

不同育苗方式对移栽后侧柏和白榆幼苗根系生长的影响

杨喜田^{1,*}, 佐铺宣行¹, 杨臻^{1,2}, 曾玲玲¹, 朱璞玲³

(1. 河南农业大学, 河南 郑州 450002; 2. 信阳职业技术学院, 河南 信阳 464000; 3. 河南省商水县林业技术推广站, 河南 商水 466100)

摘要: 不同类型苗木, 具有不同的根系结构特征, 其根系结构也将影响林木的生长和恢复生态系统的稳定性。以侧柏和白榆为研究对象, 对移栽 18 个月后的种基盘苗与营养钵苗根系的生长进行了调查。结果表明: 侧柏种基盘苗的总根长和平均直径比营养钵苗分别增加了 316.20 cm 和 0.05 mm, 白榆苗则分别增加了 651.54 cm 和 0.88 mm。侧柏和白榆种基盘苗的根系表面积比营养钵苗分别增加了 40.05% 和 73.04%。侧柏种基盘苗的根系总体积与营养钵苗的差异不显著, 而白榆种基盘苗的根系总体积则比营养钵苗增加了 54.70%。侧柏和白榆营养钵苗的一级侧根数量大于种基盘苗, 增幅分别为 42.31% 和 30.65%。对于侧柏来说, 营养钵苗的根尖总数比种基盘苗的增加 324 个, 但白榆苗差异不显著。各种处理的幼苗总根长与根系表面积都有显著相关性, 但与根体积不具有显著相关性。营养钵苗的根系平均直径和根尖数量具有相对独立性, 而种基盘的根系平均直径与总根长以及根体积均表现为显著相关。种基盘苗能提高侧柏、白榆幼苗的根冠比, 促进幼苗株高、地径和主根的生长。采用种基盘苗进行植被恢复, 由于其具有较大的根表面积和根长度, 林木便具有了较大的吸收水分和营养的能力, 以及较高的固结表层土壤能力。

关键词: 植被恢复; 种基盘苗; 营养钵苗; 育苗方式; 侧柏; 白榆

Effects of different seedling stock types on root growth of *Platycladus orientalis* and *Ulmus pumila*'s transplants

YANG Xitian¹, Sajiki Nobuyuki¹, YANG Zhen^{1,2}, ZENG Lingling¹, ZHU Puling³

1 Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China

2 Xinyang Vocational and Technical College, Xinyang, Henan 464000, China

3 Shangshui Forest Technique Spreading Station, Henan Province, Shangshui, Henan 466100, China

Abstract: Different species of stock seedlings differ in root morphology, which have significant influences on the early growth phases of the planted forest and the stability of the established ecosystems. Taking *Platycladus orientalis* and *Ulmus pumila* as examples, the study investigated the root growth of both seed-base and container seedlings 18 months later after they were planted. The obtained results indicated that, the total root length and average root diameter of *P. orientalis* transplants of the seed-base seedlings were 316.20 cm and 0.05 mm bigger than that of the container seedlings, while the total root length and average root diameter of the *U. pumila* transplants of the seed-base seedlings were 651.54 cm and 0.88 mm bigger than that of the container seedlings, respectively. The root surface area of the *P. orientalis* and *U. pumila* transplants of the seed-base seedlings were 40.05% and 73.04% larger than that of the container seedlings. No evident difference in the total root volume between the *P. orientalis* transplants of the seed-base seedlings and that of the container seedlings. by contraries, the total root volume of the *U. pumila* transplants of the seed-base seedlings was 54.70% bigger than that of the container seedlings. Numbers of the first lateral roots of the *P. orientalis* and the *U. pumila* transplants of the container seedlings were 42.31% and 30.65% correspondingly bigger than that of the seed-base seedlings. Root tip

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30872019); 河南省杰出青年科学基金资助项目(074100510012)

收稿日期: 2009-05-07; **修订日期:** 2009-06-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xitianyang@yahoo.com.cn

number of the *P. orientalis* transplants of the container seedlings was 324 more than that of the seed-base seedlings, while that difference between the *U. pumila* transplants of both two kinds of the seedlings was not significant. In every treatment, a significant relationship between the total root length and the root surface area was found. No significant relationship, however, was detected between the total root length and the root total volume. Average root diameter and root tip number of the transplants of the container seedlings were independent. Contrarily, average root diameter of the transplants of the seed-base seedlings showed significant relationships with both the total root length and the root total volume. It could be concluded that, Seed-base could increase the root:shoot ratio and stimulate the growth of seedling height, root collar diameter and root dry weight. Thus, young trees transplanted using seed-base seedlings could have bigger potentials to absorb water and fertilizer, and to immobilize topsoil.

Key Words: vegetation restoration; seed-base seedling; container seedling; seedling cultivation measure; *Platycladus orientalis*; *Ulmus pumila*

植被恢复的目标是构建稳定的植被群落,恢复相对稳定的森林生态系统。在植被恢复与重建的过程中,稳定性的研究将为合理的植被配置方式提供依据,植被稳定性是植物群落结构与功能的一个综合特征^[1]。根系是构成植物体的主要部分,是林木吸收水分和养分的器官,其形态和分布直接反映林木对立地的利用状况,对树木的生长、生物多样性保护和退化生态系统生态功能恢复,都具有重要作用^[2-3]。苗木在移栽过程中,根系受到了伤害,根系形态也会发生相应变化。近年来,有关移栽或切根与植物根系生长发育关系的研究已逐渐引起科研工作者的重视^[4-7],有关根系形态的研究也取得了一些成绩。但是由于植物根系形态构型十分复杂,且埋藏在不透明介质中,难以进行实时定位观察和测定,因而根系形态构型的定量研究一直是世界上根系生物研究的难点之一^[8]。

植物群落地上部与地下部分之间存在着良好的正相关关系,良好的根系结构不仅可以促进林木的生长和发育,而且在长期的植被恢复过程中,良好的根系构型还可以保证林木恢复的持续稳定性发展。合理经营植物群落,促进地上部生物量,同时通过同类型植物间混交、间作等手段,可以有效促进根系多种生态功能的提高^[9]。苗木是群落形成和演替的基础,但在进行人工植被恢复时,选择不同的育苗方式对林木根系的生长和分布产生较大差异^[10],如裸根苗,容器苗等。目前,育苗方式的选择引起了广大学者的关注,也成为恢复生态学和植被生态学的一个研究热点。探讨不同育苗方式苗木的根系生长和分布特征,对于研究理想根构型形成的机理,培育具有强壮根系的优质苗木,推广有效的育苗技术,促进根系的生态评价和植被恢复技术的优化,均具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在位于郑州市惠济区的河南农业大学科教园区(112°42'—114°14' E, 34°16'—34°58' N)进行。郑州市属于暖温带大陆季风性气候。年平均降雨量 640.9mm,年平均气温 14.3℃,全年最低气温为 1 月份,平均气温 -0.2℃,最高气温为 7 月份,平均气温 27.3℃。

1.2 营养钵苗和种基盘苗的培育

试验树种选择我国北方造林常见树种侧柏(*Platycladus orientalis*)和白榆(*Ulmus pumila*)。种子均来源于河南省济源市,侧柏的发芽率为 75%,千粒重为 22g;白榆的发芽率为 65%,千粒重为 9.1g。

栽培基质选用园区土壤与秸秆堆肥按照体积比 1:1 的比例进行混合,加入缓释肥(N:P:K=6:18:14)5 g/L,搅拌均匀。使用的营养钵规格为底部直径 12cm,高 12cm,底部有 1 个直径为 2 cm 的圆孔;用种基盘成型器制作种基盘,规格为上、下底部直径为 10cm,高 10cm,中间有 1 个孔径为 3.5cm 的贯通孔,孔四周留有 4 条深度为 1.5cm 的贯通槽。

侧柏种子用 60℃ 温水浸泡 48h,白榆种子不经处理。于 2007 年 3 月 20 日将侧柏和白榆种子直接播于营

营养钵和种基盘内,每穴定苗 1 株,每组 30 个。营养钵和种基盘均放置在距地面 50cm 的悬空金属架上,以防止根系插入地下,各处理水分管理相同。

1.3 幼苗移栽、根系挖掘

2007 年 6 月 10 日分别将去除营养钵的营养钵苗和种基盘苗移栽至已建造好的侧柏和白榆培养池(以下简称营养钵苗和种基盘苗)。移栽苗选取大小一致,长势均匀的苗木。侧柏和白榆的平均株高分别为 6.2cm 和 10.5cm。培养池用红砖建造,池内填充基质,基质配比同 1.2。侧柏培养池高 0.3m,白榆培养池高 0.9m。侧柏从距离培养池边缘 0.5m 处开始,按定植密度 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 进行种植,白榆从距离培养池边缘 1m 处开始,按定植密度 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 进行种植,每种处理 9 株。平时注意除草和浇水管理。

于 2008 年 12 月 10 日,用水冲法挖掘侧柏幼苗和白榆幼苗,挖掘过程尽量避免末端细根的损失,以保证根系构型的完整性。冲洗后装进贴有标签的袋中带回室内。

1.4 根系处理与数据分析

对挖掘的侧柏和白榆幼苗,先进行洗根,再测定株高、地径和根长。用 STD4800 SCANNER 根系扫描仪(EPSON 公司,日本)进行全根扫描,然后对扫描后的根系图片用 WINRHIZO PRO 2007 根系分析系统(专业版)进行根系形态和根构型的分析及数据输出。对于幼苗根系大于扫描仪的扫描范围的白榆根系,先按一级侧根截取后再进行扫描。用游标卡尺测定一级侧根基部直径,记录基部直径 $d > 2\text{mm}$ 的一级侧根数量。将根系和地上部分别放于 80°C 的烘箱中烘至恒重,称重并计算根冠比。选用每种处理 9 株的平均值,用方差分析法和 LSD 检验($\alpha = 0.05$) 分析各处理根系形态指标之间的差异。分析软件选用 SPSS 13.0 完成。

2 结果与分析

2.1 不同育苗方式对侧柏和白榆幼苗的根总长与平均直径的影响

种基盘可以明显促进林木幼苗根系的生长。从图 1 可知,侧柏营养钵苗和种基盘苗的根总长之间差异显著($P < 0.05$)。侧柏种基盘苗的根总长为 625.25cm,比营养钵苗增加了 316.20cm,增幅为 50.57%;同样,白榆营养钵苗和种基盘苗的根总长之间差异极显著($P < 0.01$)。白榆种基盘苗的根总长为 1567.24 cm,比营养钵苗增加了 651.54cm,增幅为 41.57%。并且同样的育苗方式,不同树种之间根总长也存在较大差异。

种基盘和营养钵育苗对根系直径的影响因树种不同而不同。侧柏营养钵苗根系的平均直径为 0.50mm,大于种基盘苗,增幅为 17.21%,两者之间差异显著。而白榆种基盘苗的直径为 0.88mm,比营养钵苗增加了 0.09mm,增幅为 11.39%,但两者之间差异不显著。

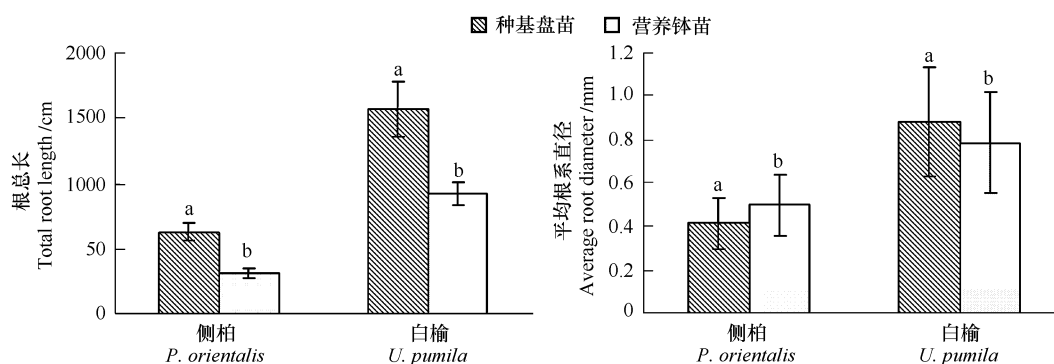


图 1 侧柏、白榆营养钵苗与种基盘苗根总长与平均根系直径^①

Fig. 1 Total root length and average root diameter of *P. orientalis* and *U. pumila* in seed-base seedling and container seedling

同一树种中相同字母表示在 0.05 水平上差异不显著(下同)

2.2 不同育苗方式对侧柏和白榆幼苗的根系表面积和根系总体积的影响

分析图 2 可知,侧柏种基盘苗的根系表面积为 81.02cm^2 ,比营养钵苗增加了 40.05%,两者之间差异显著。白榆的种基盘苗和营养钵苗的根系表面积也表现出了相同的趋势,种基盘苗的根系表面积(401.44cm^2)

比营养钵苗(231.99cm^2)增加了 169.45cm^2 , 差异达到了极显著水平。由此可知, 不同树种的根系总体积之间存在显著差异。

但种基盘苗和营养钵育苗对 2 种植物根系总体积的影响程度不同。种基盘苗的侧柏根系总体积为 0.84cm^3 , 略大于营养钵苗的 0.61cm^3 , 但两者差异不显著。而白榆种基盘苗的根系总体积达到了 10.11cm^3 , 极大于营养钵苗的 4.58cm^3 , 增幅为 54.70% 。

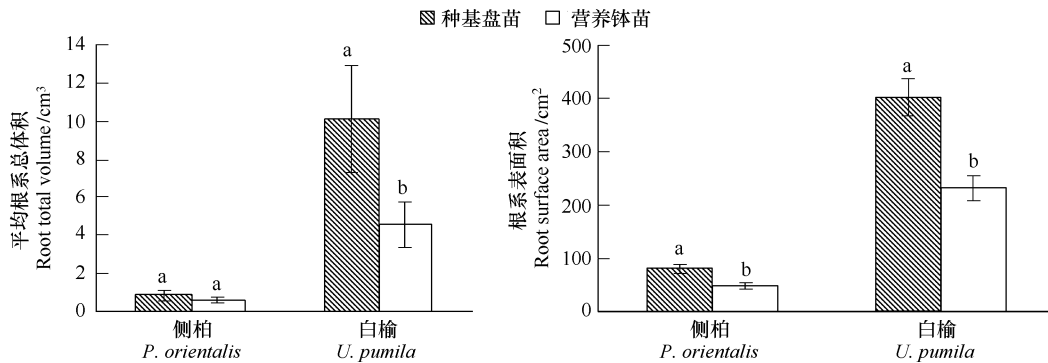


图2 侧柏、白榆营养钵苗与种基盘苗根系表面积和根系总体积

Fig.2 Root surface area and root total volume of *P. orientalis* and *U. pumila* in seed-base seedling and container seedling

2.3 不同育苗方式对侧柏和白榆幼苗根系的一级侧根数和根尖数的影响

所谓一级侧根, 就是指直接与主根联接的侧根。侧柏和白榆营养钵苗的一级侧根数量均大于种基盘苗, 增幅分别为 42.31% 和 30.65% , 且营养钵苗与种基盘苗间差异性极显著。对于根系总根尖数来说, 侧柏营养钵苗为 591 个, 比种基盘苗增多了 324 个, 增幅为 54.85% , 营养钵苗和种基盘苗之间差异显著。而白榆营养钵苗的根系总根尖数虽大于种基盘苗, 但营养钵苗和种基盘苗之间差异不显著(图3)。

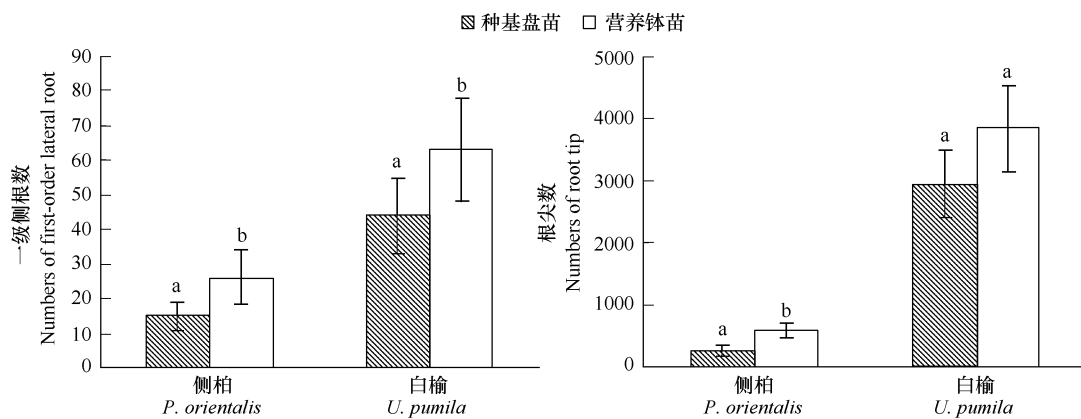


图3 侧柏、白榆营养钵苗与种基盘苗的一级侧根数和根尖数

Fig.3 Numbers of first-order lateral root and root tip of *P. orientalis* and *U. pumila* in seed-base seedling and container seedling

2.4 幼苗根系生长指标的相关性

对侧柏和白榆的营养钵苗、种基盘苗根系生长指标进行相关分析, 可以看出, 各种处理的幼苗总根长与根系表面积都有显著相关性, 与根系体积、根尖数都不具有显著相关性。2 种育苗方式的总根长与根系平均直径的关系表现不一致, 种基盘苗表现为显著相关, 而营养钵苗的则相关不显著(表1)。营养钵苗的根系平均直径具有相对独立性, 与其它生长指标均不具有显著相关性, 种基盘的根系平均直径与总根长和根体积具有显著相关性。各种处理的幼苗根系表面积与根体积都有显著相关性。2 种育苗方式的根尖数与根体积的关系表现也不一致, 种基盘苗表现为显著相关, 而营养钵苗的则相关性不显著。各种处理除了种基盘苗根尖数与根体积有显著相关性外, 其他处理幼苗的根尖数具有较强独立性, 与其它生长指标均不具有显著相关性。

表 1 侧柏、白榆营养钵苗和种基盘苗的根系形态总体指标相关性分析

Table 1 Correlation analysis of root morphology's collectivity index of *P. orientalis* and *U. pumila* in seed-base seedling and container seedling

项目 Item			总根长 Total root length	表面积 Total root length	根系平均直径 Average root diameter	根体积 Root volume	根尖数 Root tips
侧柏 <i>P. orientalis</i>	营养钵苗 Container seedling	总根长	1				
		表面积	0.952 *	1			
		根系平均直径	0.822	0.642	1		
		根体积	0.495	0.945 *	0.839	1	
		根尖数	0.790	0.507	0.275	0.228	1
	种基盘苗 Seed-base seedling	总根长	1				
		表面积	0.970 **	1			
		根系平均直径	0.983 **	0.672	1		
		根体积	0.871	0.965 *	0.961 *	1	
		根尖数	0.734	0.946 *	0.339	0.907 *	1
白榆 <i>U. pumila</i>	营养钵苗 Container seedling	总根长	1				
		表面积	0.942 *	1			
		根系平均直径	0.831	0.056	1		
		根体积	0.722	0.906 *	0.857	1	
		根尖数	0.553	0.540	0.039	0.396	1
	种基盘苗 Seed-base seedling	总根长	1				
		表面积	0.955 *	1			
		根系平均直径	0.967 *	0.907 *	1		
		根体积	0.860	0.959 *	0.977 **	1	
		根尖数	0.760	0.760	0.610	0.913 *	1

* : $P < 0.05$; * * : $P < 0.01$

2.5 不同育苗方式对侧柏和白榆幼苗的地下部生长量的影响

与营养钵苗相比,种基盘能提高侧柏、白榆幼苗的根冠比,促进幼苗地径和根系的生长(表2),且3个指标同一树种不同育苗方式间的差异均达显著性水平以上。以营养钵苗为参照,侧柏种基盘苗根冠比的增加幅度为17.1%,大于白榆的10.0%。而白榆种基盘苗地径的增加幅度为76.5%,大于侧柏增加幅度的71.4%。种基盘可以促进主根的生长,侧柏、白榆种基盘苗的根干重比营养钵苗的分别增加了40.5%和54.8%。

表 2 侧柏、白榆营养钵苗和种基盘苗的地径、根冠比及根干重

Table 2 Root collar diameter, root:Shoot ratio, Root dry weight(g) of *P. orientalis* and *U. pumila* in seed-base seedling and container seedling

项目 Item		地径 Root collar diameter/mm	根冠比 Root:Shoot ratio/(g/g)	根干重 Root dry weight/g
侧柏 <i>P. orientalis</i>	营养钵苗 Container seedling	2.10(0.31)a	1.11(0.23)a	0.42(0.09)a
	种基盘苗 Seed-base seedling	3.60(0.60)b	1.30(0.28)b	0.59(0.09)b
白榆 <i>U. pumila</i>	营养钵苗 Container seedling	17.25(3.66)a	0.70(0.034)a	35.83(9.70)a
	种基盘苗 Seed-base seedling	30.45(6.06)b	0.77(0.035)b	55.35(10.79)b

表内数值为平均值,括号内为标准差

3 讨论

种基盘可以明显促进林木幼苗根系的生长。侧柏和白榆种基盘苗的根总长均比营养钵苗的大,这表明,采用种基盘苗进行植被恢复,较大的根长对于恢复初期表层土壤的固结作用将会增强。种基盘和营养钵育苗对根系直径的影响,因树种不同而不同。对于生长缓慢的侧柏而言,在生长初期营养钵对根系平均直径的生长比种基盘更有促进作用。白榆的营养钵苗和种基盘苗在对根系平均直径的生长上差异不是很明显。根系结构不同,其固持土体的能力存在很大差异,也决定了植物的抗拔能力和干的通性^[11-15]。有研究表明,在

森林演替初期,群落根系分布较浅,可塑性强,且水平根系发达^[16]。随着植被的正向演替,表层土壤(0—15cm)的抗冲性明显增大,但亚表层(15—30cm)和底层(30—50cm)土壤抗冲性则没有太大的变化^[17]。说明加强群落形成初期以及土壤近地表的根系分布,对于科学评价森林植被的生态功能具有重要意义^[18]。

侧柏和白榆种基盘苗的根系表面积均大于营养钵苗的根系表面积,侧柏营养钵苗和种基盘苗的根系总体积差异不显著,而白榆种基盘苗的根系总体积的生长比营养钵苗更具优势。根据植物矿质吸收的理论,植物对溶质的最初吸收具有吸附的特性,并假定这时在根系表面均匀地覆盖了一层被吸附物质的单分子层。较大的根表面积就意味着种基盘苗比营养钵苗具有更大的吸收水分和营养的能力,具有更大的与土壤接触的面积,能形成更大的根际环境。

种基盘苗在培育过程中,由于裸置于苗床上发生空气断根的缘故,限制了主根的生长,促进了侧根的发生,使一级侧根的数目相对于营养钵苗有所增加,也限制了侧根的长度,增大了一级侧根的直径^①。高鹤等采用混合涂料涂刷刺槐等树种育苗容器内壁,结果也表明进行容器苗的化学修根,对抑制苗木侧根长度生长、促进侧根数量增加具有显著效果^[6]。但经过移栽后,侧柏和白榆营养钵苗的一级侧根数量却反而大于了种基盘苗。这可能是由于营养钵体的构造限制了幼苗主根的生长,却促进了一级侧根的发生。同时由于这种促进作用,根系总根尖数也有增加。而种基盘的构造决定其促进主根的自然生长,限制或影响侧根过多的增长。种基盘苗地径比营养钵苗地径有显著增加。

有研究发现,在一定直径范围内,根系的长度与其表面积、体积相互之间是显著相关的^[19],本研究中各种处理的幼苗总根长与根系表面积都有显著相关性,但与根体积不具有显著相关性。对侧柏和白榆的营养钵苗、种基盘苗根系生长指标进行相关分析结果表明,营养钵苗的根系平均直径和根尖数量具有相对独立性,而种基盘的根系平均直径与总根长和根体积,根尖数与根体积均表现为显著相关。种基盘对苗木根系影响的结果,使得侧柏、白榆的株高、地径均比营养钵苗有显著增加,并提高了根冠比。现代国内外对苗木的质量评价指标,已经开始注重苗木根系是否平衡、是否具备空气切根后形成的愈伤组织等方面^[20]。这就要求我们需要重新认识育苗技术措施的优劣。种基盘苗根系结构表现了很大的优越性,今后还需加强研究不同树种的表现差异以及在不同区域植被恢复过程中的实际应用潜力。

References:

- [1] Xu K, Xie Y Z, Zheng G Q. Trends and advances in researches on vegetation stability. Journal of Ningxia Agricultural College, 2004, 25(4): 58-61.
- [2] Wang W Q, Wang S J, Liu Y R, Liu Y R, Liu J W. Distribution and growth characteristics of the root systems of Poplar, Willow, Elm and Locust on site of renewed land by fine ash of coal. Scientia Silvae Sinicae, 1994, 30(1): 25-33.
- [3] Qi L H, Peng Z H, Zhang X D, Zhou J X, Cai C J, Wang Z Y. Species diversity and biomass allocation of vegetation restoration communities on degraded lands. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(11): 1697-1702.
- [4] Farmer J W, Pezeshki S R. Effects of periodic flooding and root pruning on *Quercus nuttallii* seedlings, Wetlands Ecology and Management, 2004, 12(3): 205-214.
- [5] Ortega U, Majada J, Mena-petite A, Sanchez-Zabala J, Rodriguez-Iturrizar N, Txarterina K, Azpitarte J, Duñabeitia M. Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers, New Forests, 2006, 31: 97-112.
- [6] Gao H, Yang P, Yi X Y, Yang A B, Zhang N C. A comparative study on chemical root trimming effect of copper carbonate for container seedling. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2007, 26(4): 296-299.
- [7] Sun S J, Gu R Z, Cong R C, Zhang B X, Gao J P. Effects on root, shoot and leaf growth and water status of *Ginkgo biloba* with two transplanting modes. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(10): 35-41.
- [8] Liang Q, Liao H, Yan X L. Quantitative analysis of plant root architecture. Chinese Bulletin of Botany, 2007, 24(6): 695-702.
- [9] Hu J Z, Zheng J L, Shen J Y. Discussion of root ecological niche and root distribution characteristics of artificial phyto-communities in rehabilitated fields. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(3): 481-490.

① 杨喜田,赵宁,段玉玲,朱璞玲. 种基盘苗与营养钵苗根系生长和形态的差异. 第十届中国科协年会,郑州,2008.9.

- [10] Yang X T, Dong H Y, Yamadera Y. Study on improving Seed base materials for afforestation by direct seeding. *Science of Soil and Water Conservation*, 2003, 1(4):87-91.
- [11] Coutts M P. Development of the structural root system of *Sitka spruce*. *Forestry*, 1983, 56:1-16.
- [12] Mason E G. Causes of juvenile instability of *Pinus radiata* in New Zealand. *N. Z. J. For Sci*, 1985, 15:263-280.
- [13] Belneaves J M, De La Mare P J. Root patterns of *Pinus radiata* on five ripping treatments in a Canterbury forest. *N. Z. J. For Sci*, 1989, 19:29-40.
- [14] Stokes A, Fitter A H, Coutts M P. Responses of young trees to wind and shading: effects on root architecture. *J. Expl. Bot*, 1995, 46: 1139-1146.
- [15] Yamadere Y, Yang X T, Miyazaki T. Differences of drawing resistance of planted and seeded seedling. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2002, 28:143-145.
- [16] Hao Y R, Peng S L. Variation of roots and its impact factors in succession. *Ecology and Environment*, 2005, 14(5):762-767.
- [17] Zhou Z C, Shangguan Z P. Soil anti-scourability during vegetation succession of Ziwuling secondary forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3270-3275.
- [18] Xi L, Zhu P L, Yao X Y, Yang X T. Near-surface layer hydrological properties of main vegetation types in mountainous areas in West Henan Province. *Journal of Henan Agricultural University*, 2009, 43(2): 151-156.
- [19] Lu L X, Zeng B. Enhancement effects of dominant riparian diffuse-rooted plants of Jialing River in Three Gorges reservoir region on soil anti-scourability. *Journal of Southwest China Normal University(Natural Science)*, 2006, 31(3): 157-161.
- [20] Hou Y Z. Ideas and techniques of modern forest seedling cultivation. *World Forestry Research*, 2007, 20(4): 24-29.

参考文献:

- [1] 徐坤, 谢应忠, 郑国琴. 植被稳定性研究进展. *宁夏农学院学报*, 2004, 25(4):58-61.
- [2] 王文全, 王世绩, 刘雅荣, 刘建伟. 粉煤灰复田立地上杨, 柳, 榆, 刺槐根系的分布和生长特点. *林业科学*, 1994, 30(1):25-33.
- [3] 漆良华, 彭镇华, 张旭东, 周金星, 蔡春菊, 王昭梅. 退化土地植被恢复群落物种多样性与生物量分配格局. *生态学杂志*, 2007, 26(11): 1697-1702.
- [6] 高鹤, 杨萍, 尹晓阳, 杨安敏, 张乃春. 林木容器育苗碳酸铜化学修根效果比较. *山地农业生物学报*, 2007, 26(4):296-299.
- [7] 孙守家, 古润泽, 丛日晨, 张宝鑫, 高俊平. 2种移栽方式对银杏根系、枝叶生长与水分状况的影响. *林业科学*, 2008, 44(10):35-41.
- [8] 梁泉, 廖红, 严小龙. 植物根构型的定量分析. *植物学通报*, 2007, 24(6):695-702.
- [9] 胡建忠, 郑佳丽, 沈晶玉. 退耕地人工植物群落根系生态位及其分布特征. *生态学报*, 2005, 25(3): 481-490.
- [10] 杨喜田, 董惠英, 山寺喜成. 播种造林种基盘基质的改良研究. *中国水土保持科学*, 2003, 1(4):87-91.
- [16] 郝艳茹, 彭少麟. 根系及其主要影响因子在森林演替过程中的变化. *生态环境*, 2005, 14(5):762-767.
- [17] 周正朝, 上官周平. 子午岭次生林植被演替过程的土壤抗冲性. *生态学报*, 2006, 26(10):3270-3275.
- [18] 席琳, 朱璞玲, 姚孝友, 杨喜田. 豫西山地主要森林植被类型的近地表层水文特征. *河南农业大学学报*, 2009, 43(2):151-156.
- [19] 卢立霞, 曾波. 三峡库区嘉陵江岸生优势须根系植物根系对土壤抗冲性的增强效应研究. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2006, 31(3):157-161.
- [20] 侯元兆. 现代林业育苗的理念与技术. *世界林业研究*, 2007, 20(4):24-29.