

生物柴油树种无患子研究进展

贾黎明^{1,2} 孙操稳¹

(1. 北京林业大学 国家能源非粮生物质原料研发中心,北京 100083;
2. 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室,北京 100083)

摘要 无患子(*Sapindus mukorossi*)是我国重要的生物柴油能源树种,其果实丰富的含油量、果皮中的皂苷以及木材的优良价值使其作为一个多功能树种受到高度重视,但规模化、集约化栽培无患子还刚刚起步。笔者从种质资源、良种选育、苗木培育、栽培技术和加工工艺等方面对无患子国内外研究现状进行了综述,发现缺乏良种、苗木繁育技术落后、栽培技术落后及油料成本高等是无患子产业发展的瓶颈所在,并分析提出了今后研发的重点领域和方向。

关键词 无患子; 生物柴油; 种质资源; 育苗技术; 栽培技术

中图分类号 S 759.4 **文章编号** 1007-4333(2012)06-0191-06 **文献标志码** A

Research progress of biodiesel tree *Sapindus mukorossi*

JIA Li-ming^{1,2}, SUN Cao-wen¹

(1. National Energy R&D Center for Non-food Biomass, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. The Key Laboratory of the Forest Cultivation and Protection Built by the Department and the Province,
Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract Because of the abundant biodiesel and saponin in the seed, *Sapindus mukorossi* has attracted much attention in China as a source of non-food plant biomass fuel. The timber of *Sapindus* also has important economic value. However, the study on cultivation techniques of *Sapindus* is still at the very beginning. This review summarizes the current knowledge on the potential biodiesel tree *Sapindus*, including germ plasm resource, variety breeding, seedling cultivation, cultivation techniques and processing technology. The conclusion shows that the lack of superior varieties, backward seeding & cultivation techniques and high-cost are the main problems impeding the progress of *Sapindus* industry.

Key words *Sapindus*; biodiesel; germ plasm resource; seedling technique; cultivation technique

无患子(*Sapindus mukorossi*),又名木患子、肥皂树、圆角树、洗手果,属无患子科,无患子属落叶乔木,在我国分布于淮河以南地区^[1]无患子适宜在热带、亚热带地区生长,树高可达 25m,属于典型南方树种。早在先秦时代,《山海经》中便有记载“秩周之山,其木多桓。”“桓”即为无患子,在明代《本草纲目》中也有记载。“该树种具有深刻的人文背景,无患子的果实,即菩提子,就是最早记载的念珠,佛教《木患子经》写到“苦欲灭烦恼障、报障者,当贯木槌子一

百八,以常自随。”因取其“鬼见愁”的名字,南方仍常将其作为庭院树种种植。

据研究无患子属在全世界共有 13 种,其亲缘关系很近,因此对其他种的研究进展一并综述。

1 途及利用前景

我国国内无患子属树种(*Sapindus*. L.)共 4 种,包括:无患子(*Sapindus mukorossi*)、毛瓣无患子(*Sapindus rarak*)、川滇无患子(*Sapindus*

收稿日期: 2012-06-05

基金项目: 公益性行业科研专项经费重大项目“生物柴油原料林高效培育关键技术研究及示范”资助

第一作者: 贾黎明,教授,博士,主要从事用材林和能源林培育理论与技术研究, E-mail: jlm@bjfu.edu.cn

delavayi)、星月于菩提(*Sapindus tomentosus*)^[2]。我国特产1种、1变种,川滇无患子为我国特有树

种,在国内有广泛分布;其余3种均与印度和马来西亚共有^[3](表1)。全世界本属树种共13种,分布中

表1 无患子属植物不同分布及用途^[23-24]

Table 1 Different distribution and application of *Sapindus*

名称	分布范围	种子利用情况
无患子 <i>Sapindus mukorossi</i>	我国长江以南各省,印度北部,尼泊尔,缅甸北部至中南半岛(老挝,越南北部)	种皮可提取皂苷,种仁可榨油
毛瓣无患子 <i>Sapindus rarak</i>	我国云南、台湾,印度,斯里兰卡,中南半岛,马来西亚至印尼(爪哇)	种皮可提取皂苷,种仁可榨油
川滇无患子 <i>Sapindus delavayi</i>	我国云南、四川、广西,印度	种皮可提取皂苷,种仁可榨油
绒毛无患子 <i>Sapindus tomentosus</i>	我国云南,缅甸北部	种子多用于制作菩提子
三叶无患子 <i>Sapindus trifoliatus</i>	分布于亚洲南部和东南部	在泰国作为传统药物,其果皮可用作止痒剂、天然表面活性剂和避孕药
西方无患子 <i>Sapindus saponaria</i> var. <i>drummondii</i> Western Soapberry	美国西南部	种子育苗绿化

心位于热带美洲,我国位于本属分布区的边缘^[4]。

近年来,随着化石能源的日益枯竭,各国都开始寻求能源替代品,针对我国的特殊国情,考虑到耕地面积的红线问题,开发林业生物质能源成为我国生物质能源的发展趋势。无患子种仁含油率高达40.7%,无患子油氧化稳定性好,全果压榨出的油脂中油酸和亚油酸高达62.5%,其中C16~C20的脂肪酸占98.2%,其各项指标都符合生物质原料油的要求^[5]。同时无患子产种量大,在我国南方分布广泛,是开发生物柴油的理想树种。

无患子以往多从皂苷植物的角度进行研究。其果皮中的皂苷是一种天然的非离子型表面活性剂,去污能力强,与化工合成洗涤剂相比,易降解,无污染;同时其皂苷具有洗脱重金属铅、锰、铬、砷和汞等的的能力,洗脱率超过90%^[6]皂苷和苷元还具有多种生物活性如抗细菌、抗真菌、抗肿瘤^[7]、免疫调节、抗病毒、杀精^[8]和镇痛等。无患子皂苷经提取后可制成肥皂、洗发精、杀虫剂、生物农药^[9]、丝毛净、贵重首饰清洗剂、癫痫药、避孕药、降血压药和镇痛药等^[10-11]。无患子在国外研究也多以日化、药用研究为主。印度和缅甸称之为洗手果,用于制作肥皂。泰国多用三叶无患子(*Sapindus trifoliatus*)作为止疼药成分。Mitzy F. Porras等^[12]曾利用美洲无患子(*Sapindus saponaria*)含有皂苷的特性驱虫。

在美国,西方无患子(*Sapindus drummondii*)常常被作为生态防护林栽培。

另外,其木材含有天然皂素,具有防虫效果,可以制作家具、雕刻和工艺品等以发展有机木材产业;传统使用的打鬼棒,也是由无患子木材制成^[13];无患子树根可入药,嫩叶可制成菩提茶;同时无患子根系发达,抗逆性强,水土保持能力也很强;其树形优美,抗病虫害,秋季叶色金黄,硕果累累,是我国南方常见的绿化树种^[14]。

发展无患子产业具有十分可观的潜在经济效益,在无患子的皂苷工业生产中,主要将种皮作为工业原料,对其综合开发利用程度低^[15],而随着生物质能源研究的兴起,无患子果实具备了更加巨大的潜在经济价值^[16]。目前已经有企业尝试大规模营建无患子林。但是缺乏系统科学的栽培方式,同时在良种选育及市场推广等诸多方面也仍处于起步阶段。如何解决这些关键问题,发展完整的无患子产业链,促进该产业的良性循环,是亟待解决的问题。

2 研究进展

2.1 种质资源

地域分隔对于果用无患子的种源差异影响很大,甚至超过不同种间差异。在选择良种时应以优良单株、优势地域作为主要筛选因子,这也是今后大

规模繁育及保护管理种质资源的重要依据。Kamalesh S. Mahar 等^[17]在对印度无患子的生物多样性研究中提出,不同种间个体基因变异的百分数差异最大达到 48%,而由于地域原因形成差异可达 38%,而不同种间差异仅为 20%。这表明,该树种个体间遗传变异差异更加明显,相对而言种间差异很有限。同时,研究所得的遗传分类系统树图中将西部喜马拉雅地区与印度东北部(2 个印度无患子的最主要产地)作为首要分隔,表明从总体上看,地域分割对基因型变异的影响十分关键。岳华锋等^[18]对国内 7 省 9 个产地无患子进行了种源评价,认为果实质量、体积和果皮厚度等受产地影响显著,果实性状可依据地理聚类。而对于种仁含油率和种子出仁率来说,个体间的变异影响显著,地理因子影响并不显著。种子皂苷出油率受产地海拔和经度的影响显著。对于个体差异和地域差异所造成的无患子果实不同成分含量变化的规律,还有待进一步的分析研究。

目前,在亚洲热带、亚热带地区,以生物柴油作为种源筛选标准的皂苷类树种以毛瓣无患子和无患子为主。Bertrand Matthaus 等^[19]对越南油料植物进行了含油量的测定,共选取植物 40 种,其中无患子属只选取了毛瓣无患子,其含油量可达 42.3%,脂肪酸含量也符合生物能源树种要求。相比之下,国外对于美洲无患子、三叶无患子等多以研究皂苷功效为主,其种仁含油量与成分研究较少(几种无患子属植物分布及种子用途见表 1)。尽管我国已经开始开发无患子,但目前为止还没有进行过全国性的无患子种质资源普查,我国南方福建和浙江地区已经开展了无患子的大面积种植工作,同时进行了种质资源的部分调查。目前有研究报道称福建顺昌无患子良种选育项目获国家级立项,筛选出无患子优树 52 株,已经初选出果用无患子优良品系 5 个^[20]。王荔英、姚湘明^[21]提出我国不同产地种源的苗木生长节律受纬度影响较大,普遍表现为随种源地纬度的降低其芽苗生长的封顶时间延长。福建顺畅林场在引种中发现,在 10 个不同种源中,浙江杭州的种源封顶时间最早,生长期短,纬度偏低的云南昆明的种源封顶时间最迟,生长期长。这说明较高温度会促进无患子芽苗的徒长;辜夕容^[22]已经在重庆进行了引种试验,其中四川会理(位于攀枝花市东部,年平均温度较高)种子发芽率高达 63.07%,果实千粒重和皂苷含量相比其他种源也为最优。

2.2 育苗技术

无患子育苗技术研究主要包括播种育苗和几种无性繁殖育苗。

播种育苗中,无患子种子通常以吸胀吸水的方式打破种子休眠,谢必武研究表明湿砂层积法是打破无患子种子休眠的最好催芽方法,发芽率可达 82.7%^[25],显著高于浓 H₂SO₄ 浸种+温汤浸种、1%苏打水浸种、热水(70℃)浸种等其他处理方式。播种圃地选择以坡度较缓,土壤深厚,土壤肥力好,便于灌溉、土质疏松的砂质壤土地为宜。播种前对土壤进行消毒,可使用硫酸亚铁或呋喃丹消毒,播种前应施足基肥,复合肥、农家腐熟肥均可。播种时播种方式可分为春播和秋播,以点播为主。播种后应注意保墒,可用地膜或稻草覆盖,防寒保湿。种子发芽期重点防治地老虎、蛴螬等地下害虫。待种子发芽既可揭去覆盖物,施肥促进幼苗生长,所施肥以 N 肥为主,配合芽苗的生长节律,促进芽苗生长,同时注意补苗、间苗和除草。陈小勤等^[26]在上海市南部利用芽苗切根移栽的技术培育无患子苗木,有效提高了种苗根系的生长和苗木的发育,其优质苗木的比例显著高于当地直播培育的苗木。值得注意的是,芽苗过分徒长易导致苗茎的木质化不完全,引发苗木猝倒病^[27]。因此 9 月下旬即应控制肥水,采取措施促进苗木木质化,提高抗逆性,使苗木顺利越冬,如可以在幼苗叶面喷洒磷酸二氢钾液肥^[28]。为避免无患子苗木移栽^[26,29]过程中苗木木质化程度较差造成枯梢,可利用截干移栽的技术促进其生长和提高成活率,其成活率比不截干情况高出 13.7%^[25,30]。

扦插育苗和嫁接育苗是无性繁殖育苗的主要方法。蔡建武等^[30]研究结果表明利用萘乙酸生根粉处理一年生无患子截干枝条进行扦插效果明显,扦插成活率高达 97.5%。林文荣采用母树一年生木质化健康枝条进行扦插试验,插穗基部采用双削处理并蘸萘乙酸后根系最为发达,成活率达到 93%^[31]。采用一年生实生苗作为砧木、盛果期枝条作为接穗的低位嫁接方式已经比较成熟^[32-34]。无患子为高大乔木,使用一年生实生苗作为砧木培育嫁接苗木,有利于压低树高,提早结果;同时,一年生实生苗砧木便于快速繁殖,以较快的建立起规模化嫁接苗木培育基地。另外,国外已成功利用组培技术繁育出无患子、三叶无患子的完整植株,国内组织培养方面也已经能够繁育完整植株,陈光荣^[35]等认

为,较高的 6-BA 浓度(1.5~2.5 mg/L)与较低的 NAA 浓度(0.2 mg/L)配比有利于无患子愈伤组织诱导。张凤龙^[36]利用不同配比的 MS 培养基进行组培实验,认为剥除鳞片的越冬芽是无患子快速繁殖最理想的外植体。组培的成功对规模化、集约化的生产一年生砧木,扩大生产规模具有重要意义。但是目前国内无患子组培技术有待推广普及。同时,为便于不同目的的栽培经营,利用营养生长旺盛的多年生砧木进行嫁接,也是今后的研究方向。

2.3 栽培技术

我国已经开始了无患子大面积种植,无患子在福建规划种植的面积达 10 多万 hm^2 ,已经种植的面积达近 7 000 hm^2 ,其中 2007 年在建宁种植 2 000 hm^2 ,2008 年在闽南种植地区种植 1 000 多 hm^2 ,2009 年在屏南种植 3 000 多 hm^2 ,在其他地区都是少量间种,但整体存在大量培育管理问题^[37-39]。有报道称在浙江天台开展了“茶树+无患子”套种模式并取得较好效果^[40]。总体来说,从原料林的角度,无患子的栽培技术还十分不成熟。

无患子造林一般采用植苗造林方法,以春季造林效果最佳。起苗时,注意保护顶芽和根系,根系带护土或者蘸泥浆,适当修剪树冠。整地穴规格 60 $\text{cm} \times 60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$,株行距以 4 $\text{m} \times 3 \text{ m}$ 为宜,密度 56 株/667 m^2 ^[14]。林分郁闭前要适当施肥、中耕除草,确保养分供给。杨众家^[29]研究发现,在福建省将乐县对于无患子幼龄林施氮、磷和钾分别为 5 g/株,林木树高、胸径和材积均为最优。定植后,针对其高大乔木的特点,若以果实为培育目的,须进行矮化处理,对于实生苗幼树需要摘除顶芽,压低树高,确保果实产量^[41-42]。对于低位芽嫁接苗^[43]幼树应注意清除砧芽,保证接穗养分供应。在作为绿化树种种植栽培时,首要原则是要确保顶芽和根系的完好,修剪侧枝,确立顶端优势,培养良好树形,栽植密度可适当增加。病虫害方面苗期和成树期应主要防治天牛^[14]。

2.4 无患子加工工艺

国内外关于无患子种仁生物柴油工业化提取方法的工艺研究处于起步阶段,王建章等^[5,18]对其理化性质进行了分析,其植物油成分比例与其他一些油料树种如油橄榄相似,可以借鉴其他油料树种的工艺进行提取。对无患子生物油提取工艺的研究中使用了压榨法、浸出法(萃取法)及超临界 CO_2 萃取法。3 种方法中^[5],超临界法处于工艺研究阶段,压

榨法与浸出法是目前生物柴油的主要工业提取方式,单一的使用一种生产工艺是无法满足工业需求的,如何将几种方法改进和组合以降低生产成本,是今后研究的方向。

作为一个多功能树种,无患子加工工艺方面的研究多集中在果皮皂苷的提取上,目前主要有大孔吸附树脂法、连续泡沫分离法、超滤法、酶法、乙醇回流法、微波萃取法、生物化学制备技术等。其中泡沫分离法操作简单,易于工程放大,设备成本低,更适合工业化应用。但与大孔吸附树脂法相比,产品收率偏低,仅为 23.64%,仅适用于低质量浓度物质的分离。而大孔树脂吸附法产品得率能够达到 83.48%,且树脂可以多次重复使用。因此在工业技术推广中,可将两种提取技术联用^[44-54]。

在国内,已经有多项次级加工技术比较成熟,包括研发无患子皂、生物农药辅助剂等,也都申请了中国国家专利。

3 存在的问题与展望

3.1 存在的问题

在无患子的生物柴油原料林栽培中存在一些关键性问题亟待解决:

- 1) 缺乏优良的种质资源,无患子个体变异对果实产量影响明显,目前国内林分果实产量不稳定;
- 2) 嫁接和组培等无性繁殖技术并未得到很好的推广,无法为规模化苗木繁育提供技术支持;
- 3) 无患子顶端优势明显,不耐修剪,矮化栽培困难等特性制约了它的规模化种植。目前国内无患子林经营过于粗放,缺乏完整的集约化栽培技术体系,虽然对于无患子的栽培有过不少研究,但是缺乏系统性、集约性,并不适宜大规模的原料林栽培;
- 4) 尽管无患子发展潜力巨大,国内却缺乏对于无患子资源的综合开发利用技术,其作为商业产品还没有得到广泛认可。相反国外一些国家却已经十分重视无患子资源,我国生产原料多以较低的价格出口国外,然后在外国进行加工利用。这样对于栽培者来说获得利润小,生产积极性无法保证,对整个树种产业产生消极影响。因此,从无患子产业发展的角度看,我国国内缺乏对于该树种的产业化构建。综合开发利用树种优势,带动生物柴油原料林的发展生产,是发展该树种的关键所在。

3.2 我国无患子产业发展建议

面对我国生物质能源树种无患子发展存在的问

题,提出如下几点建议:

1)普查、收集国内无患子种质资源,掌握国内各省无患子分布及地理变异情况,一方面搞清树种起源,另一方面分析不同种源表型差异。在此基础上采用杂交等常规育种手段配合生物工程进行良种选育,尽快选育出高产良种是无患子生物柴油发展亟待解决的首要问题;2)推广无患子无性育苗技术体系,包括组织培养技术体系、嫁接技术体系和扦插育苗技术体系等,利用组培与嫁接、扦插结合的方式大大加快无患子苗木的生产速度,扩大生产规模,促进产业发展;3)调查、分析国内无患子树龄、分布处小气候、结果年份、树势、立地因子对于树种结果量的影响。研究建立无患子集约化栽培管理技术体系,包括适生立地选择技术、栽植技术、密度控制技术、优化树型管理技术、合理水肥管理技术等,以保障生物柴油原料林的规模化发展,确保果实充足供应和优质丰产;4)以生产无患子生物柴油为主要目标,兼顾无患子皂苷等的综合开发利用,加强对于该树种的推广普及,形成成熟的无患子产业链,提高产业的整体经济效益。

参 考 文 献

- [1] 李丽. 珍贵的乡土树种-无患子[J]. 江西园艺, 2005(2):37-38
- [2] 郑万钧. 中国树木志[M]. 北京:中国林业出版社, 2004, 6: 4157-4157
- [3] 吴征镒. 云南省植物研究所. 云南植物志[M]. 北京:科学出版社, 2006
- [4] 夏念. 罗献瑞. 中国无患子科的地理分布[J]. 热带亚热带植物学报, 1995, 3(1):13-28
- [5] 王建章, 吴子斌. 无患子籽油成分分析与提取工艺研究[J]. 农业科学研究, 2010, 31(1):48-50
- [6] 陈作兴. 无患子去皮金属毒物污染洗涤剂通过鉴定并申请专利[J]. 职业医学, 1987, 14(2):68
- [7] Huang H C, Wu M D, Tsai W J, et al. Triterpenoid saponins from the fruits and galls of *Sapindus mukorossi* [J]. *Phytochemistry*, 2008, 69(7):1609-1616
- [8] Yuki Yoshi T. The spermicidal affection of *sapindus* [J]. *Naturalmedicines*, 2001, 55(1):563-568
- [9] 周露, 谢文申, 罗雁婕. 川滇无患子提取物用于农药的生物活性研究[J]. 植物保护, 2010, 36(5):162-164
- [10] Anonymous. The Wealth of India-raw materials[J]. CSIR, New Delhi, 1952, 3:14-18
- [11] Ambasta S P. The Useful Plants of India [J]. CSIR, New Delhi, 1994:151-153
- [12] Mitzzy F, Porras, Aristobul Lopez-Avila. Effect of extracts from *Sapindus saponaria* on the glasshouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. *Revista Colombiana de Entomologia*, 2009, 35 (1):7-11
- [13] 钱志朝. 多用途生态树种-无患子[J]. 浙江林业, 2004(7):16-16
- [14] 尹道刚, 马开敏, 张彦林. 无患子播种繁育及造林技术[J]. 四川林业科技, 2011, 32(3):121-123
- [15] 黄素梅, 王敬文, 杜孟浩, 等. 无患子的研究现状及其开发利用[J]. 林业科技开发, 2009, 23(6):1-5
- [16] Chhetri A B, Tango M S, Budge S M, et al. Non-edible plant oils as new sources for biodiesel production. *Int[J]. Mol Sci*, 2008(9):169-180
- [17] Kamalesh S, Mahara Tikam S, Ranaa Shirish A. Ranadeb. Molecular analyses of genetic variability in soap nut (*Sapindus mukorossi* Gaertn) [J]. *Industrial Crops and Products*, 2011, 34:1111-1118
- [18] 岳华锋. 无患子主要经济性状的地理变异研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2010
- [19] Bertrand Matthausa, Klaus Vosmanna, Long Quoc Phamb, et al. FA and tocopherol composition of vietnamese oilseeds[J]. *JAOCs*, 2003, 80(10):1013-1020
- [20] 林方, 张天宇. 顺昌无患子良种选育项目获国家级立项[N]. 闽北日报, 2011-03-24(001)
- [21] 王荔英, 姚湘明. 无患子种源引种苗期试验初报[J]. 林业勘察设计, 2009(2):68-71
- [22] 辜夕容. 不同种源无患子的种子品质差异分析[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2009, 31(6):51-54
- [23] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社, 2009, 47(1):14-18
- [24] Ralph A Read, John C Zasada. *Sapindus saponaria* var *drummondii* (Hook & Arn) L Benson, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Center[DB/OL]. http://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/wo_AgricHandbook727/wo_AgricHandbook727_1019_1021.pdf
- [25] 谢必武, 张凤龙. 几种处理方法对无患子种子发芽的影响[J]. 种子, 2007, 26(5):74-75
- [26] 陈小勤, 黄林平, 罗清连. 滨海地区无患子芽苗切根移栽技术研究[J]. 林业实用技术, 2003(3):10-11
- [27] 邵长生, 龚金虎, 李后龙. 无患子冬播育苗技术[J]. 江苏绿化, 2003(4):38
- [28] 卢芳, 吴雨龙. 无患子种源引种苗期试验[J]. 林业实用技术, 2004(7):26-27
- [29] 杨众家. 不同氮磷钾处理对无患子幼龄林生长影响研究[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(5):131-132
- [30] 蔡建武, 陆顺江. 无患子移栽育苗双繁殖技术[J]. 林业科技开发, 2005, 19(1):68
- [31] 林文荣. 无患子扦插繁殖试验研究[J]. 现代园艺, 2007(7):9-10
- [32] 林文荣. 无患子嫁接试验研究[J]. 江西林业科技, 2008(1):32-33
- [33] 林文荣. 无患子当年生砧苗嫁接育苗技术[J]. 亚热带农业研究, 2007, 3(3):180-183

- [34] 林文荣. 提高无患子嫁接成活率的研究[J]. 林业建设, 2007(3):40-42
- [35] 陈光荣, 殷家明, 张凤龙, 等. 无患子愈伤组织诱导的多因子正交试验研究[J]. 生物技术, 2007(1):78-81
- [36] 张凤龙. 无患子组织培养研究[J]. 山地农业生物学报, 2005, 24(2):119-123
- [37] 林文家. 建设无患子能源林基地[N]. 湄洲日报, 2010-07-14(A02)
- [38] 郭霖, 林建丽, 凌云. 关于提倡发展无患子产业, 支持环保节能措施的建议[DB/OL]. <http://www.fjmj.org.cn/newl.aspx?x=1&pageno=23&Reyno=4303>, 2010-05-20
- [39] 郑金富. 我市“无患子”种植突破三万亩[N]. 闽北日报, 2011-08-19(001)
- [40] 丁必裕, 陈时斌. 天台山茶园:“茶树+无患子”助农增收[N]. 台州日报, 2010-03-30(002)
- [41] 王海燕, 张建强. 无患子种植栽培技术[J]. 农业科技与信息, 2011(8):31
- [42] 郑龙海, 单放根, 吴建中, 等. 不同用途的无患子培育技术[J]. 现代园艺, 2008(7):14-16
- [43] 黄云鹏, 王邦富, 范繁荣, 等. 无患子单芽低位嫁接技术研究[J]. 林业资源管理, 2011(6):69-72
- [44] 饶厚曾, 桑成涛. 微波萃取法提取无患子皂苷工艺明[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2006, 26(4):70-72
- [45] 饶厚曾, 郭隆华. 无患子皂苷提取工艺研究[J]. 江西科学, 2002, 20(1):55-58
- [46] 马育彪, 何宇新, 彭镰心, 等. 无患子皂苷的大孔吸附树脂分离纯化工艺[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(8):23-25
- [47] 解辉, 魏凤玉. 无患子皂苷分离纯化研究[D]. 合肥工业大学, 2007, 12:5-6
- [48] 康家胜, 方春, 张静, 等. AB-8型树脂对无患子皂苷的动态吸附与解吸性能[J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23:709-712
- [49] 魏凤玉, 解辉, 余锦城. 超滤法分离提纯无患子皂苷[J]. 膜科学与技术, 2008, 28(2):85-88
- [50] 南艳平, 唐青涛, 赵宏伟, 等. 均匀设计法优化大孔树脂纯化无患子皂苷的工艺[J]. 中国医药工业杂志, 2011, 42(11):811-814
- [51] 魏凤玉, 方菊, 张静, 等. 连续泡沫分离法纯化无患子总皂苷的研究[J]. 中草药, 2011, 4(29):1728-1731
- [52] 魏凤玉, 方春. 酶法提取无患子皂苷的工艺研究[J]. 应用化工, 2010, 39(8):1149-1151
- [53] 魏凤玉, 张道福. 无患子总皂苷的制备方法:CN, 1935820A[P]. 2006-10-4
- [54] 魏凤玉, 余锦城. 天然无患子皂苷的提取分离[J]. 安徽化工, 2007, 33(3):15-17

责任编辑:王燕华