



中国橡胶树抗逆栽培: 成就与展望

刘婉婷[†], 安锋[†], 王纪坤, 程琳琳, 林位夫^{*}, 谢贵水^{*}

中国热带农业科学院橡胶研究所, 海口 572829

[†] 同等贡献

^{*} 联系人, E-mail: RUBBERI@163.com; xie23300459@163.com

收稿日期: 2024-01-27; 接受日期: 2024-06-01; 网络版发表日期: 2024-08-21

海南省自然科学基金项目(批准号: 421RC753)、现代农业产业技术体系建设专项资金项目(批准号: CARS-33-ZP1)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(批准号: 1630022022014, 1630022024017)资助

摘要 橡胶树(*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.)原产于巴西亚马孙河流域, 喜高温多雨, 是典型的热带雨林树种. 中国植胶业是在特殊历史背景下, 在热带北缘橡胶次适宜区从无到有、从弱到强逐步发展起来的, 并形成了一套独具中国特色的橡胶树抗逆栽培技术体系, 实现了世界植胶史上的一次壮举——橡胶北移. 本文简要介绍了中国橡胶树的引种栽培历史, 总结了包括高抗橡胶树品种的选育与配置、种苗繁育、防灾减灾、胶园培肥和采胶技术等在内的技术变革及其贡献. 同时, 结合目前天然橡胶价格持续低迷、劳动力短缺、机械化管理水平低等产业问题, 分析了中国天然橡胶产业未来的发展趋势及前景, 提出了通过加速良种选育、创新栽培模式、加强科技支撑、提高产品质量、提高生产效率等方式促进中国天然橡胶产业健康可持续发展的建议.

关键词 橡胶树, 抗逆, 栽培, 技术变革, 产业困境, 发展展望

天然橡胶是一种以顺-1,4-聚异戊二烯(*cis*-1,4-polyisoprene)为主要成分的天然高分子化合物, 与合成橡胶相比具有更好的回弹性、耐磨性、可塑性和绝缘性, 是国家发展中重要的工业原料和战略资源^[1,2]. 目前巴西橡胶树是最主要的人工栽培产胶植物, 其总产量占世界天然橡胶总产量的99%以上^[3]. 巴西橡胶树喜高温高湿, 而我国植胶区地处热带北缘次适宜区, 且各种自然灾害时有发生, 栽种难度较高. 经过几十年的努力, 我国在大面积种植橡胶树过程中形成了一套独具中国特色的巴西橡胶树抗逆栽培技术体系, 在海南、广东和云南三大生产基地共种植巴西橡胶树约1693万亩(1亩=666.67 m²), 年生产天然橡胶86.2万吨,

为保障我国天然橡胶供给安全、促进热区经济发展和 社会进步做出了重要贡献^[4].

1 橡胶树引种栽培史

我国的橡胶树引种栽培已有百余年历史, 最早可以追溯到1904年, 云南土司刀安仁从新加坡将橡胶苗引种到云南盈江并种植成功. 自1907年起, 陆续有来自全球多地的华侨来海南、广东和云南等地投资创建橡胶种植园. 但由于技术、资金和自然灾害等问题, 直至1949年新中国成立时, 我国橡胶种植总面积仅为4.2万亩, 割胶树62万株, 年产干胶总量仅199吨^[5].

引用格式: 刘婉婷, 安锋, 王纪坤, 等. 中国橡胶树抗逆栽培: 成就与展望. 中国科学: 生命科学, 2024, 54: 1766–1780

Liu W T, An F, Wang J K, et al. Stress resistant cultivation of rubber trees in China: achievements and prospects (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2024, 54: 1766–1780, doi: 10.1360/SSV-2023-0284

新中国成立后,我国遭受了经济封锁,天然橡胶被禁运.为解决我国战略和工业上对天然橡胶的需求,党中央提出了“发展自己的橡胶事业”的战略决策,并决定在我国南部热带、亚热带地区建立自己的巴西橡胶树种植基地^[6].由此,中国植胶业的大规模发展拉开了序幕.总结起来大体可分为如下5个时期.

起步期(1950~1957年):为缓解橡胶需求的困境,1951年8月中央人民政府提出了“关于扩大培植橡胶树的决定”,同年10月华南垦殖局(广东农垦前身)在广州沙面成立.随后于1953年1月成立了云南垦殖局(云南省农垦局前身),拉开了我国在海南、粤西、广西和云南大规模种植橡胶的序幕.到1957年底,我国橡胶树实有面积为118.14万亩,产干胶587吨^[7].

高潮期(1958~1974年):次年,我国植胶区掀起了“大增人、大开荒和大种胶”的植胶浪潮.到1965年底,橡胶树实有面积达到265.02万亩,干胶产量1.81万吨,比1957年增长了近30倍^[8].随着广东和云南生产建设兵团的成立,1969年开始大面积开荒种植,又一次掀起了植胶“大发展”高潮,到1974年底我国橡胶树种植面积达到了551.51万亩,干胶产量达4.81万吨^[9].

调整期(1975~2001年):巴西橡胶树原产自巴西亚马孙热带雨林,适宜生长于赤道附近南北纬各10°范围内高温、高湿、静风的热带地区.而我国植胶区位于热带北缘,存在冬季低温、夏季台风、春季干旱的影响,自然灾害事件时有发生,植胶条件远不及东南亚等传统植胶国^[10].在发展初期存在盲目扩种、粗放管理等问题,导致单产不高,保存率低^[11].针对这些情况,我国于1975~1978年颁布和实施了科学种胶、管胶和割胶的技术规程^[12];1984~2001年做出了大规模开发亚热带作物的决定,并针对橡胶产业发展提出和明确了“保护扶持、巩固提高、适当发展”的政策与方针.截至2001年底,植胶面积突破940万亩.

再度高潮期(2002~2014年):2001年加入世界贸易组织后,我国橡胶业飞速发展.同时随着政策开放和扶贫力度加大,民营胶发展迅速,至2014年民营胶达944万亩,超过国有胶园的面积(797.65万亩)^[13].其中,中国天然橡胶协会的会员单位在境外投资或控股的橡胶园就达到国内种植面积的1/8,年加工能力高达100万吨^[14].呈现出国有、民营并驾齐驱,境内、境外共同发展的良好局面.到2014年底,全国橡胶树种植面积达1741.65万亩,干胶产量84.02万吨,种植面积与产胶

量均居世界第四位,橡胶制品行业利润总额达599.12亿元,实现了橡胶产业的飞速发展^[15].

巩固稳定期(2015至今):由于天然橡胶价格的持续低迷和劳动力、生产资料成本的不断上涨,农垦和民营橡胶种植的积极性大幅减小,部分地区开始出现弃割、弃管和改种的现象,植胶面积和产量均有小幅下降,但随着2017年国家天然橡胶生产保护区的划定和相关配套政策的逐步出台,橡胶种植面积和产量趋于稳定(图1).截至2022年底,我国橡胶树实有面积1693万亩,干胶产量约86.17万吨.

2 抗逆栽培技术变革

2.1 高抗橡胶品种的选育与对口配置

我国环境气候条件与东南亚等其他植胶国家和地区差异较大,且风、寒、旱害时有发生.选育并对口配置高产抗逆品种,实现“品种、环境、措施”三对口,是橡胶树抗逆高产栽培的基础.因此,我国提出了经过苗圃系比、初级系比、高级系比、生产系比、试种、扩大试种等严格、规范的橡胶树新品种选育推广程序,在不同生态类型区建立了育种站,并坚持“以常规育种为主,引种试种与自育相结合”的方针对口选育和配置橡胶树品种.

20世纪50~80年代,我国大规模引进国外橡胶树优良无性系并进行适应性试种,在实生苗中筛选出RRIM600, PR107, GT1和IAN873等优良材料,实现了单产达到世界平均水平的突破^[16~18].随后,在国外优良无性系的基础上,根据生态类型特点开展杂交选种,培育出了一批适合我国特殊植胶环境的新品种,主要包括文昌217、热研7-33-97、云研277-5、云研77-2及云研77-4等^[19,20],填补了我国自主培育橡胶树品种的空白的同时实现了对口多品种配套.由于橡胶树经济寿命较长,老品种RRIM600, PR107和GT1的种植面积仍占总面积的70%左右,但新品种的推广呈现逐年上升的趋势.对口多品种配套种植,海南逐步以热研7-33-97替代RRIM600和PR107;云南逐步推广了热研8-79、热垦628、云研77-2和云研77-4等品种替代GT1和RRIM600^[21].广东由于气候环境复杂,不同类型种植地区的主栽品种也有所不同,主要有热研7-33-97, 93-114和IAN873等^[22].正因为高产、抗逆品种的对口选育与推广应用,我国胶园平均单产从56 kg/亩提升到

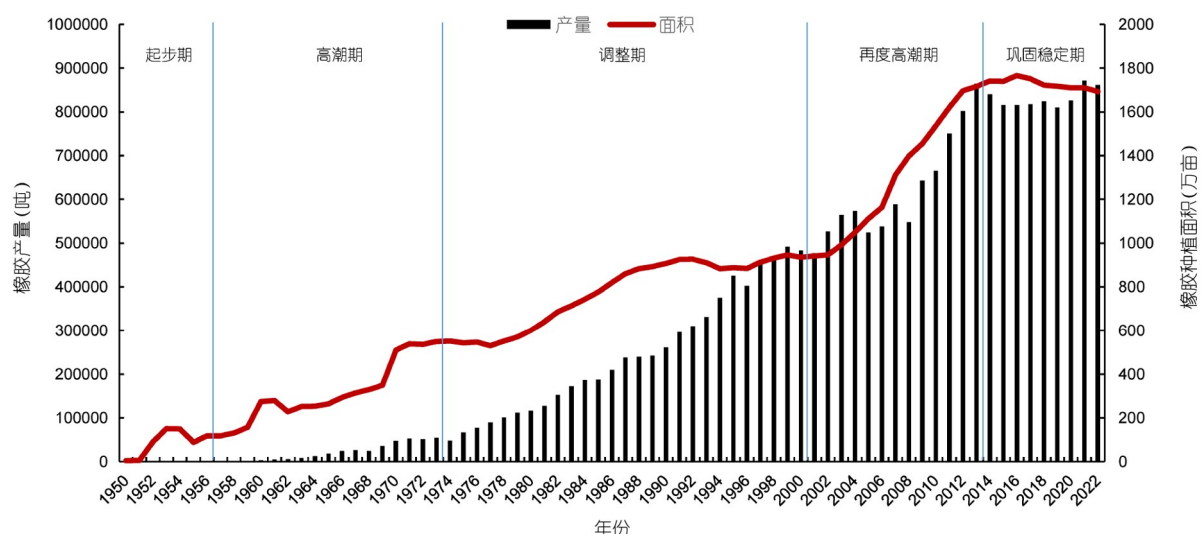


图1 1950年以来中国天然橡胶年产量和种植面积走势(数据来源于国家统计局<https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01&zb=A0D0M&sj=2022>)

Figure 1 Annual production and planting area of natural rubber in China since 1950 (data from National Bureau of Statistics, <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01&zb=A0D0M&sj=2022>)

了96 kg/亩, 单产提高了71%, 推动了品种的升级换代和产业的可持续发展^[23]。

2.2 优质种苗繁育

优良种苗是橡胶树高产高效栽培的基础保障, 我国橡胶树栽培技术变迁过程中, 种苗生产和繁育主要经过了如下几次更新换代。

(1) 实生苗。橡胶树种植初期, 材料主要为实生苗, 即橡胶种子经过播种萌芽, 未经芽接而直接种植。实生苗生长快、经济寿命长、抗逆性强和适应性广, 但是也存在生长或产量性状不一致, 变异较大等缺点^[24]。1915年荷兰人赫尔顿(Van Helten)发明了橡胶树芽接法, 1923年以后优良母树芽接实生砧木成为了生产上主要的种植材料, 取代了实生苗^[25]。20世纪60年代初期, 我国国营农场仍大面积种植实生苗, 60年代后期, 随着高产无性系的大量引进以及胶栽培知识的普及, 除育种科研过程中使用少量特殊组合的有性系外, 一般不再种植橡胶实生苗。

(2) 芽接苗。芽接苗是将休眠芽嫁接到实生砧木上繁殖生产的一种种植材料。通过芽接可以将高产、抗逆性强的优良橡胶树无性系种植材料增殖, 进一步扩大种植材料的生产。

芽接育苗技术通常根据芽条的大小、老嫩, 分为

褐色和绿色芽片(统称为称老态芽接无性系)芽接。褐色芽片芽接是一种传统的芽接方法, 主要用木栓化芽条上的褐色芽片进行大苗芽接。在20世纪50年代末60年代初期, 橡胶树绿色芽片芽接技术在我国逐步发展起来。绿色的芽条来源于芽接苗摘顶后或截干后抽生的侧枝, 以及芽接苗越冬后自然萌发的侧枝, 其芽片主要用于小苗芽接。绿色芽片芽接具有苗木繁殖快、芽片充裕、芽接成活率高等优点, 是快速繁殖橡胶树芽接苗的好方法, 且目前该技术已被广泛应用于生产和试验工作中^[26]。

芽接苗种植材料按照育苗方式又可分为裸根芽接桩苗和容器苗。2008年以前我国橡胶树种植材料多为裸根芽接桩苗, 裸根芽接桩苗虽然育苗成本较低、运输方便, 但存在定植成活率低、生长不整齐和生长势较差等问题, 并且2008年推行的橡胶树良种苗木补贴中将裸根芽接桩苗划出补贴范围。因此, 裸根芽接桩苗不再被购买种植, 并被容器苗逐步替代。容器苗即在容器中培育而成的苗木, 按照装袋时间也可分为袋装苗和袋育苗(图2A), 传统的袋装苗和袋育苗存在育苗周期长、生产效率相对较低、劳动强度大、苗木重、出圃质量参差不齐和育苗袋污染环境等问题。因此, 经过多年的不懈努力, 我国学者研发出了籽苗芽接技术, 该技术显著缩短了育苗周期, 降低了劳动强



图 2 橡胶苗. A: 橡胶树袋育苗; B: 橡胶树小筒苗; C: 橡胶树自根幼态无性系苗

Figure 2 Rubber seedlings. A: Bagged rubber seedling; B: small polytube-raised buddings of rubber; C: self-rooting juvenile clones of rubber

度, 提高了单位面积苗圃生产率和栽种成活率^[27]. 并且在此基础上进一步研发了小筒苗(图2B)替代袋装苗和袋育苗, 消除了传统容器苗的明显缺点, 同时具备根系直立、种植效率高、便于运输等优点, 尤其在地形复杂的山区受到了植胶农户的广泛认可.

(3) 自根幼态无性系. 当前生产上应用的芽接主体为老态芽接无性系材料, 虽然与第一代实生苗相比在生长一致性和橡胶产量等方面有较大幅度的改善, 但是由于砧木未经选育且个体间差异较大, 砧木芽片之间可能存在拮抗作用, 同时芽片为老态芽接无性系, 具有年龄效应, 生长慢、经济寿命短、适应性差且无法很好地继承母树高产速生的特性, 严重制约了芽接苗橡胶产量的提升. 为此, 我国利用橡胶树幼嫩器官的分生组织实现了体胚再生, 率先培育出了橡胶树自根幼态无性系繁殖材料(图2C)^[28]. 目前培育橡胶树自根幼态无性系组培材料可通过花药离体培养、内种皮离体培养和带芽茎段培养三种途径^[29-31]. 由于体细胞植株具有与供体品种相同的遗传物质, 自根幼态无性系芽接苗稳定性良好且在形态和生理特性上均呈现幼态, 与老态无性系芽接苗相比产量更高, 生长更快^[32]. 目前, 随着橡胶树自根幼态无性系培育技术的不断完善, 继实生苗和老态无性系, 自根幼态无性系将成为新一代种植材料, 是橡胶树种苗发展的主要方向.

2.3 防灾减灾

我国植胶区地处热带北缘, 风、寒、旱等自然灾害以及病虫害时有发生. 经过3代人70多年的不懈努力, 我国在防灾减灾方面取得了一些重要成果. 针对自然灾害, 我国学者总结并提出“四化、五提前和三保

一护”这一具有中国特色的热带北缘橡胶树抗灾减灾栽培技术体系, 即良种化、林网化、梯田化、覆盖化, 提前规划、提前开垦、提前造林、提前育苗、提前种覆盖作物, 保土、保水、保肥、护根. 针对橡胶树病虫害, 我国学者致力于研发低成本、环保、高效和智能相结合的防控防治新技术. 目前, 我国橡胶树防灾减灾技术已得到世界众多植胶国的认可, 对推动我国乃至世界天然橡胶产业的发展发挥了重要作用.

(1) 抗风减灾. 我国是台风灾害发生频繁且危害严重的植胶国之一, 据统计仅在1985~2014年间我国就发生台风218起并产生了不同程度的危害, 平均每年有台风7.3个^[33]. 因此, 为应对我国的台风灾害, 在植胶过程中总结出了一系列行之有效的抗风栽培技术, 主要包含抗风品种的选育与应用、选择避风环境、抗风修剪、营造防护林网以及风灾后的修剪、短截和扶树等^[34]. 早期传统技术对树冠形状、枝条分枝角度、风载荷等参数获取困难且不精确, 难以科学地评价橡胶树的抗风性. 因此, 近年来我国学者尝试引入激光点云、图像识别和遥感等技术, 用于评价不同品种橡胶树的抗风性, 为抗风品种的选育与抗风栽培提供了技术支撑^[35-39]. 但是, 随着劳动力成本的增加和土地资源的短缺, 包括幼树修剪、大树修枝整形及营造防护林等提高橡胶树抗风能力的技术措施的使用成本愈来愈高. 因此, 结合现代大数据和地理信息系统等数据, 逐步加大对国内植胶区内不同区域台风灾害危险性评价, 进行更为精确的橡胶树种植区域规划, 将橡胶树种植区由台风易发区逐渐向风害较轻、影响频次较少的优势区集中, 亦是实现橡胶树抗风栽培较为经济便捷的方式. 综上, 抗风品种选用、台风灾害风险较小林

地的选择及适地适树种植已成为目前我国橡胶树抗风栽培的有效途径。

(2) 抗寒减灾。低温是我国天然橡胶产量的主要限制因素之一。我国自大规模种植橡胶以来, 共发生特重寒害的11次, 其中轻度、中度、重度和特重寒害的平均发生频率分别为3.5%, 28.24%, 14.93%和15.93%^[40]。近年来由于全球气候变暖, 重度和特重寒害频率总体均呈减少趋势, 但轻度寒害频率以及重度和特重寒害发生的强度和造成的损失均呈现上升趋势^[41]。针对橡胶树寒害, 国内总结的措施主要包括选用抗寒品种, 选择避寒环境, 改进种植株行距, 营造防护林, 合理施钾肥, 早春定植, 根部覆盖, 修枝整形, 适时停割和割面涂封保护等^[42,43]。这些技术措施在农场集约化经营和橡胶价格较高的时期落实比较到位, 但随着天然橡胶价格和生产环境的改变, 修枝整形、根部覆盖等已难以实现。因此, 选用抗寒、高产品种, 采用合适的种植模式、密度, 研发新型高效割面涂封保护剂, 发展轻简高效抗寒栽培技术已成为橡胶树抗寒高效栽培的主要趋势。

(3) 抗旱减灾。我国植胶区在每年的旱季(11月至次年4月)均会遭受不同程度的旱害, 造成大面积的停割, 给我国橡胶种植业造成每年约上亿元的经济损失^[44]。20世纪末, 国内的橡胶树抗旱栽培技术相对比较滞后, 依然采用传统的橡胶树抗旱栽培措施, 即选用抗旱品种、选择立地条件较好的种植区域、抗旱定植、根圈覆盖和压青等, 但春旱问题仍未得到很好的改善。21世纪初发展的“围洞法”抗旱定植技术则较好地解决了橡胶裸根芽接桩苗的早春抗旱问题, 一次性定植成活率可达98%以上, 但该技术在袋装苗上的应用效果如何并未做系统的比较实验^[45,46]。近年来也发展了保水剂抗旱定植、成龄胶园施用保水剂和水肥一体化灌溉技术, 并证明了其在抗旱增产方面的有效作用^[47~49]。但因目前橡胶价格较低, 农户和农场推广应用的积极性不高, 因此今后应在抗旱品种选育、新型种植材料的选择和基于间作灌溉系统的水肥一体化技术等方面展开深入研究, 在提高橡胶苗定植成活率的同时节约管理成本。

(4) 病虫害防治。橡胶树病虫害种类繁多, 是影响天然橡胶产量的重要因素, 严重的病虫害甚至能够摧毁整个橡胶产业^[50]。我国植胶环境与世界其他主要植胶国间存在较大的差别, 大部分为二、三类植胶区,

更易发生暴发型病虫害。我国橡胶树病虫害主要为白粉病、炭疽病、棒孢霉落叶病和根病等病害以及橡副珠蜡蚧、六点始叶螨和小蠹虫等虫害, 其中对橡胶产量影响最大的是白粉病^[51]。经过几十年的研究, 我国在病虫害检测、测报网络建设、品种抗性评价和病虫害防控技术等方面建立了一套完整的体系, 处于世界领先地位^[52]。目前在海南、云南和广东的32个县市已建立了52个监测站, 132个固定观测点, 通过宣传和培训橡胶树病虫害测报技术规范以及病虫害监测站的监测技术, 建立起了完整的橡胶树白粉病测报数据采集和报送网络, 可准确把握施药时机, 减少40%用药, 提高30%的防治效果^[53]。但由于橡胶树树体高大, 仍存在许多药剂难以送达树冠层的局限性。针对该难题, 我国学者进一步研发了“一药多治”兼治多种病害的15%咪唑酮热雾剂以及“病虫兼治”的高扬程适用药剂, 改进了2种橡胶树植保专用药械和1种通用喷洒部件。与传统施药机械相比, 喷射高度提高了15%, 效率增加了10%~50%, 还减少了天气条件对喷药效果的影响, 降低了劳动成本^[54]。目前, 随着科技的发展, 我国正在研发低成本、环保、高效和智能相结合的防控防治新技术, 如抗病品种的选育、害虫天敌的保护利用、病虫害智能化识别、病虫害遥感监测一药多治环境友好剂型研发和航空施药技术研发等, 以期实现橡胶树病虫害的高效防治。

2.4 胶园土肥管理

胶园土肥管理是维持橡胶树营养均衡, 促进橡胶树高产稳产的基础。早在20世纪80年代中期, 我国就开始对橡胶树专用肥进行研究, 并在80年代末期取得了突破性进展, 研发出了适合海南、广东和云南垦区的橡胶树专用肥料, 取得了增产(5%~10%)、增效和提高肥料利用率的良好效果^[55~57]。但由于橡胶园土壤酸化、土壤肥力下降、品种的更新换代以及割胶制度改革等变化, 导致原有的橡胶树专用肥在长期应用过程中逐渐暴露出肥料总养分过低、施肥效果不佳、肥料利用率低等问题^[58]。因此, 针对上述现象, 我国土壤和肥料专家们研发出了新一代橡胶树专用肥和专用控释肥, 初步实现了增产、促生、高肥料利用率和长肥效等目标。随着人们对环境污染的重视以及劳动力的日益短缺, 我国进一步实施了更为精细的胶园土壤养分资源利用管理, 研发了叶片营养诊断、胶园测土配

方、精准施肥和酸性土壤改良等技术并在植胶区大力推广应用, 增产率可达3%~8%, 显著提高了橡胶园的产量与垦区胶农的收入^[59-61]。并且为了响应国家生态绿色发展的需求, 近期关于有机肥替代部分化肥、缓控释肥、配方施肥和绿肥还田等生态绿肥的研发也在纵深推进, 有望为轻简化施肥技术和一次性施肥技术提供重要技术支撑^[62,63]。

2.5 采胶方式与工具

早期我国割胶制度主要为两天一刀, 该制度下的产量和干胶含量较稳定, 劳动力也较易安排, 但割胶成本高且容易引起割面疲劳导致死皮。因此, 我国自20世纪70年代初期开始进行乙烯利刺激割胶的试验, 并发现施用乙烯利能够大幅提高橡胶树的排胶量, 已成为目前橡胶树刺激增产增效的一项重要措施^[64]。然而, 橡胶树的产胶潜力是有限的, 太强刺激或过度割胶都将引起割面干涸和产量下降。因此, 我国在保持产胶潜力与排胶强度相平衡的理论基础上, 进一步将国外的高浓度、长周期、油剂分别调整为低浓度、短周期、糊剂, 创建了全程连续递进刺激割胶, 低浓度短周期刺激割胶和复方乙烯利刺激割胶等具有中国特色的“减刀、浅割”割胶技术体系^[65]。通过合理调节刺激浓度和刺激周期, 围绕高效、安全、高质的采胶技术, 探究割胶频率、刺激方式等采胶技术因素对橡胶树生长发育、天然橡胶生物合成和非胶产物代谢等的影响规律, 揭示了采胶技术调控产量和质量的机制。该技术体系大幅度提高了人均采胶量, 在我国橡胶树主产区得到了广泛推广, 推广率达98%^[66,67]。

与此同时, 为了适应生产需求, 还研发优化与集成了超低频、短线、微创采胶、电动割胶、与田间保存等相关的橡胶树的采收技术及工具。开展低剂量、高效刺激剂及其施药技术的革新, 探索高产季采胶及日间采胶技术等多样化采胶模式, 并进行中长期的采胶效益、胶乳生理和质量评价, 共同构建高效、安全、高质的胶乳采收技术体系^[68]。针对生产环节死皮率高发的问题, 通过交替割胶和施用死皮康复营养液, 改善割线不排胶症状, 形成了橡胶树死皮康复综合技术。此外, 割胶工具也从传统的对胶工技术要求很高的胶刀, 过渡到靠树定位器限制刀头与树干的距离以控制切割强度的升级版胶刀和多功能便携式电动割胶刀, 逐步用机械化、自动化、智能化的割胶技术替代人工

割胶^[69-71]。割胶方式的革新, 不仅能够控制割口深度不伤形成层, 还能提高割胶效率和胶产量, 大幅降低了橡胶生产的成本。

2.6 高产高效综合栽培技术

胶乳高产、稳产一直是橡胶树栽培中最主要的目标, 逐渐形成了一套包括定植、施肥、采胶和病虫害管理等在内的橡胶树高产高效综合栽培技术。我国关于橡胶树高产高效栽培的综合技术集中体现在历次发布的《橡胶树栽培技术规程》中, 其中最早的橡胶树栽培技术规程是由国家农垦总局于1979年发布的《橡胶树栽培技术暂行规程》(试行草案), 随后分别于1985, 1993, 1995, 2006, 2016年共修订了5次, 现行的《橡胶树栽培技术规程》NY/T 221-2016发布于2017年, 是3代人70多年经验智慧的结晶。且海南、云南和广东植胶区各农垦局也根据实际情况制订和发布了当地的《橡胶树栽培技术规程实施细则》。但近年来, 随着生产环境的变化和胶价持续低迷, 部分栽培技术措施已无法落实。围绕胶园高产高效栽培的技术目标, 研究超高产橡胶树的高产机理及不同栽培措施对产量的贡献率, 开发农机农艺相融合的胶园轻简化、机械化除草施肥管理技术和采胶技术是当前橡胶树高产高效栽培中必须攻破的难题(图3)^[72,73]。

3 我国天然橡胶产业发展成就与趋势

我国天然橡胶产业起步于建国初期, 是“应国家战略而生, 为国家使命而战”的产业, 在国民经济、生态和社会发展方面具有重要意义。70多年来天然橡胶产业取得的成就主要包括以下方面。

3.1 促进了农民就业、增收和热区经济发展

橡胶树生长周期长, 栽种后可多年连续收获, 同时我国植胶区大多地处边疆少数民族聚居欠发达山区, 橡胶产业可为植胶区农民提供大量的就业岗位, 在就业和增收、稳收中发挥着重要作用^[74]。据不完全统计, 自20世纪60年代起, 在云南农垦的帮扶下, 云南橡胶种植业实现了快速发展, 分布在西双版纳、普洱和德宏等共7个州, 31个县的热区, 涉及16个民族, 转移了农村大部分剩余劳动力, 从业人员超过100万, 截至2022年, 云南天然橡胶种植面积达到860万亩, 年产值达到

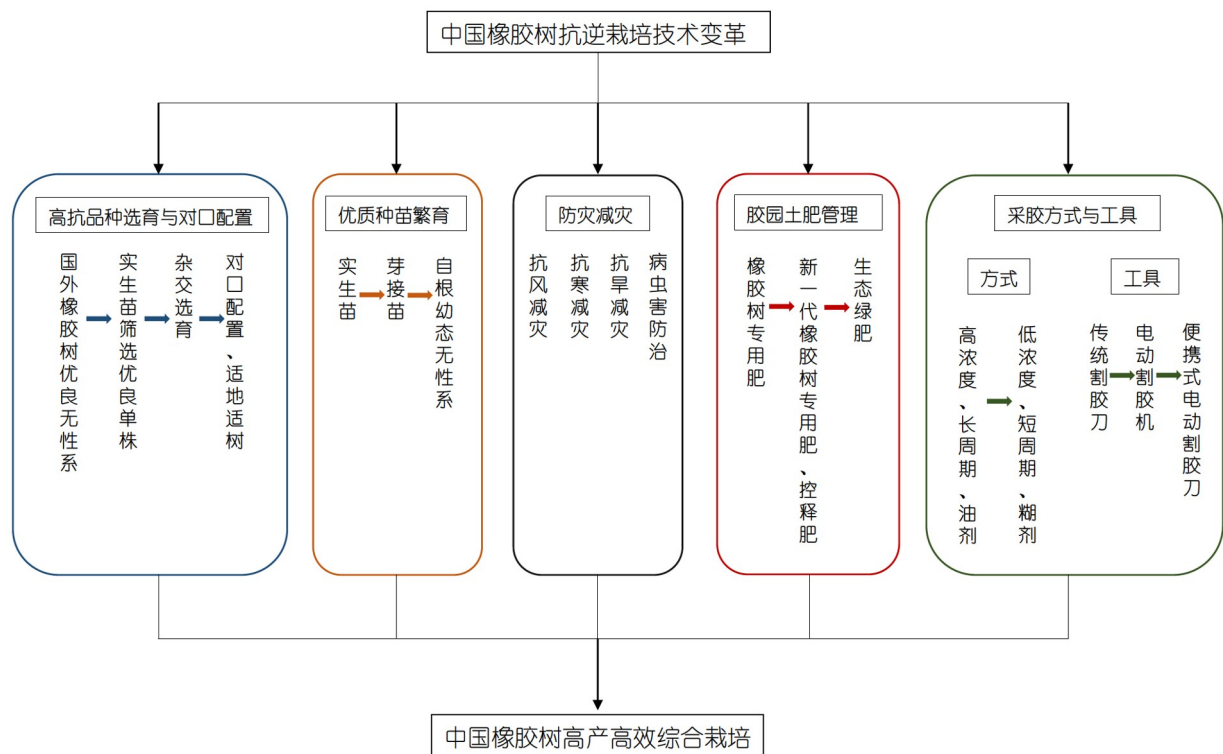


图 3 中国橡胶树抗逆栽培技术变革图
Figure 3 Flow chart of technical changes of rubber tree stress-resistant cultivation in China

49.81亿元, 植胶生产的发展有力地推动了当地生产资料服务业、运销业、科学技术和文化信息业等的发展^[75]。而海南省发展亚热带作物办公室公布的数据显示, 至2022年末, 海南省种植橡胶树面积也达到780万亩, 全省植胶农户达到50万人, 橡胶树种植覆盖人口223万人, 胶农人均收益7000元, 种植和经营橡胶已成为海南农民经济收入的重要来源^[76]。天然橡胶产业已成为热区农业产业中种植规模最大、经营范围最广、整体效益最好、经营层次和从业人员最多的一项支柱产业, 为区域经济发展、农民增收稳收以及稳疆固边等提供了强有力的支撑。同时, 天然橡胶产业也为边疆民族地区建设积累了大量资金, 支持了边疆地区的基础建设和重点工程产建设, 促进了地区经济的发展。

3.2 保护了环境, 取得了较好的社会生态效应

橡胶林作为国家战略储备林, 是建设我国热带山区“金山银山”的重要人工林生态系统。在云南热带偏远山区, 由于远离市场, 以往多种植玉米、小麦、土豆等, 年产出仅约400多元/亩, 且难于向外销售, 但是

橡胶树生长势旺盛, 一经投产多年收获, 产品易保存。因此, 改种橡胶树后年可产干胶90~120 kg/亩, 产出1000~2000多元/亩, 且有良好的社会生态效益^[77]。橡胶产业的发展也彻底改变了少数民族“刀耕火种”“游耕轮歇”“毁林种粮”的旧习, 有效减少了当地居民砍林、毁林的现象。例如, 以前西双版纳约有三分之一的人口住在山区、半山区, 他们每年要大量毁林种粮, 又缺乏水土保持措施, 水、土、肥流失严重, 几年后就丢荒另开新地, 形成占山区60%耕地的轮歇地, 仅1970~1980年间就以此种方式毁林200万亩^[78]。而种植橡胶林后, 越来越多地取代了当地的“刀耕火种”地。另外, 橡胶林还具有强大的碳汇功能, 是无污染可再生的自然资源, 符合国家战略储备林规定要求。20世纪80年代, 海南天然橡胶基地被联合国人与生物圈委员会赞誉为建设以橡胶人工林生态取代低质低效的热带灌丛草地生态的最佳系统, 以橡胶树为主的林木覆盖, 造就绿化环境、涵养水源、保持水土、可持续发展的良好环境, 不仅大大提高了森林覆盖率, 还对改善环境条件, 维护热区生态平衡发挥了重要作用。橡胶林还具

有较好的固碳效益,研究表明,1亩橡胶林一天可吸收二氧化碳66.67 kg,可制造氧气48.67 kg,犹如天然氧吧,能为980位成年人提供一天的氧量^[79].仅海南橡胶林年固碳总量为171万~180万吨,按碳汇交易100元/吨计,年碳汇交易额可达1.71亿~1.80亿元^[80].另外,我国胶园每年应按计划更新45万亩,生产120 m³橡胶原木,向社会提供72万m³的板方材^[81].因此,橡胶树的种植是热带山偏远山区,退耕还林、脱贫致富、建立区域性支柱型产业的一条重要途径,既带来了收入,又绿化了荒山,取得了良好的生态和社会效益.

3.3 保障了国家战略资源安全

天然橡胶由橡胶树茎干乳管分泌产生的次生代谢物质——胶乳生产加工而成,具有良好的绝缘性、耐磨性、气密性、可塑性和很强的弹性,是一种综合性能优良的弹性材料,在商业、国防以及交通运输业被广泛应用^[82].虽然合成橡胶产量早已超过天然橡胶,在某些特殊性能上也优于天然橡胶,但迄今为止,还没有任何一种合成替代物在弹性、回弹力以及抗高温等综合性能上能与天然橡胶媲美,在轨道交通、航空航天等很多重要关键领域,天然橡胶仍无法被替代^[83].因此,天然橡胶被美国、欧盟等众多国家列为战略性资源.经过70多年的发展,2022年末我国已在云南、海南和广东建立三大植胶基地,种植橡胶树总面积达到1693万亩,年产干胶86.2万吨,面积比新中国成立之初增加了400余倍,年产量提高了4000余倍,成为种植面积世界第三、干胶产量世界第四的天然橡胶生产大国,有效打破了国内外敌对势力的对我国的橡胶禁运,保障了国民经济发展对天然橡胶这种战略资源的需求,起到了天然橡胶供给“压舱石”的作用.

4 产业当前形势与发展趋势

4.1 天然橡胶作为战略资源的属性没变,我国供需矛盾依然突出,急需稳定种植面积,提高生产潜力

虽然世界经济一体化的步伐逐步加快,但由于存在意识形态上的差异和领土、资源等的国家利益争端,作为一种重要的工业原料,美国、日本、欧盟等发达经济体均将天然橡胶列为关键原材料.我国自建国初期就将天然橡胶列为战略物资,目前其战略物资属性仍未改变.2007年国务院办公厅发布了《关于促进

我国天然橡胶产业发展的意见》,进一步明确了天然橡胶是重要战略资源的定位,并于2017年提出了建立天然橡胶生产保护区的决策.然而,我国天然橡胶的供需矛盾依然突出.自2001年以来我国一直是全球最大的天然橡胶消费国,近年消费量仍以平均每年30万吨左右的速度持续增长.直至2021年需求量达到了595万吨,并且仍持续保持增长态势^[84].但是由于我国植胶生产条件先天不足,低温、台风等极端天气频繁,加之种植品种老化现象依然突出,低产低效、老龄残次胶园比重大,老胶园土壤肥力下降,新胶园环境条件差,单位面积产量增长缓慢等原因,国内天然橡胶自给率始终维持在15%左右的低位水平,产量远低于消费需求,供给主要以进口为主.2022年消费590万吨,而进口则达到了515万吨,比2021年增长了12.77%^[85].随着我国橡胶种植面积的不断萎缩和天然橡胶进口来源的高度集中,及地缘政治的不稳定和资源争夺等问题的加剧,我国天然橡胶的进口依存度将不断提高,供需矛盾将愈发突出,急需稳定种植面积,提高单位面积产量,提升天然橡胶生产潜力,保障我国天然橡胶的供给安全.

4.2 天然橡胶价格低迷、生产工艺落后,急需降低生产成本,提高生产效益

天然橡胶产业是热带地区重的支柱性产业之一,是植胶区农民的主要收入来源.但受全球经济下滑的影响和合成橡胶的冲击,我国天然橡胶价格从2011年的每吨最高价4万多元一路下跌至2022年的1.2万多元,仅为2011年的31%左右.与此同时我国胶园还存在机械化程度低、作业难度大的局限性,割胶生产占直接生产成本的70%,且割胶劳动完全倚赖手工作业^[86].人工成本高、经济效益低下,我国天然橡胶产业难以维持稳定的可持续发展.因此,我国橡胶产业迫切需要通过智能化、机械化装备和轻简化生产管理技术的应用减少生产管理对劳动力的依赖,降低生产成本,提高生产效益.

另外,我国天然橡胶加工工艺普遍落后且加工企业普遍存在“小、散、弱、污”的问题.其中污染问题尤为严重.在整个橡胶生产加工过程中,由于蛋白质变性、污水横流、臭气熏天,每生产加工1吨天然橡胶,排放废水16~18吨,废气排放总量达60 m³^[87].高标号烟片胶的生产还需要砍伐大量的森林资源作燃料进

行烟熏、排氧、干燥, 不仅破坏了当地的生态环境, 同时也加剧了对空气的污染。我国天然橡胶产品还存在结构单一, 一致性和稳定性较差的问题。以至于我国天然橡胶产品无法达到航空航天、舰船等国防和轨道交通等高端民用领域用胶标准, 高端制品用胶长期依赖进口, 严重威胁国家安全和国内天然橡胶的可持续发展。因此急需淘汰落后产能、规范产品生产和加工标准、完善高性能天然橡胶产品生产“创新链”, 提升产品一致性和质量性能, 提高产品价值, 促进产业生产效益提升。

4.3 劳动力短缺, 机械化水平低, 新理念、新技术、新装备研发和推广不充分, 急需改变发展思路, 创新发展模式, 加大技术研发推广力度

我国现有橡胶树栽培管理模式从原有的国有农场和计划经济体制下沿袭而来, 投入高、效益低、经营模式单一、劳动力依赖程度高。这些弊端在橡胶价格较高时并未显现, 但随着生产成本的持续增高和胶价的低位徘徊, 胶园单位面积产值和比较效益严重下滑^[88]。农业农村部农垦局统计数据显示, 2017年以来, 我国约有20万吨天然橡胶潜力未得到释放, 到2019年, 全国天然橡胶弃管面积达到220万亩, 占植胶总面积的12.8%, 造成了较为严重的群体性和区域性农民减收。产业结构调整的压力逐步增大。而据中国石油和化学工业联合会2022年统计, 我国民营胶园已有60%左右遭到弃割或改种水果等其他经济作物。可见, 目前国家天然橡胶保护区建设承受巨大压力。针对这些问题, 我国虽然已经提出了规模化经营、林下复合种养、分类经营、高产期超低频刺激割胶、全周期间作等部分新理念、新技术, 研发了电动割胶机、胶园施肥机等一些可大幅降低技术难度或劳动力成本的新产品、新装备, 但因为技术不成熟、宣传推广不到位、生产管理者思想保守等原因, 并未被充分接受, 迫切需要改变原有发展思路, 创新发展模式, 加大新型先进适用技术的研发和熟化推广力度, 促进产业增产提质增效。

5 推进产业健康可持续发展的建议

5.1 良种良苗, 夯实发展基础

良种良苗是推动天然橡胶产业发展的重要基础和保证。我国植胶区环境条件先天不足, 低温、台风等极端

天气频发, 且种植品种老化现象突出^[80]。迫切需要收集优质种质资源, 开展优良亲本选育和创制, 结合传统育种并挖掘关键基因, 在提高产胶量同时兼顾抗逆性的改良, 并有针对性地进行耐刺激、适宜林下间种、白天割胶、机械割胶等品种的选育。同时进行工厂化育苗, 促进良种良苗的研发应用, 夯实发展基础共同推动良种良法适地种植以及与新型经营理念 and 技术的配套, 充分发挥良种优势。在此基础上, 还应建设除橡胶树外产胶植物的种质资源库, 不仅利于培育高产优质新品种, 还能促进生产模式和材料的创新, 增强天然橡胶产业发展的基础和动力。

5.2 栽培创新, 提高生产效率

加强抗逆高产栽培技术的研发与集成, 发展与现代生产条件相适应的胶园轻简化栽培管理技术体系是提高天然橡胶生产效率的重要措施。研发新型胶园开垦的定植形式与装备, 改进并完善包括专用肥及配套施用设备在内的胶园轻简施肥技术, 实现胶园土壤有机质提升、水土保持和酸化改良等技术创新; 通过解析天然橡胶的主要代谢途径, 完善橡胶树乳管分化、胶乳形成与再生等机制的研究, 研发高效采胶新技术; 采用低频、超低频、短线、针刺采胶等方式提高割胶效率, 研发应用新型产量刺激剂、死皮康复剂, 保障天然橡胶的高产稳产。与此同时, 注重橡胶树病虫害的高效监测预警与防控, 贯彻以防为主、防控结合的方针, 针对病虫害间歇性、季节性和区域性暴发的特点, 建立科学高效的监测体系和技术, 加强重要病虫害发生规律、机制研究, 及时准确研判疫情, 精准防控, 开展病虫害生物、飞防防治、理化诱控、生态调控等技术研发集成, 共同实现胶园病虫害统防统治。

5.3 科技支撑, 提升橡胶产品性能

通过科技手段优化天然橡胶的加工工艺技术, 是提升橡胶产品性能的重要途径。我国民营橡胶种植面积占据了天然橡胶总面积的半壁江山, 但因其生产作业与管理不规范和生产技术规程执行不到位, 导致我国天然橡胶原料质量一致性差, 初级产品生产性能低, 无法满足下游产业高端制品对原材料的需求。因此, 我国橡胶产业应着眼于利用科技手段提高天然橡胶生产加工技术, 确保战略资源安全供给的目标。重点支持建

立天然橡胶高性能化生产加工技术体系, 探究品种、农艺、初加工工艺与高端特种天然橡胶质量、性能间的关系. 优化胶乳采收、运输和初加工的流程与处理工艺, 从天然橡胶生产的前端(橡胶树品种筛选、栽培管理)到中后端(工程化加工及产品制备), 建立标准化生产加工规程, 实现绿色高效的加工工艺, 有效地降低生产成本、提高产品质量并减少环境污染. 同时, 应建立初加工企业质量监测体系, 提升产品一致性和稳定性, 共同实现天然橡胶加工领域的科技自立自强以及国防军工等高端制品用胶国产化.

5.4 复合高效种植, 提高胶园综合效益

随着国内劳动力成本和生产资料价格的持续增高, 和胶价的低位徘徊, 胶园单位面积产值和产业比较效益下滑明显, 胶园单一化的产业结构急需调整. 在国

家天然橡胶生产保护区、木材战略储备基地建设和“双碳”战略需求下, 橡胶树不仅可生产天然橡胶, 还具有典型的林业属性, 可提供木材、碳汇等森林产品. 因此, 国内橡胶产业的未来定位应是实现天然橡胶、木材和生态效益国家战略储备相结合的战略性资源产业. 主要以建设国家天然橡胶生产保护区、保障天然橡胶供给安全为己任, 同时重视橡胶人工林的多功能特性, 开展胶园与农、林复合种养业综合经营. 在提高产业竞争力的同时, 因地制宜、分类经营并利用胶园林下空间, 研发立体复合高效的种养模式, 大力发展林下经济和循环经济, 推进橡胶木材、橡胶籽以及次生代谢产物等综合开发利用, 拓宽橡胶产业链, 开展废旧橡胶资源再生利用研究, 实现橡胶树资源利用最大化. 充分发挥橡胶林在天然橡胶生产、木材和生态效益上的国家战略储备效益和功能.

参考文献

- 1 Bealing F J. Carbohydrate metabolism in *Hevea* latex—availability and utilization of substrates. *Rubber Res Inst Malays*, 1969, 21: 445–455
- 2 Backhaus R A. Rubber formation in plants. *Israel J Bot*, 1985, 34: 283–293
- 3 He K, Huang Z D. Rubber Culture in the Northern Part of Tropical Area (in Chinese). Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1987 [何康, 黄宗道. 热带北缘橡胶树栽培. 广州: 广东科技出版社, 1987]
- 4 Song W Q. Promote green and low-carbon development of rubber industry. *China State Farm*, 2022, 7: 27–28 [宋唯清. 推动橡胶产业绿色低碳发展. 中国农垦, 2022, 7: 27–28]
- 5 Liu R J. Historical analysis of natural rubber industry in China (1949–1979) (in Chinese). *China State Farm*, 2016, 7: 36–39 [刘锐金. 中国天然橡胶产业的历史分析(1949–1979). 中国农垦, 2016, 7: 36–39]
- 6 Gao Y N. Re-understand the natural rubber industry (in Chinese). *China State Farm Econom*, 2004, 11: 4–5 [高以诺. 重新认识天然橡胶产业. 中国农垦经济, 2004, 11: 4–5]
- 7 Lin X F. Rubber Empire (in Chinese). Haikou: Nanfang Press, 2012 [林旭飞. 橡胶帝国. 海口: 南方出版社, 2012]
- 8 Pang L P. From zero to the fourth rubber producing country—China’s natural rubber industry growth record (in Chinese). *China Rubber*, 2015, 10: 4 [庞利萍. 从零到第四产胶国——中国天然橡胶产业成长记. 中国橡胶, 2015, 10: 4]
- 9 Huang Z D, Yun F S. Large area planting technology of rubber tree in north latitude 18–24 degrees (in Chinese). *China State Farm*, 1982, 11: 9–11 [黄宗道, 恽奉世. 橡胶树在北纬18–24度大面积种植技术. 中国农垦, 1982, 11: 9–11]
- 10 Liu W, Hu H, Ma Y, et al. Environmental and socioeconomic impacts of increasing rubber plantations in menglun township, southwest China. *Mountain Res Dev*, 2006, 26: 245–253
- 11 Li Z Q. Hainan Natural Rubber Business (in Chinese). Haikou: Hainan Press, 2008 [李朱全. 海南天然橡胶事业. 海口: 海南出版社, 2008]
- 12 Yun F S. The great achievement in the history of rubber planting in China – “Planting technology of rubber tree in large area of 18 degrees north latitude” in reclamation areas of Guangdong, Yunnan, Guangxi and Fujian won the national first-class Invention Award (in Chinese). *China State Farm*, 1982, 11: 9–11 [恽奉世. 我国橡胶种植史上的重大成就——广东、云南、广西、福建垦区“橡胶树在北纬18度大面积种植技术”荣获国家一等发明奖. 中国农垦, 1982, 11: 9–11]
- 13 Chen M W. Development situation and countermeasures of natural rubber industry in China (in Chinese). *Issues Agric Econ*, 2016, 37: 91–94 [陈明文. 我国天然橡胶产业发展形势与因应策略. 农业经济问题, 2016, 37: 91–94]
- 14 Wang P, Chen T Q. Present situation and development suggestion of natural rubber industry in China (in Chinese). *Agric Dev Equip*, 2016, 11: 1 [王平, 陈统强. 中国天然橡胶产业现状及其发展建议. 农业开发与装备, 2016, 11: 1]

- 15 Liu D, Liu R J, Shen D Y, et al. The evolution, current situation and suggestions of support and protection policies for natural rubber industry in China (in Chinese). *China Trop Agric*, 2023, 5: 18–24+80 [刘东, 刘锐金, 申丹艳, 等. 我国天然橡胶产业支持保护政策的演变、现状及建议. *中国热带农业*, 2023, 5: 18–24+80]
- 16 Huang H S. Theory and Practice of Modern Agricultural Industrial Technology System Construction. *China Agriculture Research System* (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2020 [黄华孙. 现代农业产业技术体系建设理论与实践. 现代农业产业技术体系. 北京: 中国农业出版社, 2020]
- 17 Wang X J, Chen L Z, Li L W, et al. Suggestions on promoting sustainable development of natural rubber industry in Yunnan Province (in Chinese). *Acta Agric Jiangxi*, 2019, 31: 144–150 [王雪娇, 陈良正, 李隆伟, 等. 促进云南省天然橡胶产业可持续发展的建议研究. *江西农业学报*, 2019, 31: 144–150]
- 18 Liu S J, Zhang J H, Cai D X, et al. Key techniques and applications for evaluating wind damage and climate suitability of rubber trees (in Chinese). *China Sci Technol Achieve*, 2021, 12: 6–7 [刘少军, 张京红, 蔡大鑫, 等. 橡胶树风害与气候适宜性评价关键技术及应用. *中国科技成果*, 2021, 12: 6–7]
- 19 Tang X C. Discussion on high yield cultivation technology of rubber (in Chinese). *Bull Agric Sci Technol*, 2018, 10: 249–250 [唐小村. 橡胶高产栽培技术的探讨. *农业科技通讯*, 2018, 10: 249–250]
- 20 Zeng X, Huang H S. Development and prospects of natural rubber technology in China (in Chinese). *China Trop Agric*, 2021, 1: 25–30 [曾霞, 黄华孙. 我国天然橡胶技术发展现状与展望. *中国热带农业*, 2021, 1: 25–30]
- 21 Wei M M, Li W G, Huang H S, et al. Regional configuration of rubber tree varieties in the main producing areas in China (in Chinese). *Chin J Trop Crops*, 2016, 37: 1634–1643 [位明明, 李维国, 黄华孙, 等. 中国天然橡胶主产区橡胶树品种区域配置建议. *热带作物学报*, 2016, 37: 1634–1643]
- 22 Fan G. A new way for the development of natural rubber industry in Yunnan (in Chinese). *Rural Econ Sci-Technol*, 2018, 29: 157–162 [范刚. 云南天然橡胶产业发展的新途径. *农村经济与科技*, 2018, 29: 157–162]
- 23 Zeng X. Development and Technology Prospect of Natural Rubber Industry in China: 2021-2025 (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2021 [曾霞. 中国天然橡胶产业发展和技术展望: 2021-2025. 北京: 中国农业出版社, 2021]
- 24 Huang Z D. Rubber Culture (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1979 [黄宗道. 橡胶栽培学. 北京: 中国农业出版社, 1979]
- 25 Ostendorf F W. The Growth of Young *Hevea* Buddings. *De Groei Van Jonge Hevea Oculaties*. Wageningen: H. Veenman & Zonen, 1933
- 26 Zhou X T. Rubber simple budding test was successful (in Chinese). *Subtrop Plant Sci*, 1977, 1: 27–33 [周秀涛. 橡胶简易芽接试验成功. *亚热带植物通讯*, 1977, 1: 27–33]
- 27 Lin W F, Huang S F, Xie G S, et al. Research on rubber tree seed seedling bud grafting technology—one of the research on rubber tree seed seedling bud grafting seedling method (in Chinese). *Chin J Trop Crops*, 1998, 19: 8–15 [林位夫, 黄守锋, 谢贵水, 等. 橡胶树籽苗芽接技术研究——橡胶树籽苗芽接育苗法研究之一. *热带作物学报*, 1998, 19: 8–15]
- 28 Cheng J, Huang T D, Dai X M, et al. Anther regeneration system of rubber tree variety Reken 628 suitable for whole period intercropping (in Chinese). *Chin J Trop Crops*, 2023, 44: 1794–1800 [成镜, 黄天带, 戴雪梅, 等. 适合全周期间作的橡胶树品种热垦628花药再生体系研究. *热带作物学报*, 2023, 44: 1794–1800]
- 29 Hua Y W, Huang T D, Huang H S. Micropropagation of self-rooting juvenile clones by secondary somatic embryogenesis in *Hevea brasiliensis*. *Plant Breed*, 2010, 129: 202–207
- 30 Li L, Qiu Y F, Gui M C, et al. Seedling induction from somatic embryos and effects of domestication and transplant on growth of rubber tree (*Hevea brasiliensis*)c. *Plant Physiol J*, 2018, 54: 1797–1802 [李玲, 邱彦芬, 桂明春, 等. 橡胶树体细胞胚成苗诱导及炼苗移栽对生长的影响. *植物生理学报*, 2018, 54: 1797–1802]
- 31 Peng S N, Xu Z W, Hua Y W, et al. Quality investigation and analysis of rubber tree (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) somatic embryo plantlet (in Chinese). *Chin J Trop Crops*, 2024, 45: 1219–1225 [彭素娜, 徐正伟, 华玉伟, 等. 橡胶树体胚苗质量调查与分析. *热带作物学报*, 2024, 45: 1219–1225]
- 32 Mignon E, Werbrouck S. Somatic embryogenesis as key technology for shaping the rubber tree of the future. *Front Plant Sci*, 2018, 9: 1804
- 33 Liu S J, Cai D X, Tian G H, et al. Zoning of typhoon disaster risks in rubber tree planting area of China (in Chinese). *Guangdong Agric Sci*, 2020, 47: 134–140 [刘少军, 蔡大鑫, 田光辉, 等. 中国橡胶树种植区台风灾害危险性分区. *广东农业科学*, 2020, 47: 134–140]
- 34 Yan L. Natural rubber planting management technology (in Chinese). *Agric Henan*, 2018, 4: 34–35 [岩利. 天然橡胶种植管理技术. *河南农业*, 2018, 4: 34–35]

- 35 Wang Z, Lu X, An F, et al. Integrating real tree skeleton reconstruction based on partial computational virtual measurement (CVM) with actual forest scenario rendering: a solid step forward for the realization of the digital twins of trees and forests. *Remote Sens*, 2022, 14: 6041
- 36 Sun C, Huang C, Zhang H, et al. Individual tree crown segmentation and crown width extraction from a heightmap derived from aerial laser scanning data using a deep learning framework. *Front Plant Sci*, 2022, 13: 914974
- 37 Zhang B, Wang X, Yuan X, et al. Simulating wind disturbances over rubber trees with phenotypic trait analysis using terrestrial laser scanning. *Forests*, 2022, 13: 1298
- 38 Hu Y F, Zhang H Q, An F, et al. *Hevea brasiliensis* property retrieval and construction of digital twin based on laser scanning data (in Chinese). *J Northwest Forestry Univ*, 2024, 39: 1–12 [胡云帆, 张怀清, 安锋, 等. 基于激光点云的橡胶树参数反演与数字孪生构建. *西北林学院学报*, 2024, 39: 1–12]
- 39 Li Y F, Liu G H, Huang C. Analysis of distribution characteristics of *Hevea brasiliensis* in the Xishuangbanna area based on HJ-1 satellite data (in Chinese). *Sci Sin Inf*, 2011, 41: 166–176 [李亚飞, 刘高焕, 黄翀. 基于HJ-1 CCD数据的西双版纳地区橡胶林分布特征. *中国科学: 信息科学*, 2011, 41(增刊): 166–176]
- 40 Liu S J, Cai D X, Tong J H, et al. Influence of climate factors on rubber plantation in China (in Chinese). *J Trop Biol*, 2022, 13: 376–381 [刘少军, 蔡大鑫, 佟金鹤, 等. 气象条件对中国橡胶树种植的影响. *热带生物学报*, 2022, 13: 376–381]
- 41 Qi D, Zhou J, Xie G, et al. Optimizing tapping-tree density of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations in South China. *Small-scale Forry*, 2016, 15: 61–72
- 42 Liu W, Huang S, Li D, et al. Spatiotemporal computing of cold wave characteristic in recent 52 years: a case study in Guangdong Province, South China. *Nat Hazards*, 2015, 79: 1257–1274
- 43 Qi D L, Wu Z X, Lan G Y, et al. Analysis of technology system for cold injury mitigation of rubber trees (in Chinese). *J Trop Biol*, 2022, 13: 19–26 [祁栋灵, 吴志祥, 兰国玉, 等. 橡胶树寒害减灾技术研究. *热带生物学报*, 2022, 13: 19–26]
- 44 Santos J, Oliveira L E, Tadeu Coelho V, et al. Performance of *Hevea brasiliensis* under drought conditions on osmoregulation and antioxidant activity through evaluation of vacuolar invertase and reducing sugars. *Plant Sci Today*, 2021, 8: 312–323
- 45 Chen Y F, Ye Y H, Yi L X, et al. Preliminary report on the experiment of early drought resistance planting rubber by cave method (in Chinese). *China Trop Agric*, 2005, 6: 28–29 [陈云发, 叶勇辉, 易兰香, 等. 围洞法提早抗旱种植橡胶试验初报. *中国热带农业*, 2005, 6: 28–29]
- 46 Lin W F, Huang S F, Xie G S. Drought resistant planting of rubber seedlings with cave surrounding method (in Chinese). Chinese Patent. CN200310101697.3.CN1513295A. 2004 [林位夫, 黄守锋, 谢贵水. 橡胶苗抗旱定植围洞法. 中国专利. CN200310101697.3.CN1513295A. 2004]
- 47 Wang L. Physiological and molecular responses to drought stress in rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Plant Physiol Biochem*, 2014, 83: 243–249
- 48 Zhou L J, An F, Wang J K, et al. Techniques of drought resistant planting and rapid growth management for rubber trees (in Chinese). *China Trop Agric*, 2022, 6: 70–73+78 [周立军, 安锋, 王纪坤, 等. 橡胶树抗旱定植与速生管理技术. *中国热带农业*, 2022, 6: 70–73+78]
- 49 Wang J K, An F, Zhou L J, et al. Effects of super absorbent polymers dosages on soil microorganism, soil enzyme activities and yield in rubber plantations (in Chinese). *Southwest China J Agric Sci*, 2023, 36: 1424–1431 [王纪坤, 安锋, 周立军, 等. 保水剂施用量对胶园土壤微生物和土壤酶活性及产量的影响. *西南农业学报*, 2023, 36: 1424–1431]
- 50 Omorusi V I. Effects of white root rot disease on *Hevea brasiliensis* (Muell. Arg.). challenges and control approach. *Plant Sci*, 2012, 14: 139–152
- 51 Wu H, Pan Y, Di R., et al. Molecular identification of the powdery mildew fungus infecting rubber trees in China. *Forest Pathol*, 2019, 49: e12519
- 52 Zheng F C. Current situation and prospect of rubber plant protection technology in China (in Chinese). *China Trop Agric*, 2011, 4: 37–40 [郑服丛. 我国橡胶植保科技的现状与展望. *中国热带农业*, 2011, 4: 37–40]
- 53 Yang H, Hu Y Y, Zhang Y, et al. Present situation and application prospects of powdery mildew prediction technology of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg (in Chinese). *Mol Plant Breed*, 2023, 21: 2423–2431 [杨洪, 胡义钰, 张宇, 等. 橡胶树白粉病预测预报技术现状与应用展望. *分子植物育种*, 2023, 21: 2423–2431]
- 54 Huang F, Wang M, Liu J L, et al. Technical model and effect of reducing application and increasing efficiency of natural rubber pesticide (in Chinese). *Spec Econ Anim Plants*, 2021, 24: 114–116 [黄飞, 王明, 刘俊良, 等. 天然橡胶农药减施增效技术模式及成效. *特种经济动植物*, 2021, 24: 114–116]
- 55 Li P Y, Zheng M X, Liang X Q, et al. Leaf Mg regime in rubber trees and the effect of Mg fertilizer on the rubber trees in Maoming rubber tract of Guangdong Province (in Chinese). *Chin J Trop Agric*, 2019, 39: 1–4 [李彭怡, 郑美漩, 梁秀球, 等. 广东茂名植胶区橡胶树镁素营养现状及镁

- 肥施用效果. 热带农业科学, 2019, 39: 1–4]
- 56 Xu D S. Nutritional status and fertilization of rubber trees in Mengbao farm, Xishuangbanna (in Chinese). Trop Agric Sci Technol, 1997, 20: 39–41 [徐杜生. 西双版纳勐捧农场橡胶树的营养状况与施肥. 热带农业科技, 1997, 20: 39–41]
- 57 Wang Q H, Liu Z W. Soil nutrient status and balanced fertilization in Hainan farming glue garden (in Chinese). Chin J Trop Agric, 1999, 5: 8–14 [王巧环, 刘志崴. 海南农垦胶园土壤养分现状及平衡施肥. 热带农业科学, 1999, 5: 8–14]
- 58 He X D, Wu D P. Research on fertility evolution of rubber garden in Hainan reclamation area (in Chinese). Chin J Trop Agric, 2002, 22: 16–22 [何向东, 吴多平. 海南垦区胶园肥力演变探研. 热带农业科学, 2002, 22: 16–22]
- 59 Liu P D, Liu K X, Gao J Y, et al. The application effect of the correct formula fertilizer in rubber cutting production (in Chinese). Trop Agric Sci Technol, 2001, 24: 36–37 [刘平东, 刘克勋, 高己杨, 等. 橡胶树营养诊断对症配方肥料在割胶生产上的施用效果. 热带农业科技, 2001, 24: 36–37]
- 60 Li P Y, Wang L Q, Huang Z. Study on extension model of formula fertilizer for rubber tree soil testing technology (in Chinese). China Trop Agric, 2012, 3: 53–54 [李彭怡, 王力前, 黄志. 橡胶树测土配方施肥技术配方肥推广模式探索. 中国热带农业, 2012, 3: 53–54]
- 61 Ren C Q, Zhang Y F, Luo X H, et al. Effects of microelements fertilizer combined with absorption enhancer on growth, photosynthesis and nitrogen metabolism of rubber seedling (in Chinese). Chin J Trop Crops, 2024, 45: 1402–1410 [任常琦, 张永发, 罗雪华, 等. 微肥与促吸收剂配施对橡胶树幼苗生长以及光合作用和氮代谢的影响. 热带作物学报, 2024, 45: 1402–1410]
- 62 Yang C X, Li C L, Li X Q, et al. The invention relates to a special rubber tree fertilizer for promoting high and stable yield and a fertilization method (in Chinese). Chinese Patent. CN201510332604.0[P].CN104945203B. 2015 [杨春霞, 李春丽, 黎小清, 等. 一种促进高产稳产的橡胶树专用肥及其施肥方法. 中国专利. CN201510332604.0[P].CN104945203B. 2015]
- 63 Liu H L, Yang K, Yang H Z, et al. Effects of urea formaldehyde slow release fertilizer rod on growth and nutrient absorption of rubber tree seedlings (in Chinese). Southwest China J Agric Sci, 2021, 34: 2679–2684 [刘海林, 杨凯, 杨红竹, 等. 脲醛缓释肥料棒对橡胶苗生长和养分吸收的影响. 西南农业学报, 2021, 34: 2679–2684]
- 64 Zhuang H Y, An F, Zhang X S, et al. Progress in study on the mechanisms to increase latex yield of *Hevea brasiliensis* by ethephon stimula (in Chinese). Sci Silv Sin, 2010, 46: 120–125 [庄海燕, 安锋, 张硕新, 等. 乙烯利刺激橡胶树增产机制研究进展. 林业科学, 2010, 46: 120–125]
- 65 Yang H, Dai L J, Guo B B, et al. Physiological changes and principal component analysis of latex from rubber tree clone PR107 response to ethephon stimulation (in Chinese). Mol Plant Breed, 1–15[2024-05-20].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20230612.1236.010.html> [杨洪, 代龙军, 郭冰冰, 等. 橡胶树PR107响应乙烯利刺激的胶乳生理变化及其主成分分析. 分子植物育种, 1–15[2024-05-20].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20230612.1236.010.html>]
- 66 Ding H, Yang S G, Jiang Y, et al. Effects of intensive tapping and ethrel stimulation on the physiological characteristics of young rubber trees of different varieties during latex flow (in Chinese). Sci Silv Sin, 2023, 59: 105–116 [丁欢, 杨曙光, 蒋毅, 等. 强割和乙烯利刺激对不同品系幼龄橡胶树排胶生理特性的影响. 林业科学, 2023, 59: 105–116]
- 67 Wei X D. Present situation and suggestion of cutting technology in China (in Chinese). China Trop Agric, 2010, 2: 5–7 [魏小弟. 我国割胶生产技术现状和建议. 中国热带农业, 2010, 2: 5–7]
- 68 Wang Y Q, Deng Y G, Chen P M, et al. Research status and development thinking of natural rubber production machinery in China (in Chinese). Mod Agric Equip, 2023, 44: 20–23 [王业勤, 邓怡国, 陈沛民, 等. 我国天然橡胶生产机械研究现状与发展思考. 现代农业装备, 2023, 44: 20–23]
- 69 Yan X Q, Liao Y L. Rubber tapping technology exploration (in Chinese). In: Innovative Equipment Technology to Power the Local Economy—The Third Annual Conference of the National Local Mechanical Engineering Society and Cross-Strait Mechanical Science and Technology Forum. Sanya. 2013 [闫喜强, 廖宇兰. 橡胶树割胶技术的探索. 见: 创新装备技术给力地方经济——第三届全国地方机械工程学会学术年会暨海峡两岸机械科技论坛. 三亚. 2013]
- 70 Zhou M X, Zhang G. Electric rubber tapping machine (in Chinese). Chinese Patent. CN 201320352736. 2013 [周珉先, 张钢. 电动割胶机. 中国专利. CN 201320352736. 2013]
- 71 Zhang Y S, Cao J H, Xiao S W, et al. Research and development of natural rubber harvesting technology and equipment—“Xiangfeng Brand” 4GXJ-2 electric rubber tapping knife (in Chinese). China Sci Technol Achieve, 2023, 24: 55–55 [张以山, 曹建华, 肖苏伟, 等. 天然橡胶收获技术与装备研发——“橡丰牌”4GXJ-2型电动割胶刀. 中国科技成果, 2023, 24: 55–55]
- 72 Li G B. Cultivation techniques and management measures of rubber trees (in Chinese). Agric Technol, 2019, 39: 62–63 [李图宝. 橡胶树栽培技术及管理措施. 农业与技术, 2019, 39: 62–63]

- 73 He C H, Mo Y Y, Liu R J. Forecasting of natural rubber production capacity in China (in Chinese). *Issues Forest Econ*, 2020, 40: 320–327 [何长辉, 莫业勇, 刘锐金. 中国天然橡胶生产能力预测分析(2019胶生产能力年). 林业经济问题, 2020, 40: 320–327]
- 74 Liu R J, Huang H S. Thoughts on promoting the sound development of natural rubber industry during the 14th Five-Year Plan period (in Chinese). *China Trop Agric*, 2021, 4: 5–12 [刘锐金, 黄华孙. “十四五”时期推动天然橡胶产业健康发展的思考. 中国热带农业, 2021, 4: 5–12]
- 75 Li W R, Zhao G X, Hou D. Natural rubber industry in Yunnan Province and the strategies for healthy development at high level (in Chinese). *Trop Agric Sci Technol*, 2022, 45: 1–5+14 [李维锐, 赵国祥, 侯丹. 云南天然橡胶产业高质量发展对策. 热带农业科技, 2022, 45: 1–5+14]
- 76 Xu J L. Present situation and development strategy of Hainan rubber industry (in Chinese). *Spec Econ Anim Plants*, 2022, 25: 121–122 [许稷稻. 海南橡胶产业现状及发展策略. 特种经济动植物, 2022, 25: 121–122]
- 77 Sun X Q, Li S Y. High-quality development strategy of Yunnan NR industry (in Chinese). *China Rubber Ind*, 2023, 70: 474–479 [孙向前, 黎晟沅. 云南天然橡胶产业高质量发展策略与思考. 橡胶工业, 2023, 70: 474–479]
- 78 Yang C, Gao D Y, Li M, et al. Opportunities and challenges for development of natural rubber industry in Yunnan (in Chinese). *Rubber Sci Technol*, 2023, 21: 161–164 [杨春, 高东阳, 李敏, 等. 云南天然橡胶产业发展的机遇与挑战. 橡胶科技, 2023, 21: 161–164]
- 79 Cao J H, Jiang J S, Zhao C M, et al. Advances on nutrient circulation under rubber plantations ecosystem (in Chinese). *Chin J Trop Agric*, 2007, 27: 48–56 [曹建华, 蒋菊生, 赵春梅, 等. 橡胶林生态系统养分循环研究进展. 热带农业科学, 2007, 27: 48–56]
- 80 Chen Y, Zhang D, Deng Y, et al. Soil nitrogen and carbon are affected by tapping and weed covering in a rubber plantation. *CLEAN Soil Air Water*, 2022, 50: 2200146
- 81 Yang X Q. Measuring and modelling carbon stocks in rubber (*Hevea brasiliensis*) dominated landscapes in Subtropical China. Dissertation for Doctoral Degree. Stuttgart: University of Hohenheim, 2018
- 82 An F, Lin W F, Wang J K. Prospects of Chinese Brazilian rubber tree planting industry (in Chinese). *China Trop Agric*, 2017, 6: 6–9 [安锋, 林位夫, 王纪坤. 我国巴西橡胶树种植业前景展望. 中国热带农业, 2017, 6: 6–9]
- 83 Dieu T V, Chuong B, Hung D V, et al. Review: natural rubber—improvement of properties. *Vietnam J Chem*, 2023, 61: 269–283
- 84 Rong F Y. Analysis on the development prospect of natural rubber industry (in Chinese). *Manag Econ Agric Sci Res*, 2023, 1: 17–20 [荣风云. 推进我国天然橡胶产业稳定发展问题研究. 农业科研经济管理, 2023, 1: 17–20]
- 85 Mo Y Y. Analysis of the development of domestic and foreign natural rubber industry in 2022 and the situation in 2023 (in Chinese). *China Trop Agric*, 2023, 4: 19–25+70 [莫业勇, 杨琳. 2022年国内外天然橡胶产业发展情况和2023年形势分析. 中国热带农业, 2023, 4: 19–25+70]
- 86 Mo Y Y. Domestic and foreign natural rubber industry in 2020 and prospect in 2021 (in Chinese). *China Trop Agric*, 2021, 2: 19–23 [莫业勇. 2020年国内外天然橡胶产业形势和2021年展望. 中国热带农业, 2021, 2: 19–23]
- 87 Zhang H, Ni Z X. The difficulties and countermeasures of the development of natural rubber industry in China (in Chinese). *Rural Sci Technol*, 2022, 13: 32–34 [张贺, 倪志兴. 我国天然橡胶产业发展面临的困局及对策. 乡村科技, 2022, 13: 32–34]
- 88 Wei X Z. The dilemma and countermeasure analysis of the development of natural rubber industry in China (in Chinese). *South China Agric*, 2020, 14: 105–106 [韦周晓. 我国天然橡胶产业发展的困境及其对策分析. 南方农业, 2020, 14: 105–106]

Stress resistant cultivation of rubber trees in China: achievements and prospects

LIU WanTing, AN Feng, WANG JiKun, CHENG LinLin, LIN WeiFu & XIE GuiShui

Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences, Haikou 572829, China

The rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.), which is originated from Brazil Amazon River basin and cultivated world-wide for producing natural rubber, is a typical tropical rainforest tree. It favors the environment with high temperature, high precipitation and mild wind. However, the plantations of rubber tree in China are located in the sub-optimal area in the northern margin of tropical zone. Therefore, a series of specialized techniques were developed to deal with various stresses. In this article, the introduction and cultivation history of rubber trees in China were briefly summarized firstly. Then, the technique evolution and their contributions, including the selection and cultivation of high resistant rubber varieties, seedling culture, stress resistant cultivation, soil and fertilizer management, as well as natural rubber harvesting techniques were reviewed. Lastly, the challenges, such as low latex price, labor shortage, low level of mechanization in plantation management, and the future development of China's natural rubber industry were discussed. It was suggested to promote the healthy and sustainable development of natural rubber industry by increasing scientific and technological support, innovating cultivation modes, and improving product quality and production efficiency.

rubber tree, stress resistance, cultivation, technique innovation, challenges, prospects

doi: [10.1360/SSV-2023-0284](https://doi.org/10.1360/SSV-2023-0284)