

DOI: 10.13332/j.1000-1522.20170019

关于无性系林业若干问题的认识和建议

——以杨树为例

康向阳

(林木分子设计育种高精尖创新中心,林木育种国家工程实验室,林木花卉遗传育种教育部重点实验室,
城乡生态环境北京实验室,北京林业大学生物科学与技术学院)

摘要:随着林木育种和无性繁殖技术的进步以及森林工业的发展,无性系林业开始在世界人工林培育中发挥越来越重要的作用,并逐步进入无性系定向选育、定向栽培、定向利用的时代。该文针对我国无性系林业存在的问题提出了自己的认识和建议,并从无性系特性角度阐释了“三北”地区大规模发生的杨树“小老树”、严重病虫害以及退化甚至死亡的原因。认为无性系林业不仅包括无性系选育和无性系造林,还应该涵盖无性系利用等内容。指出应充分利用无性系的基因型与环境互作效应,重视良种的适地适基因型栽培,为不同的生态环境条件选配适宜的主栽品种进行造林。同时加强重要树种无性繁殖技术标准的制定,以约束采取科学的无性繁殖技术和繁育制度进行良种生产,尽可能降低成熟效应与位置效应对无性系林业发展的影响。强调发展无性系林业要根据栽培环境条件和利用目标选择适宜品种,并突出良种和良法配合,重视林分数量成熟与工艺成熟最佳配合下的经济成熟,保证整个产业链条的综合效益最大化。尤其是提出了无性系人工林群体衰退的概念,即在同一无性系品种组成的人工林内,各植株的遗传组成和生活习性相同,随着林龄的增加,林分内各无性系对水分和营养的需求加大,当栽培环境不能满足林分生长需求时,如不能及时采取人工疏伐等措施进行密度调整,林分会因个体竞争能力相似而同时发生各无性系植株生长势衰退、病虫害加剧直至死亡等现象。建议国家应针对无性系人工林的特点,修订、完善相关的林业政策和法律法规,将杨树等无性系林业发展较好的用材或生态兼用树种列入木本作物范畴,在无性系人工林达到经济成熟时及时通过间伐进行密度调控,或通过轮伐更新利用,避免在林分水肥等资源紧缺时,因个体竞争能力相似而引发无性系人工林群体衰退等问题,在有效发挥生态效益的同时,保证国家珍贵的宜林地资源的高效利用。

关键词:无性系林业; 适地适基因型; 主栽品种; 无性系人工林群体衰退; 木本作物; 经济成熟

中图分类号:S718.46; S792.11 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1522(2017)09-0001-07

KANG Xiang-yang. **Cognition and suggestions on some issues related to clonal forestry: taking poplar as an example.** *Journal of Beijing Forestry University* (2017)39(9) 1-7 [Ch, 31 ref.] Beijing Advanced Innovation Center for Tree Breeding by Molecular Design, National Engineering Laboratory for Tree Breeding, Key Laboratory of Genetics and Breeding in Forest Trees and Ornamental Plants of Ministry of Education, Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, P. R. China.

With progress of tree breeding, vegetative propagation technique and forest industry, clonal forestry has already played a significant role in the world plantation cultivation, and gradually step into the orientational clonal selection, silviculture, and utilization era. In this paper, author's own cognition and suggestions on some issues related to clonal forestry were provided. Based on the characteristic clonal forestry, reasons for dwarf-old trees, serious forest diseases and insect pest damage, recession of plantation were also analyzed in the Three-North Region of China. Not only clonal breeding and clonal afforestation but also clonal utilization should be included in clonal forestry. When developing main cultivated varieties for different planting sites, genotype by environment interaction and matching planting

收稿日期: 2017-01-18 修回日期: 2017-05-03

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题(2015BAD09B0201)、北京市共建项目专项(2016BLREEE00)。

作者简介: 康向阳,教授,博士生导师。主要研究方向:林木细胞遗传与细胞工程育种。Email: kangxy@bjfu.edu.cn 地址:100083 北京市海淀区清华东路35号北京林业大学生物科学与技术学院。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

sites with genotype should be fully considered. Moreover, ramet production of main cultivated varieties with high quality was formulated via scientific vegetative propagation techniques by reinforcing the formulation of vegetative propagation technique standard for important tree species. Therefore, there were some advantages in decreasing age and position effects in clonal forestry development. It was necessary to select suitable varieties for developing clonal forestry according to planting environment and aims of utilization. Combining good planting methods and varieties and economic maturity was also required to obtain maximum benefit from forestry industry. The concept of population recession of clonal plantation was brought about. Among the plantations, with age increasing, the ramets with the same genetic constitution need more water and nutrition. Negative competition would be observed among these ramets if forestland could not provide enough nutrition, resulting in uniformly weak growth potential, forest diseases and insect pest damage, unless pruning was conducted to decrease the spacing. Gradually, all the ramets in plantation will be dead. We suggested that related forestry policy and law should be revised according to the characteristics of clonal plantations. Tree species with timber or ecological function, such as poplar, could be considered as ligneous crop. Spacing control by pruning or reforestation could be used to prevent population recession of clonal plantation owing to the shortage of fertilization and water after economic maturity of clonal plantation. In this condition, not only better ecological benefits could be obtained from clonal forestry, but also national valuable forestland resources were also effectively used.

Key words clonal forestry; matching site with genotype; main cultivated variety; population recession of clonal plantation; ligneous crop; economic maturity

无性繁殖是指不需要经过合子形成和发育的有性生殖过程,而由生物母体的一部分器官、组织或细胞直接产生子代的繁殖方法,也称为营养繁殖。人类很早就已经认识到树木可以通过无性繁殖进行更新的特性,创造了许多经济、实用的无性繁殖方法,并成功应用于果树、花卉以及林木的生产实践之中。早在2000多年前,我国就有杨树(*Populus* spp.)和柳树(*Salix* spp.)扦插造林的记载。只是到了20世纪70年代,随着现代生物学的进步,人们对细胞全能性理论有了更为深入的认识,并在辐射松(*Pinus radiata*)、欧洲云杉(*Picea abies*)、黑云杉(*Picea mariana*)、落叶松(*Larix* spp.)、桉树(*Eucalyptus* spp.)等众多树种的无性繁殖技术取得突破之后,一些可以无性繁殖的树种瞄准森林工业用材培育目标,不再营建种子园,而是将无性繁殖与林木育种相结合,开始走无性系育种乃至无性系林业(Clonal Forestry)的道路^[1-5]。

近半个世纪以来,随着林木育种和无性繁殖技术的进步以及森林工业的发展,无性系林业已经在包括我国在内的世界人工林培育中发挥越来越重要的作用,展示了十分广阔而诱人的应用前景。同时,基于无性系选育为核心的无性系造林和利用中所产生的问题也越发引人关注,理应引起我们足够的重视。在此,本文针对无性系林业的内涵以及无性系选育、造林和利用中存在的问题,提出了自己的认识和建议。

1 无性系林业的基本内涵应包括无性系利用

由单株树木通过无性繁殖所产生的所有分株称为无性繁殖系或简称无性系,其中将提供无性繁殖原始材料的树木个体称为无性系原株。通过无性繁殖再生的无性系后代群体没有涉及基因分离与重组,与无性系原株基因型相同。需要指出的是,一般的无性繁殖和栽培不能称为无性系林业^[5]。只有通过选、引、育等方法选育出林木优良无性系,并将优良无性系经过无性繁殖进行扩繁,进而以适当配置和栽培管理措施进行大规模造林时,才能称之为无性系林业^[1,5]。王明庥^[5]甚至认为 Clonal Forestry 最好译为无性系造林,不要直译为无性系林业,以免造成不必要的误解和混乱。尽管如此,无性系林业概念的内涵至今一直仅包括两部分——无性系选育和无性系造林。

实际上,当 Clonal Forestry 一词提出时,无性系林业就不仅仅是简单的采用经选择的无性系造林,其内涵已经涉及无性系利用。从20世纪60年代开始,由于无性系林业能够利用群体中遗传增益最为显著的个体而不是群体平均值,其遗传增益显著高于种子园;经过遗传测定的优良无性系用于造林,性状整齐一致,利于株行距安排等集约栽培、管理,从而大幅度地提高单位面积的木材产量;以无性系品种为原料时,木材材性等性状稳定一致,利于纸浆等

森林工业产品加工工艺的调配等;加之组织培养、体胚诱导、全光喷雾育苗等技术快速发展,以森林工业用材为生产目标的无性系林业受到了世界各国的高度重视,逐步进入无性系定向选育、定向栽培、定向利用的时代。其中,我国杨树无性系林业取得了举世瞩目的成就,自20世纪50年代开始,经过4轮次引种或育种,选育出加杨(*Populus × canadensis*)、群众杨(*P. Popularis* ‘35-44’)、北京杨(*P. × beijingensis*)、I-214(*P. × canadensis* ‘I-214’)、沙兰杨(*P. × canadensis* ‘Sacrau 79’)、中林46(*P. × euramericana* ‘Zhonglin-46’)、欧美杨107(*P. × euramericana* ‘Neva’)、108(*P. × euramericana* ‘Guariento’)、三倍体毛白杨(*(P. tomentosa × P. bolleana) × P. tomentosa*)等一大批优良无性系,推动了我国杨树人工林的发展^[6-8]。迄今我国杨树人工林总面积达854万hm²,占全国人工林总面积的12.3%,占人工林木材蓄积的20.25%,提供国产木材的18.14%,是华北、华东及中南地区人造板、木浆工业的主要原料来源。

此外,从林业一词的含义看,涵盖范围更为广泛。林业是以森林资源为基础的产业和公益事业,涉及与森林资源有关的一切活动,既包括森林资源的培育、采伐或采收以及加工利用,也包括森林生态系统、森林景观和自然遗产保护,并且关系到在林区工作以及附近村民等参与和森林相关活动的人们^[9]。显然,无性系林业应该包括无性系利用,是指借助先进的无性繁殖技术培育和利用优良树木基因资源的社会基础产业和公益事业,包括无性系选育、无性系造林、无性系利用等相关技术活动以及参与和影响的人群。

2 无性系林业更应重视良种的适地适基因型栽培

在树木种源、家系和无性系等变异层次,基因型与环境互作(genotype-environment interaction, GEI)普遍存在^[10-11]。由于无性系林业是实现一些特定基因型的利用,因此无性系的GEI效应比种源、家系更大。GEI效应表现为不同无性系在不同栽培环境下的适应性和稳定性差异,优良无性系配合以适宜的生态环境条件,可以收到最大限度的增产增收效果,因此无性系林业更重视适地适基因型选择。即无性系林业要为每一造林地点选择出优良的主栽品种,使优良的基因型与立地最佳配合,发挥品种的遗传潜力,提高林地的利用效率。

杨树存在较为显著的基因型与环境互作。王明麻等^[12]用选育出的I-69杨×小叶杨(*P. deltoides*

‘Lux’ × *P. simonii*)和I-69杨×欧洲黑杨(*P. deltoides* ‘Lux’ × *P. nigra*)10个新无性系在6个地点进行苗期生长的适应性和遗传稳定性试验,各无性系的无性系效应、地点效应和无性系×地点效应均存在极显著差异。顾万春^[13]分析8年生毛白杨(*P. tomentosa*)无性系多点试验林的生产力、遗传稳定性和适应性,选育出5个生长快的无性系,其中3个遗传稳定性和适应性较高,适于在2个试验生态区栽种;2个无性系以及对照品种遗传稳定性较差,具有特定的适应性,只宜于在限定地区推广。而从8省12地营造的含10~12个品种5年生三倍体毛白杨区域化栽培对比试验看,三倍体毛白杨在气候相对干燥的河北、山西、北京、山东西北部以及河南北部等地区长势最好,而在多雨阴湿的浙江、湖南、湖北、安徽等地表现不佳。各无性系间、地点间、无性系和地点交互作用均达极显著水平,可以为不同适生地筛选出主栽品种,其中只有‘三毛杨2号’‘三毛杨7号’‘三毛杨8号’在大部分试验地均有优异表现(数据未发表)。显然,杨树无性系林业发展中适地适基因型选择、利用良种尤为必要。

3 无性系林业要重视幼年性和成年性材料的区别利用

树木同其他多数植物一样,从一粒种子萌发开始,伴随着个体发育的进行,在不同的发育时期会表现出一定的生理、形态特征和生物习性,而总的趋势是一个形态与生理的衰老过程^[14-17]。在树木无性繁殖时,由于材料的采集往往是从一定年龄的一定部位进行,因此,树木无性系会表现出一定的成熟效应与位置效应。其中,成熟效应是指无性繁殖材料发育阶段对无性繁殖效果的滞后影响,如扦插中采穗母树年龄越大,则发根期越长、生根率越低;位置效应是指无性繁殖材料采集部位对无性繁殖效果的影响,如用树冠上部的枝条扦插、嫁接繁殖,会出现斜向生长、顶端优势不明显、提早开花结实等。一般成熟效应与位置效应总是相伴发生的,统称为一般环境效应^[15]。

实际上,在树木地上与地下部分的衰老区域都存在着一定相对处于幼态的组织细胞——干细胞(stem cell)^[18],这些细胞来自于胚细胞,分裂缓慢或处于休眠状态。在适宜的条件下这些干细胞才会进一步分化发育,从而产生萌条等幼化的繁殖材料。其中,树木根系由于不存在已发育充分的顶芽、腋芽等休眠芽,在条件适宜时,只能由幼态的干细胞进一步分化发育成萌生条;而枝条上首先萌发生长的总是那些早已形成并处于衰老状态的休眠芽。因此,

通过根蘖繁殖总能获得表现幼态的苗木,没有明显的成熟效应和位置效应;而利用树冠顶部枝条进行扦插或嫁接繁殖时,不同树种均表现出一定程度的老化现象。白杨(*Sect. Populus*)等成熟效应和位置效应明显的树种,甚至表现出苗期或幼树开花结实或斜向生长等^[15]。

在林业生产中,对于利用花和果实等生殖器官的经济林树种,应该选择利用老化的成年性材料,通过采取树冠部位枝条作接穗进行嫁接,促进经济林提早开花结实利用;而对于利用木材和树体等营养器官的用材林和生态林建设树种,则必须选择利用幼年性材料。如毛白杨等可通过采取根蘖苗,或通过组织培养诱导外植体分化不定芽——离体再生途径进行返幼复壮,建立幼化的采穗圃用于扦插或嫁接繁殖,甚至直接组织培养育苗繁殖,延缓无性系品种老化的发生^[8,19-20]。当前利用老化材料嫁接繁殖已经成为经济林树种良种繁育的习惯。而在利用木材等树木营养器官的树种繁殖时,对于使用树冠部位枝条等成年性材料无性繁殖的成熟效应和位置效应危害并没有引起足够的重视,尽管这种危害早已经发生并仍在持续。如“三北”地区有杨树“小老树”近140万 hm^2 ^[21],其形成不排除当地干旱贫瘠的栽培环境影响,但也与20世纪50—70年代直接从小叶杨(*P. simonii*)等杨树大树采条进行压条育苗甚至直插造林有关。“老化”的苗木定植于恶劣的栽培环境条件下更容易出现早衰问题。此外,我国杨树新品种大多5~10年生便因品种退化、优势丧失而退出良种生产,也多是由于杨树栽培中不重视无性繁殖材料幼化和采穗圃建设,采取以苗繁苗甚至大树采条育苗等不科学的繁殖方法所致^[20]。

4 无性系林业要重视造林密度适时调控和采伐利用

由于林业面临的生产环境复杂,立地条件较差,而采伐收获期又相对较长,因此,一般认为人工林经营更应该重视林分的群体调节能力和稳定性。对于无性系林业而言,由于主要利用生长等性状表现突出的个体,是少数优良基因型的利用。在人工林相当长的生长期间内,面对气候、水文、病虫害、大气污染等诸多不可预测的环境条件变化的影响,单纯无性系生产的危险性成为人们担心的问题。故强调在生产实践中应避免单一无性系大面积造林,而采用多无性系造林的方式^[1-5],以规避因环境变化超出个别无性系忍耐限度时而造成的风险性,增强无性系人工林群体适应性以及抵御自然灾害风险的能力。正是基于这样的认识,当20世纪90年代我国

“三北”地区发生导致约10年生杨树人工林全面砍伐焚毁的严重天牛危害时,多将这种大规模天牛危害的发生归因于营造箭杆杨(*P. nigra* var. *thevestina*)、群众杨等单一无性系人工林而产生的遗传脆弱性^[22-24]。

事实上,果树和经济林往往一个地区只栽培一个品种,兰考泡桐(*Paulownia elongata*)^[3]以及国内外集中引种栽培的欧美杨I-214、107、108等优良品种,在长期大规模单一无性系栽培中也并没有引起毁灭性病虫害的发生。究其原因,经济林和果树栽培要保证产量和品质,需要通过疏伐和修剪避免植株竞争,并辅助以施肥、灌水等措施,保证每一植株在较为优越的生存条件下开花、结实和生长发育,以产生最大的经济效益。而泡桐以及欧美杨I-214、107、108等品种栽培地区的自然条件相对优越,且一般作为丰产林种植,当林分达到郁闭时能适时采伐利用。因此,如果自然条件较为优越并能及时采取一定的栽培管理措施,则林木单一无性系品种也可以如作物或园艺植物那样规模种植。

20世纪90年代我国“三北”地区严重天牛危害发生的原因是多方面的,至少简单地归结为单一无性系造林是不客观的。除自然环境因素影响外,对无性系品种特性认识欠缺而未能采取合理的栽培管理措施也是其中的重要原因之一。我们知道“三北”地区自然条件恶劣,水养资源贫乏。在防护林建设中,为增强防护效果、保证造林成活率,一般造林的初植密度都比较大。而杨树防护林建成后多缺乏管护,且作为生态公益林禁止采伐。随着林龄的增加,防护林内各无性系对水分和营养的需求加大,当水分和营养条件不能满足林分个体生长需求,或持续出现降水减少以及地下水下降时,由于同一无性系品种各分株的遗传组成相同,其生活习性以及个体竞争能力相同,难以像天然林那样通过自然稀疏进行林分的自我调整,此时如不能采取人工疏伐措施进行密度调整,林分内各个无性系植株生长势只能“选择”同时衰弱,即在资源紧缺时因个体竞争能力相同而发生无性系人工林群体衰退(recession of clonal plantation),潜伏的病虫害借机发生并逐渐加剧直至死亡。显然,这才是“三北”防护林杨树天牛危害大面积发生,以及河北张家口、山西大同等地杨树防护林大面积衰退甚至死亡的重要原因。

无性系人工林群体衰退与树种特性、自然条件、初植密度、抚育管理水平等有关。在同样栽培条件下,与喜水喜肥的速生树种比,生长慢、抗逆强树种的无性系人工林衰退发生相对较晚;而对于同样的树种,与自然条件优越、初植密度低、抚育管理水平

高的无性系人工林相比,自然条件差、初植密度高、抚育管理水平低的更容易发生衰退。因此,发展无性系林业,不但要根据造林区域、培育目标等确定适宜的定植密度,至少还要在人工林郁闭后及时通过间伐进行密度调控,或通过皆伐进行更新利用。

5 无性系林业要根据栽培环境和利用目标选择适宜良种

无性系林业伴随着木浆制纸和胶合板等森林工业的兴起而发展。尤其是在我国,五大造林树种中的杨树和桉树完全采用优良无性系品种造林,杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、落叶松等树种也或多或少营造了一定量的无性系人工林,以满足国家日益增长的木材供给和生态建设需求^[25-31]。除五大造林树种外,泡桐(*Paulownia* sp.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、楸树(*Catalpa* sp.)、相思(*Acacia* sp.)、白榆(*Ulmus pumila*)、木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)、思茅松(*Pinus kesiya* var. *langbianensis*)等树种也主要采取无性系造林,推算目前来源于无性系人工林的木材已占我国国产材生产的50%以上。此外,一些树种在用于防护林和城乡绿化等生态环境建设时也多采用优良无性系,其中仅就“三北”防护林建设而言,在2000年时营造的各种杨树人工林就已达400多万 hm^2 ,且仍以每年新增20多万 hm^2 的速度发展^[21]。

无论是用材林建设,还是防护林和城乡绿化,无性系选育、无性系造林是与无性系利用的目标紧密联系的,即无性系林业要根据栽培环境和目的选用适宜良种。在无性系林业的发展中,应根据不同的利用目的及其栽培环境特点,定向开展优良无性系选育,并采取适当的栽培和抚育管理措施进行无性系人工林培育。而我国无性系林业的发展现状是,虽然有定向育种品种,却没有完全实现定向造林和定向利用。最具代表性的例子就是近年来社会普遍关注的杨柳飞絮问题。自“八五”以来,我国就已选育出一批优良的杨柳雄株品种^[6-8]。而在城乡绿化以及城市附近的防护林和用材林建设时,选择种植杨柳雄株品种就不会产生飞絮危害。尽管当前相关造林和绿化项目规划和招标均要求使用杨柳雄株品种,但是,由于市场苗木销售多按苗木大小或直径粗细计价,加之杨柳苗期雌雄辨识困难,导致前期生长较快的雌株苗木被充当雄株繁育、销售、种植等,甚至在一些地区形成飞絮危害。

此外,自“八五”国家科技攻关以来,我国已经选育出一批主要造林树种的纤维用材、胶合板材专

化品种^[6-8],但却很少实现定向培育、定向利用一体化。在林业生产中如能根据栽培环境和利用目标选择利用这些品种,可以充分发挥品种的遗传潜力,实现效益最大化。如杨树三倍体品种具有生长迅速、纤维长、木素含量低等特性,尤其适合纸浆材等纤维用材生产。而当前造成飞絮的一些杨树雌株品种,如用于短周期用材林栽培,则可在大量产生飞絮前的5~10年生内实现采伐,既利用了雌株品种前期生长快的特性,也不会造成飞絮危害等。

6 关于无性系林业发展的建议

为充分发挥无性系林业的优势,有效利用无性系品种的特点,促进我国森林资源培育、林业产业发展和生态环境建设,针对无性系选育、无性系造林和无性系利用中存在的问题,提出如下意见和建议。

1) 针对无性系品种基因型与环境互作效应显著,及其定向造林和定向利用问题,建议充分发挥国家和省部林木遗传育种科技平台的作用。在不断加强相关科技平台人才队伍建设以及林木育种科研经费投入的同时,积极推动国家和省部科研平台与有条件的企业、以及地方的大学、科研院所共建林木育种研发中心。从而增加林木育种研究队伍和品种的体量和覆盖度,促进技术成果转化和拓展,为特定栽培区域选择增产幅度大的优良无性系主栽品种,或为较大的栽培区域选择丰产且稳定性高的具广泛适应性优良无性系品种,在不断深化的产学研融合中实现无性系品种的定向造林、定向利用。

2) 针对林木无性繁殖的成熟效应与位置效应导致品种退化问题,建议加强重要树种无性繁殖技术标准的制定。约束良种生产必须采取科学的无性繁殖技术和繁育制度,尽可能降低成熟效应与位置效应的影响。同时,加大林木老化和生根机理,以及无性繁殖材料幼化和复壮等无性繁殖技术研究力度;尤其是重视通过根萌或组培等技术方法,保持或及时恢复林木良种采穗圃繁殖材料的幼年性特点,实现优良品种的可持续高效利用。重视国家和省部级良种基地、育苗基地的示范作用,带动我国无性系林业科技和管理水平的整体提升。

3) 针对同一无性系品种各分株的遗传组成相同,在栽培过程中因个体竞争能力相同而容易发生人工林群体衰退的问题,建议国家针对无性系人工林的特点,修订、完善相关的林业政策和法律法规。将杨树等无性系林业发展较好的用材或生态兼用树种同经济林树种一样列入木本作物范畴,取消相关树种采伐指标等限制;当采用无性系品种营建的用材林以及防护林等生态公益林达到经济成熟

时及时进行间伐或轮伐更新。在通过采伐获取一定经济收益的同时,防止无性系人工林因个体竞争能力相似而发生群体衰退,甚至引发生态灾害,保证国家有限林地资源的充分利用。

4)当无性系林业与林业产业发展相联系时,林业生产经营将会因此产生显著的变革。主要体现在:无性系育种和造林开始以高产出、高赢利为目标;培育目标定向化,直接瞄准林业产业终端产品;资源培育开始向技术、资金密集型的集约化生产转变等。此时,不但重视单位面积林地的产出最大化;同时更重视作为原材料的木材等是否适合企业终端产品的生产。因此,在无性系林业实践中应该更突出良种和良法配合,在科学的栽培管理措施下,重视林分数量成熟与工艺成熟最佳配合下的经济成熟,从而保证整个产业链条的综合效益最大化。

总之,无性系选育是选择利用群体中遗传增益最为显著的个体而不是群体平均值,综合利用加性与非加性遗传效应,是遗传改良的高级途径。以此为基础,无性系林业可以实现林木基因资源的高效栽培和加工利用,是林木资源的高级利用形式。在无性系林业的具体实践中,我们应正确地认识和利用无性系的特性和无性系林业的优势,配合以科学的技术方法和管理措施,高效发挥无性系林业在保障国家木材供给安全、促进林业产业发展以及生态环境建设等方面的重要支撑作用。

参 考 文 献

- [1] LIBBY W J, RAUTER R M. Advantages of clonal forestry[J]. The Forestry Chronicle, 1984, 3:145-149.
- [2] 朱之梯. 树木的无性繁殖与无性系育种[J]. 林业科学, 1986, 22(3):280-290.
ZHU Z T. Vegetative propagation and clonal breeding of forest trees [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1986, 22(3):280-290.
- [3] 马常耕. 无性系林业:工业人工林世界潮流新营林体系[J]. 世界林业研究, 1989 (1):1-19.
MA C G. Clonal forestry: a global new current of industry plantation[J]. World Forestry Research, 1989 (1):1-19.
- [4] 彭方仁. 无性繁殖的进展及其在无性系林业中应用前景[J]. 世界林业研究, 1990 (4):74-81.
PENG F R. Development of asexual reproduction and its application prospect in clonal forestry [J]. World Forestry Research, 1990 (4):74-81.
- [5] 王明麻. 论无性系林业:概念和应用[J]. 桉树科技, 1991 (1):6-10.
WANG M X. Clonal forestry: idea and application [J]. Eucalypt Science & Technology, 1991 (1):6-10.
- [6] 何承忠, 张志毅, 安新民, 等. 我国杨树育种现状及展望[J]. 西南林学院学报, 2006, 26(4):86-89.
HE C Z, ZHANG Z Y, AN X M, et al. Present situation and prospect to poplar breeding in China[J]. Journal of Southwest Forestry College, 2006, 26(4):86-89.
- [7] 苏晓华, 丁昌俊, 马常耕. 我国杨树育种的研究进展及对策[J]. 林业科学研究, 2010, 23(1):31-37.
SU X H, DING C J, MA C G. Research progress and strategies of poplar breeding in China [J]. Forest Research, 2010, 23 (1):31-37.
- [8] 康向阳. 新一轮毛白杨遗传改良策略的思考和实践[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(7):1-8.
KANG X Y. Thinking and practices for strategy on a new round genetic improvement of *Populus tomentosa* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2016, 38(7):1-8.
- [9] 郭志伟, 代力民. 林业可持续发展研究现状和展望[J]. 世界林业研究, 2003, 16(4):1-6.
GUO Z W, DAI L M. Present situation and prospect of study on sustainable forestry development [J]. World Forestry Research, 2003, 16(4):1-6.
- [10] 李新国, 朱之梯. 表型相关剖分模型及其在毛白杨育种中的应用[J]. 北京林业大学学报, 1992, 14(2):17-22.
LI X G, ZHU Z T. Study on the partitional model of phenotypic correlation and its application in genetic improvement of *Populus tomentosa* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1992, 14 (2):17-22.
- [11] 李新国, 朱之梯. 林木基因型与地点最佳组合选择的研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(3):15-18.
LI X G, ZHU Z T. Selection of better combinations of genotypes and sites of forest trees [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1998, 20(3):15-18.
- [12] 王明麻, 黄敏仁, 吕士行, 等. 黑杨派新无性系研究 II: 生长的适应性和遗传稳定性分析[J]. 南京林业大学学报, 1987, 11(4):1-14.
WANG M X, HUANG M R, LÜ S H, et al. Study of new clones of the algeiros section II: analysis of the adaptability and genotypic stability of the growth in the nursery [J]. Journal of Nanjing Forestry University, 1987, 11(4):1-14.
- [13] 顾万春. 毛白杨优良无性系选育: 生产力、遗传稳定性和适应性评价[J]. 林业科学研究, 1990, 3(3):222-228.
GU W C. The selection breeding of excellent clones of *Populus tomentosa*: an evaluation of productivity, genetic stability and adaptability [J]. Forestry Research, 1990, 3(3):222-228.
- [14] BOLSTAD P V, LIBBY W J. Comparison of radiate pine cuttings of hedge and tree-form origin after seven growing seasons [J]. Silvae Genetica, 1982, 31(1):9-13.
- [15] 朱之梯, 盛莹萍. 论树木的老化: 幼年性、成年性、相互关系及其利用[J]. 北京林业大学学报, 1992, 14(增刊3):92-104.
ZHU Z T, SHENG Y P. On ageing of trees: juvenility, maturity, their relations and utilization [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1992, 14(Suppl. 3):92-104.
- [16] MONTEUUIS O. In vitro rooting of juvenile and mature *Acacia mangium* microcuttings with reference to leaf morphology as a phase change marker[J]. Trees, 2004, 18:77-82.
- [17] 谭健晖, 王以红, 陈学政, 等. 桉树无性繁殖衰退过程中的生理变化[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(3):15-22.
TAN J H, WANG Y H, CHEN X Z, et al. Physiological changes

- during the senescence process of vegetative propagations of eucalyptus[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(3):15-22.
- [18] GIOVANNI S, WANG X N, HSIAO Y L, et al. Organ regeneration does not require a functional stem cell niche in plants[J]. Nature, 2009, 457(26):1150-1153.
- [19] 朱之梯, 张志毅, 赵勇刚. 毛白杨优树快速繁殖方法的研究[J]. 北京林业大学学报, 1986, 8(4): 1-17.
ZHU Z T, ZHANG Z Y, ZHAO Y G. Studies on a rapid method for vegetative propagation of *Populus tomentosa* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1986, 8(4): 1-17.
- [20] 朱之梯. 毛白杨多圃配套系列育苗新技术研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(增刊): 4-33.
ZHU Z T. Study on new breeding techniques of many nursery supporting series of *Populus tomentosa* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(Suppl.): 4-33.
- [21] 吕文, 张卫东. 发展杨树在三北防护林建设中的作用和地位[J]. 林业科技通讯. 2000(5):7-9.
LÜ W, ZHANG W D. The role and status of poplar plantation in the Three North Shelterbelt Construction [J]. Forest Science and Technology, 2000(5):7-9.
- [22] 骆有庆, 李建光. 杨树天牛灾害控制的应用技术和基础研究策略[J]. 北京林业大学学报, 1999, 21(4):6-12.
LUO Y Q, LI J G. Strategy on applied technology and basic studies of poplar longhorned beetle management [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1999, 21(4):6-12.
- [23] 虞春航, 李淑梅, 韩一凡. 我国杨树工业人工林存在的一些问题[J]. 林业实用技术, 2006(10):11-13.
YU C H, LI S M, HAN Y F. Several problems in industrial poplar plantation of China [J]. Practical Forestry Technology, 2006(10):11-13.
- [24] 宋立宁, 朱教君, 闫巧玲. 防护林衰退研究进展[J]. 生态学杂志, 2009, 28(9):1684-1690.
SONG L N, ZHU J J, YAN Q L. Review on the shelter forest decline [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(9):1684-1690.
- [25] 韩刚, 黄少伟. 无性系林业与林业可持续发展[J]. 福建林业科技, 2003, 30(4):89-92.
- HAN G, HUANG S W. Clone forest and the sustainable development of forestry[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2003, 30(4):89-92.
- [26] 方升佐. 中国杨树人工林培育技术研究进展[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10):2308-2316.
FANG S Z. Silviculture of poplar plantation in China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(10):2308-2316.
- [27] 张樟德. 桉树人工林的发展与可持续经营[J]. 林业科学, 2008, 44(7):97-101.
ZHANG Z D. A review on development situation and sustainable management of eucalypt plantation [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(7):97-101.
- [28] 施季森, 何祯祥, 叶志宏, 等. 杉木无性系扦插生根能力遗传变异的研究[J]. 南京林业大学学报, 1993, 17(4):9-14.
SHI J S, HE Z X, YE Z H, et al. Genetic variation of rooting ability of between Chinese fir clones [J]. Journal of Nanjing Forestry University, 1993, 17(4):9-14.
- [29] 欧阳磊, 郑仁华, 翁玉榛, 等. 杉木优良无性系组培快繁技术体系的建立[J]. 南京林业大学学报, 2007, 31(3):47-51.
OUYANG L, ZHENG R H, WENG Y Z, et al. Establishment of technique system of tissue culture on Chinese fir superior clones [J]. Journal of Nanjing Forestry University, 2007, 31(3):47-51.
- [30] 季孔庶, 王章荣, 陈天华, 等. 马尾松插穗生根能力变异的研究[J]. 南京林业大学学报, 1998, 23(3):66-70.
JI K S, WANG Z R, CHEN T H, et al. A study on rooting ability variation of masson pine (*Pinus massoniana* Lamb.) cuttings [J]. Journal of Nanjing Forestry University, 1998, 23(3):66-70.
- [31] 杨俊明, 沈熙环, 赵士杰, 等. 华北落叶松采穗圃经营管理技术[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(3):28-34.
YANG J M, SHEN X H, ZHAO S J, et al. Techniques in establishment and management of cutting orchard of *Larix principis-rupprechtii* Mayr. [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(3):28-34.

(责任编辑 赵 勃

责任编委 苏晓华 卢孟柱)