

竹林培育研究进展

范少辉, 刘广路, 苏文会, 蔡春菊, 官凤英

(国际竹藤中心, 竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102)

摘要: 本文从竹林培育基础研究、育苗技术和经营技术三方面较系统的总结了我国竹林培育研究的主要进展。我国竹林培育研究处于国际领先水平,但同时也面临着诸多挑战,如区域间竹资源培育水平不平衡,科技创新与生产结合不够紧密,经营成本不断上升,对竹林培育的新需求不断出现等。针对竹林培育面临的主要挑战,提出今后竹林培育应以加强竹子基础生物学和遗传控制技术研究、挖掘具有特色与经济开发潜力的竹种、加强种苗高效繁育技术和竹林高效经营技术研究等为发展方向和研究重点,为竹林培育的健康发展提供有力的科技支撑。

关键词: 竹林培育; 主要进展; 挑战和对策; 重点和方向

中图分类号: S718.45

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2018)01-0137-08

Advances in Research of Bamboo Forest Cultivation

FAN Shao-hui, LIU Guang-lu, SU Wen-hui, CAI Chun-ju, GUAN Feng-ying

(Key Laboratory for Bamboo and Rattan, International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China)

Abstract: This article reviews some progresses in basic theory, nursery technology and management technology of bamboo forest cultivation. China is at the leading position in bamboo cultivation and technology research. Meanwhile, the bamboo forest cultivation level in China is imbalanced among different areas, the technological innovation is less applied in production, the management cost is rising, and more demands about bamboo forest cultivation are appearing. In order to solve the main challenges in the cultivation of bamboo forest, the authors put forward the development directions and research emphasis as references for the healthy development of bamboo forest, such as strengthening the research in bamboo basic biology and genetic control technology, selecting more characteristic and economic potential bamboo species, strengthening high efficient breeding techniques of seedlings and high operation techniques of bamboo forest, etc.

Keywords: bamboo forest cultivation; advances; challenge and countermeasure; focus and direction

竹林培育学科是林学学科的一个分支,20世纪50年代,我国著名生态学家熊文愈教授率先在国内运用生态学理论,系统地开展竹林科学培育研究,是我国竹林科学培育的奠基人^[1]。20世纪60年代,随着对竹资源需求的不断增加,开展了一系列竹林丰产栽培技术研究,并取得重要成果。1974年,熊文愈教授和周芳纯教授合作撰写出版了《竹林培育》专著^[2],为我国竹林丰产培育研究奠定了基础。

薛纪如先生对云南竹类资源进行了大量的调查和研究,成绩卓著,成为国内外竹类研究领域的权威专家,为云南竹类资源的合理开发利用奠定了基础^[3]。随着竹产业的发展,国家对竹林培育的支持力度加大,“八·五”以来,国家持续在科技攻关计划(国家科技支撑计划、国家重点研发计划)中对竹林培育基础和技术进行了资助,竹林培育学科得到了迅速的发展。我国竹产区主要大学和科研机构都成立了专

门的竹林培育研究团队,在“毛竹丰产培育”、“雷竹笋用林覆盖经营”、“竹林生态经营”等技术方面取得重要进展,大幅度提高了林地的产出效益,受到经营者的认可和肯定。同时,《竹林培育学》^[4]、《世界竹藤》^[5]等一批具有较大影响力的著作先后出版,推动了竹林培育学的发展。

进入21世纪,世界林业发展趋势发生了很大变化,林业的发展由以木材为中心的传统林业向以生态建设为中心的现代林业转变,竹林培育的中心也由单纯的“经济效益”向“生态效益与经济效益兼顾”方向发展。第一个总部设在中国的非赢利性政府间国际组织—国际竹藤组织(INBAR),为我国竹林培育的发展提供了更大的舞台,国际竹藤中心作为直接服务于INBAR的国际性竹藤科学研究平台的成立,也为我国竹林培育的理论研究与实践注入了新的活力。然而,我国竹林培育技术在取得一系列重大进步的同时,也遇到了劳动力成本上升,传统的培育技术越来越不能满足人民群众对竹林多种效益的需求等问题,竹林培育研究面临着一系列的机遇和挑战。

1 竹林培育基础研究不断深入

1.1 竹子生物学特性研究

1.1.1 鞭根结构 20世纪80年代起,国内众多学者开展了对毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carr.) J. Houz.)林地下竹鞭的研究^[6-8],探明了毛竹林竹鞭的分布特征^[9],揭示了常规经营措施^[10-12]和混交经营^[13-14]对毛竹鞭根系统生长的影响。近年来,随着对毛竹林扩展生态学意义关注度的提高,有关毛竹扩展对鞭根系统功能性状和土壤异质性的影响研究增多,初步揭示了毛竹扩展过程中鞭根变化策略和对异质性土壤的影响^[15-16]。从鞭根研究的方法方面,研究手段从原来的标准样方“挖掘法”,发展为根系生长原位监测法和标准样方“挖掘法”结合应用,研究手段的进步,有效的促进了竹林地下鞭根系统的研究^[17]。

1.1.2 竹种筛选 在对毛竹等传统经济竹种开展持续研究的基础上,加大了对一些利用水平较低、具有潜在经济价值竹种的生物学特性研究,尤其是一些具有良好笋用和材用应用前景的丛生竹种。笋用竹方面,筛选了龙竹(*Dendrocalamus giganteus* Munro)、绿竹(*Dendrocalamopsis oldhami* (Munro) Keng)、麻竹(*Dendrocalamus latiflorus* Munro)、苦绿竹(*Bam-*

busa basihirsuta McClure)等一批优良笋用竹种^[18-21];材用竹种方面,筛选了硬头黄竹(*Bambusa rigida* Keng et Keng f.)、大木竹(*B. wenchouensis* (Wen) Q. H. Dai)、车筒竹(*B. sinospinosa* McClure)等一批优良的材用竹种^[22-27];观赏竹种方面,筛选了佛肚竹(*B. ventricosa* McClure)、菲白竹(*Pleioblastus fortunei* (Van Houtte ex Munro) Nakai)、箬竹(*Cephalostachyum pergracile* Munro)、花巨竹(*Gigantochloa verticillata* (Willd.) Munro)、青丝黄竹(*Bambusa eutuldoides* McClure var. *viridi-vittata* (W. T. Lin) Chia)、花毛竹(*Phyllostachys heterocycla* cv. *Tao Kiang*)等一批优良的观赏竹种,并对其生长规律、生态学特性、环境净化等效用进行了研究^[28-31],扩大了竹种资源的利用。

1.1.3 竹林生物量 竹林生物量是衡量竹林产量的有效指标,当前对典型的散生竹和丛生竹生物量均有较系统的研究。毛竹是我国分布最广、面积最大的竹种,有关毛竹生物量的研究最充分。研究表明,毛竹纯林比毛竹混交林具有更高的竹秆产量,可以获得更高的秆材收益^[32]。为了准确的估测毛竹林的碳储量,不同学者在我国毛竹的主要分布区域浙江^[33]、湖南^[34]、四川^[35]、福建^[36]等地均开展了碳储量估算研究。近年来,丛生竹生物量估算也有较多的研究,先后建立了撑绿竹(*Bambusa pervariabilis* × *Bambusa grandis*)、硬头黄竹、慈竹(*Bambusa emeiensis* L. C. Chia et H. L. Fung (Rendle) McClure)^[37-38]、车筒竹^[39]等竹种的生物量优化模型,提高了对丛生竹产量和生物量的预测能力。与散生竹相比,丛生竹的生长周期更短,1~2年生就可成材利用,产材量更高,具有“高产、高效、经济”的特点^[40]。

1.2 竹林培育生态学特性研究

1.2.1 林分结构与竹林生长 自20世纪80年代起,国内外学者从竹林生产力、系统生态功能和稳定性等角度对竹木混交林进行了大量的研究。毛竹混交林土壤的微生物含量、底物的利用效率高于毛竹纯林,当混交林被改造成毛竹纯林后生产量先上升后下降^[41],土壤密度增加,土壤质量降低^[42],林下植被生物量减少,养分归还能力降低^[43-44]。长期的纯林化经营可能导致林地生产力下降,竹林严重衰退^[45]等后果。

1.2.2 林地质量与竹林生长 竹林的生长受林地质量的制约。在立地因子中,土壤起着重要的作用,

土壤的物理、化学性质和土层的厚度在一定程度上决定了竹林的生产力。成土母质、土壤类型、地貌、坡位、坡向、坡形对土壤肥力有重要的影响^[46],研究表明,主要立地因子对竹林生产力的影响排序为土壤厚度、腐殖质层厚度、土壤磷含量和紧实度^[47]。土壤质量不仅影响竹林产量,对竹笋的品质^[48-51]和竹秆的形态^[52]有重要影响。通过大量的竹林生长与土壤质量的研究,初步揭示了林地质量对竹林生长的影响机制。当前,有关竹林立地质量分级的研究较少,需要进一步研究。

1.2.3 竹林养分归还 毛竹林每年进行冬春笋采挖、竹材采伐作业,其高强度利用和短轮伐期的作业特点决定了竹林每年有大量的养分元素流失,有研究表明,年带出林分的生物量占总生物量的25.64%,N、P、K、Ca、Mg等五大养分移出量占植被养分总量的29.57%^[53]。竹林养分归还主要通过凋落物分解完成,竹林凋落物主要由竹叶、竹枝、箨叶和其它碎屑组成,其中,竹叶量占枯落物总量的60.0%~71.5%,箨叶占枯落物总量的15.6%~22.0%^[54]。经营措施可加快凋落物的分解,一方面可加快竹林养分归还速度,另一方面可能造成有机质的衰竭,损害立地可持续生产能力^[55]。毛竹凋落叶和其它混交树种凋落叶混合后能提高分解速率,毛竹凋落叶占比80%左右时,凋落物分解速率最快^[56]。

1.3 竹子生理学特性研究

1.3.1 竹子光合生理特征 竹子光合生理的研究对象不断扩大,对毛竹、雷竹(*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao 'Prevernalis')、麻竹、绿竹、慈竹、孝顺竹(*Bambusa multiplex* (Lour.) Raeusch. ex Schult.)、倭竹(*Shibataea kumasasa* (Zoll. ex Steud.) Makino)等典型竹种都进行了较系统的光合生理研究,阐明了这些典型竹种光合作用的日变化、年变化规律^[57]。竹子的光合速率日变化通常为双峰曲线,具有明显的光合“午休”现象^[58-62],但是铺地竹(*Sasa argenteostriatus* E. G. Camus)、菲白竹、鹅毛竹(*Shibataea chinensis* Nakai)、黄条金刚竹(*Pleioblastus kongosanensis* f. *aureostriatus*)等4种地被竹在11月份时为“单峰型”曲线^[63],无“午休”现象。植物“午休”的主要限制因子为气孔导度的降低^[64],在竹子叶片“午休”期间,相对湿度变小,环境温度升高,CO₂浓度降低。湿度饱和差的增加会加速蒸腾作用,降低叶片水势;温度的升高,CO₂浓度降低会

影响气孔的开张和净光合速率^[65-67]。不同产地、林龄、叶龄的毛竹光合作用存在差异,对周围的空气湿度敏感^[66]。此外,同株竹子新叶与老叶净光合速率差异明显,其原因是新叶有较高的生理活性。

1.3.2 养分调控与竹林生长 植物叶片养分含量在一定程度上能反映土壤养分状况,毛竹叶片除具有较高的养分含量之外,对林分土壤养分的变化敏感^[68-69],且能影响毛竹次年的新竹产量^[70]。毛竹生长主要受N、P、K等大量元素的影响,毛竹叶片N、P、K三要素动态变化对毛竹出笋、成竹具有重要影响,1年生叶(新叶)的N、P、K浓度高于2年生叶,并与竹林生产力密切相关。毛竹叶片营养还与植物体内部生理指标如叶绿素等有很强的内在联系,从而影响毛竹的生理代谢强度。毛竹叶片主要养分元素的变化随毛竹生长周期的变化呈规律性变化^[71]。大年和小年毛竹器官各养分含量差异较大,其中,小年毛竹叶中N、P、K含量显著高于大年,加强施肥管理等措施,可以将大小年毛竹林改变为年年出笋成竹的花年毛竹林^[69]。

2 竹子育苗技术取得突破

2.1 丛生竹育苗技术研究

传统的丛生竹育苗手段主要包括种子育苗、埋秆育苗、埋节育苗、枝条扦插育苗等方法,近年来丛生竹育苗研究对象不断扩大。云南境内近20个丛生竹种的无性繁殖育苗试验表明,采用节间切口埋秆法(包括带节和不带节)和竹苗分株育苗法,其育苗成活率可达70%以上;龙头竹(*Bambusa vulgaris* Schrader ex Wendland)、黄金间碧玉(*B. vulgaris* cv. *Vittata*)、佛肚竹、绵竹(*B. intermedia* Hsueh et Yi)等,用枝条扦插法育苗能获得较高的成活率;生长素类药剂对龙竹、慈竹等竹种的次生枝以及黄金间碧玉、油勒竹(*B. lapidea* McClure)、甜龙竹(*Dendrocalamus brandisii* (Munro) Kurz)的主枝有促进生根的作用^[72];绿竹、黄竹(*Dendrocalamus membranaceus* Munro)以带节斜埋育苗为好,造林以斜埋或平埋方法为宜^[73];车筒竹以埋双节育苗方法效果最好,出苗后基本全部成竹,成竹率达97.9%^[26];还有一些学者分别对青皮竹(*Bambusa textilis* McClure)、甜龙竹、龙竹、绿竹、麻竹等^[69-73]进行了育苗方面的相关研究。除丛生竹传统育苗方法外,组培育苗等适合现代规模化生产的育苗方法也取得了较大进展,已建立了慈竹、小佛肚竹、小蓬竹(*Drepanostachyum lu-*

odianense (Yi et R. S. Wang) Keng f.) 与翠竹(*Sasa pygmaea* (Miq.) E.-G. Camus) 等竹种的愈伤组织再生体系。

2.2 散生竹育苗技术研究

散生竹的开花机率没有丛生竹的高,能得到可育种子很少,所以无性繁殖是散生竹育苗的主要手段。此外,散生竹的地上部分不具备休眠芽,扦插和埋节育苗比较困难,无性繁殖主要依赖竹鞭上的休眠芽,需采用埋鞭育苗。散生竹具有横走地下的竹鞭,鞭节上的休眠芽是繁殖的重要器官,利用鞭段育苗造林是比较成熟和传统的方法。用于造林的竹鞭以2~3年生健壮的竹鞭为宜,春季2—3月挖鞭和埋鞭,能够提高造林成活率。近年我国部分地区毛竹林开花结实,科研工作者利用毛竹种子开展了毛竹诱变育种研究。当⁶⁰Co γ 射线辐照剂量低于100 Gy时,辐照能加快种子萌发进程,提高发芽率^[74]; ¹³⁷Cs γ 射线和NaN₃对毛竹种子的半致死剂量和浓度分别为95.5 Gy和0.16 mmol·L⁻¹,可以将其作为毛竹种子适宜的诱变剂量^[75]。但目前,国内外尚未有通过诱变育种获得竹子以及其他竹类植物新品种的报道,应继续加强毛竹辐射诱变育种的研究。

3 竹林经营技术日臻完善

3.1 竹林经营目标研究

人工林经营正在由高度商品化利用、生态保护、多功能利用等阶段,进入到可持续经营阶段,人工林可持续经营技术成为当前的研究重点。现阶段竹林经营技术,尤其是毛竹林经营技术经过几十年的科研积累,在林地管理和林分结构调整等方面形成了一套操作简便、见效快的实用丰产栽培技术,毛竹林混交经营、少耕、配方施肥等兼顾毛竹林生态效益的经营技术也取得了一定进展,在保障系统生态安全的基础上,充分发挥竹林经济效益的经营技术和模式仍是竹林培育技术研究的重点和方向。为了兼顾保护和利用的问题,分类经营是当前比较主要的经营方式。竹林的分类经营按照目标通常分为三大经营类型,包括以获取最大经济效益为目标的竹林经营类型,如材用竹林、笋竹(材)两用林、笋用竹林、特用竹林等;以获取最大化生态效益为目标的竹林经营类型,如水源涵养竹林和水土保持竹林等;以获取最大化社会效益为目标的竹林经营类型,如森林公园竹林、自然保护区竹

林、竹林康养林等^[76]。

3.2 竹林精准经营技术研究

3.2.1 林地营养管理 营养管理是以提高林分生产力为目标,通过平衡养分等手段维持地力的集约经营措施,是提高林分生产力、取得更大经济效益的重要手段,通常以施肥技术为核心内容^[77]。有关竹林营养管理的研究较多,成果较丰富^[78-82]。顾小平^[83]采用肥料效应函数法建立了N、P、K施肥与毛竹林产量相对生长方程和N、P、K施肥及留竹密度与毛竹林产量间的回归模型之间的效应模型,为毛竹林配方施肥技术提供了理论参考;郭晓敏等^[50]以生态系统养分平衡理论为指导,对集约经营毛竹林平衡施肥技术和养管理理论作了系统研究,完善了毛竹林平衡施肥理论和技术;苏文会等^[84]核算了毛竹不同生长阶段对养分的准确需求量,建立了基于养分积累规律的毛竹林定点、定时、定量的营养精准管理技术。有学者对毛竹不同生长阶段根际土壤化学性质、酶活性等动态变化进行了研究,表明毛竹生物量与毛竹根区大量元素、土壤酶及有机质显著相关^[85],毛竹根区施肥可以提高肥效。丛生竹施肥通常根据经营目标和生长特点采取多次施肥的方法,施肥时间^[86]、施肥数量、施肥方式和肥料配比^[87-94]对丛生竹的生长都有重要影响,进行氮、磷、钾配比施肥具有显著的增产和提高经济效益的效果。施肥还可以改变丛生竹竹笋的品质,有研究表明,施肥可明显提高绿竹笋产量和笋内含营养物含量(糖含量降低),在肥料的选用上,应以有机肥为主,适时适量配合无机肥或复合肥施用^[95]。

3.2.2 林分结构调控 林分结构主要包括树种结构、密度结构、年龄结构等方面,竹木混交是一种较好的竹林经营模式。有关树种最佳组成比例的研究结果不一致,竹阔混交比例为8:2的竹阔混交林具有较强的土壤自肥能力^[96],阔叶树比例为25%~35%的竹阔混交林综合效益最高^[97]。混交树种的选择对竹木混交林的生长也有重要的影响,丝栗栲(*Castanopsis fargesii* Franch)、拟赤杨(*Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino)、枫香(*Liquidambar formosana* Hance)、南酸枣(*Choerospondias axillaris* (Roxb.) Burt et Hill)、桤木(*Alnus cremastogyne* Burk.)、木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)、杨梅(*Myrica rubra* (Lour.) S. et Zucc.)等树种是毛竹林常见的伴生树种。密度对竹林的更新和生长具有重要的作用,毛竹林合理密度随经营目的、经营措

施、立地条件的不同而不同。立地条件好的毛竹林密度为2 700~3 000株·hm⁻²时可取得较好的综合效益;在立地条件较差的林地适当留养大龄毛竹,维持系统稳定性。20世纪80年代初,周芳纯^[54]对毛竹林地上的结构做了较系统的研究,提出了毛竹林丰产的合理群体结构应贯彻“纯、密、匀、齐、壮、大”六字方针,提倡“留三砍四莫留七”的原则,即留养三度以下竹,砍伐四度以上竹。随着竹材加工工艺的提升及市场需求的改变,当前毛竹林采伐年龄提前,针对集约经营的材用林,采用“留二砍三莫留五”,即留养二度竹,砍伐三度以上竹;针对碳贮量和特殊生态目标的竹林,应适当保留大龄竹子,年龄结构宜采用3:3:3:1。丛生竹通常2~3年生竹秆即可利用,纸浆用丛生竹的利用年龄可以更短。近年来,纸浆用丛生竹“超短轮伐期经营技术”、材用丛生竹“丛生竹结构精确调控技术”的研发,极大的地提高了丛生竹的生产力。

3.3 定向培育技术体系构建

定向培育技术是依据经营目标和林分主产品生产的不同以获取最大化经营效益而采用的特定内容和量化的经营技术。就竹林而言,通过掌握目标竹种的生物学特性、生长特点和发育规律,借助林分结构调整、合理留笋养竹和砍伐抚育等手段,提高林分综合价值。在一定条件下,定向培育技术是竹林能否发挥其最大效益的决定性因素。目前,我国学者针对不同的立地条件和经营目标,研发了一系列专用的竹林培育技术,如竹林生态经营、竹林健康经营、毛竹林高效经营、丛生竹高效培育、纸浆用丛生竹短轮伐期培育、竹林复合经营、毛竹碳储林经营、竹林覆盖经营、沿海防护林营造等技术,构建了较为完备的竹林定向经营技术体系,在生产中得到广泛应用和推广。

4 竹林培育研究面临的机遇和挑战

4.1 对绿色无公害食品需求增加,促进竹笋培育技术进步

消费者对天然、安全和健康食品消费的需求日益增加。竹笋作为一种美味可口的天然绿色食品,得到国内外消费者的喜爱,消费市场逐年扩大。我国是世界上最大的竹笋加工基地和出口国,研发无公害竹笋培育技术是保持我国竹笋产业竞争优势和增加优质竹笋供给的重要保障。以笋用竹林为对象,开展以养分精准管理、功能性竹笋培育和竹笋机

械化采收为主要内容的笋用竹林无公害高效培育技术研究,是今后笋用竹林培育的重要发展方向,可以解决笋用竹林地退化、土壤污染风险加大、竹笋采收困难等问题。

4.2 劳动力成本不断升高,促进竹林培育技术的机械化发展

劳动力成本不断增加,已经成为制约竹林培育及产业发展的重要因素。改变传统的劳动密集型竹林培育模式,提高竹林培育效率成为亟待解决的科学问题。开展以提高竹林抚育质量、创新采伐技术为核心内容的竹林优质增效集约经营技术研究,提高材用竹林经营的集约化、规模化、机械化水平,是破解经营成本不断上升难题的重要方法。

4.3 对生态环境的日益关注,促进竹林生态经营技术发展

竹林主要分布在亚热带和热带山区,具有充沛的雨水,加之部分地区过分追求经济效益,造成水土流失加重,竹林生态效益降低等问题。随着人们对生态环境关注度的增加,如何在大规模高效培育和利用竹林资源的同时,维持竹林的生态功能至关重要。改变传统的竹林经营方式,制定基于生态经营策略的竹林地管理制度,筛选具有较高经济效益和生态效益的竹林经营模式,研发竹林生物多样性保育技术措施,探索竹林固碳增汇关键技术等显得尤为重要。

4.4 竹资源培育水平区域差异明显,竹资源经营具有较大的提升空间

竹资源是我国森林资源的重要组成部分,提高我国竹林的总体培育水平,增加竹资源的有效供给可有效缓解我国木材的供需矛盾。我国竹林资源培育水平存在着明显的区域差异,浙江、福建竹林培育水平总体较高,初步实现了规模化、产业化发展,形成了具有区域特色的优势产业带和比较完善的产业链;但大部分地区的竹林经营水平总体较低,大面积的竹林处于粗放经营状态,推动低产竹林改造,可有效提高竹林资源培育的总体水平,增加竹资源的供给能力。

4.5 林权制度改革为竹林高效培育提供了充足的动力

我国竹林分布区基本完成了林权制度改革。竹农真正成为了山林的主人,将极大地激发林农的竹林经营热情,为社会提供更多的竹产品供给,从而减少对生态林的破坏,提高竹林的可持续经营水平。

随着林权制度改革的深入和主管部门对竹产业重视程度的增加,资金及技术支持力度加大,基础设施不断完善,竹产业发展对竹资源的需求增加,高效的培育竹林将受到越来越多的重视。

5 竹林培育研究重点和方向

5.1 加强竹林培育基础科学研究

竹子是一种典型的克隆植物,散生竹、丛生竹和混生竹具有不同的克隆生长特性,竹林通过克隆生长拓展生存空间,适应异质性环境,但竹林扩展对原生系统的影响机制还不清晰,需要长时期的定位评估;竹子没有次生分生组织,通过居间分生组织快速生长,其快速生长的机制和机理应进一步研究;竹子开花是竹子生活史的重要一环,揭示开花机制和影响因子是当前重要的科学问题;土壤养分库及其有效性对竹林的生产力和种群动态有重要的影响,土壤养分库的动态变化和植被间的养分互动过程需要加强研究。

5.2 提升竹林高效培育和集约化经营技术

随着劳动力成本的升高,竹林培育成本不断上升,成为竹产业发展的重要制约因素。研发材用竹林高效培育技术,实现竹林经营的规模化、机械化和省力化是解决劳动力成本上升的关键因子。竹林培育研究应通过筛选适用于材用竹林基于机械采收的培育技术模式,熟化结构调控、养分管理等培育技术,提升竹林经营的集约化水平,实现竹资源经营从粗放到集约、从分散到集中的转变。

5.3 加强经济和生态效益兼顾的竹林高产低耗经营技术研究

当前,部分人工经营竹林出现了盲目施用化肥导致土壤质量下降、产量报酬递减、林分质量、生态系统稳定性和抗逆性降低等一些共性和急需解决的问题。改变竹林经营以经济收益为中心的经营理念,建立经济效益和生态效益兼顾的竹林高产低耗经营体系,可有效解决竹林经营中经济产量和生态功能不能很好兼顾的难题,在增加竹林经济效益的同时,充分发挥竹林生态功能,为产业的健康、协调发展增加助力。

5.4 加强特色竹种开发利用及培育技术

当前,我国最常用的竹种主要包括毛竹、雷竹、寿竹、绿竹、麻竹、龙竹、甜龙竹、黄竹、硬头黄竹、慈竹、大木竹、车筒竹等20余个竹种,还有很多具有特色、具有经济发展潜力的竹种,随着社会对产

品个性化需求不断加强,具有特色的竹种会越来越受到消费者青睐,其专用的培育技术也应得到相应的发展。

5.5 加强竹苗高效繁育技术研究

当前,散生竹育苗主要包括移鞭育苗和种子育苗,丛生竹繁殖主要依靠无性繁殖,部分地区近年丛生竹出现开花现象,可以开展丛生竹种子育苗技术研究。工厂化育苗是林业现代化的重要组成部分,通过应用组培技术和严格的环境控制,实现机械化生产,高效高质的生产苗木,从而提高造林成活率,解决困难地区造林难题。但是,竹子组培育苗尤其是散生竹组培育苗还存在很多的制约因素,需要深入、系统的研究,建立竹子种苗高效繁育技术体系。

5.6 开展优良竹种遗传控制技术研究

在我国主要人工林树种中,人工林的营造基本上可以根据预定的培育目标和立地条件选择优良种源与品系,获得更高的产出。我国应用的竹子种类虽然较多,但筛选的良种极少,育种进程与其它主要造林树种相比相对滞后,今后应加强优良竹种的选育和种质创制研究,实现优良竹种的遗传控制。

5.7 集成创新竹林可持续经营技术体系

竹林是我国一种特殊的森林资源,实现竹林的可持经营是我国可持续发展战略基本要求。虽然竹林经营已经在分类经营、精准经营和定向经营等方面取得了较好的成果,但是社会需求不断变化、集体林权改革等新的政策不断出现,要求在竹林资源的培育、生产、保护等方面形成新的技术体系。在已有竹林经营技术基础上,集成创新竹林可持续经营技术体系,维持竹林生物多样性、生产力、更新能力和活力,是竹林实现可持续经营的关键。

我国竹子种类丰富,不同的竹种生长特性不同,开展竹子基础生物学和优良竹材遗传控制技术研究是今后研究的重点。当前,我国主要利用的竹种大约20余种,既包括毛竹等我国分布广泛的主要材用竹种,也包括绿竹等特色笋用竹种。针对当前已经规模化经营的竹种需要研发竹林高效培育和集约化经营技术,实现竹资源培育的机械化、规模化、省力化;针对具有特殊生态要求的竹林,需要研发经济和生态效益兼顾的竹林高产低耗经营技术,有效解决竹林经营中经济产量和生态功能不能很好兼顾的难题。随着社会对产品个性化需求增加,应开发特色且有发展潜力的竹种,为我国竹产业的健康发展提

供坚实的资源保障和科技支撑。

参考文献:

- [1] 熊文愈. 森林学[M]. 北京:中国林业出版社,1959.
- [2] 熊文愈,周芳纯. 竹林培育[M]. 北京:中国林业出版社,1973.
- [3] 薛纪如,易同培. 我国西南竹类植物二新属—香竹属和箬竹属[J]. 云南植物研究, 1979,1(1):106-114
- [4] 周芳纯. 竹林培育学[M]. 北京:中国林业出版社,1998.
- [5] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2002.
- [6] 周建夷,胡超宗,杨廉颇. 笋用毛竹丰产林地下竹鞭的调查[J]. 竹子研究汇刊, 1985,4(1):57-65.
- [7] 周本智,傅懋毅. 竹林地下鞭根系统研究进展[J]. 林业科学研究, 2004,17(4):533-540.
- [8] 郑郁善,洪伟,陈礼光,等. 毛竹丰产林竹鞭结构特征研究[J]. 林业科学, 1998,34(专刊1):52-59.
- [9] 汪奎宏,张培新. 毛竹笋用丰产林地下鞭根系统调查分析[J]. 竹子研究汇刊, 2000,19(1):38-43.
- [10] 董建文,张兴正. 不同土壤管理措施的毛竹扩鞭效果研究[J]. 江西农业大学学报, 2000,22(1):37-40.
- [11] 余林. 毛竹垦复影响竹鞭生长效果分析[J]. 安徽林业科技, 2009(1):26-27.
- [12] 周文伟. 垦复对毛竹林鞭系生长影响的研究[J]. 竹子研究汇刊, 1995,14(3):30-35.
- [13] 郑郁善,王舒凤. 毛竹混交林鞭系结构特征的研究[J]. 竹子研究汇刊, 1999,18(4):30-34.
- [14] 郑郁善,王舒凤. 杉木毛竹混交林的毛竹地下鞭根结构特征研究[J]. 林业科学, 2000,36(6):69-72.
- [15] 刘骏,杨清培,宋庆妮,等. 毛竹种群向常绿阔叶林扩张的细根策略[J]. 植物生态学报, 2013,37(3):230-238.
- [16] 宋庆妮,杨清培,刘骏,等. 毛竹扩张对常绿阔叶林土壤氮素矿化及有效性的影响[J]. 应用生态学报, 2013,24(2):338-344.
- [17] 周本智. 基于小观察窗技术的竹林地下系统动态研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2006.
- [18] 王裕霞,张光楚,李兴伟. 优良丛生笋用竹及杂种竹竹笋品质评价的研究[J]. 竹子研究汇刊,2005,29(4):39-44.
- [19] 杨校生,谢锦忠,马占兴,等. 17种丛生竹笋的感官与营养品质评价[J]. 林业科技开发,2001,15(5):16-18.
- [20] 高瑞龙,林忠平,王杰铃. 绿竹笋及幼竹的生长动态[J]. 亚热带植物通讯,2000,29(2):27-30.
- [21] 郑荣妹,郑郁善,张梅,等. 盐分胁迫对沿海绿竹光合作用及叶绿素的影响[J]. 竹子研究汇刊,2002,21(4):76-80.
- [22] 普晓兰. 巨龙竹生物学特性的研究[J]. 南京林业大学学报, 2004,28(2):93.
- [23] 苏文会,顾小平,岳晋军,等. 大木竹秆形结构的研究[J]. 林业科学研究, 2006,19(1):98-101.
- [24] 彭颖,苏文会,范少辉,等. 车筒竹·箬竹和越南巨竹的力学性质研究[J]. 安徽农业科学, 2010,38(10):5086-5088.
- [25] 苏文会,范少辉,刘亚迪,等. 车筒竹地上生物量分配格局及秆形特征[J]. 浙江农林大学学报, 2011,28(5):735-740.
- [26] 苏文会,范少辉,彭颖,等. 车筒竹、箬竹和越南巨竹竹材的纤维形态与组织比量[J]. 浙江农林大学学报, 2011,28(3):386-390.
- [27] 苏文会,范少辉,余林,等. 3种丛生竹化学成分与纤维形态研究[J]. 中国造纸学报, 2011,26(2):1-5.
- [28] 陈双林,杨清平,汤定钦. 小佛肚竹出笋及竹笋—幼竹高生长规律[J]. 浙江林学院学报,2006,23(6):647-650.
- [29] 赵兰,邢新婷,江泽慧,等. 4种地被观赏竹的抗旱性研究[J]. 林业科学研究,2010,23(2):221-226.
- [30] 洪茜. 18种观赏竹净化环境功能研究[D]. 福州:福建农林大学,2014.
- [31] 潘瑞,涂志华,李炎梅,等. 人面竹等10种观赏竹冬季滞尘效应与规律研究[J]. 中国农学通报,2012,28(7):270-275.
- [32] 范少辉,刘广路,苏文会,等. 闽西北不同类型毛竹林生物量分布格局[J]. 安徽农业大学学报,2011,38(6):842-847.
- [33] 周国模,姜培坤. 毛竹林的碳密度和碳贮量及其空间分布[J]. 林业科学, 2004,40(6):20-24.
- [34] 肖复明,范少辉,汪思龙,等. 毛竹(*Phyllostachy pubescens*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林生态系统碳贮量及其分配特征[J]. 生态学报, 2007,27(7):2794-2801.
- [35] 何亚平,费世民,蒋俊明,等. 长宁毛竹和苦竹有机碳空间分布格局[J]. 四川林业科技, 2007,(5):10-14.
- [36] 漆良华,刘广路,范少辉,等. 不同抚育措施对闽西毛竹林碳密度、碳贮量与碳格局的影响[J]. 生态学杂志,2009,28(8):1482-1488.
- [37] 周益权. 纸浆用丛生竹林的出笋成竹规律与结构调控技术研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2010.
- [38] 张大鹏. 川南退耕竹林水土保持功能研究与综合评价[D]. 北京:中国林业科学研究院,2012.
- [39] 苏文会,彭颖,范少辉,等. 车筒竹不同育苗方法比较研究[J]. 竹子研究汇刊, 2011,30(2):10-14.
- [40] 丁雨龙. 竹类植物资源利用与定向选育[J]. 林业科技开发, 2002,16(1):6-8.
- [41] 陈双林,杨伟真. 我国毛竹人工林地力衰退成因分析[J]. 林业科技开发,2002,16(5):3-6.
- [42] 楼一平,吴良如,邵大方,等. 毛竹纯林长期经营对林地土壤肥力的影响[J]. 林业科学研究,1997,10(2):125-129.
- [43] 盛炜彤,范少辉. 杉木及其人工林自身特性对长期立地生产力的影响[J]. 林业科学研究,2002,15(6):629-636.
- [44] 杨玉盛,陈光水,何宗明,等. 杉木观光木混交林和杉木纯林群落细根生产力、分布及养分归还[J]. 应用与环境生物学报, 2002,8(3):223-233.
- [45] 郑成洋,何建源,罗春茂,等. 不同经营强度条件下毛竹林植物物种多样性的变化[J]. 生态学杂志,2003,22(6):1-6.
- [46] 彭九生,黄小春,程平,等. 江西毛竹林土壤肥力变化规律初探[J]. 世界竹藤通讯,2003,1(4):37-42.
- [47] 聂道平,朱余生,徐德应. 林分结构、立地条件和经营措施对竹林生产力的影响[J]. 林业科学研究,1995,8(5):564-569.
- [48] 刘明池. 竹笋的营养价值与食用方法[J]. 蔬菜,2002(2):40.
- [49] 程晓阳,方乐金,詹鸿章,等. 立地条件对毛竹实生林生长发育影响的研究[J]. 世界竹藤通讯,2004,2(4):26-27.
- [50] 郭晓敏,牛德奎,张斌,等. 集约经营毛竹林平衡施肥效应研究[J]. 西南林学院学报, 2005,25(4):84-89.

- [51] 陈 鸿. 不同土壤类型绿竹林笋营养特征研究[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(18): 194-195.
- [52] 汪阳东. 人工经营对毛竹秆形结构变异的影响[J]. 林业科学研究, 2001, 14(3): 245-250.
- [53] 刘广路. 毛竹林长期生产力保持机制研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- [54] 周芳纯. 竹林培育和利用[M]. 南京: 南京林业大学竹类研究杂志社, 1998.
- [55] Bowman R A, Reeder J D, Lober R W. Changes in soil properties in a central plains rangeland soil after 3, 20, and 60 years of cultivation[J]. Soil Science, 1990, 150(6): 851-837.
- [56] Shi L, Fan S, Jiang Z, et al. Mixed leaf litter decomposition and N, P release with a focus on *Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houz. forest in subtropical southeastern China[J]. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 2015, 84(2): 207-214.
- [57] 高 健, 刘颖丽, 李 岚. 竹子光合作用研究进展[J]. 世界竹藤通讯, 2006, 4(3): 13-16.
- [58] 郑炳松, 金爱武, 程晓建, 等. 雷竹光合特性的研究[J]. 福建林学院学报, 2001, 21(4): 359-362.
- [59] 张 玲, 曹帮华, 高 健, 等. 5种地被竹光合日变化特性研究[J]. 山东科学, 2009, 22(2): 32-33.
- [60] 陈建华, 毛 丹, 朱 凡, 等. 9个笋用竹种的光合特性[J]. 中南林业科技大学学报, 2008, 28(6): 9-13.
- [61] 黄成林, 赵昌恒, 傅松林, 等. 安徽休宁倭竹光合生理特性的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2005, 32(2): 187-191.
- [62] 陈卫元. 锦竹光合特性的初步研究[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(6): 901-905.
- [63] 刘国华, 王福升, 丁雨龙, 等. 4种地被竹光合作用日变化及光合光响应曲线[J]. 福建林学院学报, 2009, 29(3): 258-263.
- [64] 杨艳珊, 朱 勇, 杨金波. 干旱胁迫下竹子光合作用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(19): 11572-11573, 11575.
- [65] 徐 胜, 李建龙, 宋星刚, 等. 两种草坪型高羊茅光合生理生态机理的研究[J]. 中国草地, 2005(3): 26-30.
- [66] 姜 华, 毕玉芬. 燕麦叶片光合日变化初探[J]. 草原与草坪, 2002(1): 34-37.
- [67] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 86-95.
- [68] 顾小平, 吴晓丽, 汪阳东. 毛竹林氮素营养诊断的研究[J]. 浙江林业科技, 2004, 24(2): 1-4.
- [69] 吴家森, 周国模, 钱新标, 等. 不同经营类型毛竹林营养元素的空间分布[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22(5): 486-489.
- [70] 张献义, 陈金林, 叶长青, 等. 毛竹林养分动态与产量关系的研究[J]. 林业科学研究, 1995, 8(5): 477-482.
- [71] 洪顺山, 胡炳堂. 毛竹营养诊断的研究[J]. 林业科学研究, 1989, 2(1): 15-24.
- [72] 谭洪超, 起禄培. 丛生竹无性繁殖育苗试验[J]. 竹子研究汇刊, 1994, 13(1): 62-73.
- [73] 苏福妹. 丛生竹快速繁殖育苗和造林技术研究[J]. 江西林业科技, 2007(1): 14-19.
- [74] 蔡春菊, 高 健, 牟少华. ⁶⁰Co γ 辐射对毛竹种子活力及早期幼苗生长的影响[J]. 核农学报, 2007, 21(5): 436-444.
- [75] 桂仁意, 刘亚迪, 郭小勤, 等. ¹³⁷Cs γ 辐照和 NaN₃ 处理对毛竹种子发芽率和保护酶活性的影响[J]. 核农学报, 2009, 23(3): 400-404.
- [76] 萧江华. 分类经营, 定向培育, 提高竹林经营效益[J]. 竹子研究汇刊, 2001, 20(3): 1-7.
- [77] Fisher R F, Binkley D. Ecology and management of forest soils [M]. New York: John & Wiley, 2000.
- [78] 王 伟. 笋材兼用毛竹林施肥技术的研究[J]. 生产率系统, 2002(4): 29-31.
- [79] 郭晓敏. 毛竹林平衡施肥及营养管理研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2003.
- [80] 洪 伟, 陈 辉, 吴承祯. 毛竹专用复合肥研究[J]. 林业科学, 2003, 39(1): 81-85.
- [81] 符树根, 黄宝祥, 沈彩周, 等. 毛竹专用肥试验研究[J]. 江西林业科技, 2006(1): 10-12.
- [82] 陈乾富. 毛竹林不同经营措施对林地土壤肥力的影响[J]. 竹子研究汇刊, 1999, 18(3): 19-24.
- [83] 顾小平. 竹林肥培理论与技术研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2000.
- [84] 苏文会. 基于生长和养分积累规律的毛竹林施肥理论与实践研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.
- [85] 张文元. 毛竹根际土壤肥力质量变化及苗期营养管理研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- [86] 齐新民, 吴炳生. 料慈竹人工林施肥试验的经济效益分析[J]. 竹子研究汇刊, 1999, 18(1): 12-15.
- [87] 高培军. 绿竹笋用林丰产机理与栽培技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2003.
- [88] 张国防, 陈 钦. 绿竹山地丰产栽培技术措施优化组合的研究[J]. 经济林研究, 1999, 17(4): 12-14.
- [89] 缪妙青, 林忠平, 毛石禧. 绿竹不同肥料施肥试验[J]. 福建林业科技, 2000, 27(1): 50-52.
- [90] 张文燕, 缪妙青, 林忠平, 等. 绿竹造林及丰产培育技术研究[J]. 林业科学研究, 1999, 12(2): 146-151.
- [91] 林志方, 刘志中, 陈汉章, 等. 施肥对绿竹产笋量影响初报[J]. 闽西职业大学学报, 2002, 4(3): 61-64.
- [92] 洪 伟, 吴承祯, 陈 辉, 等. 山地绿竹配方施肥技术[J]. 福建林学院学报, 2006, 26(1): 1-5.
- [93] 郭宝华, 范少辉, 刘广路, 等. 不同施肥模式对硬头黄竹生长特征的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(7): 45-49.
- [94] 刘广路, 范少辉, 张大鹏, 等. 梁山慈竹生长对养分施入的响应[J]. 四川农业大学学报, 2012, 30(4): 373-378.
- [95] 肖丽霞. 绿竹笋采前品质相关影响因素和采后生理特性研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [96] 李正才, 傅懋毅, 谢锦忠, 等. 毛竹竹阔混交林群落地力保持研究[J]. 竹子研究汇刊, 2003, 22(1): 32-37.
- [97] 廖 军, 张卫栋, 薛建辉, 等. 竹阔混交林混交类型的综合评价[J]. 江西农业大学学报, 2002, 24(3): 346-349.

(责任编辑:徐玉秀)