



陈伏生, 易敏, 马际凯, 等. 中国林木种业发展现状与展望[J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(3): 488–496.

CHEN F S, YI M, MA J K, et al. Current status and future prospective of forest seed industry in China[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2021, 43(3): 488–496.

“十四五”规划特约稿

中国林木种业发展现状与展望

陈伏生¹, 易敏¹, 马际凯¹, 靳藏馥¹, 张露¹, 孙荣喜¹, 郑勇奇²

(1. 江西农业大学 林学院/江西省森林培育重点实验室, 江西 南昌 330045; 2. 中国林业科学研究院 林业研究所, 北京 100091)

摘要: 林以种为本, 林木种业是林业的命脉和促进林业产业升级的原动力。文章总结了我国林木种业发展现状、成效、面临的问题, 分析了国内外林木种业发展趋势, 提出了我国林木种业发展目标、任务和对策。70年来, 林木种业支撑着我国林业产业的提质增效, 在林木种质资源保护、良种基地建设、林木分子育种研究、育种创新及新品种选育等方面取得了实质性进展, 但仍存在现有良种数量和质量难以满足生产需求、林木育种主要集中于少数造林树种、林木长期育种基地建设薄弱, 区域测试基地缺乏等问题。当前, 林木育种正向高产、优质、高抗等多目标方向发展, 林木育种理论和技术发展的核心是提高育种效率。未来我国林木种业需进一步加强林木种质资源保护、加快优良林木品种选育、加强林木良种繁育与推广、强化林木种业科技创新平台建设、分类推进生态抗逆树种、速生用材树种、珍贵树种、经济林木、观赏植物、竹类植物等种业科技工程, 促进我国林木种业的创新发展, 提升现代林木种业竞争力, 服务国家生态文明建设和林业高质量发展。

关键词: 林木; 种业; 育种; 良种繁育; 林业产业

中图分类号: S722 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2021)03-0488-09

Current Status and Future Prospect of Forest Seed Industry in China

CHEN Fusheng¹, YI Min¹, MA Jikai¹, JIN Zangfu¹,
ZHANG Lu¹, SUN Rongxi¹, ZHENG Yongqi²

(1. Jiangxi Key Laboratory of Silviculture, College of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry Sciences, Beijing 100091, China)

Abstract: Forest is based on seeds. Forest tree seed industry is the lifeblood of forestry and the motivity of promoting the upgrading of forestry industry. This paper summarizes the present development status, achieve-

收稿日期: 2021-05-10 修回日期: 2021-06-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(31870427, 31730014)、江西省重点研发计划(B类, 20181ACH80006)、江西省自然科学基金项目(20165BCB19006)和5511优势科技创新团队人才计划(赣科发计字[2017]40号)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(31870427, 31730014), Jiangxi Provincial Key Research and Development Program(20181ACH80006), the Jiangxi Provincial Natural Science Foundation(20165BCB19006) and Talent plan of 5511 superior science and technology innovation team([2017]No.40)

作者简介: 陈伏生, 教授, 博士, 主要从事森林培育和森林生态等研究, orcid.org/0000-0001-5012-2813, chenfusheng@jxau.edu.cn。

ments of China's forest tree seed industry and problems in them, analyzes the development trend of seed industry at home and abroad, and puts forward the development goals, tasks and countermeasures of China's tree seed industry. Over the past 70 years, forest seed industry has supported the improvement and efficiency of China's forestry industry. Substantial progress has been made in the protection of forest germplasm resources, the construction of improved variety base, the research on forest molecular breeding, and breeding innovation or new variety selection. However, there are still some problems as that the quantity and quality of the existing improved varieties are difficult to meet the production demand, forest breeding is mainly concentrated on a few afforestation species, the construction of long-term forest breeding base is weak, and regional test bases are lacking. Now, the aim of forest tree breeding is of multiple-goals including high yield, high quality and high resistance and the core issue of forest tree breeding theory and technology is the improvement of breeding efficiency. In the future, China's forest seed industry needs to further strengthen the protection and management of forest germplasm resources, accelerate the breeding and seedling cultivation of fine varieties, and enhance the breeding and promotion of fine varieties. Meanwhile, scientific and technological innovation platform for forest seed industry must be systematically constructed, and the seed scientific and technological projects need to be carried out by categories including ecological stress resistant tree species, fast-growing timber species, precious tree species, economic trees, ornamental plants and bamboo plants and so on, so as to build forest trees seed industry enterprises, promote forest seed industry development, and better serve the construction of national ecological civilization and the development of high-quality forestry development.

Keywords: forest trees; seed industry; breeding; elite breeding; forestry industry

林业是经济社会发展中重要的公益事业和基础产业,肩负着维护国土生态安全、保障木材等林产品供给、应对气候变化及自然灾害、支撑绿色新兴产业发展等重要职责^[1-2]。林以种为本,林木种业是林业的命脉和促进林业产业升级的原动力,优质的林木种子和种苗是林业生产的基本生产资料和林业生态建设的重要基石,种质资源是最重要的战略性资源^[3-4]。国办发〔2013〕109号文件提出“深化种业体制改革,提高创新能力,制定主要造林树种、珍贵树种等林木中长期育种计划”,为我国林木种业和种业科技发展带来了历史性机遇。我国已较为系统地开展主要林木的长期育种研究,在种质资源收集评价、育种群体构建、新品种创制、良种高效繁育、生物技术育种等领域取得了系列重大科技成果,为林业高质量发展奠定了坚实基础^[5-6]。在习近平生态文明思想引领美丽中国建设的新时代背景下,林木种业作为林业产业的核心关键,必须以促进绿色增长、保障国家生态安全、木材安全、粮油安全等为问题导向,挖掘和保护种业“芯片”种质资源,加强育种基础研究,构建涵盖全产业链的林木种业技术体系,提升林木种业科技创新能力、良种竞争能力和供种保障能力,提高我国林木种业发展水平和种业国际竞争力^[4-5]。本文旨在总结中国林木种业发展现状、成效及面临的问题,分析国内外林木种业发展趋势,提出中国林木种业发展目标、任务和对策等,为林业政策的制定与调整、林木种业效益提高和林业服务国家重大战略等提供参考。

1 中国林木种业发展现状

1.1 中国林业产业发展与需求

发展林业产业是拓宽农民就业渠道、促进林农民增收,实现山区产业振兴、经济发展的重要途径^[1,5]。自新中国成立以来,特别是近20多年来,我国林业发展取得了巨大成就,实现了跨越式发展,对林木种业发展的需求益发强烈^[6]。

我国林业产业总产值于2019年和2020年分别达到7.56万亿元和8.70万亿元,连续十年稳步上升^[5]。相比1949年的23.90亿元,产业规模扩大了3 640倍,年均增速达到12.31%,高于同期GDP 11.54%的平均增速。林业产业总产值占GDP比重亦从1952年3.71%增至2019年8.15%,增加2.20倍。全国林业产业总产值于1974年突破百亿元,达103.50亿元,于1994年突破千亿元,达1 337.55亿元,于

2006年突破万亿元,达10 652.22亿元^[5,7]。目前,我国已成为全球林产品生产第一大国,是名副其实的林业产业大国^[8]。

纵观70余年发展历程,我国林业产业结构由单一的营林和木材采伐演变为经济林产品种植与采集、木材加工与人造板制造、森林旅游与休闲服务等三产门类齐全、协调发展的格局,呈现出涵盖范围广、产业链条长、产品种类多等特征^[8]。从贸易模式看,我国林产品贸易已由以原木和锯材等初级林产品为主的消耗型贸易模式演变为以进口原木和木浆等原材料、出口人造板和木质家具等制成品为特征的“两头在外、大进大出”的出口导向型贸易模式^[9]。从服务脱贫攻坚来看,2019年,全国经济林种植总面积>4 000万hm²,各类经济林产品总量达1.81亿t,全国经济林第一产业年产值达1.45万亿元;林下经济产值达8 155亿元,经济林和林下经济产业成为山区经济发展的优势产业、种植业结构调整的特色产业、农民脱贫致富的支柱产业和大众创业的新兴产业^[5,10]。从林业产业化水平来看,较多林农从事林业生产的主要目的已转变为获取经营收入或者工资性收入,林业产业对林农增收和致富的功能不断增强^[11-14]。显然,中国林业产业未来发展将进一步凸显林木种业的重要性和迫切性^[4,6,8]。

1.2 中国林木种业发展现状与成效经验

我国林木种业特别是林木遗传育种工作起步较晚,但经过几代人的努力,已培育出杨树(*Populus* spp.)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、落叶松(*Larix* spp.)、樟树(*Cinnamomum camphora*)等一批林木优良品种,为人工林生产力的提升奠定了基础性的作用。特别是新世纪以来,在种质资源调查挖掘、收集保护、评价鉴定、品种选育、遗传改良、良种基地建设、良种推广、产业发展等方面取得了巨大的成就,为林业转型升级发挥了独特的作用^[5-6]。

1.2.1 种质资源保护、良种基地建设取得显著进展 我国有乔灌木藤本植物9 100多种,其中特有的优良用材和经济林树种达1 100种,至少拥有林木种质资源100万份以上^[15]。目前,已在全国5个气候带分别建立马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木、杨树、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、樟树、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、核桃楸(*Juglans mandshurica*)等树种速生、高结实率、高纤维、高质量、多类型的林木花卉种质资源保存库^[4]。截至2021年6月,国家林业和草原局分3批认定国家林木种质资源库161个,分2批认定国家花卉种质资源库70个,启动了国家林木种质资源设施保存库主库建设,完成了山东和新疆2个设施库分库建设,初步建立了以异地保存为主,原地保存和设施保存为辅的全国林木种质资源保存体系。同时,建立了国家林业和草原种质资源库共享服务平台体系,截至2020年底,涵盖了林木花卉种质资源近14万份^[5]。

此外,国家林业和草原局批复建立国家级林木良种基地296个,各地区也建设了一批省级林木种质示范基地、林木良种繁育中心、林木良种基地、林木采种基地、国有苗圃等林木种业和良种繁育项目^[5,13-14,16]。

1.2.2 林木分子育种研究取得显著进步 一方面,高通量测序技术加快了林木分子遗传研究进程。近些年来,胡杨(*Populus euphratica*)、簸箕柳(*Salix suchowensis*)、川桑(*Morus notabilis*)、毛竹(*Phyllostachys edulis*)、鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)、杜仲(*Eucommia ulmoides*)等一些重要经济树种的全基因组测序相继完成。同时,转录组小RNA测序等工作也大量开展,树种的基因数据库不断更新完善^[6]。这些成果不仅为揭示树种进化起源、林木生长分子机理、重要经济性状和抗逆性状筛选、木材形成的遗传机制等提供了基因组学基础,也为遗传转化和再生植株的性状验证等遗传改良研究提供了重要的基因组数据资源和平台^[17]。

另一方面,林木基因组序列共建共享提升了林木的育种效率。基于基因组重测序的海量标记检测以及连锁作图和关联分析中主效应点附近的候选基因挖掘均离不开基因组序列信息^[18]。基于分子标记辅助育种,通过连锁作图和关联分析获得了大量与林木生长、材性和抗逆等相关的多态性位点;育种工作者根据分子标记的多态性,已构建了杨树、柳树(*Salix* spp.)、杜仲、荔枝(*Litchi chinensis*)、刺梨(*Rosa roxburghii*)、闽楠(*Phoebe bournei*)、山核桃(*Carya cathayensis*)等树种的核心种质及不同品种的指纹图谱,这为林木早期选择、多目标育种及育种效率提高等提供了重要的先决条件^[19]。

1.2.3 育种创新及新品种选育取得突破性进展 近几十年来,我国相继开展了70多个主要造林树种和

部分珍稀濒危树种良种选育,审(认)定推广等工作,主要造林树种良种使用率已超过60%,部分商品林和经济林树种良种使用率高于70%^[5,11-14,20]。目前,我国松、杉、杨、桉(*Eucalyptus* spp.)等速生用材树种的遗传改良进展较快,马尾松和杉木已分别完成第2代和第3代遗传改良,优良品种得到大面积应用;杨树已完成四代品种更新,其中新品种种植面积已超过杨树种植总面积的15%,每年可增产木材达3 000万m³以上,转基因抗虫杨树实现商业化种植,使我国成为世界上第一个转基因林木商品化的国家^[2]。此外,鹅掌楸、红锥(*Castanopsis hystrix*)、木荷(*Schima superba*)等主要珍贵树种和樟子松(*P.sylvestris* var.*mongolica*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等生态防护树种的育种研究进展顺利;油茶(*Camellia oleifera*)、核桃(*Juglans regia*)、枣(*Ziziphus jujuba*)、杜仲、油桐(*Vernicia fordii*)等经济林树种优质高产良种的生态适应性评价有效推进;月季(*Rosa chinensis*)、菊花(*Dendranthema morifolium*)等观赏植物的新品种快速增长,已初步打破国外的垄断局面^[4,21]。

1.2.4 主要经验 我国林木种业近几十年来取得显著成效,首先是以林业发展与生态建设需求为导向,做好全产业链的顶层设计,结合我国林木种质资源的优势和特点,明确了不同区域、不同林种的种业战略布局^[1,3-5]。其次是创新完善了学科、人才、平台、资金等种业体系的体制,走出传统产学研政企合作困境,形成了科学有效的责任共担和成果共享机制^[11-14]。再次是将林木育种新技术与良种选育传统技术有机融合,抓牢了林木种质资源利用、新品种创制、规模化繁育等关键环节,掌握了细胞工程育种、基因工程育种、分子标记辅助选择育种等关键技术。其四是重视育种长期性和良种短期性的衔接,稳定林木种业队伍,加大种质资源储备,加强育种基地建设,规范品种选育程序,合理规划产业体系,保障林木种业持续健康发展^[22-24]。

1.3 中国林木种业面临的机遇与挑战

1.3.1 发展机遇分析 2020年12月,全国种业创新工作推进会上提出,“十四五”要认真落实新发展理念,着眼新发展格局,加快构建中国特色现代种业体系,不断提高农业良种化水平。这给解决我国林木种业“卡脖子”关键技术带来了历史性机遇,也为打好“种业翻身仗”提供了广阔的空间^[25]。其一,新时代林业发展有新使命,林木种业任重而道远,高质量林业发展为林木种业结构转型带来新需求,供给侧调整加剧,良种市场化效应将日趋明显;其二,实施国家木材和粮油安全等国家战略,必须加快培育森林,有赖于林木良种供应^[1];其三,实施乡村振兴战略,纵深推进美丽中国建设,需要大量的良种壮苗^[2];其四,应对全球气候变化,增强森林碳汇功能,实现林业“双增”目标,离不开林木良种壮苗^[4,14,26-27]。更为重要的是,转基因、基因编辑等林木育种高效精准新技术可突破传统育种时间较长的瓶颈,为解决林木种业“卡脖子”问题,打好林木种业“翻身仗”带来了前所未有的机遇^[24-25]。

1.3.2 面临的挑战分析 我国主要依赖劳动力、资本与自然资源等传统要素投入驱动林业产业高速发展的模式难以为继^[1,7],面临森林资源储备不足,木材安全问题日益突显^[5];林区劳动力有限,林业机械化落后,林业劳动力成本高^[11-14];林业投资风险大、效益较低,产业链与供应链不健全;林业应对气候变化压力大、任务重^[1,27];国际贸易竞争激烈,林产品贸易壁垒加剧^[9]。

新常态下,林木种业需要高产、优质、高抗林木新品种,而我国良种数量和质量还难以满足生产所需^[27],特别是种业结构还难以满足林业高质量发展的要求。用材、生态防护、观赏树种的供需关系已发生变化,南方以用材为主的林木良种生产出现过剩,北方以防护林为主的林木良种供不应求,观赏树种良种过度依赖国外品种,面临“卡脖子”风险^[24-25]。具体来看,我国林木育种主要集中于少数造林树种,而较多的乡土珍贵树种和生态树种良种选育工作滞后,高抗生态树种和优质丰产经济林新品种缺乏^[20-21];大量树种没有系统开展种质资源遗传评价和核心种质构建,亲本选配、早期选择、种子园高产稳产等关键核心技术尚未取得突破^[15];林木遗传基础研究相对滞后^[5],林木长期育种基地建设薄弱,区域测试基地缺乏^[11-14],林木种业创新体系、运行机制不完善,综合竞争力不强^[6,24]。

2 林木种业发展趋势

2.1 国际林木种业

全球形成了以美国、中国、欧洲和澳洲为代表的4个世界林木育种研究中心,其中美国和中国的林木

育种工作最为活跃^[21-22]。1892年,国际林业研究组织联盟(international union of forest research organizations, IUFRO)在德国成立,简称国际林联。2007年由瑞典农业大学发起, IUFRO组织的世界林木种子园大会(seed orchard conference)召开,此后会议每两年举行一次,研讨林木种业出现的问题,旨在提高人工林质量。2019年世界林木种子园大会以“林木种子园和气候变化”为主题,首次在我国南京召开,重点研讨了全球气候变化背景下林木种质资源保护与创新、林木的长期遗传改良策略、林木种子园和良种供应等议题。

目前,常规育种在国际上仍是有效的林木育种手段^[21]。林业发达国家始终注重常规育种的发展,特别重视种质资源表型和遗传评价,充分挖掘利用特异种质资源并不断完善其核心种质资源。因坚持长期遗传改良,通过杂交育种技术和多性状聚合育种等手段,一些主要造林树种多已进入高世代阶段,显著提升了良种的遗传增益^[20]。同时,欧美一些林业先进国家通过建立产学研一体化的林木育种联盟或协作组织,形成了分工合理、配合密切的稳定的种业创新体系,保证了林木育种工作稳定前行^[26-27]。例如,美国北卡州立大学林木改良协作组开展的火炬松(*P. taeda*)的遗传改良,目前已进入第5代,其材积遗传增益从第1代10%增至第4代的35%^[28]。

此外,以细胞工程和分子设计育种为核心的现代生物育种技术加速了林木的定向精准育种进程^[29]。杨树、火炬松、云杉(*Picea asperata*)、桉树等树种的基因组测序已完成,为林木转基因育种奠定了坚实基础^[30-33]。目前至少有杨树、松树和桉树等上百个转基因林木株系进行了田间试验,耐盐、抗虫等一批抗性转基因林木新品系得到应用^[34-41]。火炬松、云杉等树种成熟体细胞胚胎发生技术体系已经建立,其林木新品种的规模化扩繁技术体系也得到全面实施^[42-43]。

2.2 中国林木种业

高产、优质、高抗等多目标育种是我国林木种业发展的方向,提高育种效率是林木育种理论创新和技术研发的核心主题^[3-4]。目前,我国林木良种,特别是生态和观赏树种的良好数量和质量还难以满足林业发展和生态建设需求,与林业先进国家相比尚有一定差距^[5-6,23,27]。用更少的人工林面积生产出更多的木材、粮油等林产品,让森林为人类提供更多的生态服务,林木种业工作必须直面问题,增强产业链和产业链的稳定性和竞争力^[20,24]。

2.2.1 林木种质资源保护利用需要加强 林木种质资源是育种原始创新、现代种业发展的物质基础^[6]。目前仍存在种质资源保护不力,利用相对滞后,与新时代加快林木良种选育的要求不相适应的问题^[5,24]。虽然在国家级良种基地建设已启动了马尾松、杉木、杨树和落叶松等重要树种种质资源库建设,但大部分树种林木种质资源调查还难以依法定期公布可供利用的目录^[3]。针对林木种业需求,广泛收集、引进、整理国内外优异种质资源,发掘携带优异基因的种质资源仍是当务之急^[4]。

2.2.2 林木新种质创制需要加快 林木种业的发展已从传统的“经验育种”转向定向、高效的“精准育种”,基因工程育种、细胞工程育种和分子标记辅助选择育种等前沿技术为“精准育种”提供了有效工具^[22,24]。然而,林木种质创新及研制能力不强,良种选育推广薄弱,与现代林业需要高效率育种要求还不相适应^[23]。当前林木种质创新及研制的发展方向包括:利用全基因组测序技术,构建高密度遗传图谱;应用全基因组关联分析和分子标记技术,定位与林木生长发育、特异品质形成、逆境适应性等重要性状及其功能基因,构建主要林木分子辅助选择育种技术体系;发挥多基因整合技术的优势,开展目标基因型的亲本定向选配和子代早期精准选择^[4,6]。同时,还需要充分开发林木育种新技术,创新重要树种或模式树种为载体的林木育种理论,从而为加快林木种质创新及研制提供范式^[18]。

2.2.3 林木种业研发体系需要完善 林木种业研究体系至少包括种质资源保存库建设、林木种质创新及研制、林木种业创新团队建设、资金及软硬件的保障等^[4-5,14]。多头管理与分散经营与现代种业企业标准化、规范化、信息化的要求不相适应^[21,24-25]。目前必须围绕林木种质资源保护与利用、新品种创制与良种选育、良种规模化繁育和林木种业企业培育等林木种业产业链延伸的关键环节,做好产业链基础端、中端和后端的职责分工,促进产学研政企的深度融合,合理配置好人才、学科、平台、基地以及企业和财政资金等社会资源,发挥企业在种业创新体系中的主体作用,突破重要林木良种及繁育的瓶

颈,提高新品种创制的效率,提升产业结构的转型升级和规模化林木种业的市场化水平,为实现可持续育种保驾护航^[4-6]。

3 中国林木种业发展策略与未来的重点任务

3.1 中国林木种业发展定位

我国林木种业发展定位是聚焦世界林木种业科技发展前沿,提高中国林业种业的科研和产业竞争力,适应新时代林业的多样化需求,实现高产、优质、高抗等多目标育种,引领全球林木种业创新发展^[24-25]。在技术创新方面,针对林木多世代育种、重要性状调控、林木分子设计育种等内容实现理论和技术突破,构建较完善的现代林木育种体系;在推广应用方面,有效提升林木良种繁育效率及良种使用率;在能力建设方面,加快林木种业创新团队建设,构建林木育种协同创新技术体系,改善林木育种产学研政企的平台条件^[4,7]。

3.2 中国林木种业发展思路

以国家林业发展与生态建设的重大需求为导向,结合不同区域特点分类定位不同林种的种业发展目标,以企业为创新主体,政府搭平台,依托科研机构研发力量,不断完善林木创新体系,突破林木育种关键技术^[24]。围绕中国林木种业发展的瓶颈问题,合理布局和规划林木育种队伍,完善产业链分工和运行机制,加大知识产权保护,培育本土龙头种业企业等,满足林业作为基础产业发展的需求,同时又兼顾应对气候变化等社会发展的公益行业需求,不断推进林木种业健康持续发展^[25]。

3.3 中国林木种业发展重点任务

3.3.1 加强林木种质资源保护 开展优良、珍稀和特异的林木种质资源调查收集,建立林木种质资源保护体系,原地保存、异地保存和设施保存有机结合,构建林木种质资源表型和基因型精准评价体系,挖掘林木种业发展急需的特色资源,加强林木种质资源的保存和利用,完善林木遗传资源共享平台,建立科学合理的获取惠益分享制度^[6,15]。

3.3.2 加快优良品种选育 针对林木生长、品质、抗性等重要性状,利用早期选择^[16]、倍性育种^[44]、细胞工程育种、分子标记辅助选择^[45]、基因组选择^[46]等技术手段,创新试验设计及统计分析方法,培育多目标优良性状的林木新品种^[4-5]。

3.3.3 夯实林木良种繁育与推广体系 加强林木良种高世代种子园建设^[47]及高效繁育技术研究,全面提升良种生产和育苗技术水平。建立种苗质量管理体系^[16],强化开展林木良种区域化试验,建立健全区域性推广应用标准化技术体系^[20]。

3.3.4 强化林木种业科技创新平台建设 建设以重点实验室、工程(技术)研究中心、林木创新联盟、行业协同创新中心等为主体的高水平林木育种创新平台,并与长期林木良种保存基地、良种区域化试验基地等协同发展,构建林木良种多元化、规模化的生产供应体系和信息共享服务平台,全面提升林木种业科技创新平台的管理水平^[23]。

3.3.5 推进种业科技工程 围绕速生用材树种、珍贵树种、经济林树种、生态抗逆树种、观赏植物、竹类植物等开展相应的育种工作,重点开展生长、材性和抗性等性状的分子调控机制研究,加快种子园营建并保障稳产丰产,突破体胚发生、扦插、组培和容器育苗等规模化繁育技术,培育突破性优异育种材料,并建立试验示范区,促进良种推广^[24]。

3.3.6 促进林业产业发展 根据树种特性和区域需求,建立林木良种生产与繁育基地,培育实力较强特色鲜明的现代林木种业企业,逐步建成以企业为主体的商业化育种新机制。加强林业科技成果转化,提升林业产业现代化水平,加快产业结构优化升级,全面提升林产品质量,形成较为完善的新品种研发、良种繁育与示范、产品生产与加工、商品销售、运输与服务体系^[2,8]。

3.3.7 打造林木种业企业 种业企业已成为种业技术创新和投资的主体。建立商业化育种研发平台,引进专业育种高端人才,深化科企合作有效模式,构建育繁推一体化林木种业企业是我国林木种业发展的要求。激励林木种业企业增加研发投入,重视源头科技创新,培育具有自主知识产权新品种和良种,形成一批特色鲜明、技术优势突出的林木种业企业及知名品牌,为加快林木种业产业发展提供支撑^[8,10,24]。

参考文献 References:

- [1] 国家林业和草原局.中国森林资源报告(2014—2018)[M].北京:中国林业出版社,2019.
National Forestry and Grassland Administration.China forest resources report (2014—2018)[M].Beijing: China Forestry Publishing House,2019.
- [2] 张守攻,王登举.林业在乡村振兴中的作用不可替代[J].中国农村科技,2018(4):18-21.
ZHANG S G,WANG D J.Forestry plays an irreplaceable role in Rural Revitalization[J].China rural science & technology, 2018(4):18-21.
- [3] 刘红,施季森.我国林木良种发展战略[J].南京林业大学学报(自然科学版),2012,36(3):1-4.
LIU H,SHI J S.Genetic improved seeds and seedlings developmental strategies for forestry in China[J].Journal of Nanjing forestry university (natural science edition),2012,36(3):1-4.
- [4] 张守攻.中国林木花卉种业发展现状与对策建议[J].中国农村科技,2012(2):36-38.
ZHANG S G,WANG D J.Development status and countermeasures of forest and flower seed industry in China[J].China rural science & technology,2012(2):36-38.
- [5] 国家林业和草原局.2019中国林业和草原统计年鉴[M].北京:中国林业出版社,2019.
National Forestry and Grassland Administration.China forestry and grassland statistical yearbook[M].Beijing: China Forestry Publishing House,2019.
- [6] 尚文博,陈列.以种为本精心布局科技创新促林木种业嬗变:《主要林木育种科技创新规划(2016—2025年)》[J].中南林业科技大学学报,2017,37(3):20-21.
SHANG W B,CHEN L.Seed oriented and carefully layout scientific and technological innovation to promote the evolution of tree seed industry: “science and technology innovation plan of main tree breeding (2016—2025)”[J].Journal of central south university of forestry & technology,2017,37(3):20-21.
- [7] 宁攸凉,李岩,马一博,等.我国林业产业发展面临的挑战与对策[J].世界林业研究,2021,34(5):1-9.
NING Y L,LI Y,MA Y B,et al.Challenges and countermeasures faced by the development of forestry industry in China[J].World forestry research,2021,34(5):1-9.
- [8] 宋维明,杨超.1949年以来林业产业结构、空间布局及其演变机制[J].林业经济,2020,42(6):3-17.
SONG W M,YANG C.The structure,spatial distribution and evolution mechanism of forestry industry since 1949[J].Forestry economics,2020,42(6):3-17.
- [9] 黄颖.中国木质林产品贸易的特征、影响因素及前景[J].对外经贸实务,2019(12):35-38.
HUANG Y.The characteristics, influencing factors and prospect of China's wood forest products trade[J].Economic relations and trade,2019(12):35-38.
- [10] 佚名.2019年我国林业产业发展进入“硬核时代”[N].中国绿色时报,2019-12-27特刊,全国林业产业专题.
- [11] 国家林业局.2015中国林业统计年鉴[M].北京:中国林业出版社,2016.
National Forestry Administration.2015 China forestry statistical yearbook[M].Beijing: China Forestry Publishing House, 2016.
- [12] 国家林业局.2016中国林业统计年鉴[M].北京:中国林业出版社,2017.
National Forestry Administration.2016 China forestry statistical yearbook[M].Beijing: China Forestry Publishing House, 2017.
- [13] 国家林业和草原局.2017中国林业统计年鉴[M].北京:中国林业出版社,2018.
National Forestry and Grassland Administration.2017 China forestry statistical yearbook[M].Beijing: China Forestry Publishing House,2018.
- [14] 国家林业和草原局.2018中国林业和草原统计年鉴[M].北京:中国林业出版社,2019.
National Forestry and Grassland Administration.2018 China forestry and grassland statistical yearbook[M].Beijing: China Forestry Publishing House,2019.
- [15] 顾万春.中国林木遗传(种质)资源保存与研究现状[J].世界林业研究,1999,12(2):50-56
GU W C.The present situation of forest tree genetic germplasm resource conservation and research in China[J].World forestry research,1999,12(2):50-56

- [16] 祝燕,李庆梅,李淑娴,等.我国林木种苗质量管理现状与发展对策[J].世界林业研究,2019,32(5):63-66.
ZHU Y, LI Q M, LI S X, et al. Present situation and development countermeasure of forest seed and seedling quality management in China[J]. World forestry research, 2019, 32(5): 63-66.
- [17] 甘四明.林木分子育种研究的基因组学信息资源述评[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(4):1-11.
GAN S M. A review on genomics information resources available for molecular breeding studies in forest trees[J]. Journal of Nanjing forestry university(natural science edition), 2020, 44(4): 1-11.
- [18] 李鹏,卢文杰,肖亮林,等.林木全基因组关联分析研究进展与展望[J].中国科学(生命科学),2020,50(2):144-153
LI P, LU W J, XIAO L L, et al. Progress and prospect of genome wide association study(GWAS) in forest trees[J]. Scientia sinica vitae, 2020, 50(2): 144-153.
- [19] 尹佟明.林木基因组及功能基因克隆研究概述[J].遗传,2010,32(7):677-684.
YIN D M. A review of the genomic and gene cloning studies in trees[J]. Hereditas, 32(7): 677-684.
- [20] 王丽娜,张宇,杨传平.我国林木良种化进程的主要问题和解决办法[J].中国种业,2010(7):5-9.
WANG L N, ZHANG Y, YANG C P. The main problems and solutions of the process of forest tree seed cultivation in China [J]. China seed industry, 2010(7): 5-9.
- [21] 郑勇奇.常规林木育种研究现状与发展趋势[J].世界林业研究,2001,4(3):10-17.
ZHENG Y Q. Current status and development prospects of traditional tree breeding[J]. World forestry research, 2001, 4(3): 10-17.
- [22] 施季森.林木生物技术育种未来10年若干科学问题展望[J].南京林业大学学报(自然科学版),2012,36(5):1-13.
SHI J S. Prospection on some topics of forest genetic improvement through modern biotechnology for the next-ten-years in China[J]. Journal of Nanjing forestry university(natural science edition), 2012, 36(5): 1-13.
- [23] 陈永红,周云龙,吕长文.我国种业技术创新能力现状与问题分析[J].种子,2018,37(10):71-74.
CHEN Y H, ZHOU Y L, LYU C W. Current situation and problem analysis of technical innovation ability of China's seed industry[J]. Seed, 2018, 37(10): 71-74.
- [24] 科技部和国家林业局.关于印发《主要林木育种科技创新规划(2016—2025年)》的通知[R].国科发农[2016]248号,2016.
- [25] 中国种子协会秘书处.历史成就时代使命责任担当:新中国成立70周年中国种业发展回顾与展望[J].中国种业,2019(7):1-7
Secretariat of China Seed Association. The main problems and solutions of the process of forest tree seed cultivation in China [J]. China seed industry, 2019(7): 1-7.
- [26] FAO. Global forest resources assessment 2020: main report[R]. Rome: FAO, 2020, <https://doi.org/10.4060/ca9825en>.
- [27] 王章荣.我国林木良种繁育基地建设发展形势及可持续发展策略[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(5):1-8.
WANG Z R. The current scenario and sustainable developmental strategies for genetically improved tree seed production bases in China[J]. Journal of Nanjing forestry university(natural science edition), 2020, 44(5): 1-8.
- [28] ISIK F, MCKEAND S E. Fourth cycle breeding and testing strategy for *Pinus taeda* in the NC state university cooperative tree improvement program[J]. Tree genetics & genomes, 2019, 15(5): 1-12.
- [29] CHAWLA H S. Introduction to plant biotechnology[M]. Holland: Science publishers, 2004.
- [30] TUSKAN G, DIFAZIO S, JANSSON S, et al. The genome of black cottonwood, *Populus trichocarpa* (Torr. & Gray) [J]. Science, 2006, 313(5793): 1596-604.
- [31] WULLSCHLEGER S D, WESTON D J, DIFAZIO S P, et al. Revisiting the sequencing of the first tree genome: *Populus trichocarpa* [J]. Tree physiology, 2013, 33(4): 357-364.
- [32] ZIMIN A, STEVENS K A, CREPEAU M W, et al. Sequencing and assembly of the 22-Gb loblolly pine genome [J]. Genetics, 2014, 196(3): 875-890.
- [33] NYSTEDT B, STREET N R, WETTERBOM A, et al. The Norway spruce genome sequence and conifer genome evolution [J]. Nature, 2013, 497: 579-584.
- [34] MYBURG A, GRATAPAGLIA D, TUSKAN G, et al. The genome of *Eucalyptus grandis* [J]. Nature, 2014, 510(7505):

- 356-362.
- [35] MEILAN R, HAN K H, MA C, et al. The CP₄ transgene provides high levels of tolerance to roundup herbicide in field grown hybrid poplars[J]. Canadian journal of forest research, 2002, 32(6): 967-976.
- [36] HALPIN C, BOERJAN W. Stacking transgenes in forest trees[J]. Trends in plant science, 2003, 8(8): 363-365.
- [37] STRAUSS S T. Transgenic forest trees: accomplishments, potentials, and realities[J]. Journal of biotechnology, 2010, 150(S): 120.
- [38] AHUJA M R. Fate of transgenes in the forest tree genome[J]. Tree genet genomes, 2011, 7(2): 221-230.
- [39] HÄGGMAN H, RAYBOULD A, BOREM A, et al. Genetically engineered trees for plantation forests: key considerations for environmental risk assessment[J]. Plant biotechnology journal, 2013, 11(7): 785-798.
- [40] KLOCKO A L, MA C, ROBERTSON S, et al. FT overexpression induces precocious flowering and normal reproductive development in Eucalyptus[J]. Plant biotechnology journal, 2016, 14(2): 808-819.
- [41] MUHR M, PAULAT M, AWWANAH M, et al. CRISPR/Cas9-mediated knockout of *Populus* BRANCHED1 and BRANCHED2 orthologs reveals a major function in bud outgrowth control[J]. Tree physiology, 2018, 38(10): 1588-1597.
- [42] PULLMAN G S, JOHNSON S, PETER G, et al. Improving loblolly pine somatic embryo maturation: comparison of somatic and zygotic embryo morphology, germination, and gene expression[J]. Plant cell reports, 2003, 21(8): 747-758.
- [43] BOMMINENI V R, CHIBBAR R N, DATLA R, et al. Transformation of white spruce (*Picea glauca*) somatic embryos by microprojectile bombardment[J]. Plant cell reports, 1993, 13(1): 17-23.
- [44] 康向阳. 林木三倍体育种研究进展及展望[J]. 中国科学(生命科学), 2020, 50(2): 136-143.
KANG X Y. Progress and prospect of tree triploid breeding[J]. Scientia Sinica vitae, 2020, 50(2): 136-143.
- [45] XU Y, CROUCH J H. Marker-assisted selection in plant breeding: from publications to practice[J]. Crop science, 2008, 48(2): 391-407.
- [46] 杜庆章, 战鹏宇, 李鹏, 等. 基因组选择研究进展及其在林木中的发展趋势[J]. 北京林业大学学报, 2020, 42(11): 5-12.
DU Q Z, ZHAN P Y, LI P, et al. Research progress of genomic selection and its development trend in forest trees[J]. Journal of Beijing forestry university, 2020, 42(11): 5-12.
- [47] 王章荣. 国外种子园研究热点及对我国营建高世代种子园的启示[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(1): 161-166.
WANG Z R. The research hotspots of seed orchards abroad and the enlightenment to the construction of seed orchards of high generation in China[J]. Journal of Nanjing forestry university(natural science edition), 2019, 43(1): 161-166.