

文章编号:1001-1498(2014)02-0284-06

107 杨不同插穗的育苗试验

戴前莉¹, 魏文娟², 李金花^{1*}, 张 菊²

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 林木遗传育种国家重点实验室, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;
2. 河北省唐山市丰南区林业局, 河北 唐山 063300)

关键词: 107 杨; 扦插育苗; 年龄效应; 部位效应; 扦插密度; 采穗圃

中图分类号: S723.1

文献标识码: A

Survival and Juvenile Growth of *Populus × euramericana* (Dode) Guineir cv. 'Neva' Cuttings from Stem and Branch of Different Parent Shoots and Planting Spaces

DAI Qian-li¹, WEI Wen-juan², LI Jin-hua¹, ZHANG Ju²

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Forestry Bureau of Fengnan District, Tangshan City, Tangshan 063300, Hebei, China)

Abstract: Aiming at meet the demand for poplar seedling in current nursery production, in this study, the stem cuttings of 1-year-old shoot and branch cuttings in middle and apical positions of 9 year-old *P. × euramericana* (Dode) Guineir cv. 'Neva' tree were used to conduct the propagation trial in nursery. The middle and base parts of stem and branch were taken as cuttings in this trial for comparison of survival and juvenile growth. The results showed that the survival, base diameter and height of cuttings followed the order of stem of 1-year-old shoot > branches in middle position of 9 year-old trees > branches in apical position of 9-year-old trees. The survival and growth of cuttings in space of 0.6 m × 0.9 m were better than those of 0.5 m × 0.6 m. The difference of sprout numbers in stool beds between the spaces of 0.5 m × 1.2 m and 0.5 m × 0.6 m was not significant but the base diameter and length of sprouts in space of 0.5 m × 1.2 m were greater. The results further confirmed the rule that for propagation of 'Neva', 1-year-old stem cutting survived and grew better than branch cuttings of the older trees and large planting space. It is recommended to establish fine stool bed to sprout stem cuttings with adaptable spaces in order to guarantee the quality of cuttings.

Key words: *Populus × euramericana* (Dode) Guineir cv. 'Neva'; planting stocks; age effect; position effect; cutting spacing; stool bed

黑杨派无性系在世界发达国家的杨木生产中占有重要经济地位,特别是欧美杨无性系具有较强的杂种优势,表现出早期速生、无性繁殖容易、适应性强等特点,适宜于无性系育种。经长期引种实践和栽植历史证明,其适生于我国大部分平原地区,成为

我国杨树人工林主栽品种,在杨树工业用材林建设中发挥了巨大作用,蕴藏着极大的丰产潜力^[1]。自国家“七五”科技攻关项目立项以来,黑杨派杨树遗传改良开始并成为我国杨树育种的主攻方向,选育出了一批黑杨派优良品种,并大面积地推广种植,发

收稿日期: 2012-12-31

基金项目: 中国林业科学研究院林业研究所重点项目(ZD200905); 中国林业科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(CAFYBB20100004)

作者简介: 戴前莉(1988—),女,安徽全椒人,在读硕士研究生,主要研究方向:杨树遗传改良。

* 通讯作者: lijinh@caf.ac.cn

挥了杨树良种优势;但是,由于在生产造林中不注重插穗质量,导致良种的优良特性未得到表现,出现了所谓“良种退化”问题,并归罪于品种不好、品种退化等,实际上可能是因扦插育苗方法不当等人为原因造成的^[2]。黑杨派无性系主要采用春季常规扦插育苗,插穗质量及规格^[3-6]、采穗位置及母树年龄^[7-11]、育苗密度^[12]、抚育管理^[13-14]、环境条件^[15-16]等都是影响育苗成活率、树苗生长的因素。一般欧美杨和美洲黑杨无性系的插穗直径为1.0~1.5 cm,长度18~20 cm^[2,9]。在现代苗圃生产中,培育杨树壮苗,使用1年生苗截取插穗,出自苗干中部、下部的插穗质量最好^[2,9],而从大树采条,即使是利用1年生枝条截取插穗,插穗的生根能力随着树高而降低,表现出明显的年龄效应和部位效应^[10,17]。育苗密度过大也是我国杨树育苗的常见弊病,低扦插密度的扦插苗质量比高密度的高^[2],因此,扦插密度亦是育苗中需要关注的一个要点。此外,用优良遗传材料建立良种采穗圃,是保证插穗产量和质量的基本途径,而采穗圃的分蘖空间也会影响分蘖的成活率以及单位面积内穗条的产量^[18-19]。

欧美杨107杨(*Populus × euramericana* (Dode) Guineir cv. 'Neva')是我国北方地区杨树人工林主栽良种,但在长期扦插育苗过程中,由于育苗方法不当、育苗密度过大、连续多代用病弱树苗做种条繁育后代、从大树或幼树上采枝条作为种条等等,造成树苗和人工林的长势一代不如一代,严重影响了杨树良种生产力。姜岳忠等^[20]研究认为:107杨1年生苗上、中、下3个部位插穗的成活率和苗高、地径生长量差异不显著,但上部插穗较差;不同插穗粗度和插穗长度的育苗效果差异显著,插穗粗度不应小于1.5 cm,长度以17~20 cm为宜。本研究以107杨1年生苗和9年生大树为试验材料,开展了不同年龄、不同部位插穗及扦插密度育苗试验,阐明插穗的位置效应、年龄效应对壮苗培育的影响,比较不同扦插密度下苗生长差异以及不同定植密度采穗圃下萌蘖穗条产量与质量的差异。目前,上述有关研究尚未见报道,拟通过本研究对107杨壮苗培育的可行性措施进行探讨,以期对生产实践起到指导作用。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地设在河北省唐山市丰南区中国林科院引智成果示范推广基地(简称“丰南基地”),位于39°

30'N、118°15'E,地处冀东滨海平原中部,属暖温带湿润季风型大陆性气候,年降水量567 mm,年均气温11.6℃,极端最高气温40.2℃,极端最低气温-25.6℃,年无霜期196 d,全年日照2 509 h;地势平坦,海拔3~15 m,地下水位0.7~3.0 m,土壤为河流冲积母质的砂质潮土,表面土壤多呈灰棕色或暗灰棕色,全氮0.73 g·kg⁻¹,碱解氮50.69 mg·kg⁻¹,有效磷6.78 mg·kg⁻¹,有效钾109.5 mg·kg⁻¹,土壤密度1.1~1.5 g·cm⁻³,土壤pH值7.5~8.2。

1.2 试验材料

丰南基地于2000年春天从中国林科院林业所张绮纹研究员课题组引进欧美杨107杨插穗,进行苗木繁育和生产性造林。本研究从苗圃地选取生长健壮、茎干通直、无病虫害的1年生苗(苗高和地径平均值分别为3.2 m和1.8 cm),从人工林中选取生长良好、树干通直、无病虫害的9年生大树(树高和胸径的平均值分别为23.9 m和24.5 cm),为扦插育苗的试验材料,在苗圃地进行育苗日常管理。

1.3 试验方法

1.3.1 不同年龄、部位插穗育苗试验 选取1年生苗和9年生大树顶端和中部的1年生枝条,从1年生苗和1年生大树枝条的中部和下部截取插穗,粗1.5~2.0 cm,长20 cm。扦插株行距为0.5 m×0.6 m,完全随机区组设计,80~120株小区,4次重复。

1.3.2 不同扦插密度育苗试验 选择1年生苗,截取中部和下部为插穗,粗1.5~2.0 cm,长20 cm。扦插株行距为0.5 m×0.6 m、0.6 m×0.9 m,完全随机区组设计,250~280株小区,4次重复。

1.3.3 不同定植密度穗条萌蘖试验 利用株行距为0.5 m×0.6 m和0.5 m×1.2 m的1年生苗,在苗高0.2 m处平茬,定植为采穗树,萌蘖扦插育苗用穗条。完全随机区组设计,40~50株小区,3次重复。

1.4 性状测定和统计分析

当年生长季结束后调查扦插苗成活率和每个采穗树上萌蘖穗条的数量,分别用测高尺和游标卡尺测量扦插苗的苗高和地径、萌蘖穗条的长度和地径。利用Excel2007软件对数据进行录入和绘图,利用SAS 9版软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同年龄、不同部位插穗的扦插成活率和苗生长量及径阶频率分布

对1年生苗、9年生大树顶端和中部1年枝条插

穗的扦插成活率、苗高和地径性状进行方差分析,结果表明:不同来源插穗间扦插成活率、苗高和地径差异均极显著 ($P < 0.001$)。进一步的多重比较结果

(表1)表明:3种来源插穗两两之间的扦插成活率、苗高和地径均存在显著差异 ($P < 0.05$)。

表1 107杨不同年龄、不同部位插穗扦插苗成活率及其生长量

插穗来源	性状	重复区组				均值	
		I	II	III	IV		
1年生苗	成活率/%	92.59	95.56	94.07	94.81	94.26 a	
	苗高/m	范围	2.00 ~ 4.01	1.85 ~ 4.00	1.66 ~ 3.98	1.62 ~ 4.02	1.62 ~ 4.02
		均值	3.36	3.27	3.22	3.21	3.27 a
		标准偏差	0.43	0.47	0.47	0.56	0.49
	地径/cm	范围	0.84 ~ 2.56	0.90 ~ 2.66	0.69 ~ 2.50	0.73 ~ 2.60	0.69 ~ 2.58
		均值	1.91	1.85	1.84	1.82	1.85 a
标准偏差		0.45	0.39	0.38	0.46	0.40	
9年生大树顶端枝条	成活率/%	64.44	61.48	65.19	57.04	62.04 b	
	苗高/m	范围	1.74 ~ 3.83	1.70 ~ 3.45	1.72 ~ 3.53	1.66 ~ 3.40	1.66 ~ 3.83
		均值	2.70	2.68	2.60	2.58	2.64 b
		标准偏差	0.49	0.43	0.44	0.43	0.45
	地径/cm	范围	0.76 ~ 2.66	0.77 ~ 2.11	0.71 ~ 2.06	0.74 ~ 2.09	0.71 ~ 0.74
		均值	1.50	1.45	1.37	1.40	1.43 b
标准偏差		0.41	0.34	0.32	0.34	0.36	
9年生大树中部枝条	成活率/%	85.93	86.67	79.26	85.18	84.26 c	
	苗高/m	范围	2.03 ~ 3.82	1.67 ~ 3.62	1.83 ~ 3.94	2.11 ~ 3.87	1.67 ~ 3.94
		均值	2.96	2.77	3.24	3.21	3.05 c
		标准偏差	0.43	0.46	0.47	0.46	0.49
	地径/cm	范围	0.83 ~ 2.33	0.63 ~ 2.25	0.78 ~ 2.49	0.84 ~ 2.44	0.63 ~ 2.49
		均值	1.55	1.48	1.76	1.72	1.63 c
标准偏差		0.36	0.37	0.39	0.39	0.38	

注: Duncan 多重比较, 不同来源采穗相同性状均值后不同小写字母表示 5% 水平差异显著, 下同。

1年生苗的扦插平均成活率为 94.26%, 而9年生大树中部枝条的扦插平均成活率为 84.26%, 顶端枝条的扦插平均成活率为 62.04%。由此可知, 9年生大树1年生枝条中部的扦插成活率高于顶端枝条, 但其中部和顶端枝条插穗的扦插平均成活率比1年生苗低 10.61% 和 34.18%。

1年生苗与9年生大树枝条插穗的扦插苗生长量也存在显著差异, 1年生苗插穗的扦插苗苗高和地径的平均值分别为 3.27 m 和 1.85 cm, 9年生大树顶端枝条插穗的苗高和地径平均值分别为 2.64 m 和 1.43 cm, 中部枝条的苗高和地径平均值分别为 3.05 m 和 1.63 cm。

以扦插苗生长量对插穗来源进行排序: 1年生苗 > 9年生大树中部枝条 > 9年生大树顶端枝条。

图1表明: 1年生苗插穗扦插苗在径阶 1.5 ~ 2.0 cm 和 > 2.0 cm 的频率较高, 平均值分别为 40.47% 和 41.26%; 9年生大树枝条插穗扦插苗在径阶 1.0 ~ 1.5 cm 和 1.5 ~ 2.0 cm 的频率较高, 顶端枝条平均分别值为 48.36% 和 34.33%, 中部枝条平均分别为 31.83% 和 41.51%。利用1年生苗插穗的扦插育苗在径阶 > 2 cm 的频率(41.26%) 分别比9年生大树顶端(6.87%) 和中部1年生枝条(20.86%) 的高 6 倍和 2 倍。

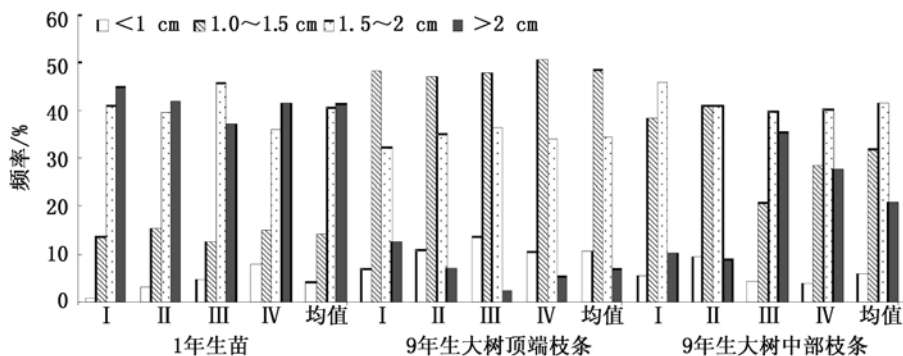


图1 107杨不同年龄、不同部位插穗的扦插苗地径径阶频率分布

2.2 不同扦插密度育苗成活率、苗生长量及径阶频率分布

1 年生插穗不同密度的扦插成活率、1 年生扦插苗的苗高和地径的差异均为极显著 ($P < 0.001$), 进一步的多重比较结果 (表 2) 表明: 不同密度的扦插成活率、苗高和地径均存在显著差异 ($P < 0.05$)。

株行距 0.5 m × 0.6 m 的扦插成活率为 91.13% ~ 95.09%, 平均为 93.65%; 株行距 0.6 m × 0.9 m 的扦插成活率为 94.58% ~ 97.50%, 平均为 96.24%, 比株行距

0.5 m × 0.6 m 的平均扦插成活率高 2.59%。

株行距 0.5 m × 0.6 m 和 0.6 m × 0.9 m 扦插苗的生长量也存在显著差异 (表 2), 株行距 0.5 m × 0.6 m 的扦插苗苗高和地径分别为 2.16 ~ 4.25 m 和 0.86 ~ 2.70 cm, 平均值分别为 3.56 m 和 1.91 cm; 株行距 0.6 m × 0.9 m 的苗高和地径分别为 1.96 ~ 4.25 m 和 0.71 ~ 3.44 cm, 平均值分别为 3.70 m 和 2.02 cm, 均比株行距 0.5 m × 0.6 m 的高。

表 2 扦插株行距对 107 杨扦插苗成活率及其生长量的影响

株行距/(m × m)	性状	重复区组				均值	
		I	II	III	IV		
0.5 × 0.6	成活率/%	94.33	95.09	91.13	94.04	93.65 a	
	苗高/m	范围	2.16 ~ 4.15	2.45 ~ 4.15	2.17 ~ 4.15	2.27 ~ 4.25	2.16 ~ 4.25
		均值	3.48	3.56	3.62	3.57	3.56 a
		标准偏差	0.34	0.34	0.35	0.38	0.35
	地径/cm	范围	1.07 ~ 2.65	0.98 ~ 2.49	0.86 ~ 2.46	0.91 ~ 2.76	0.86 ~ 2.7
		均值	1.93	1.89	1.88	1.94	1.91 a
标准偏差		0.31	0.29	0.30	0.30	0.30	
0.6 × 0.9	成活率/%	96.62	96.25	97.5	94.58	96.24 b	
	苗高/m	范围	2.19 ~ 4.20	1.96 ~ 4.20	2.29 ~ 4.25	1.99 ~ 4.25	1.96 ~ 4.25
		均值	3.62	3.63	3.80	3.73	3.70 b
		标准偏差	0.35	0.37	0.35	0.37	0.37
	地径/cm	范围	0.84 ~ 2.91	0.79 ~ 2.57	0.91 ~ 3.44	0.71 ~ 2.54	0.71 ~ 3.44
		均值	2.00	1.98	2.10	1.98	2.02 b
标准偏差		0.31	0.31	0.31	0.29	0.31	

图 2 表明: 株行距 0.5 m × 0.6 m 和 0.6 m × 0.9 m 的扦插苗, 地径径阶的频率分布集中在径阶 1.5 ~ 2.0 cm 和 > 2.0 cm。株行距 0.5 m × 0.6 m 的扦插苗在径阶 > 2.0 cm 的频率为 39.11% ~

45.49%, 平均为 41.98%; 而株行距 0.6 m × 0.9 m 的扦插苗在径阶 > 2.0 cm 的频率为 54.15% ~ 68.80%, 平均为 58.21%, 比株行距 0.5 m × 0.6 m 的高 16.23%。

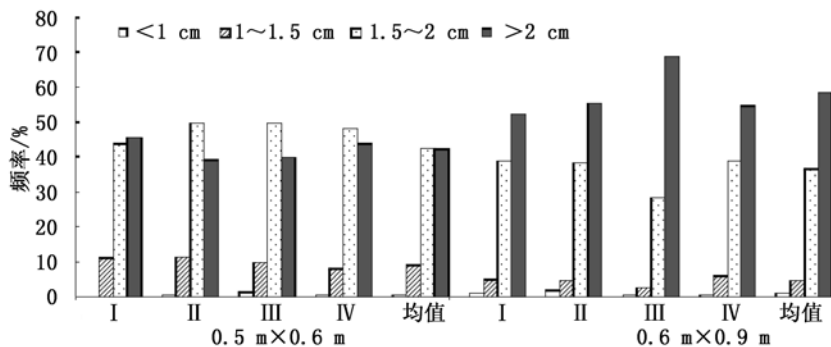


图 2 不同株行距 107 杨扦插苗的地径径阶频率分布

2.3 不同定植密度萌蘖穗条数量、生长量及径阶频率分布

利用 1 年生苗进行平茬后定植为采穗树, 以株行距 0.5 m × 0.6 m 和 0.5 m × 1.2 m 萌蘖扦插育苗用的穗条, 采穗树萌蘖不同穗条数量的频率分布见

图 3, 采穗树的萌蘖穗条数量大多为 2 根和 3 根, 株行距 0.5 m × 0.6 m 采穗树萌蘖 2 根和 3 根穗条的频率分别为 41.18% ~ 50% 和 35.29% ~ 57.89%, 平均为 44.43% 和 43.18%; 株行距 0.5 m × 1.2 m 采穗树萌蘖 2 根和 3 根穗条的频率分别为

41.67%~48.21% 和 36.54%~44.64%，平均为 44.06% 和 40.02%。与株行距 0.5 m × 0.6 m 相比，株行距 0.5 m × 1.2 m 采穗树萌蘖 2 根和 3 根穗条的频率差异不大，但萌蘖 4 根穗条的频率高 3.64%。

对 2 种株行距下 1 年生采穗树的生长量统计(表 3)可知：株行距 0.5 m × 0.6 m 的穗条长度和地径分

别为 0.66~2.10 m 和 0.75~2.18 cm，平均值分别为 1.28 m 和 1.42 cm；株行距 0.5 m × 1.2 m 萌蘖穗条的长度和地径分别为 0.88~2.55 m 和 0.98~2.57 cm，平均值分别为 1.56 m 和 1.75 cm。由此可知，株行距 0.5 m × 1.2 m 比 0.5 m × 0.6 m 采穗树萌蘖穗条的长度和地径平均高出 21.88% 和 23.23%。

表 3 不同定植株行距对采穗树萌蘖穗条生长量的影响

株行距/(m × m)	性状	重复区组			均值	
		I	II	III		
0.5 × 0.6	穗条长度/m	范围	0.86~2.10	0.78~1.73	0.66~1.79	0.66~2.10
		均值	1.45	1.20	1.20	1.28
		标准偏差	0.29	0.26	0.24	0.26
	地径/cm	范围	0.75~2.18	0.80~1.89	0.86~1.90	0.75~2.18
		均值	1.61	1.30	1.34	1.42
		标准偏差	0.31	0.29	0.24	0.28
0.5 × 1.2	穗条长度/m	范围	0.89~2.55	0.88~2.28	1.00~2.55	0.88~2.55
		均值	1.56	1.47	1.66	1.56
		标准偏差	0.42	0.37	0.40	0.40
	地径/cm	范围	1.14~2.46	0.98~2.48	1.25~2.57	0.98~2.57
		均值	1.73	1.70	1.81	1.75
		标准偏差	0.36	0.37	0.38	0.37

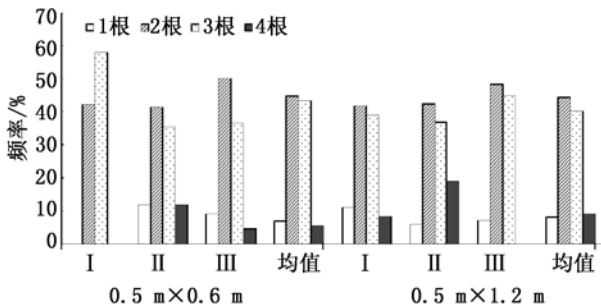


图 3 不同株行距下萌蘖不同穗条数量的采穗树频率分布

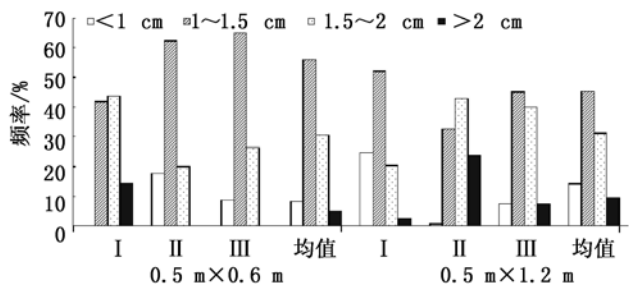


图 4 不同株行距下萌蘖穗条地径阶频率分布

图 4 表明：萌蘖穗条的频率分布集中在径阶 1.0~1.5 cm 和 1.5~2.0 cm，株行距 0.5 m × 0.6 m 萌蘖穗条在径阶 1.5~2.0 cm 和 > 2.0 cm 的频率分别为 20.00%~43.64% 和 0.00~14.55%，平均分别为 30.57% 和 5.10%；株行距 0.5 m × 1.2 m 萌蘖穗条在径阶 1.5~2.0 cm 和 > 2.0 cm 的频率分别为 20.53%~42.75% 和 2.66%~23.91%，平均分别为 31.09% 和 9.36%；株行距 0.5 m × 1.2 m 萌蘖穗条在径阶 > 2.0 cm 的频率比株行距 0.5 m × 0.6 m 的高 4.26%。

3 结论与讨论

杨树插穗规格和质量直接影响育苗成活率和扦插苗生长量。郑世锴^[2]强调杨树壮苗培育须用 1 年生苗为插穗，中部插穗质量最好，且欧美杨和美洲黑杨无性系插穗直径为 1.0~1.5 cm，长度 18~

20 cm。姜岳忠等^[20]认为，107 杨 1 年生苗的插穗直径和长度的育苗效果差异显著，插穗直径不应小于 1.5 cm，长度以 17~20 cm 为宜。本研究利用 107 杨 1 年生苗和 9 年生大树枝条为材料，截取苗和枝条的中部、下部为插穗，且插穗直径 1.5~2.0 cm，长 20 cm，消除了试验结果中因插穗规格和质量不一致所产生的效应。

杨树插穗的采穗部位及母树年龄影响插穗的生根力，从而影响育苗成活率和扦插苗生长量，且插穗的生根能力随着采穗母树的年龄和树高的增加而降低^[7,9-10,12]。Bloomberg^[7]发现，欧美杨 1 年生苗基部插穗生的根最长，插穗的位置对生根数量有显著影响。姜岳忠等^[20]认为，107 杨 1 年生苗上、中、下 3 个部位插穗的成活率和苗高、地径生长量的差异均不显著。本研究 107 杨 1 年生苗插穗的成活率和苗高、地径的生长量高于 9 年生大树枝条插穗，而 9

年生大树中部枝条插穗的成活率和苗高、地径的生长量高于9年生大树顶端枝条插穗,表明107杨插穗存在明显的年龄和部位效应,这与前人研究结果一致。因此,在生产实践中,培育107杨壮苗时,应利用1年生苗进行扦插繁殖,以保证壮苗的产量和质量。

杨树扦插育苗的定植密度确实对成活率和速生丰产林优质苗的出苗率有一定的影响,定植密度小的成活率和扦插苗生长量高,反之较低^[2,17]。本研究以107杨1年生苗的研究结果与前人的研究结果一致。因此,在杨树良种苗圃地场地资源丰富的情况下,应适当减小扦插密度,给予扦插苗相对更大的生长空间,提高育苗成活率和壮苗的出苗率。

利用107杨以不同定植密度营造采穗圃时,发现在株行距0.5 m × 1.2 m 萌蘖的穗条数和质量均高于0.5 m × 0.6 m,但2种密度都是萌出2根和3根穗条的株数较多,且相对而言,0.5 m × 1.2 m 萌蘖2根和3根穗条的穗条长度和地径生长量较大。Netzer等^[21]认为,黑杨杂种无性系采穗圃的分蘖空间对产出的插穗质量即插穗的粗度和插穗的扦插成活率没有影响,差异性只会在扦插之后不同的生境条件下表现出来,并且在1 m × 1 m 或更低的株行距建立采穗圃时,能够以最少的土地面积产出最多的硬木插穗,这与本研究结果有一致之处。

在实际生产中培育107杨壮苗时,建议先用生长健壮的母树建立良种采穗圃,采穗圃的定植密度在有限的土地资源内可适当增加栽植密度,但每株采穗树需保留适宜穗条数量,以保证产出的穗条质量和产量。在壮苗培育过程中,在其他栽培管理条件不变的情况下,降低扦插密度能够提高扦插苗的成活率和后期壮苗的产量。

参考文献:

- [1] 张绮纹,李金花. 杨树工业用材林新品种[M]. 北京:中国林业出版社,2003:44-48
- [2] 郑世锴. 杨树丰产栽培[M]. 北京:金盾出版社,2005:74-79
- [3] Dickmann D, Phipps H, Netzer D. Cutting diameter influences early survival and growth of several *Populus* clones[J]. USDA Forest Service Research Note, 1980, 261: 1-4
- [4] DesRochers A, Thomas B R. A comparison of pre-planting treatments on hardwood cuttings of four hybrid poplar clones[J]. New Forests, 2003, 26(1): 17-32
- [5] Krinard R M. Continued investigations in first year survival of long cottonwood cuttings[J]. Tree Planters Notes, 1983, 34: 34-37
- [6] Robison D J, Raffa K F. Importance of cutting diameter and method of production on early growth of hybrid poplar[J]. Tree Planters Notes, 1996, 47: 76-80
- [7] Bloomberg W J. The significance of initial adventitious roots in poplar cuttings and the effect of certain factors on their development[J]. The Forestry Chronicle, 1963, 39: 279-289
- [8] Fege A S, Brown G N. Carbohydrate distribution in dormant *Populus* shoots and hardwood cuttings[J]. Forest science, 1984, 30(4): 999-1010
- [9] Schroeder W R, Walker D S. Effect of cutting position on rooting and shoot growth of two poplar clones[J]. New Forests, 1991, 4: 281-289
- [10] Jr Zalesny R S, Hall R B, Bauer E O, et al. Shoot position affects root initiation and growth of dormant unrooted cuttings of *Populus* [J]. Silvae Genetica, 2003, 52: 273-279
- [11] Volk T A, Ballard B, Robison D J, et al. Effect of cutting storage conditions during planting operations on the survival and biomass production of four willow (*Salix* L.) clones[J]. New Forests, 2004, 28(1): 63-78
- [12] Fang S Z, Tian Y, Yuan F Y. Effect of cutting density on growth, yield and quality of poplar clone seedlings[J]. Front For China, 2006, 1: 64-69
- [13] Jr Zalesny R S, Bauer E O, Riemenschneider D E. Use of Below-ground Growing Degree Days to Predict Rooting of Dormant Hardwood Cuttings of *Populus*[J]. Silvae Genetica, 2004, 53(4): 154-160
- [14] Hansen E A. Planting date affects survival and height growth of hybrid poplar[J]. The Forestry Chronicle, 1986, 62(3): 164-169
- [15] Zalesny Jr R S, Hall R B, Bauer E O, et al. Soil temperature and precipitation affect the rooting ability of dormant hardwood cuttings of *Populus*[J]. Silvae Genet,2005,54: 47-58
- [16] Landhauser S M. Effect of soil temperature on rooting and early establishment of balsam poplar cuttings[J]. Tree Planters Notes, 2003, 50(1): 34-37
- [17] Zalesny Jr. R S, Wiese A H. Date of shoot collection, genotype, and original shoot position affect early rooting of dormant hardwood cuttings of *Populus*[J]. Silvae Genetica, 2006, 55: 169-182
- [18] Armstrong A, Johns C, Tubby I. Effects of spacing and cutting cycle on the yield of poplar grown as an energy crop[J]. Biomass and Bioenergy, 1999, 17(4): 305-314
- [19] Kopp R F, Abrahamson L P, White E H, et al. Cutting cycle and spacing effects on biomass production by a willow clone in New York[J]. Biomass and Bioenergy, 1997, 12(5): 313-319
- [20] 姜岳忠,杜华兵,王卫东,等. 杨树不同插穗规格及采穗部位育苗试验[J]. 山东林业科技,2005,156(1):13
- [21] Netzer D A, Hansen E A. Hybrid poplar stool spacing: effects on hardwood cutting production [J]. Research Paper NC-278. St. Paul, MN: U. S. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, 1986