

云南山地橡胶树育种技术发展历程与趋势

吴裕^{1,2}, 毛常丽^{1,2}, 张凤良^{1,2}, 李小琴^{1,2}, 杨湑^{1,2}, 柳颀^{1,2*}

(1. 云南省天然橡胶可持续利用研究重点实验室, 云南景洪 666100;

2. 云南省热带作物科学研究所, 云南景洪 666100)

[摘要]天然橡胶是重要的战略物资, 橡胶树(*Hevea brasiliensis*)是天然橡胶的主要来源(约占98%)。云南是我国最主要的橡胶基地, 也是全球最特殊的植胶区。文章回顾云南植胶区育种技术的发展历程, 展望未来的发展趋势, 依据技术路线和育种程序差异将育种技术分成4个时代介绍。认为未来一段时间内应立足创造遗传多样性丰富的大群体和以性状选择为主的育种方式; 建议加强分子标记辅助选择和转基因育种技术的研发, 以备后用。

[关键词]橡胶树; 育种技术; 云南

中图分类号: S722; S794.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-450X(2026)01-0070-06

The Development Process and Expectation of *Hevea brasiliensis* Breeding Techniques in Yunnan Province

WU Yu^{1,2}, MAO Changli^{1,2}, ZHANG Fengliang^{1,2}, LI Xiaoqin^{1,2}, YANG Tian^{1,2}, LIU Jin^{1,2*}

1. Yunnan Key Laboratory of Sustainable Utilization Research on Rubber Tree, Jinghong 666100, China;

2. Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong 666100, China

Abstract: Natural rubber is one of the most important strategic resources, and 98% of it is derived from rubber tree (*Hevea brasiliensis*). Yunnan tropical region is the most special *Hevea brasiliensis* planting area on the earth. In this paper, the development process of cultivar breeding technology was introduced and the expectation was imagined. According to the difference of breeding procedure the development process of breeding technology was divided into 4 generations. Based on the rich genetic diversity large groups shall have been established and the selection method will be in accordance with only characters in the near future. It is suggested that strengthen development of biological breeding technology.

Key words: *Hevea brasiliensis*; breeding technology; Yunnan

天然橡胶是重要的战略物资, 在国防建设和经济建设中有不可替代的作用。橡胶树(*Hevea brasiliensis*)是天然橡胶的主要来源(约占98%), 但是我国没有橡胶树的野生分布, 所以我国的天然橡胶种植业最先只能从引种开始, 进一步才有育种技术的发展。虽然全球大约90%的橡胶树种植面积和产胶量都在亚洲, 但是我国的植胶区仅仅是亚洲植胶区的北部边缘, 存在诸多不利的环境制约因子。

橡胶树种植业是发展我国天然橡胶的基础,

其中优良的品种又是保障产量增长和种植安全的关键。根据新中国成立70多年来的历史经验以及未来的发展趋势, 发展我国橡胶树种植业的一步一刻也不能停下。橡胶树的种性决定了其优良品种的培育是一项“久久为功”的事业, 必须是一代人接着一代人的努力才能有所收获。鉴于此, 总结和研发橡胶树育种技术的历程和发展方向, 继承和发扬前辈们创造的育种技术, 结合当今一切可利用的技术手段, 培育更多“高产优质”的新品种用于生产, 对于我国天然橡胶的战略保障有重

收稿日期: 2025-06-24

基金项目: 省所热带作物科技创新专项资金(RF2025-1); 云南省现代农业橡胶产业技术体系(2024KJTX-12-2)

作者简介: 吴裕(1972-), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为橡胶树种质资源保护与良种培育。E-mail: hhyw20030105@126.com

*通信作者: 柳颀(1983-), 男, 研究员, 博士, 研究方向为热带作物遗传及分子育种。E-mail: liujin06@126.com

要意义。本文以云南植胶区为例,根据技术手段差异将育种技术分为4个阶段进行探讨和总结。

1 相关概念的界定

时代划分:应继锋等^[1]将作物育种技术分为5个时代,即第1代为孟德尔遗传学建立之前约有1万年的时间按性状选择利用时期,称为作物驯化技术;第2代为孟德尔遗传学建立之后根据传递遗传规律发展起来的育种技术,称为杂交育种;第3代为杂种优势利用与诱变育种,大概自19世纪末至今,称为传统育种;第4代为基于现代生物学和基因工程发展起来的分子技术育种,大概于20世纪80年代开始至今;第5代为智能育种,依靠大数据技术整合基因组、表型组和环境大数据实现的多学科交叉的育种方式。也有学者认为,杂交育种、杂种优势利用和诱变育种都应归为传统育种,即第2代和第3代合并。有的学者则分为3个时代,即依据性状选育品种、依据分子标记选育品种、依据功能基因培育品种。育种技术的时代划分是相对的,技术进步越来越快,但在时间跨度上是交叉的,而且更高时代的技术体系必然包括更低时代的技术方法。技术的时代划分,关键在于技术手段是否有进步,技术路线是否有差异,成效是否更明显。

育种周期:育种周期是指能获得可以证明品种主要性状的直接证据所需要的最短时间,简言之,就是从着手育种到获得品种可以推广的时间段。所谓最短时间是指生物学最短时间,育种者必须抓紧往前赶,不能耽误;直接证据是田间种植正式割胶的产量数据,前期“预测”无论技术手段多么先进都不能作为直接证据。育种周期的年限决定于田间综合测定的时间长短,橡胶树一般8 a开始割胶,割4 a基本可以评价产量水平,也就是说橡胶树无性系植株群体种植时间至少需要12 a,即育种周期不能少于12 a,还要外加扩大繁殖时间。这里要强调一下无性系植株群体,根据2015年发布的橡胶树新品种DUS测试指南(NY/T 2749—2015)最少为14株,我们的经验值一般为15~20株,最少也不能低于10株,作为良种应用还需要配合多点试验。

2 云南山地橡胶树的引种利用阶段

我国没有橡胶树的野生资源,引种是第一步。1904年,最先由云南省德宏州刀安仁先生从新加坡购买橡胶树苗种植于盈江县凤凰山东南坡(现存1株);1948年,钱仿舟和李宗周从泰国引种到景洪市橄榄坝建立“暹华胶园”(现存几十株);新中国成立后,于1953年开始有组织的规模化引种橡胶树,1957年开始引入国外优良无性系,自1961年起全部使用优良无性系建设胶园。

自1957年开始到2000年,据不完全统计,云南引种国外优良无性系168个,其中PB86、RRIM600、GT1、PR107的优良性状于1962年全国橡胶育种会议上得到肯定,并确定大面积推广(业内称为“四大品种”)。到20世纪末,在云南农垦约6.67万hm²胶园中,RRIM600约占35.9%,GT1占38.9%,实际上主要利用的是“两大品种”。RRIM600具有高产特点,但抗寒能力较弱,主要种植于水热充足且越冬条件较好的区域;GT1抗寒能力较强,产量中等水平,主要种植于高海拔高纬度越冬条件较差的区域。

云南植胶区在2000年以前主要推广种植国外引进优良品种。这“四大品种”的地位是1962年确定的,后来引入的品种几乎没有推广应用,但不能说明它们都不如“四大品种”优良。

3 回顾第一代:控制授粉的杂交育种

云南的橡胶树人工授粉杂交育种始于1962年,应用至今,有逾60 a的实践历程。

时代背景:新中国成立后,百废待兴,国家急需大量天然橡胶,所以急需适应于我国生态环境的优良品种。

资源条件:当时引种的国外优良无性系植株树冠形态基本建成,可以开花结果,满足杂交育种的基本条件。

育种目标:育种目标大概经历了“抗病高产—高产—高产抗寒—抗寒高产”的演变过程。“高产抗寒”变为“抗寒高产”不是简单的文字调整,而是育种过程中性状选择的重要程度和先后顺序的调整。1973/1974年和1975/1976年的两次大寒

害对云南种植的橡胶树造成巨大损失,总结经验认为:“抗寒”是云南橡胶树育种的第一位指标,不能抗寒,一切育种工作都归于零。这是由“高产抗寒”改成“抗寒高产”原因。在当时的历史条件下,还考虑不到“品质育种”,主要关注“产量育种”。

亲本选配:最初的策略是选用“高产×高抗”“高抗×高抗”“高产×高产”等,希望能够获得抗性更强且产量更高的子代。后来把高抗性状缩减成“抗寒”的单一性状,亲本选择更单纯,更容易实现。实践过程中发现,GT1具有抗寒能力强,产量中等,而且雄蕊发育不良,人工授粉时省了“去雄”的过程。所以,以GT1为母本的人工授粉工作做得最多。

育种程序:总体程序是“人工杂交→单株选择→无性系测定→良种推广”。在实践过程中,分为有性系品种和无性系品种的两套育种程序。有性系品种(家系)的程序为“杂交育苗(第1—2年)→有性系多点试验(第3—12年)→建立双无性系种子园(第13—20年)→采种利用”,育种周期约为20 a。当然也可以理解为12 a,即子代测定证明为优良品种的时间长度^[2]。云研1号(GT1×PR107)于1966年人工杂交,1967年建立家系测定林,1980年推广利用,育种周期为14 a,后来建成逾133 hm²双无性系种子园采种利用,推广于寒害较重的区域。云研1号具有良好的速生性和抗寒性,产量中等水平,但株间变异大,而且要求在苗期需经过一次测定和淘汰处理。云研1号在云南德宏、临沧、西双版纳、文山、红河以及广东湛江等地都有推广种植,但实际种植面积不大。

无性系品种选育程序为“杂交育苗→有性系比→无性系初比→无性系高比→生产性系比→推广利用”,周期约为30 a。该程序的选择依据基于试割产量,同时在高比过程中继续测定初比基地的割胶产量,相互验证,确定优良品种。在实际育种过程中,采用试割预测、跳级试验等方式,尽可能缩短育种周期。代表品种有云研277-5、云研73-46、云研73-477、云研77-2、云研77-4、云研80-1983等。云研277-5于1962年人工杂交(PB5/63×Tjir1),1964年通过刺检流长和生长量选出优良单株(超级苗),1965年建立无性系初

比,1971年建立高比,1974年建立生产性系比,1977年进行生产试种,并设立多点试验,1984年正式推广应用,共历时22 a。云研277-5的育种进程是最快的,没有经过有性系比阶段的割胶而直接选择超级苗,初级系比、高级系比和生产性系比等每一个阶段都很短。后来的云研73-46、云研77-4、云研77-2等育种也或多或少进行了缩短或跳级的处理。云研77-4和云研77-2于1974年从种子园(GT1×PR107)采种,1975年6月定植于思茅抗寒前哨圃,当年受大寒害,1977年从中选出抗寒单株建立无性系苗期产量鉴定圃,1981年开展早期多点试验,2000年通过国家良种审定,便大规模推广种植。该育种周期为26 a,实际也没有经过有性系比阶段,无性系苗期产量鉴定实际只有4 a的苗龄。

根据2002年颁布的“育种技术规程(NY/T 607—2002)”要求,杂交种子育苗后需建立有性系比,通过单株割胶测定产量3 a后入选单株,初级系比通过割胶3 a后入选优良无性系,高级系比割胶4 a后入选品种,实际的育种周期超过30 a^[3]。在过去40 a的时间里,由于各种原因,对橡胶树育种的速度要求没有以前那么快,工作抓得也没有以前紧,品种的定型远远超过了30 a。

经验总结:在1962年,引进的国外优良无性系还处于幼树期,对其优良性状认识很少,对其遗传力、一般配合力、特殊配合力等可以说是“一无所知”。但是,在当时的条件下,这已经是最优的技术路线,制定的育种程序和测定方法符合当时的科技发展水平,能有效执行并取得成果。不足之处是把抗寒列为首要的育种目标,导致选择目标偏差。虽然抗寒能力很重要,能否安全越冬具有一票否决权,但从育种理论角度看,只有“产量和品质”是育种目标,其它无论多么重要的性状都应归于副性状,而不是育种目标。随着种质资源数量的增加和科学技术的发展,人工控制杂交显得效率较低。

4 实践第二代:生产胶园中优良实生单株选择育种

时代背景:进入21世纪,天然橡胶销售价格

提高,民营胶园建设突飞猛进:2000年,云南省植胶总面积为21.07万 hm^2 ^[4],2011年53.33万 hm^2 ^[5],2014年58.31万 hm^2 ,2018年为57.17万 hm^2 ^[6]。从2000年到2011年的这10 a时间,云南植胶面积增长了约1.5倍,主要推广品种为云研77-2和云研77-4,就云南植胶区环境多样性明显的客观实际而言,品种显得单一。另一方面,我国天然橡胶的自给率已经连续多年跌落到30%以下,也就是说“在云南植胶区,高产品种的缺口还非常大”。

资源条件:到2000年云南省植胶总面积21.07万 hm^2 ,有些胶园已经开始更新,有些正处于盛产期。前期营建的无性系胶园,因为当时条件较差,种植成活率较低,所以其中混杂着诸多实生树(砧木长成大树、实生苗补植);其次是以家系云研1号(GT1×PR107)营建的胶园,大部分位于寒害较重的区域,又以20世纪80年代种植最多,正好处于高产阶段。这些胶园分布于各种生态区域,其数量庞大的实生树群体为优良单株的选择利用提供了资源基础。

育种目标:产胶量高是第一位育种目标,虽然天然橡胶的进口已不再困难,但是天然橡胶作为国防战略物资的地位依然没变,同时国内橡胶价格高,高品种是民营胶园的首选;第二,木材高产是另一个育种目标,橡胶木材材质较好,加工(如防腐、碳化)处理后可用来制作家具等,市场需求量大,木材也是更新胶园时重要的经济收入。在2009年设计橡胶树第二代育种技术体系时,是单纯产量育种,没有顾及品质。

育种程序:林木无性系育种的通用程序是“优树选择→无性系测定→品种推广”,其中无性系测定是育种程序中工作量最大的任务,但是育种成败的关键在于是否选到“真正的优树”。根据橡胶树的种性和现有资源条件,育种程序设计为:“优良单株选择→嫁接无性系保存→田间幼化繁殖→苗期产量预测和抗性鉴定→田间综合测定→多点性状验证→推广利用”,育种周期为15 a。该育种程序有几点需要说明:由于橡胶树优良单株皆为成年大树或老树,采集的树冠芽条已是老态,需要消除成熟效应和位置效应,所以必须通过田间幼化繁殖,在基因型不变的前提

下,恢复一定的幼年性,使无性系植株具有良好的直立性和速生性;该育种程序采用空间换时间的策略,经幼化繁殖和苗期预测入选的无性系立即建立田间综合测定基地,随后陆续建立多点验证基地,以评价同一无性系在不同小气候环境(育种区)中优良性状的可重复性和缺点性状的可接受性。

实践成效:本课题组于2009年开始着手橡胶树第二代育种技术体系构建并付诸实施,至今已有16 a。第一批优树于2008年在广东湛江市大寒害后选出8株;第二批优树于2009—2010年从云南德宏州、西双版纳州、红河州等地选出50株;第三批优树于2011年大寒害之后从文山州和红河州选出4株。累积成功建立无性系52个,采取“边复幼、边扩繁、边预测”的策略,于2011年从中选出20个无性系设计田间综合性测定试验基地,但由于人为破坏,该基地尚未建成就被毁了。后来于2015、2016、2017、2018年分期分批选择少数几个无性系在德宏州、红河州、西双版纳州、临沧市等地建成小规模试验基地。到目前为止,云研272、云研314、云研614、云研624等4个品种基本可以定型为优良品种,各有优缺点。另有5个无性系于2024年试割表现出良好的产量性状,正在繁殖扩大试种验证。到2024年底累积选出优树100多株,成功建立86个无性系,陆续进入测定程序。

经验总结:物种的种性和目标性状决定了育种周期的最小值。在程序执行过程中发现,大寒害后,由于树冠严重受损,从主干萌发的部分芽条具有良好的幼年性;有些无性系一年生苗就表现出良好的生长性状和产胶潜力。这样就可以提前进入“田间综合性测定”的程序。该程序执行中的不足之处是,由于田间综合性测定基地被毁,因而对这些品种的系统性认识不够,多点验证缺少验证的目标依据,多点数据显得“零碎”,而且人为拉长了育种周期。本育种程序通过3 a时间完成优树选择、幼化繁殖和苗期测定,以62株优树成功建立52个无性系,再从中挑选出20个;田间测定结果表明,在这20个无性系中产量性状良好的有9个,可见育种效率不低。总体评

价,该育种路线具有良好的可行性(ZL 202411908384.7)。

第二代育种技术是特定历史条件下的一个“插曲”。20世纪内建成的胶园主要种植“四大品种”,当然生产胶园中的实生树也主要是这四大品种的后代,遗传基础较窄,继续选择优树也很难获得更高的遗传增益,而且不久将更新完毕。2000年以后新建胶园完全实现无性系种植,苗木质量和种植条件都有所提高,胶园中也不会再有大量实生树群体的存在;退一步说,这些砧木主要以GT1的种子育成,遗传基础更窄,产生更优良单株的机会极小。该程序的不足之处是,当时没有考虑到品质育种,所以选择优良单株是产量优先,生长量第二,可能一些产量处于中等水平而品质特别优良的单株漏选,错过了机会。

5 启动第三代:依托无性系混合种子园的多手段选择育种

育种工作的核心是选择,选择的前提是存在。遗传背景复杂的群体产生的子代可能具有更丰富的表型多样性;以高产无性系为亲本,也可能更容易获得高产子代。现有高产无性系可能亲缘关系较近,所以杂交子代在群体水平上可能遗传增益不高,但是作为无性系育种,只要能获得少数显著超亲的个体即可。

时代背景:从我国的土地现状看,不可能做到天然橡胶的全部自给,但是也不可能全部依赖从国外进口。只有第三条路,即保持少部分自给,大多数依赖进口。自2016年起,保持我国天然橡胶一定生产能力的必要性越来越强烈,而且要满足特殊用途,也就是说橡胶树的品质育种正式提上日程。

资源条件:“农业部景洪橡胶树种质资源圃”于2008年建成,以大树的形式保存种质资源3332份,可以测定农艺性状,也可以采集种子,可以当作一个超大型的无性系混合种子园使用。其优点是子代的遗传多样性和表型多样性更加丰富,获得特优单株的可能性大大增加;其缺点是目标性状群体不集中,增加了选择的难度。本课题组于2019年着手建设无性系混合种子园,选择亲本

的第一位指标是高产,其次是速生,同时依据现有品种谱系和文献资料等评估亲本的主要性状遗传力和一般配合力,最终入选。到2025年,该种子园已经可以采收少量种子。

育种目标:产量和品质兼顾。性状选择分两个方向,一个是单纯高产,另一个是具有一定产量水平的优质。橡胶的品质除了由种性决定以外,可能受到种植环境、栽培措施、采胶季节、采胶方式等因素的影响,所以品质的测定和评价要多因素考虑。

育种程序:“无性系混合种子园→采集种子→苗圃育苗→规模化淘汰→建立无性系→小规模无性系测定→育种区内推广试种”。育种周期设计为15a。所谓规模化淘汰,是指苗木长到2~3周年时实行淘汰,淘汰长势弱、株型不好或者其它劣势性状明显的植株,淘汰率为60%左右,或者更多(视情况而定)。保留苗尽快建立无性系,开展田间小规模测定。所谓育种区(breeding zone),是指依据土壤气候差异区划工作确定环境条件相近似的地理区域^[7]。鉴于橡胶树是外来树种,云南植胶区仅仅是全球植胶区的北部边缘,且内部立地差异大,可以说是在不适宜的大环境中寻找勉强适宜的小环境,近似的小环境就可以划定为一个育种区,地理上可以相连也可以隔离。

可行性评价:本程序还是依据性状来选择,除了长势、株型等易观察的性状以外,还要依据叶片解剖结构和颜色、茎皮的解剖结构,以及光合生理、胶乳生理等性状多角度预测和选择。参加测定的无性系数数量会比较,当然最终被淘汰掉的无性系也多。其优点是可以实现品种批量化和多样化,缺点是投入较多。需要注意的是跨育种区推广,需要提前进行试种验证和评估。

6 展望第四代:分子技术辅助育种

20世纪80年代兴起DNA分子标记技术用于育种选择,同一时期转基因育种获得成功^[1,8]。经过30a的发展,技术日趋成熟,已开始商业应用,但是对不同的物种,技术进步差异很大。在橡胶树研究方面,目前已知以RRIM600、热研73397、热研879、GT1等为材料发表的基因组版本

有7个。其中,云南省热带作物科学研究所柳颀等以GT1为材料发表了首个染色体级别的基因组版本(NCBI登录号:GCA_010458925.1)^[9],为特定性状的基因定位提供了数据基础,随后本课题组以云研77-4和GT1为材料,在抗寒基因挖掘方面开展了研究,定位了一些基因^[10-11]。中国热带农业科学院和海南大学对产量性状和抗逆性状方面也定位了很多基因(不再一一列举和引用标注文献)。需要强调的是,橡胶树性状表达通常呈现多基因调控特征,除主效基因外,还涉及转录调控网络、表观遗传修饰及基因间互作等复杂机制,所以主效基因的功能验证以及其它基因的调控作用研究还有很多路要走。未来橡胶树的分子技术辅助育种可能要分两步走。

第一步,分子标记辅助选择(MAS)。通过有性杂交构建遗传分离群体,再借助全基因组关联分析(GWAS)或连锁定位(QTL mapping)鉴定目标性状关联位点,开发共分离分子标记用于苗期早期选择,加快选择进程,同时缩小无性系测定规模。到目前为止,虽然通过GWAS分析或其它手段已经鉴定到了很多与胶乳产量相关的基因,但是可用于辅助选择的有效的分子标记离应用还有待时日。

第二步,基于遗传转化技术。主要作用是优良品种的某个或少数几个缺陷性状进行弥补,但前提是要建立组织培养技术体系。橡胶树不同基因型的组培技术要求不同,难度差异大,目前比较成熟的是热研73397,云南省热带作物科学研究所对云研73-477、云研614、云研73-46都获得不少组培苗用于生产种植,但技术稳定性还不够。

7 小结

从生物学的角度看,前三个阶段的育种技术都是通过有性杂交创制基因型,再基于性状表现进行选择;从育种者的角度看,资源利用和选择技术不断进步,育种程序更加优化;从育种效率看,育种周期缩短,品种数量增加,品种多样化丰富,效率显著提高。第四阶段的分子技术辅助育种的第一步也只是选择育种的一个新增手段,第二步才是“设计育种”的开端。

随着数字化技术和人工智能的发展,复杂的数据处理显得越来越容易,可以通过基因组、转录组、代谢组、蛋白组等数据的联合分析计算,认识多个基因对某一个性状的调控作用过程,为性状改良过程中需要引入哪些基因提供指导。转基因育种应该是未来橡胶树育种的发展方向。

从目前的情况看,无论是分子标记辅助选择还是转基因育种都处于探索阶段,还需要加强研究;性状选择仍然是将来一段时间内唯一的选择方式,应加强遗传大群体的创制和多技术联合选择,尽量缩小选择的树龄,尽量提高选择的准确率,从而综合性地提高育种效率。

参考文献:

- [1] 应继锋,刘定富,赵健. 第5代(5G)作物育种技术体系[J]. 中国种业,2020(10):1-3.
- [2] 何康,黄宗道. 热带北缘橡胶树栽培[M]. 广州:广东科技出版社,1987:348-349.
- [3] 中华人民共和国农业部. 橡胶树育种技术规程:NY/T 607—2002[S].
- [4] 陈葵. 云南天然橡胶出路前景[J]. 中国农垦经济,2002(9):8-10.
- [5] 李维锐. 云南天然橡胶产业创新发展科技需求与科技创新方向[J]. 热带农业科技,2013,36(1):1-4.
- [6] 龚燕雄,田耀华,岩香甩,等. 云南山地胶园植物图鉴[M]. 昆明:云南科技出版社,2019.
- [7] 康向阳. 关于林木育种策略的思考[J]. 北京林业大学学报,2019,41(12):15-22.
- [8] 王红梅,陈玉梁,石有太,等. 中国作物分子育种现状与展望[J]. 分子植物育种,2020,18(2):507-513.
- [9] LIU J, SHI C, SHI CC, et al. The chromosome-based rubber tree genome provides new insights into spurge genome evolution and rubber biosynthesis[J]. Molecular Plant, 2020,13:336-350.
- [10] MAO CL, LI L, YANG T, et al. Transcriptomics integrated with widely targeted metabolomics reveals the cold resistance mechanism in *Hevea brasiliensis*[J]. Frontiers in Plant Science, 2023,13:1092411.
- [11] YU WC, KONG GH, YA HJ, et al. Comprehensive analysis of the catalase (CAT) gene family and expression patterns in rubber trees (*Hevea brasiliensis*) under various abiotic stresses and multiple hormone treatments[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2024,25:70.