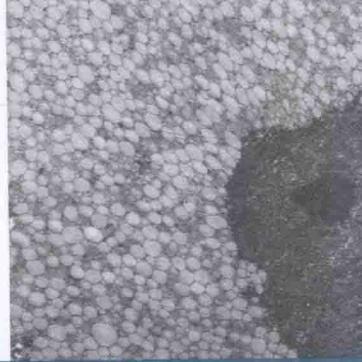
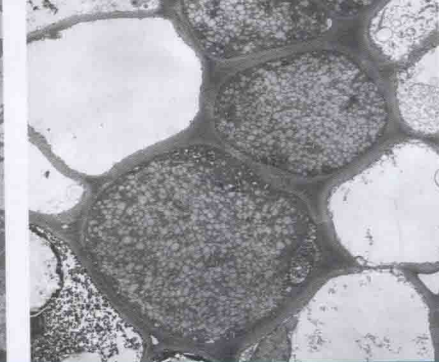
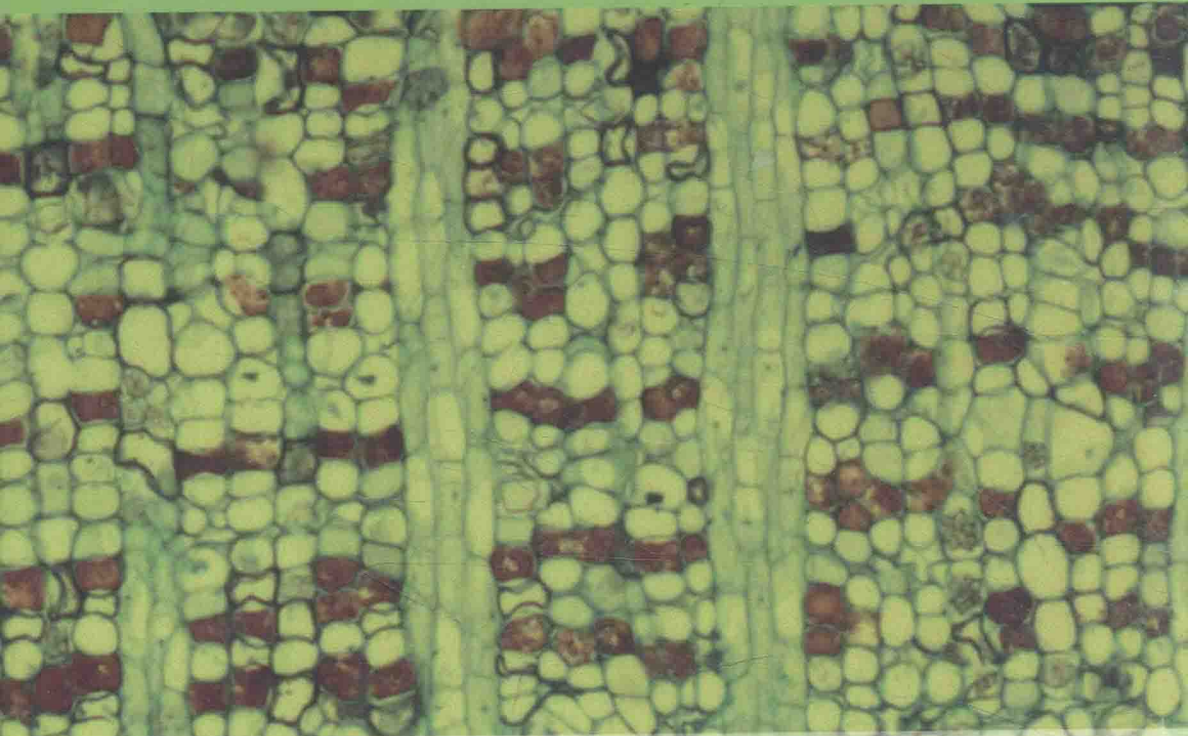




橡胶树树皮结构与发育

田维敏 史敏晶 谭海燕 吴继林 郝秉中◎著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

橡胶树树皮结构与发育

田维敏 史敏晶 谭海燕 吴继林 郝秉中 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书共十章,具有以下特点:一是以乳管的结构和发育为核心,兼顾树皮中其他组织细胞的结构与发育;二是侧重于树皮的超微结构;三是总结了作者关于乳管分化和乳管伤口堵塞的研究结果;四是紧密联系生产实际,总结了作者关于割胶和病害对树皮超微结构的影响等方面的研究。目前,对橡胶树的研究已进入分子生物学水平,但形态结构的研究仍是分子生物学研究的重要基础,本书对于橡胶树产量形成机制和树皮病害发生机制的研究,以及对于橡胶树品种改良和割胶技术改进等均具参考价值。

本书可供天然橡胶科技工作者、综合性大学生物学专业和农林院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

橡胶树树皮结构与发育 / 田维敏等著. —北京: 科学出版社, 2015.3

ISBN 978-7-03-043662-7

I. ①橡… II. ①田… III. ①橡胶树—树皮—研究 IV. ①S794.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第046224号

责任编辑: 张会格 / 责任校对: 刘亚琦

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 北京铭轩堂广告设计公司

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>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年3月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2015年3月第一次印刷 印张: 16 1/4

字数: 328 000

定价: 178.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

作者简介

田维敏

教授，博士生导师

田维敏，男，湖南保靖人，1965年生，教授，博士生导师。2002年毕业于西北大学植物学专业，获理学博士学位；2005年完成北京大学生物学博士后研究工作并出站。现为中国热带农业科学院橡胶研究所副所长、中国热带农业科学院学术委员会委员、国家自然科学基金委员会林学学科评审组成员、国家天然橡胶产业技术体系育种研究室主任和分子育种岗位科学家。长期从事巴西橡胶树等热带经济树木发育生物学研究，在树木氮代谢、橡胶树产量形成调控机制、橡胶树抗寒机制和产量早期选择技术方面取得若干创新性研究成果。主持国家自然科学基金课题6项，973课题1项，973前期研究专项1项，948项目1项。出版专著《树木营养贮藏蛋白质》1部。获海南省科技进步奖一等奖、二等奖、三等奖各1项；海南省青年科技奖1项；中国侨界创新成果贡献奖1项。为海南省“515人才工程”第一层次人选。2014年，分别获得“海南省优秀科技工作者”和“全国优秀科技工作者”荣誉称号，以及“十佳全国优秀科技工作者提名奖”荣誉称号。在 *J Proteome Res*、*Ann Bot* 等国内外期刊上发表论文80余篇，其中SCI论文30余篇。



史敏晶

博士，副研究员

史敏晶，女，1974年生，湖北黄冈人。博士，副研究员，硕士生导师。2004年毕业于华南热带农业大学（现海南大学）植物学专业，获理学硕士学位。2009年毕业于海南大学植物学专业，获理学博士学位。主要从事橡胶树乳管分化机制和乳管堵塞形成及其调控机制方面的研究。主持国家自然科学基金项目1项；海南省自然科学基金项目1项。获海南省科技进步奖一等奖和二等奖各1项。在 *J Proteome Res*、*Proteome Science* 等国内外期刊上发表论文27篇。



谭海燕

实验师

谭海燕，女，1960年生，广东丰顺人，实验师。1976年参加工作。1980年至今于中国热带农业科学院橡胶研究所从事植物结构与发育的研究，主要进行植物显微样品制备、观察、分析等工作。参与多项国家自然科学基金和农业部重点项目的研究。具有娴熟的透射电子显微镜制片技术。



吴继林

研究员

吴继林，女，1936年生，四川成都人，研究员。1959年毕业于四川大学生物系植物学专业。1959～1972年在北京农业大学从事植物学教学和科研工作。1973年至退休于中国热带农业科学院橡胶研究所从事橡胶树等热带作物结构与发育的研究。主持过“巴西橡胶树排胶促进乳管分化的研究”等4项国家自然科学基金课题。1993年被评为享受国务院政府特殊津贴专家。2001年获“全国农业科技先进工作者”称号，以表彰其对建立天然橡胶生产的理论基础所作出的贡献。



郝秉中

研究员

郝秉中，男，1936年生，河南济源人，研究员。1964年毕业于北京大学生物系植物学专业，获硕士学位，之后一直在海南从事橡胶树和其他热带作物栽培的基础研究工作，主持过“巴西橡胶树采胶技术改革的植物学基础：排胶机制”等5项国家自然科学基金课题。1992年被评为享受国务院政府特殊津贴专家；1999年被国家人事部授予一等功奖励；2001年获“全国优秀科技工作者”称号。

郝秉中和吴继林夫妻二人在30多年的研究生涯中，取得了大量的研究成果，被誉为“橡胶夫妻”。尤其是1998年发现茉莉酸能诱导橡胶树的乳管分化，该发现为世界橡胶研究开辟了一条重要途径。2003年，吴继林和郝秉中双双获国际橡胶研究和发展委员会（IRRDB）授予的“橡胶杰出研究金奖”，以表彰他们在橡胶树细胞学方面的杰出贡献。该奖项是世界橡胶界研究的最高奖，也是我国科学家第一次获此殊荣。

前言

PREFACE

天然橡胶是关乎国计民生的战略物资和工业原料。世界所需天然橡胶的绝大部分（98% 以上）来自巴西橡胶树（简称橡胶树）。橡胶树的乳管是合成和储存天然橡胶的场所，树干树皮中的乳管数量与天然橡胶产量显著正相关。在天然橡胶生产中，通过切割树干树皮（采胶），切断树皮中的乳管，收集从乳管中流出的胶乳，用作提炼天然橡胶。树皮结构既是橡胶树品种的遗传特性，又明显受环境条件（如采胶）的影响。因此，研究橡胶树树皮结构与发育对于发展橡胶树的育种和采胶技术具有重要的指导意义。

迄今，有关橡胶树树皮结构和发育的专著有三部。1923 年，荷兰学者 Bobiliooff 出版了专著 *Anatomy and Physiology of Hevea brasiliensis*，在光学显微镜水平上对橡胶树树皮结构作了较系统的阐述。1979 年和 1982 年，马来西亚橡胶研究院先后出版了 Gomez 和 Moir 的著作 *The Ultracytology of Latex Vessels in Hevea brasiliensis* 及 Gomez 的著作 *Anatomy of Hevea and Its Influence on Latex Production*，对乳管的超微结构作了系统描述，并分析了橡胶树结构与胶乳产量的关系。上述著作总结的是 20 世纪 80 年代以前在橡胶树树皮结构方面的研究成果，几乎没有涉及树皮中乳管周围细胞的超微结构、形成层分化乳管和割胶及树皮病害对乳管细胞超微结构的影响等方面的内容。

20 世纪 80 年代以来，中国热带农业科学院（原华南热带作物科学研究院）橡胶研究所主要在超微结构和实验形态学层面上，对橡胶树树皮结构和发育进行了系统深入的研究，本书

系统总结了这方面的研究成果。虽然本书主要是我们研究组工作的总结，但它在一定程度上也是对橡胶树树皮结构与发育已有知识的较系统的描述，因为我们的研究范围几乎涵盖了橡胶树树皮结构与发育的所有重要方面，同时我们在叙述中对国内外其他人有关的研究成果也尽量予以引用和评述。当然，这种引用和评述难免有疏漏和偏颇之处，还望读者不吝指正。

本书由田维敏和史敏晶执笔完成，在写作过程中与郝秉中和吴继林两位先生进行了深入的讨论；谭海燕为电镜照片的整理和选用做了大量工作。在书稿完成之际，我们向曾经在本研究组工作过的和长期以来给予过研究组帮助的人员致以深切的谢意。研究组是在 1953 年由齐亚堂和张耀宗两位先生领导建立的，研究组工作因“文化大革命”而中止，直到 1972 年和 1973 年郝秉中和吴继林先生先后到来才恢复工作。此后到研究组工作的人员除了田维敏、史敏晶和谭海燕外，还有若干人员，其中包括多名研究生，他们的有关贡献都反映在本书中，他们的名字可在引文中找到。关于条溃疡的研究，是研究组与中国热带农业科学院植物病理专家张开明教授合作的成果。我们的工作始终得到中国热带农业科学院橡胶研究所同事的热情帮助，恕不能一一列出。电镜研究方面，要感谢参与电镜室组建和管理的毛业定、傲宁键、周刚和周惠林，其中周惠林在切片工作上的认真和灵巧特别令人感动。感谢中国热带农业科学院各级领导对研究组工作的一贯支持，特别应提到何康老院长、已故的黄宗道院长、已故的梁荫东副院长、已故的田之宾副院长。电镜工作能够开展，应感谢田之宾副院长，因为在他的热情支持下，中国热带农业科学院争取到联合国粮食及农业组织的贷款，建立起电镜室并正常工作。

我们的研究工作从 1986 年开始先后获得 16 项国家自然科学基金的资助，本书在编写中得到科学出版社的支持，本书的出版得到了国家科学技术学术著作出版基金的资助，在此一并表示诚挚的谢意。由于笔者水平有限，书中不免存在不足之处，敬请读者和同行专家提出宝贵意见。

作 者

2014 年 12 月 28 日



目录

CONTENTS

前言

第一章 橡胶树科学研究简史和展望

一、橡胶树研究简史	1
二、橡胶树树皮结构与发育的研究	3
三、橡胶树研究展望	3
主要参考文献	3

第二章 巴西橡胶树树皮结构概述

第一节 橡胶树树皮的分层与采胶的关系	5
第二节 橡胶树的季节生长与组织分化	9
一、顶芽萌发与茎叶生长	9
二、维管形成层的季节活动	10
三、韧皮部的发育和季节变化	11
四、维管形成层和次生韧皮部超微结构的季节变化	13
主要参考文献	14

第三章 巴西橡胶树乳管的结构和发育

第一节 乳管的超微结构	16
一、乳管细胞壁及其质膜	16
二、胶乳	19
三、细胞核	35
第二节 初生乳管的分化与发育	38
一、苗端的初生乳管分化	39
二、初生乳管细胞的发育	41
第三节 次生乳管的分化和发育	47
一、次生乳管的发育	47
二、次生乳管的分化	52

主要参考文献	76
--------------	----

第四章 橡胶树筛管和伴胞的结构发育

第一节 筛管分子的结构和发育	82
一、筛管分子的分化和发育	82
二、筛管的细胞壁	83
三、P- 蛋白质	85
第二节 伴胞的结构和发育	91
主要参考文献	92

第五章 橡胶树次生韧皮部其他薄壁细胞的结构和发育

第一节 薄壁细胞中的营养贮藏蛋白质	93
一、橡胶树营养贮藏蛋白质细胞的结构和发育	94
二、营养贮藏蛋白质的季节变化	97
三、营养贮藏蛋白质的性质	99
四、67 kDa 蛋白质与死皮的关系	100
第二节 薄壁细胞质体中的植物铁蛋白	102
一、橡胶树薄壁细胞植物铁蛋白的特点	103
二、橡胶树植物铁蛋白与抽新梢的关系	104
三、橡胶树植物铁蛋白与割胶的关系	104
第三节 薄壁细胞中的髓鞘状结构	110
一、橡胶树次生韧皮部薄壁细胞中髓鞘状结构的诱导	110
二、髓鞘状结构的分布及超微结构	112
第四节 单宁细胞的结构和发育	117
一、植物单宁物质的结构和化学性质	117
二、橡胶树树皮中单宁细胞的分布和形态	118
三、橡胶树单宁细胞的发育	119
四、环境因素对橡胶树积累单宁的影响	122
第五节 薄壁细胞的胞间连丝	124
主要参考文献	128

第六章 橡胶树树皮厚壁组织的结构和发育

第一节 纤维的结构与发育	131
第二节 石细胞	132
一、橡胶树树皮中的石细胞形态结构	134
二、橡胶树石细胞的品系特征	137
三、石细胞的形成受其他因素的影响	139
主要参考文献	139

第七章 橡胶树的周皮

第一节 周皮概述	140
一、木栓层	140
二、木栓形成层	141
三、栓内层	141
四、皮孔	141
第二节 橡胶树周皮的结构	142
主要参考文献	149

第八章 橡胶树乳管伤口堵塞

第一节 乳管伤口堵塞概述	150
第二节 乳管伤口蛋白质网	154
一、“蛋白质网”的发现	154
二、成龄橡胶树乳管伤口堵塞与蛋白质网的关系	156
第三节 乳管伤口堵塞物的形成与调节	163
一、胶乳 pH 与乳管伤口堵塞	163
二、活性氧与乳管伤口堵塞	164
三、活性氧清除系统与乳管伤口堵塞	164
四、乙烯利与乳管伤口堵塞	164
五、肌动蛋白细胞骨架与乳管伤口堵塞	166
六、树皮组织中的 67 kDa 蛋白质与乳管伤口堵塞	166
主要参考文献	168



第九章 不同的割胶制度对橡胶树树皮结构的影响

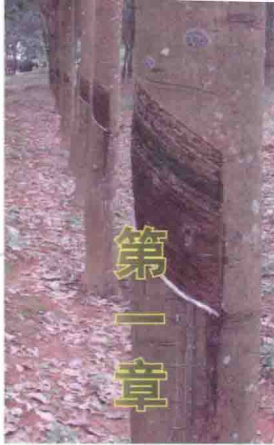
第一节 非刺激割胶对橡胶树次生长的影响	172
第二节 乙烯利刺激割胶对树皮结构和发育的影响	173
一、乙烯利刺激割胶对树皮结构的影响	173
二、乙烯利刺激割胶对树皮发育的影响	180
第三节 乙烯气刺短线割胶对树皮结构的影响	185
第四节 针刺采胶对树皮结构的影响	187
一、针刺对树皮不同组织的影响	187
二、针刺伤口的愈合与正常生长的恢复	191
三、针刺采胶与常规刀割的比较	193
主要参考文献	193

第十章 不正常排胶的橡胶树树皮结构

第一节 褐皮病树皮结构	195
一、褐皮病的类型	195
二、内褐型褐皮病休割期间径向扩展的细胞学变化	196
三、割胶树褐皮病树皮的结构	202
四、与根伤口联系的橡胶树急性死皮病树皮结构	204
第二节 过度刺激采胶对树皮结构的影响	210
一、割线附近树皮的组织学变化	210
二、割线树皮的超微结构变化	212
三、非褐斑型割面干涸病与褐斑型割面干涸病的差别	217
第三节 条溃疡对树皮结构的影响	220
一、条溃疡病菌侵染过程	220
二、橡胶树树皮对条溃疡病菌侵染的反应	223
三、乙烯利对条溃疡病的抑制作用	225
主要参考文献	230

附录

一、名词解释	232
二、光学显微镜制片技术	245
三、电子显微镜制片技术	247



橡胶树科学研究简史和展望

橡胶(天然橡胶和合成橡胶)与煤炭、钢铁和石油曾经被称为四大工业原材料,也是重要的战略物资。天然橡胶具有很强的弹性、良好的绝缘性、坚韧的耐磨性、优良的气密性及很好的耐拉性和可塑性,其综合性能远非合成橡胶能媲美,在航空、航天、航海、医疗和重型汽车制造业等领域的应用具有不可替代性。虽然世界上大约有2000种植物含有橡胶,但是橡胶树(*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.)因其经济寿命长、采收方便、胶乳产量高和橡胶品质好等优点,成为人工栽培最重要的一种产胶植物,提供了世界所需98%以上的天然橡胶。

一、橡胶树研究简史

橡胶树作为野生种原产南美亚马孙河流域的热带雨林。人们很早就开始利用野生橡胶树产生的橡胶。到19世纪后期,由于天然橡胶加工工艺和工业技术的进步,对天然橡胶的需求日益增加,推动了橡胶树从野生到商业化种植。同时,橡胶树的科学研究也得到发展。

关于橡胶树科学研究早期发展的历史有许多文献可供参考(Dijkman, 1951; Baulkwill, 1989; Jones and Allen, 1992)。这里强调橡胶树驯化过程中三个重大事件:第一个,也是里程碑式的事件,是1876年英国人魏克汉(Wickham)在亚马孙河流域采集橡胶树种子。他采集到7万粒橡胶树种子,运到英国的“邱”植物园(Kew Garden)。在那里有2700粒种子发芽,由此长出的2397株幼苗被送往东南亚的科伦坡、茂物和新加坡的植物园种植。后来在东南亚各国发展起来的橡胶树种植园,绝大部分种质都来源于这些植株,这就是通常所称的“魏克汉种质”。橡胶树驯化的另一大事件是,1887年,来自“邱”植物园的新加坡植物园主任芮

德勒(Ridly)发明在树干的一个割口上重复切割树皮而不伤害形成层的连续割胶方法。这一发明表明了他对橡胶树树皮结构与发育的正确理解。与过去用斧头在树干上乱砍的方法比较,新的割胶方法大大提高了橡胶的产量和延长了橡胶树的经济寿命。橡胶树驯化的第三个重大事件是,1915年,印度尼西亚茂物植物园的园艺家赫尔屯(Helten)发明橡胶树芽接法。该发明使优良无性系的繁殖推广成为可能。橡胶树驯化的上述成就推动了橡胶树无性系商业化栽培在东南亚各国的发展。1920年以后,世界上天然橡胶的供应,绝大部分来自这些人工栽培的橡胶树。

20世纪初,随着橡胶树人工栽培的成功,人们开始对橡胶树进行系统深入的研究,内容涉及选育种、栽培、土壤改良、割胶制度和病虫害防治等农业技术和与之相关的生物学原理。在第二次世界大战太平洋战争爆发前,当时荷属东印度(即现在的印度尼西亚)的荷兰学者在上述所有方面的研究都处于领先地位。他们及同时代的其他学者的工作,在Dijkman(1951)的专著*Hevea: Thirty Years of Research in the Far East*中作了比较全面的介绍。在第二次世界大战后,马来西亚学者对橡胶树的农业技术和生物学原理,法国学者对橡胶树的生理学都作出了杰出贡献。他们和其他研究者的工作反映在*Rubber*(Webster and Baulkwill, 1989)、*Physiology of Rubber Tree Latex*(d'Auzac et al., 1989)和*Natural Rubber: Biology, Cultivation and Technology*(Sethuraj and Mathew, 1992)等著名专著和综述中。这一时期橡胶树研究的重大事件可以列举4个:第一,马来西亚橡胶研究院培育出一系列以RRIM命名的高产无性系,其中包括胶木兼优无性系(不但橡胶产量高,而且木材生长迅速);第二,在1969年开始试验乙烯利刺激割胶。结果证明,合理使用乙烯利刺激割胶技术可以增产和省工;第三,如上所述,东南亚的橡胶树都来源于魏克汉种质,其遗传基础是很狭窄的。为了拓宽遗传基础,促进优良品种选育,世界植胶国家的组织——国际橡胶研究与发展委员会(IRRDB)于1981年组织了一次在巴西大规模收集橡胶树种质资源的活动。目前新种质的创新利用正在进行中。第四,从20世纪90年代开始,迅速发展的橡胶树分子生物学研究与不断改进的橡胶树组织培养技术相结合,橡胶树种植材料的改良进入了一个新阶段。

我国橡胶树的引种、栽培和系统的科学研究主要是从中华人民共和国成立后发展起来的。我国对橡胶树研究的重要贡献在于突破了过去种植橡胶树的区域,在北纬 $18^{\circ}\sim 24^{\circ}$ 的热带北缘大面积成功种植橡胶树。有关的应用技术和理论成就已有一系列的文献予以总结(何康和黄宗道, 1987; 广东省农垦总局和海南省农垦总局, 1994; 中国热带农业科学院和华南热带农业大学, 1998; 蒋菊生和王如松, 2004; 黄华孙, 2005)。

二、橡胶树树皮结构与发育的研究

在橡胶树的研究中,树皮结构与发育占有重要的地位,因为橡胶树的主要产品天然橡胶是从切割橡胶树树皮收集的胶乳制成的。早期学者很重视这方面的研究。1923年,鲍比略夫(Bobilioff)出版了*Anatomy and Physiology of Hevea brasiliensis*一书。该书实际上只包括解剖学的部分。后来,Dijkman(1951)对第二次世界大战前的橡胶树树皮结构的研究成果作了综述。二战后,橡胶树树皮的研究得到较大发展,特别是开始研究乳管的超微结构。对此作出重要贡献的有Dickenson、Gomez、Héban和de Faÿ等(Gomez and Moir, 1979; Gomez, 1982; de Faÿ and Jacob, 1989)。

我国对橡胶树树皮的研究将在本书作较详细的叙述。在橡胶树树皮的研究中,乳管处于中心地位。研究表明,对橡胶树自身来说,树皮中的乳管可能是与机械伤害相联系的一种保护组织,而乳管从形成层细胞的分化及乳管合成橡胶和其他防卫物质的功能可被包括茉莉酸和乙烯在内的伤害信号高度调节(郝秉中和吴继林, 2004; Zhao et al., 2011)。希望这些成果能够促进正在进行的橡胶树分子生物学的研究和橡胶树生产技术的开发,也能够对植物生物学作出一点贡献。

三、橡胶树研究展望

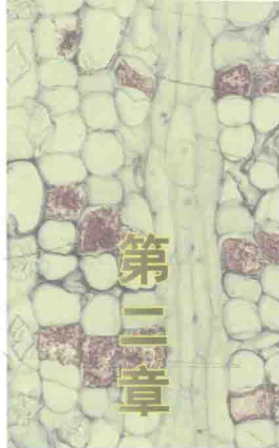
直到最近,人们还主要把橡胶树看成生产天然橡胶的工厂,因而把研究目标主要指向增加橡胶产量。以橡胶树栽培为基础的天然橡胶工业已经对全球经济和社会的发展作出了巨大贡献。虽然一直受到合成橡胶的挑战,但因为天然橡胶独具的特点和作为可再生资源,其前景是光明的。橡胶树作为橡胶工厂的潜力还很大。

目前,橡胶树的改良正面临一个新时代。一些研究者利用分子生物学技术,希望把橡胶树的乳管系统改造成为生物反应器——一座生产高价值蛋白质和其他化合物的工厂(Arokiaraj et al., 2002b; Yeang et al., 2002)。橡胶树提供的木材和橡胶树对气候的改良作用也日益受到重视(Arokiaraj et al., 2002a)。随着全球化的进程,人类将面临能源短缺和环境恶化,相信橡胶树的价值会越来越重要。

主要参考文献

广东省农垦总局, 海南省农垦总局. 1994. 橡胶树良种选育与推广. 广州: 广东科技出版社

- 郝秉中, 吴继林. 2004. 巴西橡胶树乳管生物学与胶乳生产 (英文). 热带作物学报, 25 (4): 1-7
- 何康, 黄宗道. 1987. 热带北缘橡胶树栽培. 广州: 广东科技出版社
- 黄华孙. 2005. 中国橡胶树育种五十年. 北京: 中国农业出版社
- 蒋菊生, 王如松. 2004. 海南橡胶产业生态. 北京: 中国科学技术出版社
- 中国热带农业科学院, 华南热带农业大学. 1998. 中国热带作物栽培学. 北京: 中国农业出版社
- Arokiaraj P, Jones H, Olsson O. 2002a. Toward molecular genetic improvement of wood and latex production in *Hevea brasiliensis*: enhancement of the carbon sink capacity. In: Proc Fifth Joint Workshop Secretari at UN Conf Trade Devel Int Rubber Study Croup Rubber Envir, Glasgow
- Arokiaraj P, Püker F, Obermayr E, et al. 2002b. Expression of human serum albumin in transgenic *Hevea brasiliensis*. J Rubb Res, 5 (3): 157-166
- Baulkwill WJ. 1989. The history of natural rubber production. In: Webster CC, Baulkwill WJ (eds). Rubber. London: Longman Scientific and Technical: 1-56
- Bobilioff W. 1923. Anatomy and Physiology of *Hevea brasiliensis*. Zürich: Art Institut Orell Fussli
- d'Auzac J, Jacob JL, Chrestin H. 1989. Physiology of Rubber Tree Latex. Boca Raton: CRC Press
- de Faÿ E, Jacob JL. 1989. Anatomical organization of the laticiferous system in the bark. In: d'Auzac J, Jacob JL, Chrestin H (eds). Physiology of Rubber Tree Latex. Boca Raton: CRC Press: 3-15
- Dijkman MJ. 1951. *Hevea*: Thirty Years of Research in the Far East. Coral Gables: University of Miami Press
- Gomez JB, Moir GFJ. 1979. The Ultracytology of Latex Vessels in *Hevea brasiliensis*. Kuala Lumpur: Malaysian Rubber Research and Development Board
- Gomez JB. 1982. Anatomy of *Hevea* and its influence on latex production. Kuala Lumpur: Malaysian Rubber Research and Development Board
- Jones KP, Allen PW. 1992. Historical development of the world rubber industry. In: Sethuraj MR, Mathew NM (eds). Natural rubber: Biology, Cultivation and Technology. Amsterdam: Elsevier Science Publishers: 1-26
- Sethuraj MR, Mathew NM. 1992. Nature Rubber: Biology, Cultivation and Technology. Amsterdam: Elsevier Science Publishers
- Webster CC, Baulkwill WJ. 1989. Rubber. London: Longman Scientific and Technical
- Yeang HY, Arokiaraj P, Jaafar H, et al. 2002. Expression of functional recombinant antibody fragment in the latex of transgenic *Hevea brasiliensis*. J Rubb Res, 5 (4): 215-225
- Zhao Y, Zhou LM, Chen YY, et al. 2011. *MYC* genes with differential responses to tapping, mechanical wounding, ethrel and methyl jasmonate in laticifers of rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). J Plant Physiol, 168 (14): 1649-1658



巴西橡胶树树皮结构概述

巴西橡胶树的树皮是由形成层向外分化形成的，具有韧皮射线、韧皮薄壁细胞、筛管、伴胞、韧皮纤维等基本组织。作为最主要的产胶植物，橡胶树的树皮具有一种特化的产胶组织——乳管。在天然橡胶生产中，人们通过切割橡胶树树皮中的乳管，收集排出的胶乳，作为提炼天然橡胶的原料。橡胶树树干树皮中的乳管数量与天然橡胶产量显著正相关(Gomez, 1982)。此外，乳管细胞合成橡胶的效率和排胶持续时间也与天然橡胶产量有直接关系(郝秉中和吴继林, 2004)。树皮结构不仅是品系的遗传特性，也受采胶的影响。对树皮结构的认识对于改进采胶技术具有重要的指导意义。

第一节 橡胶树树皮的分层与采胶的关系

采胶的部位是巴西橡胶树树干树皮，因为该部位的乳管分布最密集。根据树皮不同部分的颜色和质地，用肉眼可以将树皮区分为5个层次(图2.1A)，从外到内分别称作粗皮、砂皮外层、砂皮内层、黄皮和水囊皮(包括有功能次生韧皮部和形成层)。这种直观区分对于确定合适的割胶深度具有实际应用价值。

1. 粗皮

它是树皮最外的保护层，主要成分是木栓层，还包括木栓形成层和栓内层。木栓层由多层排列紧密的木栓化组织组成，具有不透气、不透水的特性，因此对树皮内部起到很好的保护作用。木栓层的细胞是栓质化的死细胞，在木栓层的内