

生物燃料树种小桐子种植和采摘技术研究进展

齐泮仑¹, 李顶杰¹, 何 皓¹, 徐 莺², 陈 放²
(1. 中国石油天然气股份有限公司 石油化工研究院, 北京 100195; 2. 四川大学 生命科学学院, 四川 成都 610065)

摘要: 小桐子是一种优良的能源植物树种, 具有不断扩展的发展空间和良好的市场前景, 限制小桐子燃油产业发展的瓶颈是其产量和成本。对影响产量的关键因素之一——小桐子种植和采收技术的国内外研究进展进行了文献调查, 综述相关进展, 指出存在的问题, 并提出合理化建议。

关键词: 小桐子; 栽培技术; 采收技术; 生物燃油
中图分类号: S727. 32; S722. 1+3 文献标志码: A 文章编号: 1005- 8141(2013) 01- 0003- 05

Research Advance on *Jatropha curcas*
— A Biological Fuel Species, Cultivation and Harvest

QI Pan-lun¹, LI Ding-jie¹, HE Hao¹, XU Ying², CHEN Fang²
(1. Petrochemical Research Institute, China National Petroleum Corporation, Beijing 100195, China;
2. College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: *Jatropha curcas* was a good energy plant species with continued developing space and good market prospects. The bottleneck of *Jatropha curcas* biofuel industry development was the yield and production cost. The progress of *Jatropha curcas* cultivation and harvesting technology was reviewed in this paper, because it was one of the key factors influencing the yield based on the literature survey. Also the existing problems were pointed out followed by reasonable suggestions, which provided reference for the *Jatropha* feedstock production.

Key words: *Jatropha curcas*; cultivation techniques; harvesting technology; biofuel

出于对能源安全和环境安全的考虑, 世界各国都在大力发展清洁安全的可再生能源。热带和亚热带地区生长的小桐子因其含油量高、油脂组成优良、耐干旱贫瘠、栽培成本低、用途广泛, 被视为优秀的生物柴油原料之一。最近, 首批国家生物柴油产业化示范工程项目已正式启动, 分别由中国石油天然气集团公司、中国海洋石油总公司、中国石油化工集团公司承担, 在四川、海南等地以小桐子为主要原料, 进行生物柴油原料生产和加工转化。中国海洋石油总公司已于 2009 年底在海南投资建成了年产 6 万 t 以小桐子为主要原料的生物柴油厂。此外, 小桐子油不但可作车用、船用、发电等燃油, 还可用于航空燃油。

近年来, 新西兰航空公司、我国国航相继以小桐子航空生物燃油为燃料试飞成功, 标志着小桐子生物燃油产业发展具有不断扩展的空间和前景。然而, 包括小桐子在内的生物燃油成本 2/3 以上来自原料成本和物流成本, 其中原料来源不足是导致难以规模化生产、成本高昂的主要原因。2011 年国家启动的科技部“十二五”科技支撑计划项目将着力解决小桐子原料规模

化、规范化供应的问题。要解决这一问题, 除了培育优良高产品种以外, 配套的丰产栽培技术也是短期内快速提高产量的重要关键技术。因此, 本文将通过对国内外相关文献的调研, 重点介绍相关进展, 指出其中存在的不足, 并提出将来的发展方向, 以期对小桐子的生产研究提供参考。

1 小桐子种植技术及其进展

存活对于在热带和亚热带环境下生长的小桐子来说是一件相对容易的事, 然而本文所指的种植并非通常是荒山造林所要求的存活, 它更类似于果树类植物的栽培, 以得到尽可能多的果实为目的。世界自然基金会、国际混农林业研究中心等机构在 2008 年秋对云南部分地区的小桐子种植现状进行了联合调查, 发现我国西南干热河谷地区因土壤条件、水湿条件等原因, 小桐子尽管能在各种恶劣的条件下生存, 但长势普遍较差, 有的地方甚至出现负生长现象, 显然无法达到令人满意的产量^[1]。要解决这一问题, 需要对小桐子采取施肥、灌溉等相应的抚育管理措施和集约经营, 才能保证实现丰产稳产。

1.1 小桐子种植技术内容

严格地讲, 小桐子的栽培过程涉及育苗、栽培造林和抚育管理等内容。这些内容对产量的高低都起着重要的作用。如采用育苗移栽可使小桐子生育期提前,

收稿日期: 2012- 11- 15; 修订日期: 2012- 12- 21
基金项目: 国家能源局“中国可持续航空生物燃料产业发展战略研究”项目; 国家“十二五”科技支撑项目(编号: 2011BAD22B08)。
第一作者简介: 齐泮仑(1964-), 男, 山东省单县人, 学士, 高级工程师, 中国石油石油化工研究院生物燃料项目组组长。

保苗株数增加,植株生长势好,产量提高。根据造林地实际情况选择恰当的造林方式和造林密度,既有利于提高产量,又可避免造林过稀或过密带来的浪费。此外,造林时的整地方式对水土保持有重要作用,并进而影响产量。尽管育苗和栽培造林方式对小桐子的产量形成也起着重要的作用,但一旦造林完成后决定产量的关键因素还是水肥等抚育管理措施,因此本文仅涉及种植技术中的抚育管理内容(图1)。

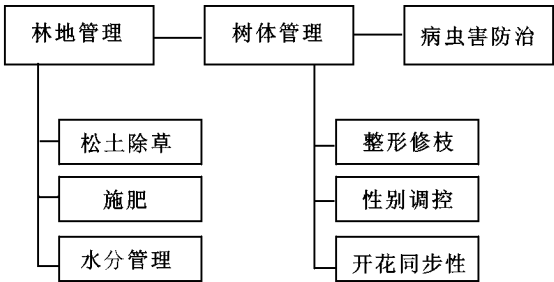


图1 小桐子抚育管理内容

1.2 小桐子种植技术研究进展

林地管理: 林地管理主要包括松土除草、施肥和水管理三个方面的内容: ①松土除草。松土的作用在于疏松表土层土壤,切断上下土层之间的毛细管联系,减少水分物理蒸发;改善土壤的保水性、透水性和通气性;促进土壤生物的活动,加速有机质分解。干旱、半干旱地区可保墒蓄水,在水分过剩地区可提高地温、增强土壤的通气性。除草的作用主要是清除与林木竞争光、水和营养的各种植物。一般林木栽培在郁闭成林后通常不再需要松土除草,但小桐子采取的是类似果树栽培的方式,因此即使在成林后仍然需要开展此项工作,国内外相关报道对小桐子开展松土除草工作及其意义提及的不多。在《小桐子生产技术》^[2]一书中的建议是每年开展两次松土除草工作,时间视各地具体的气候情况而定。一般雨季前进行第一次,第二次在9月前后,第二次可结合施肥进行。松土除草可通过人工、机械以及喷洒除草剂等多种方式进行。人工松土除草劳动强度大,小型机械化设备的使用在我国已较普及,可显著降低劳动强度,许多国内外小桐子栽培农场除草剂的使用非常普遍。虽然作物栽培中除草剂的应用已非常广泛,但在小桐子栽培中的相关报道不多。Rocha等^[3]通过调查,研究了小桐子对除草剂的耐受性并探讨了使用除草剂除草的可行性。值得一提的是,在考虑将除草剂应用于小桐子栽培管理时,必须对生态环境特别是生物多样性的影响必须进行评估。②施肥。氮、磷、钾等营养元素对植物的生长和产量起到重要的作用。小桐子肥料需求是由土壤肥力、林木养分需求和养分平衡规律共同决定的。施肥技术涉及肥料类型和用量、施肥时期和施肥方式的确定。在现

代施肥实践中,特别强调根据环境条件和栽培措施等因素进行综合分析,以确定施肥时期、施肥量、施肥方法和肥料种类,即测土配方施肥,达到科学施肥、经济用肥、提高肥料利用率的目的。国内外的研究显示,施肥能显著提高小桐子光合作用速率,增加果实产量。如Kalannavar等人^[4]研究发现,每公顷土地以100kg:100kg:150kg的比例和用量施用N:P₂O₅:K₂O,小桐子种子产量和毛油产量分别可达到3.936t/hm²和1.461t/hm²。Akbarian等^[5]发现,每公顷土地施用化肥可使小桐子的最高干物质产量和油产量分别达到617.3g/m²和358g/m²,其中外施氮、磷、钾元素对提高产量的贡献分别达到43%、38%和19%,说明在当地施用氮肥和磷肥的作用非常重要。Suriarn等^[6]认为,施肥可提高产量,但施肥量不宜超过312.5kg/hm²。刘朔等^[7]发现,钾肥对干热河谷地区的小桐子开花结果影响较大,追施钾肥有利于提高种子饱满度和千粒重。刘朔等^[8]发现,对麻疯树幼龄林施以NPK复合肥400g/株,单株果实和种子产量比对照提高0.95倍和1.08倍。不同施肥规律和效果的差异说明,在开展小桐子肥分管理时,测土配方施肥技术的采用非常关键。在国内的生产实践中,《小桐子生产技术》一书中的建议是:进入丰产期后的小桐子一般每年施肥3次,5—6月施氮肥或复合肥20—40g/株,果实膨大期施纯磷肥50g/株、纯钾肥50g/株,采果后施三元复合肥100g/株。为了减少施肥投入,目前国内外也开展了小桐子菌根的研究。菌根有改善养分吸收和水分微环境,促进磷吸收和生长,增强抗逆性和抗病等作用。Kumar等人^[9]的研究表明,接种菌根能促进小桐子在盐胁迫下生长。此外,套种豆科植物如相思、花生等也有提升土壤肥力,减少化肥投入的效果,可在生产实践中采用,但对产量和施肥量的影响目前还没有具体报导。至于施肥方式对产量影响的研究还不多,一般是结合松土除草、灌溉进行,缺乏细化的、针对性强的方案。③水管理。水分是林木生长的必需因子。一方面林木的蒸腾作用需要消耗大量的水分,以调节树体温度,吸收和运输营养元素;另一方面土壤水分过多会影响植物根部的呼吸和发育,出现烂根现象,因此,小桐子的水管理涉及灌溉和排水两个方面。无论国内还是国外,小桐子往往都栽培在干旱和半干旱的非农耕地区,因此灌溉显得尤为重要。虽然小桐子幼苗具有较强的耐旱能力^[10],但在我国西南干热河谷地区的研究发现,在该地区单独保证水分供应对小桐子产量的提升作用高于单独施肥的作用,充分说明水分对小桐子丰产的重要性^[11]。Achten等^[12]的研究显示,土壤缺水使小桐子的叶面积、生物量和相对生长速率都显著减少,

木材密度降低。Achten 等^[13]还发现,干旱影响小桐子的生物质产量和分配。Drumond 等人^[14]证明,对小桐子每周进行滴灌处理能明显促进分枝,增加地径。Dallacort 等^[15]的研究表明,合理有效的灌水能提高小桐子产量 40%—70%。焦娟玉等^[16]的研究表明,在当地土壤养分状况下,以 30%—50% 田间持水量的土壤含水量栽培,更有利于麻疯树的生长。熊华等^[17]的研究进一步发现,水分能影响小桐子油的品质,在水分不足的情况下小桐子油的脂肪酸含量会下降。由于水分的珍贵,在许多地方的小桐子示范栽培中都采用了节水灌溉技术(滴灌、间歇滴灌、微喷灌等),如埃及、以色列、新加坡和我国海南岛的一些种植园。但在我国经济较落后、条件恶劣的大规模栽培地区,由于节水灌溉技术所需的前期投入大,这样的设施在当地非常缺乏,灌溉只能以沟灌、漫灌等为主,甚至没有任何灌溉设施,完全依靠自然降水。另一方面,在世界上许多小桐子栽培区域,其果实膨大成熟时正值雨季,特别是在热带地区,台风等热带风暴带来的负面影响不可忽视。降雨过多会导致土壤积水,需要通过修建排水沟等措施解决。同时,应控制植株密度,适当修剪以改善枝条的通风透光,清除杂草降低近地面的湿度。

树体管理:小桐子的树体管理包括修枝整形、性别管理和病虫害防治等内容。所谓修枝整形是指根据生长和结果需要,通过修剪枝条,使树冠的骨架形成一定的排列形式和合理的树体结构,采用多种措施,对果树枝条进行剪截或处理,以促进或抑制某些枝条的生长发育,调节生长和结果的关系,以获得高额产量并便于采摘。由于修枝整形在提高林木产量中的重要作用,许多重要的林木都形成了较完善的修枝整形理论和方案,并有多种设施和设备可供采用以减少劳动强度。但对小桐子来说,这方面的研究才刚刚起步^[18]。小桐子的树体管理分为两个部分:幼林期的树形培养和成林期的常规修剪。后者一般每年进行一次,时间往往是结合最后一次采收果实对侧枝和二级侧枝进行轻度修剪,保持丰产的合理树冠,并控制植株高度以便采摘。在周年降水丰富的地区,修剪应常年进行。一些研究表明,整形修枝可加速小桐子结果枝架的形成,促进早实、丰产和稳产,并方便采收。Gour 等人^[19]对 10 年生的小桐子植株进行剪枝整形,发现能提高产量。Vania Aparecida 等^[20]的研究显示,修剪可将小桐子的收获期从 120d 缩短至最少 48d,在某些条件下能提高产量,但修剪无效甚至降低产量也有报导。Suriham 等^[6]发现,修枝整形对 3 年生小桐子的产量提升并没有明显效果,这可能与相对年幼有关。Ghosh 等^[21]发现剪枝和多效唑处理会降低小桐子产量,因此修剪

对小桐子产量以及其他方面的影响还有必要进行更加深入的研究。在树体管理时,可考虑进行化学修剪,即通过施用一些植物生长调节剂如多效唑以调节分枝和植株高度。Abdelgadir^[22]等发现,施用植物生长调节剂(如 BA、TIBA)能促进小桐子分枝。Ghosh 等^[21]通过使用多效唑,抑制小桐子的营养生长,实现增加产量和含油量。目前化学修剪在许多园艺植物栽培中都有成功应用,如果能在摸清小桐子对各种植物生长调节剂应答规律的基础上采用化学修剪,无疑对减少劳动强度并提高产量具有积极的作用。小桐子是雌雄异花同株植物,雌雄花比例一般在 1/20—1/29,生长良好的可达 1/10^[23]。雌雄花不协调现象直接影响种子产量,成为小桐子种子产量形成的制约因素^[24, 25]。除了在生产实践中通过保障良好的水肥供应等措施促进雌花分化外^[26],研究集中在植物生长调节剂的影响。Makwana 等人^[27]施用低浓度 GA3 改变了小桐子的雌雄花比例,提高了种子产量。潘邦珍等人^[28]的研究显示,施用细胞分裂素等植物生长调节剂也能提高小桐子开花数量和雌雄比例,达到增加产量(在现有水平基础上提高 3.3 倍)的目的。植物生长调节剂用量少,施用方便,如果能在进一步验证效果的基础上推广应用,则能以较少的投入获得较大的产量回报,不过这些措施在生产实践中的应用很少。

病虫害防治:自然更新的条件下,小桐子的病虫害相对较少;集中成片的人工林则会产生一定的病虫害。调查显示,小桐子的病虫害类型包括蚜虫、螨类、红蜘蛛、蚧壳虫、花叶病毒等^[2]。2009 年在攀支花小桐子人工林首次出现大面积的小桐子不抽梢、不展叶,后期出现枝条顶端枯死现象,初步确定为由一种叫壳梭孢属(*Fusicoccum*, sp)病原引起的芽枯病^[29]。为了减少病虫害发生,除采取相应的措施进行治理外,还需要做好预防工作:①大面积营建纯林时,需设计隔离带;②在同一地块造林,尽量使用更优的品系造林;③营造混交林。此外,可结合一些化学防治方法,如在现蕾开花前或现蕾期喷杀虫剂^[30]。

2 小桐子果实采收技术综述

2.1 采收时间的确定

随着小桐子果实的发育,其表皮的颜色会由绿转黄,最终变为黑褐色,即习称的青果期、黄果期、黑果期。在我国西南干热河谷地区,小桐子果实的成熟时间集中在夏末秋初(根据实地观察,一般从 4 月下旬即开始着果,8 月份进入盛果期,并可持续至 12 月),但在热带地区常年都会有果实成熟。根据经验和实验验证,黄果期的种子已具有发芽能力,但黑果期的果实才

充分发育成熟, 油脂含量高, 油脂成分品质优良, 适宜提取生物燃油^[31]。在气候炎热潮湿的地区如海南省, 种子容易发生胎萌(部分种子无休眠期, 收获时如遇雨水和高温, 就会出现在植株上萌发现象), 需要在黄果期时及时采摘, 以免果实发芽或霉变, 影响产量和毛油品质^[32]。

2.2 采摘技术

种子采摘是小桐子原料生产成本的一个重要组成部分。目前小桐子果实采摘以地面采集为主, 有手工采摘和机械采摘两种方式。人工采摘属于劳动密集型工作, 需投入较多的人力, 是目前我国云、贵、川和海南等地区的主要采摘方式。机械化采摘主要借助类似于咖啡豆、葡萄等果实的采收机进行采收。机器通过振动的方式区分成熟果实和未成熟果实, 将成熟的果实摇落收集。机械化采收大大节约了劳动力投入, 但在我国多山地地形是否适用还需进行试验。从目前看来, 小型化器械或半自动化器械可能更适用。

2.3 果实和种子干燥

干燥使种子容易从果实中脱出, 也可防止种子在贮藏过程中因变质而造成含油量和油品质量下降。小桐子种子贮藏所需的安全水分为8%, 无论果实或种子都可采用晾晒或烘烤方式进行干燥。目前, 四川地区多用晾晒方式; 海南地区潮湿多雨, 采收季节也是台风季节, 因此推荐采用烘烤方式进行及时干燥, 烘烤设备可利用烘烤水稻种子的设施。

3 总结

通过对国内外文献的追踪分析和国内小桐子栽培地的实地调查发现, 小桐子的种植和采摘技术仍处于起步阶段。初步的研究结果表明, 配套的种植技术对小桐子种子产量和毛油产量的影响大, 采摘技术的选择受到地形影响, 两者都存在地区差异, 需要进一步摸索优化。

国内的小桐子栽培基地主要是采用常规的造林栽培手段, 部分示范基地采取了节水灌溉技术和测土施肥技术, 现代先进的栽培技术特别是适应规模化种植的机械化设备应用较少。小桐子高效生产关键技术的研究与推广, 无疑将带来巨大的经济效益、社会效益和环境效益, 也是生物质液体燃料资源植物培育由小规模示范向模式化基地建设深入的基本前提。在今后的小桐子栽培工作中, 还需要在以下几方面有所突破, 才能大幅度提高小桐子的产量: ①对水肥需求、生殖生长以及性别分化规律的深入了解。对小桐子的生长动态进行全面细致的调查研究, 为林间栽植、施肥、中耕、灌水、追肥、修建、性别调控提供理论依据, 特别是强化平

衡施肥技术的应用, 并注意结合有机肥的配合施用, 提高肥效, 防止土壤退化; 大力发展矮化技术、树型控制技术和病虫害防治技术, 构建高效的小桐子人工群落, 才能保证最佳的投入产出比, 获得好的边际报酬。②加强现代化、先进的节水灌溉技术和机械化栽培设施的应用研究。根据各地具体的生长环境条件和技术发展水平, 因地制宜选择适宜的栽培和管理技术方案, 建设节水灌溉工程, 进行机械化除草、采摘工作, 达到减轻劳动强度, 降低生产成本的目的。③进行针对性的高产高抗品种培育, 从根本上提高产量、减少栽培投入, 为大幅度提高小桐子产量提供最坚实的物质基础。

参考文献:

- [1] 夏泽源. 云南膏桐发展的现状和存在的问题[C]. 昆明: 云南省膏桐发展与社区生计暨生态保护研讨会, 2008.
- [2] 中国-联合国开发计划署绿色能源减贫合作项目执行办公室. 小桐子生产技术[M]. 成都: 四川大学出版社, 2007: 18-34.
- [3] Rocha P R R, Silva A F, Faria A T, *et al.* Seletividade de Herbicidas Pr - emergentes ao Pinh o- manso(*Jatropha curcas*) [J]. Planta Daninha, 2010, 28 (4): 801- 806.
- [4] Kalannavar Veena N. Response of *Jatropha Curcas* to Nitrogen, Phosphorus and Potassium Levels in Northern Transition Zone of Karnataka[D]. Dhawad: University of Agricultural Sciences, 2008.
- [5] Akbarian M M, Modafebzadeh N, Bagheripour M A. Study of Fertilizer(NPK) Effects on Yield and Triglycerides in *Jatropha* (*Jatropha curcas*) [J]. Plant Ecophysiology, 2010, 2(4): 169- 172.
- [6] Surihar B, Sanitchon J, Songsri P, *et al.* Effects of Pruning Levels and Fertilizer Rates on Yield of Physic Nut(*Jatropha curcas* L.) [J]. Asian Journal of Plant Sciences, 2011, 10(1): 52- 59.
- [7] 刘翔, 余波, 何朝均, 等. 不同施肥处理对膏桐幼林结实的影响[J]. 西南林学院学报, 2009, 29(3): 11- 14.
- [8] 刘翔, 何朝均, 何绍彬, 等. 不同施肥处理对麻疯树幼林生长的影响[J]. 四川林业科技, 2009, 30(4): 53- 56.
- [9] Kumar A, Shanna S. An Evaluation of Multipurpose Oil Seed Crop for Industrial Uses(*Jatropha curcas* L.): A Review[J]. Industrial Crops and Products, 2008, 28(1): 1- 10.
- [10] 陈友根, 李昆, 孙永玉, 等. 渗透胁迫对麻疯树幼苗生理生化特性的影响[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(5): 677- 683.
- [11] 费世民, 蔡小虎, 何亚平, 等. 生物柴油植物麻疯树群体构型对资源性环境因素的反应[J]. 四川林业科技, 2009, 30(5): 1- 8.
- [12] Achten W M J, Maes W H, Reubens B, *et al.* Biomass Production and Allocation in *Jatropha curcas* L. Seedlings under Different Levels of Drought Stress[J]. Biomass and Bioenergy, 2010, 34(5): 667- 676.
- [13] Achten W M J, Verchot L, Franken Y J, *et al.* *Jatropha* Biodiesel Production and Use (A Literature Review) [J]. Biomass and Bioenergy, 2008, 32: 1063 - 1084.
- [14] Drumond M. Embrapa Avalia Potencial do Pinh o Manso Para Biodiesel [R]. Embrapa- Segunda, 2007.
- [15] Dallacort R, Martins, Juliano A, *et al.* Agroclimatic Aptitude of Oil Seed Plant in the Region of Tangara da Serra, Mato Grosso State, Brazil [J]. Rev Ci nc Agron, 2010, 41(3): 373- 379.

- [16] 焦娟玉, 陈珂, 尹春英, 等. 土壤含水量对麻疯树幼苗生长及其生理生化特征的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4460–4466.
- [17] 熊华, 谷晓平, 于飞, 等. 不同气象条件对小油桐品质的影响[A]. 贵阳 贵州省气象学会 2010 年学术年会论文集[C]. 2010 295–302.
- [18] 何亚平, 费世民, 蔡小虎, 等. 麻疯树构件的生殖配置研究[J]. 四川林业科技, 2009, 30(3): 1–7.
- [19] Gour V K. Production Practices Including Post-harvest Management of *Jatropha curcas* [A]. Biodiesel Conference Toward Energy Independence — Focus on *Jatropha* [C]. India, New Delhi, Rashtrapati Bhawan, 2006 223–251.
- [20] Vania Aparecida Silva, Danielle de Lourdes Batista Morais, Jorge Kakila. Concentração do Círculo de Produção de Pinhão-mansão Por Meio de Podas de Formação ou de Produção [J]. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2012, 47(1): 134–137.
- [21] Ghosh Anup, Chikara J, Chaudhary D R. Diminution of Economic Yield as Affected by Pruning and Chemical Manipulation of *Jatropha curcas* L. [J]. Biomass and Bioenergy, 2011, 35(3): 1021–1029.
- [22] Abdelgadir HA, Johnson SD, Van Staden J. Promoting Branching of a Potential Biofuel Crop *Jatropha curcas* L. by Foliar Application of Plant Growth Regulators [J]. Plant Growth Regulation, 2009, 58(3): 287–295.
- [23] Wu Jun, Liu Yuan, Tang Lin, et al. A Study on Structural Features in Early Flower Development of *Jatropha curcas* L. and the Classification of Its Inflorescences [J]. African Journal of Agricultural Research, 2011, 6(2): 275–284.
- [24] 李靖, 李庆军. 小桐子花的性别与开花时间的相互关系[J]. 热带亚热带植物学报, 2009, 17(1): 1–4.
- [25] 刘方炎, 李昆, 王小庆, 等. 不同流域麻疯树性别分化及两性花序中雌花数目特征[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(5): 684–690.
- [26] 罗长维, 李昆, 陈友, 等. 元江干热河谷麻疯树开花结实生物学特性[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(5): 7–10.
- [27] Makwana Vijay, Shukla Puma, Robin Pushpa. GA Application Induces Alteration in Sex Ratio and Cell Death in *Jatropha curcas* [J]. Plant Growth Regulation, 2010, 61(2): 121–125.
- [28] Pan Bang-zhen, Xu Zeng-fu. Benzyladenine Treatment Significantly Increases the Seed Yield of the Biofuel Plant *Jatropha curcas* [J]. J Plant Growth Regul, 2011, (30): 166–174.
- [29] 林静, 林强, 庞德炳, 等. 攀枝花市麻疯树根际土壤内生菌分布特征[J]. 微生物学报, 2010, 50(5): 681–686.
- [30] 周建华, 肖银波, 肖育贵, 等. 西南地区麻疯树人工林有害生物种类及化学控灾技术[J]. 中国森林病虫, 2010, 29(1): 15–18.
- [31] 李化, 陈丽, 唐琳, 等. 西南部分地区麻疯树种子油的理化性质及脂肪酸组成分析[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(5): 643–646.
- [32] Deore AC, Johnson TS. Occurrence of Vivipary in *Jatropha curcas* L. [J]. Current Science, 2008, 95(3): 321–322.

(上接第 15 页)

于 1, 河北、内蒙古、山东、河南、广东、海南、西藏 7 个省级区域等于 1 之外, 其余地方的纯技术效率变化指数均小于 1。纯技术效率变化指数值不高, 相对效率较稳定, “追赶效应”不明显, 说明现有的科技资源配置管理模式客观上不能与省级区域经济增长效率的提高相适应。

3 结论与讨论

本文利用 Malmquist 生产力指数通过全国 31 个省级区域 1998—2010 年区域经济增长差异的科技资源要素投入进行分析, 得出以下结论: ①同产业结构调整一样, 技术进步也可提高区域经济发展水平。研究期内, 全国经济增长效率的全要素生产率指数变化是技术进步指数与技术效率变化指数共同作用的结果。技术进步指数对全国经济增长效率的全要素生产率指数贡献较大, 而技术效率变化指数对全要素生产率指数的贡献不明显, 并且它在纯技术效率指数与规模效率指数的共同作用下呈现出近似于 W 波浪型的变化趋势。②在不同的省级区域, 科技资源要素的投入对区域经济增长的贡献不同, 大部分省市的全要素生产率指数处于下降阶段, 技术进步的变动是带动省级区域的经济增长效率下降的主要原因。与此同时, 各省级区域的纯技术效率变化指数与规模效率变化指数历年均值都小于 1, 这说明无论是从纯技术效率变化角

度还是从规模效率变化角度来看, 都有必要改进现有的科技资源配置模式, 从而使区域经济的发展真正能够做到创新驱动、转型发展。

参考文献:

- [1] 张振刚, 陈志明. 经济增长的要素投入效应及其区域差异研究[J]. 统计与决策, 2011, (6): 124–127.
- [2] 张建伟, 杜德斌, 姜海宁. 江苏省科技人才区域差异演变研究[J]. 地理科学, 2011, 31(3): 378–384.
- [3] 周寄中. 科技资源论[M]. 西安: 陕西人民教育出版社, 1999.
- [4] 李福柱. 中国科技人才资源区域差异与类型[J]. 资源开发与市场, 2005, 21(1): 19–21.
- [5] 陈倩. 环渤海地区海洋科技投入产出比较分析[J]. 资源开发与市场, 2011, 27(7): 632–634.
- [6] 许庆瑞. 全面创新管理——理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [7] 范斐, 杜德斌, 李恒. 区域科技资源配置效率及比较优势分析[J]. 科学学研究, 2012, 30(8): 1198–1205.
- [8] 范斐, 孙才志, 张耀光. 环渤海经济圈沿海城市海洋经济效率的实证研究[J]. 统计与决策, 2011, (6): 119–123.
- [9] 张林, 肖诗顺, 陈丘. 技术进步对我国农村能源效率的影响分析——基于 Malmquist 指数的分解[J]. 四川农业大学学报, 2011, 29(4): 570–575.
- [10] 范斐. 海陆统筹下的辽宁沿海经济带海洋经济与陆域经济协同发展研究[D]. 大连: 辽宁师范大学硕士学位论文, 2011.
- [11] Fare Rolf, Shawana Grosskopf, Lindgren B, et al. Productivity Changes in Swedish Pharmacies 1980–1989: A Non-parametric Malmquist Approach [J]. Journal of Productivity Analysis, 1992, (3): 85–101.
- [12] 章祥荪, 贵斌威. 中国全要素生产率分析: Malmquist 指数法评述与应用[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, (6): 111–122.