

中国北方小叶杨

POPULUS SIMONII IN NORTH CHINA

主编 吕文



中国三北 009 项目 FRI/GCP/CAF/009/DEI

宁夏人民出版社

POPULUS SIMONII IN NORTH CHINA

中国北方小叶杨

Populus simonii in North China

主 编： 吕 文（宁夏银川：国家林业局三北防护林建设局）
Email: Luwen@email.nx.cninfo.net

编写人员： 吕 文、西古、杨自湘、王 燕、张卫东、赫晓辉、宋春姬、
孙 枫、陈章水、赵天榜

翻 译： 张卫东、张玉贵

Chief Editor: Lu Wen
(Bureau of Three-North Shelterbelt Programme, the State Forestry
Administration of China)
Email: Luwen@email.nx.cninfo.net

Editors: Lu Wen, Pierre Sigaud, Yang Zixiang, Wang Yan, Zhang Weidong,
He xiaohui, Song Chunji, Sun Feng, Chen Zhangshui, Zhao Tianbang

Translators: Zhang Weidong and Zhang Yugui

2002

联系方式:

GCP/CPR/009/BEL - 009 项目

国家林业局三北防护林建设局, 国际合作交流处

宁夏银川市南薰西街 20 号 - 750001

电真: +86 951 4112576

电子邮件 1: sanbeiju@public.yc.nx.cn

电子邮件 2: sbjgtz@public.yc.nx.cn

Available from:

PROJECT GCP/CPR/009/BEL

Three-North Shelterbelt Construction Bureau

20 Nanxunxijie, Yinchuan 750001

Nianxia Hui Autonomous Region, China

Fax: +86 951 4112576

Email 1: sanbeiju@public.yc.nx.cn

Email 2: sbjgtz@public.yc.nx.cn

序.....	3
PREFACE	4
联合国粮农组织驻中国、北朝鲜和蒙古代表致辞（译文）	6
INTRODUCTION BY THE FAO REPRESENTATIVE IN CHINA, DPR OF KOREA AND MONGOLIA.....	7
比利时驻华大使致辞(译文)	8
AUTOGRAPH BY H.E. THE BELGIAN AMBASSADOR TO CHINA.....	9
前言.....	10
FOREWORD	11
1. 概述	12
2. 历史与发展.....	15
2.1 栽培发展历史与现状.....	15
2.2 部分小叶杨大古树分布	19
3. 分布与特性.....	20
3.1. 小叶杨的分布	20
3.1.1 西北小叶杨.....	21
3.1.2 华北小叶杨.....	23
3.1.3 东北小叶杨.....	25
3.1.4 小叶杨在国外.....	26
3.2 小叶杨形态，生态和生理学特性	27
3.2.1. 形态学特性.....	27
3.2.2. 生态学.....	27
3.2.3. 生理和生化特性.....	27
3.3. 生长特性	28
3.3.1. 天然林生长特性.....	28
3.3.2. 小叶杨人工林生长特性.....	28
4. 小叶杨种类及其杂种.....	29
4.1. 小叶杨变种与变型	30
4.2. 以小叶杨为亲本的杂种或无性系.....	31
5. 栽培与管理技术.....	34
5.1 播种育苗	34
5.2 扦插育苗.....	35
5.3. 造林方式.....	35
5.3.1 人工植苗造林.....	35

5.3.2	机械开沟加人工挖穴植苗造林.....	35
5.3.3	钻孔深栽造林.....	35
5.3.4	深松插干造林.....	36
5.4	经营管理.....	36
5.5	主要病虫害种类与防治.....	37
5.5.1	主要病害.....	37
5.5.2	主要虫害.....	39
6.	研究与进展.....	41
6.1	国内外科技文献中的小叶杨研究进展.....	41
6.2	小叶杨研究进展.....	42
6.2.1	小叶杨栽培与生理学方面的研究.....	42
6.2.2	物质代谢和水分生理研究.....	42
6.2.3	小叶杨杂交育种研究.....	43
6.2.4	遗传育种与生物工程.....	44
6.2.5	小叶杨抗性研究.....	44
6.2.6	其他方面的研究.....	45
6.3	中国三北 009 项目小叶杨研究.....	46
6.3.1	小叶杨树种资源收集与研究.....	46
6.3.2	三北 009 项目小叶杨杂交育种研究进展.....	47
7.	前景与任务.....	49
7.1	重新认识小叶杨.....	49
7.2	解决发展中存在的问题.....	50
7.3	重视和发展小叶杨资源的措施及建议.....	51
附录 1:	中国杨树（自然种）地理分布.....	54
附录 3:	杨树派、种、亚种、变种、变型及品种分类名录.....	58
1.	白杨派 SECTION LEUCE DUBY.....	58
2.	大叶杨派 SECTION LEUCOIDES SPACH.....	58
3.	青杨派 SECTION TACAMAHACA SPACH.....	59
4.	黑杨派 SECTION AIGEIROS DUBY.....	61
5.	胡杨派 SECT TURANGA BGE.	62
附录 4.	中国三北 009 项目简介.....	63
BRIEF INTRODUCTION TO THE PROJECT	FAO/GCP/CPR/009/BEL.....	64

序

森林资源是国家富足、民族兴旺、社会经济发展的基础。保护和发展森林资源对改善生态环境，促进国民经济发展，提高人民生活水平具有极其重要的意义。

小叶杨一直是我国北方地区十分重要的树种资源，其天然分布广、人工栽培历史悠久、种植面积大，在杨树家族中名列前茅。中国目前有杨树人工林 660 多万公顷，而小叶杨的人工林面积占全国杨树人工林总面积的 10%，约 64 万公顷。小叶杨具有抗旱、耐瘠薄、适应性广、生长优良、寿命长等特性，成为中国最早开展人工栽培和杂交育种的树种，并在中国北方林业生态工程建设和地方经济发展中发挥了重要的作用，功不可没。

历史上，小叶杨的发展速度和消长变幅较大，其命运同中国林业的发展基本一致，也曾有辉煌光彩的一页，也有触目惊心衰败的历程，而今，更加令世人注目。

1990 年，经联合国粮农组织技术支持、比利时政府无偿资助，由中国国家林业局三北防护林建设局在内蒙古奈曼旗、吉林省通榆县和辽宁省彰武县执行的“三北地区造林、林业研究、规划与发展项目（简称中国三北 009 项目 FAO/GCP/CPR/009/BEL）”开始了对中国北方小叶杨资源的历史、分布、发展、保护、利用进行全面研究，并在三北地区科尔沁沙地建立了第一个种源采集地范围广、数量多的小叶杨资源基因库，并开展了小叶杨杂交育种和造林试验，现已取得可喜成果。该项工作为今后进一步深入开展相关研究提供了理论依据和起到了示范作用，对储备和保护森林基因资源，发展三北地区生物多样性，促进我国林业可持续发展，具有重要战略意义。

为了系统总结这方面的工作，中国三北 009 项目办公室组织有关专家编写了《中国北方小叶杨》，这是一本展示三北防护林工程开展国际合作成果的科普丛书，也是一本首次论述三北地区乡土树种小叶杨资源的专著，从书中可以使我们深入了解中国小叶杨资源的历史分布、消长变化、研究成果、发展过程，明确进一步保护、发展、研究小叶杨资源的历史意义，愿她能唤起社会更加重视和广泛利用小叶杨的，并成为今后开展小叶杨研究的基石。

国家林业局三北防护林建设局副局长

中国三北 009 项目协调领导小组组长

潘迎珍

2001.12.31.

Preface

Natural resources, including forest resources, are at the origin of a country's welfare and prosperity. Protection and development of forest resources play an extremely important role in the maintenance and improvement of the environment, the sustainability of the national economic development and in the increase of people's living standards.

The small-leaf poplar *Populus simonii* Carr. has always been an important tree species in Northern China, with a vast natural distribution, a long history of cultivation, and a large planting area. It is considered among one of the most valuable species in the region. According to statistics dating from the early 1980s, China has more than 6.6 million ha of planted poplar forest, of which *P. simonii* accounts for 0.64 million ha, or 10% by area. *P. simonii* is drought and frost resistant, tolerant to infertile soils, very adaptable, fast growing and long-living, which make it one of tree species widely used for early plantation establishment and cross-breeding in China. It has played an important role in environmental improvement programs, including rehabilitation of degraded lands, and in the development of the local economy in Northern China.

However, in recent times interest in the species has diminished, and remaining stands are rapidly disappearing. Starting in 1990, the Project "Afforestation, Forestry Research, Planning and Development in the Three North Region" (FAO/GCP/CPR/009/BEL) financed by the Governments of Belgium and China (State Forestry Administration), with technical assistance provided by FAO, has carried out research on history, distribution, development, protection and utilization of *P. simonii* resources in northern China. A unique gene conservation bank of *P. simonii* collected in the Three-North Region has been established in the Korqin Sandy Lands, a cross-breeding program with *P. simonii* initiated and afforestation trials started, and significant results have been achieved. The project has played an important role in enhancing sustainable development of forestry sector of China, and in reserving and conserving forest genetic resources. It is also of strategic importance for the conservation of bio-diversity and for increasing the tolerance of protection forests to

the harsh environmental conditions of the Region.

To summarize the work, the Project has compiled this booklet, a first step towards a comprehensive monograph of the species, to demonstrate the achievement of the Three-North Program in the field of international cooperation. Included in the booklet are in-depth descriptions on historical distribution, increase and decrease, research results, evolution of the genetic resources of *P. simonii*, making clear the historic significance of further conserving, developing as well as researching the genetic resources of the species. I hope that the booklet will contribute to increase the importance and use of the species and provide a foundation for research in the future.

Pan Yingzhen

Deputy Director General

Bureau of the Three-North Shelterbelt Programme, the State Forestry Administration
Chair of the Coordinating Group for the Project GCP/CPR/009/BEL

December 31, 2001

联合国粮农组织驻中国、北朝鲜和蒙古代表致辞（译文）

由比利时政府提供资金援助的“中国三北地区造林、林业研究、规划与开发项目”是联合国粮农组织目前在中国执行的最大的林业项目，此项目在中国北方沙地乡土杨树树种保护方面开展了十几年的工作，取得了可喜的成果。本书反映了该项目在中国特有的小叶杨保护和利用方面所取得的宝贵研究成果，希望对中国森林资源的可持续保护、利用和发展起到一定的推动作用。

穆哈默德 阿哈麦德
联合国粮农组织驻华、朝鲜和蒙古代表

Introduction by the FAO Representative in China, DPR of Korea and Mongolia

FAO's largest forestry project in China, funded by the Belgian Government, "Project on Afforestation, Forestry Research, Planning and Development in the Three North Region of China", has researched appropriate species and silviculture in the sandy lands of Northern China for more than 11 years. The booklet reflects the achievements and outcomes of the Project in conservation and utilization of *Populus simonii* - one of the native poplar species in China. It is hoped that the publication of the booklet will contribute to the sustainable conservation and development of poplar resources in China.

Gamal Mohamed Ahmed
FAO Representative for China, DPRK and Mongolia
January 8, 2002

比利时驻华大使致辞(译文)

由比利时政府无偿援助、由中国政府配套的中国三北 009 项目(GCP/CPR/009/BEL)在乡土树种保护利用方面为中国三北地区可持续发展树立了榜样,我希望通过本书将比利时政府对中国的关注和支持流传给后人。

马利国
比利时驻华大使
2001/12/25

Autograph by H.E. The Belgian Ambassador to China

Co-funded by grants from the Belgian Government, the Project GCP/CPR/009/BEL has set up a wonderful example in the field of conservation and use of native tree species for the sustainable development of the Three-North Region of China. I hope that this booklet will pass on to the coming generations the consistent concern and support of the Government of Belgium to the development of China.

H.E. Johan Maricou

Ambassador of Belgium to China

2001/12/25

前言

小叶杨 (*P. simonii* Carr.) 是中国北方地区十分重要的树种资源。

为了唤起人们对小叶杨这一珍贵资源的重视和利用,我们编印了《中国北方小叶杨》这本小册子。文中全面介绍了中国小叶杨的发展历史和资源分布,介绍了国内外在这方面的科研成果和栽培技术,介绍了中国三北 009 项目对小叶杨系统研究的进展,也阐述了保护、发展、利用小叶杨资源的种种拙见。

《中国北方小叶杨》是一本首次论述小叶杨的专著,愿她能成为广大同仁切磋深研的引玉石,成为修撰小叶杨专著的基础资料。诚然,文中难免存在不足和疏漏之处,竭诚望读者不吝指正,顺谢。在编写过程中,中国三北 009 项目办公室全体工作人员和中国三北 009 项目首席顾问马藤 基立斯 (Marten Gillis)、联合国粮农组织杨树专家万斯勒肯先生 (Jos Van Slycken) 给予大量帮助,深表感谢。

同时,向长期从事小叶杨基因资源收集、保护、开展杂交育种、育苗和造林的中国三北 009 项目建设区的宋保民、魏永新、付贵生、任祥成、王明智、刘玉军、陈玉林、高志华、李和、韩玉生等科技管理人员致崇高的敬意。

编者

2001. 8. 1.

Foreword

The small-leaf poplar (*P. simonii* Carr.) has always been an important tree species in Northern China.

This booklet was written to highlight factors related to this important genetic resource. Included are the history and distribution *P. simonii*, as well as research achievements and silvicultural techniques both in China and abroad. It introduces the progress on research implemented by the Project GCP/CPR/009/BEL and also comments on conservation, development and use of the species.

This is the first study dedicated entirely to the species. It is hoped that it will be “a stone cast to attract a jade” and promote further exchange of information and discussion, and eventually end up as the first step for the compilation of a monograph on *P. simonii*. Of course, and inevitably, shortcomings and oversights have been committed, and comments are welcomed.

Acknowledgements are specially given to the national staff of the Project as well as FAO international consultants Marten Gillis and Jos Van Slycken for their generous help.

At the same time, recognition is due to those who have been involved in collection and conservation of the genetic resources of the species as well as in activities of crossing breeding, propagation and plantation development. They are Song Baomin, Wei Yongxin, Fu Guisheng, Ren Xiangcheng, Wang Mingzhi, Gao Zhihua, Chen Yulin and Liu Yujun of Naiman, Inner Mongolia as well Li He and Han Yusheng of Tongyu, Jilin Province.

The Editors

2001. 8. 1

1. 概述

小叶杨 (*P. simonii* Carr.) 是世界, 尤其是中国的重要林木物种资源, 她分布广, 栽培历史悠久。在中国, 北至黑龙江、南至四川、东至辽宁、西至青海, 18个省、区有小叶杨资源和曾有过小叶杨天然林分布, 同时也是我国最早开展人工栽培和杂交育种的树种。据统计, 全世界有杨树人工林 800 万 ha, 其中, 我国有杨树人工林 660 万 ha (1992 年统计, 全国有杨树 1847 万 ha)。而小叶杨的人工林面积约 64 万 ha 占全国杨树人工林总面积的 10%⁽¹⁾。除我国外, 前苏联是否也有小叶杨天然分布说法不一。

在中国, 对杨树的研究则有较长的历史, 有文字记载可追溯到 2 千年前。从古时候起, 人工就栽培杨树。那时采用的方法简单、容易操作, 即插杨木桩和细条。杨树的拉丁学名 *Populus* 就是“大家容易作”的意思⁽²⁾⁽³⁾。但是杨树种类很多, 杨属各品种的生物学和生态学差异较大, 并不都是“大家容易作”。各派和不同的种特性表现各异, 如: 白杨派和胡杨派的杨树种无性繁殖生根难, 而青杨派的杨树种扦插很容易生根。

中国是杨树基因资源最丰富的国家, 据中国树木分类学报道, 我国杨树有 53 个种、33 个变种、13 个变型。其中, 小叶杨有 5 个变种, 3 个变型。

小叶杨在历史上有过许多传奇的故事和神秘的色彩。在许多地方, 小叶杨古老的大树成为当地百姓敬仰的“神树”, 也成为男女表白真心爱情和朋友约定山盟海誓的见证树, 被长期保护。特别是, 小叶杨较广的适应性, 优美的身姿, 吃苦耐劳无私奉献的精神, 也成为四旁绿化和美化环境的首选树种。

小叶杨具有抗旱、耐瘠薄、适应性广、生长优良、寿命长等特性。小叶杨具有较强的杂交亲和力和自繁力, 成为中国最早开展人工选择和杂交育种的树种之一, 造就了其子代出现许多天然杂种与人工杂种, 被人们四处种植, 广为安家。在中国北方的林业生态工程建设和地方经济发展中发挥了重要的作用, 五六十年代成为当时的“绿化先锋”。当时, 各地利用有限的经济条件和现有的乡土树种小叶杨, 通过采条造林和播种育苗造林相结合的快速造林办法, 营造了大面积小叶杨人工林, 实现了快速绿化、快速治理的目的, 其功不可没。

上述种种优势, 造就了小叶杨能够广为传播、长久保存和“子孙满园”。尤其是, 近年来, 国内外对具有较强抗逆性的小叶杨遗传特性研究更加重视。在开展的各项抗性育种工作

中,小叶杨已成为世界性重要的基因资源。大力发展小叶杨资源无疑对解决这一系列问题无疑将起重要的作用)。从目前三北防护林体系工程主要造林树种中,应用小叶杨或杂种后代的情况是:东北主要是小黑杨系列、小钻杨系列,华北主要是群众杨、小叶杨,西北主要有小叶杨。

当然,漫长的岁月,无情的病虫、风沙和干旱也夺去了多少林木的生命,然而,小叶杨能幸运的保存下来,忠实的站在防风阻沙和保护环境的前沿,足以表明小叶杨有许多独特之处。除自然因素造成林木大幅度消长外,人工更新利用作用甚大。近几十年,又有几十万公顷小叶杨林被更新利用,成为中国北方广大农村解决燃料和木料的重要资源。树木更新实属自然规律作用,决不能把树木的自然死亡和人工更新利用与种树造假相提并论。

总之,小叶杨历史上有过辉煌时刻,也有过衰败的经历。历史上,森林资源的消长受到许多因素影响,但是人口增长,农业发展是改变森林资源的最重要的原因。遗憾的是,象小叶杨这样具有非常抗干旱和耐瘠薄遗传特性的乡土树种,却几乎没有人进行系统研究。令人们担忧的是这一树种天然资源得不到重视保护、人工林被大规模更新、新造林面积有限,长期下去将面临被其他树种替代和彻底被遗忘,成为濒危树种。

1990年,在联合国粮农组织和比利时政府的资助下,国家林业局三北防护林建设局执行的“中国三北 009 项目”,开始了对中国北方小叶杨资源的历史、分布、发展、保护和利用进行全面系统研究,并在三北科尔沁沙地建立了第一个小叶杨资源基因库,开展了小叶杨资源收集与选择和造林试验。目前,随着人们对生态环境重视程度的不断提高,一个大规模的改造小叶杨人工林、大范围的研究杂交组合培育新品种、广泛推广小叶杨杂交品种、宣传保护小叶杨天然基因资源和古树优树行动正在全面开展。随着研究的深入发展,009 项目又开始与比利时杨树研究部门合作,应用同功酶, DNA 等先进生化技术对小叶杨遗传多样性进行系统研究,同时研究小叶杨与小青杨亲缘关系。特别是 009 项目第 2 期工程开始与加拿大等国家的研究部门合作,开展小叶杨多水平,多层次的遗传改良研究。采用长,短期相结合育种策略:长期育种计划旨在开展大量小叶杨种内不同产地,不同单株间杂交,重组小叶杨基因型,改良小叶杨,创造更加丰富的小叶杨亲本遗传多样性群体,为未来开展种间,派间杂交育种,奠定基础;短期育种是利用国内外的优良种质资源,美洲黑杨,欧洲黑杨及我国新疆的欧洲黑杨来改良小叶杨的缺点,旨在创造杂交优势,培育出适合三北防护林建设工程种植的多目标,多立地,多用途,防护效益和经济效益优于当前生产种的系列无性系,从根本上实现保护小叶杨遗传资源和创造发展小叶杨遗传基因资源。

2. 历史与发展

普通、古老、纯朴的小叶杨在历史上有过许多传奇的故事，“神树”之说不为过，揭开她神秘的色彩，让更多的人关心爱护她！

2.1 栽培发展历史与现状

小叶杨是中国主要乡土树种之一。古书《尔雅》中记载的青杨，经考证（辛树帜、王作宾著《农政全书》）即现在的小叶杨⁽³⁾。由此可见，小叶杨在我国已有二千年的栽培历史。明，俞贞木撰的《种树书》（公元十四世纪末期）记载了小叶杨的繁殖方法：“种水杨需先用木桩钉穴，方入杨，庶不损皮，易长。表明古人很早就掌握了小叶杨的繁殖技术⁽⁵⁾。

在历史上，杨树的地位和作用显赫。中国素有“南杉北杨”之说，意指指南方杉木最多，北方杨树（主要是小叶杨）随处可见，分布广。在北方，曾有过“有绿必有林，有林必是杨”之说。杨树是人类生存的伴侣，也成为百姓生活和生产不可缺少的木材。然而“杨家将”之说，更能表明杨树在北方的作用和地位。

然而，中国北方杨树资源的消长变化也是十分惊人。她经历了一个又一个兴衰变化时期。其中一个主要原因就是：人类历史时期的变迁决定了森林变迁变化。在人类出现前，它的变迁取决于自然条件的限制和发展。洪灾、火灾、虫害等常常使林木资源毁损严重。但自有了人类以来，人对自然的干预日益增大，对森林的需求更广。他们通过毁林开荒，矿床采掘、土木建筑、战争焚烧等形式对森林的破坏规模是巨大的，而森林的恢复是缓慢的。这个地史变化瞬间，森林的消失和退化是惊人的。就以中国的西北黄土高原地区为例，这里曾是支撑强大汉唐盛世的富庶疆域，森林茂密，松柏和小叶杨遍野，禽兽成群。据历史地理学研究，西周时期，这里的森林覆盖率超过 50%，经秦汉朝后降至 42%，唐宋后又降到 34%，明清之际只剩下 14%，到新中国建立时黄土高原的森林覆盖率不足 6%。森林如此迅速消失的重要原因来自于养育了众多人口和一浪高于一浪的毁林开荒潮。汉代时期开始了成规模的垦伐，大批移民屯田戎边，依靠砍伐森林生存和繁衍后代。从明清以来到民国期间的几百年间，更是愈演愈烈，危害有过之而无不及之。上自帝王与政府倡导，下至庶民百姓参与，形成了连续加速且不可逆转的毁灭性开发过程。

在二十世纪八十年代，曾被联合国粮食规划署列为扶持治理地区之一的宁夏固原地区是中国当前有名的水土流失重点地区，经几十年治理，那里的林业有了较大发展，人们对林业的认识有所提高。然而，固原地区已不可能恢复到历史堪称浩海宏伟大森林的景观了。据对地下古木测定表明，一千多年前，这一地区曾是树多翠柏，松杉葱郁，万木深秀的天然娴静区。唐代宝历年间（公元 825—826 年）朱庆余《望萧关》诗曰：“川绝衔鱼鹭，树多带箭麋”，就是描写固原地区人烟稀少，动物树木十分茂盛，材多巨木，（《宋史》卷 325《刘平传附刘兼济传》）。但是从那以后，就不断有大规模毁坏行为发生。先是 11 世纪初西夏元昊在天都山（西华山），平地砍树，大修宫苑，千百年松柏毁用无数（《元史》卷 1，2，4，60）。1081 年，宋军攻占后而焚毁。以后，为守此地不在被人掳拥，屯军成为战略措施，毁林开荒便成为防卫措施。到 16 世纪初，明总制陕西诸路军务秦曾上疏：固原以北有可开荒地十万亩，请行屯垦。此议得到朝廷批准，“卒行策”。文中所说荒地实属森林和灌丛，可见当时把毁林开荒当成一项重要军事任务。随后的战争消耗、营建采伐、毁林烧炭、烧砖瓦、火灾、地震等都曾长期、反复和交叉作用于森林。但是区域性农业的发展和人类开发利用自然的历史盲目性则是最重要和最据规模的破坏，形成了现今举目荒凉，赤壁千里⁽⁷⁾。

林业发展的历史就是森林与人类生活关系的历史。这个历史反映了人类认识自然、利用自然、破坏自然的发展规律和惨痛教训。

然而，这些毁坏性的开发教训，并没能遏制人类一时为生存和发展经济的开发性破坏，直到新中国成立后仍未终止。尤其是在自然灾害严重时期、文革时期和改革开放初期的个人承包风，在那特定的时期，在那特殊的需求环境下，一方在号召大面积造林，而另一方则在继续破坏，建设与破坏同行就是当时的真实写照。当时造林可以成为英雄，然而，砍伐林木、垦荒造田亦可成为英雄。

中国北方小叶杨的命运和中国北方森林的命运基本一致，小叶杨天然林在经受了一次又一次大自然考验和人为利用后，破坏加重，资源渐失，人工林在逐步增长。在本项目开展小叶杨资源调查与收集以来，笔者只在一些地区找到小叶杨被砍伐后的残缺林分及零星大树，古树，并在甘肃及陕西交界黄土高原的子午岭林区看到，部分林场每年春季从有限的几棵小叶杨大树上采种育苗。据林场负责人介绍，子午岭林区大树早已砍伐尽，新种下的针阔叶树，生长缓慢，成材难，林区无树可砍，无经济来源，而沟壑地种上小叶杨可迅速成材，可成为林场重要经济来源。这些地区虽然发展了小叶杨，但同样没有做到保护小叶杨资源。

不可否认，小叶杨在中国有较长的栽培历史和较广的种植面积，尤其是 1949 年新中国成立以来，小叶杨是我国栽培面积最大的树种。新中国成立后，我国开展了广泛的植树造林活

动，特别是在 50 年代末，各地积极响应“绿化祖国”的号召，在国家和人民经济十分困难的情况下，开展了大规模的植树造林运动，小叶杨成为我国第一次用于人工造林的主要树种，成为当时的“绿化先锋”。当时，各地在并不了解小叶杨的情况下，利用有限的经济条件和现有的乡土树种小叶杨，通过采条造林和播种育苗造林相结合的快速造林办法，营造了大面积小叶杨人工林，实现了快速绿化、快速治理的目的。甚至大量从辽宁采种支援大西北及一些缺少小叶杨种子和种条的地区。青海黑河，八宝河一带的小叶杨林分就是那时从辽宁采种育苗营造的。当时中国北方，每年种植小叶杨面积在 5-7 万 ha 以上。大面积小叶杨林为防风固沙、保持水土和提供薪柴发挥了重要作用，作出突出贡献。到了八十年代初，中国小叶杨人工林的总面积已达到 60 万 ha 以上。其中，当时的山西雁北地区就营造了 13 多万 ha 小叶杨人工林，占该区乔木总面积的 85% 以上。就是这样，人们通过采条、采种，广泛种植，用人工林及时增加了一些林木资源，有效的扭转了自抗日战争爆发后造成的中国林木资源急剧减少和严重亏缺局面，减缓了新中国刚成立后的一个时期内，一些地方盲目垦荒和大炼钢铁，严重消耗森林资源，造成的国内林木资源严重不足的局面⁽⁸⁾。

小叶杨也特别争气，引到哪，长在哪，大有“处处为家、安居乐业”之势，为我国早期治理沙漠和水土流失发挥了巨大作用。内蒙古赤峰、山西雁北、辽宁朝阳和甘肃河西地区大片大片的沙地成为小叶杨的新家园，陕西黄土高原、山西吕梁地区的黄河沿线，小叶杨在防治水土流失发挥了应有的作用。

鉴于小叶杨有较强的抗干旱和耐瘠薄特点，人们对以她为亲本，培育高抗、速生新杂的杂交品种产生了浓厚的兴趣，开始广泛研究她的抗性机理和遗传规律。50-60 年代期间，林木育种专家就认识到小叶杨在北方的广泛适应性，有意在此基础上增加其速生性，因而开始了以小叶杨为亲本之一的杂交选育及天然杂种选择研究。经研究发现，小叶杨与白杨派 (*P.section Leuce*)，青杨派 (*P.section Tacamahaca*)，黑杨派 (*P.section Aigeiros*) 的一些树种都有较高配合性，尤其与欧洲黑杨种的钻天杨 (*P. nigra var pyramidalis*) 配合力高，有较高的杂交优势。

60-70 年代，中国林业科学研究院选育出小叶杨人工杂种群众杨 (*P. x popularis*)，小黑杨 (*P. x xiaohei*) 等等，辽宁，吉林，黑龙江各省林业专家大量选育出小钻杨 (*P. x xiaozhuanica*) 系列，如昭盟杨 (*P. x xiaozhuanica cl 'Zhaomengyang'*)，白城杨 (*P. x xiaozhuanica cl 'Beichengyang'*)，法库小钻 (*P. x xiaozhuanica cl 'Faku'*)，彰武小钻 (*P. x xiaozhuanica cl 'Zhangwu'*) 等等。这些品种在中国北方广大地区取代小叶杨纯种的地位，广为栽种。例如群众杨比母本小叶杨，父本钻天杨生长量提高 2 倍以上，林分生产力大大提高。

当然，在全国大规模种植推广小叶杨的同时，由于对小叶杨适宜生长的生态环境不甚了解，对小叶杨成林后的经济效益期望过高，对小叶杨防护林种植方式不科学，对小叶杨林地经营管理不足等种种原因，致使一些地区小叶杨生长缓慢，几十年生的小叶杨高不过 6m，粗不过 10cm，生长衰退，成为“小老树”，导致病虫害严重发生，林分被毁，人们对小叶杨开始怀疑，并有否定之词。但小叶杨较北方其它杨树种耐旱，耐寒，耐瘠薄是不争的事实，尤其近几年东北地区连续大旱，年降雨量不足 200mm 情况下，许多生长几十年的大树干旱致死，而同片土地上的小叶杨依旧郁郁葱葱，更显露出小叶杨“英雄”本色。

现内蒙古中西部地区的伊盟和甘肃庆阳地区仍坚持年年采集小叶杨种子进行育苗和小规模造林。事实上，五、六十年代营造的小叶杨林大多成为“小老树”，这是当初在特定科学和经济条件限制下的产物，但是在当时，这也是一种降低种植成本和实现快速绿化治理的成功做法。虽然在一些地区，她们没有带来明显的直接经济效益，但是她们在固沙、防止水土流失、保护农田草场、村庄和提供民用材等方面发挥了不可估量的作用。必须肯定她们的地位和贡献。⁽⁹⁾

天然小叶杨一般生长在河流两岸，山谷，沟壑地带。在年降雨量 400~700 毫米，相对湿度为 50%~70%，土壤含水量 15~20% 的环境中生长良好，最适宜的则是湿润肥沃的黄土和冲积土。但在比上述更恶劣的生态条件下也能成活，甚至可成材，起到防风，固沙作用。小叶杨对土壤酸碱适应范围较大，在盐渍化土壤上能正常生长（但不宜生长在 PH 值为 8 以上的重盐碱地上）。这意味小叶杨较北方其它杨树种耐旱，耐寒，耐瘠薄，但并不是小叶杨就喜欢这种环境，她也需要一定水肥条件。

改革开放，为中国的经济发展带来历史性的良好机遇，也为中国林业的发展创造了条件。自 1978 年以来，尤其近几年来，我国相继启动了举世瞩目的三北防护林体系工程和长江、沿海、黄河、太行山、防治沙漠化、天然林保护、退耕还林等大型林业生态工程，从而加速了发展保护森林资源的步伐，使祖国疆土正在日新月异，绿满人间的方向发展。经过几十多年的努力，通过大面积人工造林和实施天然林保护工程，全国的森林覆盖率得到迅速上升，现已由建国初期的不足 5% 上升到了 16% 以上。在三北地区，小叶杨及其杂种曾倍受重视，成为三北防护林体系工程主要造林树种之一，得到一定发展。90 年代以来，干旱气候威胁我国北方内陆，影响许多新杨树品种生长，一些地区再次对经过多年实践检验的小叶杨重视起来，重新应用抗旱性较强的小叶杨造林。如在三北地区的毛乌素沙地、用小叶杨营造的防风固沙林和水土保持林，作用出众，生命力强，在几次特殊干旱的年份里，在其他树种受到较大损害的情况下，小叶杨表现出较高的成活率和生长量。说明小叶杨在一些特殊立地条件

下有比其它杨树及栽培无性系耐旱，耐寒，耐瘠薄的特性，应该引起人们的重视和关注。

目前，国际组织对发展和保护小叶杨也十分重视，小叶杨已成为世界性重要的林木基因资源，受到资助和保护。

2.2. 部分小叶杨大古树分布

目前北方小叶杨天然资源寥寥无几，大古树更成为活化石和“古物”了，小叶杨基因资源也与其它物种一样，面临消亡的危险。经对北方部分省区的调查，记录了一些有保存和利用价值的小叶杨大古树。山西省小叶杨大古树最多，009项目在1995年对该省的42处小叶杨大古树进行了考察和登记。其中，沁源县鱼儿泉乡井苓村，龙王庙前：树龄350年以上，为明代所栽。树高29.5m，胸径1.5m，枝下高4.5m。东西冠幅23m，南北冠幅26m。这棵树是在该省考察中发现的有记载的最古老的小叶杨了⁽¹⁰⁾。

河北省怀仁县桑圆乡长梁寨村有两株小叶杨大古树称得上是老寿星了。一株树龄超过500年，树高19m，胸径1.82m。东西冠幅10.9m，南北冠幅15.4m；另一株树龄超过500年，树高26m，胸径1.8m。东西冠幅7.4m，南北冠幅11.5m；两棵老寿星历经苍桑，相依为命，能活到如今，足以证实了小叶杨的价值和地位。这两棵大古树既是历史的见证，又是相依为伴的楷模，现在一些年轻人谈情说爱和定终生，都要选在这两棵大树下，表明了想以此树为证的美好心态。

山西武乡县韩北乡王家峪村有一株树龄60年雄株小叶杨大树。该树是1940年清明节朱德司令员所栽，被当地人们称为“红星杨”。树高26.6m，胸径0.93m，枝下高9.9m。东西冠幅21m，南北冠幅19m，干形通直，是难得的优树。主干材积5.8m³。1997年，009项目在该树上采了30个插条，作为优良基因在奈曼旗小叶杨基因库扦插保存。大同市郊区小头乡小南头村，在龙王庙后海拔1031m地方，有一株树龄超过200年的小叶杨大古树。树高19.5m，胸径1.59m。枝下高5m，东西冠幅20m，南北冠幅22m。被当地居民视为“神树”，时常有人在此树下烧纸、敬香，也有祭神活动。

青海、甘肃、内蒙古、辽宁、河南都有少量大古树零星分布，生存时刻受到威胁，急待得到保护（详见附录2）。

3. 分布与特性

世人瞩目小叶杨！高有青山为证，广在处处为家，一代天骄——小叶杨。东西南北中，广为传播，浪迹天涯，子孙满园的小叶杨，以她特有的秉性赢得人们的厚爱！

3.1. 小叶杨的分布

在中国小叶杨是重要的乡土树种，分布很广，北至黑龙江，南至四川，东至辽宁，西至青海，共 12 个省、市曾有过小叶杨自然分布。目前中国黑龙江、辽宁、吉林、北京、河北、山西、内蒙古、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、河南、山东、江苏、湖北、四川、云南 18 个省、市、自治区有小叶杨资源。在华北、华东海拔 1000 米以下和西北、四川中部 2600 米以上均有分布，尤其溪边常见，最高可分布到 3000 多米的地方⁽¹²⁾。

小叶杨在中国分布广，在各地的表现各异，故在不同的地方有不同的俗名。在陕西省人们把小叶杨称为“水杨、水桐”。江苏省一些地方把小叶杨叫做“南京白杨”，江苏江浦一带则叫“白杨柳”。“明杨、青杨、菜杨”则是河南省许多地方对小叶杨的俗称。“山白杨”是西北甘肃省小叶杨俗名⁽¹³⁾。

经 1998 年对小叶杨资源普查发现，天然小叶杨林已基本消亡，很难找到成片的天然林，这与 80 年代调查统计的所描述的资源数相差太多。有幸的是，在青海中部的昆仑山余脉，都兰县乌拉斯泰沟谷发现了上千株天然林，生长健壮良好⁽¹⁴⁾。在青海的黄河上游和甘肃省南部人烟稀少的地方，或偏僻村庄周围还能找到几株小叶杨大树。在小叶杨的故乡山西省境内，天然小叶杨也是寥寥无几，只能在一些偏僻的农村、沟谷和庙宇门前偶而发现几株，那都是百年高龄以上，已被作为文物古树编号保护，而且均已进入风烛残年，摇摇欲坠之态，很难说能保持多久。经考察了解，目前在以下地区还有小叶杨极少量天然林和人工林及零星分布，如甘肃祁连山南北河谷地带和河西走廊地区；青海中部的昆仑山余脉乌拉斯泰沟谷；青海东南部黄河上游区；甘肃南部，四川北部岷山山系河谷地区；四川西部岷山山系及岷山山系间河谷地区；甘肃东部及陕西西部，黄土高原的河谷地区；陕西北部黄土丘陵区河谷地区；山西西北部石质山区的沟壑地区和吕梁山区；山西南，河南西北伏牛山区，太行山的河谷地区；燕山山系及内蒙古科尔沁沙地区（赤峰和通辽地区）；山东泰山，沂蒙山区；辽

宁南部；辽宁、内蒙古和吉林三省区交界处。

3.1.1 西北小叶杨

中国西北是小叶杨的主要天然分布区，是小叶杨的故乡。

祖国大西北，是中国大地充满神奇色彩的地区之一。这里是中华民族两大命脉长江和黄河发祥地，是中国革命事业发展的摇篮。然而，随着历史的变迁，这里的森林资源发生了很大变化。昔日的繁茂森林毁于连绵战争和人类的肆意掠夺。小叶杨的故乡，小叶杨林已为数不多了。在宁夏和新疆只能发现小叶杨天然林残迹和一些关于小叶杨动人的传说，实际上已很难找到天然小叶杨林，唯一保留下来的少量古树，也因“年事已高，命在旦夕”。目前陕、甘、青三省区的局部地区仍是小叶杨的主要天然分布区，但多以天然次生林类型分布。在这里大部分地区都有天然小叶杨古树、天然次生小叶杨林，以及人工采种繁殖的小叶杨人工林生长。在青海祁连县、互助县一带作为水源涵养林，小叶杨受到较好的保护，将会长期保留下来。在甘肃平凉、子午岭及陕西的黄土高原区，由于是小叶杨适生区，是主要速生树种而成为各林场的主要经济来源，各林场都将继续种植。但在其它地区零星小叶杨将会逐渐消亡。这三省的小叶杨从叶形看有几种类型：有大倒卵形，小倒卵形，冠部小枝有下垂型，有上举型。详细形态的区别、性状的多样性及遗传分化将在下一段进行研究。

在陕西，小叶杨（水桐）几乎分布全省各地，尤其在六盘山脉及其支脉范围的陕西西部、中北部的黄土高原及陕北丘陵地区的沟壑都曾有成片小叶杨生长，天然分布。在这些地方生长良好，一般认为这里是小叶杨适生区。

小叶杨在甘肃省天然分布十分广泛，由河西到陇东，自陇南至中部。50年代甘肃省第一个发展的人工林树种是小叶杨，这些小叶杨早已长成材，成为80-90年代民用材的主要来源。现在小叶杨集中分布于子午岭及甘东现代侵蚀沟底和宽谷阶地和平凉地区及子午岭地区，另外星散分布在甘南山原高寒灌丛，草甸地区及河西走廊东段绿洲地区。小叶杨天然林广布甘肃省，常见于子午岭和祁连山林区的一些沟谷、河滩阶地；其垂直分布在子午岭海拔高度1100m~1400m，祁连山高至2700m。

如：子五岭林区小叶杨林，除少量分布在宽谷河阶地外，大多生长在支沟底部至两侧坡麓上沿部位，在沟口上溯蜿蜒至现代侵蚀沟头。由于沟谷地形和林冠密闭，形成了温凉荫湿、风力小的生境，植物比较繁茂。乔木层树体高大，第1代小叶杨树龄约120年，直径大者达1m以上，单株材积有达7 m³。甘肃平凉地区是小叶杨适生地区。50-60年代又重点发展小叶杨，70年代以后小叶杨林分逐渐被油松，落叶松替代，但在高原脚下，河谷两旁及台地不适合松杉，又不适合农业及果树种植，而杂种杨也因栽培条件跟不上，只有继续发展小叶杨人工林。

进入 90 年代以来, 针叶树种生长缓慢, 其它可利用的森林资源又枯竭, 林场无收入, 又为了促使油松林生长, 继续砍伐小叶杨是较好的办法。新世纪之初, 该地区仍有许多胸径不大的小叶杨树被伐。据说这已是近年来第三次采伐小叶杨, 小叶杨资源迅速消亡。

小叶杨原是宁夏主要乡土树种, 适应性强, 耐干旱贫瘠, 分布很广, 天牛的危害使一代乡土树种被迫退出历史舞台, 现在在全区已很难找到小叶杨林, 只是在一些未受到天牛危害的边缘和交通不便的村庄和溪边偶尔能发现几株。过去, 小叶杨天然林和人工林主要集中在黄河冲积平原, 其次为黄土丘陵区 and 沙区。中卫、中宁、固原、西吉等县, 都曾是小叶杨天然林主要分布区。如今, 成片天然林几乎灭绝。

五十年代初期, 宁夏中卫县曾为全国引种小叶杨提供了大批种条和种子。其中, 黑龙江省曾多次来中卫县采条和采种, 使宁夏种源的小叶杨首次被传播到了东北地区, 这也是东北引种最成功的种源。七十年代末以前, 小叶杨在宁夏到处可见, 生长表现良好。到了八十年代, 随着国家杨树育种事业的发展, 杨树优良无形系不断推出, 人工种植面积不断扩大。这些无形系大多是以小叶杨为父母本的杂交种, 在生长量和干型方面远远超出了小叶杨的表现, 深受广大群众喜爱。因此, 小叶杨的地位和优势逐渐下降, 人工种植面积急剧减少, 同时小叶杨天然林管护未得到重视, 资源急剧减少。特别是, 杨树天牛在宁夏发生后, 全区小叶杨遭受到毁灭性危害, 小叶杨基本被危害灭绝, 并逐渐被遗忘和淘汰。据 1982 年调查, 固原县各种杨树都受到黄斑星天牛 [*Anoplophora nobilis* Ganglbouer] 的严重危害, 其中小叶杨、群众杨和箭杆杨 (*P. nigra* var. *thevestina* (dode) Bean.) 受害率为 95% 以上, 虫情指数在 50% 以上。但新疆杨 (*P. alba* var. *pramidalis*) 的受害率仅为 45%, 虫情指数为 11.2%。

在青海省, 天然小叶杨主要分布在东北部、东部高原的河谷地区, 50 年代时黄河上游两岸是小叶杨滩, 50、60 年代沿岸林场都采种育苗, 发展小叶杨, 小叶杨成材后大量被砍伐, 现只有祁连山南坡的黑河、八宝河、大通河的河岸旁作为水源涵养林被成片的保留下来, 在湟水及黄河滩地还有人工小叶杨林及散生树, 其间百年老树也偶尔可见。青海湖东北部沙漠中央尚保留一小片生长不好的稀疏天然小叶杨, 大约有 1ha。在都兰县香日德河南面, 昆仑山余脉的乌拉斯泰沟谷发现了上千株天然生的与小叶杨相近的青甘杨。祁连县林场现仍有小叶杨生长, 面积有 399.2 ha, 基本是天然次生林或人工林, 高山柳 (*Salix cupularis* Rehd.) 及沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 混生其中。目前, 小叶杨林分大多遭受过破坏, 郁闭度 0.6~0.7, 树龄一般在 40 年以上, 也有百年大树散生其中, 胸径 50-122cm, 林下更新差, 但近河岸边有种子更新的幼林, 树龄有 10 年--30 年生。祁连县城内行道树及宅院旁尚保留有 40 年生以上的小叶杨大树。祁连林区的小叶杨形态基本相同于中国植物志上描述

的垂枝小叶杨，其枝细而下垂。互助县北山林场现保留小叶杨片林 5 片，约 30 ha²，分布区海拔 2100~2800m，主要在大通河上游的沟岔旁，村庄旁及道路旁有散生，树龄在 20-70 年生不等，生长较好，胸径在 18-105cm 之间，常与红桦 (*Betula albo-sinensis*)、冬瓜杨 (*P. purdomii*) 混生，郁闭度 0.5~0.7。

新疆是中国杨树资源主要分布区，主要有胡杨、粉叶杨、新疆杨、银白杨和欧洲黑杨等。从六十年代起，新疆开始引种小叶杨。当时主要从东北引种。小叶杨在新疆地区生长良好，繁殖容易，同时是开展杨树杂交育种的优良亲本。引入新疆后，表现了耐旱，耐轻度盐碱，抗冻、抗病及速生的性能。例如玛纳斯平原人工造林场，年降雨量不到 200mm，蒸发量 2160mm。但引种小叶杨后，只要适当灌溉，能良好生长。在-38℃时能安全越冬，虽某些年份早春温度剧烈变化也有树干冻裂情况，但愈合能力很强，大多当年愈合。小叶杨于 1966 年从有东北引入玛纳斯后，20 年生树高达 18.2m，胸径 22cm 以上。在水分较好的地方，6 年生高达 8.02m，最高达 10m，平均胸径达 8.05cm，最粗达 11.5cm。在玛纳斯，小叶杨作为纯林或作为混交林营造树种，均较适宜。

3.1.2 华北小叶杨

杨树在内蒙古遍及分布，仅天然林种就有 30 多种。在中西部地区除了青杨、胡杨、河北杨外引人注目的就是小叶杨了。小叶杨在内蒙古人工栽培历史悠久，是主要乡土树种，也是 1949 年以来，栽培面积最大的树种，除大兴安岭外，小叶杨几乎种植在全区各地。小叶杨比其他杨树具有更广泛的适应性。在内蒙古中西部，小叶杨对干旱、寒冷、风大、土壤瘠薄、含盐、含钙等有一定耐性。对病虫害的抗性也较强。因此，被选作北方地区培育上述抗性新的杨树品种的亲本。列如：小美杨、群众杨、等“小”字号的新品种。通过各地栽培，证明这些“小”字号的新品种，具有亲本的遗传特性，有很大的发展潜力。六十年代，全区最大的机械化林场鸭鸡山林场的 6 万 ha 人工林中，用小叶杨实生苗栽培的林木占一半以上。在水分条件好的地方，小叶杨生长迅速。如在包头市青山区苗圃渠边 20 年生小叶杨行道树，树高达 16.9 m，胸径为 0.325m，单株材积 0.6238 m³。

内蒙古东部奈曼旗建国后有过两次大规模种植小叶杨的经历。一次是五十年代末到六十年代初，政府提出了一些鼓励群众造林的政策，调动了群众植树造林的积极性，广造小叶杨。第二次是文化大革命刚刚结束，群众造林积极性也特别高涨，那时还没有引进杨树杂交苗，只能大面积营造小叶杨，一度使小叶杨面积发展到上万公顷。到七十年代中后期，杨树优良无性系的引进，逐渐取代了小叶杨在杨树造林中的主栽品种的统治地位。小叶杨在奈曼所有地方几乎都有分布，但集中分布在叫来河南岸的沼带上。1997 年，从这些人工林中选出

38株优树，雌雄各一半，树龄在30-35年，平均高为20.5m，胸径在0.36m，成为长期开展杂交育种的资源。

在干旱和山坡地小叶杨生长缓慢，常表现为“小老树”。如在丰镇县的山坡上，25年生小叶杨平均高仅4.5m，平均胸径为0.38m。六十年代后期，人们普遍发现营造小叶杨出现了大面积的“小老树”。与此同时，各地陆续培育出来的杨树新品种和从国外引进的杨树，在苗圃地和在幼林阶段显示出许多优势，生长特别旺盛。对此，各地渐渐忽视小叶杨，也从生长特性方面开始否定小叶杨，一时间形成所谓“杂交杨热”，各地竞相引进。但通过十几年实践，殊不知这些杂交的杨树新品种和从国外引进的杨树在干旱和山坡地，其生长速度和抗逆性远不如小叶杨，难以生存。

小叶杨在山西分布幅度很大，在海拔1000米以下的平原地区和海拔1500米以下的黄土丘陵区（如黄土丘陵的下部缓坡，沟壑，河流两岸等地方）生长良好。这类地区可认为是小叶杨的垂直适生地。小叶杨本身具有天然更新成林的能力，但由于天然更新的幼苗易受人、畜损害，故天然林极为罕见，只在湿润河流阶地和沟谷区有一些小面积零星片林分布。小叶杨对气候条件要求不苟，在山西省北部一些杂交杨树，早春容易发生干梢现象（生理干旱），但小叶杨很少发生这类生理干旱现象。在山西省大部地区，小叶杨开始发叶期为4月上旬至中旬，开始落叶期为9月下旬至10月中旬，8月中旬形成顶芽，2次高生长的情况极少出现。小叶杨的封顶时间受当年气象条件和立地条件的影响明显，夏季雨量偏少年份，小叶杨7月份即开始形成顶芽。据雁北一些林场观察，立地条件较差的风积沙梁，6月下旬即可形成顶芽。小叶杨的侧芽比顶芽提前数日至数周形成，除苗圃插条苗外，一般侧芽当年不萌发新芽。

小叶杨在沙壤土、黄土、冲积土、灰钙土上均可生长。在有机质和无养分均贫瘠的沙土地上，如果水分不缺乏，小叶杨仍可生长。但在坚实或干燥的土壤上则很难成材，往往长成灌木状态。即小叶杨对土壤水分的要求一般比对土壤养分的要求严格。小叶杨能耐盐碱，中、重盐碱地上则难以成活。

在河南省小叶杨主要分布在西部山区。河南西部山区是指位于河南西部黄土丘陵区以南，南阳盆地以北，西与陕西毗邻，北达黄河南岸，东止京广铁路以西的山区。该区域内地势是西部、中部较高，向东至东南呈扇状降低，山脊与河谷相间，洛河、伊河、沙河、白河、颍河等均发源于本区。豫西山是秦岭山脉的东延部分，山体高峻雄伟，是我国暖温带与北亚热带在河南的地理分界。该区内海拔1500m以上的山峰广泛分布，如老君山(2192m)、玉皇顶(2211.6m)、龙池曼(2129m)等，老鸦岔(2413.8m)为河南最高峰。嵩山与箕山是一孤立

的断块山地，其中有嵩山、玉寨山等；玉寨山最高海拔 1512.4m、嵩顶 1440m，因其周围与平原相连，山体显得挺拔雄伟，古称“岳中”，是我国五岳之一；驰名中外的少林寺座落在玉寨山下。

河南西部各县、市山区的沿河滩地和谷溪两岸平坦地段，常有小叶杨天然分布，具有明显的林分结构特征和特性，尤以山区谷溪两岸最多。多形成大面积的小叶杨与刺槐混交林。近 20 年来，由于小叶杨遭受天牛等危害，以及沙兰杨 (*Populus x aurameriacama* (Dede) Gunier cv. ‘Sacrau 79’) 的大面积推广应用，尤其是在豫东沙区大面积沙兰杨与刺槐混交林的营造，迫使小叶杨退出河南平原地区，成为“四旁”或庭院绿化观赏树种之一，呈零星栽植。川涧滩地小叶杨天然林该天然林多分布在河南西部山区的伊河、洛河、汝河、涧河等河流川涧滩地上，呈面积不等的天然纯林或混交林分布。

河北省同样是小叶杨的故乡，然而现在已很难找到小叶杨林了。现在保留下来的都是一些古树，如在怀仁县桑园乡长梁寨村仅两株小叶杨大古树。一株树龄超过 500 年，树高 19m，胸径 1.82m。另一株树龄也有 500 年高龄了，树高 26m，胸径 1.8m。两棵老寿星历经苍桑，相依为命，能活到如今，足以证实了小叶杨的价值和地位。阳原县三马坊乡三马村有一小叶杨古树，树龄超过 450 年，树高 29.5m，胸径 2.26m。东西冠幅 30m，南北冠幅 32m，为雄株。该树在一直径约 5m 大的水池中生长良好，水池周围是散生几十株柳树，水池东侧有一泉眼。1997 年，009 项目在该树上采了 30 个插条，作为优良基因在奈曼旗小叶杨基因库扦插保存。在易县大盘石乡白家庄村发现的小叶杨古树树龄超过 200 年，树高 20m，胸径 1.2m。怀安县金沙滩林场曾是人工种植小叶杨的集中地，如今也只能看到几十株树龄超过 40 年的小叶杨大树，生长良好。

3.1.3 东北小叶杨

目前，东北地区有一定数量的小叶杨天然林次生林，纯天然林同样也是所剩无几，星点分布，主要在辽宁南部，辽宁、内蒙古和吉林三省区交界处一带。天然小叶杨常于小青杨混生在一起，从形态上难于区分这两个树种。

中国东三省西部有大面积小叶杨人工林。建国以来小叶杨人工林的发展速度较快，七十年代以前，小叶杨、小青杨一直是东北地区主要造林树种之一，得到长足发展。同时开展杨树杂交育种是东北林木良种繁育中开展最早的一项工作，取得了较大成绩，尤其是在杨树杂交育种研究方面成效显著，新品种不断推出。从 1957 年开始，以辽宁杨树研究所、吉林白城林研所、黑龙江省林科院等为代表的科研单位为东北和中国北方培育了众多小叶杨杂交品种。黑龙江省林科院 1959 年推出的小 x 黑杨，20 年生胸径可达到 39.2 厘米，树高 19 米。

远远超过亲本小叶杨的生长量。1961年,白城林研所选出的白城2号和白城41#杨(小x钻)已在东北西部大面积推广。辽宁(盖县)杨树研究所在1964年选育的盖县3#(钻x小)生长快,同时在抗旱、抗碱方面均超过亲本小叶杨。这些优良杨树杂交品种是东北30多年培育的260多个杨树新品种中的佼佼者,被确定为东北地区主推的9个最有发展前景杨树品种中代表,目前仍占有重要地位。

相对而言,在东北地区,发展针叶树的重视程度,以及针叶树的功能、作用都远高于杨树。因此,各地很少种植小叶杨这一杨树原始种,在适宜种植杨树的地区也都是发展杨树杂交品种。

吉林公主岭市杨大城子林场改造杨树低质林,据调查,该场目前低质、低产杨树林达4000多公顷,其中小叶杨占31.5%,小青杨占3.5%,品种杨占1.3%,其他1.4%。从1970年开始,实施了以针代阔更替小叶杨和其他5个改造措施,对低质林进行改造,现已完全由樟子松、落叶松替代了小叶杨等杨树品种。

3. 1. 4 小叶杨在国外

前苏联《远东地区乔木树种及其利用》一书报道说:“小叶杨在苏联远东地区,分布于边疆滨海地区的平原.适生于黑土地带,耐大气干燥和土壤干旱。”另一种说法是:位于爱沙尼亚北部的植物园的小叶杨(*P. simonii* Fastigiata Carr)是1920年下半年从中国引进的,当地人称它们为中国杨树。由此可见,前苏联分布的小叶杨很可能是由中国引进,这为小叶杨是中国的特有分布国家增加了有利的证据。

亚洲的日本和南韩也早有小叶杨分布的记载。日本早在1949年就有关于小叶杨种子储藏方法、播种和种子发芽率的报道(Res.Bull.exp.For.Hokkaido Univ.1949,14-2)。1969年,韩国对引种杨树无性系中,由病菌 *Cytospora* sp 引起的溃疡病作了相关性分析(Cellulosa e Carta 1969,20-2 Short notes on poplar growing in the far east :south Korea)。显然小叶杨在很早以前,就随着中国的文化一同传入到了日本⁽¹¹⁾。

小叶杨是在全球利用比较广的树种之一。在西欧的法国、德国、意大利等国,小叶杨已成为当地引种栽培树种,最重要的是用于科研和杂交育种、培育新品种。奥地利、捷克、保加利亚、荷兰、波兰现在均有小叶杨种植。

3.2 小叶杨形态，生态和生理学特性

3.2.1. 形态学特性

小叶杨为乔木，高达 20 多 m，胸径 50cm 以上。幼树皮灰绿色，老时暗灰色，纵裂。幼树小枝及萌枝有棱，老树小枝圆，无毛。芽细长，先端长尖。叶菱状卵形、菱状椭圆形，或菱状倒卵形，长 3—12cm，宽 2—8cm，中部以上较宽，先端骤尖或渐尖，基部楔形、宽楔形或窄圆，具细锯齿，无毛，叶柄圆有毛或无毛，长 2—6cm。雄花序长 2—7cm，序轴无毛。雄蕊 8—9 (25)。果序长达 15cm，果小，2 (3) 裂，无毛。花期 3—5 月，果期 4—6 月。

3.2.2. 生态学

小叶杨分布区的气温变化幅度大，冬季最低到-41°C,夏季最高到+43°C，小叶杨比青杨派其它树种耐大气干燥及夏季的高温，也耐冬季极度低温。小叶杨耐干旱，在年降雨量 400~700mm，相对湿度为 50%~70%，土壤含水量 15~20%的环境中生长良好。小叶杨抗风沙，耐瘠薄,在砂荒及黄土高原能生长,最适宜的则是湿润肥沃的黄土和冲积土。小叶杨对土壤酸碱适应范围较大，弱变盐渍化土壤上能正常生长。但不宜生长在 PH 值为 8 以上的重盐碱地上⁽¹⁵⁾。

3.2.3. 生理和生化特性

小叶杨耐旱、耐寒、抗一定盐硷。能忍受 40 高温和-36 低温。在年降雨量 400-700mm、年平均温度 10—15、相对湿度 40—70%的条件下，生长良好。小叶杨有较强的抗盐硷性，在土壤含盐量低于 0.4%，pH 值小于 8.4 的情况下，可正常生长，通常雄株的耐盐硷性强于雌株。小叶杨耐旱、耐盐碱，但并不是喜欢这种条件。实际上，在有盐碱和干旱、瘠薄的沙荒地，小叶杨生长表现不良，多成为“小老树”。而在肥沃湿润的地方生长好，是我国北方优良绿化和生产木材的好树种。如在河南肥水条件好的林地，十年生小叶杨平均树高 13.8m，平均胸径 19.4cm。小叶杨木材质软而韧，可供建筑、造纸、制家具等。小叶杨抗逆性强的原因是多方面的，目前的一些研究揭示了其中的一些奥秘。

小叶杨具有耐旱、耐瘠薄和抗盐硷等多种优良特性，一是它有发达的根系和旱生植物的独特性状。小叶杨根系发达，在沙地，实生幼树主根深达 70cm 以上，根系分布可达 1.7m，侧根长可达 4m 以上。小叶杨一级侧根水平生长较快，而下伸根的生长则相对较慢。一般用普通压条方法营造的人工林，根系的绝大部分分布在地面以下 20—70cm。小叶杨根系的发育情况、形态和根的下伸深度受土壤坚实度约束很大。生长在上层为沙性土，下层为粘硬土

质的林木，其根系的绝大部分只沿沙性的疏松层伸展，只有极个别的根向下伸展，并且在遇到坚硬层时，便产生曲折，常常和上部的水平根相互盘结在一起，发生这种情况的林木，地上部分多生长不良。在容重小的土壤上，小叶杨根系发育比较理想，营养根的数量大，地上部分生长正常。但在容重大的土壤上，根系发育较差，地上部分也相应生长不良。在地下水水位较高的情况下，小叶杨根系的下伸深度是以地下水位的深度为极限的，不能在地下水位以下的土层内生长，接近地下水位的根系往往发生腐烂现象。但是，高水位可以满足小叶杨对水分的需要，故一般认为高水位对小叶杨林的生长仍是有利的⁽¹⁶⁾。

小叶杨叶形小而厚，叶表皮细胞小，叶肉组织排列极紧密，叶背气孔少，叶脉密度大，小枝上有木栓质突起，以减少蒸腾。小叶杨蒸腾耗水量为 30T/天/ha，而 I-214 为 90T/天/ha；小叶杨的临界含水率仅为 I-214 的 74%。蒸腾耗水量低，除可适应于干旱地区生长外还有利于保护干旱地区地下水资源，不致因种植树木而丧失过多地下水分，引起地下水位下降。故能耐瘠薄和抗旱。

同时，小叶杨对二氧化硫的抗性比刺槐、核桃差，但与旱柳、毛白杨、五角枫的抗性相近，比白蜡、新疆杨强。经试验发现：各种树木对乙烯熏气的反应差异较大。小叶杨、毛白杨、银杏、桑树在接触 3PPm 乙烯 72 小时后，叶片脱落率低于 25%。泡桐、丁香的叶片脱落率为 25—50%。刺槐、臭椿大叶榆的叶片脱落率大于 50%以上。

3.3. 生长特性

3.3.1. 天然林生长特性

在西北许多河流两岸，分布着大片小叶杨天然林，生长旺盛。现已成为珍贵的优势资源。小叶杨天然落种更新能力强，在一些地下水位高、降雨量大的沙区和在湿润河流阶地、沟谷区，常有小叶杨天然更新的片林分布。但在人为活动频繁的地区，天然落种的小苗常受到人畜危害，难以成林。小叶杨在杨树属中，是一个寿命较长的树种，天然林树木寿命一般在 100 年以上，有的孤立木寿命高达 500 年。

3.3.2. 小叶杨人工林生长特性

在中国北方，人工种植小叶杨已有五十多年历史。由于种植方法和立地条件不同，小叶杨生长差异较大。小叶杨在正常生长的情况下，其高生长旺盛期约在 15 年以前，最高可达 20 多 m，以后生长逐渐缓慢，直径生长旺盛期约在 20 年以前。小叶杨在宁夏生长表现良好。

尤其在卫宁灌区的黄河冲积平原、水肥较好的地区，小叶杨生长迅速，群众多喜在宅旁种植栽培。如中宁县牛滩村一农民院内，一株 14 年生小叶杨，树高达 15m，直径达 37cm。银川苗木场一片小叶杨，30 年生树高平均达 21.3m，最高达 23.6m，直径平均达 44.1cm，最粗达 58.7cm。详见表 3—1。

表 3—1. 小叶杨生长进程表

年龄	5	10	15	20	25	29
生长情况						
树高 (m)	4.2	10.6	14.4	16.6	18.6	19.9
直径 (m)	5.3	20.7	16.2	25.4	28.9	33.0
胸高断面积 (m ²)	0.00221	0.02061	0.03365	0.05067	0.06560	0.8553
材积 (m ³)	0.00934	0.09814	0.21746	0.36228	0.53080	0.77636

地点：银川南郊

4. 小叶杨种类及其杂种

家族庞大华丽，多彩多异的小叶杨！

大自然造就了众多小叶杨变种和变形！

小叶杨后代济济，杂种优势再现小叶杨本色。

中国是杨树的起源中心，其家族庞大华丽，多彩多异，倍受人们钟爱。目前，散生在中国的杨树天然纯种有 50 多种，从国外引进的种或杂交品种有 1000 多种，国内杂交种就更多了。因此，杨树资源和品种的瞬间发展变化较大，很难有准确的统计。小叶杨是杨属大家族中青杨派的成员，树体高大、抗性强、易繁殖的特性决定了深受人们喜爱和青睐。

小叶杨属森林草原偏湿的旱生发育型树种，种内形态差异多样。分类学家在种内分出了好几个变种与变型，甚至分出其它种。

4.1. 小叶杨变种与变型

在其长期的系统发育过程中,经过自然选择和人工栽培,小叶杨形成了一些形态特征和特性显著的不同类群。到目前为止,在我国已发现小叶杨有 8 个变种,各变种和变型的特性简述如下:

A. 宽叶小叶杨 (*P. simonii* Carr. var. *latifolia* C. Wang et S.L Tung): (《中国植物志》、《中国树木分类学》) 变种。突出特征是叶上面沿脉及柄有毛,叶柄疏被柔毛,这是与其他变种和变型的显著区别。但叶为菱状宽卵形,宽大于长。果序轴被柔毛;果柄短,被柔毛。产于河北、内蒙古和辽宁南部鞍山一带,常生长于河滩沙地。

B. 辽东小叶杨 (*P. simonii* Carr. var. *liaotungensis* < C.Wang et Skv.>C.Wang et Tung): (《中国植物志》、《中国树木分类学》) 变种。突出特征也是叶上面沿脉及柄有毛,但叶为菱形,宽小于长。产于辽、冀、内蒙等地,常生于河滩沙地。

以下 6 个小叶杨变种叶脉及柄没有毛。其中叶为革质的 2 种,如:

C. 圆叶小叶杨 (*P. simonii* Carr. var. *rotundifolia* S. C.Lu ex C. Wang et Tung): 《植物研究》 变种。本变种叶为革质,叶圆形、近圆形,长、宽各 5.0~6.0cm。产于内蒙古赤峰地区。河南义马市义马矿务局林场有天然分布。

D. 秦岭小叶杨 (*P. simonii* Carr. var. *tsinlingensis* C.Wang et C.Y.Yu): 《秦岭植物志》 变种。本变种叶为革质,叶卵状披针形,革质,先端渐尖,基部宽楔形或近圆形,边缘中部以上具稀疏腺齿。产于陕西秦岭海拔 1300m 山区、溪边。秦岭小叶杨在河南灵宝、洛宁、义马等县、市有天然分布。

另有 4 种叶为纸质。这四种中,叶窄小有两种:

E. 垂叶小叶杨 (*P. simonii* Carr. f. *pendula* Schneid.): 垂叶(枝)小叶杨《中国植物志》垂杨《中国树木分类学》 变型。本变型树冠宽大,侧枝细长、下垂。叶菱状卵形。产于湖北、甘肃。在河南洛宁、栾川、卢氏等县有天然分布。

F. 菱叶小叶杨 (*P. simonii* Carr. f. *rhombofolia* Kitag. C. Wang et Tung) 《东北木本植物图志》 变型。本变型叶窄菱形,长 3.5~5.0cm,宽 1.2~2.5cm,先端渐尖或长渐尖,基部楔形,中部较上最宽。产于辽宁大连、金县等地。河南:栾川、洛宁、卢氏等县有天然分布。

叶宽大有两种:

G. 扎鲁小叶杨(*P. simonii* Carr. f. *robusta* C.Wang et S.L Tung): 《东北木本植物图志》,《中国树木分类学》,产于内蒙古通辽市扎鲁特旗。与其他小叶杨比,该种干型通直,

材质较硬。

H. 塔形小叶杨 (*P. simonii* Carr. f. *fastigiata* Schneid.): 《东北木本植物图志》 塔杨《中国树木分类学》 变型。本变型侧枝向上近直立状; 小枝斜展, 形成塔形树冠。产于河北、北京、山东。河南和陕西有天然林分布。

另, 在河南省和内蒙古各发现小叶杨变种一个:

洛宁小叶杨 (*Populus simonii* Carr. var. *luoningensis* T. B. Chao) 《河南植物志》, 《洛宁植物志》, 白皮杨变种。本变种树冠圆球形; 侧枝粗壮。树干通直; 树皮灰白色或白色, 光滑。叶宽菱状卵形或菱状椭圆形、宽倒卵形。雌株! 子房具小疣点突起。洛宁县有天然分布。此外, 在洛宁县有一特殊的形态小叶杨类群。该类群为中等乔木, 树高 15m, 树冠宽圆柱形, 中央主干明显, 侧枝短、平展。小枝呈长枝状下垂达地面, 极为美观, 是一优良观赏类群。变型的小叶杨一般幼壮枝通常红褐色, 具明显棱线。叶菱状卵形、菱状倒卵形等, 中部以上最宽, 先端突急尖, 基部楔形, 边缘具细锯齿, 两面无毛; 叶柄圆柱形, 长 5~40mm。雌雄异株! 雄蕊 8~9, 稀多数; 子房卵圆球形, 无毛。果序长 8-15cm; 蒴果卵圆球形, 成熟后 2 瓣裂⁽¹⁸⁾。

在内蒙古库仑旗有短毛小叶杨(*P. simonii* f. *brachychaeta* P. Yu et C. E. Fang) 分布, 长势良好。

4. 2. 以小叶杨为亲本的杂种或无性系

一些小叶杨的杂交后代在中国北方表现亦突出, 如六十年代的小意杨、群众杨, 现在推广的小黑杨、小钻系列杨等。

群众杨 (*P. simonii* x (*P. pyramidalis*+ *Salix matsudana*) cv. *Popularis*)

群众杨系中国林科院在 1957 年, 以河南小叶杨为母本, 美国钻天杨 (*P. pyramidalis* Borkh.) 和旱柳 (*Salix matsudana* Koidz) 混合花粉 (1: 8) 为父本进行杂交, 培育的优良小叶杨杂交后代。群众杨主干通直, 尖削度小, 侧枝斜向上, 树冠较窄, 适合用于农田防护林种植。群众杨以其速生、耐盐碱、耐旱、抗腐烂病及溃疡病等特点在华北、西北干旱盐碱地区推广种植, 推广面积达 123 万 ha。但其水肥条件要求较高⁽¹⁹⁾。

小意杨 (*P. simonii* x *P. nigra* var. *Italica* Muench Koehen)

小意杨是南京林学院于 1959 年以北京小叶杨为母本, 南京引进的意大利杨为父本的杂交后代, 又经多年选择, 培育出的优良品种。该树种引入北疆昌吉回族自治州和南疆喀什地区后, 均生长良好, 特别是在抗寒 (能耐 -36℃ 低温)、耐旱、耐瘠薄、耐盐碱等方面表现突出。从 1966 年引进后, 历经多次低温, 仍能正常生长, 而且长势较快。小意杨 2 年生开始

超过新疆杨。新疆林业科学院试验表明, 2年生小意杨在高生长与胸径生长上, 分别超过新疆杨 49%与 65%,同时也超过箭杆杨.据在昌吉回族自治州部分县调查, 近年来共繁育营造小意杨林 977ha 及 36 万株。尽管小意杨具有树形不理想, 分枝多等问题, 但仍是干旱沙地和盐碱较大地区营造片林及林带的树种之一。

小黑杨 (*P. simonii* x *P. nigra*)

小黑杨是中国林业科学院 1960 年以北京地区小叶杨为母本, 苏联欧洲黑杨为父本培育的杂交品种。其抗旱、速生性强, 在三北地区种植, 材积生长比小叶杨和小青杨提高 1-3 倍。小黑杨主要在东北三省发挥优势, 在松辽和三江平原, 人工小黑杨林已超过 100 万 ha, 生长较好。虽然现在也出现缺陷, 但至今小黑杨仍是东北主栽品种。目前东北地区在长期的种植小黑杨的过程中, 又发现和选育出多种优良类型在生产中推广应用。小黑杨引进新疆后, 在南北疆都进行了试验与推广, 具有速生、抗寒、耐旱等优良特性。在乌鲁木齐、博乐和玛纳斯地区, 在水肥条件较好情况下, 6 年生小黑杨平均树高达 14.64m, 胸径平均达 17.7cm, 每公顷立木蓄积为 225m³。从第 4 年起进入速生期, 生长量超过小叶杨, 抗虫能力也超过小叶杨, 在含盐量达 0.55%时, 仍能正常生长。抗寒性特强, 能在-43℃的严寒地区和湿润、半湿润及干旱地区生长, 具有广泛适应性。小黑杨前 7 年的高粗生长情况均超过群众杨, 直至 11 年生时, 高生长虽稍落后, 但径生长量仍超过群众杨。

小黑杨木材性质较新疆杨差, 但与小叶杨相近, 且树干通直, 树冠较窄, 是较好的平原用材林及防护林树种。八十年代, 在昌吉等地已推广造林 14ha, 零星植树 8.1 万株。现在已大面积推广种植。群众杨在新疆地区生长良好, 一般 5 年生胸径 12cm, 8-9 年 16cm。

小钻杨系列 (*P. simonii* x *P. pyramidalis*) = *P. xiaozuannica*

中国北方由于引进的钻天杨与小叶杨都分布很广, 因此两者的天然杂交种类十分多。多年来, 经过自然选择和人工培育, 各地都推出了适合本地区的小钻杨系列, 并冠于当地地名, 如法库小钻、兴城小钻、白城 41#、赤峰杨、二白杨、合作杨等等。该杂交系列品种都具备了小叶杨抗逆性强的优势, 在中国北方, 尤其是在三北地区表现出较强的抗旱、抗寒和速生特性, 深受当地人们的喜爱, 故种植面积一直较大, 成为三北地区民用材的主要来源。近几年, 在三北地区, 小钻杨新的杂种也不断被选出和推广, 一代更比一代强。

如法库 1 号杨是“中国三北 009 项目”1990 年从辽宁省锦州市引进的天然小钻杨品种。该无性系是小叶杨和钻天杨的杂交种, 选自辽宁省法库县, 其生长特别快, 具有树冠窄, 侧枝不发达, 分支角度小。引种在吉林省白城地区造林 6 年, 树高达 11.5 m, 胸径可达 17.5 厘米, 是白城 41#杨的 %。引种在内蒙古通辽市造林 7 年, 胸径可达 19.5cm, 胸径生长量是

当地主栽杨树品种的 122%。特别是，在有灌溉条件，或地下水位大于 3 米的立地条件类型区，生长十分快，年胸径生长量超过 3cm，是理想的速生丰产优良品种。
该品种抗旱性不如白城 41#杨，法库 2#杨比法库 1#抗寒。

5. 栽培与管理技术

精心呵护，精心利用，发展小叶杨资源！

科技应用和创新，让小叶杨作用发挥，再创佳绩。

小叶杨及小钻杨类杨树在我国干旱、半干旱地区栽培历史悠久，栽培方法因地制宜，多种多样，但要坚持培育壮苗、座地苗（就地育苗），造林用壮苗、大穴、深栽的造林方法，结合施肥、灌水、修枝、间作等集约栽培措施，就能产生较大经济效益和生态效益⁽²⁰⁾。

5.1 播种育苗

小叶杨种子成熟期有所不同，一般在5月中上旬左右。当果穗颜色由灰绿色变为褐灰色，并有少量微裂时，是采种的适宜季节。

采种方法：用尖刀从树上剪摘果穗，果穗运回后，在室内、置于凉席上，经常翻动，待种子吐絮后，轻敲打，用手工过筛，筛出净种子。种子脱粒后要及时播种，存放时间过长，会影响发芽率。在室温10℃条件下，第二天发芽率在85%，第三天为75%，第四天为52%，第五天为40%，第十天为15%，第十二天为1.2%。播种多采用平床作业，床宽1.0—1.3m，床长不限，一般为10—15m。播种前用清水浸泡种子1小时，再用高锰酸钾溶液浸泡10分钟，用清水洗净，再用清水浸泡1小时即可与沙混合后播种。单位面积播种量，在千粒重为0.45克，净值为90%，发芽率为80%以上的条件下，每亩播种1.0斤。计算播种量的公式为： $X = (P \times N \times 10) \div (E \times K) \times C$ 式中：X：播种量；P：种子千粒重；N：计划产苗量；10：常数；E：种子净度；K：种子发芽率%；C：损耗系数一般为24%。

在播种前灌足底水，待播床湿润而无积水时，即可播种。为防止地表干裂缺水和被大风吹刮已播种子，播后可用草帘覆盖或用地膜覆盖，待幼苗长出一片真叶时，即可掀除庇荫，并根据土壤含水情况，每两天灌水一次。在苗木速生期要保证足够水分，生长后期应少灌水或不灌水，以增强苗木木质，促进根系生长。播种后一个月每亩施尿素10kg，第二次施肥量为每亩2kg，以后逐步增加。9月中旬以后停止施肥和控制灌溉，促进苗木木质化。为保持圃内无杂草，要及时除草和松土，要及时间苗和定苗，留优去劣，均匀留苗，早间多次。在真叶长到3对时，即可进行第一次间苗。同期主要防治叶锈病、褐斑病和地下害虫蝼蛄等

(21)。

5.2. 扦插育苗

小叶杨扦插育苗成活率较高，方法同常规杨树扦插法。扦插方法多采用大垄单行，行距 50 cm，株距 40 cm，每亩扦插 3330 株为最佳扦插密度。

5.3. 造林方式

5.3.1 人工植苗造林

目前，各地多推行“三大一深”抗旱造林方法，即大坑、大苗、大肥和深栽技术，是培育旱做杨树丰产林的造林模式。按规定造林密度挖 $1 \times 1 \times 1$ m 穴，选两年生以上小叶杨大苗，或选择两根一干苗，每公顷栽植株数约 1500—1600 株。栽植时施基肥（能浇灌保活水更好）。用这种方法造林成活率高，苗木生长快，一般只需 12 年便可成檩材砍伐。造林整地方式很多，要坚持采用适宜集水的造林整地方式以提高林木抗旱能力。

采用大穴深栽，有利于增强根系分布的深度，扩大根系摄取营养空间，有利于根系吸收深层土壤水分，增强抗旱能力。在陕西、山西、内蒙古等省区多采用这种造林方法，同时在黄土高原适宜采用该造林方式。

5.3.2 机械开沟加人工挖穴植苗造林

春季造林前，用 45 开沟犁在造林地开沟，然后人工在沟内挖 30×30 cm 的穴，将 1-2 年生小叶杨苗木植入穴内。要严格选用《苗木标准》规定的 1 级优质苗，特别是选那些根幅大于 25 cm 的苗木。适宜栽植密度：八十年代多采用 $3 \times 3 \sim 4 \times 5$ m 株行距造林，九十年代逐步改为 $2 \times 4 \sim 3 \times 6 \sim 4 \times 4$ m 等中等密度为主，成活率可以达到 85% 以上，15 年可成材。

这种造林方法多用于土壤水分条件好的科尔沁沙地、毛乌素沙地和嫩江沙地的吉林、内蒙古、辽宁陕西等省区。用小苗造林，也可采取截干的办法，减少苗木失水，提高造林成活率，而且可以提高造林效率，降低成本。

5.3.3 钻孔深栽造林

钻孔深栽造林技术是一项行之有效的抗旱造林技术，而且用的是平茬苗干，从育苗、运输，到造林均容易，是投入少，成本低、见效快、操作简便，成活率高和生长量大的造林技术。在特别干旱的年份，钻孔深 1.3m 时，造林成活率达到 90% 以上，而传统造林的成活率仅为 70%。其中，钻孔造黑林 1 号杨和白城 41# 杨的胸径生长量是传统开沟造林的 116% 和 136%。钻孔造林效率为 350 株/天（台班），成本为 0.57 元/株（随着深度的增加，成本相应提高）。

选用 009 项目改制的钻孔机，以小型农用四轮拖拉机为牵引动力（30 马力以下），一般钻孔深度为 1.3---1.7m，人工将无根的 1-2 年生苗木插入孔内，然后添土捣实。造林时间秋季和春季均可，造林的成活率无很大差异。

5.3.4 深松插干造林

深松插干造林是用单齿犁在沙地深犁 80 cm 后，由人工直接将苗干插入深松沟内的半自动化造林方式，其造林不需整地，对沙地表层破坏小，土壤保墒好，而且用的是平茬苗干，从育苗、运输，到造林均容易，是投入少，成本低、见效快、操作简便，成活率高和生长量大的造林技术。造林效率在 8000-12000 株/天（台班），造林费为 1352 元/ha（不含苗木费），每株造林成本仅为 0.11 元，是机械钻孔和人工戳孔的 1/5-1/3。在科尔沁沙地连续干旱的情况下，深松插干造林成活率达到了 96% 以上，而开沟造林为 78.4%。

深松插干植树机可用东方红-802 型履带拖拉机悬挂 90cm 深，6cm 宽的单齿犁，深松 75-80cm，由人工将 2-3cm 粗，80-100cm 长的 1-2 年生去根苗干插入松土内，由植树机镇压轮压实保墒。造林以秋季为好，用两年生不带根的基部苗干为宜，苗干粗度在 2cm 以上，长 80-85cm。深松插干造林适宜于科尔沁沙地和同类地下水位高的地区，也适宜在三北地区地下水深 3-6 米的固定沙地、半固定沙地区推广。

深松插干造林不仅适合易生根的杨树，而且也适合柳树、刺槐等树种。培育的苗干可截成数段使用，但以基部为好。目前，深松插干造林出现了当年生枝条抽干现象，其中，大青叶蝉危害是造成枝条抽干原因之一。经调查发现：用两年生苗干造林枝条抽干率为 18%，一年生枝条抽干率为 40%⁽²²⁾。

5.4 经营管理

适于栽培小叶杨及其杂交种杨树的地域很广，除按树种选择造林地，按不同立地条件整地，用 1、2 年生优质苗，提倡大穴深栽等造林技术外，在经营管理方面，必须坚持对造林地灌水或实施深栽抗旱造林措施。在灌溉区，林业离不开灌溉，有灌溉则成林，无灌溉则不成林，灌溉合理则速生，否则林木生长不良，成为“小老树”。在旱做区造林，在采取深栽抗旱造林的措施同时，还应实施集水和稀植措施。另外，在施肥方面可在造林时施基肥，在林龄 2~5 年间，每年追肥一次，施肥量因地制宜，一般每株树深施尿素 0.25kg，过磷酸钙 0.25 公 kg。

杨树集约经营必须遵从三条基本原则：经济成果最大，资产消耗最小，经济效益最佳。在小叶杨适生的干旱半干旱区更多的强调生态效益的同时，也必须强调经济效益。在内蒙古老哈河滩地，对赤峰 34#杨人工林进行集约与粗放经营造林对比试验。其立地条件完全一致，土壤为沙壤土，地下水位 2.5 m，采用相同规格苗木造林，只是在造林、经营技术方面集约程度不同，其林木生长差异极大，无论从经济效益或生态效益方面二者差之甚远。

不同的林种有着不同的成熟龄，从而决定各自的轮伐年龄。防护林和以防护林为主的防护用材林，按自然成熟龄决定其轮伐年龄。培育不同林种为目标的人工林，林种的工艺成熟龄则是决定轮伐年龄的依据。数量成熟龄的大小则是标志林分培育的前途。

5.5 主要病虫害种类与防治

5.5.1 主要病害

A. 杨苗黑斑病 (*Marssonina*)

杨树幼苗黑斑病,已知在黑龙江、吉林、辽宁、蒙古、山西、河北、河南、江苏等省区都有分布，是北方地区杨苗的大害，它不仅引起杨苗早期落叶，还能造成育苗失败。该病发生在叶片上，自下而上蔓延。发病初期先在叶背出现黑褐色点，2-3 天后扩大到 1mm。5-6 天后病斑（正反面）中央出现灰白色突起的小点，即病原菌分生孢子盘。以后病斑扩大联成大斑，多成圆形，少数为角形。发病严重时，整片叶变成黑色，干枯而脱落。苗木幼嫩时，若全部叶片枯死，即导致植株死亡。若小苗于出土时发病，小叶及苗茎全死变黑，病苗扭曲不直。防止措施：要采用清除病原，促进苗木健壮生长和喷药保护的综合性措施。具体方法：不在低洼和靠近水沟的地段上育苗。幼苗期间及时间苗，勿使过密。适当施用速效肥以促进生长。发病期间喷洒下列药剂可减轻病害：65%代森锌稀释液，10%二硝散，1：1：200 波尔多液，福镁铁 100-250 倍液及 0.6%等。

B. 杨树灰斑病 (*Mycosphaerella mandshuruica* Miura)

由东北球腔菌 (*Mycosphaerella mandshuruica*) 引起，其无性孢子时代属半滋菌的杨棒盘孢菌(*Coryneum populinum* Bres.)是发生在杨树（小苗到大树）上的一种主要叶部病害，尤以幼苗、幼树被害严重，分布在中国河北、辽宁、吉林和黑龙江等省。小叶杨、小青杨发病率及病情指数均较高。该病的发生与降雨、空气湿度的关系密切，多雨时易出现枯枝病状，大量发病。苗床上幼苗发病最重。病害防治应侧重于防。主要是掌握种植密度。药物防治可在 5 月或 6 月进行，用 65%代森锌 1：500 倍稀释液，或 1：1：125-170 波尔多液，每 15 天喷

1次，用消石灰+赛力散（10：1）粉剂，效果也好。

C. 杨树溃疡病 (*Dothiorella gregaria* Sacc.)

主要发生在杨树移栽后的缓苗阶段，在我国北方危害十分严重，是影响造林成活的主要因素之一。1955年首次在北京发现，以后在辽宁、河北、陕西、江苏等省陆续发生。该病是杨树干部和主枝上的重要病害，不仅危害苗木，也危害大树。一般在皮孔的边缘形小泡状溃疡斑，初为圆形，极小，不易识别，其后水泡变大。泡的大小不等，直径0.5-1.5，泡内从满褐色黏液，随泡破流出淡褐色液体，与空气变黑褐色。最后病斑干缩下陷，中央有一纵裂小缝。严重受害树木，树皮上病斑密集，相互连接，以致养风不能输送，植株逐渐死亡。防止方法：选用抗病品种并加强栽培管理，改善生长条件，是防止病害的有效措施。严格控制苗木等侵染来源，进行苗木消毒，杜绝病害传播。用2：2：100波尔多液、30%福美砷40倍液、70%甲基托布津100倍液、或40%多菌灵50倍液均有一定疗效。

D. 杨树烂皮病 (*Valsa sordida* Nits.)

又称腐烂病，主要分布于我国东北、西北、华北等地，是杨树的常见病与多发病，个别地方可引起杨树大片死亡。其病原真菌金黄壳囊孢 (*Cytospora chrysosperma* Pars.Fr.) 属弱寄生病菌型，它的侵入、扩展都受条件限制。早春冻害是烂皮病诱因之一，可以用测定杨树无性系早春冻害的表现来估测杨树的抗病能力。因小叶杨为耐寒、抗旱品种，其杂交后代小黑杨也较为抗病。该病4月下旬-6月上旬为发病盛期，因此，4月中旬-5月上旬进行药物治疗效果较好。防止方法：刮除病斑老皮，刷上药液。较好的药剂是退菌特土面增温剂合剂（1：50：200），其次是多菌特、退菌特、甲基托布津。该病的流行与气候土壤等自然因子有密切关系。平均气温在10-15⁰C之间，有利于病害发生。冬季冻害，春季干旱，夏季日灼，以及地势低洼，土层盐碱瘠薄，遭受虫害等，是本病发生的诱因。

E. 杨树根癌病 (*Agrobacterium tumefaciens* Smith et Towns.)

又名冠瘿病，分布于世界各地。此病主要发生在根茎处，有时也发生在主根、侧根和地上部的主干、枝条上。在发病部位开始出现近圆形、蛋黄色的小瘤，表面光滑，质地柔软。以后病瘤逐渐增大成不规则块状，在大瘤上又出现许多小瘤，表面粗糙并龟裂，质地坚硬，后变深褐色，最后外皮脱落，落下许多突起小木瘤。瘤的内部，组织紊乱，混生有薄壁组织及维管束。根癌病对于植株生长的影响大小，取决于病瘤发生的部位、大小、数量及树龄等因素。一般发生在根茎和主干的病瘤，当环干一周后，其上部生长缓慢，甚至枯死或影响干形，引起枝枯，对苗木和幼树影响很大。防止方法：发现病苗，立即烧毁，可疑苗木出圃前用1%硫酸铜液蘸根，用清水冲洗后再栽植。对轻病株应及时切除病瘤，用石灰乳或波尔多液

涂抹伤口或用青霉素等进行皮下注射。用甲醇、冰醋酸、碘片（50：25：12）混合液或二硝基邻甲酚钠、木醇（20：80）液涂敷病瘤，能使病瘤消失。用放射形土壤杆菌（*Agrobacterium radiobacter*）进行生物防治效果显著⁽²³⁾。

5.5.2 主要虫害

A. 黄斑星天牛和光肩星天牛 *Anoplophora nobilis* Ganglbouer & *A. glabripennis*

Motsch) 这是杨树的主要蛀干害虫之一，在我国杨树分布区都不同程度地遭到该虫的危害，以农田防护林和四旁树木受害最严重，甚至成为中国北方发展杨树的主要障碍。害虫以幼虫钻蛀杨、柳、榆等树种树干为危害方式，对树木危害性大，一般用难以药物防治。该害虫对三北防护林工程已造成巨大损失，各地研究对防治方法研究了十几年，取得了一定成果，但还未有一种方法能推广应用。一般采用化学防治、物理防治和生物防治相结合的综合防治方法效果最好。化学防治对采用在 5-6 月，树皮卵刚孵化出的幼虫尚未钻蛀到树干深处时，喷施高渗透性药剂，如锌硫磷试剂，可杀死幼虫。也可采取用毒泥堵虫孔，用毒签插虫孔的办法。物理防治多采用人工挖皮下幼虫和用锤砸皮下卵和幼虫的办法，或对虫害木实施高频点击杀虫的办法。生物防治可采取在林地挂鸟剿，招引啄木鸟灭虫，也可在林地释放肿腿蜂，或在树干虫孔处施白僵菌和青虫菌的办法灭虫。

木蠹蛾 (*Cossus cossus orientalis* Gaede)

此类害虫钻蛀危害阔叶树根干部，造成受害林木风折枯死。有人认为，木蠹蛾的发生与天牛相关，某些被天牛危害的杨树易供木蠹蛾产卵。但榆树、刺槐等在未受任何虫害情况下，受木蠹蛾危害也相当严重。过去人们对木蠹蛾、天牛等钻蛀性害虫的防治，多侧重于对已蛀入根内的幼虫进行化学防治。但这种方法只能应急，不能减少虫口密度。因此，现多采用综合治理，即通过加强营林技术包括择伐、混交、修枝等，改变林木组成，创造不利于害虫发生、发展的环境条件；采用喷雾杀卵或初孵幼虫；或用药剂注射虫孔，毒杀干内幼虫；在树干基部钻孔灌药，使内吸传导毒杀干内幼虫；或用磷化铝堵塞虫孔熏杀根干内幼虫；或用灯光诱杀成虫；用性信息激素诱虫，也用生物防治和利用天敌防治。

白杨透翅蛾 (*Paranthrene tabaniformis* Rottenberg.)

以幼虫钻入树干内危害，被称为钻心虫。白杨透翅蛾以幼虫蛀食树干侧枝的顶梢嫩芽，造成枯萎秃梢分吹倒折死亡。防止方法：苗木检疫，严禁带虫苗木出圃，剪除有虫枝，防止扩散。药剂防治：6-7 月幼虫初期，每半月喷化学药剂 1 次；或用药棉塞入蛀孔，在幼虫化蛹前用二硫化碳或 DDT 棉球塞孔，并用粘泥封口，毒杀效果较好。生物防治可采取保护天敌，

招引啄木鸟。在苗圃地放性引诱剂引诱成虫效果最好。

杨圆蚧 (*Quadraspidiotus gigas* Thiem et Gerneck)

此虫寄生在林木的主干和大枝上，以其口器刺入韧皮部吸取养分，随着害虫的生长发育，蜕皮与分泌的蜡质形成蚧壳覆盖虫体。蚧壳虫严重加害密布枝干后，封闭树干皮孔，并使树皮下陷，到后期树皮变褐坏死干裂，整个树冠枯黄，严重影响林木生长。防止方法：1 林业措施在插条造林时，要严格实行检疫，禁止带有杨圆蚧的插条出圃造林或外运；加强抚育管理，发现严重被害林木，及时砍伐烧毁处理。2 化学药剂防治：在杨圆蚧出孵若虫期较长，初孵若虫盛期及在未固定前于树干上下爬行时是防止的有利时机，初孵若虫固定后 1-2 天即开始分泌蜡质，此时抗药性增强。故在施药前应做好虫情预测，可在 6 月下旬和 7 月上旬喷药处理，部位在干部。使用药剂一石硫合剂效果最好，其次为氧化乐果与松脂合剂。3 生物防治 寄生或扑食杨圆蚧的天敌种类横多，主要有瓢虫科小蜂科蚜类，其中以红点唇瓢虫 (*Chilocorus kuwanae silvestri*) 与蚜小蜂(*Prospatella* sp)对杨圆蚧抑制作用最为显著。因此，要加强对天敌保护。

杨扇毒蛾 (*Clostera anachoreta* Fabricius)

严重危害各种杨树。初孵幼虫群居取食叶面叶肉，稍大即吐丝缀叶成苞，幼虫成群潜伏其内，夜间取食全叶。该虫繁殖快，数量多，分布广，大发生时极易成灾。防治方法：1 人工灭蛹。着除虫苞或结合冬季积肥清除落叶，可消除越冬蛹。2 化学防治：幼虫期可喷洒敌百虫 1000 倍液，50% 辛硫磷乳剂 1500 倍液，或金苏云杆菌制剂。3 释放人工繁殖的赤眼蜂。用黑光灯诱杀成虫。

杨干象 (*Cryptorrhynchus lapathi* L.)

又名杨干白尾象虫，杨干象甲等，是杨树的毁灭性害虫，广布于欧洲亚洲许多国家。幼虫在韧皮部环绕树干钻蛀坑道切断树木的输导组织导致枯死。其天敌有蟾蜍 (*Bufo* sp.) 取食成虫，棕腹啄木鸟 (*Dendrocopos hyperythrus subnufinus* Cabanis et Heine.) 取食幼虫；幼虫期尚有一种姬蜂和球孢白僵菌 (*Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill.) 寄生。白僵菌的抑制力较大。防止方法：作好苗木检疫工作，杜绝苗木传播；于 4 月末至 5 月中旬，对 5 年生以下的幼树用 40% 氧化乐果乳油或 50% 的倍氰松乳剂原液在树干的 2 米左右涂成 10CM 宽的要换，杀虫率可达 100%；在 6 月中旬到 7 月成虫产卵前喷 40% 氧化乐果乳油或 50% 的倍氰松或 50% 杀螟松 800 倍液。对严重被害的树干应沿根基处伐除并烧毁⁽²⁴⁾。

6. 研究与进展

深入解剖小叶杨，研究与开发并举， 使中国小叶杨成为世界重要树种。

中国是世界上对小叶杨研究最广的国家之一，已在分类学、栽培学、遗传育种学等方面取得重要成果。目前涉及小叶杨生理学、遗传学、解剖学等，在应用基因工程、细胞工程和分子标记技术开展小叶杨单倍体花粉植株培养、胚胎组织培养、有性杂交等方面展示了研究成果和水平。但国内外对小叶杨的研究并没全面系统开展，仅对小叶杨生理、生态、遗传等方面进行了少许研究⁽²⁵⁾。

6.1 国内外科技文献中的小叶杨研究进展

小叶杨应成为世界寒冷，干旱国家杨树研究的重要的林木基因资源，现已得到许多国家的重视。从有记载的科技文献中便可见一斑⁽²⁶⁾。

自三十年代以来，有 19 个国家，发表了 195 篇以小叶杨为主题的科技文献。其中，中文文献数量最大，有 102 篇，其次为俄文文献，占 14.4%。由于小叶杨的地理分布区在中国和苏联的远东地区一带较多，因此，该国对这一乡土树种研究自然较多。另外，英、德两国的林业科研文献表明，虽无小叶杨分布，却在研究和利用上走在世界前列。在小叶杨科技文献中，世界各国林业科研的重点在森林病虫害和林木育种上，分子标记、细胞工程等生物技术在这类研究中应用较多。其次，木材结构，化学物性质及其利用及树木生理、解剖学等基础研究居中。在英国，则更注重小叶杨生理、病虫害和对环境保护作用的研究。德国注重小叶杨病虫害和遗传学的研究。同时英、德两国学者都非常关注中国和其他国家在小叶杨方面的研究成果，并有这方面的论述。亚洲一些国家对小叶杨研究较早，如日本。日本早在 40 年代就对小叶杨种子进行过研究。韩国在 60 年代有小叶杨方面的研究，他们的研究在抗病虫育种和小叶杨生理学上。

不同时间段，研究的侧重点不同。80 年代到 90 年代对小叶杨的研究涉及的学科多，研

究的手段新颖，研究水平高。其中，前苏联研究认为小叶杨在不同地区对水库、干草原、盐碱土地适应性强，防护作用大，在防止水土流和改善环境方面发挥了重要作用。因此，此类文献较多，占俄文小叶杨文献的 44.8%。同时，从俄文文献中看到，小叶杨在城市绿化中对防止环境污染包括 SO₂、氯化物、粉尘、辐射等方面的研究较多。当然，对小叶杨木材及其它到产品的利用也倾心研究，发现小叶杨是良好的香脂树种。

国内对小叶杨研究较全面，尤以小叶杨生理学、遗传学、解剖学等基础研究文献量最多。森保类的病、虫、草害的防治以及林木育种学也是研究的热门。组织培养等生物技术应用研究是较新的技术，同时在小叶杨单倍体花粉植株培养、胚胎组织培养、有性杂交和基因工程、细胞工程、分子标记研究方面也展示了成果，从中反映了中国杨树研究在这一时期进入了新时代⁽²⁶⁾。

6.2 小叶杨研究进展

6.2.1 小叶杨栽培与生理学方面的研究

1949 年日本人首先对小叶杨种子的发芽力进行了研究。中国姚秀玲等（1989）对不同时期采集的小叶杨种子进行储藏试验研究发现，6 月中旬是采收小叶杨种子最佳时期。在一般条件下储藏，种子寿命是 1-2 年，低温干燥和密封条件下储藏，种子寿命可延长到 6-7 年；储藏时的安全含水量为 2%-5%。赵天锡等（1994）对小叶杨的杂交种小黑杨和黑小杨的群状栽培研究中，确定了杨树的栽培指数和二元立木材积表，为集约经营方面的研究提供了可靠的依据。韩蕊莲等（1994）在经营方面的研究表明，对小叶杨的人工造林进行施肥试验，株施尿素 0.325kg，与株施过磷酸钙 0.1kg 比较，施肥后叶水势、叶含水量和束缚水、蒸腾速率均有提高，氮肥在改善水分子光合作用方面比磷肥更有效。林地施肥对小叶杨生长和林地营养状况有改善，却加剧了林地土壤水分亏缺的趋势。一些研究部门广泛开展了小叶杨引种研究，尤其是在青海高原引种。各地在引种小叶杨造林中发现，小叶杨适生范围广，从甘南到陕北，它都是优良造林树种，也是营造速生用材林的好树种。王葆芳等（《林业科学研究》，1995，8-1）研究了干旱区杨树人工用材林灌溉量与土壤水分的关系。

6.2.2 物质代谢和水分生理研究

王孟本等（1996）对晋西北小叶杨平均蒸腾强度为 0.0768。蒸腾强度早晚低，中午强，呈单峰曲线，并与光照气温和相对湿度间有二次抛物线关系。胡新生和王世绩（1996）选用

两个速生杨（群众杨和欧美杨 25/86）和两个生长较慢的杨树（小叶杨和欧美杨 28/86），在水培育苗中采取不同湿度、适应的水分梯度胁迫和解胁迫处理研究，测定了这些杨树在不同相对湿度条件下的净光合速率、气孔导度和蒸腾强度。试验表明，群众杨和小叶杨耐旱性强，解胁迫能力比欧美杨强，无性系间净光合速率差异显著，但受温度和相对湿度影响，其差异同时表现在气体扩散过程中（27）。

6.2.3 小叶杨杂交育种研究

中国叶培忠教授 1946 年开始研究杨树良种选育工作，1958 年以来与南京植物所合作，利用小叶杨培育出“小意杨”、“南林杨”、“赛山杨”。中国林业科学院林业研究所徐纬英、黄东森教授等育出了“群众杨”，“小黑杨”。群众杨是以其速生、耐盐碱、耐旱、抗腐烂病及溃疡病等特点在华北、西北干旱盐碱地区推广种植。但其水肥条件要求较高。李文钿教授等对小叶杨 x 旱柳属间杂交过程进行的胚胎学研究表明，旱柳花粉能够萌发，花粉进入小叶杨柱头，受精过程基本正常，杂交障碍主要表现在花粉管在花柱基部生长受阻，花粉管在子房腔中缠绕，受精率低。

王克胜等对其改良无性系材性性状的杂种优势进行了聚类分析。群众杨改良杂种在材性性状上普遍存在较高的杂种优势，杂种优势集中表现在纤维长、纤维壁厚、长宽比、纤维宽、木材密度等指标好于其他树种。防止杨树品种过于单纯，优化良种结构，促进良性生态循环，提高抗病、抗虫能力，实现稳产高产，是各国杨树育种的主要任务和持久目标。由于小叶杨比其他杨树具有更广泛的适应性、抗性和杂交亲合性，因此，它一直是开展杂交育种的主要材料。目前，各地已培育出许多小叶杨杂种，其生长和抗性表现良好。

从国外引种杨树新品种是一项繁荣我国杨树品种的有效途径。几十年来，全国引进的国外杨树无性系品种已超过 1000 多种，有些无性系已成为地方林业生产的主栽品种。她们的加入，为我国本来就很大、华丽的杨树家族增辉不少。在我国北方，杨树新品种的推出十分迅速，平均每 10 年就有一次大范围的更替。如：50 年代是以小叶杨、毛白杨(*P.tomentosa*)乡土树种为主；60 年代用美杨 (*P.nigra var.pyramidalis*) 取代了小叶杨；70 年代推广群众杨、沙兰杨 (*P. x euramericana.cv.Sacrau 79'*) 和 214 杨(*P. x euramericana.cv.I-214'*)；80 年代推广小叶杨杂交种（小黑、小钻）和 69 杨 (*P.deltoides.cv.Lux'*)；90 年代推广中林系列杨。新疆杨在北方西部盛行。如今，毛白杨三倍体、107、108 欧美杨又得到重视和发展，倍受亲睐。局部地区更替品种更多，使人目不暇接。目前，我国在开展小叶杨杂交育种、遗传育种改良研究方面研究广泛，成果显著。

6.2.4 遗传育种与生物工程

小叶杨向来是我国生物技术研究模式树种，如 1990 年，相继有了毛白杨、小叶杨原生质体培养得到的再生植株，为体细胞杂交外源基因导入创造了良好条件，同时还获得了小叶杨和欧洲黑杨 X 小叶杨新品种原生质体培养再生植株，研究成果十分注目。

以小叶杨和欧美杨新无性系 NL-80203，NL-80205 为受体，用根癌农杆菌（C58）和 PEG 介导两种方式研究杨树遗传转化，为开展青杨派和黑杨派的遗传改良研究创造了条件（南京林业大学，许农，1990）。李文钿等（1990）还研究了胡杨、银新杨、小叶杨、大叶杨（）、欧洲黑杨柱头发育细胞化学和组间杂交的不亲和性。在对 NL-80106（小叶杨）原生质体培养和诱导植株再生过程中发现，在小叶杨原生质体培养中的技术和氮含量变化中，用 30~40PPM 的 2, 4-D 诱导，对获得再生植体效果好（王影、程淑婉等，1995）。

1994 年，南京林业大学和上海植物生理研究所合作，首次将 BT 基因和马铃薯的胰蛋白酶抑制剂基因成双导入毛白杨和欧洲黑杨 x 小叶杨 F1 代新品种中，获得了一批转基因植株，目前，正在做分子检测和田间实验。GUS 报道基因导入小叶杨、欧美杨和毛白杨的原生质体瞬时表达的结果表明，外源基因在这些杨树原生质体中均得到了高效表达。

在分子遗传标记方面的研究成果也相当可观。通过分子标记技术来监测和识别种子质量、品种和试验材料意义重大。如，利用指纹图谱来区分杨树 32 个无性系，确定他们属于包括小叶杨在内的不同杨树品种就是成功范例之一。

6.2.5 小叶杨抗性研究

对小叶杨抗性研究是从研究抗盐性方面入手。李长胜（1985）把小黑杨和加拿大杨 x 小叶杨的杂交中一同种植在黑龙江的盐碱地上，pH8.5-9.6，含盐量为 0.1%-0.3%，碱离子率为 16%-51% 的情况下，小黑杨生长表现突出。

自李驹（1984）首次报道有愈伤组织培养出了小胡杨的耐盐（NaCl）植株，并将试管苗的茎和叶作为外植体，在普通培养基和含 NaCl 的培养基上诱导 1 个月，都能形成愈伤组织，说明耐盐性能可以无性传递，从而首次证明了利用组织培养愈伤组织变异，来进行耐盐性的筛选在林木育种中是可行的。

严相进（1996）在 I-69、I-72 杨作母本与小叶杨杂交育种选择高抗无性系研究中，经无性系测定确定了在杂种 F1 代中选择形态特征类似母体的个体，选育出的速生抗黑斑病无性系的可能性远大于形态特征与父本相似或呈父母本中间性状的 F1 代无性系。

还有学者（张立钦，1996）作了进一步研究，选美洲黑杨 I-69 x 小叶杨的 F1 代优良无性系为实验材料作抗盐试验发现，筛选耐盐再生小植株的适宜外植体为嫩茎，表现较好的无性系为芽分化能力强的 NL-80105 和 NL-80106，适宜的培养基 MS 基本培养基附加 6-BA 0.4mg/L 和 NAA(奈乙酸)0.02 /L。经逐步提高盐浓度分阶段筛选，还获得了耐盐 10.0mg/L NaCl 的愈伤组织系，耐 10.0mg/L NaCl(盐) 和 10.0 mg/L 海水盐的不定芽，耐 7.5mg/L NaCl 的无性系 NL-80105 和 NL-80106 再生小植株。该研究为小叶杨抗性育种研究提供了多方面理论依据。

严相进等（1996）对 I-72 和 I-69 杨与不同种源小叶杨的杂种抗黑斑病情况进行分析表明不同种源的小叶杨杂种对黑斑病的抗性差异很明显，如 I-69 x 山西小叶杨杂种的 6 个无性系全部易感病，而 I-69 x 河南小叶杨的 7 个无性系抗病性强。

对宁夏固原地区小叶杨的调查发现，小叶杨和青杨派的树种是黄斑星天牛和光肩星天牛的喜食树种。小叶杨、青杨和箭杆杨受天牛危害率为 95% 以上，虫情指数在 50% 以上。但新疆杨的受害率仅为 45%，虫情指数为 11.2%。经分析发现小叶杨和青杨体内的酚类物质仅是新疆杨的 40%。

6.2.6 其他方面的研究

多年来对小叶杨的研究报道更多的来自病虫害防治和森林经营改造方面。同样，研究成果主要在 80-90 年代获得。小叶杨的木材学研究是 90 年代的热门，该期间正是大规模更新改造小叶杨“小老树”的主要时期。吉林刘君良（1991）在环境、树龄和经营措施条件相同的情况下发现，小叶杨不如大青杨的生长速度快。但解剖木材发现小叶杨与大青杨的纤维形态、导管分子、纤维长宽和木材密度相近，都是生产包装板、胶合板、火柴的理想用材，但不适宜生产纤维板。

朱湘渝，王瑞玲等（1993 林业科学研究，6-2）对包括小叶杨杂交无性系在内的 10 个杨树杂交组合的木材密度与纤维遗传变异进行了研究，结果表明，无性系木材密度和纤维长度的遗传力和重复率均较高，因此，科学地进行亲本选择和杂交育种可以使杨树材性有较好的改良效果；在一个杨树杂交组合内，木材密度与纤维长度具有普遍的个体变异，因此通过严格的个体选择能够获得明显的遗传改良效果；研究证明，杨树木材材性和生长性状之间相互独立，属于非连锁遗传；杨树木材密度的早、晚期与幼、成年有极显著的相关性。杨树育种要求兼具速生、优质、抗逆等多性状同步遗传改良，但在选择程序上可以分阶段进行或综合指数选择。选择方法，在初选阶段，注意选择速生、干直、圆满度好、分枝角度小、侧枝

细、抗病虫等优良性状的个体，然后再按材质选择；复选优良无性系时，因充分考虑材质的改良效果。

孙水平等（1990）对杨芽胎的药理作用进行了研究表明、从小叶杨冬芽中提取的杨芽脂内碱栓性树脂、黄酮类、香豆精、类内脂等。杨芽脂提取物的水溶液对大鼠实验性微循环障碍有改善作用，能增加正常离体豚鼠心脏的冠脉流量、对垂体后叶素、引起离体豚鼠心脏冠脉流量减少也有增加作用。用杨芽脂混合液给大鼠连续灌胃 4 天，对垂体后叶素引起的大鼠心脏缺血有一定的保护作用，对小鼠有镇痛作用。

另外，关于育苗、环境保护、城市绿化等方面的研究都有一定进展，但与其他树种雷同之处较多，本文不在赘述。从上述看到，我国在开展小叶杨研究方面领域宽、学科广、水平高，其中一些学科达到国际先进水平。但是，我们也发现，在重视和充分利用小叶杨资源方面，在天然资源保护和优势基因保存，在定向遗传改良方面，在对主要优良性状遗传控制和载取利用方面，还有一定差距，还需要做的工作很多^{〔20〕}。

6.3 中国三北 009 项目小叶杨研究

在 1989 年开始实施的“三北地区造林、林业研究、规划与发展”项目（简称中国三北 009 项目）是我国三北防护林工程接受联合国粮农组织、比利时政府援助的一项大的林业科技开发合作项目。其中，开展小叶杨天然资源收集，引种、选育、培育适宜科尔沁沙地种植的杨树品系，改变科尔沁沙地杨树品系单一局面和提高该地区杨树经营生产水平是项目主要研究内容之一。

6.3.1 小叶杨树种资源收集与研究

1990 年，在联合国粮农组织和比利时政府的资助下，009 项目开始了对中国北方小叶杨的历史、资源分布、资源发展、保护和利用进行全面系统研究。结合小叶杨资源调查，在科尔沁沙地建立了第一个小叶杨基因库。已从我国东北三省，西北四省及华北二省的 9 个省，27 个县（市，旗）选择，收集，繁殖并定植小叶杨资源 450 份，在内蒙奈曼旗兴隆沼林场建立了小叶杨基因库 1ha；2001 年将续建经去杂提纯后的小叶杨基因库 1ha。另外，还对不同种源小叶杨生长特性、抗性和生物学特性及遗传形状开展了研究工作。

6.3.2 三北 009 项目小叶杨杂交育种研究进展

近年来,国内外对小叶杨的遗传特性研究更加重视。在当今开展抗性育种的工作中,小叶杨因其优越的特性已成为世界性重要的基因资源。对此,三北 009 项目把对中国小叶杨的研究和保护作为重点实施内容,在中外专家共同努力下,已在科尔沁沙地建立了小叶杨杂交育种基地。1997 年,在实施对中国小叶杨资源自然分布和人工资源调查中,本项目的国内外杨树专家在总结一期进行的杨树引种、选种研究基础上,建议开展长期与短期相结合的,多树种参与的派间,种间杨树杂交育种研究,旨在改变三北地区栽培品种遗传基础单一,引进的品种又很难适应当地寒冷,干旱的气候条件的现状,欲培育适合三北地区的遗传基础丰富的新无性系。育种工作开展 4 年来,取得了有苗头的进展,培育了较多的杂交选种的基础材料。

从 1998 年开始,从源地基因库和异地基因库中筛选出一批优良单株,作为杂交育种亲本,开始共选配各类组合 232 个,成功获得杂种苗的组合 137 个,其中,小叶杨 X 小叶杨 58 个组合,小叶杨 X 欧洲黑杨 57 个组合,有美洲黑杨 X 小叶杨 11 个组合,见下表。

表 6-1

杂交组合配置

树种		<i>P. simonii</i> 小叶杨						<i>P. nigra</i> 黑杨			
父本		西北小叶杨		华北系叶杨 N		东北小叶杨		X. n. *		B. n. *	
母本	组合数	配置	成功	配置	成功	配置	成功	配置	成功	配置	成功
小叶杨	WN	1	1	4	4	5	5	12	2	4	3
	CN	5	5	7	7	1	0	12	8	5	4
	EN	13	10	18	17	10	5	51	32	12	8
总数	配置 64, 成功 58						配置 96 成功 57				
欧洲黑杨	X. n	2				9		2	1		
总数	配置 11, 成功 0						配置 2 成功 1				
美洲黑杨	C. d. *	5	2	6	1	6	4	18	10		
	Z. d. *	2	2			2	2	20	0		
总数	配置 21, 成功 11						配置 38 成功 10				

* X. n. *P. nigra* from Xinjiang, *B. n. *P. nigra* from Belgium.

* C. d. *P. deltoides* from Canada, *Z. d. *P. deltoides* from China.

从 1998 年 9 个组合（美洲黑杨 x 小叶杨）的组培杂种苗的杂种苗圃内 99 年春选出 305 个杂种苗进入无性系化苗圃；2000 年选出 195 个（美洲黑杨 x 小叶杨）无性系进入第 1 次无性系比较苗圃，大多数无性系当年插条苗高 1.9—2.5m，高于对照白城 41 号杨 20%—50%，差异极显著。上述无性系化苗圃的苗木已在通榆县，通辽市和彰武县建立异地无性系比较苗圃。

6.3.3 三北 009 项目小叶杨杂交种无性系选育研究进展

自 1990 年以来,009 项目分别在辽宁省建平县、锦县, 黑龙江省齐齐哈尔市, 吉林省白城市, 山西省大同市, 北京中国林科院引进一批小叶杨杂交种无性系, 经过十年育苗和造林对比试验,并经过多项指标的综合评价(在不同立地类型的沙地上进行造林对比试验), 从中选出了, 以小叶杨为亲本的杂种有 15 个,占 68%,⁽²⁸⁾。造林试验的重点选择速生小钻系列杨树无性系, 经 8 年造林对比试验, 法库 1# (*P. xiaozhuannica* cv.'Faku-1) 兴城(*P. xiaozhuannica* cv.'Xingcheng') 和鞍杂(*P. xiaozhuannica* cv.'Anza)各项指标都超过当地主栽品种, 在 1992-1997 年 6 年中, 年胸径生长量保持在 2.3cm 以上,只需 12 年就可成檩材。小黑 8401 (*P.simonii*-Baicheng x *P.nigra*-Aertai 8401) 和黑林 1 号 (*P.xiaohei* x *P.p15A* cl.) 等无性系生长迅速, 同时抗旱性强, 在科尔沁沙地年胸径生长量可在 2.8cm 以上, 现已成为该地主要推广树种⁽²⁹⁾。

7. 前景与任务

小叶杨虽小，功劳大。小叶杨 = “小老树”？

新世纪，让我们精心呵护她吧！人若有情，树情深，让小叶杨成为
中国西部大开发的绿化先锋！

虽然小叶杨过去的作用和现在的地位都十分重要，但是，在发展中，由于一些不符合自然条件和科学的栽培方法，如种植密度过大，纯林现象严重，造成了一大批小叶杨林成为“小老树”林。对此，有部分学者把小叶杨与“小老树”划等号，大有否定微词。但是通过多年实践和调查研究，特别是经过近几年大旱考验之后，小叶杨及其杂交品种在连续大旱、多种树木枯死的情况下，表现出独特的抗旱性，使小叶杨的亮点再现。表明小叶杨在北方，特别是在三北防护林工程建设中具有重要的地位和发展前景。

7.1 重新认识小叶杨

我们说，小叶杨在中国北方，尤其在三北地区是一个特别重要的树种资源是有充分依据的。首先在中国北方，从寒温带到温带，从森林草原到干旱荒漠，皆为小叶杨适生分布区。同时，小叶杨其变种、品种和杂交无性系数量和种类达 100 多种，总面积达 60 万 ha，其中，天然树有 5 万 ha。另外小叶杨人工林主要分布在广大北方农业耕作区和一些沙地，以杨树丰产林、农田防护林网和“四旁林”为主。多年来，依靠千家万户，大力发展小叶杨，在取得防护、用材、饲料和美化环境等方面的效益十分显著。“四旁林”在没有国家投入的情况下，可以自发发展、就地经营、综合利用，犹如“活期”存款，收益便利。如 13 年来以户村为单元，营造的以小叶杨为主的“四旁林”相当于为国家增加林木面积 120 万 ha，提供 3000 万 m³ 木材，12 亿吨干物质。农村能源短缺是三北地区的一个严重问题，三北约有 42.1% 的人口缺乏燃料。然而，就是这些四旁林、各种薪炭林和“小老树”每年为三北地区能提供了 500 多万吨薪柴，人均约 40kg⁽³⁰⁾。

三北地区正以年新增 10 多万公顷的速度在发展杨树资源，其中发展小叶杨资源 1 万 ha

以上。同时，现代科学技术的应用，加快了杨树研究工作，提高了小叶杨的地位和作用。多年来，三北地区各级林业科研部门积极应用新的科学技术，在杨树研究方面取得多项成果，加快了杨树资源的发展，充分发挥和提高了杨树的生态经济作用，巩固了其在三北防护林工程建设中的地位。尤其是，各地在接受干旱危害的教训，应用现代科学新技术开始了大规模遗传育种工作，取得多项科研成果，相继推出一批抗旱性强和速生的小叶杨杂交种，如白城杨系列、小黑杨系列、小钻杨系列等等，她们丰富了杨树资源种类，提高了杨树的生產能力，得到大面积推广⁽³¹⁾。

各地在引种小叶杨造林中发现，小叶杨适生范围广，从甘南到陕北，它都是优良造林树种，也是营造速生用材林的好树种。种种研究成果使小叶杨的作用日趋加大，增强了人民群众发展杨树的积极性。其中“中国林业三北 009 项目”在科尔沁沙地建立了我国最大的“小叶杨基因资源库”为中国北方沙区发展小叶杨和小叶杨杂交种提供了基础条件。

小叶杨资源在“三北”具有独特的资源优势，其生态效益，社会效益有目共睹，经济效益亦实为可观。故足以成为中国北方防护林工程建设发展生态经济型防护林体系的重要组成。随着杨树在三北防护林体系中的比重加大、效益显著，以及人们认识的深化和经济发展的需要，在发展杨树资源中良种优先、品种挂帅、生态与经济兼得将成为今后发展方向。

7.2 解决发展中存在的问题

中国小叶杨基因资源珍贵,所面临的保护任务艰巨,发展前途光明。

成败主要取决于今后引育种科学技术应用和经营管理水平。因此，应在以下几个方面努力：首先要顺其自然、尊重客观规律,巩固扩大小叶杨资源。当前，增加森林资源、改善生态环境、消灭林木赤字、建设山川秀美的大地已成为中华民族本世纪最重要的战略任务之一。摆在我们面前的主要问题是如何维护良好的生存环境，高速度发展经济。大力发展小叶杨资源无疑对解决这一系列问题无疑将起重要的作用。因此，在今后一个时期，就是用有限的投入、较短的时间、较高的质量和速度扩大森林资源，扩大类似小叶杨树种，具有较强抗性的树种资源。实践证实小叶杨杂交品种来得快、效果好、能解决木材短缺，且有更广泛的适应性⁽³²⁾。今后，在发展资源和更新改造杨树“小老树”同等重要。这一时期需加强宏观控制，在依靠政策、靠科学、靠实干前提下努力解决长期防护与适时更新的矛盾，解决杨树资源丰富于经营管理水平低的矛盾，解决小叶杨毁灭性病虫害防治问题，解决杨树资源低水平加工和高速度发展之间的矛盾⁽³³⁾。尤其是，

中国特有的珍贵小叶杨天然资源和古优树，急切需要保护，它是大自然和历史留给人类的宝贵财富，需要长期保存下去。

7.3 重视和发展小叶杨资源的措施及建议

一方面要加强宣传作用，使广大群众和林业工作者了解小叶杨在保护环境、杨树育种、保持生物多样性和林业可持续发展中的重要作用和意义，提高广大群众和林业工作者保护和开发利用小叶杨这一杨树资源的积极性，并对全国小叶杨古树统一编号建档，制定相应法规与政策，保护古树。

另一方面建议国家设立专项经费，加强对现有小叶杨天然林的封育管护。可对青海、新疆、甘肃、山西、内蒙古、辽宁的小叶杨天然次生林划类型设立国家级保护区。各地也可根据实际情况设立一定规模的封育保护区，并组织有关地区在保护资源的同时，开发利用小叶杨资源。特别是要对小叶杨资源全面进行普查与收集，并建立源地及异地基因库。中国北方天然小叶杨资源正在急剧减少，几乎处于濒临灭绝地步。急需全面调查、收集，建立小叶杨资源基因库，为开展小叶杨多学科理论研究，提供研究基地和宝贵的研究材料。要有重点的建立小叶杨基因库和建立永久性小叶杨基因库。在国际组织援助下，三北 009 项目已在东北建立了中等规模的小叶杨基因库，理应得到国家和地方重视。目前，要及早制定对这一基因库的保护和利用规划，以便在 009 项目结束后，该资源仍能得到保护和利用，小叶杨树种内的基因提纯与重组研究能继续下去。

同时，在加强对有限的小叶杨天然优树资源保护和利用的同时，广泛开展杂交育种工作和加强小叶杨天然实生苗的选优，以及无性繁育工作。这是一项利用小叶杨遗传基因资源，光大小叶杨优良特性，提高杨树生长速度和抗旱能力的长期工作。

种种研究和实践早已表明，小叶杨与我们的环境紧密相关，小叶杨的存在对维护一个地区生物多样性作用突出，在确保中国北方林业资源可持续发展中有积极作用。人们真诚的企望，不朽的小叶杨，相信，在国家和地方各级部门的重视和支持下，在国际组织的帮助下，小叶杨资源保护和基因资源利用工作会有新的建树，小叶杨和其后代将以新的面貌在中国西部大开发中发挥更重要作用。

参考文献

1. 王世绩 杨树研究进展 中国林业出版社 1995
2. 吴建恭等 从风县、太白县洪水灾害看水灾与森林的关系
陕西林业科技 1982 (1): 57-59
3. 辛树帜等 195 种栽培植物的初步探讨 农政全书 西北农学院古农学研究室整理
上海古籍出版社 1978
4. 王世绩 五种杨树在中国分布情况的调研报告 中国三北 009 项目办公室 1995
5. 林业部资源和林政管理司 当代中国森林资源概况 (1949-1993) 1996 年
6. 陈加良论六盘山的古树及其历史启迪 陕西师大学报 1987 74-79
7. 中国树木志编委会主编 中国主要树种造林技术(小叶杨) 北京:农业出版社, 1978
348~358
8. 吕文等 论杨树在三北防护林体系建设中的地位 and 作用 林业科技通讯 2000 (5)
9. 刘清泉 山西古稀树木 山西科学教育出版社 1989
10. 陕西森林编写委员会 陕西森林 中国林业出版社 1980
11. 中国植被编辑委员会 中国植被 科学出版社 1980
12. 杨自湘 中国西北四省小叶杨资源调查及采集工作报告
中国三北 009 项目办公室 1997
13. 中国树木志编委会主编 中国主要树种造林技术 北京农业出版社, 1978
348~358
14. 山西西山防护林建设局 技术资料汇编 山西林业厅 1985
15. 华北树木志编写委员会 华北树木志 中国林业出版社 1983
16. 丁宝章等主编 河南植物志 第一册(杨属) 河南人民出版社, 1981 164~196
17. 徐纬英主编 杨树 黑龙江人民出版社, 1988 44~46
18. 中国三北 009 项目办公室 小叶杨研究文集 2000. 6: 35-46
赵天锡等 中国杨树集约栽培 中国科学技术出版社 1994
中国三北 009 项目办公室 中国三北 009 项目适用技术指南 2000. 3
21. 中国林科院 中国森林病害 中国林业出版社 1982
22. 萧刚柔等 中国森林昆虫 中国林业出版社 1991
23. 韩一凡等 杨树抗性育种进展 阔叶树遗传改良 科学技术文献出版社

1991: 20—29

24. 王燕等 国内外小叶杨研究进展 防护林科技 2000 (3): 66-69

王世绩等 杨树研究进展 中国林业出版社 1995: 31-37

26. 吕文等 沙地杨树无性系造林综合评价的研究 林业科学 2000 (1)

27. 中国三北 009 项目办公室 杨树研究文集 2000. 5:

朱俊凤等 “三北”防护林地区自然资源与综合农业区划 中国林业出版社 1985

29. 林业部三北防护林建设局 三北地区林业文集 1982

30. 王恺 杨树资源加工利用问题 林业科技通讯 1986 (12)

31. 王修齐 世界森林能源发展现状及其趋势 陕西林科所 1984

CAB (Commonwealth Agricultureal Bureau) . Search 1972-2001 on *Populus simonii*,

CAB International, UK

附录 1：中国杨树（自然种）地理分布

中国杨树（自然种）地理分布

附录 2：部分小叶杨大古树

1. 河北省怀仁县桑圆乡长梁寨村：

两株小叶杨大古树，一株树龄超过 500 年，树高 19m，胸径 1.82m。东西冠幅 10.9m，南北冠幅 15.4m；另一株树龄超过 500 年，树高 26m，胸径 1.8m。东西冠幅 7.4m，南北冠幅 11.5m；两棵老寿星历经苍桑，相依为命，能活到如今，足以证实了小叶杨的价值和地位。

2. 河北省阳原县三马坊乡三马村：

一株树龄超过 450 年的小叶杨大古树，树高 29.5m，胸径 2.26m。东西冠幅 30m，南北冠幅 32m，为雄株。该树在一直径约 5m 大的水池中，水池周围散生几十株柳树，水池东侧有一泉眼。1997 年，009 项目在该树上采了 30 个插条，作为优良基因在奈曼旗小叶杨基因库扦插保存。这棵树是三北 009 项目在中国北方考察小叶杨中发现的有记载的最古老的小叶杨大古树。

3. 河北省易县大盘石乡白家庄村：

树龄超过 200 年，树高 20m，胸径 1.2m。东西冠幅 30m，南北冠幅 32m。

山西省小叶杨大古树最多，009 项目在 1995 年对该省的 42 处小叶杨大古树进行了考察和登记。

4. 山西省沁源县鱼儿泉乡井苓村龙王庙前：

树龄 350 年以上的小叶杨大古树，为明代所栽。树高 29.5m，胸径 1.5m，枝下高 4.5 m。东西冠幅 23m，南北冠幅 26m。

5. 山西省大同市郊区小于头乡小南头村龙王庙后：

海拔 1031 m，树龄超过 200 年，树高 19.5m，胸径 1.59m。枝下高 5 m，东西冠幅 20m，南北冠幅 22m。被当地视为“神树”，当地许多居民年年在此祭拜。

6. 山西省大同市南郊区水泊寺乡肖家寨村：

海拔 1054 m，树龄约 100 年，树高 18.5m，胸径 1.34m。枝下高 8 m，东西冠幅 16m，南北冠幅 20m。

7. 山西省大同市南郊区郊城村学校两侧：

两株小叶杨，树龄约 300 年，树高分别为 18m 和 16 m，胸径 1.21 m 和 1.23m。目前，这两株小叶杨大古树已成为该村的历史见证树，受到特殊关照。

8. 山西省五台县高洪口乡北高洪口村：

两株小叶杨，相距 14 m，树龄不详，生长旺盛，为雄株，被称为英雄树。一株树高为 30m，胸径 1.97m，枝下高 8 m，东西冠幅 17.5m，南北冠幅 16m，主干材积 20 m³。另一株，树高为 33m，胸径 2.5m，东西冠幅 16m，南北冠幅 18m。

9. 山西省怀仁县里八庄乡王家堡村西南坎地里：

树龄 100 年以上，树高 20m，胸径 1.28m。东西冠幅 26.8m，南北冠幅 26.2m，占地 667 m²，主干材积 5.15 m³。

10. 山西省忻州市温村乡温村西的崇明寺前，观音寺后：

树龄 300 年以上，树高 17.5m，胸径 1.93m，枝下高 6 m。东西冠幅 19.4m，南北冠幅 17.6m。

11. 山西省武乡县韩北乡王家峪村：

树龄 60 年，雄株。该树是 1940 年清明节朱德司令员所栽，被当地人们称为“红星杨”。树高 26.6m，胸径 0.93m，枝下高 9.9 m。东西冠幅 21m，南北冠幅 19m，干形通直，是难得的优树。主干材积 5.8 m³。1997 年，009 项目在该树上采了 30 个插条，作为优良基因在奈曼旗小叶杨基因库扦插保存。

12. 山西省蒲县刁口乡牛村：

树龄 200 年以上，树高 23.6m，胸径 2.13m，枝下高 2.5 m。东西冠幅 19m，南北冠幅 19m，现仍能结少量种子。1997 年，009 项目在该树上采了 30 个插条，作为优良基因在奈曼旗小叶杨基因库扦插保存。

13. 山西省安泽县唐城镇三交村杏掌坪自然村：

树龄在 150 年以上，具体不详。这株小叶杨大古树高 20.2 米，胸径 2.29 米，树干高 2 米。东西冠幅 30 米，南北冠幅 29.5 米，树冠投影 690 多平方米。树干上下生有很多大小各异的疙瘩，形似宝塔，十分奇特，引人注目欣赏。主干上分别生出 9 个大侧枝，虽中央主干已枯，但是主干树皮仍能维持整株树生命，并不时生出侧枝。此树另一奇特景观在于根部，根盘外露面积超过 30 平方米，从树的东侧看去，树跟象一座假山；从树的南侧看，根部又好象盛开的莲花；从根的北部看，又好似溶洞内的石笋一般，亭亭玉立。树根盘结、彼此起伏、似如化石，形状似卧龙，被当地人们称为龙根，也有称其为假山根、石笋根、莲花根等等，全在于欣赏中的体会。远看此树，就好象一座宝塔建在莲花上。每当盛夏，这里是人们休闲乘凉和谈天论地的绝好境地。

14. 陕西省志丹县：

树龄 300 年，树高 30m，胸径 1.58m，冠幅 16m。这棵小叶杨树龄过高，但仍昂然屹立在大路旁，枝叶繁茂，其奥妙就在于她有较广和深的根基。

15. 陕西省黄龙县黄龙要岭乡路旁：

树龄 260 年以上，树高 27m，胸径 1.68m，冠幅 13m。

这棵大古树饱经风霜，历经磨难，在众多树种和大古树急剧消失的情况下，她幸运的生存到现在，成为历史的见证。

16. 甘肃省庆阳合水县拓儿源林场沟口处：

天然分布，海拔 1260 m，树龄 100 年以上，树高 25m，胸径 1.08m，东西冠幅 10 m，南北冠幅 11 m，树干通直，为雄株，是该地区难得一见的。

17. 甘肃省庆阳合水县拓儿源林场山脚下：

天然分布，海拔 1200 m，树龄约 100 年，树高 18m，胸径 1.03m，东西冠幅 9 m，南北冠幅 10 m，树干直，为雌株。

18. 宁夏西吉县火石寨乡大岔村：

在村头水井旁有一可小叶杨古树，树龄超过 180 年，胸径 1.18m，树冠窄小，树高 20m 以上。这棵古树经过多年干旱和天牛危害考验，如今生长依然良好，并成为当地独特景观，被人民喜爱，视为村庄的吉祥树，故得到保护。

19. 青海省祁连县林场八宝河岸拉洞沟：

天然分布，海拔 2750 m，树龄 90 年以上，树高 25m，胸径 1.02m，东西冠幅 7 m，南北冠幅 8 m，树干通直，为雌株。这里有成片的小叶杨天然林分布，树龄都在 60 年以上，如今仍生长良好，值得重视。

20. 青海省祁连县林场林场院内：

天然分布，海拔 2700 m，树龄 100 年以上，树高 23m，胸径 1.22m，东西冠幅 15 m，南北冠幅 12 m，为雌株，如今，每年仍可采到优质种子。

21. 青海省都兰县林场乌拉斯泰沟：

天然分布，海拔 3100 m，树龄不详，树高 7m，胸径 0.4m，东西冠幅 7 m，南北冠幅 7.5 m，为雌株。

22. 青海省互助县北山林场大院内：

天然分布，海拔 2290 m。树龄 70 年以上，树高 26m，胸径 1.04m，东西冠幅 8 m，南北冠幅 8.5 m，为雌株。

附录 3: 杨树派、种、亚种、变种、变型及品种分类名录

1. 白杨派 Section Leuce Duby

- 1-1 银白杨 *Populus alba* L.
 - 1-1-1 新疆杨 *P. alba* var. *pyramidalis* Bge. (= *P. bolleana* Lauche)
- 1-2 银新杨 *P. alba* x *P. bolleana*
- 1-3 银毛杨 *P. alba* x *P. tomentosa*
- 1-4 银腺杨 *P. alba* x *P. glandulosa* cv. Clivus
- 1-5 银灰杨 *P. canescens* Smith
- 1-6 毛白杨 *P. tomentosa* Carr.
 - 1-6-1 河南毛白杨 *P. tomentosa* var. *honanica* T.B.chao
 - 1-6-2 河北毛白杨 *P. tomentosa* var. *hopeinica* T.b.Chao
 - 1-6-3 京西毛白杨 *P. tomentosa* cv. Jingxi
- 1-7 河北杨 *P. hopeiensis* Hu et Chow
- 1-8 腺杨 *P. glandulosa* Dode
- 1-9 山杨 *P. davidiana* Dode
- 1-10 波叶山杨 *P. undulata* J.Zhang
- 1-11 河南杨 *P. honanensis* T. B.Chao
- 1-12 欧洲山杨 *P. tremula* L.
- 1-13 伏牛杨 *P. funiushanensis* T.B.Chao
- 1-14 响叶杨 *P. adenopoda* Maxim.
- 1-15 大齿杨 *P. grandidentata* Michx.
- 1-16 美洲山杨 *P. tremuloides* Michx.
- 1-17 汉白杨 *P. ningshanica* C.Wang et Tung

2. 大叶杨派 Section Leucoides Spach

- 2-1 大叶杨 *P. lasiocarpa* Oliv.
- 2-2 灰背杨 *P. glauca* Haines
- 2-3 长序杨 *P. pseudoglauca* C.Wang et Tung

2-4 异叶杨 *P. heterophylla* L

2-5 椅杨 *P. wilsonii* Schneid.

3. 青杨派 Section Tacamahaca Spach

3-1 小叶杨 *P. simonii* Carr.

3-1-1 塔形小叶杨 *f. fastigiata* Schneid.

3-1-2 垂叶小叶杨 *f. pendula* Schneid

3-1-3 菱叶小叶杨 *f. rhombifolia* Kitag. C. Wang et Tung

3-1-4 扎鲁小叶杨 *f. robusta* C.Wang et S.L Tung

3-1-5 短毛小叶杨 *f. brachychaeta* P.Yu et C.E.Fang

3-1-6 宽叶小叶杨 *var. latifolia* C.Wang et S.L Tung

3-1-7 辽东小叶杨 *var. liaotungensis* (C.Wang et Skv.) C.Wang et Tung

3-1-8 圆叶小叶杨 *var. rotundifolia* S. C.Lu ex C. Wang et Tung

3-1-9 秦岭小叶杨 *var. tsinlingensis* C. Wang et C.Y.Yu

3-1-10 洛宁小叶杨 *var. luoningensis* T. B. Chao

3-2 辽杨(马氏杨) *P. maximowiczii* A.Henry

3-3 青杨 *P. cathayana* Rehd.

3-4 甜杨 *P. suaveolens* Fisch

3-5 苦杨 *P. laurifolia* Ledeb.

3-6 香杨 *P. koreana* Rehd.

3-7 青甘杨 *P. przewalskii* Maxim.

3-8 康定杨 *P. kangdingensis* C.Wang et Tung

3-9 哈青杨 *P. charbinensis* C.Wang et Skv.

3-10 科尔沁杨 *P. koerqinensis* T.Y.Sun

3-11 东北杨 *P. girinensis* Skv.

3-12 大青杨 *P. ussuriensis* Kom.

3-13 二白杨 *P. gansuensis* C.Wang et H.L. Yang

3-14 欧洲大叶杨 *P. candicans* Ait.

3-15 阿拉善杨 *P. alachanica* C.Wang et Tung

- 3-16 伊犁杨 *P. iliensis* Drob.
- 3-17 密叶杨 *P. talassica* Kom.
- 3-18 梧桐杨 *P. pseudomaximowiczii* C.Wang et Tung
- 3-19 青毛杨 *P. shanxiensis* C.Wang et Tung
- 3-20 川杨 *P. szechuanica* Schneid
- 3-21 滇杨 *P. yunnanensis* Dode
- 3-22 大关杨 *P. dakuanensis* Hsu
- 3-23 小钻杨 *P. xiaozhuannica* W.Y.Hsu et Liang
- 3-23-1 白城 2 号杨 cv. Baicheng-2 (*P.simonii* x *P.pyramidalis*)
- 3-23-2 白城 41 号杨 cv. Baicheng-41 (*P.simonii* x *P.pyramidalis*)
- 3-23-3 群众杨 cv. Popularis {*P. simonii* x (*P. pyramidalis*+ *Salix matsudana*) }
- 3-23-4 昭林 6 号杨 cv. Zhaolin-6 (*P.simonii* x *P.pyramidalis*)
- 3-23-5 合作杨 cv. Opera
- 3-23-6 小意杨 *P.simonii* x *P. nigra* var. *italica*<Muench Koehen>
- 3-23-7 法库 1 号杨 cv. Faku-1 (*P.simonii* x *P.pyramidalis*)
- 3-23-8 小黑-8401 *P.simonii*(*baicheng*) x *P.nigra*(*Aertai*)- 8401
- 3-24 毛果杨 *P. trichocarpa* Torr.et Groy
- 3-25 香脂杨 *P. balsamifera* Durio non L.
- 3-26 狭叶杨 *P. angustifolia* James
- 3-27 塔卡马哈卡杨 *P. tacamahaca* Mill.
- 3-28 小青杨 *P. pseudo-simonii* Kitag.
- 3-29 小黑杨 *P. xiaohei* T.S.Hwang et Liang
- 3-29-1 黑林 1 号杨 cv. heilin-1 (*P. xiaohei* x *Pp15A*)
- 3-30 冬瓜杨 *P. purdomii* (Rehd.)C.F.Fang et H.L.Yang
- 3-31 三脉青杨 *P. trinervis* C.Wang et Tung
- 3-32 玉泉杨 *P. nakaii* Skv.
- 3-33 兴安杨 *P. hsinganica* Wang et Skv.
- 3-34 长叶杨 *P. wuana* C.Wang et Tung
- 3-35 黑龙江杨 *P. amurensis* C.Wang et Tung
- 3-36 柔毛杨 *P. pilosa* Rehd.

- 3-37 帕米尔杨 *P. pamirica* Kom.
 3-38 昌都杨 *P. qamdoensis* C.Wang et Tung
 3-39 米林杨 *P. mainlingensis* C.Wang et Tung
 3-40 德钦杨 *P. haoana* Cheng et C.Wang
 3-41 乡城杨 *P. xiangchengensis* C.Wang et Tung
 3-42 五瓣杨 *P. yuana* C.Wang et Tung
 3-43 亚东杨 *P. yatungensis* C.Wang et Tung
 3-44 缘毛杨 *P. ciliata* Wall

4. 黑杨派 Section Aigeiros Duby

- 4-1 欧洲黑杨 *P. nigra* L.
 4-1-1 钻天杨 var. *italica* (Moench) Koehne (*P. pyramidalis* Borkh.)
 4-1-2 箭杆杨 var. *thevestina* (Dode) Bean.
 4-2 黑小杨 *P. nigra* x *P. simonii*
 4-3 白林 2 号杨 *P. nigra* x *P. pyramidalis* cv. Bailin-2
 4-4 热河杨 *P. manshurica* Nakai
 4-5 北京杨 *P. x beijingensis* W.Y.Hsu
 4-6 中东杨 *P. x berlinensis* Dipp
 4-7 俄罗斯杨 *P. x russkii* Jabl.
 4-8 少先队杨 *P. x pioner* Jabl.
 4-9 斯大林工作者杨 *P. x stalintz* Jabl.
 4-10 美洲黑杨 *P. deltoides* Bartr.
 4-11-1 山海关杨 cv. Shanhaiguanensis
 4-11-2 中林 46 cv. Zhonglin-46
 4-11-3 中林 86-22 cv. Zhonglin-86-22
 4-11-4 鲁克斯杨 cv. Lux (I-69/55)
 4-12 美洲黑杨 x 小叶杨 *P. deltoides* x *P. simonii*
 4-12-1 南林 80121 杨 cv. NL-80121
 4-12-2 南林 80205 杨 cv. NL-80205

- 4-13 欧美杨（加杨） *P. x euramericana* (dode) Guineir (*P.canadensis* Moench.)
- 4-13-1 I-214 杨 cv. I-214
- 4-13-2 波兰 15 -A 杨 cv. Polska-15A
- 4-13-3 健杨 cv. Robusta
- 4-13-4 沙兰杨 cv. Sacrau-79 {*P. x auramericama* (Dede) Gunier}
- 4-13-5 中荷 47 杨 cv. Agathe F
- 4-13-6 晚花杨 cv. Serotina
- 4-14 建-10 *P. x euramericana* cv. ND-182
- 4-15 美洲杂种杨 *P. x interamericana*
- 4-16 拟青 x 山海关 *P.nigra x p. deltoides* cv.Shanhaiguan
- 4-17 阿富汗杨 *P. afghanica* Schneid

5. 胡杨派 Sect Turanga Bge.

- 5-1 胡杨 *P. euphratica* Oliv.
- 5-1-1 塔形胡杨 cv. Pyramidalis
- 5-1-2 摩洛哥胡杨 cv. PE-214
- 5-2 灰胡杨 *P. pruinosa* Schrenk
- 5-3 肯尼亚胡杨 *P. denhardtiorum* Dode
- 5-4 西班牙胡杨 *P. illicitana* Dode
- 5-5 额河杨 *P. ertyschensis* Dode

附录 4. 中国三北 009 项目简介

“中国三北 009 地区造林、林业研究、规划与开发项目”(GCP/CPR/009/BEL), 简称中国三北 009 项目, 是由中国政府配套 3000 万人民币、比利时无偿援助 690 百万美元、由联合国粮农组织提供技术支持的林业合作项目。项目活动主要集在内蒙古东部的科尔沁沙地, 总部设在内蒙古通辽市, 三个建设区分布在内蒙古奈曼旗、吉林通榆县和辽宁彰武县。

项目起始于 1990 年, 经历了第一期工程(1991-1996 年)、过渡期(1997 年), 现正在执行第二期工程(1998-2002 年)。

该项目的总目标是解决科尔沁沙地日益严重的水土流失、土壤肥力下降及当地林产品资源短缺的问题, 并将把在这一地区取得的经验和收集到的遗传基因材料加以总结, 以便在“三北”其他地区推广。

项目主要围绕沙地杨树引种改良研究、沙地针叶树引种选育研究、沙地林业机械设备引进改造研究、沙地森林资源保护综合治理研究四个方面开展工作。

十三年来, 共开展了 230 多项科研对比试验, 取得了 20 多项科研成果。在小叶杨和其他乡土树种基因资源调查、杂交育种、基因保存方面作了大量基础研究工作, 并取得多项研究成果, 对今后继续扩大发展科尔沁沙地林木资源种类奠定基础。在科尔沁沙地引进、选育、推广了 20 多种适宜科尔沁沙地生长的杨树品种和多个松树树种, 先后营造了 200 多公顷优良杨树无性系和松树示范林, 还营造了 1 万多公顷杨树、樟子松防护用材林, 研制出了杨树机械化造林新技术和配套的育苗技术, 提高了造林速度, 降低了造林成本, 提高了造林成活率和生长量, 依据立地划分综合体系, 总结出了科尔沁沙地沙漠化综合治理和退化土地可持续性利用多种造林、植被恢复模式。

如需进一步了解项目情况, 联系方式:

PROJECT GCP/CPR/009/BEL - 009 项目
国家林业局三北防护林建设局, 国际合作交流处
宁夏银川市南薰西街 20 号 - 750001
电真: +86 951 4112576
电子邮件 1: sanbeiju@public.yc.nx.cn
电子邮件 2: sbjgtz@public.yc.nx.cn

Brief Introduction to the Project FAO/GCP/CPR/009/BEL

The Project "Afforestation, Forestry Research, Planning and Development in the Three North Region of China" (GCP/CPR/009/BEL) is jointly financed by the Governments of Belgium (6.9 million USD as grant) and China (30 million yuan RMB), with technical assistance of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The Project has concentrated its activities on the Korqin Sandy Lands in the Northeast of Inner Mongolia, a sub-region of the Three-North Shelterbelt Programme. The HQ is based in Tongliao of Inner Mongolia and the Project has three branches, namely Naiman of Inner Mongolia, Tongyu of Jilin and Zhangwu of Liaoning Provinces.

Starting in 1990, the Project has gone through a First Phase (1991-1996), a Transitional Phase (1997) and is presently in its Second Phase (1998-2002).

The overall goal of the present Project Phase is to address the problems of ever increasing soil erosion, decreasing soil fertility, and the lack of wood products needed by the local inhabitants of the Korqin Sandy Lands, and to consolidate the use of genetic materials acquired in the previous phases in order to test and eventually replicate or expand them to other areas of the Three-North Shelterbelt Programme.

The Project's activities are concentrated along four complementary lines of action under sandy land conditions: poplar selection and improvement, mechanized afforestation, diversification of tree species and integrated approaches to tackle desertification.

With more than 11 years of implementation, the Project has undertaken more than 230 comparative trials, resulting in over 20 major technical breakthrough.

Basic research has been done in the field of inventory of the genetic resources of *P. simonii*, cross breeding and conservation of this species and of other native species.

Many research results have been obtained, paving the way for further expansion and development of forest resources and varieties in Korqin Sandy Lands.

Over 20 poplar clones and several conifer species adapted to Korqin Sandy Lands have been introduced, selected and disseminated; Over 200 ha of demonstrative plantation with selected poplar clones and pine species and 10,000 ha of shelterbelt have been established;

New mechanized afforestation techniques have been developed together with adapted nursery systems, allowing faster and cheaper planting and better survival and growth in poplar plantations.

Various afforestation and re-vegetation models have been developed for combating desertification in an integrated approach, based on a comprehensive system of site classification and rehabilitation of degraded lands in a sustainable way.

For more information, please contact:

PROJECT GCP/CPR/009/BEL
Three-North Shelterbelt Construction Bureau
20 Nanxunxijie, Yinchuan 750001
Nianxia Hui Autonomous Region, China
Fax: +86 951 4112576
Email 1: sanbeiju@public.yc.nx.cn
Email 2: sbjgtz@public.yc.nx.cn