

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20180411.002

温远光,周晓果,喻素芳,等.全球桉树人工林发展面临的困境与对策[J].广西科学,2018,25(2):107-116.

WEN Y G,ZHOU X G,YU S F,et al. The predicament and countermeasures of development of global *Eucalyptus* plantations[J]. Guangxi Sciences,2018,25(2):107-116.

全球桉树人工林发展面临的困境与对策^{*}

The Predicament and Countermeasures of Development of Global *Eucalyptus* Plantations

温远光^{**},周晓果,喻素芳,朱宏光

WEN Yuanguang,ZHOU Xiaoguo,YU Sufang,ZHU Hongguang

(广西大学林学院,广西森林生态与保育重点实验室培育基地,广西南宁 530004)

(Guangxi Key Laboratory of Forest Ecology and Conservation,Forestry College,Guangxi University,Nanning,Guangxi,530004,China)

摘要:桉树人工林是世界人工林的重要组成部分,在木材供给和应对气候变化等方面扮演着越来越重要的角色。世界热带亚热带地区的国家都在大力发展桉树人工林,使全球桉树人工林的面积呈现不断增加的趋势,近15年来全球桉树人工林面积年平均增长110万hm²。面对可利用林地资源的限制、立地条件的制约、气候变化的胁迫、社会对林产品需求的变化,以及社会舆论博弈的影响,世界桉树人工林必将在营林制度、经营策略和经营途径方面发生深刻变化和重大调整。营林制度上由短周期纯林连作的林分经营转变为短中周期循环混交轮作的景观经营,经营策略上从注重桉树造林面积扩张转变为人工林单产和生态系统服务的全面提升,经营途径上更加重视多目标森林生态系统可持续经营将成为未来桉树人工林发展的主流趋势。然而,在由单一的木材经营转变为多目标森林生态系统可持续经营过程中,桉树人工林仍将保持以木材生产为主导功能的发展格局,这是桉树人工林的比较优势和特点决定的。但有效权衡和协同桉树木材生产主导功能与其他生态服务功能是今后经营的方向。

关键词:桉树人工林 多目标 生态系统服务 森林生态系统可持续经营 全球

中图分类号:S718.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2018)02-0107-10

Abstract: *Eucalyptus* plantations are an important component of global plantations and play an increasingly important role in the supply of timber and climate change. Countries in the tropical and subtropical regions of the world have all been vigorously developing *Eucalyptus* plantations, and the area of global *Eucalyptus* plantations has been increasing. Over the past 15 years, the global average area of *Eucalyptus* plantations has increased by 1.1 million hm² annually. In the face of limitation of available forest resources, restrictions on site conditions, stress of climate changes, changes of society demand for forest products and influence of social media

games, the regime, strategy and approach of global *Eucalyptus* plantations culture and management will certainly be profoundly changed and significantly regulated. The mainstream tendency of development of *Eucalyptus* plantations in the future should be: (1) forest culture and management regime change from forest stand management with successive short rotation to landscape management with short-, medium- and long-term cyclic rotation; (2) man-

收稿日期:2018-01-29

作者简介:温远光(1957—),男,博士生导师,教授,主要从事森林生态和森林培育学研究,E-mail:wenyg@263.net.

^{*}国家自然科学基金项目(31460121),广西高等学校重大科研项目(201201ZD001),广西森林生态与保育重点实验室培育基地开放课题(QZKFKT2017-01)和广西林业厅科研项目(桂林科学[2009]第八号)资助。

^{**}通信作者。

hm²,占世界人工林面积的比例从 3.41% 提高到 7.80%,而种植桉树的国家所占比例更高,从 5.95% 提高到 12.51%(图 2)。

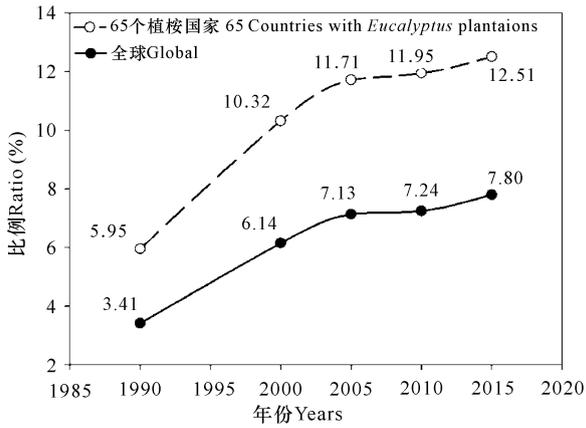


图 2 世界桉树人工林面积占人工林面积的比例

Fig. 2 Ratio of area of global *Eucalyptus* plantations to planted forests

世界各国的国情、林情和林业经营管理的策略不同,桉树人工林发展的历程、规模、经营模式、林分质量各不相同。印度是世界上最早引种桉树的国家,始于 1790 年,1843 年开始少量种植,至 1973 年桉树引种 183 周年时,桉树人工林面积仅 45 万 hm²[17],但后续发展十分迅猛,时隔 24 年,即到 1997 年增至 480 万 hm²[22],增长 9 倍强,2005 年又增加至 580 万 hm²[23],之后受桉树负面效应和社会压力影响,2009 年降到 394 万 hm²[24],呈现大起大落的变化。

巴西于 1825 年引入桉树,1904 年开始大面积营造桉树人工林,1954 年桉树引种 130 周年时,桉树人工林面积仅 30 万 hm²[17],20 世纪 70 年代猛增至 105 万 hm²[17],1997 年达到 190 万 hm²[22],之后保持高速增长,2005 年增至 362 万 hm²[23],2009 年为 486 万 hm²[24],巴西桉树面积呈现持续增长态势。

中国桉树人工林的发展速度要快于印度和巴西,虽于 1890 年开始引种,比印度晚 100 年,但 20 世纪 60—70 年代便开始较大规模种植。20 世纪 80 年代后,随着桉树良种选育和无性繁殖技术取得重大突破,并实施无性系林业,桉树人工林面积迅速扩大,1990 年桉树引种 100 周年时,桉树人工林面积发展到 67 万 hm²[17],到 2000 年达 154 万 hm²[17],2005 年达 170 万 hm²[23],2010 年,达到 368 万 hm²,2014 年达到 450 万 hm²[25]。近年来,受社会舆论博弈的影响,中国桉树人工林发展趋势放缓。

澳大利亚是最重要的桉树原产国,也是桉树天然林资源最丰富的国家。由于实施桉树天然林保护和社会发展对木材需求量的增加,澳大利亚逐渐重视发展桉树人工林。1987 年,澳大利亚的桉树人工林面

积仅 2.8 万 hm²,2009 年已提高到 92.6 万 hm²[24],22 年时间桉树人工林面积提升了 32 倍,桉树人工林面积占人工林面积的比例提高到 46%,成为世界上第四大发展桉树人工林的国家。

据对桉树人工林面积居世界前 16 名的国家统计(这些国家的桉树人工林占世界总面积的 90%),桉树人工林面积占世界桉树人工林面积比例最大的国家是巴西、中国和印度,分别为 22%、20% 和 17%,但 这些国家的桉树人工林面积占本国林地面积的比例普遍不高,巴西约为 1%,中国为 2%,印度为 6%,占林地面积比例较大的国家有乌拉圭(37%)、葡萄牙(20%)和巴基斯坦(17%);桉树人工林面积占人工林面积比例超过 60% 的国家有巴西(63%)、乌拉圭(64%)、葡萄牙(73%)和巴基斯坦(68%)(图 3)。

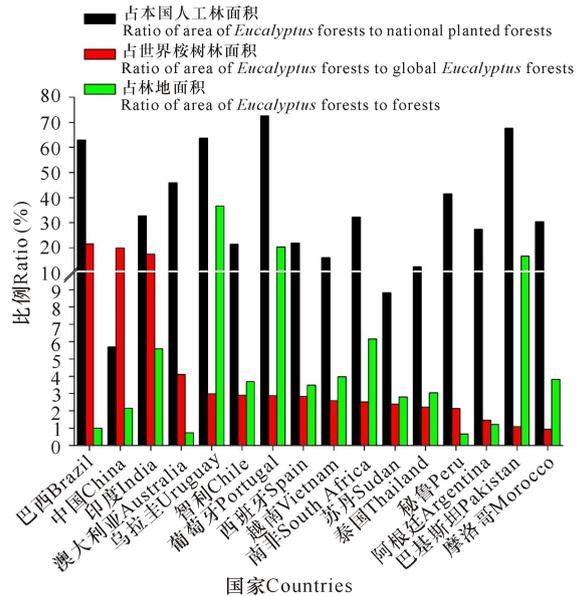


图 3 全球主要植桉国家桉树人工林面积占各类林地面积的比例

Fig. 3 Ratio of area of global *Eucalyptus* plantations to all kinds of forests in the main countries with *Eucalyptus* plantations

目前,全球广泛栽培的桉树种类都是经过遗传改良的桉树树种/杂交种,主要有巨桉 (*E. grandis*)、尾叶桉 (*E. urophylla*)、粗皮桉 (*E. pellita*)、蓝桉 (*E. globulus*)、亮果桉 (*E. nitens*)、邓恩桉 (*E. dunnii*)、赤桉 (*E. camaldulensis*)、细叶桉 (*E. tereticornis*) 和柳叶桉 (*E. saligna*),以及杂交桉如尾巨桉 (*E. urophylla* × *E. grandis*)、巨尾桉 (*E. grandis* × *E. urophylla*)、蓝亮桉 (*E. globulus* × *E. nitens*) 和赤巨桉 (*E. camaldulensis* × *E. grandis*) 等[26-27]。经过遗传改良的桉树,生长速度和单位面积产量大幅提升。巴西是世界桉树人工林经营水平最先进的国家,桉树人工林的年生长量高达 40~70

$\text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,最高达 $114 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ^[17],是原种桉树的 4~10 倍。因此,改良后的桉树不仅是世界公认的速生树种,也是世界上人工林最高产的树种,其发展潜力备受世界关注。

按照桉树人工林面积最大的巴西、中国、印度 3 个国家桉树人工林平均生长量 $32 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 估算,全球桉树人工林的年生长量可达 7.2 亿 m^3 ,每年由桉树提供的木材约 2.2~2.5 亿 m^3 ,占世界人工林木材年产量(6.35 亿 m^3)的 37%,桉树已成为全球重要的木材资源。

桉树用途广泛,多数是世界著名的硬木资源,是

制浆造纸的主要原料,是旋切单板、胶合板、纤维板、刨花板、家具制造业的主要用材,是优质可再生的生物质能源;此外,桉叶油被广泛应用于食品、日用化学品及医药领域。以桉树资源为核心的桉树产业链已经形成(图 4),包括桉树产业上游的桉树苗木、肥料、林下经济和营林企业,桉树产业中游的木材采伐、运输和半成品木材的加工制造工业,桉树产业下游以木材、木浆、桉叶油和桉木炭为基础的制造业和服务业。全球桉树产业链总值估计超过万亿美元,中国桉树产业每年提供的就业岗位超过 1 000 万个,产值超 5 500 亿元。

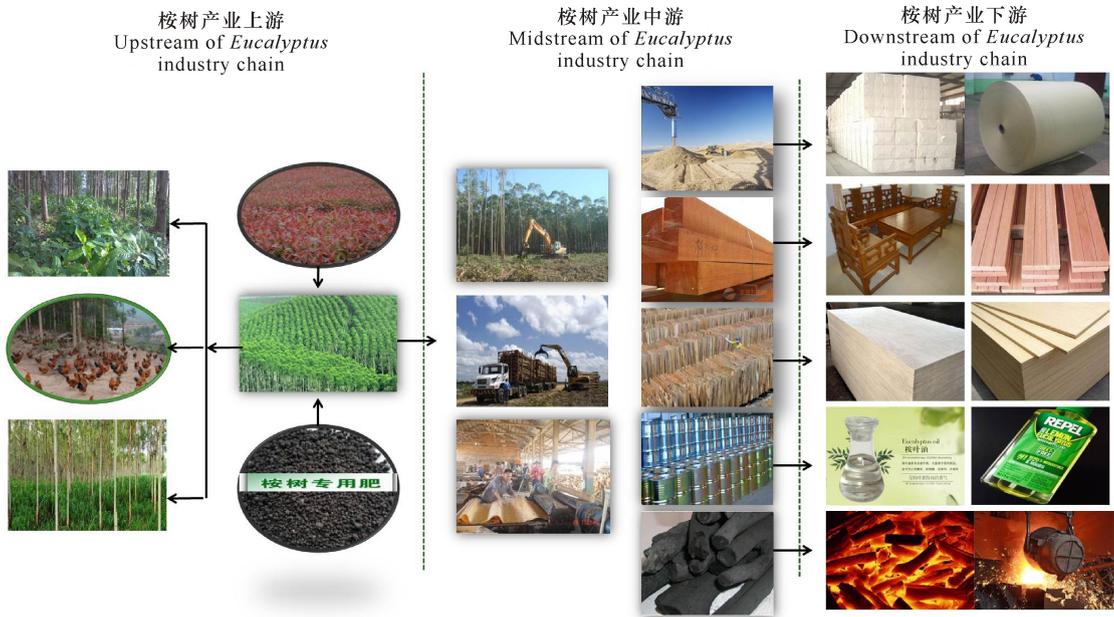


图 4 桉树产业链全景图

Fig. 4 Panorama of *Eucalyptus* industry chain

全球桉树人工林的发展改变了世界人工林的发展格局、经营管理方式、木材加工技术,以及人们的生活方式。世界桉树人工林的大发展大致始于 20 世纪 70 年代,这一时期也是全球桉树发展的起步阶段,全球的桉树人工林面积不到 300 万 hm^2 ,通常以桉树实生苗造林,产量普遍不高,中国、印度等国的桉树实生苗人工林的年平均生长量仅为 $8\sim 10 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。1981 年巴西 ARACRUZ 林纸公司的科研人员突破了优树萌芽条扦插育苗的技术难关,大量采用优树无性系繁殖造林,使桉树年平均生长量猛增到 $70 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,最高达到 $114 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ^[17]。桉树无性繁殖技术的重大突破,极大地推动了世界无性系人工林和无性系林业的发展,使人工林的经营周期缩短到 5~7 年,年平均生长量提高到 $50\sim 70 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ^[27]。20 世纪 90 年代之后,桉树短周期无性系林业快速发展,桉树人工林的集约管理水平不断提高,火烧清理、机耕整地,桉树专用肥、除草剂和短轮伐连栽经营等培育措施广泛应

用,导致林分质量下降、生物多样性锐减、地力退化加剧、外来植物入侵风险增大等生态环境问题,引起国际社会的极大关注^[13-14,28]。全球桉树人工林的快速发展不仅关系到世界的木材安全,也关系着生态安全和生物安全。因此,需要探索有效权衡和协同桉树人工林木材生产功能与其他生态服务功能的关系,以保障桉树人工林的持续健康发展与全球生态安全。

近年来,全球气候和环境变化不断加剧并成为国际社会最为关注的重大环境问题^[2]。在此背景下,全球气候和生态治理成为世界各国的普遍共识和共同行动。人工林发展的全球化和人工林生态系统多功能性退化的普遍性,决定了其必将成为全球生态治理的重要内容。中国是世界上人工林面积最多的国家,占全球人工林面积的 73%^[29],也是人工林生态系统服务功能退化最为严重的国家之一。为应对全球气候不断变化,中国出台了多项备受世界关注的应对方案。同样,为应对全球人工林生态治理,中国也应给

出有效的治理方案。这不仅关系到中国未来的发展和国际形象,也关系到世界的共同发展与繁荣。

2 全球桉树人工林发展面临的困境

人工林已经成为现代社会可持续发展不可缺少的重要资源。发展人工林是全球气候和生态治理的普遍共识和共同行动。受可利用林地资源、立地条件、气候变化、社会舆论博弈等的影响,世界各国桉树人工林发展策略发生重大转变,许多国家从“鼓励发展”转变为“限制发展”,使得全球桉树人工林发展前景扑朔迷离,面临诸多困境。

2.1 短周期多代连栽制度下,桉树经营不可持续

短周期连栽是世界各国在桉树人工林经营中普遍采取的经营制度,经营周期一般为6~14年^[26-27]。巴西是世界上桉树种植面积最大的国家,桉树经营制度有3种:一是以薪炭材为培育目标的桉树人工林,经营周期为4年;二是以纸浆材培育为目标的桉树人工林,经营周期为7~14年;三是以大径材为培育目标的桉树人工林,经营周期延长至20~27年^[30]。由于巴西土壤肥沃,气候适宜,管理精细,桉树生长快,产量高,因此,70%的桉树人工林采取短轮伐期纸浆材经营,经营周期为5~10年^[31]。中国是世界第二大种植桉树的国家,由于木材短缺和林地资源所限,80%以上的桉树人工林采取短周期连栽方式,轮伐期比世界其他国家普遍要短,一般为5~7年,甚至缩短到3~5年^[13]。印度的桉树人工林也是采取短周期经营方式,经营周期为5~10年^[32]。澳大利亚的桉树人工林经营主要分纸浆材和大径材培育2种,纸浆材培育周期为8~14年,大径材培育周期为20~25年^[30]。大量的研究表明,在短周期连栽制度下,桉树人工林普遍采取炼山、机耕全垦整地、高肥料投入、大量喷施除草剂、短轮伐等经营管理措施。在此种经营方式下,经营1~3代的桉树人工林生产力基本上能够保持,但地力开始退化,生物多样性减少;经营5~6代,地力、生产力和生物多样性都出现明显退化,甚至出现大面积的外来植物入侵^[33-34]。因此,现行的短周期多代连栽制度无法保证桉树人工林的可持续经营。

2.2 林地资源短缺,桉树发展空间有限

林地资源是人工林扩大发展的基础。受可利用林地资源的限制、立地条件的制约和气候变化的胁迫,以及社会舆论博弈的影响,全球桉树人工林面积继续扩大的空间十分有限。巴西、中国和印度是世界桉树人工林发展大国,其桉树人工林的发展走势决定着世界桉树人工林的发展方向。巴西是世界上森林

资源最为丰富的国家之一,据FAO的统计^[35],2015年巴西人工林面积773.6万 hm^2 ,其中桉树人工林面积占人工林面积的62.85%;巴西的天然林面积占森林面积的98.4%。近10年来,巴西大多数森林公司不再买地营造新林。原因有二:一是土地价格持续上涨;二是在环境保护部门、团体的压力下,一些国家已经颁布法令,严禁森林工业买地营造桉树林^[36]。因此,未来巴西用于发展桉树人工林的空间并不大。中国是世界人工林面积最大的国家,据第八次全国森林资源清查结果显示,中国人工林总面积6933万 hm^2 ,占全国林地面积的22%,占有林地面积的36%^[37]。该结果还显示,虽然中国的无立木林地、宜林地面积尚有4982万 hm^2 ,但造林难度较大的占83%,仅有1500万 hm^2 左右的林地造林难度较小^[37]。据估算,在造林难度较小的林地中,适合发展桉树的面积不到1/10,而且迫于社会舆论的压力,许多地方政府已出台文件调减或禁止桉树发展;一些土地经营者也不愿意将林地出租种植桉树。因此,中国能够用于桉树造林的林地资源也非常有限。根据FAO统计^[35],印度人工林面积1990—2000年增长14.5万 hm^2 ,年增长0.25%;2000—2010年增长39.7万 hm^2 ,年增长0.55%;2010—2015年增长17.8万 hm^2 ,年增长1.60%。尽管人工林的发展使印度的森林面积在过去10年里不断增加,但是林地被占用为农地或其他用地、放牧、病虫害和火灾等造成的林冠密度下降及森林退化,进一步加剧了印度林地资源的短缺。澳大利亚国土面积7.69亿 hm^2 ,但70%是沙漠,林地面积为1.25亿 hm^2 ^[35],其中天然林占98.4%,因此人工林发展空间不大。综上所述,在全球范围内,由于对食品、其他农产品和良好生态服务需求的增加,土地争夺不断升级,世界桉树发展可用的土地空间将被大大压缩。

2.3 桉树造林面积不断扩大,无性系退化,林分质量不断下降,增长乏力

1990—2015年,世界桉树人工林面积增加1657万 hm^2 ,年均增长110万 hm^2 。巴西是全球桉树人工林经营水平最高的国家,其桉树人工林的面积扩张也很快,从20世纪70年代的105万 hm^2 增至2009年的486万 hm^2 ^[24],增长3.6倍。但是,从巴西桉树人工林的林分质量分析,大规模林地的林分质量不但没有提高,反而出现停滞不前或下降的趋势。据报道,20世纪80年代,巴西桉树人工林平均单位面积产量就高达45~75 $\text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。然而,在2001年启动的Barzil *Eucalyptus* Potential Productivity (BEPP)项目实验中,一个轮伐期的研究表明,巴西桉树产量

为 $51 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 在有充足灌溉条件下, 产量能达到 $65 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ^[38]。可见, 在近 30 多年, 巴西桉树人工林的质量停滞不前, 甚至存在下降趋势。

社会上有“世界桉树看巴西, 中国桉树看广西”的说法。广西桉树经营代表了中国的最高水平。图 5 是广西桉树人工林面积和林分平均产量的变化。可以看出, 广西桉树是在 2000 年后出现快速扩张, 由 2000 年的 14.88 万 hm^2 提高到 2015 年 224.36 万 hm^2 , 15 年增长 14 倍。同时, 1980—2009 年, 广西桉树人工林的平均产量持续增加, 从 1980 年的 $8.9 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 提高到 2009 年的 $44.4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 但 2009 年之后, 桉树的平均产量出现下降, 到 2015 年的 $44.6 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 与 2009 年持平(图 5), 广西桉树通过高投入实现高增长。但是, 由于桉树造林无性系退化, 连栽地力退化, 以及经营成本过高, 桉树后续增长乏力。

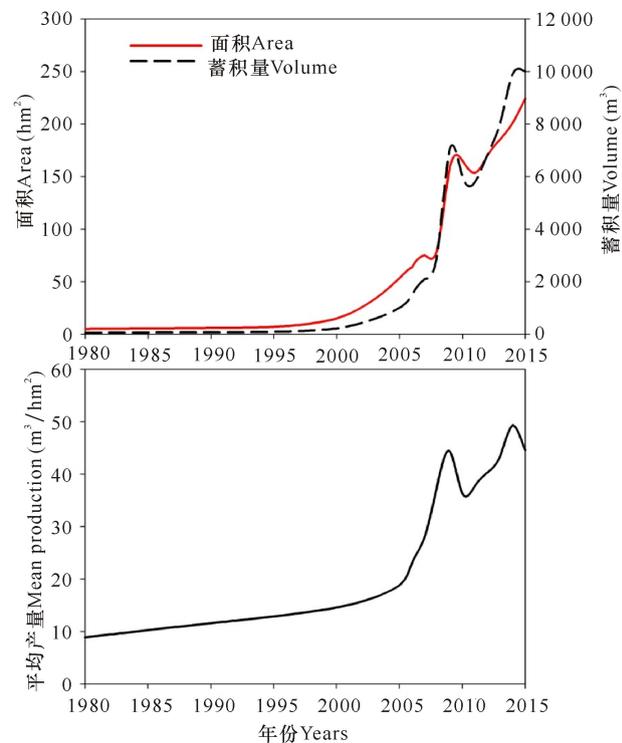


图 5 广西桉树人工林面积和平均产量变化

Fig. 5 Changes of area and mean production of

Eucalyptus plantations in Guangxi Province

总之, 全球桉树林分质量下滑, 主要原因: 一是单一无性系造林, 林分结构单一, 稳定性差; 二是桉树造林面积迅速扩张后, 苗木质量无法保障; 三是长期使用少数无性系造林, 无性系严重退化; 四是随着连栽代数的增加, 地力下降, 土壤微生物群落组成、结构和功能改变^[38]; 五是生态系统多功能性退化, 外来植物入侵严重。

2.4 社会舆论博弈及对发展桉树的抵制活动

“桉树争论”最早发生在印度学术界。早在 1981 年, 印度学者 Shiva 等^[28] 在研究了印度的桉树人工林后指出: “桉树大量地抽取水分, 可能导致水资源枯竭”。受此影响, 印度、巴西等国家的桉树人工林发展曾一度停滞不前, 桉树种植面积持续减少^[39]。此后, “桉树争论”从学者间扩大到整个学术界, 从局部发展到全球。正如沈国航院士所说, “桉树对环境的影响是一个世界性争论的话题”^[40]。持肯定态度的一方认为: 桉树具有耐干旱瘠薄、速生、优质纤维和相对高的木材密度等特点, 被誉为造林“先锋树种”、纸浆工业的“绿色黄金”“战略性林木”, 因此, 应大力发展^[13]。持否定态度的一方则认为: 桉树生长快, 对水分和养分消耗大, 可能存在化感作用, 桉树人工林所形成的生态环境, 不利于其他生物的生存和发展等, 因而认为桉树是“抽水机”“抽肥机”, 甚至是“绿色沙漠”等, 因此提出反对甚至禁止栽种桉树^[13]。随着时间的推移, 桉树争论、博弈更加具体和激烈。进入 21 世纪, 特别是 2004 年印度尼西亚金光集团意向投资数十亿美元在云南建设 174 万 hm^2 桉树速生丰产原料林的事件经媒体(《中国青年报》, 2004 年 7 月 8 日)披露后, 众多媒体加以抨击^[41]。《中国绿色时报》(2004 年 7 月 19 日)《警惕: 绿色荒漠化》一文中指出: 大规模的“造桉工程”不亚于在怒江建坝, 弄不好有可能成为“绿色沙漠化”^[42]。在激烈的争论和博弈之下, 国内不少地方政府或部门出台了“限桉”“禁桉”文件, 有的甚至采取了较大规模的清除桉树活动, 对中国桉树产业发展也产生了重大影响。值得庆幸的是, 全球桉树人工林仍在争论和博弈中砥砺前行。在桉树争论、博弈中, 一些西方极端环保组织企图通过桉树生态问题控制发展中国家发展桉树人工林及其产业的博弈失败。有建设意义的是, 桉树绿色可持续发展的探索已经开始。

3 全球桉树人工林持续增长的应对之策

3.1 营林制度: 从短周期连作的林分经营转变为短中长周期循环轮作的人工林景观经营

面对全球人工林发展过程中存在的困境和新时期社会对人工林期望和需求的变化, 发展优质、高效、稳定、可持续的多功能人工林已成为一种主流趋势^[2]。在中国, 木材作为国家经济社会发展和人民生活不可或缺的战略物资, 国内供应能力严重不足, 对外依存度高^[1]。因此, 在大力发展人工林的同时, 必须更加注重发展以木材生产为主导的人工林, 尤其是速生丰产人工林。作为以生产木材为主导功能的桉

树人工林,要实现可持续增长,首先必须处理好营林制度这一根本性的问题。短周期经营是桉树人工林得以快速发展的关键所在,这也是桉树与其他树种间的比较优势。但是,几十年的实践证明,现行的短周期多代连栽方式下桉树人工林难以做到绿色可持续发展。因此,必须转变营林制度和经营方式,将桉树短中长期周期经营作为一个完整的经营体系,由现行的短周期多代纯林连作的林分经营转变为短中长期循环混交轮作的人工林景观经营(图6)。在短中长期循环轮作制度中,短周期经营以培育纸浆材(或薪炭材)为主,经营周期为3~5年,连续经营3代,经营时间为9~15年。中周期经营以培育人造板材(包括旋切单板、胶合板、纤维板、刨花板等)为主,经营周期为9~15年。长周期经营以培育大径材(锯材)为主,经营周期为20~25年。这样,经营一个轮回大约需要38~55年。实施短中长期周期循环轮作制度具有诸多优点:一是可以保障木材资源的持续供给;二是可以避免短周期连栽引起的生态和生产不可持续问题;三是不同的经营目标可选择不同的桉树树种/杂交种,因此,可满足社会对木材的多样化需求,持续提供纸浆材、人造板材和家具用材;四是降低单一无性系造林可能导致的病虫害大暴发风险;五是有利于提高林分质量。我国的人工林质量远远低于林业发达国家。关键问题是中国人工林以中幼林占优(占72%)^[37],我国成熟人工林平均蓄积量为76 m³/hm²,而桉树人工林的平均蓄积仅44 m³/hm²。实施短中长期周期循环轮作制度,短中长期周期的林分比例可为3:3:3,也可根据需要调整。据我们在广西东门的调查,7年生桉树人工林的蓄积量为144.95 m³/hm²,13年生为346.97 m³/hm²,21年生为550.69 m³/hm²。若按广西200万hm²桉树林计算,

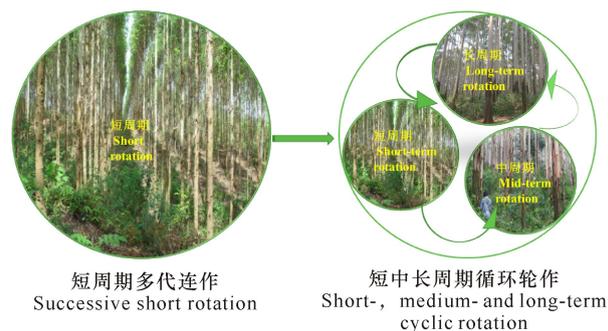


图6 桉树短周期连作转变为短中长期周期循环轮作

Fig. 6 Changes from successive short rotation to short-, medium- and long-term cyclic rotation in *Eucalyptus* plantations

平均单位面积蓄积可达347.54 m³/hm²,比现有林分质量提高6.9倍。倡导人工林景观经营,通过人工林结构调整和景观优化配置,最大限度地发挥以木材为主的林产品供给功能,获取最佳的经济效益和生态系统服务。

3.2 经营策略:由桉树人工林的面积扩张转变为人工林单产和生态系统服务的全面提升

鉴于桉树人工林经营中存在的诸多问题以及可利用土地空间的限制,世界桉树人工林未来发展不可能再延续过去单靠扩大造林面积来实现木材产量的增长,必将从以扩大造林面积为主转变为以提高人工林单产为重点。目前,世界桉树人工林的单产一般维持在30~50 m³/(hm²·a),距离最高产的林分114 m³/(hm²·a)还有很大的差距,表明提高单产的潜力还很大。因此,要更加重视桉树优良品种的选育和高产培育技术创新。巴西桉树人工林的单位面积产量一直保持在世界最高水平,关键在于巴西一直持续开展桉树良种选育工作^[43]。中国广西东门林场是亚洲重要的桉树基因库和良种基地。自20世纪80年代以来,通过大量桉树树种(种源、家系)的引进,在优良种源、优良单株及林分选择的基础上,进行杂交育种和子代测定,开发出优良无性系,并通过无性系对比试验和区域试验,最终选育出优良无性系进行推广造林。东门林场先后选育出1800多个桉树优良无性系,其中已有140多个在林业生产中推广和广泛应用,最优家系年均蓄积量达70.86 m³/hm²^[44],而目前的年均蓄积生长量仅为25~30 m³/hm²。提高人工林单产,除了良种还有良法。要依据经营目标和定向培育的最终产品采取不同的树种/无性系造林、造林密度配置、抚育间伐措施、肥料配比、结构化调控、病虫害防控等,创建规模化、集约化的人工林现代经营体系,在提高单产的同时,全面提升生态系统服务功能。

3.3 经营途径:由单一的木材经营转变为多目标森林生态系统可持续经营

森林经营理论自诞生以来,一直在不断发展和完善,以适应经济社会发展和生态保护对森林经营的要求。德国是最早提出森林经营理论的国家,早在1795年就提出了“森林永续利用经营理论”^[45],1950年又提出“近自然森林经营理论”^[46]。美国于20世纪80年代后期最早开始了森林生态系统经营管理实践^[45]。这些森林经营理论得到了世人的普遍认同,并成为指导森林可持续经营的理论基础^[45]。实践证明,在桉树人工林的经营管理中,无论是以单独追求木材生产的经营,还是单独追求生态系统服务的经

营,均不能合理地权衡资源利用与生态保护的关系,也不可能实现人工林的可持续经营。因此,桉树人工林的经营途径必须从以单一木材经营转变为多目标森林生态系统可持续经营(图7)。作者认为,在桉树人工林经营中,首先必须遵循森林生态系统经营理论,桉树人工林经营的对象是整个森林生态系统,而不仅仅是桉树,要充分考虑人工林主导功能与其他生态系统功能的权衡与协同。其次是多目标森林经营,桉树人工林作为以提供木材为主的森林,把木材生产作为主导功能来经营是正确的,但是,不能完全不顾及生态系统其他功能的完整性和可持续性,否则,桉树人工林木材生产的主导功能也将无法持续。第三是结构化森林经营,结构化森林经营是基于林分空间结构优化的森林经营方法^[46],以培育健康稳定的森林为目标,唯有创建或维护最佳的森林空间结构,才能获得健康稳定的森林。根据结构化森林经营原理,科学调控桉树树冠结构和营养面积,创新无节材培育体系。第四是森林循环轮作经营,即是将桉树短中长周期经营作为一个完整的经营体系,由过去的林分经营提升为景观经营。第五是森林健康经营,森林健康经营是在生态系统健康理论上提出的一个新的可持续森林经营理念。桉树人工林结构单一,无性系老化,病虫害大规模暴发和生物入侵风险普遍存在,因此更需要加强人工林的健康经营。

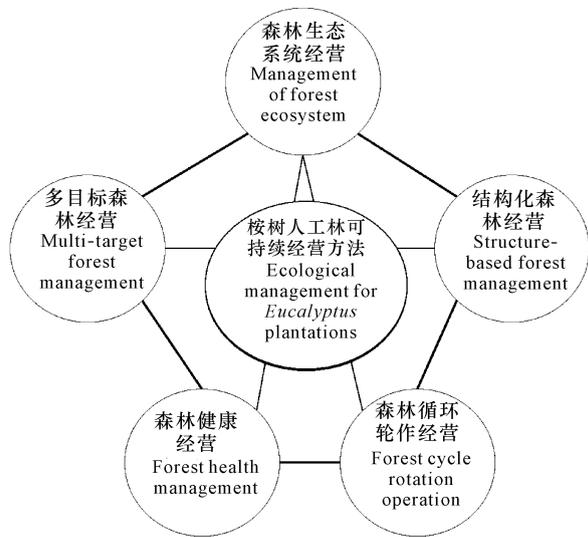


图7 多目标桉树人工林生态系统可持续经营途径

Fig. 7 Sustainable management approach for multiple target forest ecosystem in *Eucalyptus* plantations

4 展望

在应对全球气候变化和推进全球生态治理的新形势下,面对可利用林地资源的限制、立地条件的制约、气候变化的胁迫、社会对林产品需求的变化,以及

社会舆论博弈的影响,世界桉树人工林必将在营林制度、经营策略和经营途径方面发生深刻变化和重大调整。营林制度上由短周期纯林连作转变为短中长周期循环混交轮作,经营策略上由林分经营转向景观经营,从注重桉树造林面积扩张转变为人工林单产和生态系统服务的全面提升,经营途径上更加重视多目标森林生态系统可持续经营将成为未来桉树人工林发展的主流趋势。

在桉树人工林经营中,将桉树短中长周期经营作为一个完整的经营体系,实施短中长周期循环轮作经营,由人工林林分经营提升为人工林景观经营,将全面提升桉树人工林的林分质量和效益,更好地提供多元化的林产品(例如薪炭材、纸浆材、人造板材、家具用材、桉叶油等)和服务(例如森林旅游、森林康养、森林文化等),以更好地满足人们所期望的多目标、多价值、多用途、多产品和服务的需要。

桉树人工林生态系统经营在由单一的木材经营转变为多目标森林生态系统可持续经营过程中,仍将保持以木材生产为主导功能的发展格局。桉树的比较优势在于种类极其丰富,有1 039种及变种^[21],可以满足多种林产品生产及服务需要;桉树生长速度快,产量高,是至今世界上生长最快、产量最高、用途最广的一类树种;桉树适应性强,既适于高密度栽培和短周期经营,也适合疏密度栽培和长周期经营。发挥桉树的比较优势是桉树人工林经营的必然选择,但有效权衡和协同桉树木材生产主导功能与其他生态服务功能是今后经营的方向。

参考文献:

- [1] 国家林业局. 林业发展“十三五”规划[Z]. 2016. State Forestry Administration. Forestry development in the 13th five-year programme[Z]. 2016.
- [2] 刘世荣, 杨予静, 王晖. 中国人工林经营发展战略与对策: 从追求木材产量的单一目标经营转向提升生态系统服务质量和效益的多目标经营[J]. 生态学报, 2018, 38(1): 1-10. LIU S R, YANG Y J, WANG H. Development strategy and management countermeasures of planted forests in China: Transforming from timber-centered single objective management towards multi-purpose management for enhancing quality and benefits of ecosystem services [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(1): 1-10.
- [3] 周霆, 盛炜彤. 关于我国人工林可持续问题[J]. 世界林业研究, 2008, 21(3): 49-53. ZHOU T, SHENG W T. On the plantation sustainability in China[J]. World Forestry Research, 2008, 21(3): 49-53.
- [4] 温远光. 连栽桉树人工林植物多样性与生态系统功能关

- 系的长期实验研究[D]. 成都:四川大学,2006.
- WEN Y G. Plant diversity and ecosystem functions in a long-term continuous planting eucalypt plantation experiment[D]. Chengdu: Sichuan University, 2006.
- [5] 温远光,左花,朱宏光,等. 连栽对桉树人工林植被盖度、物种多样性及功能群的影响[J]. 广西科学, 2014, 21(5):463-468,483.
- WEN Y G, ZUO H, ZHU H G, et al. Effect of successive rotations on vegetation cover, species diversity and functional groups in eucalypt plantations of South China [J]. Guangxi Sciences, 2014, 21(5):463-468, 483.
- [6] 温远光,刘世荣,陈放. 桉树工业人工林的生态问题与可持续经营[J]. 广西科学院学报, 2005, 21(1):13-18.
- WEN Y G, LIU S R, CHEN F. The ecological problems and sustainable management of *Eucalyptus* industrial plantation[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2005, 21(1):13-18.
- [7] 赵金龙. 广西桉树人工林的生态服务功能研究[D]. 南宁:广西大学, 2011.
- ZHAO J L. Study on ecological service function of *Eucalyptus* plantation in Guangxi[D]. Nanning: Guangxi University, 2011.
- [8] 余雪标,徐太平,龙腾,等. 连栽桉树人工林生物量及生产力结构的研究[J]. 华南热带农业大学学报, 1999, 5(2):10-17.
- YU X B, XU T P, LONG T, et al. Study on biomass and productivity structure in successive rotations of *Eucalyptus* plantation[J]. Journal of South China University of Tropical Agriculture, 1999, 5(2):10-17.
- [9] 廖观荣,林书蓉,李淑仪,等. 雷州半岛桉树人工林地力退化的现状和特征[J]. 土壤与环境, 2002, 11(1):25-28.
- LIAO G R, LIN S R, LI S Y, et al. The current status and characteristics of land capacity degeneration of eucalyptus plantation in Leizhou Peninsula[J]. Soil and Environment Sciences, 2002, 11(1):25-28.
- [10] WEN Y G, YE D, CHEN F, et al. The changes of understory plant diversity in continuous cropping system of *Eucalyptus* plantations, South China[J]. Journal of Forest Research, 2010, 15(4):252-258.
- [11] JIN D M, HUANG Y, ZHOU X L, et al. High risk of plant invasion in the understory of eucalypt plantations in South China[J]. Scientific Reports, 2015, 5: 18492. DOI:10.1038/srep18492.
- [12] ZHOU X G, ZHU H G, WEN Y G, et al. Effects of understory management on trade-offs and synergies between biomass carbon stock, plant diversity and timber production in *Eucalyptus* plantations[J]. Forest Ecology and Management, 2018, 410:164-173.
- [13] 温远光. 桉树生态、社会问题与科学发展[M]. 北京:中国林业出版社, 2008.
- WEN Y G. *Eucalyptus* ecological, social issues and scientific development[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2008.
- [14] WILLIAMS R A. Mitigating biodiversity concerns in *Eucalyptus* plantations located in South China [J]. Journal of Biosciences and Medicines, 2015, 3:1-8.
- [15] ZHAO J, WAN S Z, FU S L, et al. Effects of understory removal and nitrogen fertilization on soil microbial communities in *Eucalyptus* plantations[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 310:80-86.
- [16] CHEN F L, ZHENG H, ZHANG K, et al. Changes in soil microbial community structure and metabolic activity following conversion from native *Pinus massoniana* plantations to exotic *Eucalyptus* plantations[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 291:65-72.
- [17] 祁述雄. 中国桉树[M]. 北京:中国林业出版社, 2002.
- QI S X. *Eucalyptus* in China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002.
- [18] FAO. Eucalypts for Planting[R]. FAO Forestry Series No 11, FAO, Rome, 1979.
- [19] POTTS B M, DUNGEY H S. Interspecific hybridization of *Eucalyptus*: Key issues for breeders and geneticists[J]. New Forests, 2004, 27(2):115-138.
- [20] IGLESIAS-TRABADO G, WILSTERMANN D. *Eucalyptus* universalis. Global cultivated eucalypt forests map[Z]. 2008.
- [21] 王豁然. 桉树生物学概论[M]. 北京:科学出版社, 2010.
- WANG H R. A Chinese appreciation of eucalypts[M]. Beijing, Science Press, 2010.
- [22] FAO. Support to forestry and wildlife sub-sector[M]. Pre-investment study. TCP/ERI/6721. Rome, 1997.
- [23] FAO. Global forest resources assessment 2005[R]. Rome:FAO, 2005.
- [24] IGLESIAS-TRABADO G, WILSTERMANN D. *Eucalyptus* universalis. Global cultivated eucalypt forests map 2008 Version 1. 0. 1[Z]. 2009.
- [25] 中国林学会. 桉树科学发展问题调研报告[M]. 北京:中国林业出版社, 2016.
- Chinese Society of Forestry. Investigation reports for scientific development of *Eucalyptus* plantations[M]. Beijing, China Forestry Publishing House, 2016.
- [26] MARTIN B. *Eucalyptus*: A strategic forest tree [M]// WEI R P, XU D (eds.). *Eucalyptus* Plantations; Research, management and development. Singapore: World Scientific Publishing Co Pty Ltd, 2003:3-18.
- [27] Environment Directorate, Organisation for Economic Co-operation and Development. Consensus document on the biology of *Eucalyptus* spp. series on harmonisation of regulatory oversight in biotechnology, No. 58. ENV/JM/MONO[Z]. 2014.
- [28] SHIVA V, BANDYOPADHYAY J. *Eucalyptus* — A

- disastrous tree for India[J]. *The Ecologist*, 1983, 13(5):184-187.
- [29] 魏晓华,郑吉,刘国华,等.人工林碳汇潜力新概念及应用[J]. *生态学报*, 2015, 35(12):3881-3885.
WEI X H, ZHENG J, LIU G H, et al. The concept and application of carbon sequestration potentials in plantation forests[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(12):3881-3885.
- [30] 张国武,罗建中,尹国平.澳大利亚·巴西桉树人工林经营特点及其启示[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(7):2965-2967.
ZHANG G W, LUO J Z, YIN G P. Management feature of *Eucalypt* plantation in Australia and Brazil and its revelation[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2009, 37(7):2965-2967.
- [31] TURNBULL J W. *Eucalypt plantations*[M]//BOYLE J R, WINJUM J K, KAVANAGH K, et al (eds). *Planted forests: Contributions to the quest for sustainable societies*. Forestry sciences, Vol 56. Springer, Dordrecht, 1999:37-52.
- [32] KAUR N, SINGH B, GILL R I S. Productivity and profitability of intercrops under four tree species throughout their rotation in north-western India[J]. *Indian Journal of Agronomy*, 2017, 62(2):160-169.
- [33] 温远光,刘世荣,陈放.连栽对桉树人工林下物种多样性的影响[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(9):1667-1671.
WEN Y G, LIU S R, CHEN F. Effects of continuous cropping on understory species diversity in *Eucalypt* plantations[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(9):1667-1671.
- [34] ZHOU X G, WEN Y G, ZUO H, et al. Optimal rotation length for carbon sequestration in *Eucalyptus* plantations in subtropical China[J]. *New Forests*, 2017, 48(5):609-627.
- [35] FAO. *Global forest resources assessment 2015*[R]. Rome:FAO, 2015.
- [36] HOSSAIN K L, WADUD M A, HOSSAIN K S, et al. Performance of Indian spinach in association with *Eucalyptus* for agroforestry system[J]. *J Bangladesh Agril Univ*, 2005, 3(1):29-35.
- [37] 国家林业局.第八次全国森林资源清查结果[J]. *林业资源管理*, 2014(1):1-2.
State Forestry Administration. Results of the 8th national forest resources inventory[J]. *Forest Resources Management*, 2014(1):1-2.
- [38] STAPE J L, BINKLEY D, RYAN M G, et al. The Brazil *Eucalyptus* potential productivity project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production[J]. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(9):1684-1694.
- [39] POORE M E D. *The ecological effects of Eucalyptus* [R]. Rome:FAO, 1985.
- [40] 沈国舫.对世界造林发展新趋势的几点看法[J]. *世界林业研究*, 1988(1):21-27.
SHEN G F. Some views on the new trends of plantation forestry in the world[J]. *World Forestry Research*, 1988(1):21-27.
- [41] 谢念,张可佳.云南文山:近3000万亩桉树,灾难还是奇迹[N/OL]. *中国青年报*, 2004-07-09[2017-12-25]. <http://www.people.com.cn/GB/shehui/8217/34282/34284/2628396.html>.
- XIE N, ZHANG K J. Wenshan Yunnan: Nearly 3000 million mu *Eucalyptus*, disaster or miracle [N/OL]. *China Youth News*, 2004-07-09[2017-12-25]. <http://www.people.com.cn/GB/shehui/8217/34282/34284/2628396.html>.
- [42] 张洪.警惕“绿色荒漠化”[N/OL]. *中国绿色时报*, 2004-07-19(2)[2017-12-25]. http://www.greentimes.com/greentimepaper/html/2004-07/19/content_3064728.htm.
- ZHANG H. Vigilant “green desertification”[N/OL]. *China Green Times*, 2004-07-19(2)[2017-12-25]. http://www.greentimes.com/greentimepaper/html/2004-07/19/content_3064728.htm.
- [43] 庞正轰.巴西桉树人工林考察报告[J]. *广西林业*, 2006(5):39-41.
PANG Z H. Investigation report of *Eucalyptus* plantations in Brazil[J]. *Guangxi Forestry*, 2006(5):39-41.
- [44] 张磊,熊涛,王建忠,等.广西东门林场桉树无性系选育研究概述[J]. *桉树科技*, 2015, 32(1):45-49.
ZHANG L, XIONG T, WANG J Z, et al. *Eucalyptus* clonal breeding at Guangxi Dongmen Forest Farm[J]. *Eucalypt Science & Technology*, 2015, 32(1):45-49.
- [45] 惠刚盈,赵中华.森林可持续经营的方法与现状[J]. *世界林业研究*, 2008, 21(特刊):1-8.
HUI G Y, ZHAO Z H. Methods and status of forest sustainable management[J]. *World Forestry Research*, 2008, 21(Sep):1-8.
- [46] 惠刚盈,胡艳波,徐海.结构化森林经营[M].北京:中国林业出版社, 2007.
HUI G Y, HU Y B, XU H. *Structure based forest management*[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2007.

(责任编辑:陆雁)