

关于杨树遗传育种中的若干问题*

张廷桢

摘要 根据国内外杨树育种实践,讨论了杨树遗传育种的一些理论问题:①杨树的育种目标和杂交遗传变异平行性;②从遗传角度分析了交互轮回选择法是一种科学的杨树育种程序;③回交能克服杨树杂种不育和后代夭亡。

关键词 杨树、杂交遗传变异平行性、交互轮回选择、回交

杨树是中纬度地区最速生的树种之一,在解决世界木材短缺中起着重要的作用^[1,2]。如意大利有杨树人工林 15 万 hm²,仅占全国森林面积的 2.5%,却能为全国提供木材产量的 50%^[3,4]。杨树发育周期短,一般 6~10 a 达到成熟,开始开花结果。杂种更早,如山杨与毛白杨杂种,3 年生即可开花^[5]。杨属树种相互容易杂交,杂种一代相对都能结实,杂交效应表现得早,程度也比慢生树种大,而且又具有无性繁殖能力,能在切下和嫁接的花枝上杂交。这就使杨树成为一种特别适合遗传和育种学研究的材料^[1]。1914 年英国的 Henry^[6,7]第一个发表了杨树杂种。从 1916 年起北美洲、欧洲、亚洲也开展了杨树育种。中国杨树育种于 40~50 年代由叶培忠、徐纬英和邱明光等^[8~10]开始,截止目前,仍从事人员多,工作面广,但关于杨树的遗传学研究不多。本文根据笔者 20 多年对杨树的研究及有关文献,讨论以下有关杨树遗传和育种的几个问题。

1 杨树的育种目标与杂交遗传变异平行性

1.1 杨树的育种目标

杨木用途多样,可作建筑用材、胶合板、纤维板、纸浆原料。杨树种类繁多,约 110 种。分布地域广,主要在 30°~50° N^[1]。杨树有各种各样的育种目标,概括起来,有如下几种。

1.1.1 速生性育种 目标是培育在短期内能生长较多木材的品种。意大利在这方面处于世界领先地位。其代表品种是以美洲黑杨(*Populus deltoides* Bartr.)为母本,以欧亚黑杨(*P. nigra* L.)为父本的欧美黑杨杂种(*P. × euramericana* (Dode) Guineir),如意大利 214(*P. 'I-214'*)、意大利 74(*P. 'I-74'*)和德国培育的沙兰杨(*P. 'Sacrau-79'*)。南京林业大学、中国林科院也开展着这方面的研究^[11,12]。

1.1.2 抗虫育种 目标是通过育种途径控制严重蔓延的虫害。中国林科院在这方面作了许多工作。如以 69 杨(*P. deltoides* Bartr. 'Lux' (I-69-55))为母本,以 63 杨(*P. deltoides*

1995—05—05 收稿。

张廷桢副教授(西北林学院 陕西杨陵 712100)。

* 本文为 1995 年 8 月西雅图国际杨树研讨会交流论文“Several problems concerning poplar heredity and breeding”的一部分。

Bartr. 'Harvard' (I-63-51))、欧亚黑杨和晚花杨(*P. × euramericana* (Dode) Guineir 'Robusta')父本,培育抗云斑天牛品种^[13]。

1.1.3 抗病育种 培育抵抗流行性病害的杨树品种。如1928年意大利培育的抗杨树黑星病(*Venturia populina* (Vuill.) Fabric.)品种意大利214^[14]。中国林科院用白杨派杂种与多父本混合授粉杂交,培育抗叶锈病和叶斑病的新品种。用小叶杨(*P. simonii* Carr.)和美杨(*P. nigra* L. var. *italica* (Moench.) Koehne)的天然杂种选育抗杨树真菌性溃疡病(*Dothirella gregaria* Sacc.)新品种^[13]。FAO就黑杨派与青杨派的抗病育种作了详尽评述^[14]。Mohrdiek^[15]就本属的其它派,特别是白杨派的抗病育种战略作了评述,请读者参考。

1.1.4 抗寒育种 培育抗寒害和冻害的杨树新品种。中国林科院以小叶杨为母本、欧亚黑杨为父本,培育的小黑杨杂种(*P. 'Xiaohei'*)具有这种特性^[16]。考虑以北方型美洲黑杨为亲本作种内杂交或与青杨派树种杂交来进行这一目标的育种。

1.1.5 抗旱育种 培育抗干旱的杨树品种。据笔者现场考察,美国用美洲黑杨与毛果杨(*P. trichocarpa* Torr. et Groy)、马氏杨(*P. maximowiczii* A. Henry)培育的品种在俄勒冈 Boise Cascade 沙地生长郁郁葱葱,无一般沙区植物的枯衰干瘪现象。这个地区年降雨量不到200 mm,午间平均相对湿度50%。中国林科院以钻天杨(美杨, *P. nigra* L. var. *italica* (Moench.) Koehne)为母本,以青杨(*P. cathayana* Rehd.)为父本培育的北京杨(*P. 'Beijingensis'*)也符合这一目标^[17]。

1.1.6 生根育种 白杨派,特别是它的山杨组,难以生根,可将培育易生根品种作为育种目标。用较易生根的银白杨(*P. alba* L.)、新疆杨(*P. alba* L. var. *bolleana* (Lauche)[Otto])与欧洲山杨(*P. tremula* L.)、中国山杨(*P. davidiana* Dode)以及它的天然杂种毛白杨(*P. × tomentosa* Carr.)杂交或回交。叶培忠培育的银毛杨属这一育种范畴。

此外,还有以解决纸浆用材为目的的杨树短轮伐期育种。

1.2 杂交遗传变异平行性

确定育种目标后,正确选配亲本是杂交育种成功与否的关键。许多文献都介绍了亲本选配的一般原则及经验^[18,19],可作参考。笔者认为,还要考虑杂交遗传变异平行性。所谓杂交遗传变异平行性是指一个好的杂交组合往往能产生许多优良杂种,而且与双亲亲缘关系近或平行、性状相似的种、变种杂交也能产生优良杂种。现在分3种情况分析。

(1)一个优良杂交组合,即使亲本植株不同,往往能培育出许多优良杂种。如苦杨(*P. laurifolia* Ledeb.)和欧亚黑杨杂交培育出了富来杨(*P. 'Frye'*)、罗姆杨(*P. 'Rumford'*)、科伦284号杨(*P. 'Strathglass'*)和科伦279号杨(*P. 'Rasumowskiana'*)这些早期国际上颇有声望的杂种^[20]。马氏杨和柏林杨(*P. × berlinensis* Dipp.)杂交培育出了日内瓦杨(*P. 'Geneva'*)、牛津杨(*P. 'Oxford'*)、194号杨(*P. 'Hyrida 194'*)和277号杨(*P. 'Hyrida 277'*)这些著名良种^[7,20]。又如18世纪50年代在法国出现了速生的欧亚黑杨和美洲黑杨杂种晚花杨(*P. 'Serotina'*),19~20世纪西欧各国选育出了许多欧美杨,著名栽培品种(*P. 'I-214'*)就是其中之一^[19,20]。德国于20世纪30年代通过这两个种的杂交培育出了沙兰杨^[21]。意大利于60~70年代人工培育出了(*P. 'I-74'*)、荷兰森林及城市生态研究所培育出了(*P. 'N-3016'*)、美国东北试验站培育出了(*P. 'NE-222'*)等^[22]。

(2)一个杂交组合能产生优良杂种,则用该组合的一个亲本与另一个亲本亲缘关系近,性

状相似的种、变种杂交,也能产生优良杂种,如欧洲山杨与银白杨杂交产生了速生的银灰杨(*P. × canescens* (Ait.) Smith.),遍布欧洲中部和东部^[7]。中国山杨和银白杨杂交产生了速生的杂种毛白杨^[10,23],在中国分布范围 100 万 km²^[24]。山杨组的另一个种腺杨(*P. glandulosa* Dode)与银白杨杂交产生了著名的腺银杨(*P. glandulosa* Dode × *P. alba* L.),1973 年在韩国栽培面积超过 1 万 hm²^[7]。银白杨和山杨组的另一个种响叶杨(*P. adenopoda* Maxim.)杂交也产生了一系列优良杂种^[25]。再如,分布于美国、加拿大的毛果杨、香脂杨(*P. balsamifera* Duroi non L.)和中国的小叶杨、青杨、马氏杨同属于青杨派树种,生长较好。美洲黑杨与香脂杨杂交产生了极好的杂种(*P. deltoides* Bartr. × *P. balsamifera* Duroi non L.)^[26],美洲黑杨与小叶杨、青杨、毛果杨杂交也产生了优良杂种南林杨(*P. 'NL-80-105'*、*P. 'NL-80-106'*、*P. 'NL-80-121'*)等^[27]和陕林 4 号杨(*P. 'Shanling-4'*)^[28]及许多美国杂种。

(3)一个杂交组合能产生优良杂种,与两亲本亲缘关系相近或平行、性状相似的种和变种杂交,也能产生优良杂种。如前面列举了美洲黑杨与欧亚黑杨杂交产生了一系列优良杂种欧美黑杨。与该两亲本亲缘关系平行的美洲山杨(*P. tremuloides* Michx.)和欧洲山杨杂交,也产生了许多优良的欧美山杨杂种,年平均生长量是欧洲山杨三倍体的两倍^[6]。美国明尼苏达大学正在利用欧美黑杨杂种的交互轮回选择法开展欧美山杨杂交育种。同样,分布于亚洲的青杨派重要树种马氏杨与分布于北美洲的青杨派优良树种毛果杨杂交,产生了优良杂种报春杨(*P. 'Audroscoggin'*)和 275 号杨(*P. 'Hybrida 275'*)^[7,20]。又如,美洲黑杨与香脂杨杂交产生了优良的杂种,小叶杨与欧亚黑杨杂交也产生了许多优良杂种小黑杨(*P. 'Xiaohei'*),在中国推广面积 100 万 hm²^[16]。马氏杨与帕兰特米欧亚黑杨(*P. nigra* L. 'Plantierensis')杂交同样产生了优良杂种罗彻斯特杨(*P. 'Rochester'*)等^[7,20]。美洲黑杨与欧亚黑杨、帕兰特米欧亚黑杨、香脂杨与小叶杨、马氏杨在遗传上分别属平行关系,其速生等性状分别相似。

因此,在确定杂交组合、选配亲本时,搜集信息,分析已有的杂交组合和有关分类和遗传资料是大有好处的。

2 杨树交互轮回选择法及其遗传分析

2.1 杨树育种战略的沿革

从本世纪初 Henry 开始杨树杂交,经历了很长时间,许多国家,包括中国在内,杨树的育种是在天然林或人工林中通过直觉的表型选择亲本,进行杂交,作不同树种的亲合力研究和选育新品种。这比天然杂交的自由交配、自然选择,形成新种、新杂种有很大进步。但表型毕竟表面,不能完全表现深刻的遗传内涵。随着优树选择、种源选择和借鉴于玉米而于 50 年代在森林树种开始通过子代测定对配合力的评定^[29],杨树育种的亲本由直接表型选择逐步过渡到以自然植株的遗传分析为依据,选择自然界配合力高的单株或投入生产的一般良种^[30]。这是又一次进步。但亲本选择实质上仍停留在依赖自然阶段,而且并非所有优良品种都是优良亲本。例如,在农作物中,创造世界小麦单产纪录的美国小麦品种 Gaines 曾在成千上万个杂交组合中充当亲本,但没有一个获得成功^[31]。80~90 年代兴起的交互轮回选择程序,使杨树育种进入人工创造和鉴定亲本的崭新阶段^[19,32]。这种方法还是借鉴于玉米育种,首先由意大利杨树栽培研究所应用于美洲黑杨和欧洲黑杨的欧美黑杨育种,继之由美国明尼苏达大学应用于美洲山杨和欧洲山杨的欧美山杨育种。这是迄今杨树最科学的育种程序。

2.2 交互轮回选择法的中心思想

作为交互轮回选择的中心思想是根据产生优良子代的能力来选择亲本。杂交亲本从原始群体中认真选择,雌雄株分别为 150 株,经一般配合力测定从中选择种间杂交用亲本雌雄株。由于欧亚黑杨作母本种间杂交不孕,对两个种的每株雌株授以欧亚黑杨混合花粉,通过多系杂交作配合力测定。两个种的每株雄株与由 6 个美洲黑杨雌株组成的公共测交系杂交,作配合力测定。测定后两个种各选雌雄株 40 株作种间杂交,经无性系测定提供商品苗。并用两个亲本的 40 株雌雄株作种内杂交,各个种再选雌雄株 150 株,作第二轮轮回选择,周而复始。由于欧亚黑杨作母本,美洲黑杨作父本无亲合力,种间杂交只用美洲黑杨作母本。所以欧美黑杨的这种育种法被称为半交互轮回选择法¹⁾。其图式如下:

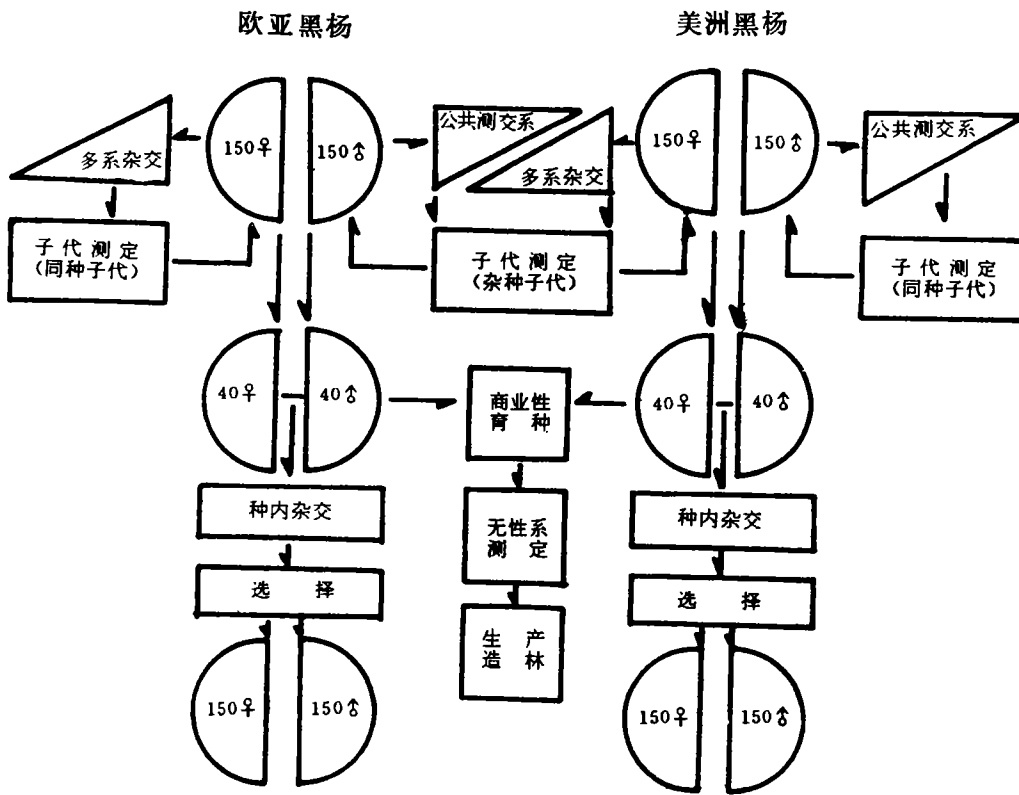


图1 意大利杨树育种战略——欧亚黑杨和美洲黑杨培育优良杂种的半交互轮回选择法

欧美山杨杂种的育种程序与欧美黑杨杂种的相同,只不过美洲山杨与欧洲山杨可相互作父母本,进行正反交,属完全交互轮回选择罢了。

2.3 交互轮回选择法的好处

从遗传角度分析,交互轮回选择法有如下好处:

- (1) 利用基因分离和重组原理,通过种内和种间优良个体杂交和选择手段,将分别存在于

¹⁾Bisoffi St. The development of breeding strategy for poplars. Paper of 35th executive committee for FAO/IPC. Buenos Aires,1990,1~21.

群体内不同个体、不同位点的有利基因聚集起来,提高优良基因型的出现频率,增加选择优良个体的机会。

(2)利用多次杂交,可打破不利连锁,提高基因重组率,增加遗传变异性,有利于理想个体的出现和选择,并可用无性繁殖加以固定。

(3)亲本经过配合力测定,杂种经过无性系测定,使育种程序建立在可靠的遗传基础上。

(4)交互轮回选择,由种内杂交创造亲本,通过种间杂交,为当前培育新品种;同时用同样的群体作种内杂交,重组基因,保存遗传基础广阔的基因库,为下一代培育优良品种创造条件,是一种将长短目标相结合的育种程序。

交互轮回选择是一种长期战略,周而复始,新品种层出不穷。相比之下从自然界不论通过何种途径直接选择亲本是一种短期行为。遗憾的是,我国杨树育种目前尚处于这一阶段。我国应由林业主管部门牵头,以交互轮回选择法为依据,在南方建立以速生性育种为目标的欧美黑杨育种中心;在北方建立白杨派育种中心;在西北建立抗旱为目标的北方型美洲黑杨、欧亚黑杨与青杨育种中心。

3 回交在杨树遗传育种中的作用

3.1 鉴定杂种遗传组成

回交是鉴定杂种遗传组成的重要方法^[33]。用中国山杨与毛白杨回交产生了具中国山杨花苞片的植株和具毛白杨花苞片的植株。用银白杨与毛白杨回交和用毛白杨与银白杨的变种新疆杨回交产生了具银白杨花苞片的植株和具毛白杨花苞片的植株。其比例接近1:1。这说明毛白杨是银白杨和中国山杨的天然杂种^[10,20,34]。通过回交构建回交一代杨树群体,利用分子标记确定其遗传组成,进行数量性状位点(QTLs)定位和绘制连锁遗传图,预示着林木遗传育种研究将产生深刻的变革^[35]。

3.2 克服杂种不育

回交法对克服种间杂种不孕具有一定效果^[31]。天然杂种毛白杨雌配子和雄配子往往不育,但不是绝对的。叶培忠用毛白杨给银白杨授粉,获得了种子,培育出银毛1号、银毛2号和银毛3号无性系^[20]。邱明光^[10]用毛白杨给中国山杨授粉,获得了种子,培育出山毛21号、山毛30号、山毛39号和山毛45号无性系。笔者用腺银杨给银白杨授粉也获得了种子,培育出的杂种表现出亲银白杨的特点。种及其变种、品种的性状受等位基因或复等位基因控制^[36]。回交亲本既可用原亲本之一,也可用原亲本种内的不同变种、品种^[31]。徐纬英用银白杨的变种新疆杨给毛白杨授粉,获得了种子,培育出许多毛新杨无性系^[9]。

回交还能通过增加轮回亲本的染色体数目提高杂交后代的育性。回交对林木杂交后代育性作用的研究尚未见到报道。重要栽培作物属自花授粉植物,回交和复交对杂交后代结实率的影响是雌性和雄性育性提高的共同结果。例如,沈阳农学院在籼稻和粳稻杂交中,利用与回交法效果相似的复交法克服杂交后代的部分不育,在杂种的早代就能出现相当数量的结实正常或接近正常的植株^[31]。杨树为雌雄异株植物,是研究回交对杂交后代雌性育性和雄性育性作用的好材料。

笔者通过遗传分析和Bialobok的形态比较证明,毛白杨是银白杨和中国山杨的天然杂种^[10,23]。调查发现其雌性育性和雄性育性相对较差,花粉常败育,结实率较低。我们的研究还

证明,截叶毛白杨(*P. × tomentosa* cv. 'Truncata')和星苞毛白杨(*P. × tomentosa* cl. 'Stellibracteata')是中国山杨和毛白杨的回交种^[10]。截叶毛白杨花粉发芽率为40%^[24]。经调查,西北林学院门前马路两侧原有11株截叶毛白杨和它的黄花药类型、易生根类型等4个无性系,44株星苞毛白杨。它们的花粉发芽率均与截叶毛白杨相当,国内外曾索取的毛白杨花粉就是采自这些植株。这说明用中国山杨与毛白杨回交能促进杂交后代的雄性育性,提高花粉发芽率。

中国山杨与毛白杨回交还能提高杂交后代的雌性育性。西安的No. 5092号和杨陵的No. 5000号据信为中国山杨与毛白杨的回交杂种,它们的叶小,幼叶泛红,毛少,花苞片黑褐色,深度条裂。其子房育性很高,前者结实率达76%^[37]。后者学生多年杂交实习作母本,获得了大量种子。

据笔者1994年在北京农业大学调查,毛白杨与另一亲本银白杨的变种新疆杨回交得到的杂种雌雄毛新杨,其雌性育性和雄性育性同中国山杨与毛白杨回交后代完全一样。朱之梯的研究证明这个回交种雌株结籽率比毛白杨高出121倍^[24]。1995年笔者的大样本调查表明,毛白杨的回交种银毛杨再与新疆杨回交,其结籽量是毛白杨自由授粉的7.04倍;出苗数是毛白杨的11.44倍,达差异显著水平。

3.3 克服杂种后代夭亡

杂种毛白杨自由授粉后代夭亡特别严重,六叶期存苗数仅为出苗数的10.45%。这是因为杂种后代本来就存在着夭亡现象,而毛白杨属雌雄异株,父母本之间的遗传差异,使这种现象雪上加霜。但是当银毛杨与新疆杨回交时,六叶期实生苗存苗数是出苗数的83.5%。1995年获得这种苗木3万多株,绝大多数生长健壮^[38]。

毛白杨与新疆杨回交种毛新杨具有良好的子房育性,中国山杨与毛白杨的回交种截叶毛白杨、星苞毛白杨具有良好的花粉育性,朱之梯正是利用这两种特性进一步开展毛白杨育种。由于毛白杨被证明是银白杨与中国山杨的天然杂种。(毛白杨×新疆杨)×(中国山杨×毛白杨)属近缘复交,不是回交育种。与此类似,通过不同欧美杨杂种自由授粉培育良种,如圣·马丁诺杨(*P. 'San Martino'* (I-72/58)),也属这种方法。由于近交与回交有着相似的遗传效应,杨树能无性繁殖,可扩大群体。成龄树树冠大,可取大量杂交用花枝,应用近交法代替回交法,将时间因素转化为空间因素,能在较少世代的近交大群体中选择具有目的性状的植株。

参 考 文 献

- 1 斯塔罗娃 И В(马常耕译). 杨柳科的育种. 北京:科技文献出版社,1984,71~72.
- 2 Богданов П. Л. Тополя и их культура. Москва:Издательство «Лесная промышленность». 1965, 3.
- 3 张绮纹. 意大利杨树良种选育的程序和方法. 林业科技通讯,1984,12:28~30.
- 4 王世绩. 国际杨树委员会第37届执委会会议概况. 林业科技通讯,1994,12:27~29.
- 5 徐纬英主编. 杨树. 哈尔滨:黑龙江人民出版社,1988. 262.
- 6 FAO(中国农林科学院科技情报所译). 杨树. 1977. 213.
- 7 FAO. 杨树与柳树. 罗马:1979. 52.
- 8 叶培忠. 白杨繁殖与育种. 林业科学,1955,1(1):37~46.
- 9 徐纬英. 杨树选种学. 北京:科学出版社,1960.
- 10 Zhang Tingzhen. Studies on the hybrid Origin of *Populus tomentosa* Carr. Proceedings of Asia-pacific symposium on forest genetic improvement, 1994.
- 11 王明麻,黄敏仁,吕士行. 黑杨派新无性系的研究,南京林业大学学报,1987,4:1~14.
- 12 黄东森,朱湘渝,王瑞玲,等. 中林46等12个杨树新品种杂交育种. 见:中国林业科学研究院林业研究所育种二室编著. 杨树遗传改良. 北京:北京农业大学出版社,1991. 8~37.

- 13 韩一凡,杨自湘,王笑山,等.杨树抗性育种进展.见:中国林业科学研究院林业研究所育种二室编著.杨树遗传改良.北京:北京农业大学出版社,1991.39~52.
- 14 FAO. Breeding poplars for disease resistance. Rome:1985,1~66.
- 15 Mohrdiek O. Future possibilities for poplar breeding. Can. J. For Res., 1983,13:465~471.
- 16 黄东森,佟永昌.小黑杨杂交育种.见:中国林业科学研究院林业研究所育种二室编著.杨树遗传改良.北京:北京农业大学出版社,1991.5~7.
- 17 徐纬英,马常耕,佟永昌,等.新杂种——北京杨.见:中国林业科学研究院林业研究所育种二室编著.杨树遗传改良.北京:北京农业大学出版社,1991.3~4.
- 18 南京林产工业学院主编.树木遗传育种学.北京:科学出版社,1982.135~136.
- 19 张绮纹.黑杨派内杨树的遗传改良.林业科学,1987.23(2):174~181.
- 20 牛春山主编.陕西杨树.西安:陕西科学技术出版社,1980.82~95.
- 21 赵天锡,陈章水主编.中国杨树集约栽培.北京:中国科学技术出版社,1994.491~501.
- 22 张绮纹,苏晓华.国外杨树引种及区域化试验的研究.见:中国林业科学研究院林业研究所育种二室编著.杨树遗传改良.北京:北京农业大学出版社,1991.167~176.
- 23 Bialobok St. Studies on *Populus tomentosa* Carr. Arboretum Kornickie. 1964, № 1~35.
- 24 朱之梯.毛白杨良种选育战略的若干考虑及其8年研究结果总结.见:林业部科技司主编.阔叶树遗传改良.北京:科学技术文献出版社,1991.59~81.
- 25 白阳明,马常耕.新毛白杨无性系的选育.林业科技通讯,1990,12:19~21.
- 26 Maini J S, Cayford J H. Growth and Utilization of poplars in Canada. Ottawa: Queen's printer and controller of stationery, 1968. 88~100.
- 27 王明麻,黄敏仁,邬茶翎,等.美洲黑杨×小叶杨杂交育种研究.见:林业部科技司主编.阔叶树良种选育.北京:科学技术文献出版社,1991.83~92.
- 28 符毓泰,刘玉媛,李均安,等.美洲黑杨无性系陕林3、4号的选育.陕西林业科技,1990.3:1~9.
- 29 王明麻主编.林木育种学概论.北京:中国林业出版社,1988.211.
- 30 马常耕.我国杨树杂交育种的现状和发展对策.林业科学,1995.31(1):60~67.
- 31 蔡旭主编.植物遗传育种学.北京:科学出版社,1988.379~384.
- 32 张廷桢.欧洲的杨树育种.陕西林业科技,1991.2:25~28.
- 33 Anderson E. Introgressive hybridization. New York: John Wiley and Sons, Inc. 1949, 81.
- 34 山西省林学会杨树委员会.山西省杨树图谱.太原:山西人民出版社,1985.54~56.
- 35 尹佟明,黄敏仁.林木遗传图谱构建和数量性状基因定位.世界林业研究,1995.8(3):6~12.
- 36 Mayr E (刘学礼译).孟德尔的工作为什么被忽视了.世界科学,1991.53~55.
- 37 林惠斌,朱之梯.毛白杨杂交育种战略的研究.北京林业大学学报,1988.10(1):83~85.
- 38 张廷桢,崔杰.毛白杨杂种不育、后代夭亡及其克服方法的研究.西北林学院学报,1996.11(1).

Several Problems Concerning Poplar Heredity and Breeding

Zhang Tingzhen

Abstract Current poplar breeding practices pose several theoretical problems concerning poplar heredity and breeding; (1) the poplar breeding target and the parallelism of crossed genetic variation; (2) genetic analysis has demonstrated that reciprocal recurrent selection is a valid procedure for poplar breeding; (3) backcrossing promotes egg and pollen fertility of offspring and overcomes hybrid sterility and the die young of offspring.

Key words poplar, parallelism of crossed genetic variation, reciprocal recurrent selection, backcrossing