

文章编号: 1001-1498(2010) 06-0883-06

美植袋物理控根容器培育对玉兰苗根系构型的影响

岳 龙^{1,2}, 徐迎春¹, 张 炜³, 王秀琴³, 董凤祥^{2*}

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091;
3. 国家林业局西北华北东北防护林建设局, 宁夏 银川 750001)

摘要: 比较了在美植袋物理控根容器中以及大田条件下生长的 3 年生玉兰苗的生长量、根系构型和透根情况, 结果表明: 美植袋培育的玉兰苗的生长量与大田培育的玉兰苗无显著差异, 但在根系构型上有显著不同, 美植袋中生长的玉兰苗在距离主干 20 cm 范围内的吸收根(根系直径在 0 ~ 2 mm 的根系)的根尖数、根表面积和根体积分别为 12 996.66 个·株⁻¹, 1 674.4 cm²·株⁻¹, 40.82 cm³·株⁻¹, 疏导根(根系直径在 2 ~ 5 mm 的根系)的根尖数、根体积和根表面积分别为 195.09 个·株⁻¹, 969.09 cm²·株⁻¹, 67.73 cm³·株⁻¹, 明显大于大田培育的玉兰苗, 具有更高的吸收和疏导能力。垂直方向上, 美植袋中生长的玉兰苗在距离容器顶端 21 ~ 33 cm 具有较多的疏导根和吸收根, 水平方向上, 在距离容器侧壁 0 ~ 14 cm 处具有较多的吸收根和疏导根。在这区域内吸收根和疏导根的体积和面积均占根系总体积和表面积的 71.5%, 根系构型发生了明显改变。美植袋容器使用 3 年后, 已经老化, 出现了透根现象, 透出的根系主要是直径在 0 ~ 1 mm 的细根和直径大于 10 mm 的粗根。

关键词: 美植袋; 物理控根容器; 玉兰; 苗木生长量; 根系构型; 透根

中图分类号: S723.1

文献标识码: A

Effect of Root-Pruning Bags on *Magnolia denudata* Desr s Root Architecture

YUE Long^{1,2}, XU Yin-chun¹, ZHANG Wei³, WANG Xiu-qin³, DONG Feng-xiang²

(1. The College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China;

2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

3. Bureau for Northwest, North and Northeast Forest Development Bureau, State Forestry Administration, Yinchuan 750001, Ningxia, China)

Abstract: The seedling growth, root architecture, root-penetrating of *Magnolia denudata* Desr. planted in root-pruning bags for three years were compared to that grown in field by root investigation. The result showed: There was no difference in seedlings growth between *M. denudata* grown in field and planted in root-pruning bags, while the result of root architecture showed difference, the absorption root (root tips diameter ranged from 0—2 mm) and leading root tips (root tips diameter ranged from 0 mm to 2 mm, 2 mm to 5 mm) of *M. denudata* grown in root-pruning bags had more root tips, root surface area, and root volume. *M. denudata* planted in root-pruning bags have larger root surface area and root volume which was from the containers wall of 0—14 cm in horizontal direction and from the top of 21—33 cm in vertical direction, while the amount of root tips is 71.5% of all the root tips. The root-pruning bags used for three years have been worn out so that some roots penetrated the wall of bags. The roots penetrating the bags were that with the diameters below 1 mm and more than 10 mm.

Key words: root-pruning bags; physical root-pruning containers; *Magnolia denudata*; seedling growth; root architecture; root-penetrating

收稿日期: 2008-07-30 修回日期: 2010-05-23

基金项目: 948 项目“林木、花卉容器育苗中的先进控根技术及材料引进”(2006)

作者简介: 岳 龙(1983—), 男, 山东东营, 硕士, 主要从事园林植物繁殖和育种工作。

* 通讯作者: E-mail: Dongfxl96391@yahoo.com.cn

容器育苗易形成畸形根系。根系畸形的容器苗多出现为根系盘绕,根系集中于土球表面,而土球内根系较少,移植后,易于受到干旱、热伤害等逆境胁迫,成活率低,缓苗难^[1-3]。控根技术能够阻止根尖分生组织生长,促进侧根生长从而防止根系缠绕畸形。按照阻止根尖分生组织方式的不同,控根容器可分为空气控根、物理控根、化学控根三种类型。20世纪90年代,控根容器开始广泛应用于苗木生产,主要在新西兰、英国、中国等国家应用^[2]。美植袋是物理控根容器的一种,它是由非针织聚丙烯材料制成,根尖在容器内被粗糙的材料表面束缚,营养无法供给根尖,使根尖失去了顶端优势,促发侧根。许多研究表明,美植袋能够有效控制根系畸形,增加容器内根量,促进根系分枝,减少移植时根系的损失,提高苗木的移植成活率;但是,美植袋容易发生漏根现象,并且,美植袋如果埋在土壤中时间过长,易于老化,更促发了漏根现象的发生^[3]。对美植袋容器苗的研究多集中于根系的生物量和根系组成方面,对在美植袋容器中生长的苗木构型的报道较少。以往的根系调查多是将整个根系取出,进行测量,了解植株的根系结构,但是,这些方法无法了解不同径级的根系在容器内的生长和空间分布,缺少对根面积和根体积等指标的调查^[4-5]。白玉兰(*Magnolia denudata* Desr.)是北方道路和建筑物边缘布景中广泛应用的具有极高观赏价值的园林树种,但其在园林施工中应用条件严格,且移植成活率不高^[6]。

本试验旨在了解美植袋容器苗的根系组成和分布,再与大田培育的玉兰苗比较,研究美植袋容器对苗木根系的影响,根系结构改变与苗木质量的关系,并借助美植袋这种方式提高白玉兰的移植成活率,以指导生产。本试验与已有研究的不同之处在于,在取样时,将容器内的土层区隔化,针对每个区隔内的根系进行调查,了解不同直径的根系在土壤中的水平和垂直分布,再通过 Winrhizo(加拿大 Regent Instruments 公司生产)根系分析软件进行分析研究。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

2005年1月,将白玉兰种子进行层积。于2005年3月,将层积后的白玉兰种子播种到大田。

1.1.1 美植袋容器育苗试验 2006年3月20日,将在大田中生长1年的白玉兰实生苗转入美植袋中,每个美植袋中种植1株,共30株;再将美植袋埋

入地下,袋口与地面持平,美植袋在大田中的定植密度为1 m × 1 m。采用滴灌系统和追施尿素进行玉兰苗水肥管理。试验采用美植袋容器为聚丙烯材料,美植袋上下口直径均为40 cm,高度为33 cm,美植袋中采用的基质为:草炭土60% + 珍珠岩30% + 钢棉10%。

1.1.2 田间育苗试验 2006年3月20日,将大田中生长1年的白玉兰实生苗以带土球的方式移出大田进行大田定植,株行距1 m × 1 m,共移出30株白玉兰实生苗。采用滴灌系统和追施尿素进行玉兰苗水肥管理。

田间育苗试验和美植袋容器育苗试验均在山东省潍坊市昌邑花木场进行。该区立地条件好,土层深厚肥沃,为壤土,土壤有机质含量 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤pH值7.5,阳光充足,年平均气温 $14.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$,年最低气温 $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量660.1 mm。

1.2 调查内容及方法

1.2.1 调查内容

1.2.1.1 苗木生长量 2008年6月开始每隔1周调查美植袋培育与大田培育的玉兰苗的平均生长量。从各处理中随机抽取8株苗,调查每株苗的苗高、冠径、地径等,最后求平均值。每个处理重复3次。

1.2.1.2 根系组成 2008年6月,调查根系组成。从各处理中随机抽取3株苗,将整个根系取出,用水冲洗,分别剪取直径 5 mm 、 2 mm 、直径 $< 5 \text{ mm}$ 、 0 、直径 $< 2 \text{ mm}$ 的根系,分株收集。用 winrhizo2004根系构型软件分析随机抽取的每株白玉兰苗的 2 mm 、直径 $< 5 \text{ mm}$ 、 0 、直径 $< 2 \text{ mm}$ 根系的根尖数及根表面积和根体积,最后对各单株根系指标求平均值,美植袋培育与大田培育的玉兰苗2个处理,每个处理重复3次。

1.2.1.3 根系组成的垂直分布 2008年6月,调查根系组成的垂直分布。从各处理中随机抽取3株苗,调查每株白玉兰苗根系的水平分布与垂直分布情况。以植株中心为圆点,20 cm为半径,以距离地表 $0 \sim 9 \text{ cm}$ 为高度,取1个圆柱形土柱(记为A层),将在A层内的所有根系取出收集;再以植株中心为圆点,以20 cm为半径,距离地表 $9 \sim 21 \text{ cm}$ 为高度,取下1个圆柱形土柱(记为B层),将在B层内的所有根系取出收集;再以植株中心为圆点,20 cm为半径,以距离地表 $21 \sim 33 \text{ cm}$ 为高度,取1个圆柱形土柱(记为C层),将在C层内的所有根系取

出收集;用 winrhizo2004 根系构型软件分析每株白玉兰苗在各个土层深度内各径级根系的根表面积,根体积。最后计算各层内根系指标的平均值,每个处理重复3次。

1.2.1.4 根系组成的水平分布 2008年6月,调查根系组成的水平分布。从各处理中随机抽取3株苗,收集距离植株0~7 cm,距离土表40 cm区域内的所有根系,记为3区,将在3区内的所有根系取出收集;收集距离植株7~14 cm,距离土表40 cm区域内的所有根系(记为2区),将在2区内的所有根系取出收集;收集距离植株14~20 cm,距离土表40 cm区域内的所有根系(记为1区),将在1区内的所有根系取出收集。用 winrhizo2004 根系构型软件分析每株白玉兰苗在不同区内不同径级根系的根表面积和根体积,最后计算各区内根系指标的平均值,每个处理重复3次。

1.2.1.5 根系组成在土壤中的分布 2008年6月,调查根系在土壤中的分布。从各处理中随机抽取3株苗,以植株中心为圆点,20 cm为半径,以距离地表0~9 cm为高度,取1个圆柱形土柱(记为A层)。在取出的圆形土柱上距离植株14 cm处取出一个中空的圆环形土柱,记做A1;在距离植株7 cm处取出一个中空的圆环形土柱,记做A2;剩下的圆环形土柱,记做A3;再以植株中心为圆点,20 cm为半径,以距地表9~21 cm为高度,取下一个圆柱形土柱(记为B层);按照同样的方法切割,分别记做B1、B2、B3;剩下的土柱即地表以下21~33 cm的土柱,按照同样的方法切割,分别记做C1、C2、C3(图1)。将各个区域内的根系取出,用水冲洗掉土壤,将直径<5 mm以下的玉兰根系(2 mm 直径<5 mm, 0 直径<2 mm)用根系扫描设备扫描,用 winrhizo2004 根系构型软件分析各个径级根系的根表面积、根体积。最后计算各区隔内根系指标的平均值,每个处理重复3次。

1.2.1.6 美植袋的透根数 从美植袋培育的玉兰苗中随机抽取6株,将美植袋从土壤中挖出,将每株白玉兰苗透出美植袋的根系剪下,分株收集,将根系洗净后,用根系扫描设备扫描透出美植袋的根系并分级(直径在 0 D <1 mm、1 D <2 mm、2 mm D <5 mm、5 mm D <10 mm、 D 10 mm)。用 winrhizo2004 根系构型软件分析每株美植袋培育的白玉兰苗透出美植袋的各个径级根系的根尖数、面积、体积。统计每株白玉兰苗的透根情况。

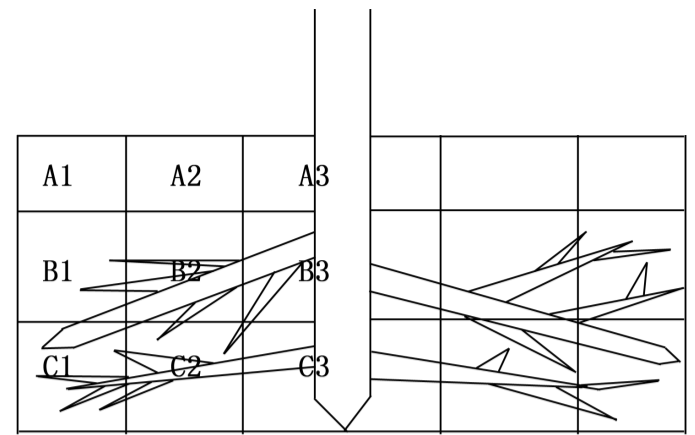


图1 玉兰苗根系水平分布与垂直分布区隔划分示意图

1.2.2 数据分析 试验设置美植袋培育与大田培育的玉兰苗2个处理,每个处理重复3次,使用 spss 13.0、Microsoft Excel2005 统计软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 美植袋培育与大田培育的玉兰苗生长量比较

表1所示:美植袋培育与大田培育玉兰苗的苗高、冠幅和地径的差异均不显著,说明这2种条件下培育的玉兰苗的生长量无明显差异。

表1 不同培育方式对单株玉兰苗生长量的影响

培育方式	苗高/m	冠幅/m	地径/cm
美植袋培育	4.35a	1.33a	4.15a
大田培育	4.23a	1.35a	4.13a

注:同列数据后相同字母表示在0.05水平上差异不显著。

2.2 美植袋培育与大田培育的玉兰苗全根系的根体积、根表面积和根尖数比较

从表2看出:美植袋培育的玉兰苗直径为0~2、2~5 mm的根系表面积、根系体积和根尖数均显著大于大田培育,说明美植袋培育的玉兰苗根系吸收能力和田间存活率比大田培育的玉兰苗高。根系体积与田间存活率有正相关性,根尖数越多说明控根的效果越明显,根表面积与根系的吸收能力正相关,根系体积与根系鲜质量呈正相关^[5,14]。Mattsson^[14]

表2 不同培育方式下单株白玉兰苗全根系不同径级根系的根体积、根表面积和根尖数比较

根生长指标	大田培育	美植袋培育
0 < D 2 mm 根系表面积 / (mm ² · 株 ⁻¹)	1 125.93b	1 674.44a
2 < D 5 mm 根系表面积 / (mm ² · 株 ⁻¹)	446.50b	969.09a
0 < D 2 mm 根系体积 / (mm ³ · 株 ⁻¹)	19.16b	40.82a
2 < D 5 mm 根系体积 / (mm ³ · 株 ⁻¹)	23.90b	67.73a
0 < D 2 mm 根系根尖数 / (个 · 株 ⁻¹)	9 965.00b	12 996.66a
2 < D 5 mm 根系根尖数 / (个 · 株 ⁻¹)	124.67b	195.09a

注:直径(D) 0~2 mm、2~5 mm的根分别为吸收根和疏导根。同行数据后不同字母表示在0.05水平上差异显著。

的研究表明,直径0~2 mm的根为吸收根,直径2~5 mm的根为疏导根。据此说明美植袋的控根效果十分明显,培育的苗木质量高。

2.3 美植袋培育与大田培育的玉兰苗根系分布情况

2.3.1 美植袋培育与大田培育的玉兰苗不同径级根系根表面积和根体积的在土层内的垂直分布 经过调查发现,A层没有根系,无法比较。从表3可以看出:在B层和C层,大田培育玉兰苗的疏导根和

吸收根的根体积和根表面积均比美植袋培育的小,并且差异显著。从垂直分布来看,大田培育的玉兰苗的吸收根和疏导根的根表面积和根体积在B、C层分布的较为均匀;但是美植袋培育的玉兰苗吸收根的根表面积和体积在C层分别为 $934.35 \text{ cm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$ 、 $24.43 \text{ cm}^3 \cdot \text{株}^{-1}$,在C层疏导根的根体积、根表面积分别为 $550.37 \text{ cm}^3 \cdot \text{株}^{-1}$ 、 $52.26 \text{ cm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$ 显著大于B层,美植袋培育的玉兰苗的根系主要集中在C层,即容器的底部。

表3 美植袋培育与大田培育的单株玉兰苗不同径级根表面积和根体积的垂直分布

根生长指标	大田培育		美植袋培育	
	9~21 cm(B层)	21~23 cm(C层)	9~21 cm(B层)	21~23 cm(C层)
0 < D 2 mm根系表面积/($\text{mm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$)	510.48d	615.44c	740.09b	934.35a
2 < D 5 mm根系表面积/($\text{mm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$)	222.99c	223.50c	418.71b	550.37a
0 < D 2 mm根系体积/($\text{mm}^3 \cdot \text{株}^{-1}$)	10.85c	8.30c	16.39b	24.43a
2 < D 5 mm根系体积/($\text{mm}^3 \cdot \text{株}^{-1}$)	10.21c	13.28bc	15.47b	52.26a

注:同行数据后不同字母表示在0.05水平上差异显著,相同字母表示差异不显著。

2.3.2 美植袋培育与大田培育的玉兰苗不同径级的根表面积和根体积水平分布 从表4可以看出:在1区(距离主干20~14 cm处)、2区(距离主干14~7 cm处),大田培育的玉兰苗的吸收根和疏导根的根体积和根表面积均比美植袋培育玉兰苗的

小,且差异显著。美植袋培育的玉兰苗根系的吸收根和疏导根的根表面积和根体积随着与主根距离的接近呈递减的趋势,在1、2区内较大,在3区内降低,且与1、2区域内的根体积差异显著。

表4 美植袋培育与大田培育的单株玉兰苗不同径级的根体积和根表面积水平分布

根生长指标	大田培育			美植袋培育		
	1区	2区	3区	1区	2区	3区
0 < D 2 mm根系表面积/($\text{mm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$)	583.15c	306.85d	101.54e	836.23a	717.53b	255.06d
2 < D 5 mm根系表面积/($\text{mm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$)	181.74c	189.10bc	75.66d	381.86a	339.33a	247.90b
0 < D 2 mm根系体积/($\text{mm}^3 \cdot \text{株}^{-1}$)	9.03c	6.63d	3.49e	20.77a	14.43b	5.61d
2 < D 5 mm根系体积/($\text{mm}^3 \cdot \text{株}^{-1}$)	9.19bc	8.54c	6.18c	29.34a	26.92a	11.47b

注:同行数据后不同字母表示在0.05水平上差异显著,相同字母表示差异不显著。

2.3.3 美植袋培育与大田培育玉兰苗的根表面积和根体积在土壤中的分布 从表5可以看出:美植袋培育的玉兰苗根系疏导根和吸收根的根体积都随着深度的增加而递增,同时在B、C各层内,随着距

离主根的距离增加,根系的体积和表面积也随之增加,美植袋培育玉兰苗的吸收根和疏导根的根表面积和根体积在B、C层的1、2区域内值较大,在3区域内,根系的根表面积和根体积的值最小,差异显

表5 美植袋培育与大田培育的单株玉兰苗根系在土壤各个区隔内的根体积和根表面积

根生长指标	土层深度/cm	层次	大田培育			美植袋培育		
			1区	2区	3区	1区	2区	3区
0 < D 2 mm根系表面积/($\text{mm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$)	21~33	C	427.29a	140.89c	47.26d	484.50a	315.94b	133.90c
0 < D 2 mm根系表面积/($\text{mm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$)	9~21	B	290.23b	165.97c	54.29d	351.78a	267.20b	121.15c
2 < D 5 mm根系表面积/($\text{mm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$)	21~33	C	128.46b	50.94c	44.11c	225.83a	119.03b	73.85bc
2 < D 5 mm根系表面积/($\text{mm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$)	9~21	B	53.28c	138.16b	31.56c	265.47a	128.80b	156.03b
0 < D 2 mm根系体积/($\text{mm}^3 \cdot \text{株}^{-1}$)	21~33	C	3.28c	3.21c	1.70d	13.18a	8.20b	3.03cd
0 < D 2 mm根系体积/($\text{mm}^3 \cdot \text{株}^{-1}$)	9~21	B	5.75b	3.42c	1.69c	7.59a	6.20ab	2.58c
2 < D 5 mm根系体积/($\text{mm}^3 \cdot \text{株}^{-1}$)	21~33	C	4.40bc	4.64bc	4.24c	22.09a	21.97a	8.19b
2 < D 5 mm根系体积/($\text{mm}^3 \cdot \text{株}^{-1}$)	9~21	B	4.79b	3.89b	1.54c	7.25a	4.95b	3.28bc

注:同行数据后不同字母表示在0.05水平上差异显著,相同字母表示差异不显著。

著,所以,美植袋培育的玉兰苗各层中的吸收根和疏导根主要集中在靠近容器外壁0~14 cm和距离容器底部0~12 cm处。大田培育的白玉兰苗表现为随着土壤深度的增加,疏导根和吸收根的根体积在2、3区域内递增,在B、C各层内,随着距主根距离的增加,根系的体积和表面积也随之增加。

2.4 美植袋容器苗透出根系的情况

从表6可以看出:透出较多的是直径大于10 mm的根系,透出的根体积和根表面积也较大,其次是直径为0~1 mm的根系,直径为1~2、2~5 mm的根系也有透出,但比较少。通过观察,发现透出的根系主要是粗根(直径大于10 mm),大多数是由断根的根尖再次生长出来的。

表6 单株美植袋容器苗的透根数、透根体积和透根表面积

直径(D) / mm	根尖数 / 个	根体积 / mm ³	根表面积 / mm ²
0 < D 1	2 563	10.20	411.75
1 < D 2	1 234	22.33	375.32
2 < D 5	1 219	24.34	242.25
5 < D 10	1 103	28.73	294.67
10 < D	5 935	121.54	988.35

3 结论与讨论

Whitcomb^[3]将在(RootMaker)空气控根容器中生长的苗同大田苗的生长量相同。James^[10,12]则发现在CopperblockTM化学控根容器中生长的长叶松(*Pinus palustris* Mill.)比大田中的长叶松生长量低。这可能是因为在容器中生长的苗木采用的生长基质与大田土壤环境不同,水分养分环境也有差异,营养空间不同,化学控根剂对树体的胁迫等原因;此外树种和树龄的不同也会造成这两种结果的差异^[7-8]。本试验中,美植袋培育的玉兰苗和大田培育的没有显著差异,造成该结果的原因是本次试验使用适合于白玉兰容器苗生长的基质,同时采用滴灌系统进行营养液供给养分,进行精细管理,此外,透根也影响苗木的生长量。

美植袋培育的玉兰苗根体积明显比大田培育的大,由于根体积与移植成活率成正相关性^[13,15],因此,美植袋培育的玉兰苗的移植成活率比大田培育的高;美植袋培育的玉兰苗吸收根表面积、吸收根和疏导根的根尖数显著大于大田培育的玉兰苗,说明美植袋培育的玉兰苗在移植时对水分和养分胁迫的抵抗能力高。此外,美植袋培育的玉兰苗在移植时对根系的损失较小,可以提高苗木的移植成活率和当年生长量,缩短缓苗期,实现反季节造林。

美植袋中生长的苗木根系分布呈现随着深度的增加,苗木的吸收根和疏导根的表面面积和根体积增加,在容器的底部达到峰值。在同一深度的土层中,吸收根和疏导根的表面面积和根体积表现为从容器壁到主根,根体积和根表面积逐渐增加。本文研究结果表明,在美植袋容器中生长的苗木根系多集中在距离容器0~14 cm和距离容器底部0~12 cm处,即容器的中下部位置,并且这部分根系占根系总量的71.5%;而Wenny^[11]研究发现在化学控根容器中生长的松树(*Pinus ponderosa* var. *ponderosa*)根系出现了上移的现象,刘勇^[16]和Lassheikki^[17]研究发现在铜控根试剂的作用下,松树容器苗的根系集中在容器的中上部;因为本试验采用的是美植袋,容器的形状会导致根系的分布不同,同时,不同的控根方式对根系结构的影响是不同的,另外,也受苗木自身的影响。本文的结果表明:美植袋中生长的苗木与大田环境里生长的苗木在根系组成,根体积和根表面积的垂直和水平分布均有差别。这种改变也许会对苗木质量继续产生影响,有待于以后进一步的试验。此外,本次试验没有设置容器苗的对照,对物理袋容器苗与普通容器苗的根系结构差异没有进行调查,对此将在今后进一步试验。

本试验采用的美植袋使用了3年,已经有一定程度的老化,所以出现了透根现象,降低了对根尖的束缚。此外,不同的树种、苗龄、根系的生长方式也影响透根。透出的根系在移苗时被剪掉,造成了根系的损失,透根对容器内部的根系结构也有影响,透根使得容器内的根系分枝降低,二级或更低级别的侧根发生降低,发生位置也会改变,这个问题有待于研究。

参考文献:

- [1] 孙盛,董凤祥,彭祚登. 容器育苗化学控根技术[J]. 世界林业研究, 2006, 19(5): 33 - 37
- [2] 侯元兆. 现代林业育苗的理念与技术[J]. 世界林业研究, 2007, 20(4): 24 - 29
- [3] Whitcomb C. Eplant production in containers [J]. Lacebark Publications, 2006, 355 - 400
- [4] 王树林,林永增. 几种棉花根系的研究方法[J]. 中国棉花, 2007, 34(2): 21 - 22
- [5] 张成良,尹富强. 水稻根系研究法的现状[J]. 江西农业学报, 2006, 18(2): 34 - 36
- [6] 夏日红,王钰. 广玉兰的生长与立地条件中的关系研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(35): 15417 - 15418, 15443
- [7] Anthony S D, Douglass F J. Quantifying root system quality of nurser-

- y seedlings and relationship to out planting performance [J] . New Forests, 2005, 30(29) : 5 - 11
- [8] Arnold. Mechanical correction and chemical avoidance of circling roots differentially affect post-transplant root regeneration and field establishment of container-grown shumard oak [J] . J Amer Soc Hort Sci, 1996, 121(2) : 258 - 263
- [9] Brass T, Keever G, Gilliam C H, Eakes D J. Styrene-lined and copper-coated containers effect production of Cornus Florida [J] . J Environ Hort, 1997, 15(3) : 131 - 134
- [10] Ames P, John M M. Copper Treatment of Containers Influences Root Development of Longleaf Pine Seedlings Proceedings of the Longleaf Pine Container [J] . Production Workshop, 2001, 6: 16 - 18
- [11] Wenny D L, Woolen R L. Chemical root pruning improves the root system morphology of containerized Seedlings Western-Journal-of-Applied-Forestry, 1989, 4(1) : 15 - 17
- [12] Filippisde L F, Baker J F, Burrows N L, *et al.* Chemical root pruning in kangaroo paw (*Anigozanthos flavidus*) by select heavy metal carbonates [J] . Sciatica Horticulture, 1998, 62: 245 - 253
- [13] Marler T E, Willis D. Chemical or air root-pruning containers improve carambola, longan, and mango seedling root morphology and initial root growth after transplanting [J] . Journal of environmental horticulture, 1996, 4(2) : 47 - 49
- [14] Mattsson A. Predicting field performance using seedling quality assessment [J] . New Forests, 1997(13) : 227 - 252
- [15] Canvasser C G. The root form and stability of planted trees with special reference to nursery and establishment practice [R] . Canada: British Columbia Ministry of Forests Canadian Forest Service, 1978, 11(8) : 59 - 69
- [16] 刘 勇, 朱学存. 兴安落叶松容器苗化学剪根效果与根生长潜力测定的研究 [J] . 北京林业大学学报, 1991, 13(2) : 22 - 25
- [17] Lassheikki M, Rasanen P K. Planting performance potential of Pinus Silvestre s seedlings as evaluated by root growth capacity and triphenyl tetrazolium chloride reduction methods [J] . Scandinavian Journal of Forest Research, 1991(6) : 91 - 104