

DOI:10.12171/j.1000-1522.20250028

杜仲产业化进程中的瓶颈问题及其解决对策

康向阳

(林木遗传育种国家重点实验室, 林木花卉遗传育种教育部重点实验室, 城乡生态环境北京实验室,
北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083)

摘要:杜仲是我国特有的多用途经济林树种, 其叶、皮等富含杜仲胶和多种药用活性成分, 开发潜力巨大。本文综合分析了我国近 60 年来杜仲产业研究和开发历史, 指出生产原料成本或提取成本居高不下, 一直是以杜仲胶为核心的杜仲产业未能实现实质性突破的重要瓶颈问题。尤其是在当今传统农民群体逐渐消失的时代大背景下, 劳动密集型的叶用或果用乔木林经营模式因人力资源和成本的限制, 难以保证杜仲产业的大规模、低成本原料生产。选用高产且高胶、高药型的杜仲三倍体新品种, 采取叶林栽培、机械化采收的原料生产模式, 缩短原料生产周期, 降低种植、管理和采收成本, 并通过杜仲全株分部位加工利用模式, 以均摊原料成本、提高经济效益等, 是推动杜仲产业发展的必然选择。此时, 限制杜仲产业化发展的瓶颈已经转变为对资本和技术的整合能力等方面。建议发挥政府和产业联盟的组织优势, 有效整合不同的资本、技术、人才、市场等资源, 实现共创、共担、共享, 推动杜仲资源培育和开发利用的第一产业与第二产业联动、融合以及可持续发展。

关键词: 杜仲; 产业化进程; 瓶颈问题; 资源整合

中图分类号: S718.4; S792.99 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2025)03-0001-06

引文格式: 康向阳. 杜仲产业化进程中的瓶颈问题及其解决对策 [J]. 北京林业大学学报, 2025, 47(3): 1-6. Kang Xiangyang. Bottleneck problems and their solutions in the industrialization process of *Eucommia ulmoides* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(3): 1-6.

Bottleneck problems and their solutions in the industrialization process of *Eucommia ulmoides*

Kang Xiangyang

(State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Key Laboratory of Genetics and Breeding in Forest Trees and Ornamental Plants, Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, School of Biological Sciences and Biotechnology,
Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: *Eucommia ulmoides* is a unique and multipurpose economic tree species endemic to China, possesses remarkable developmental potential due to its abundant *Eucommia* rubber (Eu-rubber) and various medicinal compounds in leaves, bark and other tissues. This paper provides a comprehensive review of the research and development history of *Eucommia ulmoides* industry in China over the past 60 years, identifying the persistently high costs of raw material production or extraction as a critical bottleneck hindering substantial advancements in the Eu-rubber industry. Particularly in the current era where traditional farmers are gradually disappearing, the labor-intensive arbor forest management model for leaf or fruit-oriented cultivation struggles to support large-scale, low-cost raw material production due to constraints in human resources and rising labor costs. To address this challenge, it is essential to develop high-yielding triploid *Eucommia ulmoides* varieties with enhanced Eu-rubber and medicinal properties, coupled with a raw

收稿日期: 2025-01-25 修回日期: 2025-02-15

基金项目: 北京市自然科学基金重点项目(5141001)。

作者简介: 康向阳, 博士, 教授。主要研究方向: 林木细胞遗传与细胞工程育种。Email: kangxy@bjfu.edu.cn 地址: 100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学生物科学与技术学院。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

material production model based on leaf forest cultivation and mechanized harvesting. This approach can shorten production cycles and reduce planting, management and harvesting costs. Additionally, adopting an organ-specific whole-plant processing and utilization model can help distribute raw material costs more evenly and improve economic efficiency. Consequently, the primary bottleneck restricting *Eucommia ulmoides* industrialization has shifted to the integration of capital and advanced technologies. We therefore suggest that governments and industry alliances leverage their organizational strengths to effectively consolidate resources such as capital, technology, talent and market access, fostering co-creation, shared responsibility, and mutual benefits. This will promote the linkage, integration, and sustainable development of the first and second industries in *Eucommia ulmoides* resource cultivation, processing and utilization.

Key words: *Eucommia ulmoides*; industrialization process; bottleneck problems; resource integration

杜仲 (*Eucommia ulmoides*) 隶属于杜仲科 (*Eucommiaceae*)、杜仲属 (*Eucommia*)，是我国特有的传统名贵中药材，以及现代中药和功能食品等开发的优良原料，也是国家禁止饲用抗生素之后，最佳的减抗、替抗饲料添加剂制造原料^[1-3]。同时，杜仲作为一种极具开发潜力的温带胶源树种，其树皮、果皮和叶脉中富含的杜仲胶可通过不同的硫化温度加工，制备出热塑性、热弹性和高弹性等多种新型功能材料^[4-6]。杜仲胶与传统橡胶配合使用时，不仅能显著提升产品的性能和深度开发潜力，还具备替代部分石化产品的功能，从而实现固碳减排的效果^[7-8]。这些特性高度契合国家绿色发展战略，因此被认为是杜仲产业链的核心竞争力和持续发展的关键动力。然而，尽管我国对以杜仲胶为核心的杜仲产业已开发研究近 60 年，但一直未能取得突破性进展，其原因何在？如何解决其中的瓶颈问题并实现突破？针对以上问题，本文在深入分析制约杜仲产业发展瓶颈因素的基础上，提出通过采用高产优质的杜仲三倍体新品种、适合机械化作业的超短周期叶林栽培，以及全株分部位加工利用模式，实现杜仲产业的全产业链综合开发。这一路径旨在降低杜仲产业的原料成本，提升产业的经济效益。同时，进一步探讨了杜仲产业在新的发展阶段中逐渐暴露的新瓶颈问题，并提出了相应的促进杜仲综合开发的建议。

1 原料成本一直是杜仲产业发展的限制因素

20 世纪 50 年代初，针对我国三叶橡胶栽培区域有限，而军事和民用橡胶资源需求巨大的现状，前苏联专家向周恩来总理建议开发我国特有的杜仲胶资源。此后，国家开始组织在杜仲适生区建设原料基地，培育杜仲资源，最终在四川梁平、湖南慈利、贵州遵义等地建成了一批国有杜仲林场^[4-5]。同时，国家从中国科学院和高等院校抽调一批化工和材料科研骨干，组建了杜仲胶利用技术研究小组，集中研

究杜仲胶提取和加工技术。据杜仲胶利用技术研究小组成员—北京林业大学材料学院陈素文教授回忆，当时这项工作属于国家绝密任务，参加人员利用有限的实验条件，夜以继日地反复开展相关试验，初步解决了杜仲胶提取等技术难题，但没有实现将塑性的杜仲胶转化为弹性体的研究目标。

1981 年，中国科学院化学研究所严瑞芳先生关于“反式聚异戊二烯硫化橡胶制法”获得原西德发明专利授权，首次将杜仲胶制成弹性体，拓展了杜仲胶的应用范围，为杜仲全产业链开发利用提供了可能^[9]。此后，随着杜仲胶新材料的基础研究和应用研究的不断深入，进一步认识到通过硫化过程定量控制交联程度，可以逐步破坏杜仲胶的结晶结构。在此基础上，研究人员进一步明确了杜仲胶硫化过程中的 3 个阶段，并据此开发出了 3 种具有不同用途的新材料。其中，第一阶段是未硫化的零交联度杜仲胶，为热塑性材料，60 ℃ 左右软化成型，冷却后具有一定的硬度和刚度；第二阶段是硫化处于低交联度的杜仲胶，为硬质的热弹性材料，受热后具有橡胶弹性，受力可变形，并随着温度下降变为塑性材料，可用于开发热刺激性形状记忆功能材料；第三阶段是硫化达到交联度临界值的杜仲胶，为柔软的高弹性材料，具有更为优异的动态拉伸疲劳性能、较高的硬度等^[9-10]。研究表明，上述 3 种新型杜仲胶功能材料具有优良的共混性、热弹性、低温可塑性以及耐磨防腐、形状记忆、吸能减震等功能，可广泛应用于军事、交通、通讯、医疗等领域。如基于热塑性材料，可开发骨科外固定及矫形夹板等^[9]；基于热塑性材料的形状记忆性能，可开发密封接管和随意塑形的假肢接受腔等^[10]；基于高弹性橡胶材料和轮胎用橡胶共混，可生产耐磨、抗撕裂性能显著提升的特种轮胎，满足舰载机、大飞机、矿车等对高性能轮胎的国产化需求^[11]；此外，还可以与吸声橡胶共混，制造吸收声纳性能显著增强的潜艇消音瓦；或利用杜仲胶优异的无阻尼弯曲回弹特性，开发仿生自主飞行

器等^[12]。

近30多年来,杜仲产业开发一直受到国家的高度重视,国家发展与改革委员会、工信部、国家林业和草原局等长期重点推荐杜仲胶新材料及相关产业开发,并出台了一系列相关文件和配套政策^[1-2]。甚至国家发展与改革委员会等多次出资支持企业建立杜仲综合利用基地和杜仲精胶提取示范厂等^[13]。然而,目前除了杜仲茶等保健品产业开发有一定进展外,国家最期望的杜仲胶相关产业开发并没有突破。究其原因,主要与杜仲胶生产原料成本或提取成本居高不下,导致杜仲产业链生产大规模原料供应困难、经济效益低等有关^[14]。其中,最初曾希望利用杜仲树皮胶含量高(10%~12%)且可再生的特性,剥皮生产杜仲胶,但杜仲种植7~8年后才能初次剥皮采收,10年生杜仲林产皮仅为6 000 kg/hm²左右,且需要隔3~5年才能再次剥皮一次^[15-16]。即使按今天1万元/t的杜仲皮市场价格,提取1 t杜仲胶的原料成本也达到10万元以上,剥皮产胶存在周期长、产量低、采收难、成本高等问题^[17]。因此,长期以来,研究人员一直将研究重点集中在容易收集、成本低廉的落叶方面^[18]。但是,杜仲人工林营建5年后才能形成较高的叶片产量,且叶片含胶量低(2%~3%),提取1 t杜仲胶需要40 t落叶,原料成本在4万元以上^[19],尽管研究人员提出了通过微生物发酵等提高杜仲胶含量和提取率的方法,但大量叶片原料的运输、堆放、提取试剂等的消耗成本相对更高,且落叶次生代谢产物回流导致难以实现综合利用等,收集落叶制胶同样存在周期长、胶含量低、成本高等问题^[20]。果林栽培为杜仲胶原料供给提供了一条新的路径^[5,14],但其栽培达到盛果期需要5~7年,如‘华仲10号’建园第8年产果量3.2~3.8 t/hm²,折合产胶量0.385~0.456 t/hm²等^[21]。加之杜仲翅果机械化采收问题尚未解决,人工采收的高成本使杜仲翅果当前市场价格维持在2万元/t左右,提取1 t杜仲胶的原料成本也达到10万元以上,采果产胶同样存在周期长、采收难、成本高等问题。正是由于杜仲胶原料及其提取成本居高不下,导致杜仲胶有价无市,进而严重制约了杜仲产业的发展。

2 关于降低杜仲产业原料成本的实现路径

降低原料成本、提高经济效益主要可以通过以下3种路径。首先,通过新品种选育,提高杜仲叶片的杜仲胶和药物含量。众所周知,杜仲雌雄异株、异花授粉,自然杂交导致其种内遗传多样性十分丰富,因此,直接通过自然变异就能够取得显著成效。目

前已有的选种品种包括西北农林科技大学的秦仲1~4号^[22]和中国林业科学研究院经济林研究所(原林业部郑州泡桐研究中心)的华仲系列品种^[14,21]等,其生物量、杜仲胶和药效成分含量均处于相关性状自然变异的上限范围。而异花授粉决定了杜仲的广阔栽培区就是一个大的杂交场,与自然群体内众多可供选择的优良株系相比,有限的杂交亲本和杂种后代群体预示着简单的种内杂交效果是有限的。况且杜仲作为孑遗孤儿,以单科单属单种存在,也无法利用种间远缘杂交获取杂种优势。因此,要想在选择育种的基础上进一步提高杜仲叶片中杜仲胶和药效成分的含量,多倍体育种是当前最为切实可行的途径^[23]。而‘京仲1号’‘京仲8号’等8个杜仲三倍体($2n=3X=51$)新品种的选育成功也充分证明了这一点。研究^[23-24]表明,杜仲三倍体新品种具有生长快、叶片巨大,杜仲胶和药效成分等次生代谢产物含量高等特点。其中,杜仲三倍体新品种一年生平茬苗的平均苗高、胸径、叶片长和叶片宽分别超出对照‘秦仲1号’平均值的17.9%、25.0%、36.5%和67.2%;一年生苗15叶位叶片、树皮,以及4年生大树叶片平均含胶率分别超出‘秦仲1号’的72.73%、12.25%和16.47%;三倍体新品种一年生苗叶片桃叶珊瑚苷和绿原酸平均含量分别超出‘秦仲1号’平均值的104.71%和66.60%等。

其次,通过改变原料栽培和采收模式,缩短原料生产周期,降低种植、管理和采收成本,实现低成本的高效栽培和收获。研究表明,高密度、短周期的杜仲叶林或矮林栽培可以收获更多的叶片、树皮和茎生物量,这有望成为杜仲产业化资源培育的主要模式^[25-27]。杜仲三倍体新品种平茬苗具有叶片和生物量更大的特性,更适宜采取叶林模式栽培。建议采取条林密植栽培,根据立地条件定植密度控制在3 500株左右,栽培可实现“春种秋收”。根据河北省威县杜仲国家林木种质资源库的条林栽培试验结果,第2年平茬叶林每公顷可产出约15 000 kg干叶、3 600 kg树皮、22 500 kg条材。而且条林密植栽培有利于机械化平茬采收和机械化脱皮脱叶,可降低人工投入,使杜仲产业原料的生产成本控制30 000元/hm²以下。此外,该栽培模式具有栽培周期短、采收容易以及能在叶片药效成分回流前完成采收等优势,有利于实现杜仲资源的综合开发利用。在此基础上,可充分利用杜仲胶集中分布于叶脉的特性,通过对叶片进行分部位加工利用,进一步提高原材料中杜仲胶或药效成分的含量,并提升其综合效益。具体而言,机械化平茬采收和脱皮脱叶后,叶片立即进行高温干燥杀青处理。随后,通过机

械揉搓的方式将叶脉与叶肉分离,分离后的含胶丝叶脉的杜仲胶含量可提高至8%左右,而叶肉部分因去除了大部分胶丝,绿原酸等药效成分的含量则相对增加。通过分部位综合利用,能够有效均摊原料成本并提升整体收益。其中,叶脉和树皮可用于制胶及提取药效成分;叶肉可用于生产替抗饲料添加剂,或用于制药及保健品开发;茎秆则可用于制作刨花板、重组木,或作为食用菌的培养基料,最终实现一份原料、多重收益(图1)。

第三,通过杜仲全产业链胶、药成分综合加工利用,均摊加工原料成本,提高产品经济效益。依托‘京仲1号’等三倍体新品种叶林栽培,杜仲全产业链利用的基本模式是:以生产市场需求大且相对低端的饲料添加剂、刨花板或食用菌基料等产品为基础,推动高附加值的杜仲胶新材料创新,从而实现杜仲产业的多层次增值。2021年10月,我国农业农村部印发《全国兽用抗菌药使用减量化行动方案(2021—2025年)》,明确到2025年底,50%以上的规模养殖场实施养殖减抗行动,以有效遏制动物源细菌的耐药趋势^[28]。同时支持和鼓励饲料企业和研发机构创制绿色高效安全的新饲料及其添加剂产品,印发了《植物提取物类饲料添加剂申报指南》《饲料和饲料添加剂评审工作规范》,持续更新发布了杜仲叶提取物等14种植物提取物的《饲料添加剂品种目录》(中华人民共和国农业部公告第2045号)等^[29],为植物提取物类饲料添加剂新产品的研制和应用提供了保障。近年来,我国每年消耗约3.0亿吨工业饲料^[30],如果全面禁抗后按0.5%施用植物提取物类替代添加剂,可形成每年至少150万吨规模的市场。

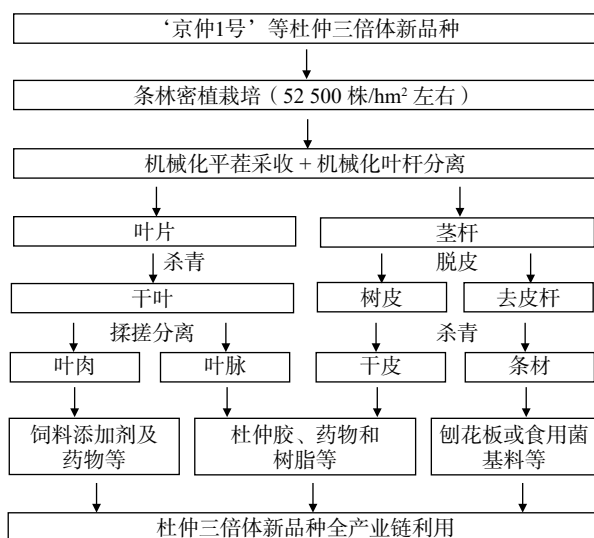


图1 杜仲三倍体新品种叶林栽培与分部位利用模式

Fig. 1 Leaf-use forest cultivation and organ-specific utilization mode of a new triploid *Eucommia ulmoides* variety

此外,我国木材及其产品的每年市场总需求量达到5.7亿m³左右,木材进口依赖度超过50%^[31],这表明该领域同样存在巨大的市场潜力空间。杜仲胶作为一种可再生、可持续发展的天然高分子材料,具有优良的共混性、热弹性、低温可塑性以及耐磨防腐、形状记忆、吸能减震等功能新材料特性,可有效促进大飞机、矿山车等特种轮胎的国产化进程,同时也为军事、交通、通讯、医疗等领域的新型生产力发展提供有力支持,在高强度弹性体材料、自修复材料、阻尼材料、液体橡胶材料、形状记忆材料、电磁屏蔽材料、吸声材料等新材料开发方面展现出巨大市场潜力^[9-12]。

3 当前杜仲产业化面临的新问题与建议

近年来,我国杜仲产业在科研和产业开发人员的共同努力下,在高胶、高药型的杜仲三倍体新品种选育,杜仲叶片胶、药分布时空变化特点,杜仲良种繁育技术,叶林栽培和管理技术,叶片高温杀青及叶脉分离技术,杜仲胶高效综合提取技术,杜仲胶热塑性和热弹性,橡胶型材料加工技术,杜仲活性成分提取及其药理作用等研究方面取得了显著突破,为杜仲全产业链开发利用奠定了坚实基础。除了已经产业化的中医药、保健品、化妆品、功能食品和饮品等产品^[5]外,杜仲胶和饲料添加剂等产品开发也取得了新的进展。例如,山西大禹生物工程股份有限公司已建成基于杜仲叶的功能性微生物饲料添加剂生产线;陕西省汉中市略阳县的年产300t生物基杜仲胶生产线已于2024年建成投产等。

然而,如何获得低廉且可满足大规模生产的原料供应仍然是当前杜仲产业化发展的瓶颈问题。对于基于叶林栽培和分部位利用模式的杜仲产业化来说,要确保杜仲胶新材料的创新并获取一定的经济效益,除了需要将三倍体新品种叶林的种植规模扩大到万亩以上外,还需要在叶粉或茎秆的开发利用中至少实现一项投产,通过均摊成本来实现盈利。基于叶粉、叶脉、树皮和茎秆等原材料开发的产品种类越多,以杜仲胶为核心的全产业链综合开发的经济效益就越高。然而,仅实现规模种植就需要占用大量资金。即使采用三倍体品种进行条林种植,能够实现春种秋收,并通过连年平茬实现短周期经营,大规模种植所产生的地租、种苗、机械、水肥以及人工等投入,也非小资本能够承受。此外,杜仲种植与制胶、药物提取、饲料添加剂生产和刨花板制造等分属于不同行业,技术要求和市场领域各不相同。这导致杜仲产业化过程中,第一产业(种植)与第二产业(加工)难以有效融合并形成相互促进的协同效

应。一方面,有资本看好杜仲制胶及其产品开发或杜仲饲料添加剂市场,但由于缺乏价格合理且规模化的原料供应,项目难以推进;另一方面,一些地方政府或企业有意投资杜仲叶林种植,却又担心生产出来的杜仲叶、皮等原料没有稳定的市场出口,因而望而却步。因此,如何实现大规模生产的低廉、优质原料供应,已成为推动杜仲产业化发展的关键问题。而解决这一问题的实质,已经转变为对资本规模以及经营主体在资本和技术整合能力等方面的要求。

针对杜仲产业发展新阶段出现的这一新问题,除了继续加强杜仲全产业链产品开发利用技术和政策研究外,建议国家有组织地考察并选择适合杜仲条林种植的区域给予重点支持,全力推动当地政府有效整合不同的资本、技术、人才和市场资源,形成以条林栽培和杜仲胶为核心的综合产业链开发利用示范效应。同时,充分发挥杜仲资源高值化利用产业技术创新联盟等社会专业机构的力量,组织有意涉足杜仲提胶制胶、饲料添加剂制造和木材加工的企业,集中到有杜仲产业基础的市县建厂,由当地政府投资或由几家加工企业共同出资成立股份公司,解决杜仲原料生产问题,实现共创(共同创业)、共担(共同担责)、共享(共享成果),进而推动杜仲资源培育和开发利用的第一产业与第二产业联动、融合以及可持续发展。

参 考 文 献

- [1] 王凤菊. 我国杜仲产品市场培育的思考和建议 [J]. 中国橡胶, 2014, 30(2): 9-11.
Wang F J. Thoughts and suggestions on cultivating the *Eucommia ulmoides* product market in China[J]. China Rubber, 2014, 30(2): 9-11.
- [2] 高均凯. 关于现代杜仲产业发展的若干思考 [J]. 林业经济, 2016, 38(5): 47-50,74.
Gao J K. Analysis and suggestions on the modern *Eucommia* industry development[J]. Forestry Economics, 2016, 38(5): 47-50,74.
- [3] Li Y, Kang X Y. Advances in research on the bioactive compounds and genetic improvement of *Eucommia ulmoides*[J]. Medicinal Plant Biology, 2024, 3: e027.
- [4] 陈素文, 毛长斌, 肖先平, 等. 杜仲叶工业利用价值 [J]. 北京林业大学学报, 1995, 17(增刊 2): 165-169.
Chen S W, Mao C B, Xiao X P, et al. Study on the value of industrial use of *Eucommia ulmoides* Oliv.[J]. Journal of Beijing Forestry University, 1995, 17(Suppl. 2): 165-169.
- [5] 杜仲产业研究课题组. 杜仲生物产业发展现状与前景 [J]. 中国林业产业, 2022(11): 18-47.
The research group of *Eucommia ulmoides* industry. Current status and prospects of *Eucommia ulmoides* industry development[J]. China Forestry Industry, 2022(11): 18-47.
- [6] 严瑞芳. 杜仲胶研究进展及发展前景 [J]. 化学进展, 1995, 7(1): 65-71.
Yan R F. Prospects and research progress on *Eucommia ulmoides* gum[J]. Progress in Chemistry, 1995, 7(1): 65-71.
- [7] 王凤菊. 我国生物基杜仲胶发展现状、瓶颈及对策分析 [J]. 中国橡胶, 2017, 33(3): 10-13.
Wang F J. Analysis of the development status, bottlenecks, and countermeasures of biobased *Eucommia ulmoides* gum in China[J]. China Rubber, 2017, 33(3): 10-13.
- [8] 张继川, 薛兆弘, 严瑞芳, 等. 天然高分子材料——杜仲胶的研究进展 [J]. 高分子学报, 2011(10): 1105-1117.
Zhang J C, Xue Z H, Yan R F, et al. Natural polymer material: recent studies on *Eucommia ulmoides* gum[J]. Acta Polymerica Sinica, 2011(10): 1105-1117.
- [9] 严瑞芳. 杜仲胶研究新进展 [J]. 化学通报, 1991(1): 1-6.
Yan R F. New progress in research on *Eucommia ulmoides* gum[J]. Chemistry Bulletin, 1991(1): 1-6.
- [10] 严瑞芳, 薛兆弘. 高弹性杜仲橡胶及其硫化弹性机理 [J]. 弹性体, 1991(3): 12-15.
Yan R F, Xue Z H. The high elastic vulcanizate of cutta-percha and vulcanizing-elasticity mechanism[J]. China Elastomerics, 1991(3): 12-15.
- [11] 王润国, 孙超英, 安晓鹏, 等. 生物基弹性体的研究进展 [J]. 橡胶工业, 2023, 70(9): 675-685.
Wang R G, Sun C Y, An X P, et al. Research progress of bio-based elastomers[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(9): 675-685.
- [12] 方庆红. 杜仲胶的基础与应用研究进展 [J]. 橡胶工业, 2023, 70(9): 686-702.
Fang Q H. Progress of basic and applied research of *Eucommia ulmoides* gum[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(9): 686-702.
- [13] 谢玲, 张学俊, 季春, 等. 杜仲胶提取与规模化生产现状及其产业发展面临的问题 [J]. 生物质化学工程, 2021, 55(4): 34-42.
Xie L, Zhang X J, Ji C, et al. Current situation in extraction and large-scale production of *Eucommia ulmoides* gum and its development issue[J]. Biomass Chemical Engineering, 2021, 55(4): 34-42.
- [14] 杜红岩, 赵戈, 卢绪奎. 论我国杜仲产业化与培育技术的发展 [J]. 林业科学研究, 2000, 13(5): 554-561.
Du H Y, Zhao G, Lu X K. The development tendency of the industrialization and culture techniques of *Eucommia ulmoides* in China[J]. Forest Research, 2000, 13(5): 554-561.
- [15] 崔克明. 杜仲研究的历史、现状和展望 [J]. 西北林学院学报, 1994, 9(4): 51-57.
Cui K M. The history and review of studies on *Eucommia ulmoides*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1994, 9(4): 51-57.
- [16] 吴际友. 杜仲的合理剥皮技术 [J]. 农家科技, 1997(9): 32.
Wu J Y. Reasonable peeling techniques for *Eucommia ulmoides*[J]. Farmer Family Technology, 1997(9): 32.
- [17] 本刊编辑部. 杜仲历史行情 [J]. 农村实用技术, 2008(11): 30.
Editorial department of this magazine. Historical market trends of

- Eucommia ulmoides*[J]. Rural Practical Technology, 2008(11): 30.
- [18] 张康健. 杜仲研究进展及存在问题 [J]. 西北林学院学报, 1994, 9(4): 58-63.
Zhang K J. Advances research of *Eucommia ulmoides* and problems therewith[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1994, 9(4): 58-63.
- [19] 李浚明, 陈光友. 杜仲的研究与开发 [J]. 生物学通报, 1996, 31(6): 43-44.
Li J M, Chen G Y. Research and development of *Eucommia ulmoides*[J]. Bulletin of Biology, 1996, 31(6): 43-44.
- [20] 杨凤, 胡世睿, 李东翰, 等. 杜仲胶的提取方法研究进展 [J]. 高分子材料科学与工程, 2020, 36(4): 177-182, 190.
Yang F, Hu S R, Li D H, et al. Progress in extraction methods of *Eucommia ulmoides* gum[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2020, 36(4): 177-182, 190.
- [21] 王璐, 乌云塔娜, 杜兰英, 等. 杜仲果药兼用良种‘华仲 10 号’[J]. 林业科学, 2016, 52(11): 171.
Wang L, Wuyun T N, Du L Y, et al. An improved variety for samara and medicinal use: *Eucommia ulmoides* ‘Huazhong 10’[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2016, 52(11): 171.
- [22] 张博勇, 张康健, 张檀, 等. 秦仲 1~4 号优良品种选育研究 [J]. 西北林学院学报, 2004, 19(3): 18-20.
Zhang B Y, Zhang K J, Zhang T, et al. Researches on the selection and breeding of superior species of Qinzhong1-4[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(3): 18-20.
- [23] 康向阳. 杜仲良种选育研究现状及展望 [J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(3): 1-6.
Kang X Y. Status and prospect of improved variety selection in *Eucommia ulmoides*[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2017, 39(3): 1-6.
- [24] Li Y, Wang Y, Wang P Q, et al. Induction of unreduced megaspores in *Eucommia ulmoides* by high temperature treatment during megasporogenesis[J]. Euphytica, 2016, 212(3): 515-524.
- [25] 许喜明, 徐咏梅, 彭锋, 等. 多年生杜仲叶林栽培模式及其更新复壮 [J]. 陕西林业科技, 2006(1): 22-24.
Xu X M, Xu Y M, Peng F, et al. Investigation on field biomass of leaf-oriented tree model of *Eucommia ulmoides* and the difference of renewal model and no renewal model[J]. Shaanxi Forest Science and Technology, 2006(1): 22-24.
- [26] 刘慧东, 丁欢欢, 朱景乐, 等. 杜仲短周期矮林的密度效应 [J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(4): 1-5.
Liu H D, Ding H H, Zhu J L, et al. Density effect of *Eucommia ulmoides* Oliv. short-rotation coppice[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2018, 46(4): 1-5.
- [27] 丁欢欢, 刘慧东, 张宁, 等. 收获时间和覆土对杜仲短周期矮化林生物量的影响 [J]. 经济林研究, 2020, 38(2): 131-137.
Ding H H, Liu H D, Zhang N, et al. Effects of harvest time and mulching soil on biomass in short-rotation *Eucommia ulmoides* coppice[J]. Non-wood Forest Research 2020, 38(2): 131-137.
- [28] 农业农村部. 全国兽用抗菌药使用减量化行动方案 (2021—2025). http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-10/25/content_5644815.htm.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Action plan for reducing the use of veterinary antibiotics in China (2021-2025). http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-10/25/content_5644815.htm.
- [29] 蒋剑春. 林源饲料和添加剂技术现状及展望 [J]. 林产化学与工业, 2023, 43(1): 1-14.
Jiang J C. Technical development and policy suggestions of feed and additives from forest sources[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2023, 43(1): 1-14.
- [30] 林国发. 2023 年饲料产量展望 [J]. 广东饲料, 2023, 32(2): 28-29.
Lin G F. Outlook for feed production in 2023[J]. Guangdong Feed, 2023, 32(2): 28-29.
- [31] 柴梅, 田明华, 杜磊, 等. 中国木材对外依存度降低的可能性分析 [J]. 北京林业大学学报 (社会科学版), 2022, 21(1): 19-28.
Chai M, Tian M H, Du L, et al. Possibility of reducing China's wood dependence on foreign trade[J]. Journal of Beijing Forestry University (Social Sciences), 2022, 21(1): 19-28.

(责任编辑 赵田芸
责任编辑 张建国)