

欧美国家针叶树容器苗生产与启示*

毛亦杨¹ 古巧云¹ 吴 宪² 吴惠姗³ 廖仿炎³ 黄永权¹ 郭文冰³

(1 广东省森林资源保育中心, 广州 510173; 2 阳江市国有阳江林场, 广东阳江 529500;

3 广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东省林业科学研究院, 广州 510520)

摘要: 针叶树是芬兰、瑞典、挪威、美国、加拿大等欧美国家主要的商品林树种。容器苗是针叶树重要的育苗类型。与裸根苗比较, 容器苗具有育苗周期更短、造林季节可延长、苗木适应性更广、苗木质量更一致的优点。因此, 容器育苗成为精准林业发展的必然趋势。为了借鉴欧美容器育苗的技术方法, 提高我国容器苗的质量, 为我国针叶树容器苗发展提供参考, 文中主要从4个方面综述了欧美国家检测与提高苗木质量的方法, 即列举了针叶树常用的苗木质量检测指标, 总结了育苗容器与育苗基质的改良进展, 介绍了养分、水分、光照与温度等培养条件的优化手段, 简要概述了容器苗病虫害防控的进展, 提出了我国相关树种容器苗生产的启示与借鉴。

关键词: 针叶树, 容器苗, 苗木质量, 苗圃管理, 病虫害防控, 欧美国家

中图分类号: S723.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-4241(2020)01-0093-06

DOI: 10.13348/j.cnki.sjlyyj.2019.0069.y

Container Conifer Seedlings Production in European and American Countries and Its Enlightenment

Mao Yiyang¹ Gu Qiaoyun¹ Wu Xian² Wu Huishan³

Liao Fangyan³ Huang Yongquan¹ Guo Wenbing³

(1 Forest Resources Nurse Center of Guangdong Province, Guangzhou 510173, China;

2 State-owned Yangjiang Forest Farm, Yangjiang 529500, Guangdong, China; 3 Guangdong Provincial Key

Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization, Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

Abstract: Coniferous trees are the major commercial tree species in European and American countries such as Finland, Sweden, Norway, the United States and Canada. Container seedlings are an important type of stock for conifer. Compared to bareroot seedlings, container seedlings have the advantages of shorter period of production, extended afforestation season, wide adaptation to adverse sites, and more uniform quality and performance. Thus, container seedlings become an inevitable trend in the development of precision forestry. In order to learn the technical methods of container seedlings in Europe and America, improve the quality of container seedlings in China and provide the references for the development of container conifer seedlings, this paper reviews the methods of detecting and improving seedling quality in European and American countries from four aspects, including the commonly indicators used to measure the conifer seedling quality, the improvement of the containers and the media, the optimization of cultural conditions like nutrients, water, light and temperature, and the pest and disease management. At the end, the enlightenment and references are proposed for the production of container-grown conifer seedlings in China.

Keywords: conifer, container seedling, seedling quality, nursery management, disease and pest management, European and American countries

* 收稿日期: 2019-04-18; 修回日期: 2019-08-23; 网络出版日期: 2019-09-03。

基金项目: 广东省科技计划项目“湿加松松脂培育与利用关键技术”(2017B020205003)。

第一作者: 毛亦杨, 男, 广东人, 主要从事林木种苗质量与行业管理, E-mail: 1206810891@qq.com。

通信作者: 郭文冰, 女, 福建人, 副研究员, 博士, 主要从事松树良种选育与人工林培育研究, E-mail: wbguo@sinogaf.cn。

以松杉为主的针叶树是世界上重要的商品林树种,也是欧洲和北美主要的人工林造林树种。高产人工林的培育是一个漫长的过程,其最基本的培育手段包括根据立地选择适合的树种与基因型、培育良种壮苗、造林后进行立地维护等^[1]。在苗圃中培育高质量的苗木是保证造林成活率、促进林木早期生理代谢与形态发育的重要手段^[2]。在20世纪60年代以前,美国、加拿大和欧洲的苗圃主要生产裸根苗以供应造林。虽然在30年代为了在困难立地营建防风林,北美曾用防水纸做容器生产林木种苗,但并未普及应用。直到60年代末和70年代初,加拿大和美国率先用塑料容器大规模育苗,此后各种各样的育苗杯和穴盘逐步发展成为了现在广为流行的育苗容器^[3]。

与裸根苗相比,容器苗最为突出的优势表现在:育苗周期可缩短1年;造林时节可延长;对不同的立地条件适应性更广;苗木质量与规格相对可控,有利于实现造林标准化等。但容器苗也具有一定的劣势,最直接的是提高了育苗与造林的成本;其次由于容器苗相对较小,在杂草较多的立地上造林,整地的成本也相对高。另外,由于容器苗在苗圃中生长较快,也会导致病虫害多、营养不平衡等问题^[3]。在正常立地条件下,以裸根苗和容器苗营造针叶树人工林,虽然不同树种在成活率、早期生长方面存在差异,但长期跟踪试验表明,林分的生长无明显差别。但随着精准林业的发展,使用容器苗生产造林苗木已成为发展趋势。随着育苗技术的提高,育苗成本日益降低,容器苗表现出来的缺点可以逐渐被克服^[4]。

容器苗在欧洲和美国的普及率较高。近年来,挪威、瑞典和芬兰等国采用容器苗的比例大约为95%,波罗的海国家大约50%^[5],在加拿大的比例大约为75%^[6],而美国大约为25%^[7]。欧美国家也历来重视容器苗相关技术的研发。分析欧美容器苗质量控制的方法、育苗容器的改良与应用、环境条件的优化以及病虫害的防控技术,有利于我国更好地结合树种特性以及苗圃的实际情况,研发适合的针叶树容器育苗方法。

1 容器苗质量控制

与果树和一些珍贵树种不同的是,针叶树苗造林后一般不再做管护。因此,苗木质量在针叶树人工林培育过程中起关键作用。特别在美国、芬兰、瑞典等国,大型苗圃尤为重视苗木质量控制。通过培养条件

的改良,苗圃可对容器苗的生长、形态和生理特性进行控制,培育不同类型的“理想型”苗木。在针叶树容器苗质量控制手段中,最常用的是苗木的表型与生理指标测定。

地上部生长与根系形态通常是容器苗的必测指标。苗期的株高、径粗与造林后的树高、径粗密切相关,可用于预测造林后的生长,而且较高的苗木在造林初期与杂草竞争、分枝与叶的发育、光合作用等方面均具有优势,因此株高、径粗是最直接的测定指标^[8]。但针叶树造林后的成活率与根系发育潜力更为密切。根系生长不但关系到造林后植株的生长,也关系到其对逆境胁迫的抗性,因此,常采用地上部生长与根系形态综合测定的方法评价苗木质量^[9]。其中,因为操作便利,根颈直径、根量是欧美国家苗圃常用的测定指标。在美国,南方松苗圃常用的表型指标一般包括苗高、径粗、根颈直径、根量、根茎比等。不同规格容器所育的苗木,其出圃所控制的苗木质量不同。例如,122 cm³容器的苗木,理想株高为20~35 cm,根颈直径为3.5~6.5 mm,根体积为3.4~7.3 cm³,高径比为50~60,预计大田2年生保存率大于90%,4年生树高大于3 m^[10]。在进行苗木质量控制时,还应综合考虑立地条件与人工林培育手段的差异。对于干旱季造林,由于株高较大的苗木蒸腾作用旺盛,容易受到水分胁迫,因此一般应选择株高较小的苗木^[8]。

苗木生理状态是评价苗木生长潜力与抗逆性的重要指标,通常包括耐寒性、根系生长潜力(RGP)、芽休眠期、养分状态、水分状态等几个重要方面。对于针叶树种,生理状态的评价方法也包括了在外界环境可控条件下,植株生长与形态的动态监测。其中,RGP被认为是检测苗木质量最可靠的指标,在松树、云杉、花旗松等树种上得到了应用^[11]。RGP的评估通常是在盆栽条件下,每隔一段时间对根系生长状况进行评估。常见操作是根据新生根的数量和长度进行分级(例如1~5级)。它是植株功能完整性的指标,可以预测造林后的生长表现^[8]。为了更好地实现根系的动态监测,Brown等^[12]提出用核磁共振(NMR)的方法无损分析花旗松(*Pseudotsuga menziesii*)的苗木根系,可实现对根长和根系生长率的动态监测。根系发育的动态评估通常需要至少7 d的观测期,为了更快速地评估植株在不同环境下的生理状态,苗圃通常也采用测定生理指标的方法。其

中,植物各组织的电解质渗透率(EL)也是北美、欧洲常用的生理测定指标之一。在针叶树中,地上部的EL可指示造林后针叶受胁迫的程度^[13],细根的EL可较好地指示受冻害胁迫的程度^[11, 13]。西加云杉(*Picea sitchensis*)、花旗松等细根的EL与造林后的成活率和高生长相关,可用于预测其田间表现^[14]。针叶的叶绿素荧光参数、气孔导度也是常用的生理指标,可实现植株生理状态的无损测定。加拿大研究人员提出,对于低温贮藏后的针叶树苗木,叶绿素荧光参数 $F_v/F_m > 83\%$,并且RGP表现为新生根 $> 1\text{ cm}$ 可作为优良植株的阈值;而气孔导度虽能较好地反映植株的生长,但由于需要额外测量叶面积,因此实用性不强^[15]。苗木的养分状态与含水状态是反映水肥丰缺的重要指标。总体上,欧美国家在针叶树容器苗管理过程中通常的做法是:对养分状态和含水状态做定期监测,从而调整培育条件;在秋季测定EL和叶绿素荧光参数,从而筛选出抗性优良的高品质苗木^[16]。随着技术的发展,近年来也可实现从生化、生物物理、分子水平监测苗木质量,但由于不符合快速、简单、低成本等原则,还未得到商品性应用^[15-16]。

2 育苗容器与基质改良

欧美国家的针叶树通常采用蜂窝状、包含多个同样规格育苗孔/育苗杯的塑料穴盘。育苗孔的横截面可以是圆形、方形、六边形不等,纵向自上而下通常为倒锥形,以利于造林前将已形成盘根的容器苗从容器中提出来。育苗孔与穴盘可以分开,也可以一体,容器苗移走后,容器可反复使用^[3]。不同品牌、规格的穴盘,其育苗孔大小和密度存在较大差异。育苗孔大小影响生物量累积,根系生长的容器越大,植株生物量越大^[17]。据报道,孔的体积、孔的深径比(深度与孔径的比值)、穴盘上孔的密度均对长叶松的生长、养分累积和田间表现有影响。长叶松最佳育苗容器为:穴盘上孔的密度为 $200 \sim 300\text{ 株}/\text{m}^2$,孔的体积为 $300 \sim 400\text{ cm}^3$,深径比为 $4^{[18]}$ 。

容器苗培养最大的缺陷是根系在容器内壁盘绕,从而严重影响造林后的苗木生长。这种现象在松树上尤其严重,而且长叶松比火炬松和湿地松更严重。通过改良孔壁、设计纵向沟槽,使根保持向下生长,可部分减轻根盘绕的问题。另外,当容器苗长到底部时,如不加干预,根系长到苗床上,会严重影响起苗时根系的完整性。因此,许多苗圃采用架高苗床的方式

作空气切根,也有一些苗圃采用在容器与苗床之间留出 1.25 cm 间隙的设计以利于空气切根^[3, 19]。20世纪80年代,研究者提出化学控根的理念和技术方法,将抑制根系发育的化学制剂涂在容器的内壁上,在整个生长季节起到控根的作用。其中,铜制剂和吲哚丁酸是常用的控根制剂。在长叶松上施用铜制剂,可改变根系的形态构型,提高苗木质量^[3, 20-22]。

美国与欧洲的容器苗育苗基质一般不加入泥土。20世纪30—60年代育苗基质经过了多次改良,形成了现在广为应用的配方,即泥炭土、蛭石和珍珠岩等混合的轻基质。考虑到上述原材料的购买成本日益增加,许多欧美国家均在寻求有机替代品,例如针叶树的树皮、木材废料、椰糠、谷壳等。理想的育苗基质配方应全面考虑理化性质、生物和经济因素,确保孔隙度、pH值、电导率、有害菌的控制程度、生产成本等均处于合理范围^[23-25]。

3 容器苗培养条件的优化

养分是调控容器苗生长速率的重要因子。容器苗通常采用在基质中拌入缓释肥、在灌溉时注入液态肥、在基质表面追肥等方式施肥。理想的施肥模式是根据植株的生长节律,在幼苗建成期、高生长期和木质化期^[26]等不同的生长阶段调节养分水平。早期的报道称,在幼苗建成期应施用中等水平的氮,高生长期施用高水平氮,木质化期施用低水平氮^[27]。但随后的研究表明,木质化期施用过量的氮,使得针叶氮含量 $> 2.5\%$,将提高苗木的抗寒性,还可提高造林后成活与生长的潜力^[28]。在干旱的地中海地区,在苗期管理中施用氮、磷、钾复合肥还有利于提高造林成活率^[29]。这说明施肥不但促进生长,也有利于提高针叶树的抗逆性。但大型苗圃常年施肥对当地的环境也有影响。芬兰研究人员指出,挪威云杉和欧洲赤松等苗木在苗圃中只能吸收一部分养分,大量的氮和磷被淋溶损失掉,给环境造成污染^[30]。前人指出,通过苗期接种菌根,可促进苗木生长以及造林后植株的生长,有利于减少肥料的施用。针叶树的菌根通常为外生菌根,在吸收养分、促进生长、抵抗病虫害、增强非生物胁迫抗性等方面均起到一定作用。据报道,通过接种*Rhizopogon*属外生菌根,意大利伞松(*Pinus pinea*)造林43个月后成活率提高 20% ^[31]。但到目前为止,还未见菌根肥在苗圃大规模应用的报道。

水是植物体的基本组成部分,合理灌溉对植株的表型、生理、病虫害防控均有关键性作用。在植株生长的不同时期都应维持适合的湿度范围。长期缺水 and 突发性缺水将分别导致植株减缓生长和死亡。但苗圃中更普遍存在的问题往往是过度灌溉。过度灌溉不但影响了苗木的生长和木质化,还造成了养分的流失、苔藓与病虫害的增加。美国农业部林务局建议采用容器苗称重、木质部水势监测的定量方法评估植株的灌溉需求,从而节约用水,并提高苗木质量^[32]。

光照和温度对植物的生长有决定性作用,因此苗木的培育受到季节的限制。尽管很多文章提到可在温室内育苗,通过人工控光、控温培养针叶树,但由于成本太高,并未得到大规模普及应用。研究表明,通过光质、光强度和周期的改变可调控苗木的质量,在不同的光源中,发光二极管(LED)受到越来越多的重视。很多欧洲研究人员指出,LED在容器苗育苗方面有较大的应用前景。目前,美国只有少部分苗圃采用人工光源培育容器苗,温室与人工光源在欧洲苗圃的应用相对较广,瑞典、芬兰有些育苗公司采用LED光源将苗木预培养一段时间后再转移到自然光照下,使苗木的生长更加良好和一致^[33-35]。

4 病虫害防控

由于欧美国家的容器苗采用轻基质培养,病虫害大幅度减少。据报道,芬兰苗圃容器苗杀虫剂的使用量是20世纪70年代使用裸根苗时的5%~10%^[36],但病虫害的防控仍十分重要。病虫害防控,首先应实时监测苗圃,发现异常。美国农业部林务局指出,苗圃管理者应熟悉本区域内常见病虫害的危害特征。虫害的症状在叶部较为明显,除了叶部扭曲变形、缺损、变黄外,一般还存在虫子或虫卵等。真菌引起的病害,如叶枯病,通常能在坏死组织上找到真菌的子实体;而 *Lophodermium* 属的真菌通常导致针叶出现斑点,而且几乎所有被感染的针叶都坏死才出现子实体;另外,松树的针叶出现斑点,但从未观测到子实体的则可能是茎锈病。当幼苗的整个顶部坏死时,可能是根系的原因,如果排除了土壤湿度过大等非生物胁迫因素,则应考虑是真菌或线虫引起的症状^[37]。

在病虫害防控方面,大部分苗圃仍以化学防控为主。然而,随着人类对环境的日益重视,单纯依靠化学农药将会带来负面影响已成为共识。美国农业禁用滴滴涕杀虫剂(DDT),进而,美国昆虫学家提出了

综合防控的理念,随后病虫害综合治理(IPM)成为美国农林业的重要技术,并且在20世纪70年代纳入了美国的法律。IPM是综合应用培育、生物学、化学等技术方法,将有害生物群体减少到不造成经济损失水平的技术体系。IPM技术旨在减少杀虫剂的施用、寻求可取代化学防控或与化学防控联合使用的防控手段。在过去几十年里,美国南方通过采用IPM技术,例如改变基质、调整苗床密度、施肥、改善卫生条件等措施,极大地增加了南方松种子的出圃率,同时减少了病虫害防控的费用^[38]。欧洲针叶树种苗圃也十分推崇IPM技术,在控制挪威云杉根腐病时,除了常规的化学防控外,研究人员还鼓励苗圃管理人员综合采取多种措施,例如升高苗床使根部底下通风、使用热水对塑料容器消毒等^[36]。

5 经验借鉴与启示

针叶树是世界上重要的人工造林树种,也是我国重要的工业原料林树种。我国基建、房地产、包装、家具等行业需要大量的针叶树材,在本国原材料无法满足内需的情况下,只能大量依靠进口^[39]。营建木材储备林是维护国家木材安全的根本措施。当前是生态文明建设的新时代,要同时保障木材安全,必须提高人工林质量,提高单位面积蓄积量^[40]。苗木质量是人工林高效培育的基础。受全球气候变化、育成良种推广应用的迫切性、困难立地造林需求等因素的影响,采用造林季节限制较小、育苗周期较短、适应性更高的容器苗是工程造林的趋势。总结欧美国家针叶树容器苗生产的成功经验,我国相关树种容器苗生产可借鉴与改进之处有:

1) 当前我国对针叶树容器苗的质量控制多集中在地上部生长上,一般以株高与地径为出圃规格。随着全球气候变暖,极端天气频发,对苗木抗逆性的要求提高。育苗应综合考虑根系发育、植株生理状态等因素。建议在低温天气检测RGP、EL和叶绿素荧光参数等生长与生理状态指标;在日常管理中,动态监测根系形态、养分与水分状态,并适时调整水肥供应水平。

2) 我国针叶树容器苗一般使用塑料育苗袋,难以重复使用,造成一定的环境污染。近年来推行的轻基质无纺布袋可在土中降解,而且造林时不需要去除种植袋,节省了人工,值得推广。另一方面,也可以考虑借鉴欧美国家的方法,使用倒锥形育苗容器,造林

时提起形成盘根的容器苗直接种植,并反复使用育苗容器。另外,空气切根或化学控根、使用有机替代品为育苗基质等都是今后提高苗木质量与降低育苗成本的发展方向。

3)我国针叶树苗圃历来重视水肥施用。可采用苗木抽样称重、水势监测、养分测定等方法,评估植株的生长节律和水分与养分状态,实现水肥动态调控,达到减施增效的目的。另外,针叶树的菌肥开发在国内外均未达到产业化水平,为了防止生态环境进一步恶化和节约资源,今后应重视无污染有机肥与菌肥的开发利用。

4)我国针叶树容器苗的病虫害防控存在2个弊端,一是不注重病虫害侵染的监测,致使部分苗木造林后才出现症状;另一个是以化学防控为主,造成了环境污染。建议加强苗圃管理者有关病虫害防控技术的培训,采用IPM技术大幅度减少有害生物的侵染。

参 考 文 献

- [1] GLADSTONE W T, LEDIG F T. Reducing pressure on natural forests through high - yield forestry[J]. *Forest Ecology and Management*, 1990, 35(1): 69 - 78.
- [2] GROSSNICKLE S C, EL - KASSABY Y A. Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison[J]. *New Forests*, 2015, 47(1): 1 - 51.
- [3] LANDIS T D. Containers: types and functions[M]// LANDIS T D, TINUS R W, MCDONALD S E, et al. *The container tree nursery manual*. Washington: USDA Forest Service, 1990: 3 - 31.
- [4] BRISSETTE J C, BARNETT J P, LANDIS T D. Container seedlings [M]// DURYEA M L, DOUGHERTY P M. *Forest regeneration manual*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 1991: 117 - 141.
- [5] JÄÄRÄTS A, TULLUS A, SEEMEN H. Growth and survival of bareroot and container plants of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* during eight years in hemiboreal Estonia[J]. *Baltic Forestry*, 2016, 22: 365 - 374.
- [6] ARNOTT J T. Forest renewal by artificial regeneration: a review of research in western Canada[J]. *Commonwealth Forestry Review*, 1992, 71: 40 - 46.
- [7] HERNÁNDEZ G, PIKE C, HAASE D L, et al. Forest nursery seedling production in the United States: fiscal year 2015[J]. *Tree Planters' Notes*, 2016, 59(2): 20 - 24.
- [8] GROSSNICKLE S C, MACDONALD J E. Why seedlings grow: influence of plant attributes[J]. *New Forests*, 2018, 49(1): 1 - 34.
- [9] GROSSNICKLE S C. Importance of root growth in overcoming planting stress[J]. *New Forests*, 2005, 30(2/3): 273 - 294.
- [10] GROSSNICKLE S C, SOUTH D B. Seedling quality of southern pines: influence of plant attributes[J]. *Tree Planters' Notes*, 2017, 60: 29 - 40.
- [11] DAVIS A S, JACOBS D F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance [J]. *New Forests*, 2005, 30(2/3): 295 - 311.
- [12] BROWN D P, PRATUM T K, BLEDSOE C, et al. Noninvasive studies of conifer roots: nuclear magnetic resonance (NMR) imaging of Douglas - fir seedlings[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1991, 21(11): 1559 - 1566.
- [13] RÄISÄNEN M, REPO T, LEHTO T. Cold acclimation of Norway spruce roots and shoots after boron fertilization[J]. *Silva Fennica*, 2009, 43(2): 223 - 233.
- [14] RADIOGLOU K, CABRAL R, REPO T, et al. Appraisal of root leakage as a method for estimation of root viability [J]. *Plant Biosystems*, 2007, 141(3): 443 - 459.
- [15] L' HIRONDELLE S J, SIMPSON D G, BINDER W D. Chlorophyll fluorescence, root growth potential, and stomatal conductance as estimates of field performance potential in conifer seedlings[J]. *New Forests*, 2007, 34(3): 235 - 251.
- [16] GROSSNICKLE S, MACDONALD J. Seedling quality: history, application, and plant attributes [J]. *Forests*, 2018, 9(5): 283. DOI:10.3390/f9050283.
- [17] POORTER H, BÜHLER J, VAN DUSSCHOTEN D, et al. Pot size matters: a meta - analysis of the effects of rooting volume on plant growth[J]. *Functional Plant Biology*, 2012, 39(11): 839 - 850.
- [18] DOMINGUEZ - LERENA S, SIERRA N H, MANZANO I C, et al. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field[J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 221(1/2/3): 63 - 71.
- [19] SUNG S J S, HAYWOOD D. Air lateral root pruning affects longleaf pine seedling root system morphology[C]// *Proceedings of the 18th biennial southern silvicultural research conference*. Asheville, NC: USDA Forest Service Southern Research Station, 2016: 317 - 322.
- [20] KRASOWSKI M J. Root system modifications by nursery culture reflect on post - planting growth and development of coniferous seedlings[J]. *The Forestry Chronicle*, 2003, 79(5): 882 - 891.
- [21] TSAKALDIMI M N, GANATSAS P P. Effect of chemical root pruning on stem growth, root morphology and field performance of the Mediterranean pine *Pinus halepensis* Mill[J]. *Scientia Horticulturae*, 2006, 109(2): 183 - 189.
- [22] SAYER M A S, SUNG S J S, HAYWOOD J D. Longleaf pine root system development and seedling quality in response to copper root pruning and cavity size[J]. *Southern Journal of Applied Forestry*, 2011, 35(1): 5 - 11.
- [23] LANDIS T D. Containers and growing media[M]// LANDIS T D, TINUS R W, MCDONALD S E, et al. *The container tree nursery manual*. Washington: USDA Forest Service, 1990: 41 - 85.
- [24] LANDIS T D, MORGAN N. Growing media alternatives for forest and native plant nurseries [R]. USDA Forest Service Rocky Mountain Research Station, 2009: 26 - 31.
- [25] CARLILE W R. The use of composted materials in growing media

- [C]. International Symposium on Growing Media 779, Angers, 2005: 321 – 328.
- [26] 张鹏, 杨玲, 丛健, 等. 论森林培育技术的精准化[J]. 世界林业研究, 2008, 21(1): 34 – 39.
- [27] LANDIS T D. Mineral nutrients and fertilization[M]// LANDIS T D, TINUS R W, MCDONALD S E, et al. The container tree nursery manual. Washington: USDA Forest Service, 1989, 4: 1 – 67.
- [28] DUMROESE R K. Hardening fertilization and nutrient loading of conifer seedlings; RMRS – P – 28[R]. USDA Forest Service Rocky Mountain Research Station, 2003: 31 – 36.
- [29] OLJET J A, PLANELLES R, ARTERO F, et al. Field performance of *Pinus halepensis* planted in Mediterranean arid conditions: relative influence of seedling morphology and mineral nutrition[J]. New Forests, 2009, 37(3): 313 – 331.
- [30] JUNTUNEN M L, HAMMAR T, RIKALA R. Leaching of nitrogen and phosphorus during production of forest seedlings in containers [J]. Journal of Environmental Quality, 2002, 31(6): 1868 – 1874.
- [31] PARLADÉ J, LUQUE J, PERA J, et al. Field performance of *Pinus pinea* and *P. halepensis* seedlings inoculated with *Rhizopogon* spp. and outplanted in formerly arable land [J]. Annals of Forest Science, 2004, 61(6): 507 – 514.
- [32] DUMROESE R K, HAASE D L. Water management in container nurseries to minimize pests[J]. Tree Planters' Notes, 2018, 61(1): 4 – 11.
- [33] HERNANDEZ VELASCO M, MATTSSON A. Light quality and intensity of light – emitting diodes during pre – cultivation of *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus sylvestris* L. seedlings – impact on growth performance, seedling quality and energy consumption[J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2019, 34(3): 159 – 177.
- [34] MONTAGNOLI A, DUMROESE R K, TERZAGHI M, et al. Tree seedling response to LED spectra: implications for forest restoration [J]. Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 2018, 152(3): 515 – 523.
- [35] RIIKONEN J, KETTUNEN N, GRITSEVICH M, et al. Growth and development of Norway spruce and Scots pine seedlings under different light spectra[J]. Environmental and Experimental Botany, 2016, 121: 112 – 120.
- [36] POTERI M, LILJA A, PETÄISTÖ R L. Control of nursery diseases and pests in Finnish forest tree nurseries[R]. The Finnish Forest Research Institute, 2005: 19 – 26.
- [37] CRAM M M, FRANK M S, MALLAMS K M. Agriculture handbook: forest nursery pests[M]. Washington DC: USDA Forest Service, 2012: 1 – 84.
- [38] SOUTH D B, ENEBAK S A. Integrated pest management practices in southern pine nurseries [J]. New Forests, 2006, 31(2): 253 – 271.
- [39] 秦月. 2014年我国针叶树材市场在调整中回归理性[J]. 中国人造板, 2015, 22(4): 35 – 38.
- [40] 梅梦媛, 雷一东. 我国人工林新时代发展形势分析[J]. 世界林业研究, 2019, 32(3): 73 – 77.