



刺槐资源 评价与引种研究

杨敏生 谷俊涛 王进茂 张军 等 著

林外借

中国林业出版社

刺槐资源 评价与引种研究

杨敏生 谷俊涛 王进茂 张军 等 ■ 著



中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

刺槐资源评价与引种研究/杨敏生等著. —北京: 中国林业出版社, 2016. 9

ISBN 978-7-5038-8664-5

I. ①刺… II. ①杨… III. ①洋槐-资源评价-研究 ②洋槐-引种-研究
IV. ①S792.27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 199995 号

中国林业出版社·生态保护出版中心

责任编辑: 李 敏

电话: (010)83143575

出版发行 中国林业出版社(100009 北京市西城区德胜门内大街刘海胡同 7 号)

<http://lycb.forestry.gov.cn> E-mail: lmbj@163.com

印 刷 北京卡乐富印刷有限公司

版 次 2017 年 10 月第 1 版

印 次 2017 年 10 月第 1 次

开 本 787mm × 960mm 1/16

印 张 14.25

字 数 260 千字

定 价 48.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

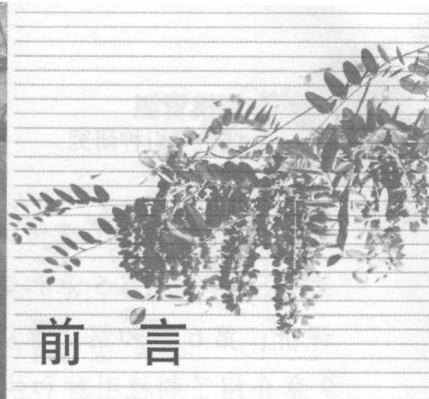
版权所有 侵权必究



《刺槐资源评价与引种研究》

编著人员

杨敏生	谷俊涛	王进茂	张 军
尚爱芹	董 研	梁海水	刘朝华
孙 芳	朱建峰	潘红伟	鲁丹丹
张 双	任亚超	左力辉	于晓跃
刘芳伊	马鸿鹏	李舜华	王 玉
韩 骞	方志达	韩宏伟	



前言

刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)是豆科蝶形花亚科刺槐属(*Robinia*)植物。刺槐生长快,萌蘖性强,根系发达,具有根瘤,有一定的抗旱、抗涝能力,且耐盐碱,是改良土壤、保持水土、防风固沙及作为薪炭林等的绿化树种;刺槐材质坚韧,纹理细致,有弹性,耐水湿,耐磨、耐腐,不易断裂,又是建筑、家具、矿柱、造船等行业的用材树种;刺槐也是一种良好的饲料林树种,还是一个优良的木本蜜源树种。由于刺槐具有较强的适应性、速生性和用途的多样性而被许多国家广泛引种栽培。

各国学者对刺槐进行了广泛而深入的研究,在刺槐的遗传改良、繁殖技术、营养和饲料林经营管理、对生态系统的影响、基因工程等方面积累了丰富的资料。我国对刺槐的研究利用也做了大量卓有成效的工作,特别是在良种选育、抗逆生理特性、抗旱造林技术、薪炭林与饲料林管理技术、防护林及生态效益分析等领域进行了广泛而深入的研究。自2000年以来,作者对欧洲和美洲的刺槐种源进行了等位酶变异研究,此后研究重点放在了国内刺槐资源评价方面。2003年本书编写人员从我国不同地区收集了19个刺槐次生种源种子,沿太行山营建了种源对比试验林,从生长性状、抗逆性、等位酶、DNA等不同水平对我国刺槐资源进行了评价,并开展了引种和选育研究。经过10多年的试验,积累了一些成果,为了对我国刺槐资源特性进行较为全面的介绍,促进刺槐资源研究和利用,作者编著了这部书。

全书共10章,第1章综述了国内外刺槐的研究进展;第2章从生长性状

对刺槐种源进行了遗传评价；第3章和第4章对刺槐群体的抗寒性和耐盐性进行了评价；第5章和第10章从等位酶变异水平对国内外的刺槐种源进行了评价；第6章和第7章从DNA变异水平对刺槐种源进行了评价；第8章和第9章介绍了刺槐引种和快繁技术。

本书适合林业研究人员和科技工作者、在校学生和植物学教师参考使用。作者力图做到内容翔实可靠，表述简洁明了，由于作者学识水平和能力所限，书中错误与疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

本书的出版得到国家重点研发计划课题“刺槐速生建筑材林高效培育技术研究”(2017YFD0600503)的支持。

编著者

2017年8月



目 录

前 言

第 1 章 刺槐研究进展/ 1

- 1.1 刺槐的起源和分布/ 1
- 1.2 刺槐生物学特性/ 2
- 1.3 国外刺槐研究/ 3
- 1.4 我国刺槐研究/ 7

第 2 章 刺槐种源试验研究/ 17

- 2.1 刺槐生长性状的种源差异分析/ 19
- 2.2 刺槐生长性状多年多点遗传参数估算/ 28
- 2.3 刺槐种源适应性的遗传变异/ 31
- 2.4 刺槐种源遗传稳定性统计量估算/ 32
- 2.5 刺槐种源变异主成分分析/ 33
- 2.6 刺槐种源聚类分析/ 35
- 2.7 优良种源和个体的选择/ 37

第3章 刺槐抗寒性研究/ 39

- 3.1 群体间细胞膜透性与抗寒性/ 39
- 3.2 群体间枝条失水率与抗寒性/ 41
- 3.3 群体间水分饱和和亏缺与抗寒性/ 41
- 3.4 苗木生长恢复试验/ 42
- 3.5 抗寒性综合评定结果/ 42
- 3.6 刺槐群体间抗寒性地理变异模式/ 44
- 3.7 电阻抗法测定刺槐种源抗寒性参数的对比分析/ 45
- 3.8 电导率法测定刺槐种源抗寒性分析/ 50
- 3.9 电导率法和电阻抗法的对比/ 51

第4章 刺槐耐盐性研究/ 54

- 4.1 不同盐浓度胁迫对刺槐实生苗的筛选/ 55
- 4.2 不同浓度盐胁迫刺槐生理指标的分析/ 55
- 4.3 盐胁迫下刺槐群体遗传结构分析/ 61

第5章 刺槐群体等位酶变异分析/ 75

- 5.1 等位酶群体变异/ 78
- 5.2 等位酶种源变异/ 82
- 5.3 供试刺槐种源遗传距离及聚类分析/ 86
- 5.4 刺槐种源等位酶遗传参数与产地气象因子相关性分析/ 88

第6章 基于 DNA 标记的刺槐群体遗传多样性分析/ 90

- 6.1 刺槐群体遗传多样性的 AFLP 分析/ 90
- 6.2 刺槐群体遗传多样性的 ISSR 分析/ 98
- 6.3 刺槐群体遗传多样性的 SSR 分析/ 103

第7章 刺槐群体根瘤菌遗传多样性分析/ 112

- 7.1 根瘤菌菌株的分离与鉴定/ 112
- 7.2 根瘤菌的 16S rRNA 基因 PCR - RFLP 图谱分析/ 114
- 7.3 16S rRNA 基因 PCR - RFLP 聚类分析/ 119
- 7.4 根瘤菌遗传距离与地理和气象因子的相关性分析/ 124
- 7.5 16S rRNA 基因全序列测定及系统发育/ 126
- 7.6 刺槐根瘤菌的抗逆性分析/ 128

第8章 大叶红花槐引种研究/ 136

- 8.1 红花槐的物候期和生长表现/ 136
- 8.2 红花槐的饲用特性/ 140
- 8.3 红花槐无性系抗寒性分析/ 144
- 8.4 红花槐无性系耐盐性分析/ 148
- 8.5 红花槐的根插繁殖技术/ 156
- 8.6 红花槐组培快繁技术研究/ 161

第9章 单叶刺槐生物学特性及组织培养体系研究/ 166

- 9.1 单叶刺槐的生物学特性/ 166
- 9.2 单叶刺槐的光合特性/ 171
- 9.3 单叶刺槐的营养指标测定/ 178
- 9.4 单叶刺槐组织培养/ 179
- 9.5 单叶刺槐的观赏特性/ 189

第10章 欧洲刺槐种源群体等位酶变异分析/ 191

- 10.1 各位点等位基因数变异/ 195
- 10.2 各位点等位基因有效数目变异/ 196
- 10.3 各个位点等位基因频率变异/ 197



- 10.4 Hardy-Wenber 平衡检测/ 198
- 10.5 不同基因位点预期杂合度/ 199
- 10.6 基因位点的多样性分析/ 200
- 10.7 种源群体间的遗传多样性综合分析/ 200
- 10.8 种源的地理变异分析/ 203
- 10.9 遗传参数与生态环境相关性分析/ 204

参考文献/ 206

缩略语/ 218

第 5 章 刺槐种源遗传多样性分析/ 218

- 5.1 刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 5.2 刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 5.3 刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 5.4 刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 5.5 刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 5.6 刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 5.7 刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 5.8 刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 5.9 刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 5.10 刺槐种源遗传多样性分析/ 218

第 6 章 DNA 标记的刺槐种源遗传多样性分析/ 218

- 6.1 DNA 标记的刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 6.2 DNA 标记的刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 6.3 DNA 标记的刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 6.4 DNA 标记的刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 6.5 DNA 标记的刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 6.6 DNA 标记的刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 6.7 DNA 标记的刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 6.8 DNA 标记的刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 6.9 DNA 标记的刺槐种源遗传多样性分析/ 218
- 6.10 DNA 标记的刺槐种源遗传多样性分析/ 218



第 1 章

刺槐研究进展

刺槐(*Robinia pseudoacacia*)是豆科蝶形花亚科刺槐属(*Robinia*)植物。在全世界速生阔叶树种中,栽培面积仅次于桉树居第二位。刺槐生长快,萌蘖能力强,根系发达,具有根瘤,有一定的抗旱、抗涝能力,且耐盐碱,具有改良土壤、保持水土、防风固沙等作用,并可作为薪炭林或绿化树种;刺槐材质坚韧,纹理细致,有弹性,耐水湿,耐磨、耐腐,不易断裂,又是建筑、家具、矿柱、造船等行业的用材树种;刺槐也是一种良好的饲料林树种,优良的刺槐饲料林品种具有产叶量大、营养价值高等特点;刺槐还是一个优良的木本蜜源树种,其蜜质在国际市场上被列为上等。由于刺槐具有较强的适应性、速生性和用途的多样性,被许多国家广泛引种栽培,与杨树、桉树一起被称为世界上引种最成功的三大树种。

1.1 刺槐的起源和分布

刺槐起源于北美洲,天然分布区分为 2 个部分,东部分布区从宾夕法尼亚州中部延伸到亚拉巴马州和佐治亚州北部的阿巴拉契山脉;西部分布区包括密苏里州南部的奥扎克高原,阿尔堪萨斯与冬俄克拉荷马州的北部和东部。刺槐在原产地自然分布在年降水量 1000~1500 mm 的地区内,生长期降水量为 500~750 mm,平均无霜期在 140~200 天。7 月平均温度为 20~27℃,最高温度为 30~38℃,1 月平均温度为 2~8℃,最低温度在 -25~-10℃之间。在阿巴拉契安山区,刺槐成散生或簇状分布在海拔 1100 m 高的山坡、沟谷和林缘地带。在弗吉尼亚西部,刺槐主要分布在阳坡和西坡,很少分布在阴坡、东坡或沟谷。刺槐可在多种立地

条件下生长,喜爱在疏松、结构良好,特别是淤积的沙壤土上生长,但不适宜在黏重的土壤上生长。

刺槐人工栽培的历史比较长。在美国,1890~1946年,田纳西河谷共造林1.7亿株,其中刺槐占0.65亿株。为了在裸露的矿地上进行绿化,从第二次世界大战初期至1947年,美国共栽植刺槐1.5万 hm^2 ,目前每年营造刺槐林约200 hm^2 。刺槐是第一个从北美引进欧洲的林木树种,1601年刺槐首先引入法国,随后很快传入其他国家,如前苏联、瑞士、意大利、德国、奥地利、匈牙利、前捷克斯洛伐克、罗马尼亚、日本、中国和中东地区,以及南美洲、非洲和澳大利亚。目前刺槐已经遍布世界大部分地区。在匈牙利,至1980年,刺槐栽种面积占林地总面积的18%,是面积最大的树种,年材积生长量达到 $10\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。在德国刺槐的栽植面积达到了1.3万 hm^2 ,主要分布在德国东部,在勃兰登堡州,至1997年刺槐的面积达到了7200 hm^2 。在韩国刺槐林主要分布在农业区,有世界上连片面积最大的刺槐林,自20世纪60年代后刺槐推广面积迅速增加,目的是生产薪炭材、饲料和用于水土保持。刺槐栽植面积较大的国家有匈牙利、韩国、前苏联、罗马尼亚、法国、保加利亚和前南斯拉夫,中国也拥有大面积刺槐林。

刺槐于19世纪末从德国、朝鲜等国引入我国。现在刺槐几乎遍布于全国各地,大致在北纬 $23^{\circ}\sim 46^{\circ}$,东经 $84^{\circ}\sim 124^{\circ}$,为黄河中下游、淮河流域、海河流域、长江下游诸省的主要用材林、薪炭林、水土保持林、海堤及河堤防护林,在维持生态平衡,提供用材等方面有重大作用。仅河北、河南、山东和山西等6省的刺槐就有40多亿株,特别是在河北临漳县漳河流域和山东黄河故道都有集中分布。在湖北江汉平原及丘陵地区刺槐也作为堤岸防护的重要树种。据估测,我国刺槐种植面积约在100万 hm^2 以上,已演化为我国的一个乡土树种。

1.2 刺槐生物学特性

刺槐是豆科蝶形花亚科刺槐属,乔木或灌木,树冠近卵形,树皮灰褐色至黑褐色,纵裂。小枝褐色或淡褐色,光滑。在总叶柄基部具有大小、软硬不相等的2托叶刺。奇数羽状复叶,托叶刚毛状或刺状,小叶全缘;具小叶柄及小托叶。小叶7~11个,长椭圆形或卵形。总状花序腋生,下垂;苞片膜质,早落;花萼钟状,5齿裂,上方2萼齿近合生;花冠白色、粉红色或玫瑰红色,具清香气,花瓣具柄,旗瓣大,反折,翼瓣弯曲,龙骨瓣内弯,钝头;雄蕊二体,对旗瓣的1枚分离,其余9枚合生,花药同型,2室纵裂;子房具柄,花柱钻状,顶端具毛,柱头小,顶生,胚珠多数。荚果矩圆状,条形,扁平,棕褐色,长4~

10 cm, 宽1~1.5 cm, 沿腹缝线有窄翅。种子扁肾形, 黑色或暗棕色, 有淡色斑纹。刺槐的年生长期为169~306天, 形成绿色树冠的年天数为160~235天, 落叶期一般在10月下旬至11月上旬。3~5年生开始开花结实, 10年生以后大量结实。花期在每年的4~5月, 果期在每年的9~10月。

刺槐具有多种利用价值。刺槐生长快, 萌蘖能力强, 根系发达, 具有根瘤, 有很强的固氮能力, 有一定的抗旱、抗涝能力。刺槐耐轻盐碱, 是改造盐碱地的先锋树种, 其保持水土能力很强, 14年生的刺槐人工林, 截留降水量28%~37%, 刺槐枝叶生物量达28~375 kg·hm⁻², 可吸水244~300 kg·hm⁻², 一株14年生刺槐根系可固定2~3 m³土壤。刺槐树冠高大, 叶色鲜绿, 具有很高的绿化和观赏价值, 可作为行道树、庭荫树。刺槐材质坚韧, 纹理细致, 有弹性, 耐水湿, 耐腐朽, 耐磨损, 不易断裂, 适做建筑、家具、桥梁、矿柱, 是重要的速生用材树种。树皮富纤维、含单宁, 可作造纸、纺织及提取栲胶原料。刺槐叶含氮丰富, 一般含粗蛋白20%~30%, 赖氨酸1.29%、蛋氨酸0.03%、苏氨酸0.56%、异亮氨酸1.15%、缬氨酸1.45%、亮氨酸2.01%和苯丙氨酸1.29%, 此外还含有胡萝卜素、维生素, 是具有良好的营养价值的饲料添加剂。刺槐花既是重要蜜源, 又可以从中提取香料, 刺槐花精油的主要成分是单萜类和倍半萜化合物, 其含量为α-蒎烯1.13%、香叶烯5.12%、α-柠烯50.92%、γ-蒎品烯12.78%和麝子油烯1.0%等, 用刺槐花浸膏和精油配制香精可增加天然鲜花感。刺槐花还有解痉、清热、祛痰等医药作用, 临床上可治疗急慢性肾炎、尿毒症、肾性高血压、膀胱炎和泌尿系统等疾病。刺槐种子含油率达12.00%~13.88%, 可作生产肥皂与油漆的原料。在城市绿化、美化和香化的生态工程中, 刺槐具有潜在的应用价值及巨大的社会效益与生态效益。

1.3 国外刺槐研究

刺槐在全世界栽种范围很广, 各国学者对刺槐均有研究, 匈牙利、德国、罗马尼亚、保加利亚和韩国等对刺槐的研究比较深入。匈牙利是刺槐栽培面积最大和栽培时间最早的欧洲国家之一, 匈牙利林木育种学家 Keresztesi 编辑的《Black Locust》(即《刺槐》, 由我国林学家王世绩等翻译成中文)描述了匈牙利的刺槐培育利用现状和技术。德国是研究刺槐最早, 且研究较系统的国家, 近年来德国致力于刺槐资源搜集、不同要求的品种选育、树木混交培育、能源替代等方面的研究。

1.3.1 资源搜集、种源试验

Surles(1989)通过对23个种源18种等位酶分析,研究了美国天然分布区内刺槐的遗传变异。结果发现,88%的变异存在于种源内,没有形成明显的地理变异模式,只在地理界限明显的种源间遗传分化较大,认为对于刺槐资源的选择应以种源内的遗传分化为主。Major(1998)利用从匈牙利不同地区的种源间筛选出36个刺槐无性系作为试验材料,测定了10种同工酶和15对RAPD引物扩增产物的变化,通过主成分分析和聚类分析,证明不同无性系间存在显著差异,无性系间的遗传分化与无性系的地理位置有一定的相关性。杨敏生(2004)、Heike(2004)以欧洲和美国的18个刺槐种源为试验材料(匈牙利6个、斯洛伐克2个、德国8个、美国2个),测定了11种等位酶系统,分析了其中多态性高、差异大的7种等位酶系统的遗传变异,研究了欧洲刺槐种源的遗传结构和遗传多样性,证明匈牙利、斯洛伐克的种源等位酶遗传变异水平高于德国的种源,匈牙利和斯洛伐克的种源群体间遗传差别小,群体内遗传差异大;而德国种源间遗传差别较大,群体内遗传差异相对较小。欧洲种源间没有形成明显的地理变异模式,刺槐遗传多样性丰富,遗传改良存在巨大的潜力,应主要集中在群体内个体改良上,通过个体选择可取得较大的遗传增益。

1.3.2 刺槐生理代谢

对刺槐生理代谢研究早期多集中在抗逆性方面,近期则向微观方向发展迅速,有关分子机理的探讨增多。Karl(1997)研究了刺槐木材特性与环境的相关性,生长期达30年以上的刺槐无论是新鲜的或风干的木材都可作为木材形成过程的一些物理指标。Redei(2002)研究了匈牙利刺槐木材的选择和管理。在抗性研究方面,Siminovitch(1968, 1975, 1977)、Brown(1977)研究了细胞膜的不饱和脂肪酸和膜结构与抗寒性的关系,对不同生长时期刺槐的抗寒性进行了比较。很多学者研究了刺槐的抗逆性。Zaragoza(2004)研究了转基因刺槐的抗除草剂,通过农杆菌载体SAAT介导的刺槐抗除草剂转基因植株,转化率达2%。Sinclair(2005)通过测定干旱条件下刺槐蒸腾速率的日变化,研究了刺槐的抗旱性,在田间最大持水量下降0.23~0.32时,刺槐的蒸腾速率几乎不受影响,当超过这一界限,下降到0.5时,蒸腾速率直线下降。Vítková M(2015)对捷克511个刺槐株系(strains)进行了刺槐对土壤质地类型的适应研究、对33个固定林地的刺槐进行了刺槐对土壤化学成分的适应性研究,结果发现刺槐适应多种质地的土壤类型,能忍耐一定的土壤酸碱度,从刺槐根系对土壤的适应能力说明了刺槐广泛分

布的机制。在光合作用特性研究方面, Chapman(2001)研究了刺槐光合过程中光量子的变化。Sandu(2005)以3个月的刺槐幼苗为材料研究了强电磁场对刺槐叶绿素的影响,用400 MHz的点磁场分别处理1、2、3和8 h,发现每天处理2 h,叶片的叶绿素a和叶绿素b的含量明显升高,而其他处理叶绿素的含量下降。

刺槐是豆科植物,固氮机理的研究一直受关注, Mechthild(1991)、Johnsen(1991)、Kurt(1992)、Kirsten(1999)、Ntayombya(1995)、Chunjie(2003)、Feng(2004)、Steven(2004)分别从不同角度研究了刺槐固氮能力与刺槐生长的关系。Nam Jin Noh(2010)对韩国中部不同朝向(向北和向南)的25年生刺槐林的固氮能力进行了比较研究,结果发现不同的根瘤量影响刺槐林的固氮能力,在生长季刺槐林每月每公顷固氮能力变化在0.1~37.5 kg,年度间每公顷刺槐林固氮速率在23.2~112.3 kg。Nguyen(2015)在韩国南部刺槐林根系土壤中分离提取了慢生根瘤菌株(*Mesorhizobium*)NHI-8(T),分析了该菌株的16S rRNA基因顺序,证实了该菌株是慢生根瘤菌的一个新型株系。在抗病性研究方面: Horejsi(1978)、Els(1995)、Van(1995)、Eric(1997)分别研究了刺槐不同组织保护素的结构和提纯,并分析了保护素编码的基因。Rakesh(2000)研究了真菌处理对刺槐叶片功能的影响。Vajna(2002)、Kovacs(2003)研究了感病条件下刺槐的溃烂和枯萎过程。Talas(2005)研究了刺槐种子蛋白的抗菌能力,从种子中分离出的低分子量的肽链,对7种细菌有抑制作用,尤其对金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)有明显的抑制作用。

1.3.3 刺槐功能基因

随着研究的深入,刺槐生长过程有关的功能基因研究受到重视。Hu(2005)以刺槐花粉细胞研究细胞质遗传,通过荧光测定,在花粉形成的减数分裂过程中,父系细胞的线粒体DNA明显降解,因而细胞质遗传以母系线粒体的DNA为主。Yang(2004)以cDNA微矩阵方法研究了刺槐心材形成过程中基因随季节变化而表达的过程,与氮素固定有关的基因*RpALN*在刺槐种子萌发、幼苗生长过程中,在胚芽、胚轴明显表达,而在胚根和幼根中表达不明显;在成年的木干中,顶芽部位该基因表达明显,而在木材初生区表达不明显;该基因随季节不同表达也不同,春季和秋季不如夏季表达明显。Park(2003)发现了与刺槐根系伸长有关的生长素基因(*RpARP*)。Kanwar(2003)以农杆菌为二元载体转化刺槐叶片,转化率达16.7%,在刺槐转基因应用上有很大的潜力。

1.3.4 刺槐遗传、育种、生产

世界各地刺槐面积达 189 万 hm^2 ，其中匈牙利 27.5 万 hm^2 ，罗马尼亚 19.1 万 hm^2 ，法国 10 万 hm^2 ，保加利亚 7.3 万 hm^2 ，前苏联 14.4 万 hm^2 ，韩国 101.7 万 hm^2 。在匈牙利，自 20 世纪 50 年代开始大力营造速生丰产林，人工林面积达 100 万 hm^2 ，其中刺槐是分布最广的树种，占森林总面积的 18%。1951 年开始制定了以改善木材质量为目的的刺槐选育计划，但获取木材已不再是刺槐栽培的唯一目的。迄今所选育的一些优良刺槐品种，按用途划分为 3 类：大径木板材型、杆柱型、蜜源和美化环境型，刺槐的多目的利用得到了较好的体现。德国的刺槐栽植面积达到了 1.3 万 hm^2 ，近年致力于高大直干刺槐品种的选育，已经选出 30 个无性系，但尚在试验阶段。在优良无性系的选育过程中，德国采用了组织培养法，以 Ewald 和 Naujoks 为首的德国联邦林业和木材科学研究院的科学家们设立了 3 片试验地，对刺槐进行子代测定试验，其中包括通过组培取得的 30 个刺槐无性系子代。在保加利亚，刺槐是最受欢迎的引进树种，近 15 年内实施了大规模的人工造林，刺槐林营造林面积 7.3 万 hm^2 ，占森林总面积的 2.3%，刺槐林立木蓄积量 340.8 万 m^3 ，刺槐育种以生产中等级工业材，尤其是坑木材和蜜源林为主。韩国有世界上连片面积最大的刺槐林，自 20 世纪 60 年代后刺槐推广面积迅速增加，韩国山林厅林木育种研究所培育的刺槐品种包括速生用材型和饲料型 2 种，速生刺槐作为薪炭材为居民提供了大量燃料，饲料型刺槐的叶子作为猪和鸡的饲料，为了生产饲料，他们培育推广了叶子重量大、蛋白质含量高的四倍体刺槐，并于 1993 年引入我国。

1.3.5 刺槐生态效应

随着工业化进程的加快，刺槐在环境优化方面也日益受到重视。刺槐可以作为重金属污染程度的一个指标，通过对重金属的吸收达到净化环境的目的。Kondo(1998)研究 3 种类型树木(针叶树、常绿阔叶树、落叶阔叶树)对空气有害气体的吸收，结果发现落叶阔叶树(包括刺槐)对有害气体的吸收能力最强；Celik(2005)以丹麦 Denizli 城市为地点，研究刺槐叶片重金属的含量，在工业发达、工厂多的地区，叶片内一些重金属含量明显高于正常地区，而在交通密集地区，叶片的铅和铜的含量明显较高，因此，刺槐一方面可以作为一种检测环境状况的指标，又可以作为大气清洁剂发挥其生态价值。由于刺槐的适应性广，在干旱条件下种植，可以改善当地水分状况。在树木混交培育方面，德国北部人们常在刺槐林下播种橡树和欧洲栗等细木树种。在现在化石燃料危机时代，人们寻求

廉价的能源替代品,可再生的木材成为首选,刺槐被认为是最佳的能源载体,德国林区和一些社区乡村已建有焚烧枝丫和木材碎屑的高效燃烧炉设备,用以给当地供应暖气和热水。

1.4 我国刺槐研究

刺槐目前已遍布全国各地。由于刺槐具有巨大社会效益、经济效益与生态效益,我国研究人员对刺槐进行了深入的研究,已在刺槐资源开发、利用研究中积累了丰富的资料。

1.4.1 刺槐形态

南京林业大学李鹏(2002)通过研究渭北黄土高原淳化县境内的刺槐根系垂直分布特征,研究了刺槐对深层土壤中水分、养分的吸收程度,解释了刺槐根系分布适应干旱环境的机理。浙江林学院谢东锋(2004)通过建立刺槐木质部栓塞性曲线来分析刺槐在不同水势条件下的水分传输规律。苏印泉(1997)对刺槐叶的亚显微结构进行了研究,认为刺槐叶具有叶面积与体积比值较小,表皮细胞角质层较厚,叶脉发达,近轴面具有管状毛状体以及远轴面具有多细胞鳞片毛的特征,气孔器属浅内陷型,且具较大的孔下室,叶肉中栅栏组织发达,海绵组织近于退化,厚壁及机械组织增强,组织细胞中含有晶体和淀粉粒等诸多旱生植物特征。刺槐这些旱生特征也是长期适应干旱地区不良水分环境的结果。

1.4.2 刺槐生理、适应性研究

1.4.2.1 水分利用效率

李洪建(1996)对晋西北黄土丘陵沟壑区人工刺槐林的水分生态特点进行了研究,表明蒸腾强度日变化与光照强度日变化的关系最为明显,与气温日变化的关系次之;而水势的日变化与气温日变化的关系最为明显,与相对湿度日变化的关系次之。贺康宁(2003)建立了刺槐日蒸腾过程的 Penman-Monteith 拟合方程,研究半干旱地区林木的实际蒸腾量,旨在寻求防护林密度调控、提高林木水分利用率及林分稳定性指标。田晶会(2002)对刺槐林地的水分运动及变化和供水与耗水关系进行了研究,确定了合理的林分密度。单长卷(2003)对黄土高原丘陵沟壑区3种立地下的刺槐生长状况与土壤水分条件的关系进行了研究,表明在生长初期、中期、末期3个时期半阴坡、半阳坡、阳坡3种立地间土壤水分的差异均达