

中/国/资/源/生/物/研/究/系/列

罗布麻 生理生态学研究

李国旗 陈彦云 等/著

Physioecology of
Apocynum



科学出版社

中国资源生物研究系列

罗布麻生理生态学研究

李国旗 陈彦云 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是在国家林业局“948”项目“罗布麻属耐盐植物新种及其培育技术引进”(2004—04—10)、国家科技支撑课题“荒漠草原区农牧复合生态系统构建与可持续利用技术集成与试验示范”(2011BAC07B03)及宁夏大学“草业科学与生态工程”“211”重点学科建设的支持下完成的阶段性成果的总结。多年来,宁夏大学罗布麻课题组成员在深入了解国内外罗布麻研究进展的基础上,紧紧围绕罗布麻生理生态特性这个主题,系统开展了罗布麻繁育技术,营养器官解剖,盐碱胁迫下的生理生化特性、光合特性、遗传多样性,总黄酮提取工艺及其积累规律的研究。这些研究成果不仅丰富了罗布麻基础研究的内容,也将为罗布麻的人工栽培提供借鉴。

本书可为从事生态学、林学、植物学和环境科学的研究人员及大专院校师生以及从事资源植物开发与利用的相关人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

罗布麻生理生态学研究/李国旗等著. —北京: 科学出版社, 2012.
(中国资源生物研究系列)

ISBN 978-7-03-035215-6

I. ①罗… II. ①李… III. ①罗布麻-生理生态学-研究
IV. ①S563.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 172170 号

责任编辑: 罗 静 / 责任校对: 彭立军

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

装 订 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 8 月 第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012 年 8 月第一次印刷 印张: 11 插页: 4

字数: 200 000

定价: 60.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《罗布麻生理生态学研究》

著 者 名 单

- | | |
|-----|-----------------|
| 李国旗 | 宁夏大学 |
| 陈彦云 | 宁夏大学 |
| 曹君迈 | 北方民族大学 |
| 任玉锋 | 北方民族大学 |
| 王东清 | 宁夏农林科学院 |
| 张永霞 | 内蒙古新创环保科技发展有限公司 |
| 张 浩 | 宁夏大学 |
| 任辉丽 | 宁夏农垦干部学校 |
| 万海霞 | 宁夏固原地区农科所 |
| 张清云 | 宁夏农林科学院 |
| 陈 伟 | 银川市第十八中学 |

前 言

罗布麻 (*Apocynum* spp.) 是夹竹桃科 (Apocynaceae) 多年生宿根草本植物, 成活期可达 30 年以上。1952 年, 中国科学院的农林经济学家董正钧先生在新疆罗布平原发现该植物并首次命名为罗布麻。罗布麻是一种抗逆性很强的生态经济型植物, 广泛分布于我国的长江、淮河、秦岭和昆仑山以北的区域。新疆是我国野生罗布麻分布面积最大的地区。在世界范围内, 罗布麻属植物有 25 种, 主要分布于北美洲、欧洲和亚洲的温带及寒温带地区。

罗布麻的抗逆性主要表现为耐旱、耐盐、耐寒、耐高温及抗风沙, 是中亚荒漠化草原区防风固沙的优势植物, 抗逆性是罗布麻发挥其生态价值的基础。罗布麻的经济价值主要体现在药用、纤维用、食用和观赏等方面。罗布麻的根、茎、叶、花全草入药。早在《本草纲目》、《救荒本草》中就有相关记载, 1977 年罗布麻被正式录入《中华人民共和国药典》, 主治高血压, 对中老年人肥胖、便秘、气喘、心悸等症尤为适宜。罗布麻纤维素含量高、强度大、抗菌、耐腐蚀、手感柔软, 光泽度可与真丝相媲美, 被誉为“野生纤维之王”。罗布麻是我国干旱荒漠区主要的观赏植物之一, 也是优良的蜜源植物和牧草植物。

近年来, 罗布麻产品特别走俏, 尤其是罗布麻高档纺织品、保健茶价格不菲, 使得我国罗布麻资源遭到掠夺式利用。面对如此境况, 当务之急是开展罗布麻的人工栽培。而迄今为止, 无论是在罗布麻的基础研究还是产业开发上, 都缺乏系统深入的研究。鉴于此, “罗布麻属耐盐植物新种及其培育技术引进”项目于 2004 年获准立项。多年来课题组研究了罗布麻繁育技术、光合特性、遗传多样性和盐碱胁迫下的生理生化特性, 通过对国内外 2 种罗布麻营养器官的解剖研究, 揭示其抗旱性的强弱, 并对罗布麻总黄酮积累规律及提取工艺进行了研究。

本书是课题组成员集体努力的结果, 也是多年辛勤工作的成果。本书的写作框架及学术思想是在李国旗教授和陈彦云教授共同主持下完成的。全书由李国旗和陈彦云负责统稿。各章节的作者如下: 第一章, 任玉锋和张清云; 第二章, 曹君迈和陈伟; 第三章, 李国旗和王东清; 第四章, 李国旗和张永霞; 第五章, 陈彦云和万海霞; 第六章, 李国旗和张浩; 第七章, 陈彦云和任辉丽。

由于参与本书写作的人员较多, 加之成书时间仓促, 书中可能有一些不妥和疏漏, 敬请各位同仁批评指正。

李国旗

2012 年 3 月于银川

目 录

第一章 罗布麻研究进展	1
第一节 罗布麻简介	1
一、罗布麻的分布	1
二、罗布麻的生物生态学特征	1
三、罗布麻的用途	2
第二节 罗布麻国内外研究进展	5
一、种属的分类及资源分布研究	5
二、栽培繁育研究	5
三、生物学研究	5
四、分子生物学研究	7
五、其他研究	8
第三节 罗布麻开发研究展望	8
第二章 罗布麻繁育技术研究	10
第一节 研究材料与方法	10
一、材料	10
二、方法	11
第二节 结果与分析	12
一、罗布麻外植体的筛选及愈伤组织诱导	12
二、罗布麻快繁技术的优化	13
三、资源植物罗布麻的育苗技术	16
第三节 讨论与结论	18
一、罗布麻外植体的筛选及愈伤组织诱导	18
二、罗布麻离体培养及快繁技术优化	19
三、罗布麻的育苗技术	19
第三章 罗布麻营养器官解剖结构及其抗旱性研究	21
第一节 罗布麻营养器官解剖学研究	22
一、研究材料与方法	22
二、研究结果	23
三、分析与讨论	26

第二节 干旱胁迫下 2 种罗布麻的生理生态特性研究	27
一、研究材料与方法	27
二、结果与分析	33
三、讨论与结论	51
第三节 2 种罗布麻抗旱能力的综合评价	56
一、2 种罗布麻抗旱能力综合评价指标体系	56
二、2 种罗布麻抗旱能力的综合分析评价	57
第四章 罗布麻光合特性的研究	60
第一节 研究材料与方法	60
一、试验地点概况和试验材料	60
二、试验内容及方法	61
第二节 结果与分析	63
一、红麻和白麻净光合作用日变化	63
二、不同月份红麻和白麻光合速率的日变化	69
三、红麻和白麻叶片对生态因子的响应	72
四、红麻和白麻叶绿素荧光特性的比较	75
五、温室盆栽红麻和白麻光合特性的比较	79
第三节 讨论与结论	82
一、讨论	82
二、主要结论	86
第五章 盐碱胁迫对罗布麻生长及生理特性的影响	87
第一节 盐碱胁迫对罗布麻生长的影响	87
一、研究材料和方法	87
二、结果与分析	89
第二节 盐碱胁迫对罗布麻生理生化的影响	93
一、研究方法	93
二、结果与分析	94
第三节 盐碱胁迫下罗布麻同工酶酶谱的变化	97
一、研究方法	97
二、结果与分析	99
第六章 应用 RAPD 分析不同地区罗布麻的遗传多样性	103
第一节 野生罗布麻的 RAPD 分析	103

一、研究材料与方法	103
二、结果	108
第二节 野生罗布麻的遗传多样性与生态因子相关性分析	113
一、研究材料与方法	113
二、野生罗布麻的遗传多样性与生态因子之间的关系	114
第三节 讨论与结论	118
一、讨论	118
二、结论	122
第七章 罗布麻总黄酮提取工艺及其积累规律的研究	124
第一节 罗布麻总黄酮提取工艺优选	125
一、研究材料与方法	125
二、结果与分析	128
三、讨论与结论	132
第二节 罗布麻总黄酮积累规律的研究	134
一、研究材料与方法	134
二、结果与分析	135
三、讨论与结论	147
参考文献	152
缩略词	162
图版	

第一章 罗布麻研究进展

罗布麻为夹竹桃科 (Apocynaceae) 多年生宿根草本植物, 成活期可达 30 年以上 (中国植物志编辑委员会, 1977)。在我国, 罗布麻名称繁多, 如甘肃河西一带称其为“野麻”或“羊肚拉角”, 青海藏族称其为“扎哈”, 新疆维吾尔族称其为“野务其干”、“陶格其干”等, 蒙古族称其为“赛尔力克噢尔斯”, 陕西称其为“茶叶花”、“野茶”、“红花草”, 宁夏称其为“茶棵子”或“红花子棵”, 山东、山西、河北称其为“茶叶花”、“茶棵子”, 等等 (叶菊等, 2008)。1952 年, 农林经济学家董正钧先生在新疆罗布平原发现生长茂盛且具有优良纤维特性的这种植物, 并首次拟名为罗布麻, 该名现已在科研、生产等领域被普遍认可。

第一节 罗布麻简介

一、罗布麻的分布

我国分类学家将统称的罗布麻划分为 2 属 3 种 (张绍武等, 2000), 即罗布麻属的罗布麻 (*Apocynum venetum* L.), 白麻属的大叶白麻 (*Poacynum hendersonii* (Hook.f.) Woodson) 和白麻 (*Poacynum pictum* (Schrenk) Baill.), 其中有两个种可供开发利用, 即大叶白麻 (通称白麻) 和罗布麻 (通称红麻)。根据生产实践的需要及从植物分类学的依据考虑出发, 张卫明等 (2006) 认为应将我国罗布麻植物划分为 1 属 2 种, 即罗布麻属 (*Apocynum* L.), 罗布红麻 (*A. venetum* L.) 和罗布白麻 (*A. hendersonii* Hook.f.) 2 个种。通常所说的罗布麻, 就是指红麻和白麻, 前者植株高大, 幼苗为红色, 茎高达 1.5~2m, 最高可达 4m 以上; 后者植株较矮小, 幼苗为浅绿色, 茎高为 1~1.5m, 最高可达 2.5m。

我国罗布麻大致分布于长江、淮河、秦岭和昆仑山以北的区域, 其中红麻分布于东自沿海、西到新疆的范围, 而白麻则只分布于东经 104°以西的西北内陆区域。张绍武等 (2000) 将罗布麻分布区划分为 3 部分: ①西北内陆白麻和红麻干旱分布区; ②北部红麻半干旱分布区; ③沿海及内地红麻半湿润及湿润分布区。

世界范围内罗布麻属植物有 25 种, 主要分布于北美洲、欧洲和亚洲的温带及寒温带地区 (George and Harold, 1949)。

二、罗布麻的生物生态学特征

(一) 生物学特性

罗布麻为多年生宿根草本植物, 具乳汁。主根粗壮, 具侧根; 茎有明显或不

明显的节，具分枝；叶对生，稀近对生或互生。聚伞花序顶生或腋生；花萼5裂；花冠钟形，顶端5裂，花冠筒基部有5裂的副花冠，离生或基部合生；雄蕊5枚，着生于花冠筒基部，与花冠裂片互生，不伸出花冠喉部，花药箭头状，先端尖，基部具耳；花盘肉质，5裂；子房半下位，心皮2，离生，花柱短，柱头基部盘状，先端2裂。蓇葖果2，叉生，圆柱状，细长；种子细小，顶端具簇生种毛（马德滋，2007）。

罗布麻在每年3月下旬至4月中旬越冬芽开始萌动出土返青；5月下旬至6月中旬进入初花期，末花期在8月下旬至9月中旬，花期达90余天；8月下旬至9月中旬进入种子成熟期，年生长180d左右。

（二）生态学特性

罗布麻是一种抗逆性很强的植物，其耐旱性、耐盐性、耐冻性、耐高温及抗风沙能力相对较高，是中亚荒漠化草原区防风固沙的优势植物（董正钧，1958）。它对土壤的要求不太严格，在沙质土壤中也容易成活；在年降水量为100mm甚至不足15mm，而蒸发量高达2500~3000mm的干旱地区，罗布麻仍生长良好；在新疆的一些田地中，盐含量高达14.5%，在青海柴达木盆地有些田地中土壤表层30cm内含盐量甚至高达50%，罗布麻仍能良好地生长；在新疆北部阿勒泰地区，极端低温-47℃，地面积雪期130d，罗布麻也可自然生长，株高可达70~120cm；在吐鲁番盆地，夏季最高气温达47.8℃，地面温度达52℃以上，罗布麻生长得也好（高铁生等，1999）。

三、罗布麻的用途

（一）药用价值

罗布麻药用价值高，其根、茎、叶、花全草入药。早在《本草纲目》、《救荒本草》中就有相关记载（曾斌芳等，2009）。1977年，罗布麻被正式录入《中华人民共和国药典》，药典中阐述其主治功能为“平肝安神，清热利水，用于肝阳眩晕，心悸失眠，浮肿尿少，高血压，神经衰弱，肾炎浮肿”（杨志芳等，2006）。

罗布麻的不同部位有着不同的治疗功效（西北植物研究所和西安医学院第三附属医院，1978；陈龙等，2005；李庆华等，2008）。罗布麻根中含有强心甙、酚类、甾体及三萜化合物，对人体有缓解心力衰竭、平心悸、降血压、降血脂、止眩晕、消除水肿、抗过敏等多种功效；罗布麻茎中含有强心甙、酚类、黄酮类成分；罗布麻叶中主要含有黄酮类、鞣质、低分子有机酸类、长链脂肪酸酯、醇类、甾体类、糖类、烷类、氨基酸等成分，这些化学成分中的有效物质能够作用于人体的心血管系统、神经系统、呼吸系统及泌尿系统，从而起到降血压、降血脂、抗抑郁、镇静、止咳平喘、化痰、预防和治疗感冒、利尿的功效，除此之外，这

些化学成分还有抗氧化、延缓衰老、抗突变和保肝的作用；罗布麻花中含有强心甙、黄酮类、酚类、花色素，同样有着很好的治疗保健作用；罗布麻乳汁能够促进伤口愈合。

（二）纤维利用价值

罗布麻纤维属韧皮纤维，位于茎秆上的韧皮组织内。其单纤维是一种两端封闭、中间有胞腔、中部粗而两端细的细胞状物体，截面呈明显不规则的腰子形，中腔较小，纤维纵向无扭转，表面有许多竖纹并有横节存在。罗布麻的纤维素含量高达 81.4%，比一般麻类高，纤维强度是棉纤维的 5~6 倍，细度优于苧麻，且手感柔软，具有较强的吸湿能力，散水散热快，耐腐蚀，光泽度可与真丝相媲美。除上述优良的物理特性之外，加之所具有的药理性质，使罗布麻成为纺织原料中的佼佼者，被我国麻类专家丰云鹤等誉为“野生纤维之王”（张秀玲，2004）。以上优良的纤维性能使得罗布麻织品有着其他纺织品所不可比拟的特性。

第一，与棉、丝、毛及化纤材料进行混纺的罗布麻织品手感柔滑，悬垂性、抗静电性较好，吸湿散湿快，具有丝绸般的外观（赵博，2004）。由新疆金塔毛纺织有限公司研制的长绒棉/罗布麻混纺织品在 8℃ 以下的保暖性是纯棉织物的 2 倍，21℃ 以上的透气性是纯棉织物的 25 倍。

第二，罗布麻织物有较强屏蔽紫外线的能力（邵松生，2000）。中国科学院上海技术物理研究所对新潮公司的罗布麻与棉混纺织物的测试表明，罗布麻织物紫外线辐射穿透率仅为 2%，而普通衣物仅能阻隔 30%~90% 的紫外线。

第三，罗布麻具有较强的抗菌性。据吕锐等（2006）研究报道，罗布麻纤维对金黄色葡萄球菌、铜绿假单胞菌、大肠埃希菌和白色念珠菌的抑菌率分别为 47.7%、69.0%、56.6% 和 40.1%；日本国睦屋株式会社测定，罗布麻织物洗涤 30 次后无菌率仍高于一般织物的 10~20 倍，是天然的抗菌纤维。

第四，医疗保健作用。35% 以上罗布麻纤维与羊毛、棉混纺的纤丝织成的内衣具有降血压、降血脂、平喘、止咳的保健功能，并可防治痔疮、慢性皮炎、湿疹等疾病，对妇科疾病及习惯性皮肤瘙痒也有较好的疗效；罗布麻叶中的总黄酮具有抗抑郁作用（郑梅竹，2011）。

第五，罗布麻能发出 4~16μm 的远红外射线，这种射线能与人体内老化的大分子团产生共振，使分子团裂化重组及提高细胞内钙离子活性，从而增强细胞活性，促进血液新陈代谢，增强机体免疫能力。日本的丹羽勒负医学博士还发现，8~15μm 远红外射线能够抑制癌细胞的增殖，从而抑制癌症的病变和发展。（彭源德等，1995）

罗布麻茎皮除在纺织方面表现出优良品性外，它还是造纸的好原料，可制成多种证券和绘图用纸等。

(三) 生态价值

罗布麻生态利用价值颇高。第一, 罗布麻叶片栅栏组织发达, 叶的表皮又具一层角质层, 可以减少水分的大量蒸发, 从而适应干旱气候; 第二, 罗布麻地下芽多分布于土壤表层 25~50cm 深处, 并且幼芽外面具有芽苞保护, 不致受冻害, 从而适应寒冷的气候; 第三, 长期的自然选择使罗布麻形成了粗壮的深根系, 这种根系能穿过强盐化的表土重盐层, 深入 2~3m 以下的轻盐化的深土层, 从而适应盐渍化土壤; 第四, 罗布麻根蘖营养繁殖能力强, 具有发达的水平根系和垂直根系, 且罗布麻上一年的枯枝宿存, 呈丛生状, 当年的新枝多在往年宿存的枯枝丛内萌发生长, 新枝在枯枝的保护下, 不致受风危害, 从而适应风大且频的天气; 第五, 罗布麻茎基部木质化, 皮层厚, 根部具很厚的栓质化表层, 这些形态特征都保证了罗布麻能抵抗炎热而正常生长。

罗布麻这些耐旱、耐寒、耐盐碱、抗大风及耐高温的特性, 使其成为干旱及荒漠化地区生态改良的首选植物。与种草相比, 罗布麻植株高不易被风沙完全覆盖; 与造林相比, 罗布麻不仅所需栽培时间短、耗水量小、成活率高、成本低、易管理, 而且同样起到改良土壤、调节气候、保持水土及防风固沙的作用(揭雨成等, 2001)。

(四) 观赏价值

罗布麻是我国干旱荒漠区主要的观赏植物之一。它随遇而安, 在沙漠盐碱滩中照样长得根深叶茂, 茎高枝壮, 新叶展翠, 花儿红白相映, 白的如玉, 红的如霞, 繁花似锦, 给荒凉的戈壁沙漠带来一片生机, 也为艰苦跋涉的沙漠探险者带来心灵上的慰藉。罗布麻生态适应能力强, 广泛分布在北半球温带和寒温带地区, 每年割取地上部分综合利用, 第二年春天又萌新枝, 不需要灌溉、施肥, 只作简单的管理即可正常生存、生长。

(五) 其他利用价值

罗布麻叶片可制成茶叶, 长期饮用有生津止渴、清热解毒、预防高血压、抗衰老等功效; 其叶还可制成罗布麻烟, 该烟能减少烟碱等物质对人体的危害, 同时还有祛痰、镇咳、平喘、预防气管炎等功效; 罗布麻还是很好的蜜源植物, 它的花期长、开花量多、花蜜腺发达, 在罗布麻集中分布区养蜂, 既能为蜜蜂提供优良的花蜜, 又可促进周边农作物或野生植物的花粉传播, 从而达到促丰增产的目的; 罗布麻也是很好的饲用牧草植物, 适口性好, 牛、羊等牲畜均喜食; 其植株的乳汁中含胶量为 4%~5%, 是制造轮胎的原料之一; 麻秆剥皮后可作保暖建筑材料; 种子纤毛可作枕头等的填充物。

第二节 罗布麻国内外研究进展

20 世纪 50 年代初,农林经济学家董正钧先生为罗布麻正名后,我国科研工作者开始重视罗布麻资源,并展开了初步的调查和研究。在当时纺织原料短缺的基本国情下,罗布麻优良的纤维特性得到了专家们的青睐,但研究仅限于纺织方面的开发利用,且在脱胶方面的关键技术一直未得到突破,后又因我国纺织原料问题通过其他途径得到较好解决,所以罗布麻的研究一度中断。直到 80 年代,我国科研工作者才对罗布麻展开了较为全面的研究,主要集中在以下几个方面。

一、种属的分类及资源分布研究

张绍武等(2000)对我国罗布麻分布作了具体的区划;张秀玲(2004)及张磊等(2003)分别对山东和新疆阿克苏地区的罗布麻资源进行了调查和研究;张卫明等(2006)对罗布麻进行了分类并指出其资源利用的方向。

二、栽培繁育研究

罗布麻栽培繁育研究主要从其生长发育规律、繁育手段、苗期管理及病虫害防治等方面展开。20 世纪 90 年代末,胡瑞林等(1998)编著了一期“罗布麻栽培驯化专题”,从罗布麻种子发芽与温度的关系、苗期生长习性、茎的生长规律、地上部凋枯死亡的影响因素方面系统阐述了罗布麻的生长发育规律。2000 年以后,罗布麻繁育手段日臻成熟,主要分为有性繁殖和无性繁殖。有性繁殖(叶树茂等,1988;陆嘉惠等,2007;陈敏等,2011)研究罗布麻传粉的生物学规律及花粉的萌发与保藏;无性繁殖(张广伦等,2005;陈彦云等,2006;魏书琴,2010a,2010b;刘志华等,2010;陈敏敏等,2010;徐琴等,2010;刘萍等,2010;刘小锐等,2009)是通过根茎切段繁育、分株繁育、种子及茎尖组织培养方法实现的。目前,由于有性繁殖种苗成活率低,繁育周期长,而组培技术要求高及成本较高等因素,所以常用的方法还是根茎切断和分株繁育技术,但这两种方法在取材时势必会破坏天然种群,且对其赖以生存的土壤也会造成深层次的破坏。

三、生物学研究

罗布麻生物学研究主要从植株构型、解剖结构、生理特性、遗传多样性等方面展开。

（一）植株构型研究

张秀玲（2008）研究了华北平原野生罗布麻种群生殖分株数量特征，研究表明，罗布麻蒴果生物量、蒴果数、种子生物量、种子数分别与分株总生物量呈极显著的（ $P<0.01$ ）线性正相关；蒴果数、种子数与茎叶生物量分配呈极显著的（ $P<0.01$ ）线性负相关；单蒴果的重量、种子重、种子数、种缨重分别与蒴果的长度呈极显著的（ $P<0.01$ ）幂函数正相关。

（二）解剖结构研究

主要从罗布麻的根、茎、叶、花及种子的形态结构方面展开研究，并对不同种罗布麻进行了对比研究，为罗布麻生态适应性研究奠定了理论基础。马立群等（2008）对内蒙古包头市、巴彦淖尔市和通辽市 3 个地区的罗布麻种子形态和种皮表面微结构进行观测，结果表明，不同产地的罗布麻种子在种长、种宽、种厚、种子大小指数、千粒重、种皮比重、种子附属绒毛长度、种子附属绒毛数量 8 方面差异均显著。周玲玲等（2000）研究了不同发育时期的罗布麻生殖器官的解剖结构，对其传粉方式进行了探讨，认为它有自花传粉和异花传粉两种方式。苏红文等（1977）对新疆罗布麻和白麻的 8 个居群进行了比较解剖学研究，结果表明，这 8 个种皆适应旱生环境，形态结构都发生了变化：叶表皮角质层厚；气孔皆分布于下表皮，且具孔下室；输导组织和机械组织发达；有些叶片上下都具栅栏组织；茎中初生韧皮纤维发达；髓外围存在异常的维管组织——内生韧皮部。王东清等（2011）对红麻和引自美国的大麻状罗布麻的营养器官进行了解剖学观察，结果显示，红麻和大麻状罗布麻叶片均为异面叶，叶片表皮均被不同厚度的角质层，气孔具孔下室，栅栏组织 2 层；茎的维管束均属典型的双韧维管束结构；二者根、茎、叶中富含大量分泌细胞。这表明红麻和大麻状罗布麻均具有适应干旱环境的能力。

（三）生理特性研究

主要集中在罗布麻光合特性，盐胁迫对罗布麻种子萌发、幼苗生长及离子平衡的影响，高温逆境中罗布麻茎日变化规律和种子老化过程中的生理生化特性等方面。张永霞等（2007b）研究了罗布麻在不同遮阴条件下的光合特性，结果表明，罗布麻虽对弱光有一定适应能力，但遮阴仍产生明显的弱光抑制而显著降低其光合效率，影响其正常生长；张永霞等（2007a）还对红麻和白麻叶绿素光合日变化进行了初步研究，结果表明，一天中，红麻和白麻的初始荧光值（ F_0 ）均在中午达到最低值（红麻为 96，白麻为 100），二者均能通过增强非辐射能量耗散来消耗过剩的光能，从而避免光合器官遭受破坏。陈彦云等（2007）研究了氯化钠胁迫

对罗布麻种子萌发及幼苗生长的影响,结果表明,氯化钠浓度低于 0.8% 时,可促进种子萌芽,高于 0.8% 且小于 2.0% 时抑制萌芽,超过 2.0% 时极显著抑制种子萌芽。宁建凤等(2010)研究了高盐胁迫对罗布麻生长及生理的影响,结果表明,高盐胁迫下罗布麻植株的干重、鲜重和生长速率均显著降低,而根系活力明显提高;根、茎和叶片中 K^+/Na^+ 、 Ca^{2+}/Na^+ 和 Mg^{2+}/Na^+ 的值明显降低,植株选择性吸收和运输 K^+ 、 Ca^{2+} 的能力显著提高;叶片内的丙二醛含量、电解质渗漏率明显增加,脯氨酸和可溶性糖含量先增加后下降。总体上,罗布麻通过积累无机离子、合成有机溶质及维持较高的 K^+ 、 Ca^{2+} 选择性吸收和运输来适应一定浓度 ($\leq 200\text{mmol/L}$ NaCl) 的盐胁迫。韩张雄等(2011)研究了 NaCl 胁迫对温室培养的罗布麻幼苗叶片光系统 II (PS II) 的影响,结果显示,NaCl 胁迫增加初始荧光 (F_0) 同时降低最大荧光 (F_m),导致罗布麻叶片 PS II 最大量子产量 (F_v/F_m) (其中 F_v 为可变荧光) 下降,使得罗布麻光适应能力降低。

路兴慧等(2009)研究了塔里木河下游极端干旱环境条件下的罗布麻茎直径和茎流变化日过程及其与环境因子的关系,结果表明,生长在干旱地区的罗布麻茎直径变化日过程呈现出明显的白天收缩,傍晚、夜间复原或膨胀的昼夜变化规律;罗布麻茎直径变化主要受太阳总辐射、土壤湿度和风速的影响;罗布麻茎流日变化呈单峰型曲线。

张永娟等(2011)研究了高温逆境中罗布麻种子老化过程中的生理生化特性,结果显示,在高温逆境中种子电导率在初期先下降后升高,脱氢酶、过氧化物酶活性逐渐降低,浸出液可溶性糖含量逐渐升高;老化温度越高,对种子造成的影响越大。这表明罗布麻种子对高温逆境在生理上有响应,种子的抗热性较强。

(四) 遗传多样性研究

主要从形态学标记、细胞学标记、生理生化标记及分子标记 4 个方面展开。目前只有少量关于罗布麻染色体(常洁等,2009)及采用 RAPD(彭雪梅等,2008)、AFLP、ISSR 分子标记分析不同罗布麻居群遗传多样性的报道。刘志华(2009)和杨文秀等(2011)从罗布麻的形态性状、细胞学、同工酶表型及 DNA 分子标记 4 个方面对内蒙古地区野生罗布麻展开了系统的研究,为该地区罗布麻种质资源的合理开发利用提供了依据。

四、分子生物学研究

刘凤珍等(1995)用噬菌斑原位杂交法、斑点杂交法从基因文库中选出 4 个含罗布麻 *rbcs* 基因的阳性克隆进行了罗布麻基因文库的构建。张卫明(2007)采用 Qiagen 的植物基因组 DNA 提取试剂盒并加以改进,首次从不同季节采收、不同干燥方法保存的 3 种罗布麻(红麻、大叶白麻和白麻)干燥叶片中提取出基因

组 DNA, 为罗布麻等中药材的进一步分子生物学研究提供了必要的技术基础。彭雪梅等 (2007) 为了从分子水平更准确地鉴别罗布麻, 利用 PCR 产物直接测序法对罗布麻、大叶白麻和白麻的核基因组进行了测序与比较。

五、其他研究

药理研究 (曾斌芳等, 2009; 李庆华等, 2008; 吴向起等, 2009; 周子懿等, 2010; 许瑛, 2010; 戴伟等, 2010; 张建新等, 2009; 吴桂梅等, 2011; 温航远, 2010; 李平等, 2011; 陈红艳等, 2010; 张文忠等, 2011; 孙波等, 2011; 孙江兵等, 2011; 徐仰仓, 2010; Hao et al., 2009) 主要从罗布麻的根、茎、叶、花不同器官的药理活性入手, 展开了罗布麻制药、中药材、药物鉴定、各种药物对动植物的试验研究; 化学成分分析 (西北植物研究所和西安医学院第二附属医院, 1978; 黄湘兰等, 1998; 陈龙等, 2005; 杨志芳, 2006; 刘萍, 2009, 2010, 2011; 孟庆艳等, 2011; 周春玲等, 2009; 李庆华等, 2009a, 2009b, 2008; 陈彦云等, 2010; 许虎等, 2011; 相淞华等, 2010; 光琴等, 2009; 李奇等, 2009; 宋建平, 2009; 房克慧等, 2010; 光琴和周亚球, 2011; 吴冬青等, 2011; 张冠东等, 2009; 徐红等, 2010; 陈红梅等, 2010; 黄爱华等, 2010; 孟庆艳等, 2010; 刘小锐等, 2009) 研究包括对黄酮类化合物、强心甙类、多种氨基酸、芸香甙、槲皮素、原花色素、挥发性成分、微量元素、绿原酸等成分的测定、比较、化学分析、提取工艺; 纺织研究主要针对罗布麻茎秆的纤维结构、性能、剥皮技术、脱胶技术 (张元明和韩光亨, 2005; 赵胜民和郑久来, 2008; 郑丽莎等, 2009; 胡斐娟等, 2010; 刘伟伟, 2011)、染色性能、合成纤维以及罗布麻与其他纺织纤维的混纺 (赵博, 2004; 韩学政和张本孟, 2006; 邱栋等, 2010) 等方面来展开; 罗布麻纤维的抑菌性等医疗保健性能研究 (王莉等, 2011)。另外, 目前多种罗布麻保健产品均已面世, 如罗布麻保健针织内衣 (黄晓梅, 2007)、保健茶 (钱学射等, 2005; 唐泽紫等, 2010; 彭雪梅等, 2011)、保健烟 (董正钧, 1979) 等。

尽管科研工作者对罗布麻各方面已进行了一些探索, 但总体来说, 研究还处于起步阶段, 没有形成体系, 而且现有研究也主要集中在纺织、药理研究、化学成分分析及裁培育种方面, 在罗布麻的形态解剖结构、生理生化及遗传多样性方面报道较少。

第三节 罗布麻开发研究展望

罗布麻是集生态效益和经济效益于一体的极具开发潜力的植物。然而, 我国的罗布麻资源较为匮乏, 除种质资源单一的客观原因外, 还有由于经济利益的驱动, 人们对野生罗布麻的掠夺式采挖, 以及整个生态环境日趋恶化对罗布麻植株

生长的影响等诸多原因。20 世纪 50 年代, 新疆野生罗布麻面积达 53.3 万 hm^2 , 而目前仅剩约 18 万 hm^2 ; 张广伦等 (2005) 对晋冀豫鲁罗布麻资源调查结果表明, 4 省资源数量呈萎缩之势, 基本见不到大面积成片分布。可见, 罗布麻资源减少速度惊人, 保护罗布麻种质资源刻不容缓。以下就保护罗布麻资源, 并在保护的基础上合理开发利用这笔财富做几方面展望。

第一, 调查现有野生罗布麻资源, 对具有生态功能的区域进行重点保护及适当利用, 必要时建立自然保护区。

第二, 收集各地不同群落野生资源, 对其展开抗逆性栽培适应性研究, 为筛选耐旱、耐盐碱、耐寒、抗风沙能力强, 易于栽培的特优种质资源奠定理论基础。对收集到的不同种质资源进行遗传多样性分析, 建立罗布麻遗传指纹图谱, 为探讨罗布麻种质资源的亲缘关系及育种提供理论依据, 同时也有助于罗布麻资源的保护及合理开发利用。

第三, 扩大罗布麻种植面积, 建立罗布麻田保护管理长效机制。我国西北地区是生态脆弱带, 分布着大量未开垦的荒漠化土地, 在这些不毛之地上种植抗逆性较强的罗布麻能够带来长期的经济和生态双重效益。

第四, 建立罗布麻引种繁育基地, 适当引种国外种质资源, 丰富国内罗布麻资源的遗传背景。引种时一定要注意不同罗布麻种所具有的不同生态特征, 并且确切掌握原产地及引种地的气候水热环境条件。

第五, 引入市场机制, 走产学研相结合之路。科研单位与企业密切合作, 综合开发罗布麻多种利用价值, 提高罗布麻产业化生产能力, 充分挖掘罗布麻的经济价值。在纺织方面, 提高罗布麻韧皮纤维收获、剥制、脱胶技术; 在医药方面, 深入研究罗布麻的药理作用、药物临床使用及其产品的副作用, 及时将这些科研成果运用到生产实践中。