·综述·

杜仲生态种植探讨及对其健康产业发展的启示△

崔欣萍[1]，闫滨滨[1]，张小波[1]，彭政[1,2]，郭秀芝[1]，孙嘉惠[1]，詹志来[1]，杨洪军[3]，张燕[1*]，郭兰萍[1*]

1. 中国中医科学院 中药资源中心 道地药材国家重点实验室培育基地，北京　100700；

2. 湖北中医药大学 中药资源与中药化学湖北省重点实验室，湖北　武汉　430065；

3. 中国中医科学院 中药研究所，北京　100700

［**摘要**］ 杜仲既是我国特有的名贵药材，又是天然橡胶资源，同时也是维护生态安全、实现绿色种植的重要树种。规模化种植是杜仲产业发展的必由之路。生态种植遵循“整体、协调、循环、再生”原则，保障生态与经济良性循环，是如今积极倡导的一种种植方式。开展杜仲生态种植对其整个产业的发展有重要意义。通过梳理杜仲不同空间尺度上自然生境及地理分布信息，结合现有栽培模式，对其生态种植工作进行梳理总结，以期为杜仲生态种植及后续产业发展提供参考。

［**关键词**］ 杜仲；栽培；采收加工；生态种植；循环经济

［**中图分类号**］ R282. 2　　［**文献标识码**］ A　　［**文章编号**］ 1673-4890(2022)05-0905-08

doi：10. 13313/j. issn. 1673-4890. 20210205003

Discussion on Ecological Planting of *Eucommia ulmoides* and Its Enlightenment to Development of Health Industry

CUI Xin-ping[1], YAN Bin-bin[1], ZHANG Xiao-bo[1], PENG Zheng[1,2], GUO Xiu-zhi[1], SUN Jia-hui[1], ZHAN Zhi-lai[1], YANG Hong-jun[3], ZHANG Yan[1*], GUO Lan-ping[1*]

1. *State Key Laboratory Breeding Base of Dao-di Herbs*, *National Resource Center for Chinese Materia Medica*, *China Academy of Chinese Medical Sciences*, *Beijing* 100700, *China*;

2. *Hubei Key Laboratory of Traditional Chinese Medicine Resources and Chemistry*, *Hubei University of Chinese Medicine*, *Wuhan* 430065, *China*;

3. *Institute of Chinese Materia Medica*, *China Academy of Chinese Medical Sciences*, *Beijing* 100700, *China*

[**Abstract**] In addition to a unique precious medicinal material in China and a natural rubber resource in the world, *Eucommia ulmoides* Oliv. is also an important tree species to maintain ecological security and realize green cultivation. Large-scale planting is the only way to develop the industry of *E. ulmoides.* Ecological planting follows the principles of "integration, coordination, circulation, and regeneration" to ensure a virtuous cycle of ecology and economy, which is a planting method now actively advocated nowadays a planting method. It is of great significance for the development of the whole industry to carry out ecological planting of *E. ulmoides*. The present study sorted out the natural habitats and geographical distribution information of *E. ulmoides* at different spatial scales and summarized the current ecological planting based on the existing cultivation modes in order to provide references for the ecological planting of *E. ulmoides* and the subsequent development of the health industry.

[**Keywords**] *Eucommia ulmoides* Oliv.; cultivation; harvesting and processing; ecological planting; circular economy

杜仲 *Eucommia ulmoides* Oliv. 又名思仙、木棉、思仲、绵绵、石思仙、丝连皮等，是杜仲科杜仲属仅存的第三纪孑遗植物，为我国特有的珍稀濒危第二类保护植物[1]。杜仲自古以来都是名贵滋补药材，

△［**基金项目**］ 国家重点研发计划项目（2017YFC170701）；中国中医科学院重点领域课题（ZZ10-027）；财政部和农业农村部：国家现代农业产业技术体系资助项目

*［**通信作者**］ 张燕，副研究员，研究方向：中药栽培与质量控制；E-mail：zhangyan8669@126.com

郭兰萍，研究员，研究方向：中药生态农业；E-mail：glp01@126.com

药用价值极高，最早记载于《神农本草经》[2]。杜仲味甘，性温，归肝、肾经，干燥树皮入药，具有补肝肾、强筋骨、安胎功效，可用于肝肾不足、腰膝酸痛、筋骨无力、头晕目眩、妊娠漏血、胎动不安[3]。此外，杜仲是我国重要的战略资源，在食品开发、制胶工业、家具用材、城乡绿化、绿色饲料等方面显示出巨大的应用价值和开发潜力[4]。

近年来，杜仲的药用保健价值及杜仲胶的工业价值受到社会各界的广泛关注，需求量逐年攀升。目前，杜仲被列入四大紧缺专控药材之一[5]。2016年，《全国杜仲产业发展规划（2016—2030年）》（以下简称《规划》）正式发布和实施，标志着我国杜仲产业发展进入快车道，这将大力推动杜仲产业未来发展。原国家林业局根据我国杜仲产业发展现状和潜力，在《规划》中提出“2030年建成5000万亩杜仲良种高效栽培产业基地”（1亩≈666.67 m^2）的目标[6]。

杜仲属落叶乔木，生长周期长，种植15~20年后方可达到药用采收标准，其产区空间未得到充分利用。此外，杜仲立地环境复杂，栽培过程中存在土壤管理措施不完善、栽培地土壤肥力下降等问题，造成土壤资源浪费。建议发展杜仲生态种植时，应充分考虑社会、经济、生态效益，注重农、林、牧、副、渔综合发展，结合其产区本身自然条件，因地制宜开展间作、套作，发展杜仲林下经济，实现杜仲产业可持续发展[7]。本文对此进行梳理总结，以期为杜仲生态种植及产业发展提供参考。

1 生境与分布

1.1 生境

对杜仲自然生境的了解有助于更好地了解其生长特性，为人工栽培奠定基础。研究人员近年来发现一批“先锋植物”[8]，杜仲是其中一员。“先锋植物”表现出三大特点，即喜钙性、旱生性、岩生性，能够在严重缺乏土壤和水分的石漠化地区生长，具有极顽强的生命力。由此可见，杜仲对生长环境有极强的适应性。在自然状态下，其生长于海拔300~500 m的低山、谷地或低坡的疏林里[9]。地理信息系统（GIS）空间分析功能显示，海拔300~1800 m均有杜仲分布[10]。适宜杜仲生长的年均温度在12~18 ℃。目前已报道数据显示，其最低耐受温度为－30 ℃，最高耐受温度为40 ℃[11]；年均日照强度为130~160 $W\cdot m^{-2}$；年均相对湿度为60%~80%，年均降水量为1000~1500 mm。杜仲对土壤的选择性并不高，在瘠薄的红土或岩石峭壁均能生长，最适宜生长在砂质土壤和含腐殖质较多的土壤和石灰岩山地，土壤pH为4.5~8.0。

1.2 产区分布

杜仲对环境有极强的适应性，分布范围也比较广泛。作为我国特有的经济物种，其原产于我国西南诸省山区，天然分布中心在秦岭以南山地、四川、贵州、湖北、湖南、陕西、甘肃、云南、广西、广东、河南、浙江、安徽、江西等地[12]。根据自然地理特点、其经济性状和形态特点上的差异，陈品良等[13]划分了7个杜仲主要分布区，分别是秦巴山区，大娄山区，鄂西山区，武陵山区，伏牛山-桐柏山-大别山区，浙、赣、皖交界山区和南岭山区。邓阳川等[14]通过药用植物全球产地生态适宜性区划信息系统（GMPGIS）分析认为，杜仲在中国的最大生态相似度区域包括华东、东南沿海、华中、华南、西南、西藏藏南和台湾东部等18个地区。根据杜仲野生分布及基于GMPGIS的生态适宜性区域信息，结合杜仲的生物学特性、土地条件、栽培历史及习惯等，建议规范化种植基地选在贵州、湖南、四川、湖北、陕西、河南、重庆、甘肃、安徽、江西等地[15]。

2 现有栽培模式

随着杜仲产品的不断开发，传统药用栽培模式已不能满足市场需求。目前，各地根据立地条件、栽培目的不同，发展出主产杜仲皮、果、花、叶4种不同的栽培模式，分为药用栽培模式、果园化栽培模式、杜仲雄花栽培模式和杜仲叶用栽培模式（表1）。

3 生态种植

生态种植是在“整体、协调、循环、再生”原理指导下，结合系统工程方法设计，综合考虑社会、经济和生态效益，充分应用能量多级利用和物质循环再生，最后实现生态与经济良性循环[21]。利用生态种植原理和技术，对杜仲种植模式进行优化，提高其种植的产量和综合效益，对促进杜仲产业可持续发展具有重要意义。

表1　杜仲现有栽培模式

栽培模式	目的	特点	树种	栽植密度
药用栽培[11,16]	生产杜仲皮做药用	栽培历史悠久、应用广，主要面向药材市场	“秦仲1~4号”	83~166株/亩
果园化栽培[17-18]	主生产杜仲果实和杜仲胶、杜仲亚麻酸油	采用果树管理法，改高大乔木为矮化林木，便于采摘	“华仲3~4号”“华仲6~10号”	55~333株/亩
杜仲雄花栽培[19]	获得高产、优质的杜仲雄花产品	把握杜仲雄花的采花期，杜仲雄花产量较传统栽培提高15~75倍	“华仲1号”“华仲5号”	1300~3300株/hm^2
杜仲叶用栽培[20]	以生产杜仲叶为主，提高杜仲叶及胶产量	当年栽植，当年收益，一次栽植，连年收益，可连续使用20年以上	“华仲2~4号”“中林大叶1号”	1000~1700株/亩

3.1　开展杜仲复合种植

发展杜仲复合种植是对传统杜仲种植模式的优化，将杜仲与其他药用植物或农作物进行间作、套作、混作及立体种植等复合种植，以生态位原理为实践基础，充分利用土地、光、水分、养分等自然资源[22]，提高杜仲林下资源利用率，实现一地多用、一地多收。此外，杜仲生长周期长、产业投入大，开展复合种植可以实现“以短养长”，提高种植经济效益。根据杜仲的生长特性，可以从以下角度与其他植物开展复合种植。

3.1.1　根据杜仲的树龄及树形大小　杜仲一般2~3年形成树冠，在幼林期，遮阴度较小[23]，可套种一些喜气候温和、光照充足、空气湿润的中药材（如丹参、苍术等[24-25]）；在成龄阶段，杜仲会长大，形成较为荫蔽的环境，可种植一些喜阴的中药材（如半夏[26]等）；对于生长20年以上的老龄杜仲林来说，林内荫蔽的环境能够为喜湿、喜弱光、怕干旱、怕曝晒的植物（如黄连[27]、重楼[28]等）提供天然的生长条件，可开展林下栽培。

3.1.2　根据杜仲不同产区的环境特性　杜仲对环境的适应性强，分布地区广泛，在杜仲产区引种道地药材或适宜在产区环境下生长的药材。例如，在气温较低的北方杜仲园引种耐寒的药材；在温暖湿润的南方引种淫羊藿等；在山区开展复合种植模式（辛夷+厚朴+杜仲）可避免水土流失，保证土地得以长期覆盖，维护森林生态环境[29]。

3.1.3　根据杜仲与其他植物间的化感作用　植物化感作用（allelopathy）是指一种由植物产生并以挥发、淋溶、分泌和分解等方式向环境释放化学物质而影响临近伴生植物生长发育的现象[30]。这种作用有相生相克的两面性，既有互助有益的一面，也有抑制的一面[31]。杜仲林下引入其他植物产生的物种竞争效应会刺激化感物质的产生和释放[32]。杜仲作为木本植物，生长周期长，受到园林内其他植物影响产生的化感物质更多，相较于单纯草本植物之间的化感影响可能更加丰富和强烈[33]。因此，从植物化感作用角度来看，杜仲园区内开展生态复合种植对植物品种要求更加严格。若选择植物类型不合理，受化感作用影响可能抑制作物生长。田楠等[34-35]选择杜仲等12种树木枯落叶分解小麦和玉米种子发芽和幼苗生长的化感效应，结果显示，杜仲对小麦发芽和生长起到高浓度促进、低浓度抑制的作用；对玉米来说，杜仲枯落叶对玉米的综合化感效应在各浓度下均表现为抑制作用，不建议杜仲与玉米进行间作。相较于作物，中药材生态种植不仅关注安全和产量，更重要的是关注其对中药材有效成分（次生代谢产物）的影响[36]。开展杜仲复合种植需要在今后加强系统中化感作用的研究，优化其生产实践中的复合种植模式。

3.2　科学采收加工

采收加工是杜仲生态种植过程中的重要环节。杜仲皮多在春末夏初采收为宜，此时植物生长活跃，其体内汁液营养充分，皮部容易从木质部剥离下来。同时，剥离后的部位容易形成愈伤组织，再生新皮，且此时皮部有效成分含量也高。通过探究杜仲有效成分（如绿原酸、松脂醇二葡萄糖苷等）的含量或表型特征确定杜仲皮的最佳采收时间为4—6月[37-38]，杜仲叶的采收集中在4月或7—8月[39-41]。与《中华人民共和国药典》2020年版规定的“4—6月剥取树皮；夏、秋两季枝叶茂盛时采收叶片”[3]相符。杜仲雄花花期较短，大约1~2周，通过对不同时期杜仲雄花的形态特性及对总黄酮、绿原酸和活性成分总量进行比较，发现盛花期杜仲雄花的品质较好且产量高，采收时要把握好这段时期。

杜仲皮生长缓慢，周期长，一般要10年以上才能利用。传统的采收方式主要靠砍树剥皮，使资源

受到极大破坏，砍树剥皮与林业、生态环境保护产生了矛盾，因此提倡剥皮再生技术[42]。剥皮一般选择雨后阴天为佳，选择生长旺盛、枝叶繁茂、无病虫害的植株剥皮，剥皮方法主要分为环剥再生法和侧剥再生法[43-44]。杜仲叶和杜仲雄花采收时一般采用摘取法或割取法。目前，已有中药材开始采用机械采收，如采用切割式采叶机械作业进行大面积银杏叶的采收。建议借鉴已实现机械化采收的植物品种，推进杜仲的机械化采收进程，提高效率。

杜仲采收后需要经过产地初加工，以保证产品质量，便于保存、运输、再加工[45]。采收后应首先刮去粗皮，除去霉变、虫蛀及非应用部分，以及石块、泥沙、灰屑等杂质。干燥是杜仲采后加工的重要环节，直接影响产品质量及后续的深加工效果。目前，生产中采用的干燥方法主要有自然晾晒、烘房烘干、微波干燥、红外干燥等，若想得到较高品质或高附加值的产品也可采用真空冷冻干燥、真空脉动干燥等技术[46-47]。

4　杜仲循环经济模式探索

循环模式是在生态系统层次提炼出的，根据中药材及其非药用部位在生态系统中的能量流动和物质循环规律，构建物质及能量良性循环的中药材生态种植体系，使系统中的物质资源多次循环利用，从而提高能量的转换率和资源利用率，保证生产体系的高效循环和有效产出[48]。

4.1　杜仲多产业开发

杜仲被誉为“植物黄金”[5]，其皮、叶、花、果、种子均可利用。杜仲多产业综合开发是实现杜仲资源利用最大化的必要环节。

在医疗方面，杜仲以干燥树皮和叶入药[3]。近年来，为了扩大杜仲药用资源，研究人员相继开展了杜仲雄花、种子等部位的药理研究，已从杜仲皮、叶、花和果实中提取获得木脂素类、环烯醚萜类、黄酮类等上百种化学成分[49-50]，具有抗氧化、缓解疲劳、抗骨质疏松、提高免疫力、降血压、降血糖、调血脂、保护心脑血管等多种药理作用[51-53]。在养殖方面，自 2012 年 6 月起，杜仲（树皮）和杜仲叶被收入《饲料原料目录》，可用于加工制作饲料[54]。将杜仲及其提取物添加到家禽、家畜的饲料中，不仅能预防疾病的发生、减少预防用药、增加食用安全性，还能提高食用品质、增强口感[55-57]。在食品保健方面，2020 年 4 月，国家卫生健康委员会公布了《关于征求将党参等 9 种物质作为按照传统既是食品又是中药材物质管理意见的函》（国卫办食品函〔2018〕278 号）[58]，杜仲叶作为 9 种物质之一被列入其中。基于此，杜仲可作为食品加工原料，也可制成多种保健食品[59-61]。在工业方面，杜仲的果、叶、皮和种子中均含有丰富的杜仲胶。杜仲是世界上除了三叶橡胶以外唯一具有巨大开发前景的优质天然橡胶资源[62]，可应用于汽车工业、高铁、通讯、医疗、电力、水利、建筑、运动竞技等领域[5]。此外，在生态绿化方面，杜仲树形高大，观赏及涵养水土的效果俱佳，是公园绿化、生态改良的优选树种[5]。

4.2　废弃物多级利用

从资源经济学角度看，中药废弃物是某种物质和能量的载体，是一种可转化的、有待开发的资源。中药废弃物的资源化利用既是中药资源化学研究思想的具体体现，又是中药资源领域实现资源节约、循环利用、提升利用效率的重要内容之一。以杜仲种植为出发点，遵循“减量化、再利用、资源化”原则[63]，统筹兼顾，因地制宜，使林、药、牧、副、渔各产业有机结合，实现杜仲资源的多途径、多层次利用是今后杜仲产业发展的必然趋势[64]。

杜仲资源废弃物产业链较长，依据其产生的不同阶段可大致分为 1）种植过程中产生的废弃物，包括因间苗、疏枝、疏果产生的废弃植株、枝条叶、花、果等；2）产地初加工产生的废弃物，包括因去除非药用或非应用部位产生的大量废弃栓皮、果核、木心等；3）产业深加工过程中产生的废弃物，包括产生的药渣及其他液态、气态废弃物[65]。

研究人员针对上述过程产生的废弃物开展了大量研究，将其转化成资源性产品。一方面，杜仲的非药用部位及药渣中含有丰富的粗质纤维、蛋白质及多种微量元素，将其进行简单的加工处理就可制成各类优质肥料、食用菌培养基、饲料添加剂或营养补充剂[66]。黄文豪等[67]将修剪下来的杜仲枝叶作为食用菌培养基，成功培育出口感鲜美、营养成分丰富的香菇；张昌伟等[68]利用杜仲叶渣进行固态发酵，成功制备出有机肥料，且毒性试验证明杜仲叶渣制备的有机肥不仅无毒，还能提高种子的发芽率；在杜仲叶渣中添加棉籽壳、麸皮等辅料后，平菇菌丝生长旺盛，子实体品质、产量与纯棉籽壳生产的

平菇品质、产量接近，完全可以作为平菇生产原料[69]。另一方面，袁琳等[70]提出林业产生的木屑、树皮，中药加工产生的药渣、废枝叶等都可以作为废弃植物纤维资源进行开发，杜仲枝、叶及药渣含有大量纤维素，并且杜仲与其他造纸原料相比具有纤维气孔多、易于漂白等优点，是制浆造纸工业的理想原料；陈昌洲等[71]以杜仲枝叶为原料发明出一种制备高白度纸浆的方法，已申请专利。此外，利用现代生物技术将杜仲副产品转化为高附加值资源性物质也是一种新的开发角度。李银环等[72]从杜仲废弃的绿色叶片、嫩枝、种子和杜仲皮中提取得到杜仲精油，并利用其中间产物结合杜仲栽培中产生的废弃生物质制备出具有保健作用的活性炭，实现了杜仲高效增值循环利用。

综上所述，杜仲资源全产业链各环节产生的不同类型废弃物及副产物具有开发利用价值。未来，应基于循环经济理论，开阔思路，运用适宜技术继续开发杜仲健康产品，推动我国杜仲产业副产品资源化事业的可持续发展。

5　展望

5.1　加快杜仲良种选育

在杜仲生态种植过程中，种子来源多基于少数几个品种，大面积种源单一，遗传背景狭窄，遗传变异流失。目前，我国95%以上面积的杜仲林采用传统药用林栽培模式[73]。此外，我国杜仲良种利用率低，种苗质量良莠不齐，生长分化严重，生产力不高，这与杜仲产业快速发展形成极大反差[74]。因此，加快杜仲生物育种，选育优质、高产、抗逆性强、适应性广的杜仲良种迫在眉睫。当前，杜仲已选育出“华仲1~5号”“秦仲1~4号”等优质、高产、速生的药用良种，针对杜仲雄花开发的“华仲11号”，适合果园化开发及工业用胶的品种“华仲6~10号”“大果1号”。另外，多种分子生物技术也陆续应用到杜仲的良种选育研究中。利用性别相关分子标记鉴别杜仲幼苗时期雌雄性别，合理布置栽培苗区，解决杜仲雌雄异株、自然状态下难以受精产生后代的问题[75]；通过功能基因验证阐释杜仲各活性成分的生物合成途径[76-77]。

建议今后将现代分子生物技术与传统育种技术更加成熟地结合，并根据不同育种目标，选育出具有广阔市场前景的优良品种，如选育有效成分含量高的药用杜仲；培育杜仲胶含量较高的胶用杜仲，并优化杜仲胶的采收加工工艺；培养主干高大的绿化用杜仲；根据饲料生产的要求，选育能够优化口感、提高家畜产量的饲料用杜仲。此外，不同地区可以根据自身环境特性选育抗性品种，一些海拔较高的地区可选抗寒能力较强的品种，盐碱地可选抗盐碱品种。在此过程中要注意知识产权保护。建议政府及相关企业支持杜仲良种选育研究，对符合条件的杜仲资源培育给予造林和抚育补贴、工程造林项目资金补助。

5.2　加快生态种植关键技术及效益评价研究

杜仲生长缓慢，生产周期长，整个种植过程面临许多技术难题。如何根据种植目标产品，通过有效的人工栽培管理措施保障其产量尤为关键。建议今后开展杜仲栽培区土壤地力状况及病、虫、草害发生情况调查，了解栽培人员在种植管理中有关杜仲品种选用、间套作模式、种植管理方法、株行距、修剪、肥料使用、排灌水、病虫害综合防治、杜仲药材产量及杜仲胶含量等情况，为杜仲人工栽培提供研究基础。针对杜仲主产区的生态条件、土壤肥力状况及养分供应情况，明确杜仲生长发育、养分吸收及品质形成规律，制定养分调控措施和肥料限量指标；研究杜仲病、虫、草害发生发展规律，根据杜仲生长规律及病、虫、草害发生发展规律确定合理的综合防治措施，通过选育抗性品种培育壮苗、科学施肥、加强田间管理等措施，综合利用农业、物理及生物防治，将有害生物控制在允许范围内。

在开展杜仲生态种植过程中，要开展不同种植模式对杜仲及其配套药用植物生长、产量、品质、病虫害防治的影响，并对不同模式下产生的生态效益和经济效益进行评价，挖掘其生态种植模式背后的生态机制和科学问题，为其他品种提供可参考案例。

5.3　提高产品质量，推进杜仲绿色生态产业链条一体化

虽然，目前以杜仲为原材料开发的功能性产品品种众多，应用范围也较广，但总体而言，杜仲的开发利用还处于初级阶段，产品研发还未成规模，产品质量不高，综合资源利用率偏低，市场反应也并不突出。对此建议：1）根据市场需求进行产品开发，推进杜仲产品品牌建设，积极引导、支持企业

做好市场开拓和品牌建设工作，加快自主品牌发展，不断提升产业整体竞争力，打造一批在国内外享有盛誉的杜仲产品品牌；2）充分发挥国家林业和草原局杜仲工程技术研究中心的作用，将科研开发研究和企业生产活动相结合，保障国家政策资金运转合理、有序、合法[78]；3）建立杜仲生态种植示范区，同时，加大对人才的引进和培养，各研究团队之间开展学术技术交流与合作，互相借鉴，共同攻克技术难题[79]。之后，通过技术培训、开展对比试验和田间调查，评价实施效果，构建“政府+科研+推广+企业+农户”推广模式并进行示范应用，形成政府、科研机构、高校、企业、金融机构等主体在内的产业战略联盟及相互之间的良性互动，实现杜仲产业资源合理配置、有效集成和充分利用[80]。

参考文献

[1] 雒晓梅，宿美凤，常晓燕，等. 基于LC-MS联用的杜仲主要化学成分定性及定量分析[J]. 中国现代中药，2019，21(8)：1029-1040.

[2] 佚名. 神农本草经[M]. 北京：学苑出版社，2008：52.

[3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：一部[M]. 北京：中国医药科技出版社，2020：172-173.

[4] 崔玮，李影.《全国杜仲产业发展规划(2016—2030年)》发布 杜仲产业发展迎来历史新机遇[J]. 中国林业产业，2017，14(增1)：30-33.

[5] 陆小鸿.“植物黄金”杜仲[J]. 广西林业，2013，32(12)：28-30.

[6] 朱子桐. 杜仲产业健康发展任重而道远——访中国林业产业联合会副秘书长、《全国杜仲产业发展规划(2016—2030年)》起草组组长李志伟[J]. 中国林业产业，2019(10)：10-17.

[7] 郭兰萍，周良云，莫歌，等. 中药生态农业——中药材GAP的未来[J]. 中国中药杂志，2015，40(17)：3360-3366.

[8] 张学俊，张萌萌，苏晓兰. 原生态杜仲胶的生物提取意义[J]. 中国橡胶，2015，31(5)：41-46.

[9] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志：第29卷[M]. 北京：科学出版社，2001：116.

[10] 王宝川，刘晨，田孟良. 应用层次分析法和地理信息系统技术对四川杜仲适宜栽培区区划[J]. 东北林业大学学报，2020，48(9)：20-25.

[11] 赵铁蕊. 中国杜仲产业发展态势、生产效率及优化策略研究[D]. 北京：北京林业大学，2015.

[12] 肖深根. 杜仲产业基地建设与规范化栽培[M]. 长沙：湖南科学技术出版社，2017：3.

[13] 陈品良，吴俊元，贺善安. 杜仲种质资源的现状及保护对策[J]. 植物资源与环境，1992，1(4)：6-11.

[14] 邓阳川，向丽，汤欢，等. 基于GMPGIS的杜仲全球产地生态适宜性分析[J]. 世界科学技术—中医药现代化，2019，21(4)：755-763.

[15] 中国林业产业网. 国家林业局关于印发全国杜仲产业发展规划(2016—2030年)的通知附件[EB/OL]. (2016-12-20)[2022-02-15]. https://max. book118. com/html/2018/0329/159285041. shtm.

[16] 郭书荣，杜兰英，王璐，等. 杜仲药用林栽培技术规程[J]. 林业实用技术，2014，57(6)：19-21.

[17] 王高鹏，程超民，孟淑霞. 杜仲良种果园化高效栽培技术[J]. 绿色科技，2018，9(3)：78-80.

[18] 杜笑林，刘攀峰，朱高浦，等. 平原沙区果园化栽培模式下幼龄杜仲林生物量研究[J]. 中南林业科技大学学报，2016，36(6)：61-65.

[19] 吴敏，赵阳，马志刚，等. 果园化栽培模式杜仲雄花、果实和叶片产量的调查分析[J]. 林业科学研究，2014，27(2)：270-276.

[20] 杜红岩，胡文臻，俞锐. 杜仲产业绿皮书：中国杜仲橡胶资源与产业发展报告(2013)[M]. 北京：社会科学文献出版社，2013：20-24.

[21] 康传志，吕朝耕，黄璐琦，等. 基于系统层次的常见中药材生态种植模式及其配套技术[J]. 中国中药杂志，2020，45(9)：1975-1981.

[22] 李远菊，张霁，王元忠，等. 药用植物复合种植研究进展[J]. 世界科学技术—中医药现代化，2013，15(9)：1941-1947.

[23] 史艳财，李承卓，邹蓉，等. 中药材间作种植模式研究进展[J]. 北方园艺，2012，36(16)：180-183.

[24] 彭育红，晏志珍. 林下中草药种植技术及产业发展现状[J]. 现代园艺，2019，42(19)：59-60.

[25] 张燕，樱井美希，杨光，等. 不同小生境对苍术生长和4种挥发油的影响[J]. 中国中药杂志，2015，40(21)：4142-4148.

[26] 王旭军，谢慧敏，彭翠英，等. 不同林分郁闭度对半夏生长的影响[J]. 湖南林业科技，2019，46(3)：21-24，53.

[27] 陈慧玲，杨彦伶，李振芳，等. 湖北省林下药材种类及种植模式探析[J]. 湖北林业科技，2014，43(4)：16-20.

[28] 臧秀梅. 林下重楼种植技术初探[J]. 现代园艺，2015，38(7)：56-57.

[29] 赵艳燕. 山东日照市岚山区中草药的种植现状及产业发展前景[J]. 农业工程技术，2018，38(5)：13，20.

[30] 孔垂华. 植物种间和种内的化学作用[J]. 应用生态学报，2020，31(7)：2141-2150.

[31] RICE E L. Allelopathy[M]. New York: Academic Press, 1984: 292-293.

[32] ZIVANAI M, RONALD M, NEDTER M. The role of tillage, allelopathy, dormancy-breaking mechanisms and wind in the spread of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) in Zimbabwe[J]. Agric Res, 2019, 8(4): 461-466.

[33] 朱美秋,王颖,许中旗,等. 木本植物化感研究进展[J]. 世界林业研究,2008,21(6):19-24.

[34] 田楠,刘增文,李俊,等. 林(果)粮间作中树木枯落叶对小麦发芽期和苗期的化感效应[J]. 中国生态农业学报,2013,21(6):707-714.

[35] 田楠,刘增文,时腾飞. 12种林(果)粮间作树种枯落叶分解对玉米的化感效应[J]. 农业环境科学学报,2013,32(5):1000-1008.

[36] 王升,蒋待泉,康传志,等. 药用植物次生代谢在中药材生态种植中的作用及利用[J]. 中国中药杂志,2020,45(9):2002-2008.

[37] 王丽楠,李伟,覃洁萍,等. 不同采收期杜仲不同部位主要有效成分的动态研究[J]. 中国药业,2009,18(18):29-31.

[38] 李伟,谢婷婷,覃洁萍,等. 杜仲不同采收期及不同部位中桃叶珊瑚苷的含量测定[J]. 天然产物研究与开发,2011,23(2):283-285.

[39] 郑英,周兰,许亚玲,等. 黔产杜仲叶不同采收期化学成分变化规律研究[J]. 世界最新医学信息文摘,2018,18(34):27-29.

[40] 茹建永,乔孝伟. HPLC法测定不同采收时期杜仲叶中绿原酸的含量[J]. 中国药房,2008,19(27):2112-2114.

[41] 周程艳,马红翠,王美,等. 不同采收期杜仲叶和果实中总黄酮和多糖含量比较[J]. 中国实验方剂学杂志,2011,17(14):111-114.

[42] 张小军. 杜仲剥皮再生关键技术[J]. 农业科技与信息,2018,35(11):72-73.

[43] 农训学. 杜仲采收及加工方法[J]. 农村新技术,2011,29(14):43-44.

[44] 彭秀梅,田启建,李于飞. 杜仲的生物特性、经济价值及其栽培管理技术[J]. 吉首大学学报(社会科学版),2015,36(增2):130-131.

[45] 吴潍. 产地初加工方法对中药材质量的影响[J]. 中医药管理杂志,2020,28(1):90-94.

[46] 郑艳萍,潘艳琼,秦昆明,等. 不同干燥方式对杜仲叶4种活性成分含量的影响[J]. 中国药房,2017,28(28):3973-3976.

[47] 魏媛媛,温晓,李伟业,等. 不同干燥方式对杜仲雄花成分含量的影响[J]. 安徽农业科学,2019,47(3):163-165,169.

[48] 周洁,郭兰萍,黄璐琦,等. 植物化感作用及其在中药材栽培中的应用[J]. 世界科学技术—中医药现代化,2007,9(5):34-38.

[49] 刘聪,郭非非,肖军平,等. 杜仲不同部位化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国中药杂志,2020,45(3):497-512.

[50] WANG C Y, TANG L, HE J W, et al. Ethnobotany, phytochemistry and pharmacological properties of *Eucommia ulmoides*: A review[J]. Am J Chin Med, 2019, 47(2):259-300.

[51] HE X R, WANG J H, LI M C, et al. *Eucommia ulmoides* Oliv.: Ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of an important traditional Chinese medicine[J]. Ethnopharmacol, 2014, 151(1): 78-92.

[52] 高宏伟,李玉萍,李守超. 杜仲的化学成分及药理作用研究进展[J]. 中医药信息,2021,38(6):73-81.

[53] HUSSAIN T, TAN B, LIU G, et al. Health-promoting properties of *Eucommia ulmoides*: A review [J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2016, 2016:2502908.

[54] 王一飞,刘亚芳,王书辉,等. 杜仲叶药食同源研究进展[J]. 河南大学学报(医学版),2018,37(1):65-68.

[55] YUAN D, WANG J, XIAO D, et al. *Eucommia ulmoides* flavones as potential alternatives to antibiotic growth promoters in a low-protein diet improve growth performance and intestinal health in weaning piglets[J]. Animals (Basel), 2020, 10(11):1998.

[56] YUAN D X, HUSSAIN T, TAN B, et al. The evaluation of antioxidant and anti-inflammatory effects of *Eucommia ulmoides* flavones using diquat-challenged piglet models[J]. Oxid Med Cell Longev, 2017(8): 8140962.

[57] XIAO D, YUAN D, TAN B, et al. The role of Nrf2 signaling pathway in *Eucommia ulmoides* flavones regulating oxidative stress in the intestine of piglets[J]. Oxidative Med Cell Longev, 2019(9): 9719618.

[58] 梁雪娟,刘浩,黄小龙,等. 药食同源中药杜仲应用及产品现状分析[J]. 中国现代中药,2021,23(4):587-592.

[59] 袁云香. 杜仲在食品加工中的应用[J]. 北方园艺,2013,37(2):188-190.

[60] DONG J E, MA X H, FU Z R, et al. Effects of microwave drying on the contents of functional constituents of *Eucommia ulmoides* flower tea[J]. Ind Crops Prod, 2011, 34(1): 1102-1110.

[61] 朱远坤. 杜仲籽油制备及其内源性抗氧化物的研究[D]. 郑州:河南工业大学,2017.

[62] 杜红岩,刘攀峰,孙志强,等. 我国杜仲产业发展布局探讨[J]. 经济林研究,2012,30(3):130-133,144.

[63] 苟凯. 柑橘种植加工农业园区废弃物循环利用模式及其分析[D]. 重庆:重庆大学,2017.

[64] 侯仕樱,张天馨,朱逸飞,等. 中药产业循环经济发展模式探究[J]. 现代商贸工业,2015,28(25):36-38.
[65] 段金廒,张伯礼,宿树兰,等. 基于循环经济理论的中药资源循环利用策略与模式探讨[J]. 中草药,2015,46(12):1715-1722.
[66] 李洁,申俊龙,段金廒. 中药资源产业副产品循环利用模式研究[J]. 中草药,2019,50(1):1-7.
[67] 黄文豪,董儒贞,梁臣,等. 杜仲枝、叶栽培功能型杜仲香菇技术[J]. 食用菌,2012,34(3):45-46.
[68] 张昌伟,彭胜,张琳杰,等. 杜仲叶渣固态发酵制备有机肥的工艺研究[J]. 林产化学与工业,2014,34(6):141-145.
[69] 张昌伟,彭胜,张琳杰,等. 不同比例杜仲叶渣对平菇栽培效果的影响[J]. 食品与发酵工业,2013,39(6):95-99.
[70] 袁琳,薛国新,GREGORY J D,等. 中药渣等废弃植物纤维的资源化利用研究[J]. 生物产业技术,2010,1(增1):105-108.
[71] 陈昌洲,迟明超,王功团,等. 一种以杜仲叶林模式枝木为原料制备高白度纸浆的方法:CN110886119A[P]. 2020-03-17.
[72] 李银环,苏印泉,张萌萌,等. 一种利用杜仲生产杜仲精油和活性炭的方法:CN104479875B[P]. 2020-12-22.
[73] 邵媛媛. 蒙城县杜仲产业现状与发展对策[J]. 安徽农学通报,2017,23(4):63-65.
[74] 赵铁蕊,赵荣,石小亮,等. 基于AHP的中国杜仲产业发展态势分析[J]. 林业经济,2017,39(6):49-54.
[75] 林开勤. 杜仲EST-SSR标记开发与性别鉴定[D]. 贵阳:贵州大学,2016.
[76] 李铁柱,杜红岩,王璐. 杜仲黄酮生物合成途径相关基因表达差异研究[J]. 经济林研究,2014,32(1):21-26.
[77] 李铁柱,杜红岩,朱高浦. 杜仲绿原酸生物合成途径相关基因的差异表达[J]. 经济林研究,2013,31(4):32-38.
[78] 杜红岩,胡文臻,刘攀峰,等. 我国杜仲产业升级关键瓶颈问题思考[J]. 经济林研究,2016,34(1):176-180.
[79] 杜红岩. 我国杜仲工程技术研究与产业发展的思考[J]. 经济林研究,2014,32(1):1-5.
[80] 高均凯,杜红岩,管根柱,等. 现代杜仲产业发展状况及相关政策研究[J]. 林业经济,2014,36(11):83-88.

（收稿日期：2021-02-05　编辑：戴玮）