出,特别是 1998 年我国实施天然林保护工程以后,大径级珍优阔叶材的供求矛盾日益凸现,国家每年花费大量外汇从东南亚、非洲、美洲等地区进口。2004 年我国进口约 3 500 万 m^3 木材,其中近一半为珍优阔叶材^[1]。一些国家考虑到自身的利益和国际环保组织的压力,逐渐限制或禁止珍优阔叶材出口。因此,加快建设我国珍优阔叶材生产基地,对于满足我国中高档阔叶材的旺盛需求,增强我国木材及木制品的国际竞争力,提升国际声誉具有十分重要的意义^[2]。

与此同时,人们的环境意识逐步增强,对于生物多样性保护以及森林环境效益的追求也日益增强,森林经营目标更趋多样化。国内外许多林学家纷纷探索如何让人工林既承担着木材生产的传统任务,又能兼顾生物多样性保护和发挥森林环境效益。大量科学研究和生产实践表明,相对于针叶树种和外引阔叶树种而言,培育珍优阔叶树种大径材人工林既能生产中高档大径级阔叶材,又能在保护生物多样性、维护生态平衡、发挥环境效益方面发挥作用。

我国亚热带地区幅员辽阔,具有丰富多样的珍优阔叶树种资源以及得天独厚的气候、土壤条件,是建立珍优乡土阔叶大径材人工林培育基地的理想场所。然而长期以来,我国亚热带地区注重杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 和马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.) 等针叶树种的研究和推广,近 10 余年来更强调桉树 (*Eucalyptus* sp.) 等外来树种短周期工业用材林的发展,已从平原台地逐步向适宜珍优阔叶树种生长的山地推进。尽管西南桦 (*Betula alnoides* Buch.-Ham. ex D. Don)、红椎 (*Castanopsis hystrix* A. DC.)、米老排 (*Mytilaria laosensis* Lec.) 等少数树种已有研究,并发展了一定规模的人工林^[3,4],但由于研究历史较短、规模较小,人们对珍优乡土阔叶树种认识有限,且经营周期长,许多珍优阔叶树种始终未能得到大面积的发展。中国林业科学研究院热带林业实验中心长期致力于亚热带珍优阔叶树种研究、示范和推广,先后营造了 30 多个珍优阔叶树种的试验示范林,达 2 000 hm^2 以上,在珍优阔叶树种大径材人工林培育方面积累了大量经验。作者根据多年来的理论研究和生产实践经验,就我国亚热带珍优阔叶树种的重新评价、大径材人工林培育的关键技术环节以及经济效益分析提出见解,为我国亚热带珍优阔叶树种人工林的

健康持续发展提供借鉴。

1 重新评价珍优阔叶树种特性

我国亚热带地区长期经营杉木、马尾松等针叶树种以及近 10 余年来大规模、连片发展桉树等外来阔叶树种带来的生态后果日益为林学家、生态学家等所关切和反思,人们从追求森林经营目标多样化的角度重新认识到乡土阔叶树种的重要性。几十年来的研究实践让人们对于乡土阔叶树种有了更多的了解,森林经营水平有了较大的改善,加之社会对珍优阔叶材的需求日益旺盛,而且国家税制改革后,林业税收降低,减轻林业企业和林农负担,经营长周期的珍优阔叶树种大径材人工林更成为可能,这些为珍优阔叶树种的重新评价提供了前提条件。

(1) 美国等发达国家的森林经营将森林视为整体,把生物多样性作为衡量森林生态系统生产力和持续健康的重要部分,既要保护生物多样性、发挥生态效益,又要保证森林持续生产,为人类经济建设服务^[5,6]。相对于外来树种、针叶树种而言,经营乡土阔叶树种更能恢复林下植被,从而保护生物多样性,充分发挥生态效益^[7]。在我国亚热带地区,珍优乡土阔叶树种大径材人工林经营周期长,通过密度调控能很好地将生产木材与保护生物多样性、追求生态效益、维持生态系统稳定性有机地结合起来。

(2) 亚热带地区木材利用的开发,使许多原来被视为没有经济价值或经济价值低而未受重视的树种成为珍贵树种,如西南桦以往多被林区群众作为薪材利用,而将其木材作为木地板、室内装饰、单板贴面等优质原料以后,木材价格飞速增长,尾径 20 cm 以上的原木售价达 2 500 元 $\cdot \text{m}^{-3}$ 以上。

(3) 在人们的印象中,乡土阔叶树种对立地条件要求较高,育苗、栽培技术相对复杂,生长慢,且造林成活率低,是造成其难以推广的主要原因之一,这或许与过去经营水平较低或局部试种未做到适地适树有关。其实许多亚热带乡土阔叶树种生长并不慢^[8],且多年来的研究积累,加深了人们对珍优乡土阔叶树种的认识,培育技术水平大大提高,如采用施肥提高人工林产量;另一方面,人们的良种意识增强,遗传育种研究成果在生产上的应用也使人工林生产力大幅度增加,而且通过遗传改良使材质得到改善,通过修枝生产无节良材,使其经济价值大幅增加。所有这些因素使得林业工作者必须改变旧观念,重新认识经营珍优阔叶树种大径材人工林的生

态效益和经济收益。

根据作者多年的研究和生产实践,在我国南亚热带地区,西南桦、红椎、米老排、山白兰(*Paranichelia baillonii* (Pierre) Hu)、香梓楠(*Michelia hedyosperma* Law)、格木(*Erythrophleum fordii* Oliv.)、石梓(*Gnelina arborea* Roxb.)、降香黄檀(*Dalbergia odorifera* T. Chen)等珍优阔叶树种生长较为迅速,胸径和树高年生长量均分别大于 1.0 cm 和 1.0 m,且材质优良,目前培育技术亦相对成熟,适合培育大径材。

2 珍优乡土阔叶树种大径材培育的关键技术环节

2.1 细致规划林地

在我国南亚热带林区,由于地形破碎,立地条件复杂多样,生境异质性高,不同树种对于同一立地的适应性和生长表现差异显著,而同一树种在不同立地上的生长表现变化幅度因树种而异^[9],因此依据造林树种的林学特性对造林区域进行细致规划,从操作层面上贯彻适地适树原则,对珍优乡土阔叶树种大径材培育尤为重要。在景观水平上,按照立地类型及当地森林的分布镶嵌配置各树种,以期获得最佳综合效益,是应提倡的现代林业技术之一^[10]。

虽然对林地进行细致规划和管理在操作上相对复杂,要求具备更高的管理水平,但“3S”技术的应用使林地细致规划和管理成为可能。细致规划林地,即依据适地适树原则安排树种造林,如:在沟谷一带或坡下部种植香梓楠、红椎等树种,在坡中部、中上部种植适应性较强的格木、降香黄檀等,而在不适合种植珍优阔叶树种的坡上部或坡顶种植马尾松等,即俗称上“带帽”下“穿裙”,形成斑块镶嵌的景观格局,提高造林区域内的景观异质性,可以防止或减少森林火灾的发生,降低森林病虫害风险或阻隔病虫害的蔓延。

2.2 使用良种壮苗

我国南亚热带地区对杉木、马尾松、桉树的良种选育及壮苗培育研究已较为系统,其良种壮苗在生产上也得到大规模的推广应用,然而珍优乡土阔叶树种的良种壮苗研究工作尚处在起步阶段。虽然已有多家科研机构正在开展西南桦、红椎等树种的良种选育研究,已初步筛选出一批优良的种质材料^[11~14],并利用早期测定筛选出的优树开展无性繁殖^[15~17],但是这些材料因研究时间未达半个轮伐期,尚待进一步试验检验,目前仅在生产上小面积试种。对于研究尚少的珍优乡土阔叶树种,获得其良

种的可靠途径是,利用天然林或人工林改建的母树林作为采种基地,或选择优良单株采种^[18]。施用生物肥料、接种菌根菌及采用轻基质网袋育苗技术等是培育珍优阔叶树种壮苗、提高壮苗率的有效措施。

2.3 适时调控林分密度

在我国南亚热带地区,目前仅开展过米老排^[19]、西南桦^[20]等几个树种的造林密度试验,而对林分进行适时密度调控研究则更少。间伐能增加光照,提高土壤温度,加快有机质的分解,改善地表植被,且通过林分空间结构调整,可扩大保留木的营养空间,缓解林木间竞争关系,促进保留木的树冠发育和材积生长。对于混交林而言,通过密度的适时调控,可以协调树种关系,使珍优阔叶树种处于有利地位,而且抚育间伐还能改善林内卫生状况,防止病虫害发生或蔓延。Piotto等^[21]在哥斯达黎加开展了乡土树种纯林和混交林的间伐试验,发现高初植密度和高强度间伐能促进林分生长,改善木材质量。

对于既能生产珍优阔叶材又能应用于园林绿化的树种,如格木、红椎、香梓楠等,可以通过从林分内移出间伐木的方式进行密度调控,将它们作为绿化大苗,可以大大增加间伐的经济效益。

2.4 采用多树种混交

以往研究混交林,大多以杉木、马尾松等针叶树种作为目的树种,以乡土阔叶树种作为伴生树种,而以珍优乡土阔叶树种作为目的树种的研究目前尚少。一些学者研究了红椎与杉木、马尾松^[22~24]以及香梓楠与杉木^[25]等混交组合,取得良好的效果。然而如何选择混交树种组合,保证林分的稳定性,仍然是长期以来林业科技工作者所面临的重要课题。目前国内外的趋势是,通过大量的天然林、人工林调查,依据树种的生态位、树种间的竞争关系等因素确定混交树种与混交比例,模拟天然森林群落构建多层次、多树种的混交林,既保障大径材人工林的尽可能大的收益,又保证人工林的生态稳定性,实现大径材人工林的可持续经营。林思祖等^[26]利用 Lotka-Volterra 种间竞争模型,依据目的树种及其混交树种达到竞争平衡时的相对优势度,确定目的树种及主要混交树种的比例,该方法值得借鉴。从经营的角度考虑,以培育珍优阔叶大径材为目标,同时混交一些中短轮伐期的树种或绿化树种,能够将长期效益和短期收益很好地结合起来,既能提高林地利用率,又能改善生产单位资金周转状况。

2.5 抹芽修枝

节疤痕很大程度上影响树干髓部偏心率、圆满

度以及弯曲度,其数量、大小、种类(生节或朽节)及其在树干上的分布是木材质量分类的决定性因素^[27]。通过抹芽修枝可培育优良干形,减少节疤,提高木材质量;而且适时修枝去除病虫枝条,能够防止病菌、害虫等对林木的破坏。因此,抹芽修枝是优良乡土阔叶树种大径材培育的关键技术环节。

然而修枝会减少树冠长度,可能会减少其营养面积,从而对林木生长产生负面影响。因此研究一个树种的分枝习性及其对木材质量的影响,有针对性地制定其修枝方案,确定修枝时间、强度(修枝高度)和次数对于无节良材的高效培育至关重要。美国田纳西州林务局对胡桃属(*Juglans* L.)树种、樱皮栎(*Quercus pagoda* Raf)等速生珍贵树种制定了修枝方案,就修枝始期、季节、强度、被剪除的枝条大小等进行了详细规定(<http://www.state.tn.us/agriculture/forestry/lit/30.pdf>)。Viquez等^[27]在哥斯达黎加研究了不同修枝高度对柚木(*Tectona grandis* Linn)人工林生长和木材质量的影响,发现以 20 a 为轮伐期,强度修枝能够生产 40% 以上材积的无节良材(占商品材的 60% 以上),且不影响林木生长和林分产量。我国南方对珍优阔叶树种的修枝研究报道较少,仅见对乐昌含笑(*Michelia chapaensis* Dandy)开展过修枝初步研究^[28]。当然,修枝往往需要与间伐结合实施,达到调整树冠、促进保留木生长的目的。

2.6 实施择伐

合理择伐是调整林分空间结构,增加林分异质性的的重要途径,也是发展近自然林业,保护生物多样性,充分发挥人工林生态效益的重要措施^[6]。汤孟平等^[29]构建了林分空间优化模型,尝试开展林分择伐规划,以便最大限度地保持林分结构完整性,充分发挥森林多种效益。择伐后模拟天然森林群落对林隙及时进行更新,可构建多层、多树种的异龄林分结构,保证人工林的生态稳定性和生态效益的稳定发挥。从生产经营角度而言,依据生产单位的资金周转和市场需求状况确定年度木材生产任务量,再落实到已达目标径级和主伐年龄林木的择伐量,即根据木材订单确定择伐任务,将其细分至每个经营小班乃至单个林木,目前己为德国等发达国家经营珍优阔叶树种大径材时广泛采纳,值得借鉴。

3 经济效益比较

作者以红椎与杉混交林为例,将培育珍优阔叶树种大径材人工林与桉树短轮伐期工业原料林的经

济效益进行对比。培育红椎大径材,一般造林后第 10、16 年各间伐 1 次,30 年主伐。为了便于比较,经营桉树人工林亦按 30 a 计算经济效益,轮伐期为 6 a,采用萌芽更新 2 代后重新造林,合计经营 5 代。按照中国林科院热带林业实验中心目前对红椎和桉树人工林的培育投资及木材销售情况对其投入产出进行计算(均以每公顷计)。

(1)红椎大径材培育 营造红椎与杉混交林第 1 年造林和抚育等投入 3 975 元,第 2、3 年抚育施肥分别投入 1 575、900 元,第 6 年卫生抚育投入 225 元,每年投入 75 元作为日常管护费;第 10、16 年间伐和修枝成本分别为 3 000、4 500 元,主伐成本 14 625 元;累计投入 31 050 元。第 10 年生产间伐材 30 m³,售价 300 元·m⁻³,收入 9 000 元;第 16 年生产间伐材 45 m³,售价 450 元·m⁻³,收入 20 250 元;30 a 主伐生产木材 225 m³,售价 1 905 元·m⁻³,收入 428 625 元;累计收入 457 875 元。

(2)桉树工业原料林培育 造林或重新造林当年投入 4 170 元进行造林和抚育施肥管理,第 2、3 年分别投入 900、825 元抚育施肥管理成本,萌芽更新后第 1、2、3 年分别投入补植和抚育施肥管理费 1 725、1 200、825 元,每年投入管护费 75 元;采伐成本按每代 8 100 元;累计投入 65 790 元。每代生产木材 90 m³,按 300 元·m⁻³计算,收入 27 000 元;累计收入 135 000 元。

农业特产税取消后,其它税费很小,成本计算忽略不计;土地租金成本未计在内;利润包括两金一费。应用以下公式分别计算财务内部收益率(*FIRR*)和净现值(*FNPV*)。

$$\sum_{t=1}^n (CI - CO)_t (1 + FIRR)^{-t} = 0$$

$$FNPV = \sum_{t=1}^n (CI - CO)_t (1 + ic)^{-t}$$

式中: *CI* 为现金流入量, *CO* 为现金流出量, (*CI* - *CO*)_{*t*} 为第 *t* 年的现金流量, *n* 为计算期年数, *ic* 为设定的基准收益率,取值 12%。

结果表明,经营红椎大径材人工林的财务净现值为 12 156.1 元·hm⁻²,财务内部收益率为 17.561%;经营桉树短周期人工林的财务净现值为 9 917.0 元·hm⁻²,财务内部收益率为 28.827%。经营红椎大径材人工林的财务净现值比经营桉树短周期人工林高 2 239.1 元·hm⁻²,即前者的盈利能力较后者强;两者的财务内部收益率都高于设定的基准收益率(*ic* = 12%),盈利能力都能满足要求。

尽管如此,由于山地种植桉树存在诸多问题和风险,如大面积连片种植发生桉树青枯病严重危害,多代连栽引起地力衰退,山地实施机械化困难而限制其经营水平的提高,使桉树人工林较难达到稳定的预期产量;而红椎等乡土阔叶树种则无此风险,且能发挥良好的生态效能,提高森林可持续经营能力。另外,随着社会发展水平的提高,人们对珍优阔叶材的需求增加,其价格优势会日益显现。因此,建议政府出台措施,加强控制社会上片面追求短期经济效益的桉树种植行为,依据分类经营原则限定桉树的合适发展区域,同时大力提倡在适合立地发展优良乡土阔叶树种中长周期人工林,造福子孙后代。

4 未来优先研究领域

(1) 良种壮苗是提高人工林多种效益的基础,在我国南亚热带地区对于珍优乡土阔叶树种的良种壮苗培育研究尚处于起步阶段,技术基础薄弱,应开展长期不懈的研究,不断改良种植材料,提高营林水平和木材生产的科技含量。

(2) 加强我国南亚热带珍优乡土阔叶树种生物学、生态学特性和木材利用的研究,进一步发掘欠知名的珍优乡土阔叶树种;尤其是开展天然林的调查研究,掌握天然林内的树种间关系及演替规律,并将之应用于珍优阔叶大径材人工林的培育。

(3) 我国热带南亚热带地区在优良干形和无节良材培育方面基本上仍是空白,应加强乡土阔叶人工林的间伐、修枝等理论基础和实用技术研究,加快大径材培育速度,提高大径材质量,增强我国珍优阔叶材的国际市场竞争力。

(4) 选择若干大的集水区进行试验示范,将培育珍优阔叶树种大径材人工林的技术进行组装、集成,并开展生物多样性与生态效益的长期监测,获取关于珍优乡土阔叶树种大径材人工林生态功能的基础数据,为经营决策提供科学依据。

参考文献:

[1] 王少元,辜忠春,李军章,等. 进口阔叶木材识别特征观测[J]. 湖北林业科技, 2005(6): 33~36
 [2] 黎云昆. 论我国珍贵用材树种资源的培育[J]. 绿色中国, 2005(16): 24~28
 [3] 曾杰,郭文福,赵志刚,等. 我国西南桦研究的回顾与展望[J]. 林业科学研究, 2006, 19(3): 379~384
 [4] 黄永权,梁东成,张方秋. 广东省红椎遗传改良及改良策略初探[J]. 广东林业科技, 2004, 20(4): 58~60
 [5] 宋亚莉. 美国木材供应现状及展望[J]. 林业科技通讯, 1998

(5): 32~33
 [6] Schutz J Ph. Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest structures[J]. Forestry, 2002, 75(4): 329~337
 [7] 曾杰,郑海水. 通过人工造林,恢复生物多样性的尝试[J]. 世界林业研究, 1998, 11(1): 78~79
 [8] 卢立华,蔡道雄,何日明,等. 桂西南不同树种人工林评价研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(2): 145~150
 [9] 汪炳根,卢立华. 同一立地营造不同树种林木生长与土壤理化性质变化的研究[J]. 林业科学研究, 1995, 8(3): 334~339
 [10] 沈国舫,翟明普. 混交林研究——全国混交林与树种间关系学术讨论会论文集[C]. 北京:中国林业出版社, 1997
 [11] 郭文福,黎明,曾杰. 西南桦种源(家系)联合试验苗木生长观察[J]. 广西林业科学, 2005, 34(2): 63~68
 [12] 张方秋,朱积余,黄永权,等. 红椎中心分布区种源早期生长研究[J]. 广东林业科技, 2005, 21(4): 9~12
 [13] 郑海水,陈玉培,曾杰,等. 不同种源西南桦在云南景东的生长差异[J]. 林业科学研究, 2005, 18(6): 657~661
 [14] 朱积余,蒋耀,梁瑞龙,等. 广西红椎种源/家系造林试验研究初报[J]. 西部林业科学, 2005, 34(4): 5~9
 [15] 黎明,卢志芳. 西南桦嫁接培育技术[J]. 林业实用技术, 2005(6): 25
 [16] 刘英,曾炳山,裘珍飞,等. 西南桦以芽繁芽组培快繁研究[J]. 林业科学研究, 2003, 16(6): 715~719
 [17] 赵志刚,曾杰,郭丽云,等. 西南桦嫁接试验[J]. 林业科技, 2006, 31(1): 18~19
 [18] 郭文福,蔡道雄. 广西乡土阔叶树种遗传改良策略的探讨[J]. 广西林业科学, 2004, 33(4): 217~218, 221
 [19] 李炎香,谭天泳,黄镜光,等. 米老排造林密度试验初报[J]. 林业科学研究, 1988, 1(2): 206~212
 [20] 郑海水,黎明,汪炳根,等. 西南桦造林密度与林木生长的关系[J]. 林业科学研究, 2003, 16(1): 81~86
 [21] Piotta D, Montagnini F, Ugalde L, et al. Growth and effects of thinning of mixed and pure plantations with native trees in humid tropical Costa Rica[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 177: 427~439
 [22] 蒋家淡. 红椎杉木混交造林效果研究[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(4): 329~333
 [23] 林俊平. 红椎不同模式造林效果分析[J]. 福建林业科技, 2002, 29(3): 59~62
 [24] 卢立华,汪炳根,何日明. 立地与栽培模式对红椎生长的影响[J]. 林业科学研究, 1999, 12(5): 519~523
 [25] 李运兴,吕广阳,麻静. 香樟楠栽培试验研究[J]. 林业科学研究, 2001, 14(6): 682~687
 [26] 林思祖,黄宝龙,洪伟,等. 杉阔混交林混交比例确定的新途径[J]. 林业科学, 2004, 40(1): 158~161
 [27] Viquez E, Perez D. Effect of pruning on tree growth, yield and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica[J]. Silva Fennica, 2006, 39(3): 381~390
 [28] 金发根,罗洪,邹伟,等. 修枝强度对乐昌含笑幼树生长的影响[J]. 江西林业科技, 2006(3): 26~27
 [29] 汤孟平,唐守正,雷相东,等. 林分择伐空间结构优化模型研究[J]. 林业科学, 2004, 40(5): 25~31