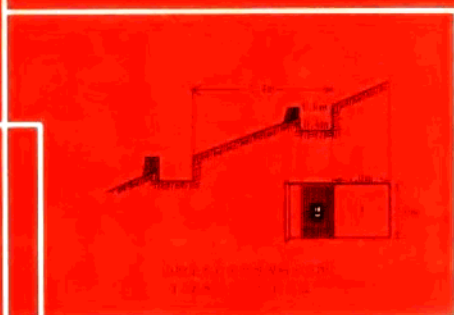
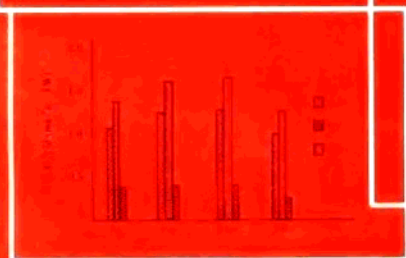
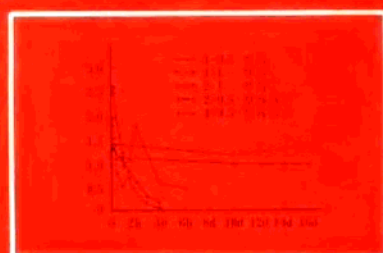


LINMU YUMIAO JISHU YANJIU

林木育苗 技术研究

张建国 彭祚登 丛日春
冯峻极 李荣玲 郎建民 著



中国林业出版社

林木育苗技术研究

张建国 彭祚登 丛日春 著
冯峻极 李荣玲 郎建民

中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

林木育苗技术研究/张建国等著. —北京: 中国林业出版社, 1998. 10
ISBN 7-5038-2122-1

I. 林 I. 张… III. 苗木-育苗-研究 IV. S723.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 27864 号

中国林业出版社出版发行

(100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

北京地质印刷厂印刷

1998 年 10 月第 1 版 1998 年 10 月第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 13.25

字数: 320 千字 印数: 1~1000 册

定价: 16.00 元

前 言

林木育苗技术是林业生产活动中一项关键性的基础技术,其意义非常重大。目前我国苗木培育的技术与理论水平与林业发达国家相比,仍有相当的差距。收入本书的论文主要汇集了作者在“大兴安岭北部特大火灾区恢复森林资源研究”课题和“八五”国家攻关专题“太行山干瘠立地造林技术研究”及“主要工业用材树种施肥技术研究”取得的成果,反应了近10年来作者在林木培育技术和理论方面的探索,其中部分成果曾先后两次获林业部科技进步三等奖,如移植容器苗培育技术、稀土育苗技术和苗木活力机理研究等;部分成果已通过鉴定,达到国际先进水平,如对林木营养特性的研究等。

全书共十二章。第一章论述了林木育苗技术与理论进展,主要对稀土育苗技术、苗木施肥技术、苗根化育苗技术、苗木无性繁殖技术、苗木质量评价技术和容器育苗技术进行了系统介绍和评述,目的是为进一步深入研究提供参考;第二章至第十一章系统介绍了作者在苗根化育苗技术、稀土育苗技术、常规育苗技术、山地集水育苗技术和苗木质量保存技术以及在苗木培育机理(如苗木生长规律、营养特性、水分特性和苗木活力)等方面的研究成果;第十二章介绍了大型苗圃现代化管理,包括管理思想和技术以及苗圃系统管理软件。这些研究的试验地主要设在黑龙江省西林吉林业局中心苗圃和北京市门头沟区上苇甸乡。西林吉林业局中心苗圃,位于北纬 $52^{\circ}59'$,东经 $122^{\circ}32'$,海拔约430m,年平均气温在 $-3\sim-5^{\circ}\text{C}$,1月份平均气温为 $-20\sim-30^{\circ}\text{C}$,极端最低温度 -52.3°C ,7月份平均气温 $17\sim20^{\circ}\text{C}$,极端最高温度 35.1°C ;地表温度平均 $-2\sim-4^{\circ}\text{C}$,极端最高温度 60°C ,极端最低温度 -50°C ,10cm土壤冻结期为10月下旬至翌年4月下旬,大于 10°C 年积温为 $1500\sim2000^{\circ}\text{C}$ 。早霜始于9月上旬,晚霜止于6月上旬,无霜期90d左右,生长期 $90\sim120\text{d}$,年降水量500mm,主要集中在6月、7月、8月,年均日照时数2630h,年蒸发量1000mm左右。本区属寒温带季风区,常年以西北风为主,年均风速 $2\sim3\text{m/s}$,春季风大,最大风力可达8级,年积雪期 $165\sim175\text{d}$ 。土壤为欧亚大陆寒温带针叶林区的沿河阶地淤积母质,主要有泥炭沼泽土、泥炭腐殖质沼泽土和潜育草甸土,有机质含量6.56%,pH值5.38,主要造林树种为兴安落叶松和樟子松。

北京市门头沟区上苇甸乡,位于北纬 $39^{\circ}48'34''\sim40^{\circ}10'37''$,东经 $115^{\circ}25'00''\sim116^{\circ}10'7''$ 之间,平均海拔482m,属太行山砂页岩低山丘陵区,立地等级为Ⅲ级,土壤水热条件极不协调,一般无灌溉条件。该地气候属典型的大陆性暖温带季风气候,四季分明,冬夏较长,春秋较短。春季升温快,昼夜温差大,干旱多风,主要风向为西北风,最大风力可达10级以上,夏季炎热多雨,秋季凉爽湿润,降温迅速,冬季寒冷干燥且较长。年平均气温 11.8°C ,最低气温 -13.4°C ,最高气温 34.7°C ,无霜期约180d,年平均降雨量为 $340\sim540\text{mm}$,且主要集中在6、7、8三个月,蒸发量极大。山区主要植被类型为次生演替型荒山灌丛,植被建群种主要有山杏、山桃、酸枣、胡枝子、荆条、白草、京大戟等。上苇甸乡境内95%以上为荒山荒地,其中现已造林的仅占16.1%,植树造林,绿化荒山的任务十分艰巨,加之这一地区长期以来水土流失严重,生态环境恶劣,给造林工作又增加了更大的困难。

本书的六位作者先后从师于我国著名林木育苗专家宋廷茂教授,攻读造林学硕士学位。书

中大部分研究成果是在宋廷茂教授指导下完成的。现在我们集结成书，以感谢和报答先生对我们的培养之恩。此外，本书的出版还得到了中国林业科学研究院青年人才出版基金的部分资助，在此表示感谢。

限于作者的水平，书中肯定有不少错误和不当之处，敬请读者和同行批评指正。

张建国

1998年9月

目 录

第一章 林木育苗技术与理论进展	(1)
1 稀土育苗技术	(1)
2 苗木施肥技术	(2)
3 菌根化育苗技术	(4)
4 苗木无性繁殖技术	(6)
5 苗木质量评价技术	(7)
6 容器育苗技术	(9)
第二章 苗木生长规律研究	(11)
1 研究方法	(11)
2 樟子松 2-0 型留床苗生长规律	(11)
3 移植苗的年生长规律	(13)
4 兴安落叶松播种苗年生长规律	(15)
5 结 论	(18)
第三章 苗木水分参数研究	(20)
1 苗木和幼树 π_0 及 π_{100} 的季节变化	(20)
2 苗木和幼树 RWC 和 ROWC 的季节变化	(22)
3 组织弹性模量 ϵ 的季节变化	(23)
4 水分释放曲线的季节变化	(23)
5 苗木和幼树水势与膨压关系的季节变化	(26)
6 自由水 (V_s) 和束缚水 (V_a) 的含量的季节变化	(27)
7 结 论	(28)
第四章 苗木营养特性研究	(30)
1 研究方法	(30)
2 磷素营养对杉木、湿地松和尾叶桉苗木生长的影响	(30)
3 杉木、湿地松和尾叶桉苗木磷素营养效率的差异	(31)
4 磷素营养对杉木、湿地松和尾叶桉苗木养分累积分配的影响	(33)
5 磷素营养与苗木气体交换关系	(33)
6 磷素营养对苗木干物质分配模型的影响	(34)
7 施 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 对土壤养分含量及利用效率的影响	(38)
8 杉木、湿地松和尾叶桉苗木营养诊断标准的建立	(40)
9 结 论	(41)
第五章 苗木活力研究	(42)
1 晾晒试验设置及指标测定	(42)
2 晾晒对苗木体内水分状况的影响	(43)

3	晾晒对苗木根系活力的影响·····	(46)
4	苗木体内水分状况与根系活力的关系·····	(47)
5	苗木活力对造林成活率及其生长的影响·····	(48)
6	造林季节的选择·····	(53)
7	结 论·····	(54)
第六章	苗木质量保存技术研究 ·····	(56)
1	试验设置·····	(56)
2	不同贮藏方法对苗木质量的影响·····	(57)
3	不同贮藏方法对苗木成活率和初期高生长的影响·····	(59)
4	不同越冬贮藏方法对苗木营养物质含量的影响·····	(59)
5	根系处理+包装方法对苗木初期生长及造林成活率的影响·····	(60)
6	根系处理+晾晒时间对苗木生根成活的影响·····	(63)
7	结论及建议·····	(66)
第七章	常规育苗技术研究 ·····	(69)
1	兴安落叶松育苗播种日期的研究·····	(69)
2	兴安落叶松育苗播种量与密度的研究·····	(72)
3	兴安落叶松播种苗生长规律与“心止”现象机理的研究·····	(75)
4	兴安落叶松塑料大棚育苗截根技术与机理的研究·····	(78)
5	樟子松出圃苗龄型与移植密度的研究·····	(85)
6	苗圃化学除草剂选型与应用技术的研究·····	(91)
7	塑料大棚育苗关键技术经验总结·····	(97)
第八章	稀土育苗技术研究 ·····	(101)
1	研究历史和现状·····	(101)
2	研究方法·····	(101)
3	稀土浸种对种子萌发的影响·····	(103)
4	叶喷稀土对苗木生长的影响·····	(106)
5	结 论·····	(116)
第九章	菌根化育苗技术研究 ·····	(120)
1	研究材料·····	(120)
2	外生菌根菌的筛选与接种效果的研究·····	(121)
3	外生菌根促进苗木对营养元素吸收及其机理的研究·····	(125)
4	菌根增强苗木抗逆性及机理的研究·····	(128)
5	接种外生菌根菌对苗木生理指标的影响·····	(130)
6	不同接种方法对接种效果影响的研究·····	(133)
7	不同肥力水平对油松播种苗接种效果影响的研究·····	(135)
8	结 论·····	(137)
第十章	山地集水育苗技术研究 ·····	(139)
1	研究方法·····	(139)
2	试验区近年降水特征分析·····	(140)

3 不同集流措施的集流效果	(143)
4 不同集流措施下营养土水分的有效性评价	(150)
5 不同集水措施下苗木培育的效果	(152)
6 结论与问题讨论	(161)
第十一章 山地移植容器苗培育技术研究	(163)
1 研究方法	(163)
2 不同苗木类型抗逆性的分析	(166)
3 不同季节山地移容苗培育的效果	(170)
4 移植时的苗龄对山地移容苗培育效果的影响	(172)
5 不同容器规格对山地移容苗培育效果的影响	(173)
6 山地移容苗的造林效果	(175)
7 结论与建议	(178)
第十二章 苗圃现代化管理	(180)
1 管理信息系统的新发展——专家系统 (Expert System) 发展概况	(180)
2 育苗技术专家咨询系统的软件设计	(183)
3 育苗技术专家咨询系统的结构和功能	(192)
4 落叶松育苗技术专家咨询系统软件开发小结	(199)
附录 1: 育苗技术专家咨询系统的实现	(199)
附录 2: 系统测试	(201)
附录 3: 专家咨询系统关键词一览表	(201)

第一章 林木育苗技术与理论进展*

20 世纪,由于全球工业的发展对原始森林的破坏性利用,导致资源的短缺和环境危机,促使了人工林业的迅速发展,因此与此相关的森林培育技术也取得了长足进步。众所周知,苗木培育是造林绿化的基础,本章将详细介绍林木育苗技术和理论的主要进展,目的是为我国的造林绿化提供技术参考。

1 稀土育苗技术

稀土是周期表中的一组元素,它由性质十分接近的镧、铈、镨等 15 种镧系元素与钪系元素性质相似的钇、铽共 17 种元素组成。我国稀土资源非常丰富,居世界首位,工业储量达 $3.6 \times 10^7 \text{t}$ (按氧化物计),国外公布的稀土储量 $1.084 \times 10^7 \text{t}$,其中美国 55%,印度 29%,巴西 5.3%,澳大利亚 4.3%,前苏联 4%。稀土的应用研究始于 20 世纪 30 年代初,当时前苏联的学者德罗布科夫等在小麦、豌豆、萝卜、亚麻等作物上应用铈、镧等作盆栽试验,他指出稀土元素能促进植物的生长,其中以混合稀土元素的效果最佳,其次是单一稀土铈、镧。60 年代,罗马尼亚的高罗维茨和保加利亚的依凡诺娃等也进行了这方面的试验,结果表明,小剂量稀土元素对多种农作物的生长和发育及产量都有一定促进作用,大剂量对作物的生长产生明显的抑制作用。我国从 70 年代后期开始进行研究,迄今为止已在 30 多种农作物上获得明显增产效果,并在生理作用机理、毒素卫生和生产工艺方面取得显著进展,从现状看,稀土应用技术研究居世界领先地位。

1.1 稀土在育苗上的应用 主要包括 2 个方面:一是稀土浸种可提高林木种子发芽率;二是喷施稀土可促进苗木生长,提高苗木质量。国内应用混合稀土和镧对 30 多个树种种子浸种处理表明,适当的浓度可显著提高种子萌发或加快幼苗生长。研究结果还表明,稀土对树木种子萌发的影响在于能调节种胚酶的活性,增加氨基酸含量。例如,经 $500 \sim 2500 \text{mg/L}$ 稀土浸种油松种子,幼胚氨基酸总量比对照提高 $2.42\% \sim 25.42\%$,并影响种子呼吸而促进胚发芽。对杉木、木荷、板栗、泡桐、杨树苗木的喷施试验表明,适宜浓度可明显促进苗木生长,提高苗木质量。例如,用 $100 \sim 200 \text{mg/L}$ 稀土喷施杉苗,苗高和地径分别提高 $16\% \sim 35\%$ 和 $3\% \sim 5\%$ 。一级、二级苗达到总产苗量的 $90\% \sim 95\%$ 。

1.2 稀土对苗木的生理作用机理 主要包括 3 个方面:①稀土可增强苗木根系的生物活性。在根系生长环境中加入适当浓度的稀土,可促进苗木根系的生长,其原因是稀土改变了根组织内的过氧化物酶和脂酶活性。对泡桐幼苗的水培试验表明,pH 值 5.5,经稀土处理,幼苗根系显著高于对照,且新根发生良好。在 5mg/L 的稀土水培组中,稀土在各器官中的含量是根 $267.5 \text{mg/L} >$ 叶 $27.7 \text{mg/L} >$ 茎 16.2mg/L ,表明稀土苗木吸收后多累积于根部且运输到叶片。另一项试验还证明,稀土对扦插生根同样起促进作用,用低浓度稀土与吡啶乙酸混合可提高插条基部分生组织形成与不定根的生成,当稀土浓度为 $5 \sim 10 \text{mg/L}$ 时,龙眼、荔枝、高山含笑插条根系生长比对照提高 $40\% \sim 70\%$,落叶松提高 $80\% \sim 90\%$ 。这些试验均表明稀

* 张建国、郎建民执笔。

土是苗木可吸取的物质,并在运输中起到促进根系生长的作用。②稀土能提高苗木叶绿素含量和光合作用强度。研究表明,经稀土水培的幼苗叶片深绿,光合强度提高142% (浓度为3mg/L时)。对经济林木喷施结果表明,用600mg/L浓度稀土液喷施梨、板栗、苹果和柿,叶绿素比对照分别提高2.84mg/L、0.8mg/L和7.03mg/L,杏、板栗、梨和苹果的光合强度比对照提高0.088 2mg/cm²、0.059 3mg/cm²、0.05mg/cm²和0.019 1mg/cm²。③稀土能促进苗木对矿质元素的吸收。稀土能促进矿质营养元素的吸收在农作物上得到了普遍证明,林业上这方面的研究不多。对不同肥力圃地杉苗喷施稀土研究表明,肥力稍高的圃地,苗木叶片累积N比对照提高6.3%~11.7%,肥力偏低圃地叶片N累积比对照高0.5%~3.8%,P、K累积有类似趋势。对枣树喷施结果表明,花期喷施,可促进N、P、B、Zn等元素的吸收。

2 苗木施肥技术

苗木施肥是依据苗木生理活动对营养元素的需求以及土壤供给养分的能力,根据培育目标要求,合理补充养分,从而最大限度地提高苗木产量和质量的一项关键育苗技术。国外从20世纪30年代初就开始对苗木施肥进行研究,进入60年代后苗木施肥研究转向了矿质营养理论研究,目前已取得了显著进展。我国从60年代开始,在苗圃地进行试验研究,但进展一直非常缓慢。近年来,随着人工林的迅速发展,苗木的培育显得越发重要,从而推动了苗木营养研究。到目前为止,已对几个主要造林树种,如杉木、湿地松、马尾松、杨树、落叶松、油松、侧柏等进行了苗期营养研究,取得了一批有价值的成果,并应用于生产。但是,与国外相比仍显落后,尤其是在苗木矿质营养理论上鲜有涉足。此外,无论是国内还是国外,林业苗圃地苗木施肥的目的性都不是很明显,其主要原因是由于我们对苗木质量的研究不够,不明确什么样的造林立地需要什么样的苗木,从而导致了苗圃培育苗木过程中施肥的盲目性,浪费比较严重。

2.1 苗木对施肥的肥效反应 一般认为,苗木需N量最多,也容易发生N缺乏症,因此,N素成为苗木施肥的主要元素。中国林业科学研究院曾用水培法对油松等4个树种苗木进行缺素培养,结果表明,缺N素对苗木的抑制作用最大,这一结果表明了在N、P、K三元素中N素的重要性。但是水培结果有明显的缺陷,难以应用到大田。大量试验表明,苗木对N、P、K的肥效反应随树种、土壤的不同而不同。例如,在我国南方发育在第四纪红色粘土母质上的黄壤、红壤、黄红壤等酸性土壤,由于普遍缺P (常低于2μg/g),施P肥效显著,而N、K较为充足,无肥效,N素甚至有负效应,因此土壤的养分状况对苗木N、P、K的肥效反应起决定作用。对湿地松苗木生长与红壤、黄壤养分关系的研究表明施P对苗木各项生长指标和干物质累积具有极显著促进作用,N、P合理配施能更好发挥P肥肥效。对江西黄红壤上杉木、湿地松、马尾松、尾叶桉4个树种的苗木营养特性进行了系统研究,结果表明,P素对4个树种苗木均有显著肥效,N素对杉木、湿地松、马尾松有明显的抑制作用,但对尾叶桉有促进作用,这一结果一方面表明了土壤养分状况对施肥肥效的影响,另一方面表明了树种营养特性的差异。对杉木、湿地松、马尾松来说,供试土壤N素充足,而对尾叶桉N素则仍然不够。

此外,大量试验还表明,N、P、K三元素对苗木生长有明显的交互作用。交互作用表明了苗木平衡施肥的重要性,单一的元素有可能无效甚至导致负效应。在这一领域研究最多的主要有美国、澳大利亚等国。美国的研究主要集中在N、P、K三元素及其配比对苗木 (主要是松属树种) 生长和生物量的影响。如对长叶松的研究发现,N、P、K配施比单施N能提高鲜重110%,造林成活率提高22%。对加勒比松、海岸松、辐射松的研究也证明,施用P素

必须结合 N 素才能提高实生苗的高度。国内对侧柏、洋白蜡、杉木、湿地松等树种的研究同样表明, N、P、K 配施效果最好。

2.2 营养诊断技术 营养诊断技术是施肥措施中判断养分亏缺、平衡状况、需求顺序及确定最佳施肥量、施肥配比、施肥时间的依据,是施肥技术中的关键技术。早期的营养诊断主要采用叶片形态(主要是颜色变化)和“临界值法”,为许多农作物和果树确定了叶片缺素图谱和营养的最佳值、缺乏值和毒害值,为合理施肥提供了理论依据。叶片缺素症图谱直观实用,对有相当实践经验的人来说应用方便。“临界值法”是以单一元素为营养诊断标准,后来人们又发现,植物对各种养分的需求不同,只有各种养分之间保持一种协调的比例,才能达到最高产量,于是养分平衡的观点和平衡施肥的重要性逐渐被人们认识,并在大量研究中予以证实。在 70 年代,Beaufils 在“临界值法”的基础上,引入平衡原理,提出了“综合诊断法”,简称 DRIS 法,使营养诊断技术取得了长足的进步。DRIS 法的优点是能判别养分需求顺序,缺点是诊断所得的平衡有可能是低水平的平衡。因此,人们常用“临界值法”和 DRIS 法并用,以提高确诊率。此外,关于营养诊断还有土壤营养诊断技术,但由于土壤的复杂性及人们对植物营养特性与土壤养分供应状况间的关系了解甚微,诊断结果可靠性较差,应用受到一定限制。

2.3 稳态矿质营养理论 50 年代哥本哈根 Carlsberg 实验室的 Olsen 首次发现经典水培低浓度根表面的系统浓度差,后来 Edwards 等又提出 12L/s 流动速率能防止流动营养物质连续耗尽。70 年代,瑞典的 Ingsted 在定量分析传统的流动液培养的基础上,从植物整体水平出发,提出了稳态矿质营养理论技术。与传统矿质营养不同:①稳态营养理论以营养物相对供应速率为处理变量,外界营养物浓度降为次要变量,这种研究能客观地反映植物生长与营养之间的关系,即在指数生长期,当营养亏缺时,植物生长速率与营养物相对供应速率相等,生长速率、体内营养物质状况均能保持稳定。当营养过量时,与传统营养相同,出现离子吸收的负反馈,两部分的分界点即为最适营养点。②稳态营养研究以营养物供应速率为变量,与土壤矿化作用速率相结合,从动力学的角度研究营养与生长的关系,使结果更富于代表性。但是目前稳态矿质营养的研究仍停留在实验室可控条件的理论探索阶段,应用到大田苗木施肥还有相当距离。“八五”期间,中国林业科学研究院施肥课题组应用该理论对湿地松和杉木苗期的营养特性进行了研究,但研究与实际施肥试验结果相差较大,其主要原因是:稳态营养理论是以最大生长速率需求的大量元素间的重量比($N=100$ 为限制因子)来研究营养需求,自然结果很难反映具体土壤条件下的苗木营养需求,因此,这一理论技术应用于苗木施肥有待于进一步的改进和完善。作者认为,稳态营养应用于无土栽培、容器育苗可能更容易成功。

2.4 施肥模型 施肥模型一般分为经验模型(或称统计模型)和机理模型:①经验模型是根据试验和观测的大量数据以数理统计为基础所建立的经验性的数学表达式。例如反映施肥量与作物产量关系的各种肥料效应方程,植物对养分吸收的动态模型等均属这一类模型。第一个肥料效应模型是 Mitscherlich 提出的指数曲线模型,表达式为 $y=a(1-e^{-cx})$, y 为供应某种养分后获得的作物产量, a 为最高产量, c 为效应系数。很明显这一曲线的不足之处是不能反映施肥过量时作物的产量变化趋势。后来 Niklas 和 Miller 又提出了二次多项式模式,使施肥模型进入了一个新阶段。Colwell 提出了应用平方根多项式和逆多项式作为肥料效应的函数。实际上这些模型都是二次多项式的变换式,所不同的是主要体现在曲线初始斜率和曲线顶峰的变化趋势上。目前,在国内应用二次多项式及其变化式比较多,拟合性也比较好。应用模

型进行推荐施肥,可使施肥进入科学定量的新阶段。在林业苗木的培育上,有少数林业工作者开展了应用二次多项式模型进行合理施肥量的研究。②机理模型是建立在植物生长机理基础上的模型。与经验模型相比,机理模型一是具有较强的解释功能,能给生物生理过程给予描述;二是预测功能强;三是管理功能。从目前的研究现状看,机理模型研究的主要内容是:营养离子在土壤中向根吸收表面的移动;营养离子在木质部中向顶运输及其在地上各部分器官中的分布;营养元素在各器官特别是叶片中的功能等。机理模型能克服经验模型的不足,但由于其建模的复杂性,以及建模过程中诸多的假设,目前所建立的大多数机理模型仍难以在施肥方面发挥作用。今后,在相当长的时期内,经验模型仍将在生产宏观施肥决策方面发挥重大作用。

3 菌根化育苗技术

3.1 菌根化育苗现状 菌根是指植物根与真菌组成的复合器官,在绝大多数被子植物、裸子植物及一些蕨类植物和苔藓植物上形成。目前已知形成菌根的植物约有 200 科 1 000 多个属。一般菌根被划分为 3 个类型,即内生菌根 *Endomycorrhiza*, 外生菌根 *Ectomycorrhiza* 和内外生菌根 *Ectendomycorrhiza*。典型的内生菌根有杜鹃类菌根和兰科菌根,但分布最广的还是泡囊丛枝状菌根(简称 VAM)。外生菌根是由松科、柏科、杨柳科、桦木科、壳斗科、蔷薇科及桃金娘科等木本植物同担子菌亚门中的层菌纲、腹菌纲及子囊菌亚门中的散囊菌目、块菌目、盘菌目等高等大型真菌形成的共生联合体。

近三十年来,随着对菌根研究的深入,人们在实际应用中发现菌根的应用价值极大。美国自 60 年代以来,应用外生菌根真菌不同配方的纯培养菌丝体菌剂在加拿大和美国不同生长条件下、不同树上进行裸根苗和容器苗菌根试验,已研制成功最有效的商业配方,并成立了美国宾夕法尼亚州比斯堡应用研究中心大学菌根技术公司,进行菌根制剂的商品化生产、推广和应用。目前已在加拿大、巴西等国家被应用于多种针阔叶树种上。关于内生菌根,早在 70 年代, M. J. Daft 等人就将 VA 菌根应用于露天煤矿的废墟造林中,其做法是将巨孢囊霉 *Gigaspora gigantea* 接种到红花槭 *Acer rubrum* 上,2 个月 after, 菌根幼苗干重比对照增加了 5 倍,造林成活率大大提高。进入 80 年代后,已开始探索应用 VA 菌根在工业废地恢复植被的可能性。总之,美国在菌根应用技术方面处于领先地位。近十年来,我国在林业菌根应用技术方面也取得了显著进展,尤其是在外生菌根应用技术上取得了一批有重要价值的成果,已开始赶上美国的水平。最为明显的标志是中国林业科学研究院林木菌根研究中心研制开发成功了 Pt(彩色豆马勃 *Pisolithus tinctorius*) 菌根制剂,并形成规模化生产,创造性地提出了截根菌根化育苗造林技术,应用于国家造林项目,取得了明显成效。此外在 VA 菌根应用方面也取得了显著进展。菌根化苗的特点是:苗木质量高,抗逆性强,尤其在干旱地区造林、工矿污染区造林和引种造林上,应用菌根化苗能显著提高造林成活率。

3.2 菌根作用机理 菌根对植物作用机制的研究主要集中在菌根与植物养分关系的研究上,这一领域的研究对菌根的磷吸收机理研究最为引人注目。许多研究表明,菌根能显著改善土壤,尤其是低磷土壤中的植物磷营养效率。因此,一般把菌根促进植物生长归结于菌根促进了磷的吸收。菌根促进磷营养效率的机制比较复杂,主要机理包括:①扩大根系吸收面积,以提高土壤磷的空间有效性。众所周知,磷在土壤中的移动性很小,它主要是借助于扩散方式迁移到根表面,因此根的形态结构、粗细、根毛和侧根的数量对植物吸收利用土壤中的磷有决定作用。由于菌根的外生菌丝、菌丝套、菌索及其数量、长度、体积均远远超过了根毛,显

著扩大了植物根对土壤的接触面积和吸收面积,从而提高了土壤的有效利用空间,进而提高了土壤磷的吸收和有效性。②分泌磷酸酶,促进难溶性磷的溶解。研究表明,大多数菌根真菌的菌丝或菌套能分泌磷酸酶,将土壤中占80%的有机磷或难溶性的闭蓄态磷水解为植物能吸收利用的可溶性磷,从而提高了磷吸收量。③根际效应。菌根真菌在生长过程中产生酸性物质,释放 H^+ ,降低根际土壤pH值。菌根真菌的酸化作用,一方面为酸性的磷酸酶的作用提供了适合的环境条件,另一方面使铁等螯合,释放结合态的磷酸盐,促进磷的溶解。此外菌根际效应还影响到根际微生物种群数量和动态,进而影响磷的吸收。

近年来,关于菌根对微量元素吸收及其对植物体内微量元素利用方面的研究也颇受重视。但是由于菌根效应的研究方法及存在问题的限制,使得这一领域的进展不大。总的来说,菌根真菌对植物微量元素吸收的作用有两个方面,即直接作用和间接作用。直接作用是指根外菌丝本身从土壤中吸收微量元素,并运输到宿主植物体内的作用。间接作用是指菌根真菌的侵染引起植物根系形态、生理、体内急速激素等方面的变化,进而影响植物根系吸收微量元素的作用。大量的试验表明,VA菌根在植物微量元素营养作用中对锌和铜的促进作用最为普遍。在自然条件下,缺锌植物比缺铜植物种类更多,分布的土壤范围也更广,因此菌根对植物锌营养的重要性也更大。

关于菌根与氮素的吸收和代谢关系,早在1894年Frank就提出了“菌根氮理论”,至今进展仍不大。Carroodus认为,菌根对氮的吸收和利用能力差异很大,许多真菌不能利用硝态氮,绝大多数外生菌根和杜鹃类菌根具有吸收和利用氨态氮和其他简单氮化合物的能力。Bowen等和Barea认为,VA菌根具有从基质吸收氨态氮和硝态氮的能力,增加植物体内氮的浓度和含量。国内花晓梅认为,外生菌根真菌彩色豆马勃既能利用氨态氮、有机氮,又能利用硝态氮。

关于菌根与植物水分关系的研究近年在国外受到重视。主要的研究领域包括水分胁迫对菌根菌、菌根形成及寄主植物的影响,外生菌根对植物木质部压力势的影响,菌根与植物抗旱能力的关系等。普遍的结论是菌根在土壤—植物—大气连续系统中,对水分的传导起着相当重要的作用,菌根通过扩大吸收表面积,以增加寄主植物对水分和养分的吸收,尤其是水分胁迫情况小,菌根的形成,可增加根系的生理活性和吸收面积,从而提高了寄主的抗旱能力。在国内,近年来对菌根与木本苗木的水分关系也进行了有益的探索,如刘润进等对中国樱桃VA菌根的水分关系进行了研究,王昌温、吴炳云等对水分胁迫下油松容器苗菌根化处理的抗旱效应进行了详细研究,取得了良好的结果。

3.3 菌根化育苗技术 菌根化育苗技术是实现菌根在林业中应用的技术关键。中国在这一技术领域目前处于领先地位。其做法是:在田间育苗时,使用改装的播种机,在播种时同时播施菌根,主要是Pt菌剂,或在播种后用改装后的施肥机械将菌根菌剂施入苗床,进行大面积松树菌根化育苗。近年来,我国在菌根化育苗技术方面也取得了明显进展,提出了截根菌根化育苗技术。截根菌根化育苗技术是中国林业科学研究院林木菌根研究中心在研制成功Pt菌根制剂后,提出的一项育苗技术。该技术的提出标志着我国的菌根应用技术进入到了一个新的阶段,其水平接近国外先进水平。研究表明,截根与人工接种结合,促进菌根真菌的侵染和菌根的形成。截根的截面成为根—菌根接触的界面,伤口成为菌根真菌的主要侵染途径,改变了外生菌根侵染途径,菌丝套和哈氏网几乎同时形成,并发生胞内感染,形成内外生菌根的结构,截根菌根化明显促进了苗木根系发育及其菌根化。该技术已成功应用于马尾松、湿

地松、火炬松育苗上,取得了显著成效,已在国家造林项目中推广应用。

以上介绍的是外生菌根菌根化育苗技术。关于 VA 菌根,由于目前在优良菌株的筛选和发酵工艺方面没有取得突破,其应用进展比较缓慢。但是由于 VA 菌根其寄主范围广,一旦发酵工艺突破,其应用前景将可能超过外生菌根。

4 苗木无性繁殖技术

无性繁殖的历史非常悠久。据一些文献介绍,木本园艺植物的无性繁殖已有 2000 年的历史。早在 16 世纪、17 世纪,西方国家的园艺学家就掌握了木本植物扦插、嫁接、压条等无性繁殖技术。日本柳杉无性繁殖有 1400 年的历史,我国的杉木无性繁殖也有近千年的历史。这些传统的无性繁殖技术至今仍在农业、林业和园艺生产中发挥着重大作用。据统计,现在世界上有 20 多个国家开展着林木树种无性繁殖技术的研究。随着许多树种无性繁殖技术的解决,无性繁殖苗造林规模正在迅速扩大。在林业上,最近几十年来,随着人工林业(Plantation Forestry)的发展,在世界范围内掀起了无性系林业(Clonal Forestry)的热潮,最为成功的实例是巴西和刚果的桉树无性系林业。巴西从 1975 年开始进行桉树无性系选择,通过 10 年的工作,把原来纤维短、不适合造纸的桉树变成了大量生产漂白纸的工业用材树种,现在每年生产 1500 万株扦插苗供造纸和生产木炭用造林。由于发展无性系林业,已从一个进口纸浆国变成出口纸浆国。刚果也是较早发展桉树无性系林业的国家,在 1978 年就掌握了桉树扦插育苗技术,现在每年以 $6 \times 10^6 \text{hm}^2$ 速度发展造纸用无性系桉树林,为年产 $2.5 \times 10^5 \text{t}$ 的纸浆厂长期提供木材。据 Denison 等报道,南非桉树无性系林业也取得了显著进展,为保证年产 $8 \times 10^5 \text{t}$ 纸浆厂对木材的需求,每年要造 $3.5 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4 \text{hm}^2$ 的无性系桉树林,并建成了年产 800 万株的扦插苗生产线,实现了育苗工厂化。

4.1 传统无性繁殖技术 主要指扦插、嫁接、压条等无性繁殖技术。这一技术由于发展历史比较长,也最为成熟。传统无性繁殖技术的主要特点是技术环节比较简单,容易操作。目前大多数树种均可用此项技术进行快速繁殖:①扦插繁殖是生产应用中最为广泛和成效最为显著的无性繁殖方式。从我国来说,杨树苗木的繁殖基本上采用扦插繁殖,巴西桉树扦插育苗造林和新西兰辐射松扦插育苗造林是最为成功的两个典型,巴西应用桉树扦插苗造林已从一个纸浆进口国变成了出口国,新西兰利用辐射松扦插苗进行人工造林,已解决了本国木材需求。目前对于扦插的研究主要集中在那些难以生根的树种的扦插生根障碍机理上。②嫁接繁殖方式主要应用在果树苗木的繁殖上,在林业上主要应用在采穗圃和种子园的建立上。当然,也有一些树种造林苗木是通过嫁接繁殖方式获得的,如黎巴嫩雪松由于种子比较缺乏,嫁接已成为一种有效方法,目前嫁接的研究仍然主要集中在嫁接不亲和性问题上。③压条繁殖主要应用于园艺作物上,在林业上除了少数扦插不易生根成活的树种外,很少大规模应用。压条繁殖的缺点是成本高,繁殖速度比扦插和嫁接慢,繁殖系数比较低。

4.2 组织培养繁殖技术 组织培养是以林木的一部分组织和器官在人工无菌环境上进行离体培养,以获得完整植株的无性繁殖方法。组织培养包括器官培养、愈伤组织培养、原生质体培养和单倍体培养。据不完全统计,全世界现在已有近 200 个树种已能通过组织培养获得器官分化和完整植株,有些树种的组织培养快速繁殖技术已完全成熟,建立了规模化苗木组织培养生产工厂,繁殖效率已远远超过了传统的繁殖方法,业已进入商品化生产阶段。从目前组织培养发展的现状看,组织培养的含义已不是原来仅获得器官分化和完整植株的一种繁殖方法,而成为现代生物技术的一种有效手段,这主要表现在:①进行遗传改良,如对林木

进行单倍体培养，可以在短时期内育成具有不同基因型的纯系，将其中表现优良的个体加倍后使之成为育种的原始材料，也可以利用单倍体产生原生质体，并进行单倍体原生质体的融合以生产可育的二倍体细胞杂种。②体细胞无性系变异和配子无性系变异的利用，如在组织培养过程中，离体组织或细胞常常会发生变异，这种变异为选择育种提供了丰富的遗传材料。③脱毒复壮，通过茎尖顶端分生组织培养脱除病原微生物已成为培育和生产无毒苗的一种有效的手段，对于改进林木的生长和品质具有重要价值，我国在杨树、枣树和泡桐无毒苗的组织培养方面取得了明显进展。④种质资源的保存，近年来的研究表明，植物的离体培养组织和细胞，可在 $0\sim 15^{\circ}\text{C}$ 低温及液氮超低温中进行保存，也可通过改变培养基抑制培养生长而进行保存。这种离体材料保存技术将大大减少种质资源保存的人力、物力和时间，而且由于材料体积小，便于运输，同时可以在很大程度上保证材料无病虫害和病原体的侵入。

5 苗木质量评价技术

5.1 苗木质量与造林效果 造林成活率及保存率是评价造林成效的两个主要指标。我国在制定“六五”计划时，对全国26个省（区、市）的造林现状进行了调查，结果表明，解放后30年的造林保存率只有30%左右。究其原因有政策问题，也有造林技术问题。影响造林保存率低的主要技术因素有苗木质量、适地适树、造林技术及造林后的初期管理等方面。现在一般认为，造林苗木的活力弱即苗木质量不过关是影响造林成活的主要因素。一般造林苗木在出圃之前活力是有保证的，问题的关键在于从苗木出圃以后到定植前不能有效地保存苗木的活力，致使苗木活力降低很快，进而影响造林成活。因此，近几年苗木活力的问题逐渐被人们所重视，并随着人们认识的逐渐加深，这一问题已成为当今世界林业的重要研究课题之一。许多研究表明，苗木活力应是苗木成活和初期生长的潜在能力，它能比较全面地反映苗木质量。由于造林成活率低的主要原因是苗木活力的减弱，因此生产实践中必须采取正确有效的技术措施保护苗木的活力状况，包括从起苗、包装、运输、储藏直到定植造林整个过程。

5.2 评价苗木质量的指标 苗木质量的好坏直接影响到造林的成败，因此如何准确评价苗木质量就显得极为重要。关于苗木质量评价问题，国际林业研究组织联盟于1979年曾在新西兰召开了“苗木质量评价技术”专题会议，在会上集中讨论了有关苗木质量的种种问题，并给苗木质量以如下定义：“苗木质量是以最低成本苗木实现营林目标（到轮伐期或实现某种特定效益）的程度。质量是以目标而言的”。一般地说，一批苗木如果达到了其培育目的，则质量应为100%。很明显，这个定义强调了培育苗木的目标。近二十年来，有关苗木质量的研究发展比较快，许多专家学者通过大量的研究，提出了许多苗木质量评价的技术和方法，但是至今还没有形成一个统一的评价标准。一般人们用苗木的形态指标，如苗高、地径、根系状况、苗木重量、冠根比等来评价苗木质量。大量的实践证明，仅用形态指标来评价苗木质量是远远不够的，因为形态指标仅能说明苗木的表面特征，而对苗木的内部实质则无能为力，许多造林苗木看上去形态表现很好，但人们往往对苗木本身活力认识不够，常常出现“活人栽死苗”的现象，这也就是为什么形态指标不能满足造林需要的根本原因。鉴于此，目前人们正在试图寻求从多方面去评价苗木质量，比如，从生理角度去探讨苗木质量的评价方法。但是苗木生理指标很多，如水分状况、根系活力、矿物质含量、碳水化合物含量、叶绿素含量、叶绿素荧光强度、根系电导率、细胞有丝分裂指数及根系生长潜力等等，因此如何选出适宜和简单的可操作性强的指标是生产上急需的。以上从形态指标和生理指标进行苗木质量评价的方法是普遍采用的。但是从研究现状看，仅从形态指标和生理指标来概括苗木质量的评

价方法已显得不足。Ritchie 认为,应根据苗木的物质特征和性能特征将苗木质量评价分为苗木物质指标和性能指标,物质指标是指可直接测定的形质指标和生理指标,如苗高、地径、根茎比、顶芽状况、根系数量、水分状况、矿物质含量、根系活力、碳水化合物含量、叶绿素含量等;性能指标是把苗木置于特定条件下测定其整株的表现状况,如根系生长潜力 RGP、抗冻性、抗逆性等。总之,以上评价指标和方法是从不同侧面对苗木质量进行评价,但是如何采取简单可行的技术就能对苗木质量状况作出较为准确的评价,无疑成了摆在人们面前的重要研究课题。

5.3 影响苗木活力的主要因素 许多研究表明,苗木的水分状况对苗木的活力起着决定作用,而且苗木其他方面的生理过程,都直接或间接地与苗木水分状况有关。因此,有关苗木水分关系的研究成为人们关注的焦点。众所周知,水是植物生活环境中最重要因子之一,也是植物体必不可少的组成物质,它对于植物的生命活动具有非常重要的意义。生命化学研究证明,生命过程中起决定作用的生理生化反应,绝大多数都是在细胞的水相中进行的,就水对于植物来说,我们至少应了解到水对植物的呼吸作用、光合作用、营养物质运输和交换以及细胞扩大、气孔运动和维持幼叶及其他部位轻度木质化结构形成,还有一定的膨胀状态等等诸多生理生化过程都是必不可少的。现在普遍认为,苗木从出圃开始到运往造林地栽植这一过程是造林实践中最薄弱的环节,这期间苗木受外界环境影响最大,苗木活力下降。苗木活力下降最为明显的特征就是苗木水分的大量蒸发损失。目前在许多苗圃中对起苗的季节、时间、方法以及起苗后苗木的保护(包括正确地包装、运输和越冬贮藏等)认识不够,从而导致苗木水分损失,活力下降。

5.4 苗木活力的研究现状 70年代以来,国外学者先后对北美黄杉、西黄松、挪威云杉、落叶松等几十个针阔叶树种的苗木活力进行研究,已初步证明苗木从起苗到定植前是影响苗木活力的最关键时期,特别是在苗木包装、运输及储藏过程中,苗木周围的环境变化比较频繁,对苗木活力的影响比较大。研究表明,储藏对苗木的根系生长潜力、碳水化合物含量、休眠状况、矿物质储量等有明显影响,而包装和运输对苗木的水分状况及根系活力有较大影响,但包装、储藏和运输又是相互联系的,它们都明显地影响苗木定植后的造林成活率及初期生长量。关于苗木的质量,国内在80年代中期前一直采用形态指标来评价苗木质量的优劣,对苗木的贮藏运输等研究仅局限于方法,对其机理缺乏研究。如王子定、孙时轩等提出的优良苗木条件,田淑静等提出的苗木主分量分级方法。1985年国家颁布的我国主要造林树种苗木质量标准是这一时期研究成果的综合体现,而真正提及苗木活力这一概念是在80年代中期以后,其特点是开展对苗木生理指标的研究,重视从起苗到造林之前苗木质量保护的各个环节。以1981年《辽宁林业科技》第一期介绍日本荻住昇的《起苗后苗木的生理》一文为标志,逐步开展了有关方面的研究;1984年中国林业科学研究院编译的《苗木质量研究》论文集对有关苗木生理的研究起到了推动作用,并取得了不少重要成果,如提出影响苗木质量的主要因素是苗木水分状况、用水势划定苗木生理品质等级、研究苗木水分与苗木活力的关系、采用改进后的压力室测定苗木水势、评价苗木质量等。以上这些研究,从不同侧面和不同层次对苗木质量问题进行了有益的探讨,极大地丰富了我们对于苗木质量和苗木活力的认识。但是,苗木是一个复杂的生物体,探索简便可靠地评价苗木质量的指标和方法仍将是今后需进一步研究的课题。

6 容器育苗技术

6.1 容器育苗概述 与裸根苗比较,容器苗有许多独特的优越性,如造林时苗木根系未受损伤,抗逆性强,造林后没有缓苗期,成活率高,生长快,成林时间缩短等。此外,应用容器苗造林还不受季节限制等。由于容器苗的这些特性,世界各国都非常重视容器苗的生产,尤其是那些高纬度高寒地区和干旱地区的国家。根据加拿大不列颠哥伦比亚省对9个国营苗圃统计,到1988年年产容器苗1.35亿株,占总产苗量的90%以上;在北欧、瑞典、芬兰和挪威等国现在的造林均以容器苗为主。我国从60年代开始进行容器苗生产,但长期以来由于认识上的问题,对容器苗培育技术的研究重视不够,限制了这一技术的应用,目前的现状是即使是那些高寒和干旱地区仍以裸根苗造林为主,造林成效受到显著影响,因此加强容器苗培育技术的研究意义重大。

6.2 容器苗存在的问题 容器苗存在的主要问题是:①根系的盘根扭曲变形,主要是由于有限的容器空间体积限制和培育基质本身所造成的。关于根系变形对林木生长的影响,普遍的结论是容器苗林的生长状况不如裸根苗林和天然更新林。如Halter等对加拿大不列颠哥伦比亚省最早营造的12年生北美黄杉和扭叶松容器苗造林效果和天然更新效果的比较研究表明,天然更新林的树高、地径、当年主梢生长量及侧根数量均明显优于容器苗幼树,这表明容器苗根系的盘根扭曲对造林后树木的生长影响是深远的。②育苗和造林成本高,由于容器苗培育的管理高于裸根苗,再加上容器和基质本身的成本,育苗成本自然高于裸根苗;此外容器苗由于基质本身的重量远高于裸根苗,其运输费用和造林成本加大,特别是在那些偏远的山地造林。③环境污染严重,这主要指的是以聚乙烯为材料的容器苗,由于造林时同时将难以分解的容器袋一同埋入土中,易造成环境污染。目前人们正在积极研究可迅速分解的、无污染的材料作为容器的材料。

6.3 容器苗根系质量的调控技术 针对容器苗根系存在的盘根扭曲问题,林业工作者探讨了许多调控技术,主要包括:①苗型设计。由于造成根系扭曲变形的主要原因是容器的体积和基质,为此人们设计了P+1型苗,具体为先培育容器苗,然后移入苗床作裸根苗培育,这一培育方式曾在世界范围内广为采用,但是否适合我国还需进一步研究。在国内,宋廷茂等提出了移植容器苗苗木新类型,具体为先培育1年生(或苗龄更小)裸根苗,然后移入容器,培育成容器苗,由于容器苗培育时间短(1~4个月),根系扭曲少,造林效果明显优于裸根苗;②化学修根法。这一方法主要是根据某些重金属离子对苗木根尖伸长有阻滞作用的性质,提出了在容器壁涂抹一层重金属离子以达到修根的作用。研究表明,由于铜离子既无害又能阻止根的生长,所以铜的化合物是主要选择的对象。目前的研究表明,碳酸铜是一种较为理想的修根剂。

参 考 文 献

- [1] 连友钦. 稀土在林业中的应用. 林业科学, 1994
- [2] 王颖明. 稀土在南方果树生产中的应用. 北京: 中国农业出版社, 1988
- [3] 花晓梅主编. 林木菌根研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1995
- [4] 郭秀珍等编著. 林木菌根及应用技术. 北京: 中国林业出版社, 1989
- [5] Marx D. H and Bryan W. C. Growth and ectomycorrhizal development of loblolly pine seedlings in fungigated soil infested with the fungal symbiont *pisolithus tinctorius*. For. Sci., 1975, 21: 245~254
- [6] 赵志鹏, 郭秀珍. 美国工业废地应用VA菌根恢复植被的研究与实践. 世界林业科学, 1991, 4(2): 38~