

# 新中国果树科学研究70年——核桃

马庆国,乐佳兴,宋晓波,周 晔,裴 东\*

(中国林业科学研究院林业研究所,北京 100091)

**摘要:**我国核桃科学研究在过去的70年从零开始获得了快速发展,在人才培养、研究平台建设、产业发展关键技术研发和理论认识等方面取得了重要进展,有力支撑了我国核桃产业的健康快速发展。笔者全面梳理了我国核桃科学研究发展历程及取得的主要成绩,总结了我国核桃在种质资源与新品种培育、栽培关键技术突破、栽培模式创新、病虫害防控、核桃产品加工和产业经济等方面的研究进展,提出了今后的研究重点和发展方向。

**关键词:**核桃;新中国;70年;科学研究;回顾;展望

中图分类号:S664.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2019)10-1360-09

## Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Walnut

MA Qingguo, YUE Jiaying, SONG Xiaobo, ZHOU Ye, PEI Dong\*

(Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** In the past 70 years, walnut scientific research in New China has achieved rapid development from scratch. It has made important progress in personnel capability and research platform construction, as well as development and theoretical understanding of key technologies in walnut industry, which has strongly supported the healthy and rapid development of walnut industry in China. In this paper, the development history and main achievements of walnut scientific research in China are reviewed comprehensively, and the research progress in walnut germplasm resources and new variety breeding, breakthrough of cultivation technologies, innovation of cultivation mode, management of diseases and insect pests, walnut product processing, and industrial economy, etc. are summarized, and the future research focus and development direction are put forward.

**Key words:** Walnut; New China; 70 years; Scientific research; Review; Prospect

我国的核桃种植历史已有3 000多a(年),多种多样的地理气候条件,加上不断的引种传播,我国多数省(市、自治区)都有核桃(包括核桃 *Juglans regia* L.、泡核桃 *J. sigillata* Dode 和山核桃 *Carya cathayensis* Sarg.)种植,而以核桃分布最广。过去的70年是我国核桃科学研究起步之年、核桃产业形成之年,也是其大发展之年。新中国成立前,我国核桃年产量均不足5万t,产区主要集中在华北和西部地区;解放初期的10 a间年产量曾突破过5万t,但到1961年又跌至4万t;1970年回升至5.1万t,由于当时核桃缺乏良种、无性繁殖困难,种植业基本处于半野生

状况,所以直到1980年年产量一直处于缓慢增长状态。进入90年代,由于首批自主知识产权的早实核桃良种选育成功,以及无性繁殖技术特别是方块芽接技术的突破,加之国家政策引导和市场的驱动作用,全国核桃产业迎来了前所未有的发展机遇。1990年产量为14.95万t,到2000年核桃产量达到30.99万t,10 a间产量翻了一番,特别是2003年至今,我国核桃产量以平均每年近15%的速度递增,超过世界核桃年平均增长率3个百分点。2017年核桃产量已达到417万t。从1996年开始,我国核桃产量增加的速度远远快于收获面积增加的速度,单位面

收稿日期:2019-09-23 接受日期:2019-10-06

基金项目:国家林业草原局重点项目(2019132705)

该文所有作者排名不分先后,按作者姓氏笔画排序。

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 010-62889624, E-mail: pei.dong@caf.ac.cn

积产量的大幅度提高,反映出良种应用和新的栽培制度在此期间发挥了巨大的作用,从1990年至今,中国是对世界核桃总产量提升贡献最大的国家,其核桃产量由占世界总产量的7.6%上升到50%以上,目前,中国已成为名副其实的核桃生产大国。截至2018年,包括新、青、甘、宁、陕、晋、京、津、辽、鲁、鄂、湘、桂、云、川、贵、藏等,近年吉、苏、闽省也有引种栽培,共20个省(区、市)的一千余个县栽培核桃;泡核桃(又称铁核桃、深纹核桃)主要分布在云、贵两省及川西南,周围的桂、湘、川、藏省区的毗邻部分也有少量分布,栽培面积超过795.5亿 $m^2$ ,种植面积排序为云南、四川、陕西、山西、新疆、贵州、甘肃、河北、山东、湖北、辽宁等省(区、市)。我国云南、新疆、陕西和四川四省核桃(泡核桃)产量之和占我国核桃总产量的80%以上。近年来涌现出像六个核桃、三只松鼠、洽洽等一批核桃产品加工企业,极大地拉动了核桃产业发展,我国核桃产业正呈现出一片繁荣发展景象。我国核桃产业发展离不开科学技术进步,核桃种质资源研究为核桃产业可持续发展奠定了坚实基础良好基础,核桃新品种培育、新型栽培技术和模式、核桃加工技术为核桃产业发展提供直接技术支持。

## 1 核桃种质资源收集与评价为核桃育种提供优异种质,为核桃产业可持续发展奠定了坚实基础

### 1.1 初步建立了我国核桃种质资源鉴定体系

1.1.1 我国核桃资源和分布概况 早在上个世纪80年代,我国学者就已根据中外报道、考古发现、细胞学和酶学研究,提出中国是核桃起源地之一。近期的一项研究利用基于基因组数据的系统发育和种群遗传学分析方法研究推测栽培核桃是由两个早已灭绝的物种在大约345万年前杂交形成的。原产于我国的核桃属植物有5个种1个变种,即核桃、泡核桃、核桃楸(*J. mandshurica*)、麻核桃(*J. hopeiensis*)和野核桃(*J. cathayensis*)及其变种华东野核桃[*J. cathayensis* var. *formosana* (Hayata)],其中栽培最多的是核桃和泡核桃。经过多年的调查和研究,我国核桃资源和分布概况如下:核桃,又名胡桃,在我国南北广泛分布。《中国核桃种质资源》记载了核桃优良品种106个(其中8个国外引进品种)、优良无性系25个、优良单株49个、实生农家类型36个、特异种

质资源7个、地理标志产品7个。泡核桃,又名铁核桃、深纹核桃、茶核桃,主要分布于我国西南部地区,包括云南、贵州、四川西部、西藏雅鲁藏布江中下游等,生长于海拔1 300~3 000 m山坡或山谷林中。《中国核桃种质资源》中记载了泡核桃优良品种20个、优良单株11个、农家类型16个。核桃楸,又名胡桃楸、东北核桃、楸子核桃、山核桃,分布于我国华北和东北山地。麻核桃,又名河北核桃,由核桃楸和核桃天然杂交产生,是核桃属中最珍稀的1个小种,主要分布在北京、河北北部、山西、陕西等有核桃和核桃楸混交的区域,其中在有核桃楸密集分布的沟谷地分布较多。记载有1个优良品种、11个优良无性系和1个地理标志产品。野核桃,又名华核桃、山核桃,分布在云南、四川、贵州、湖北、湖南、江西、浙江、江苏、安徽、山东、山西、甘肃。本种有一变种,称华东野核桃,又名华胡桃,主要呈野生状态分布在我国福建、台湾、浙江等省,分布范围和数量均较少。

1.1.2 从形态和分子等方面开展了种质评价研究,为收集和保存优异种质资源奠定了科学基础 形态多样性是遗传多样性与环境多样性的综合体现,用之进行种质评价是最为直观与便捷的方法,遗传性状稳定、多态性较好的形态标记至今在分类学、遗传学中广泛应用。在评价核桃表型性状多样性时通常选取叶片形态以及果实和坚果的表型性状。目前针对核桃表型性状进行了很多研究,主要方向是利用产量、早熟、出仁率、坚果质量以及壳的厚度、壳面光滑程度、核仁质量、仁色和风味这些性状的比较,筛选出具有优异性状的特殊类型。

分子标记相比于其他标记更加稳定可靠。随着遗传多样性研究的深入发展,DNA分子标记已成为评价核桃种质资源的最主要手段。在核桃属植物上对种质资源的评价主要集中在品种指纹图谱构建、亲缘关系分析、遗传多样性水平检测、遗传结构分析、杂交子代的亲本鉴定和重要性状编码基因的克隆等方面。使用的检测技术从最开始的等位酶标记,逐渐转变为显性的RFLP、RAPD、ISSR和AFLP标记,随后是能提供更多遗传信息的共显性标记,如SSR、SCAR、CAPS和SNP标记。另外,一些特定区域的遗传序列如核基因组ITS序列、叶绿体的matK序列的遗传信息比对也应用于核桃各种遗传资源的系统进化分析中。近年来,高通量测序技术也逐渐应用于核桃研究中。这些研究从分子水平上分析了

我国核桃种质资源的遗传多样性和亲缘关系,揭示了我国核桃品种遗传背景的复杂性,在实际应用中不仅可根据指纹图谱和聚类结果进行亲本选配,还可为核桃品种的鉴定、已知品种的保护和品种间的比较提供依据。

核桃以坚果生产为主,因此人们围绕核桃坚果重要品质性状开展了较深入研究。脂肪酸的含量及其配比是核桃坚果品质的重要决定因素。核桃脂肪酸包含有13种成分,包括油酸(C16:1)、亚油酸(C18:2)、亚麻酸(C18:3)、软脂酸(C16:0)和硬脂酸(C18:0)等。目前对于核桃油脂的评价主要集中在含油率以及脂肪酸组分配比上,主要体现在亚油酸( $\omega$ -6)与亚麻酸( $\omega$ -3)的比值,世界卫生组织推荐这一比值要低于10:1,我国则建议这一比值要在4~6:1左右最合适。 $\omega$ -6型脂肪酸和 $\omega$ -3型脂肪酸属多不饱和脂肪酸,是人体的必需脂肪酸,对维持体内稳态和预防疾病发生具有重要作用。目前现有核桃种质资源坚果含油率基本为50%~70%,个别含油率高的优株可超过78%。研究表明油酸是影响总脂肪含量的主导脂肪酸因子。蛋白质是核桃仁的另一重要组分,核桃仁蛋白通常包括清蛋白、球蛋白、醇溶谷蛋白和谷蛋白4种,其中谷蛋白的比例最高,占核桃蛋白总量的70%以上。在核桃中含有18种氨基酸,其中有8种必需氨基酸,精氨酸和谷氨酸含量都相当高。对核桃进行分析发现蛋氨酸是核桃蛋白质的第一限制性氨基酸。研究结果显示目前核桃不同资源类型里,大多蛋白质含量为15%~23%,但早实品种坚果中蛋白质含量普遍高于普通实生核桃,不同地区和不同变异类型核桃的蛋白质含量也存在一定差异。

## 1.2 建立了国家或地方种质资源保存基地和数据库

我国在核桃种质资源调查、收集和保存方面开展了大量的工作,上世纪50年代后期和本世纪2014年曾开展两次全国范围的核桃种质资源普查和调查工作,特别是最近一次在国家林业和草原局的支持下,中国林业科学研究院等27家国家和省级单位联合开展了全国核桃遗传资源调查编目工作,采用统一的调查标准和描述规范,对全国24省(区、市)的核桃、泡核桃、山核桃、薄壳山核桃(*Carya illinoensis*)、喙核桃(*Annamocarya sinensis*)和核桃楸等种的核桃遗传资源开展了摸底清查,调查并收集录入

了7000余份遗传资源的80余万条基本信息和表型数据,采集图片4.7万张,初步建立了核桃类遗传资源数据库。在核桃种质资源调查和评价基础上,我国还建立了国家果树种质泰安核桃板栗圃、扎木台国家核桃良种繁育基地、四川广元市种质资源库、洛宁核桃属植物种质资源库、毕节国家核桃良种繁育基地、德昌县核桃和山核桃国家林木种质资源库、漾濞县泡核桃国家种质库、临安市天目山林场山核桃国家林木种质资源库和东方红林场山核桃种质资源库等应用型种质资源库,总面积超过166.67 hm<sup>2</sup>,收集和保存核桃、泡核桃、山核桃、薄壳山核桃及其他核桃属植物品种(无性系)、优良单株和特殊种质1710份;各主产省(区、市)、部分核桃生产单位以及核桃公司还建立了本地区的收集圃和良繁基地,面积累计超过666.67 hm<sup>2</sup>。

## 2 培育出一批早实丰产良种和抗性砧木良种,极大支撑了我国核桃产业发展

经过近70年发展,我国核桃品种经历了从无到有的过程,从引种到自主品种的过程。我国的核桃杂交育种工作始于20世纪60年代中后期,主要参加单位有中国林业科学研究院、辽宁经济林研究所、山东省果树研究所、河南省林科院、新疆林业科学院、陕西省果树研究所、北京市林果所和山西省林业科学研究院8家科研单位,其标志性的成果是:1990年经原林业部鉴定评出32个早实核桃良种,核心技术是采用新疆早实核桃为亲本与当地实生农家类型杂交,选育出定植0~1 a可开花、侧花芽比率高、5 a即可丰产、核壳厚度1 mm左右、横径大于3 cm且果型美观的良种。这批自主知识产权的良种深受老百姓的喜爱,特别是辽宁系列、中林系列、‘香玲’和‘温185’等品种,很快成为全国核桃主栽良种。云南省林业科学院率先开展核桃和泡核桃的种间杂交育种工作,育成“云新系列”等坚果外形美观的早实类型品种。核桃砧木育种始于上世纪90年代,主要是采用核桃属内亲缘关系最远的种开展杂交的策略,如北加州黑核桃(*J. hindsii*)×核桃(*J. regia*)或魁核桃(*J. major*)×核桃(*J. regia*)获得的‘中宁强’‘中宁盛’‘中宁奇’和‘中宁异’等品种,具有与核桃亲和力高、生长势旺、生长量超亲本、抗根腐病、耐黏重和排水不良土壤等特性,这些砧木品种已经突破了不定根发生难关,实现了核桃整株无性系化。

我国科研人员在开展杂交育种的同时,积极引进国外优良品种。上世纪50年代初,我国一些科研单位就开展了从国外引种工作,但多以种子的形式引种,主要栽植在公园和植物园,例如北京植物园、中山植物园和昆明植物园等。自1980年起中国林业科学研究院林业所北京九龙山核桃基因库先后从美国、日本、法国及东欧一些国家以穗条的形式引进核桃优良品种,如‘希尔’‘哈特利’‘维纳’‘强特勒’‘日地’‘福兰克蒂’和‘清香’等著名品种20多个,以种子的形式引进7个树种的砧木资源,经过多点试验,目前‘强特勒’已成为陕西渭北高原主栽品种之一;90年代中期在“948”项目支持下中国林业科学研究院林业所又系统地引进了美国东部黑核桃123个种源家系、30余个无性系和10个专利品种,还引进了美国的魁核桃、小果黑核桃(*J. microcarpa*)、北加州黑核桃、灰核桃(*J. cinera*)及其种间杂交种(奇异核桃)5个种的种子,栽植在河南省洛宁县;上世纪80年代中期,中国林业科学研究院亚林所与林业所合作率先引进美国薄壳山核桃良种接穗20余份,保存在浙江余杭长乐林场,为后续薄壳山核桃育种奠定了基础。山西省林业科学研究院分别于上世纪80年代初、90年代中从意大利、罗马尼亚引入优良品种的种子和接穗10余份,在对其生态适应性进行研究的同时从其中选出了一些优系,与此同时河北、陕西、新疆、辽宁、和江苏等地也开展了少量的引种工作,特别是河北农业大学在上世纪80年代引种的日本‘清香’核桃品种,经过30余年多点试验示范,成为我国主栽良种之一。

目前,核桃现有国审良种13个,据不完全统计,在有效期内并在生产中使用较多的省级审、认定良种约计239个。良种的推广和应用有力支撑了国家核桃产业发展。

### 3 核桃无性繁殖技术突破,解决了核桃产业化发展重要瓶颈问题

#### 3.1 嫁接繁殖

我国云南等泡核桃产区,苗木的繁育以枝接方式为主,已有近400 a的历史,而北方核桃产区苗木的繁殖则长期以实生播种的方式为主,半野生状态生长。上世纪60年代原林业部正式立项开展核桃嫁接技术研究,“双舌接”成为核桃主要枝接方法。70年代初,山东省果树研究所、辽宁省经济林研究

所及北京市林业果树研究所等单位在借鉴国外经验的基础之上,通过人工控制温室嫁接环境的方法促进室内硬枝嫁接成活,成活率超过90%。但是,由于核桃髓心较大等特性,导致枝接方法工序复杂、难度大、成本高,且嫁接成活率不稳定;此后我国许多学者也对核桃嫁接繁殖方法进行了多方面探讨和研究,如核桃子苗嫁接技术、核桃微枝嫁接技术等。但由于各种原因难以标准化大规模推广,严重影响了核桃良种化进程。核桃的芽接技术研究虽起步较早,但由于参照苹果等果树的芽接方法,一直没有突破性进展,直到90年代后期,发现将核桃芽接的时期由北方7—8月提前至5—6月,只要采用普通的“大方块芽接”方法,就可以实现90%以上的芽接成活率,这一技术突破,极大地促进了核桃良种推广速度,如我国1990年核桃产量不足15万t,2017年产量突破了417万t。

在核桃嫁接成活机制研究方面,丁平海等对核桃枝接中愈伤组织的形成部位进行了解剖观察,发现形成层细胞和韧皮部与周皮之间的薄壁细胞是接穗愈伤组织的形成部位,并对愈伤组织的产生过程做了简要描述;戴佳丽对方块芽接的愈合过程进行初步研究和描述。但核桃嫁接愈合过程由于难获得结构完整、清晰的砧穗愈合组织切片,所以缺乏系统的组织学研究。影响核桃嫁接成活的因素较多,除了温度、湿度等外界环境因素外,伤流、酚类物质、砧穗亲和性和内源激素等也与核桃嫁接成活密切相关。核桃是极易发生伤流的树种之一,在核桃嫁接实验中发现,伤流液的存在是影响嫁接成活的重要限制因素,嫁接时,伤流液会在接口附近聚集,抑制了伤口表面细胞的呼吸作用,从而影响砧穗愈伤组织的形成,导致嫁接不成活。所以嫁接时常选择适合的嫁接时期以避开伤流高峰期,通过断根、在树干割防水口,或在嫁接部位留放水线等措施,以减少伤流液在接口处聚集,从而提高成活率。核桃醌是核桃属植物特有的酚类物质,被认为是影响嫁接成活的主要酚类,它能抑制氧化磷酸化过程中能量的传递,阻碍核桃砧穗愈伤组织的形成;单宁会与细胞内蛋白质反应产生沉淀,导致切口表面隔离层增厚,影响砧穗间的养分交换,增加愈合难度。近年来研究发现酚酸类物质可能主要是通过影响IAA及其氧化酶来间接影响嫁接成活;香豆酸能提升IAA氧化酶活性,降低植物体IAA含量,抑制愈伤形成;阿魏酸

不仅能抑制 IAA 氧化酶的活性,促进愈伤组织的形成,还能促进 IAA 向嫁接口基部运输,促使愈伤中维管组织的分化。众所周知,亲和力和亲缘关系直接相关,核桃本砧嫁接、核桃泡核桃嫁接、核桃与含有核桃亲本的杂交后代嫁接等亲和力强,嫁接愈合充分,后期生长正常。

### 3.2 扦插繁殖

核桃属于难生根树种,特别是随着树木的成熟,其扦插生根愈加困难。通过连续嫁接和埋干等技术措施对成熟树木复幼,能恢复树体的幼年生理状态,使之具有良好的不定根发生能力。裴东等尝试从扦插材料状态、植物生长调节剂种类和处理时间以及扦插基质等方面进行研究,成功总结出简单、高效、经济的核桃属植物嫩枝扦插繁殖方法,使核桃和泡核桃品种的生根率超过 90%。这一方法应用拓展到三毛杨、楸树、马褂木、板栗和柿树等 21 种难生根阔叶经济林树种上生根率均超过 80%,其促进生根效果在难生根树种上具有普遍性,从而在难生根树种扦插繁殖上获得了重要突破。

不定根发生机制相关研究发现,母株年龄和插穗生理状态是障碍不定根发生的主要因素,多年生木本植物的幼龄树木比成龄树具有更强的生根能力,一般插穗生根率与树龄呈负相关。这与插穗内所含的内源激素、营养物质以及生根抑制物的量不同有关。实践证明通过试管内多次继代培养、体细胞胚培养、连续嫁接、生长调节剂诱导、重修剪以及埋干黄化等措施可以使成龄树木复幼,使不定根生根率和生根量大幅提高。多年生树木扦插一般采用硬枝和嫩枝作为插穗,插穗的木质化程度与生根率呈负相关。对于难生根的树种,通常采用当年生的半木质化嫩枝进行扦插,由于嫩枝插穗组织代谢活跃,分生能力较强,在适宜的扦插环境下利于插穗不定根的发生发育。埋干复幼是树木重要的复幼措施,能提高嫩枝插条的生根能力。有研究认为,枝条经过埋干黄化处理后,能改变嫩枝的发育和生理状态。同时,埋干处理还能够抑制生根阻碍物质的生成,可以使插穗木质化速度减慢,保持组织的幼嫩性,从而利于不定根的发生发育。另外,试验证明,细胞分裂素、赤霉素等均可使树木从成熟态转变到幼态,并保持幼态特征;在核桃试管培养中,细胞分裂素可以诱导产生复幼态的试管嫩茎,且 IAA/ABA 比值可以较好地反映离体器官的幼化程度。

### 3.3 组织培养和体胚发生

我国核桃组织培养技术的研究起步相对较晚,袁巧平等重点研究了以腋芽为外植体,诱导完整植株的激素条件。汤浩茹等以幼胚胚轴和子叶为外植体,成功诱导体细胞胚并萌发成苗。国内外在试管诱导生根的研究中发现,杂种核桃试管苗经过暗处理,可明显提高生根率,但使用的材料为杂种核桃实生苗。真正意义上的核桃组培直到二十一世纪初才得以突破,裴东等通过两步诱导生根法成功实现了核桃试管微扦插生根,并获得了较高的生根率。常英英等以早实核桃为试材,通过研究果实发育时期、ABA 和脱水处理对体胚发生的影响,建立了高效、稳定的体胚发生和植株再生体系,为早实核桃的工厂化繁育提供实验平台。通过组织培养技术育苗不仅能够保持母本的优良性状,而且可以不受季节的限制大量生产试管苗,能够很大程度上提高核桃良种的繁育速度。但由于组织培养技术含量较高、生产成本较大,尚未在大规模生产中推广应用,目前仅有美国在奇异核桃的生产中使用。

## 4 核桃栽培理论和技术研究获得新进展

### 4.1 核桃栽培方式的改进和新模式创制

核桃在我国分布广泛,遍布全国 27 个省(区、市),没有良种之前核桃树种植采用的是稀植大冠,放任生长。良种无性繁殖技术解决后,由于地理环境和种植习惯以及栽培品种的不同,栽培模式存在着多样化现象,在集中种植区,核桃栽培管理一开始多是借鉴苹果等模式果树的经验,先采用稀植大冠模式,本世纪初又推广矮化密植,例如核桃苗木定干高度一般为 0.8~1.0 m,甚至小于 0.6 m,栽植密度每 666.7 m<sup>2</sup> 56~100 株,随着早实良种早衰和果园通风透光差所引起的病虫害大发生等问题的出现,人们开始探索新的栽培模式,例如高山地区的半野生经营、平原地区的机械化栽培模式[株距和行距(3~4) m×(8~10)m],丘陵山地和平原地区果材兼用型核桃栽培模式,即提高砧木干高(干高>1.5 m),便于机械化作业和减少病虫害,在收获坚果的同时获得木材收益等,宋晓波等研究结果显示以核桃种间杂交品种作砧木可以明显增强核桃早实品种的树势。在果实产量方面,以种间杂交品种‘中宁奇’为砧木的果材兼用模式比实生核桃嫁接模式高 31.4%。70 a

来,我国核桃栽培理论和技术研究新进展主要表现在对核桃光合生理核桃养分积累与分配特性、核桃抗逆性研究的认识和核桃栽培新模式创制研究。

#### 4.2 对核桃光合生理有了较深入认识

核桃属于喜光树种,品种与砧木是影响核桃光合强度的主要内在因子,研究发现‘香玲’嫁接在黑核桃上后,其叶片净光合速率显著高于本砧,主要是因为嫁接后叶片中的叶绿素含量显著增加,叶片对光照的利用宽度增加,光合潜能上升;也有研究发现以‘中宁奇’‘中宁强’和‘中宁异’作砧木可显著提高树体的光合能力。核桃净光合速率日变化曲线均为明显的“双峰”曲线,不同品种光合强度峰值出现的时间存在差异,主要由遗传特性所决定,也受环境影响;有研究表明,不同品种核桃光饱和点和光补偿点不同,对光照辐射的利用宽度有明显差异。不同品种核桃光合最适宜温度也略有不同。环境温度的变化会引起植株叶温发生改变,光合催化反应过程中的 Rubisco-酶等相关酶活性和膜透性都会发生变化。核桃叶片净光合速率、蒸腾速率和气孔导度在一定水分范围内与土壤水分含量呈正相关,当土壤含水量达到一定值时则随之降低,不同品种核桃光合参数拐点不尽相同。矿质元素也通过影响叶片中叶绿素的合成与降解对光合产生影响,例如在南方核桃栽培时,会遇到土壤酸化和P亏缺的问题,使光合作用能力下降。

#### 4.3 对核桃园土壤养分积累与分配特性的有了更深入认识

相比普通农作物,经济林的合理施肥不仅需要综合考虑气候、土壤、品种等因子,还要考虑树体生长状况、前期施肥、往年产量、当年产量等诸多因素,在一年不同生育阶段根据其需求合理配施大量、中量和微量元素。核桃要做到精准施肥比较困难,需要进行大量、长期的核桃养分需求特性和相关施肥效应方面的研究。我国学者研究发现不同树龄泡核桃叶片矿质营养元素周期变化规律基本一致,其中N、P、K等大量元素波动较小,微量元素波动较大。还发现核桃对N、K、Ca需求较多,对P和Mn需求较少;营养器官N和Ca积累量较大,P、K、Mg相对较少;生殖器官N、K较多,积累P、Ca、Mg较少。同时,已有研究结果显示喷施K、Ca、Mg元素肥可以提高核桃单果质量,喷施K、Zn、Ca、Mg,能够提高果壳厚度,降低露仁率,适量施用P肥和K肥能够提升粗脂

肪含量。有机质也是一项重要的土壤养分指标,配施有机肥是核桃种植过程中重要的施肥手段之一。土壤有机质影响核桃根际微域环境,根系土壤中有益的功能微生物可促进核桃对矿质营养的吸收。目前,核桃根际微生物相关方面的报道较少见,有待进一步深入探究。

#### 4.4 对核桃抗逆性有了新认识

核桃抗逆性包括抗生物逆性和非生物逆性。抗非生物逆性主要包括抗寒性和抗旱性。核桃喜温怕寒,早春低温环境对其花芽、叶芽和果实产量影响尤为显著。当核桃在低温逆境中时,SOD和POD活性降低,从而进一步降低了核桃的抗寒能力。核桃中酚类物质有较强的抗氧化作用,能够清除多余自由基,维持生物膜系统的稳定,其与核桃抗逆能力关系密切。多效唑可促进植物组织中碳水化合物的合成,降低饱和脂肪酸的合成,从而影响膜透性,增强植物的抗寒能力。干旱作为一种水分胁迫,对核桃生长发育和生理代谢过程影响较大。有研究表明,随着干旱胁迫加剧,漾濞核桃幼苗的相对含水量随之降低;核桃叶片相对电导率随着土壤水势的降低显著下降。植物缺水导致叶片等器官供水不足,光合也会受到抑制。有研究发现,叶片Pn、Tr和Cond会随着干旱胁迫增强而一直减少。轻度水亏缺下,植物叶片气孔关闭,造成光合速率降低;而在重度缺水时,干旱胁迫下气孔全部关闭,但组织内CO<sub>2</sub>浓度上升,同时温度增高直接抑制了核桃叶片光合作用。干旱胁迫后进行复水处理,核桃叶片光合会随之增强但不能恢复到同期正常的水平。我国科研人员也发现,随着胁迫增强,核桃幼嫩的根和叶中可溶性糖和游离脯氨酸含量呈上升趋势,可溶性蛋白含量先增加后减少,幼叶较幼根对干旱胁迫更敏感。在干旱逆境损伤细胞原生质膜方面,发现干旱胁迫下抗氧化系统不能有效清除活性自由基,会使核桃体内活性氧累积,从而发生膜过氧化,对植株产生损害。

#### 4.5 核桃病虫害研究进展

病虫害是制约核桃产量形成的重要因素。目前已知的核桃病害30多种,虫害有120余种。病害主要有新菌类的腐烂病、枯稍病、黑斑病、褐斑病、炭疽病、白粉病等,其中危害最大的有黑斑病、褐斑病和炭疽病。黑斑病一般与褐斑病相伴发生,在陕西、河南、山东、湖北、四川、重庆等地最为严重,造成早期

落果,影响产量和质量。炭疽病在全国各地都有不同程度发生,但在山东、四川、重庆等地最为突出,该病会使核桃干瘪,导致产量和品质大大降低。在虫害方面,核桃种植过程中所面临的虫害种类繁多,危害严重的有举枝蛾、天牛等。其中,举枝蛾多分布于河北、河南、山西、陕西、甘肃、四川等核桃产区,以幼虫蛀食果皮和种仁,果实逐渐萎缩、凹陷,果子干在树上或早期脱落。天牛虫害多为云斑天牛,分布在河南、河北、山东、四川和重庆等地区,为害树干和树枝,造成核桃树势衰弱,进一步减产,严重时绝收。对于核桃病虫害防治,我国科研人员开展了大量研究工作。其中,适地适树、保持树体通风和透光,及时清理病枝、病果能够减少病害感染源,减少病害发生;发芽前、展叶后还可以采用化学防治。但考虑到食品和环境安全问题,鉴于核桃病虫害防治的效果和成本,有学者提出了选育抗病虫害的核桃砧木和品种,在最适宜核桃种植的地区发展核桃生产。

## 5 我国核桃加工技术发展迅速,核桃产业发展方兴未艾

随着消费水平的提高及生产技术的改进,人们逐渐对核桃加工产品的形式、功效乃至安全性有了更多的需求。市场上逐渐出现了具有更高加工水平的产品,其中最具代表性的三类产品便是核桃油、核桃乳和核桃粉,核桃加工相关研究在进入 21 世纪后显著增加,三者的加工深度也不断得到优化;另外,针对目标人群和市场定位的新产品设计以及个性化产品开发,进一步扩大了产品种类,提升了产品附加值。研发团队在研发各种核桃产品的同时,更加注重核桃产业发展策略研究、现有产品经营模式的调整和新型消费方式的引入等,而“营养”与“安全”是目前核桃加工行业研究与开发关注的重点问题。在“营养”方面,人们正在探讨改进加工工艺以减少有益物质的损失,明确功能性特征物质并加深其利用,加快鲜食核桃冷链技术的开发;在“安全”方面,研究建立健全核桃质量的指纹图谱,实现核桃产品从选料、生产到贮藏的动态监测,规范各类产品的加工标准。

### 5.1 核桃油产品的研究与开发

核桃油富含不饱和脂肪酸,关于其保健作用很早就见诸报道。压榨法、溶剂浸出法以及预榨-浸出法是油脂工业化生产的普遍方式。近些年来,随着

消费者对食品安全问题的日益关注,浸出制油因存在溶剂残留等问题而在核桃油制取上受到制约。冷榨法是目前核桃油产品的主要生产方式,该方法属于纯物理压榨,所获油脂营养成分保留完整,色泽好,但气味较差,未对其感官品质进行改良。我国学者利用核桃粕酶解产物的美拉德反应制备浓香核桃油风味物质以开发浓香核桃油生产新工艺。另外,超临界 CO<sub>2</sub> 萃取等新工艺也处于不断尝试和改进之中。

除了萃取工艺的不断改进,核桃油的氧化稳定性也是其改良目标之一。核桃油中富含的不饱和脂肪酸使其相较于大豆油等常规油脂更易氧化酸败。虽然诸如 BHT、TBHQ 等人工合成抗氧化剂价格低廉且效果出众,但其对人体健康会造成不利影响。目前我国科研人员在对包括茶多酚、维生素 E 等天然的、无害的植物源抗氧化剂的探索上开展了许多工作,周晔等还利用微波对原料进行预处理,从而提高了压榨核桃油的风味和稳定性,同时,还针对内种皮多酚、内源生育酚等天然抗氧化组分对核桃油稳定性的影响进行了研究,并利用 2-庚烯醛等特征挥发性氧化产物对核桃油的氧化状态进行即时表征。除了利用添加剂,也可通过改变核桃油的存在方式以提高其稳定性,例如微胶囊核桃油的研制。另外,市场环节对核桃油的产品特征产生了重要影响。目前,核桃油作为母婴保健专用油的市场定位愈发明显。人们注重的不仅是其加工环节的技术水准,更是从原料选择到质量监测的一体化流程,而最终的产品也回归到纯天然、零添加的形式。

### 5.2 核桃蛋白产品的研究与开发

核桃蛋白产品主要包括核桃粉和核桃乳。核桃粉一般为核桃粕经粉碎、调配、均质、喷雾干燥等工艺制得,可直接冲饮,也可作为营养强化剂应用于蛋白饮料行业。采用微胶囊技术将核桃粉进行包埋改良,可以提高产品的氧化稳定性和速溶性。针对核桃乳方面,脱脂核桃乳、复配核桃乳和核桃酸乳等产品形式的多样化进一步满足了消费者的需求。此外,制备具有不同生物活性的核桃功能肽,将是未来核桃蛋白研究开发的热点。

### 5.3 更加注重核桃加工副产物的综合利用

核桃自采收至加工成核桃油、核桃乳等产品的过程中,需要经过脱青皮、去壳等处理。若直接弃置这些加工副产物,不仅有可能造成环境污染,还造成

了资源的极大浪费。因而,对这些副产物进行合理有效的开发和利用,不仅能够提高企业的生产效益,还有利于核桃加工产业的可持续发展。核桃青皮中含有有害物质,随意丢弃会对环境造成很大危害。许多古籍上记载了青皮所具有的药用价值,而现代研究也已证实,青皮中含有胡桃醌等具抗肿瘤活性的物质,可用于抗癌药物的研发。另外,在我国民间有将核桃青皮沤腐后用作农药使用的例子,因而青皮也可作为原料用以生产植物源农药。我国学者研究发现青皮提取物的不同极性部位分别对细菌和真菌具有明显的抗菌活性,核桃青皮的杀虫活性成分主要集中在其95%乙醇提取物的乙酸乙酯萃取部位。核桃壳含木质素(38.05%)、纤维素(30.88%)以及半纤维素(27.26%)等成分,利用前景广阔。而随着我国核桃总产量的提高,若按出仁率60%计算,2017年可供利用的核桃壳数量就达166.8万t。对这一资源进行合理有效的规模化利用,潜在经济效益巨大。目前,核桃壳在活性炭制备中的应用较为广泛,其在废水废气中的利用得到了许多研究的证实。例如,用核桃壳活性炭处理印染废水,可使污水净化以达到国家二级排放标准。另外,核桃壳也可直接作为滤料使用,用于对油田含油污水的处理。在金属行业中,以核桃壳为原料经超微粉碎处理制得的抛光材料也具有一定的市场。这些超细颗粒也因具有清洗、按摩等作用而应用于一些个护化妆品。近来还出现了以核桃壳为基质制成的食用菌栽培菌棒,培育出的香菇等高品质菌类已见于市场。除此之外,随着消费者精神需求的提高,由核桃壳制成的工艺品也愈发受到青睐。

### 参考文献 References:

- [1] 国家林业和草原局. 中国林业统计年鉴(2018)[M]. 北京: 中国林业出版社, 2018.  
National Forestry and Grassland Administration. China Forestry Statistical Yearbook (2018)[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2018.
- [2] 裴东, 鲁新政. 中国核桃种质资源[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.  
PEI Dong, LU Xinzhen. Chinese walnut germplasm resources [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2011.
- [3] 曲泽洲, 孙云蔚. 果树种类论[M]. 北京: 中国农业出版社, 1990.  
QU Zezhou, SUN Yunwei. Fruit tree theory[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1990.
- [4] 张志华, 裴东. 核桃学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.  
ZHANG Zhihua, PEI Dong. Walnut[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018.
- [5] 冯贞, 方晓璞. 核桃加工副产物综合利用途径[J]. 中国油脂, 2018, 43(9): 78-81.  
FENG Zhen, FANG Xiaopu. Comprehensive utilization ways of by-products from walnut processing[J]. China Oils and Fats, 2018, 43(9): 78-81.
- [6] 郭志伟. 我国选育出第一批早实核桃新品种[J]. 林业科学研究, 1990, 3(3): 206.  
GUO Zhiwei. The first batch of early walnut varieties selected by China[J]. Forest Research, 1990, 3(3): 206.
- [7] 孔芬, 刘小勇, 王港振, 张坤. 施肥量对山地核桃光合与快速叶绿素荧光特性的影响[J]. 林业科学研究, 2016, 29(5): 147-152.  
KONG Fen, LIU Xiaoyong, WANG Gangzhen, ZHANG Kun. Effects of fertilizer dosage on photosynthesis and fast chlorophyll fluorescence characteristics of *Juglans regia* in mountainous region[J]. Forest Research, 2016, 29(5): 147-152.
- [8] 乐佳兴, 田秋玲, 吴焦焦, 高岚, 张文, 刘芸. 无患子幼苗的生长和光合特性对重庆低山丘陵区不同生境的响应[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(6): 79-89.  
YUE Jiaying, TIAN Qiuling, WU Jiaojiao, GAO Lan, ZHANG Wen, LIU Yun. Response of seedling growth and photosynthetic characteristics of *Sapindus mukorossi* to different habitats in low mountainous upland region of Chongqing, southwestern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2019, 41(6): 79-89.
- [9] 李进伟, 方云, 刘元法. 浓香核桃油生产新工艺研究[J]. 中国油脂, 2013, 38(9): 7-10.  
LI Jinwei, FANG Yun, LIU Yuanfa. Noval preparation technology of fragrant walnut oil[J]. China Oils and Fats, 2013, 38(9): 7-10.
- [10] 李莉, 徐慧敏, 赵荣军, 张俊佩, 裴东. 核桃杂交种‘中宁奇’与北加州黑核桃、魁核桃生长特性比较[J]. 林业科学研究, 2016, 29(6): 847-853.  
LI Li, XU Huimin, ZHAO Rongjun, ZHANG Junpei, PEI Dong. Comparative study on growth characteristics of walnut hybrid ‘Zhongningqi’, *Juglans hindsii* and *Juglan major*[J]. Forest Research, 2016, 29(6): 847-853.
- [11] 李莉, 周贝贝, 徐慧敏, 张俊佩, 裴东. 不同砧木品种对核桃树体生长及光合特性的影响[J]. 林业科学研究, 2017, 30(3): 115-121.  
LI Li, ZHOU Beibei, XU Huimin, ZHANG Junpei, PEI Dong. Effects of different rootstock varieties on growth and photosynthetic characteristics of walnut [J]. Forest Research, 2017, 30(3): 115-121.
- [12] 刘杜玲, 彭少兵, 孙红梅, 张博勇, 朱海兰. 早实核桃不同品种抗旱性综合评价[J]. 园艺学报, 2014, 41(5): 545-553.  
LIU Duling, PENG Shaobing, SUN Hongmei, ZHANG Boyong, ZHU Hailan. Comprehensive evaluation on drought resistance of early fruiting walnut cultivars[J]. Acta Horticulturae Sinica,



- 2014,41(5):545-553.
- [13] 刘玲,韩本勇,陈朝银. 核桃蛋白研究进展[J]. 食品与发酵工业,2009,35(9):116-118.
- LIU Ling, HAN Benyong, CHEN Zhaoyin. The development of walnut protein research[J]. Food and Fermentation Industries, 2009,35(9):116-118.
- [14] 刘庆忠,陈新. 国家果树种质泰安核桃、板栗圃[J]. 植物遗传资源学报,2014,15(1):2.
- LIU Qingzhong, CHEN Xin. National fruit tree germplasm—Taian walnut, chestnut[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014,15(1):2.
- [15] 王丰俊,王建中. 核桃综合深加工的思路与技术评价[J]. 中国油脂,2005,30(1):17-20.
- WANG Fengjun, WANG Jianzhong. Comprehensive utilization of walnut[J]. China Oils and Fats, 2005,30(1):17-20.
- [16] 王滑,阎亚波,张俊佩,裴东. 应用 ITS 序列及 SSR 标记分析核桃与铁核桃亲缘关系[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2009,33(6):35-38.
- WANG Hua, YAN Yabo, ZHANG Junpei, PEI Dong. Application of ITS sequence and SSR markers to study the relationship between *Juglans regia* and *Juglans sigillata*[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2009, 33(6):35-38.
- [17] DAVIES W J, LOVEYS W B. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture[J]. New Phytologist, 2002, 153(3): 449-460.
- [18] JERSZURKI D, COUVREUR V, MAXWELL T, SILVA L. Impact of root growth and hydraulic conductance on canopy carbon-water relations of young walnut trees (*Juglans regia* L.) under drought[J]. Scientia Horticulturae, 2017, 226:342-352.
- [19] NASER L, KOUROSH V, BAHMAN K, REZA A. Soluble sugars and proline accumulation play a role as effective indices for drought tolerance screening in Persian walnut[J]. Fruits, 2010, 65(2):97-112.
- [20] ROSATI A, METCALF S, BUCHNER R, FULTON A. Tree water status and gas exchange in walnut under drought, high temperature and vapour pressure deficit[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2006, 81(3):415-420.
- [21] TRIVEDI P, SA T. *Pseudomonas corrugate* (NRRL B-30409) mutants increased phosphate solubilization, organic acid production, and plant growth at lower temperatures[J]. Current Microbiology, 2008, 56(2):140-144.
- [22] ZHANG Q C, SHAMSI I H, XU D T, WANG G H. Chemical fertilizer and organic manure inputs in soil exhibit a vice versa pattern of microbial community structure[J]. Applied Soil Ecology, 2012, 57(4):1-8.