

文章编号:1001-1498(2013)01-0101-06

杨树花枝盆栽加温促进生根人工杂交育种技术*

蔺胜军^{1,3}, 王志英^{1**}, 苏晓华², 刘巍³, 王胜东³, 杨志岩³

(1. 东北林业大学林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091;
3. 辽宁省杨树研究所, 辽宁 盖州 115200)

关键词: 杨树; 人工杂交育种; 花枝 盆栽加温; 生根

中图分类号: S792.11

文献标识码: A

Controlled Breeding Techniques to Accelerate Rooting of Poplar Floral Cuttings by Warming the Flowerpots

MAN Sheng-jun^{1,3}, WANG Zhi-ying¹, SU Xiao-hua², LIU Wei³, WANG Sheng-dong³, YANG Zhi-yan³

(1. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China; 2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Poplar Research Institute of Liaoning Province, Gaizhou 115200, Liaoning, China)

Abstract: Species such as *Populus deltoides* Bartr. which are difficult to root and have a long period of seed maturation are not amenable to controlled crossing using floral cuttings in water culture. A controlled breeding technique were studies involving accelerating rooting of floral cuttings by warming the flowerpot using a constant water temperature and at the same time keeping flower buds in dormancy by low temperature environment. The floral cuttings were planted in flowerpots with soil and grown in a cool (3 °C) room, the pots being soaked in water at 3 different temperatures. After 25 days, the pots with the floral cuttings were moved to the greenhouse for controlled crossing. The floral cuttings of *P. deltoides* with internal soil temperature of 22 °C were much superior to the others. Not only did it ease maintaining the vigor of floral cuttings, but also result in more and better seeds, which had 25.5 root hairs, root length of 31.8 cm and root weight of 16.9 g on average. The ones with 18 °C treatment had 12 root hairs, 10.4 cm root length and 2.7 g root weight on average, and the ones with 14 °C treatment had 2.2 root hairs, 4.2 cm root length and 0.4 g root weight on average. Efforts to improve rooting of *P. deltoids* by warming the flowerpot proved to be successful in controlled crossing with species of sections Aigeiros and Tacamahaca. All the floral cuttings in soils at 22 °C produced seeds (100%), with an average of 1 800 seeds per floral cutting. 60% floral cuttings at 18 °C treatment survived, but the flowers fell because the cuttings had so weak root hairs that they were not enough to support blooming, with an average of 1 000 seeds per fruited cutting. Of those at 14 °C treatment, 20% of cuttings produced seeds, with an average of 500 seeds per fruited cutting, and 80% of the floral cuttings were infected by canker. Other female parents such as *P. × canadensis* showed similar results to *P. deltoides*, but floral cuttings of section Tacamahaca have good rooting in water culture, and showed similar results to the rooting treatment of floral cuttings in controlled crossing. Thin floral cuttings are easy to root and can maintain more catkins than floral cuttings in water culture. This is also helpful for female trees.

收稿日期: 2011-03-07

基金项目: 国家“948”项目“杨树强化杂交育种技术及自动控制关键设备引进与应用”(2006-4-61)

作者简介: 蔺胜军(1964—),男,山东文登人,教授级高工,东北林业大学博士生,主要从事杨树遗传育种工作。

* 致谢: 本研究得到了美国明尼苏达大学自然资源研究所育种专家 Bernie McMahon 等人的大力支持,在此一并感谢!

** 通讯作者: E-mail: zyw0451@sohu.com

Key words: controlled breeding; floral cuttings; warming flowerpots; rooting, poplar

杨树杂交育种是杨树改良的最主要途径,国内外绝大多数栽培品种都是通过这一途径选育出来的,因为杂交种可以具有需要的优良品质和适应性^[1-2]。除了自然界有少量天然杂交种外,人工杂交是获得杂交种的最主要手段。从种子发育的母本所处的环境来分:一种是在室外大树上的人工杂交,另一种是母本花枝切枝后在室内人工杂交。室内人工杂交可避免在野外大树上杂交操作上的一些困难,解决亲本双方花期和产地不一致的问题,便于杂交及播种整个过程的操作和环境条件的控制。室内人工杂交报道的方法主要有切枝水培法、切枝水培后土培法、花枝嫁接法等,其中,切枝水培杂交是目前获得杨树新品种重要而有效的育种途径之一,也是国内外室内杂交普遍采用的方法^[3-4];但雌花枝在切枝水培中,切枝基部都出现微生物侵染和分泌过多粘液的现象,易造成根部腐烂和缺氧,影响根系形成,从而影响水分和部分养分的吸收及运输,阻碍花的发育和种子成熟;而且在水培杂交中,必须花费大量的人力和时间,经常对切枝基部进行粘液洗清和修剪,还要给花枝打氧和换水等;同时花的发育和种子成熟所需的营养几乎完全依赖于花枝中储藏的营养,必须疏去花枝上更多的果穗,才能使少量种子得以发育。有些亲本,尤其是以速生著称的美洲黑杨(*Populus deltoides* Bartr.)等,本身就生根晚,种子成熟时间长,在水培杂交中存在果穗易脱落,即使得到了种子,量小且不成熟,育种效率很低。为解决切枝水培杂交中出现的问题,也报道了一些解决办法,切枝水培后土培法是在水培出现不定根后加入营养土,可减少水培的修剪、打氧和换水等工作,同时花枝从土壤中补充养分有利于胚的发育,但操作中易伤害须根,在水培向土培转换过程中也易对受精后胚和种子发育过程产生影响,尤其对生根晚和难生根的树种的应用受到限制^[5]。嫁接方法是先繁育好砧木,把雌花枝通过靠接等嫁接到砧木上,花枝可逐渐利用砧木的根系从土壤中获得更多营养,来解决生根晚、种子成熟时间长的美洲黑杨类人工杂交不易成功等问题,但整个过程相对复杂,胚和种子发育过程可能会受到嫁接效果的直接影响,而且只能保留非常少的果穗,因为花枝在嫁接初期需要利用水培条件获得水分和部分营养,还不能很好利用砧木的根系^[6]。

本研究以美洲黑杨为母本与乡土的青杨派树

种及美洲黑杨种内杂交种进行杂交。首先通过对雌花枝土培加温处理,打破花枝基部休眠状态,促使花枝生根,因为美洲黑杨硬枝生根效果主要受基因型和环境条件的双重影响,理想的外界条件有利于根生长^[7];同时利用低温环境控制花芽发育,芽在低温的条件下仍保持休眠的状态^[8],待花枝生根后再转入温室,花芽和根都能正常生长,再进行常规的人工杂交,获得了非常好的效果,是在室内人工杂交育种技术上取得的一项突破性进展。

1 材料和方法

1.1 实验材料与杂交组合

1.1.1 实验材料 2007年3月从辽宁和黑龙江等地采集了美洲黑杨种内杂交种和青杨派树种的花枝(直径 (2.0 ± 0.5) cm),名称和亲本类型如下:

辽宁杨(*Populus deltoides* Bartr. cl. 'Lux' × *P. deltoides* Bartr. 'Shanhaiguan') ♀、简写为L;辽育3(辽宁杨 × 美洲黑杨 D189 (*P. deltoides* Bartr. 'D189')) ♀、简写为LD189;9216杨(*P. deltoides* Bartr. cl. 'Lux' × *P. deltoides* Bartr. 'Shanhaiguan',与辽宁杨组合的亲本来自不同的地方、杂交年份也不同) ♂、简写为9216;甜杨(*P. suaveolens* Fish) ♂、简写为Ps;青杨(*P. cathayana* Rehd) ♂、简写为Pc。将采集的这5种杨树的花枝修剪成长度为70~90 cm,下端直径为1.5~2.5 cm带分枝的插条,植于花盆中。

1.1.2 杂交组合 以美洲黑杨种内杂交种辽宁杨、辽育3为母本,以青杨派树种甜杨、青杨和美洲黑杨种内杂交种9216为父本,搭配成6个组合:为辽宁杨 × 青杨(L × Pc)、辽宁杨 × 甜杨(L × Ps)、辽宁杨 × 9216(L × 9216);辽育3 × 青杨(LD189 × Pc)、辽育3 × 甜杨(LD189 × Ps)、辽育3 × 9216(LD189 × 9216)。另外,在2008年实验中又进行了美洲黑杨种内杂交种丹红杨(*P. deltoides* Bartr. cl. 'Y-50' × *P. deltoides* Bartr. cl. 'I-36')、欧美杨107(*P. × euramericana* cv. 'Neva')、白杨派杂交种银新杨(*P. alba* × *P. alba* var. *pyramidalis*)、山杨(*P. davidiana*)等与小青杨(*P. pseudo-simonii*)或新疆杨(*P. alba* var. *pyramidalis*)等的杂交。

1.2 试验条件和方法

实验首先在低温控制室进行,采用制冷设备控制的室温为 (3.0 ± 0.5) °C。实验用4个水槽,每个

水槽(4 m×1 m×0.11 m)上盖有保温板,保温板纵向按一定间隔(约50 cm)开了和花盆直径相当的10个口,双排排列,横向开口间距20 cm。花枝经修剪后栽植于花盆土壤中,花盆直径20 cm,高18 cm,用塑料布将花盆外部隔水,分别通过保温板开口坐到设置不同温度的水槽中,花盆下部浸在水中,每个水槽10盆花枝,水槽可根据实验或应用的规模等自主设计,分体式水槽便于实验和花枝的放置,避免取出时伤及花枝须根(图1);加热系统用加热棒水浴恒温加热,水槽的持水量和温度及花枝根部温度都由作者设计的控制系统进行控制和观测。水浴加热温度设定为16、20、24℃。经观测,花枝根部区土壤温度比水浴温度分别低2℃,主要是因为控制室的低温由花盆表土向下传导所致,因此,根部处理实际温度分别为14、18、22℃。参试的花枝数量是一致的,放到水槽后花盆要浇透水,处理过程中特别干时也要补充点水分,但快要取出时最好花盆内不要太湿以免搬动时伤根,不处理的水培杂交效果作对照(CK)。

花枝在低温室经25 d的加热生根处理后,放到日光温室培养,实验环境条件可借计算机辅助控制,室内外温度、光照、湿度等数据可通过计算机自动记录,温度还可以借助温室外部的遮阳系统和内部的湿帘风机系统进行调节,主要是在温室温度过高时进行降温。

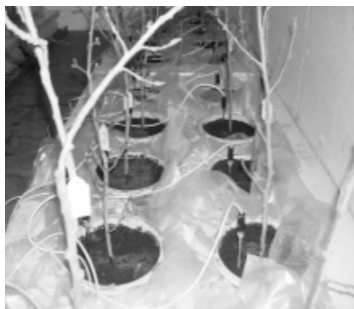


图1 分体式可控水浴恒温水槽

1.3 杂交与播种育苗

1.3.1 花粉采集与授粉 雄花枝提前3 d左右在温室水培条件下与雌花枝分室进行培养,待花药开裂时,用毛笔收集花粉,清除杂物后,在干燥器经1 d左右的干燥后,保存于4℃冰箱备用。

当雌花枝的柱头有发亮透明的粘液分泌时,按组合进行授粉,授粉时用毛笔轻弹花粉于柱头上,为获得好的受精质量,可根据雌花开放的先后,选择温度和光照适合的时机进行授粉。

1.3.2 种子收集与播种育苗 在蒴果变黄或有裂嘴果粒时,用有透明窗的羊皮纸袋将果穗套上,待蒴果开始飞絮后,收集种子。播种容器采用72孔或128孔规格的穴盘,播种土壤用高温灭菌的腐质土,1穴1粒种子,不用覆土,保持土壤湿润,待小苗长出3片真叶后移到室外,注意给幼苗补充水分,5~8片真叶后移入大田。

1.4 数据处理

用DPS10.15进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 花枝盆栽加温处理对生根的影响

在收集完种子后,用水将花盆土润开,冲去根部土壤,对生根情况进行调查,根系生长情况见表1。

表1 不同加温处理的杨树花枝根系生长情况

处理温度/℃	组合	须根平均长度/cm	须根数/根 (>5 cm)	须根质量/g	须根与根质量比
14	LD189×Ps	15.0	8.0	1.2	0.14
	LD189×Pc	6.0	3.0	0.8	0.01
	LD189×9216	0.0	0.0	0.0	0.00
	L×Pc	0.0	0.0	0.0	0.00
	L×Ps	0.0	0.0	0.0	0.00
	平均	4.2	2.2	0.4	0.03
18	LD189×Ps	18.0	9.0	5.0	0.17
	LD189×Pc	9.0	15.0	1.6	0.02
	LD189×9216	8.0	10.0	1.8	0.15
	L×Pc	5.0	5.0	1.0	0.01
	L×Ps	12.0	21.0	4.0	0.10
	平均	10.4	12.0	2.7	0.09
22	LD189×Ps	33.0	37.0	14.6	0.31
	LD189×Pc	32.0	24.0	15.0	0.23
	LD189×9216	29.0	23.0	19.0	0.24
	L×Pc	33.0	18.0	20.0	0.41
	L×Ps	31.0	26.0	15.8	0.25
	平均	31.6	25.6	16.9	0.29

注:组合辽杨×9216(L×9216)因不同处理下都不生根,故没参加数据统计。

表1表明:22℃的加温处理促进花枝生根的效果最好,花枝平均须根数量达到25.6条,须根平均长31.6 cm,须根约占根质量的1/3,18℃的加温处理多数有了须根,但个体差异明显,而14℃处理的根系非常弱。从表2可以看出:不同温度处理花枝的须根平均长度、须根数和质量的差异均极显著。结合表3的多重比较看出:22℃的加温处理与其它

2个温度处理的差异极显著,而18℃与14℃处理的差异不显著。

表2 不同温度处理花枝的生根参数的方差分析

变因	df	须根平均长度		须根数(>5 cm)		须根质量	
		MS	P	MS	P	MS	P
温度	2	1 032.2	0.000 0	690.5	0.000 1	398.7	0.000 0
重复	12	23.4		33.2		3.1	

表3 不同温度处理花枝的生根参数及多重比较

温度/℃	须根平均长度/cm	须根数(>5 cm)/根	须根质量/g
22	31.6A	25.6A	16.9A
18	10.2B	12.0B	2.7B
14	4.2B	2.2B	0.4B

注:同列数后字母不同表示差异极显著,字母相同表示差异不显著。

2.2 花枝盆栽加温处理对人工杂交效果的影响

通过实验发现:14℃处理的花枝因缺乏营养,花开的弱或早落,10株中只有3株授上粉,2株共剩下4个蒴果,没有达到生根所需温度,且个体的差异非常明显;18℃条件下10株中的6株杂交后得到蒴果,尤其是辽育3号杨的杂交组合都可以产种,接近生根温度的下限,辽宁杨只有1个花枝得到种子;



图2 22℃处理的美洲黑杨花枝

22℃处理的美洲黑杨花枝的发育过程和结实过程都表现正常,接近于生根的理想温度(图2)。对照在水培的条件下都可以授粉,蒴果发育一段时间后,绝大多数果穗基部变色坏死,没有维持到种子成熟,果穗就脱落了,9株中只有1株得到2个可以播种的果穗(表4)。

表4 杨树花枝盆栽加温处理对人工杂交效果的影响

处理温度/℃	组合	成活数/株	受粉数/株	产种株数/株	蒴果数量/个	花枝表现
14	LD189 × Ps	2	1	1	3	花弱
	LD189 × Pc	2	1	1	1	花弱
	L × Ps	2	1	0	0	花落
	L × Pc	2	0	0	0	花落
	LD189 × 9216	2	0	0	0	花落
	小计	10	3	2	4	
18	LD189 × Ps	2	2	2	9	正常
	LD189 × Pc	2	2	2	12	正常
	LD189 × 9216	2	1	1	2	正常
	L × Ps	2	1	1	3	花弱
	L × Pc	2	0	0	0	花落
	小计	10	6	6	26	
22	LD189 × Ps	2	2	2	17	正常
	LD189 × Pc	2	2	2	10	正常
	LD189 × 9216	2	2	2	5	正常
	L × Pc	2	2	2	4	正常
	L × Ps	2	2	2	6	正常
	小计	10	10	10	42	
0(CK)	LD189 × Ps	3	3	1	2	无根
	L × Ps	3	3	0	0	无根
	LD189 × 9216	3	3	0	0	无根

对所有产种子的花枝结实情况进行了调查,结果(表5)表明:生根效果是影响杂交效果的关键,22℃的生根效果最好,得到的果穗数量、每个果粒中的种子数量和种子总数最多。种子大小与组合关系最

表5 盆栽花枝加温处理人工杂交结实情况

处理温度/℃	杂交组合	花枝平均直径/cm	花枝平均花序数/个	果序平均果粒数/粒	种子总数/粒	果平均种子数/粒	种子长×宽/(mm×mm)
14	LD189 × Ps	2.9	1.5	20	960	16	2.8 × 1.1
	LD189 × Pc	1.9	0.5	18	33	2	2.0 × 0.9
	小计	2.4	1.0	19	993	9	
18	LD189 × Ps	2.8	4.5	21	3 024	16	2.3 × 0.9
	LD189 × Pc	2.3	6.0	25	5 100	17	2.1 × 0.9
	LD189 × 9216	1.8	1.0	17	476	14	2.9 × 1.2
	L × Ps	3.9	1.5	22	990	15	2.1 × 0.9
	小计	2.7	3.3	21	9 590	16	
	22	LD189 × Ps	1.6	8.5	20	5 100	15
LD189 × Pc	2.1	5.0	26	5 200	20	2.1 × 0.9	
LD189 × 9216	1.7	2.5	21	1 785	17	2.5 × 1.2	
L × Pc	1.6	2.0	19	2 204	29	3.0 × 1.0	
L × Ps	1.9	3.0	22	2 640	20	2.1 × 1.0	
小计	1.8	4.0	22	16 929	20		
CK	LD189 × Ps	3.0	0.6	10	115	6	1.9 × 0.8

大,美洲黑杨种内杂交种的种子较大,与青杨派杂交种的种子较小,同时受花枝上果穗多少的影响,方差分析和多重比较见表6、7。

从表5发现:22℃处理杂交效果最好,每个果序的果粒数平均达到22个,每个花枝平均获得3386粒种子,平均每个果粒有20个种子,而18、14℃处理每个果序的果粒数平均分别是21、19个,每个花枝平均获得种子分别是1918、199个,平均每个果有16、16粒种子。在水培的9个花枝中,效果最好的辽育3×甜杨组合才只保留下2个果穗,获得115粒种子,每个果穗不足10个果粒,每个果粒中6粒种子,与切枝水培杂交相比,土培加温处理杂交使育种效率成百倍增加。

表6 不同温度处理花枝杂交效果的方差分析

变因	df	果序平均果粒数		种子总数		果平均种子数	
		MS	P	MS	P	MS	P
温度	2	254.6	0.061	12 724	181.0	0.023	8 344.9
重复	12	71.5		24 53	195.3		42.3

表7 不同温度处理花枝杂交效果的多重比较

温度/℃	果序平均果粒数/粒	种子总数/粒	果平均种子数/粒
22	21.6A	3 385.8A	20.2A
18	17.0A	1 918.0AB	12.4AB
14	7.6A	198.6B	3.6B

注:同列数据后字母不同表示差异极显著,字母相同表示差异不显著。

从表6看出:不同温度处理间每个果穗的果粒数差异不显著,平均每个花枝获得的种子数量差异显著($0.01 \leq P < 0.05$),每个果粒中种子的数量达到极显著。表7表明:22、14℃处理间每个花枝获得的平均种子数和每个果粒中的种子数达到极显著水平。

2.3 其它杂交组合表现

在2007年实验的基础上,2008年又进行了其它组合的生根花枝杂交实验,其结果见表8。

从表8可以看出:在南方型美洲黑杨丹红杨与青杨派的杂交中,花枝处理的温度26℃(生根部位24℃)与23℃(生根部位21℃)相比,获得更多的种子和实生苗;白杨派的杂交种银新杨与新疆杨杂交获得大量种子和实生苗,但难生根白杨派树种山杨没有生根,杂交因此也没有成功。

土培加温处理花枝的组合与水培花枝的杂交组合相比,获得的种子和实生苗的比例将近30:1(辽育3×小青组合),说明生根后的花枝杂交效果更好,

表8 其它杂交组合土培加温处理花枝杂交及水培花枝杂交效果比较

组合	处理温度	获得种子	获得苗数	出苗率
	/℃	数/粒	/个	/%
丹红×小青	26	1 110	602	54.2
丹红×小青	23	418	118	28.2
丹红×小青	20	620	198	31.9
丹红×甜杨	26	256	58	22.7
丹红×甜杨	23	201	50	24.9
丹红×甜杨	20	385	158	41.0
辽育3×新疆杨	23	3 090	2 380	77.0
银新杨×新疆杨	23	1 800	1 100	61.1
107杨×小青	23	235	183	77.8
小青×辽宁杨	20	40	10	25.0
辽育3×小青	26	3 580	2 303	64.3
辽育3×小青	水培	128	72	56.3
辽宁杨×小青	23	579	447	77.2
辽宁杨×小青	水培	124	48	38.7
山杨×新疆杨	23	0	0	0.0

但部分组合受亲本的影响更大,易生根的107杨和小青杨为母本的组合处理花枝杂交获得的种子较少。

3 结论与讨论

(1)盆栽加温处理的花枝可以打破其基部休眠,从而促进花枝生根,但不同的个体有一定差异,美洲黑杨在22℃处理25天后,杂交效果理想,花枝可以从土壤中吸收足够营养,满足花芽正常发育和美洲黑杨类需要较长时间的种子成熟期,而对其它一些杨树进行实验发现,南方型美洲黑杨处理的温度可以提高到24℃左右,欧美杨也有相似的实验结果;青杨派树种的花枝在水培条件下生根快,果实成熟期相对较短,花枝的营养基本可以满足杂交的需要。另外也做过1年条扦插生根实验,其结果相似,相同或相似实验亲本的穗材放入玻璃杯水培,在25℃人工气候培养箱条件下,美洲黑杨类穗材芽萌动一般需要8~9天,展叶13天左右;根原基出现也是13天左右,而乡土的青杨派树种芽萌动只需4~5天,展叶10天左右,根原基出现6~7天,而且很快长成须根,叶生长和根生长几乎同步。美洲黑杨类须根出现却慢得多,多数是形成愈伤组织再从中分出根来;欧美杨和美洲黑杨与青杨派杂交种芽萌动、展叶和不定根形成的时间居于美洲黑杨与青杨派树种之间。因此,在确定亲本促进生根温度和时间上可用亲本穗材生根实验做参考,同时考虑成

熟(年龄)效应和位置效应对生根的影响,适当增加处理的时间。

从上述的结果看,在花盆浇完水后,花枝吸水达到代谢基本需求后,花枝的生理活动和物候表现为其休眠对温度敏感型^[9],即温度对调节亲本生根和芽的休眠控制显得更直接,是杨树生物钟影响的一个重要因子,一些树种或杂交种的相关基因已找到^[10],其相关的 RNA 和蛋白开始表达所需时间很短,从上述的实验数据判断,生根所需的细胞生长与温度的关系更紧密。总之,生根后的花枝进行室内人工杂交可以获得大量种子,增加了子代的选择性,使育种效率提高,更有希望选育出理想品种,该技术不仅适用于水培人工杂交有一定困难的母本美洲黑杨,也适合生根相对容易的黑杨派、青杨派和部分白杨派的树种及其杂交种,而一些硬枝扦插极难生根的树种简单靠温度调节诱导花枝生根没有成功,其机理需要进一步的研究。

(2)水培花枝根部容易腐烂,一般需要经常换水和修剪根部,每天要给花枝打氧2次,落果还要采取其它挽救措施等,而土培生根的花枝只是在需要时给花盆浇点水;同时,成熟种子通过穴盘点播获得的苗也更易管理,大大节省了人力和时间。另外,水培花枝需要有足够的粗度(>3 cm)才能保证花和种子发育所需要的营养,而且每个花枝只能保留2~3个果穗;盆栽生根的花枝粗度一般在1.5~2.5 cm,保留5~8个果穗都能获得饱满的种子,因此在土培加温生根人工杂交育种中可以采到更多花枝材料,保留更多果穗,却影响亲本母树很小。

(3)从实验中发现2个现象:1.6 cm的花枝保留13个果穗都得到正常的种子,但其种子比花枝果穗少的得到的种子小,而水培花枝蒴果中的种子数量相对较少,在其它果实中也有因环境条件的胁迫或营养不良而变小,而且在拟南芥中发现了调节种子大小的基因 *Miniseed3* (*mini3*),并与种子成熟和休眠的基因有关^[11],环境胁迫下激素类信号传导和物质代谢显示出植物的自身调节功能,这可能有助于了解木本植物胚发育和种子调控的机制,生根的花枝为研究杨树的生殖发育过程及相关的研究等提

供了更方便的实验材料。另一个是,22℃加温处理的花枝在温室都没有溃疡病的侵染,而其它两个处理的花枝都有,尤其是生根弱的花枝更重,除显示溃疡病的弱寄生菌特性外,也是花枝活力或生根强弱的指示物,可以更好的理解植物和微生物的关系。当然,从人工杂交育种技术方面考虑,通过对花芽和生根温度的分别控制能很好地解决亲本远地域和花期不遇等问题,可扩大常规杂交方法利用亲本的范围。

参考文献:

- [1] Schweitzer J A, Martinsen G D, Whitman T G. Cottonwood hybrids gain fitness traits of both parents: a mechanism for their long-term persistence? [J]. *American Journal of Botany*, 2002, 89(6): 981-990
- [2] 苏晓华,张绮纹.世界杨树杂交育种亲本利用的进展及对策[J].*世界林业研究*,1992,5(2):29-35
- [3] 王世绩.杨树研究进展[M].北京:中国林业出版社,1995
- [4] 李善文,张志毅,何承忠,等.中国杨树杂交育种研究进展[J].*世界林业研究*,2004,17(2):37-41
- [5] 李新国.土培法杨树室内杂交中切枝离体培养的新方法[J].*湖北民族学院学报:自然科学版*,1989,9(2):78-80
- [6] 赵志成,苏雪辉,魏万生.杨树花枝嫁接杂交技术初报[J].*河南林业科技*,2003,23(4):4-11
- [7] Zalesny R S, Riemenschneider D E, Hall R B. Early rooting of dormancy hardwood cuttings of *Populus*: analysis of quantitative genetics and genotype × environment interactions[J]. *Can J For Res*, 2005, 35: 918-929
- [8] Arora R, Rowland L J, Tanino K. Induction and release of bud dormancy in wood perennials: a science comes of age[J]. *HortScience*, 2003, 38(5): 911-921
- [9] Kalcits L, Kendall E, Silim S, et al. Magnetic resonance microimaging indicates water diffusion correlates with dormancy induction in cultured hybrid poplar (*Populus* spp.) buds[J]. *Tree Physiology*, 2009, 29: 1269-1277
- [10] Ibáñez C, Kozarewa I, Johansson M, et al. Circadian clock components regulate entry and affect exit of seasonal dormancy as well as winter hardiness in *Populus* trees [J]. *Plant Physiology* August, 2010, 153:1823-1833
- [11] Luo M, Dennis E S, Berger F, et al. *Miniseed3* (*mini3*), a WRKY family gene, and *HAIKU2* (*IKU2*), a leucine-rich repeat (LRR) kinase gene, are regulators of seed size in *Arabidopsis* [J]. *PNAS*, 2005, 102(48): 17531-17536