

文章编号: 1007-4627(2010)03-0284-07

# 核辐照技术在中药领域中的应用\*

梁剑平, 李雪虎, 陆锡宏, 陶蕾, 王曙阳

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 核辐照应用于中药领域的研究得到人们广泛关注。综述了核辐照在中草药的栽培、育种和消毒等方面的应用, 指出辐照诱变技术与生物技术相结合将为提高细胞突变率和加快中草药遗传改良开辟广阔前景。

**关键词:** 核辐照; 中药; 诱变育种; 灭菌

**中图分类号:** R931      **文献标识码:** A

## 1 引言

药用植物是一类具有特殊用途的经济植物。目前我国经营与生产的中药材约 1000 种, 其中人工栽培的约 200 多种。我国药用植物的良种选育远远落后于农作物和花卉, 选育和培育的优质药材品种约 10 余种, 严重制约了中药现代化及国际化的进程, 且人工栽培品种普遍存在有效成分降低、出苗不一致和生长缓慢等问题, 故良种选育和快速栽培成为亟待解决的问题。核辐射自从被应用于农业及医学领域以后发展迅速, 创造了巨大的经济效益。在中药领域, 核辐照也被广泛用于药用植物栽培育种、加工及储藏等方面, 特别是在中药的杀虫灭菌以及有效成分提取等方面取得了一系列成果。

## 2 辐照诱变育种

### 2.1 影响药用植物性状

植物辐照后的农艺性状主要包括种子发芽率、出苗率、株高、分枝数、根长度、开花以及结籽数等方面。以往辐照诱变育种主要应用于农作物和花卉等方面。近几年辐照诱变在中药的栽培育种上应用渐多, 主要集中在恢复地道中药原性, 即提高有效成分、提高综合性状、缩短生长周期和提高种子发芽率等方面。翁伯琦等<sup>[1]</sup>用  $^{60}\text{Co}-\gamma$  射线辐照珍稀药食共用菌姬松茸菌丝体, 获得姬松茸突变株 J5, 并对其品质进行评价, 得到该突变株子实体的

化学评分 CS、氨基酸评分 AAS、生物价 BV 和营养指数 NI 等 5 项评价指标, 均比原菌株子实体的相应指标高。整体评价结果表明, 经辐照诱变所获得的优良突变株具有较高的蛋白质营养价值。采用  $^{60}\text{Co}-\gamma$  射线辐照中药材甘草, 其  $M_1$  代出现了植株矮化、花期提前和育性降低的效应。同时获得了具有优良性状和内在品质的甘草主根, 其各项指标均达到了药用优等品质, 属于甘草中的上品<sup>[2]</sup>。

### 2.2 影响药用植物生长发育

辐照诱变技术同样对药用植物的生长发育具有双重影响, 既可以促进生长和提高产量, 又具有负面效应。陈怡平等<sup>[3]</sup>采用辐照菘蓝种子, 发现不同程度的微波辐照能够提高菘蓝幼苗光合速率色素含量、净光合速率水平、气孔导度与水分利用率、可溶性糖含量以及促进幼苗生长发育。申志英<sup>[4]</sup>发现微波辐照能提高龙胆种子的分子运动能量, 温度升高, 从而提高种子发芽率。此外, 有报道空间环境对石刁柏 *Asparagus officinalis* 种子的萌发及幼苗生长有促进作用。白桦 *Betula platyphylla* 种子经航天搭载后, 植株均表现矮化现象, 苗木叶片叶绿素量有降低的趋势, 净光合速率略有提高。翁伯琦等<sup>[5]</sup>用  $\gamma$  射线辐照圆叶决明 *Chamaecrista rolundifolia* 的 5 个供试品种后, 发现其现蕾期、初花期、盛花期、初荚期、盛荚期和成熟期等改变均呈双向性, 既有提早, 也有推迟。这说明辐照诱变处理具

\* 收稿日期: 2010-01-05; 修改日期: 2010-02-03

\* 基金项目: 甘肃省重大科技专项资助项目(092GKDA0033); 中国科学院百人计划资助项目(O861010ZY0)

作者简介: 梁剑平(1963-), 男(汉族), 山西平遥人, 研究员, 博士生导师, 从事辐射药物学研究; E-mail: liangjp100@sina.com

有不确定性,应该加强不同诱变技术的定向育种研究,以提高育种效率。

### 2.3 药用植物细胞学的影响

辐照诱变的细胞学效应主要表现在植物细胞和染色体结构方面的变异。赵秀娟等<sup>[6]</sup>研究蒙古黄芪的组织培养技术及辐照诱变对愈伤组织诱导的影响,3种外植体分别在MS+6-BA 2.0 mg/l+NAA 2.0 mg/l,LS+6-BA 2.0 mg/l+NAA 0.1 mg/l和MS+6-BA 2.0 mg/l+NAA 2.0 mg/l培养基上的愈伤组织诱导率较高;下胚轴和子叶的最佳诱变时间均为15 min;随辐照诱变时间的增加,下胚轴愈伤组织的长势增强,但超过一定的诱变时间愈伤组织长势减弱且诱导率降低。采用<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 辐照木槿 *Hibiscus syriacus* 愈伤组织后,其细胞膜透性和膜脂过氧化水平随射线剂量的增加而增加。同样麻黄的愈伤组织经<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线辐照后,愈伤组织结构发生改变,其色泽变浅,在悬浮培养条件下细胞增殖量明显增加,分裂旺盛期提前<sup>[7]</sup>。以低能量N<sup>+</sup>离子注入银杏 *Ginkgo biloba* 胚部,发现银杏胚根细胞中出现了核异常和染色体畸变,显微观察发现有多核,染色体桥、游离染色体和落后染色体。用C离子注入甜叶菊 *Stevia rebaudiana* 种子后出现萌发迟缓、生长速度变慢、叶绿体发育减慢和叶绿体膜被破坏等现象<sup>[8]</sup>。

### 2.4 影响药用植物生理生化特性

植物经辐照后会产生一系列的生理生化反应,光合色素量、酶蛋白活性的检测和酯酶同工酶谱的分析就成为检验辐照诱变生理生化效应的主要指标。不同药用植物对辐照诱变的反应差异显著,多数植物的酶活性升高,表现出一定的抗性特征。烟草 *Nicotiana tabacum* 种子经离子注入后在烟草花叶病毒、黄瓜花叶病毒侵染时发现,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等内源性保护酶在病毒侵染后能长时间保持较高活性,这对烟草抗病性的提高十分重要<sup>[9]</sup>。用<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线辐照袖珍椰子 *Cocos nucifera* 后,发现SOD, CAT, POD, 多酚氧化酶(PPO)活性以及可溶性糖和类胡萝卜素量随辐照剂量增加而提高,淀粉量基本不变,而蛋白质量与辐照剂量则呈负相关<sup>[10]</sup>。但有研究发现 $\gamma$ 射线辐照能明显抑制山楂 *Crataegus pinnatifida* 试管苗的生长及增殖,造成当代苗叶

子形状的多种畸形变异,并引起酯酶同工酶的改变<sup>[11]</sup>。

### 2.5 药用植物有效成分的影响

陈怡平<sup>[12]</sup>以中国传统中药板蓝根和大青叶的原植物菘蓝 *Isatis indigotica* 为实验材料,首次研究了He-Ne激光对增强UV-B辐照板蓝根与大青叶的品质和热解能的影响,激光处理提高了大青叶靛蓝和靛玉红含量。为了提高白术药材的品质和产量,采用高效液相色谱法测定了白术有效成分——白术内酯I、III的含量,从长势较好的4个白术辐照诱变株系中筛选出高产优质的优良品种<sup>[13]</sup>。用 $\gamma$ 射线辐照薯蓣 *Dioscorea opposita* 根茎后,薯蓣皂苷配基的量可以提高12%—19%<sup>[14]</sup>。利用 $\gamma$ 射线诱导的三分三 *Anisodus acutangulus* 的愈伤组织突变体,其东莨菪碱量比亲本高30%且很稳定<sup>[15]</sup>。赵德修等<sup>[16]</sup>和张美萍等<sup>[17]</sup>利用<sup>60</sup>Co射线辐照水母雪莲 *Saussurea medusa* 和西洋参 *Panax quinquefolium* 的愈伤组织,分别获得高产细胞系。罗建平等<sup>[18]</sup>用紫外线辐照人参 *Panax ginseng* 悬浮细胞系,筛选到一株稳定的高产寡糖素克隆系。对长春花 *Catharanthus roseus* 愈伤组织培养中获得的白色细胞株系进行紫外诱变,筛选得到抗色氨酸乙酯盐酸盐突变株,其中一株长春花质产量增加2.7倍。梅兴国等<sup>[19]</sup>经紫外诱变筛选出高产紫杉醇的红豆杉 *Taxus chinensis* 细胞系。在药用真菌研究方面,应用紫外诱变技术分别选出多糖量和产量明显优于原始菌株的赤灵芝 *Ganoderma lucidum* 和灰树花 *Grifola frondosa* 突变株。此外,应用N<sup>+</sup>离子注入技术选育出品质较好的莱包迪A苷组分量高的甜叶菊新品种。利用He-Ne激光诱变选育出雷公藤 *Tripterygium wilfordii* 的次生代谢物高产细胞系和葡萄 *Vitis vinifera* 的白藜芦醇高产细胞系<sup>[20, 21]</sup>。在空间诱变方面,经卫星搭载的藿香子二代挥发油成分也发生了明显变化,主要成分爱草脑增加90%,而胡薄荷酮和薄荷酮量明显减少<sup>[22]</sup>。采用高空气球搭载的两个鸡冠花 *Celosia cristata* 品种,其花序黄酮醇总量分别比对照组提高了90%和142%<sup>[23]</sup>。由此可见,采用辐照诱变技术是提高药用植物活性成分含量的一种有效手段。

### 2.6 药用植物的离子束诱变育种

离子束是某种元素的离子经离子加速器加速后

获得的放射线,可精确控制其入射深度和部位,在电场和磁场的作用下被加速或减速以获得不同能量;对其可进行高精度的控制,从而获得平行束,也可被聚焦成微细束。这是它与一般利用 $\gamma$ 射线和太空中强烈的宇宙射线进行的诱变育种的主要区别与突出优点。1986年,我国余增亮<sup>[24]</sup>首先将离子注入技术应用到水稻诱变育种,发现低能离子注入水稻等植物种子会产生遗传修饰,表现出生理损伤小、突变谱广、突变频率高并有一定的重复性和方向性等特点。利用兰州重离子研究装置提供的重离子束对岷山当归辐照后,已选育出茎秆变粗、颜色变深、茎叶铺展面扩大和生长茁壮的新株系<sup>[25]</sup>。这表明低能离子束是一种新式的和有效的辐照诱变源。

## 2.7 药用植物的空间诱变育种

“空间”是指地球大气以外的领域,空间环境具有强辐射、高真空、微重力和变化的磁场等特点,与地球环境有所不同,对进入其中的生物具有诱变作用。空间生命科学是伴随人类的载人航天活动所产生和发展的,是研究在空间环境条件下生物体的生长、发育和演变规律的一门科学。自从20世纪60年代开始进行空间生物学实验以来,空间环境的生物学效应一直受到科学家的关注,各国进行了大量的植物种子的搭载研究,美国和前苏联的研究主要集中在空间条件下植物生长发育规律,如植物对引力的感受和反应<sup>[26]</sup>,旨在最终开发出适于太空旅行的植物,建立宇航员生命保障系统,为宇航员的太空作业和人类的太空旅行做准备。我国育种学家利用返回式卫星搭载种子选育了一批农作物的优良品种,近年来还开展了空间环境诱发植物种子变异特点、规律和机制的研究。空间环境的高真空、微重力、高能辐射以及强烈的磁场等特殊条件,对进入其中的植物材料具有明显的诱变作用。“空间诱变育种”是指利用返回式卫星、高空气球以及高空模拟试验搭载生物种质材料,在近地空间物理和化学因素影响下,使生物后代发生变异,经地面选育培育新品种的方法<sup>[27]</sup>。与常规辐照育种相比,空间诱变育种具有变异频率高、变异幅度广、变异性状稳定等特性。传统辐照诱变的有益变异频率仅为0.1%—0.5%,而太空辐照诱变的有益变异频率为1%—5%<sup>[28]</sup>。另外,与基因工程育种比较,空间育

种并没有经过人为方法将外源基因导入生物体而使之产生变异,这就不存在有关转基因植物安全的问题。空间诱变能够在较短的时间内创造出目前地面诱变育种方法难以获得的罕见突变种质材料和基因资源,因此把空间诱变作为农作物遗传育种的新途径,已受到国内外遗传育种界的广泛重视。将卫星搭载的黄芩 *Scullaria baicalensis* 与普通植株对比发现,航天材料的染色体类型发生了畸变,出现了染色体裂片、染色体桥、落后染色体和先行染色体<sup>[29]</sup>。研究甘草 *Radix Glycyrrhiza*、桔梗 *Platycodon grandiflorum*、洋金花 *Datura innoxia*、藜香 *Agastache rugosa* 等材料空间飞行后的超微结构变化,结果发现不同药用植物材料对空间环境的反应不同,叶绿体的基粒片层和其中的淀粉粒较其他细胞部位变化明显<sup>[30—33]</sup>。

## 3 中药材的辐照灭菌

### 3.1 中药材加工中的应用

辐照灭菌技术是指利用 $\gamma$ 射线、加速器产生的高能电子束或转换成的X射线杀灭微生物的过程。中药在储藏与加工的过程中非常容易生虫及霉菌、细菌污染,不仅严重影响药物的质量,还会直接导致药源性疾病的发生<sup>[34]</sup>。因此中药材的杀虫灭菌是必不可缺的环节。波兰药典1990年<sup>[35]</sup>规定外用类药品应该不含病原菌,好氧菌和真菌类的数量不能超过100 CFUs/g, (CFUs, Colong-forming units),口服药品应该不含有大肠杆菌和寄生菌等病原菌,好氧菌的数量不能超过1 000 CFUs/g,酵母菌和霉菌等真菌类的数量应该低于100 CFUs/g,未加工药品中好氧菌的数量应低于10000 CFUs/g,真菌和普通杆菌的数量低于100 CFUs/g,不能含有大肠杆菌等病原菌。与传统的蒸汽压力消毒灭菌、紫外线及微波消毒灭菌、化学及过滤灭菌法相比,辐照灭菌法具有灭菌彻底、耗能低、无化学残留和不污染环境等优点。20世纪60年代初,辐照技术首先应用于农业诱变育种,之后,一些中药厂为解决其成品药卫生指标不合格问题开始试验和部分应用辐照技术。直到1997年我国卫生部发布《<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 中药灭菌标准》<sup>[36]</sup>,辐照灭菌方法才在我国制药业得到广泛的应用,逐步成为制药业对卫生指标不合格产品“最终消毒”的过关方法。进入21世

纪,大规模商业化辐照设施在我国许多地区先后建成。截至2004年,我国设计装源能力为11.1 PBq以上的工业辐照装置65座,总装源能力达到2200 PBq,平均装源强度为17.1 PBq。这些装置分布在27个省市自治区直辖市的40个城市,从而为辐照灭菌技术在制药业中的应用推广打下了坚实基础<sup>[37]</sup>。随着蒙特利尔国际公约的生效,化学灭菌法将被国际社会禁止,蒸汽消毒灭菌由于会影响药品中挥发性物质和不耐热成分而受到限制。可以预见,辐照消毒灭菌必将成为未来医药行业药品消毒灭菌的首选方法。

用4.0, 6.0和10.0 kGy <sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线辐照牡丹皮、辛夷、陈皮、青黛、苦参、砂仁、厚朴、洋金花、益母草、黄芩等10种药材,通过检测,结果表明辐照后药材含菌量大幅度下降,杂菌存活率随辐照剂量的增加而递减。其中陈皮、青黛、苦参、厚朴、益母草和黄芩经4.0 kGy的辐照,辛夷、砂仁和洋金花经6.0 kGy的辐照以后含菌量可降低到国家药品卫生标准范围内(细菌数量小于 $10^4$  CFUs/g,霉菌数量小于 $10^3$  CFUs/g),10.0 kGy的辐照可基本达到彻底灭菌的效果。对辐照前后成分的含量测定表明,经10.0 kGy的辐照后,10种药材中,除陈皮中的橙皮甙略有降低(5.2%)外,其余9种药材中有效成分的含量基本不变。但经过4.0和6.0 kGy辐照后的陈皮中橙皮苷非常接近,说明在4.0和6.0 kGy剂量下不影响陈皮中橙皮苷的含量<sup>[38]</sup>。通过0, 1, 2, 3, 4, 6, 8和10 kGy 8个吸收剂量,对党参进行辐照实验,观察不同剂量下的效果。结果显示,2 kGy以上剂量即可较好地抑制贮藏党参的虫害,但能有效地抑制霉菌生长的剂量在4 kGy以上。根据实验结果认为,适宜的辐照杀虫剂量为2—3 kGy,灭菌剂量为4—8 kGy<sup>[39]</sup>。

### 3.2 中药材有效成分的影响

对各种药材和药用植物的灭菌条件要求相当高。传统中药材灭菌方法主要有:湿热灭菌法、干热灭菌法、热蜜合坨灭菌法和环氧乙烷灭菌法等,但是这些方法均存在很大的缺陷,适应性很小。像湿热、干热灭菌法均不适用于含有挥发性成分的中药材,热蜜合坨法对外观色泽和硬度达不到要求及成分易损失的品种不适用,环氧乙烷容易对含有维生素、氨基酸的营养药品造成破坏。另外,残留的环

氧乙烷与其它产物结合,可生成有毒性的氯乙烯乙醇与乙二醇,造成再次污染。辐照灭菌技术可利用 $\gamma$ 射线或加速器产生的高能电子束或转换成的X射线杀灭微生物,基本上不会存在上述传统方法中的弊端。<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线辐照灭菌,用HPLC法测定安息香在10 kGy剂量辐照前后,其有效成分肉桂酸含量无明显变化<sup>[36]</sup>。用<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线对牡丹皮和延胡索等经48 h辐照前后,薄层分析表明其有效成分的含量基本不变<sup>[40]</sup>。通过用1.5和6 kGy不同的剂量对当归、党参进行辐照,通过辐照前后和放置半年后对比,结果表明对当归中的阿魏酸、党参中的多糖没有显著影响;从辐照前后和放置半年后的薄层层析图中看出分别在相同的位置,显相同的斑点,说明辐照对药材成分无影响<sup>[41]</sup>。通过对活血止痛胶囊中土鳖虫粉在灭菌前其微生物限度未达标,而当<sup>60</sup>Co辐照累计剂量在8和10 kGy时,细菌数小于10、霉菌数小于10、大肠杆菌、沙门菌、活螨均未检出,即微生物限度达标。土鳖虫粉在灭菌前后游离氨基酸和水解氨基酸含量几乎没有变化;挥发油成分在灭菌前和<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 辐照累计为4, 6和8 kGy时无明显差异,但色谱图中土鳖虫挥发油成分在10 kGy时出现了几种新物质,说明土鳖虫用<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 辐照灭菌照度在6—8 kGy即能达到灭菌效果,而游离氨基酸和水解氨基酸含量、挥发油成分没有明显变化和差异,是可行的<sup>[42]</sup>。分别用1, 2, 3, 4和5 kGy剂量<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线对三黄片中大黄粉进行辐照,通过检测主要成分大黄素和大黄酚的含量,结果没有明显的变化<sup>[43]</sup>;辐照剂量在2 kGy的照度下即可以达到消毒要求。用1, 3, 5, 7和9 kGy剂量<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线对5种虫类药进行辐照灭菌,当剂量到3 kGy时卫生学指标可达到灭菌要求,而蜈蚣的含氮量、全蝎醇溶性浸出物、土鳖虫水溶性浸出物和水蛭含量均没有明显变化<sup>[44]</sup>。

### 3.3 辐照灭菌的安全性

长久以来,对于将核辐射用于中药材和食物灭菌的可行性一直存在很大争议。原因就在于人们不能确定其安全性,人们忧虑的焦点集中在关于辐照后是否会留有残毒,以及口服辐照的中成药是否会诱发生成致癌物质或出现致畸突变等问题上。我国从1997年卫生部发布《<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 中药灭菌标准》后,辐照灭菌方法才在我国制药业上得到广泛的应用。

用  $\gamma$  辐照药用牡丹的根, 然后对其提取物分别进行艾姆斯氏试验和微核试验。在艾姆斯氏试验中将辐照后的提取物质接种入沙门氏菌, 结果未发现任何突变的产生。在亚洲灰鼠卵巢内进行的微核试验也没有发现细胞毒性的发生。液相色谱法显示, 药用牡丹辐照后并没有产生任何的辐照分解物质。因此  $\gamma$  辐照药用牡丹具有毒理安全性和化学稳定性<sup>[45]</sup>。《Co 射线辐照中药质量评价研究》<sup>[46]</sup>明确大部分中成药均可以采用辐照方法进行消毒灭菌, 特别是对一些含不耐高温、易挥发成分的药物和中成药尤为适用, 不会对成分造成很大的影响。用  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线辐照当归党参防虫贮藏是可行的, 即使大剂量辐照也未引起成分的变化和有效成分含量的显著性变化<sup>[41]</sup>。选用 7 种有代表性的川产道地中药材进行  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线辐照试验, 结果表明, 用 8000 Gy 的剂量辐照后, 中药材主要有效成分、组织形态和感观性态不变, 能有效地防止霉变和虫蛀, 无毒副作用且卫生安全<sup>[43]</sup>。Paula 等<sup>[47]</sup>对罗勒、洋蓟、迷迭香 3 种药材进行 0, 10, 20 和 30 kGy 的  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线辐照, 对其中的各种黄酮类化合物、精油、单宁酸、酚类化合物和胡萝卜素进行测定, 发现 3 种药材中以上各成分随着辐照剂量的变化没有明显的变异。Owczarczyk 等<sup>[48]</sup>对大黄等 10 种药用材料进行电离辐照, 对辐照后的药用成分和其活性进行了比较。发现各种药材辐照后与未辐照的材料相比较, 其主要成分和药理活性均没有差异。中药材经辐照后, 一般不会对其外观特征产生影响。相关资料表明<sup>[49]</sup>, 对人参、毛桔梗、羚羊角、川芎、肉桂、檀香、草豆蔻、白术、青木香、豆蔻、艾叶、菊花、阳春砂和木青等药材进行辐照, 杀虫灭菌后药材外观均未发生明显变化。而来自 Kim 等<sup>[50]</sup>对姜黄属植物的两种提取物研究, 发现经过  $\gamma$  辐照以后, 不但不会破坏其外观特征, 反而能够显著地提高姜黄材料中姜黄素含量, 并明显改善两种提取物的外观颜色, 具有较高的市场推广意义。

## 4 建议和展望

(1) 扩大药用植物辐照诱变的范围, 尽快形成诱变育种的技术体系。我国虽然有丰富的中药资源, 但进行辐照诱变研究的药用植物种类较少。应该加大核辐射在中药材辐照诱变育种中的应用, 有针对性地选择诱变源, 在处理方法上可以采用综合

处理办法。例如, 重离子、微波和激光在刺激作物生长, 早熟增产、增强种子的代谢能力、促进植株生长和增强抗逆性等方面效果显著, 可以主要用于种子繁育困难、生长缓慢、生长周期长和幼苗生理抗性差的中药材。而对于离子束诱变和航天诱变等相对突变频率高、突变谱广的措施, 可以用于诱变选育优良品质的中药材。将辐照诱变和其它诱变源结合使用, 尤其是辐照诱变与现代生物和育种技术的结合使用是比较容易突破的方向。例如, 可以采用物理诱变和化学诱变综合处理, 将不同诱变源搭配使用或者辐照诱变与组织培养相结合等。

(2) 研究不同植物、组织、器官以及离体培养物等对辐照环境的敏感性差异, 为提高辐照诱变效率提供技术支持。目前药用植物辐照遗传育种方面的研究工作明显不足, 未能深入系统地进行良种选育研究。

(3) 加强辐照诱变技术对药用植物的生物学效应和次生代谢物变化规律研究。目前大多数研究仅停留在对药用植物田间农艺性状的观察方面, 对影响其遗传物质变异的细胞水平、生理生化和分子机制研究等有待进行深入探讨。

(4) 从细胞学、生理学以及分子生物学等方面深入探讨不同诱变因素对药用植物遗传改良机制。对药用植物辐照后的生长发育动态及其次生代谢物变化规律的研究较少, 而这正是药用植物区别于普通植物的关键所在。笔者的课题组正开展使用(随机扩增多态)技术 RAPD 对获得的菘蓝突变植株进行分子多态性分析研究, 同时对其辐照生物学效应和突变机理做了初步研究。

(5) 针对药用植物诱变育种存在的问题, 要特别重视低能重离子注入技术在药用植物上的定向诱变研究, 提高药用植物诱变育种的整体水平。

总之, 当今世界辐照诱变研究方兴未艾, 应继续发挥辐照诱变育种的创新优势, 并与现代生物技术相结合, 为创造生长周期短、有效成分高的药用植物资源做出贡献。

## 参考文献 (References):

- [1] Weng Boqi, Jiang Zhihe. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2004, **19**(6): 462(in Chinese).  
(翁伯琦, 江枝和. 核农学报, 2004, **19**(6): 462.)

- [2] Gou Kejian, Ren Qian. *Acta Botanica Yunnanica*, 1993, **15**(2): 214(in Chinese).  
(苟可俭, 任茜. 云南植物研究, 1993, **15**(2): 314.)
- [3] Chen Yiping, Wang Xunling. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2004, **24**(6): 1057 (in Chinese).  
(陈怡平, 王勋陵. 西北植物学报, 2004, **24**(6): 1057.)
- [4] Shen Zhiying, Fang Kun. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2004, **27**(11): 801(in Chinese).  
(申志英, 方坤. 中药材, 2004, **27**(11): 801.)
- [5] Weng Boqi, Xu Guozhong, Zheng Xiangli, *et al.* *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2004, **18**(3): 197(in Chinese).  
(翁伯琦, 徐国忠, 郑向丽, 等. 核农学报, 2004, **18**(3): 197.)
- [6] Zhao Xiujian, Zhang Hongxia. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*. 2009, **37**(9): 3939(in Chinese).  
(赵秀娟, 张红霞. 安徽农业科学, 2009, **37**(9): 3939.)
- [7] Gao Xiaoyuan, Cao Youlong, Chen Meihong. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2001, **15**(6): 365 (in Chinese).  
(高晓原, 曹有龙, 陈梅红. 核农学报, 2001, **15**(6): 365.)
- [8] Luo Maochun, Shen Mingshan, Xu Jinshen. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2000, **39**(1): 96(in Chinese).  
(罗茂春, 沈明山, 徐金森. 厦门大学学报(自然科学版), 2000, **39**(1): 96.)
- [9] Zhou J H, Lin G H, Shang-Guan K P, *et al.* *Seed*, 2001, (5): 5271.
- [10] Wu Guangsheng, Qiang Jiye. *Seed*, 2006, **25**(3): 22(in Chinese).  
(吴光升, 强继业. 种子, 2006, **25**(3): 22.)
- [11] Zhang Demin, Wang Hongqing. *Northern Horticulture*, 1991, (2): 12(in Chinese).  
(张德民, 王洪庆. 北方园艺, 1991, (2): 12.)
- [12] Chen Yiping. *Applied Laser*, 2005, **25**(5): 336(in Chinese).  
(陈怡平. 应用激光, 2005, **25**(5): 336.)
- [13] Tang Ning. *Anhui Agricultural Science Bulletin*. 2009, **15**(1): 45(in Chinese).  
(唐宁. 安徽农学通报, 2009, **15**(1): 45.)
- [14] Wu Caixuan. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 1981, (3): 26(in Chinese).  
(吴彩宣. 中药材, 1981, (3): 26.)
- [15] Zheng Guangzhi, He Jingbo, Wang Shiling. *Acta Photophysiological Sinica*, 1980, (4): 7(in Chinese).  
(郑光植, 何静波, 王世林. 植物生理与分子生物学报, 1980, (4): 7.)
- [16] Zhao Dexiu, Wang Yi, Zhao Jingfang. *Chinese Journal of Biotechnology*, 1998, **14**(3): 2592(in Chinese).  
(赵德修, 汪沂, 赵敬芳. 生物工程学报, 1998, **14**(3): 2592.)
- [17] Zhang Meiping, Wang Yi, Sun Chunyu, *et al.* *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2003, **17**(3): 2072(in Chinese).  
(张美萍, 王义, 孙春玉, 等. 核农学报, 2003, **17**(3): 2072.)
- [18] Luo Jianping, Zheng Guangzhi, Gan Fanyuan. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1994, **20**(4): 332(in Chinese).  
(罗建平, 郑光植, 甘烦远. 植物生理学报, 1994, **20**(4): 332.)
- [19] Mei Xingguo, Pan Xuewu, Dong Yanling, *et al.* *Journal of Huazhong University of Science and Technology*, 2001, **29**(1): 48(in Chinese).  
(梅兴国, 潘学武, 董艳玲, 等. 华中科技大学学报, 2001, **29**(1): 48.)
- [20] Li Yaowei, Feng Wenxin, Wu Zhengshou, *et al.* *Acta Laser Biol Sin*, 2000, **9**(4): 2812(in Chinese).  
(李耀伟, 冯文新, 武增涛, 等. 激光生物学报, 2000, **9**(4): 2812.)
- [21] Guo Bing, Wei Yahui, Cao Wei. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(3): 277(in Chinese).  
(郭斌, 尉亚辉, 曹伟. 光子学报, 2002, **31**(3): 277.)
- [22] Zhao S P, Xue L, Zhao L Q, *et al.* *Chin J Pharm Anal*, 1995, **15**(Suppl): 51.
- [23] Weng Debao, Wang Haifeng, Weng Jiayi. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2002, **22**(5): 1158(in Chinese).  
(翁德宝, 汪海峰, 翁佳颖. 西北植物学报, 2002, **22**(5): 1158.)
- [24] Yu Zengliang. *An Introduction of Ion Beam Biotechnology*. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 1998, 216 (in Chinese).  
(余增亮. 离子束生物技术引论. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1998, 216.)
- [25] Wei Zengquan, Xie Hongmei, Liang Jianping, *et al.* *Nuclear Physics Review*, 2003, **20**(1): 38(in Chinese).  
(卫增泉, 颀红梅, 梁剑平等. 原子核物理评论, 2003, **20**(1): 38.)
- [26] Ren Wei, Wei Jinhe. *Chinese Journal of Space Science*, 2000, **20**: 48(in Chinese).  
(任维, 魏金河. 空间科学学报, 2000, **20**: 48.)
- [27] Nevzgodian V, Gaubin Y, Kovalev E E, *et al.* *Adv Space Res*, 1984, **4**(10): 71.
- [28] Jia Caifeng, Li Ailian. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2007, **38**(4): 633(in Chinese).  
(贾彩凤, 李艾莲. 中草药, 2007, **38**(4): 633.)
- [29] Liu Zhongshen, Du Xiaowei, Ding Guiqing, *et al.* *Information on Traditional Chinese Medicine*, 1998, (1): 50(in Chinese).  
(刘中申, 都晓伟, 丁桂清, 等. 中医药信息, 1998, (1): 50.)
- [30] Helstead T W. *Ann Rev Plant Physiol*, 1987, **38**: 317.
- [31] Kranz A R. *Advances in Space Research*, 1986, **6**(12): 135.
- [32] Pickert M, Gartenbach K E, Kranz A R. *Advances in Space Research*, 1992, **12**(2): 69.
- [33] Vaulina E, Anikeeva I, Kostina L. *Advances in Space Re-*

- search, 1984, **4**(10): 103.
- [34] Wang Jinlan, Liu Qingzheng. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 1996, **27**(9): 243(in Chinese).  
(王金兰, 刘庆增. 中草药, 1996, **27**(9): 243.)
- [35] Migdal W, Owczarczyk B, Holderna-Kedzia E, *et al.* Radiation Physics and Chemistry, 1998, **52**(1): 91.
- [36] Guo Yanfeng, Yang Xin, Li Qiufei. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2003, **5**(34): 9(in Chinese).  
(郭艳丰, 杨欣, 李秋菲. 中草药, 2003, **5**(34): 9.)
- [37] Liu Chunquan, Zhu Jiating, Zhao Yongfu. Jiangsu Agricultural Sciences, 2004, (3): 72(in Chinese).  
(刘春泉, 朱家廷, 赵永富. 江苏农业科技, 2004, (3): 72.)
- [38] Fan Tielin, Li Yaowei, Liu Zhenguo, *et al.* Journal of Shanxi Agricultural University, 1999, **19**(4): 337(in Chinese).  
(范铁林, 李耀维, 刘振国, 等. 山西农业大学学报, 1999, **19**(4): 337.)
- [39] Chen Ruizhen. Fujian Journal of Traditional Chinese Medicine, 2006, **37**(6): 55(in Chinese).  
(陈瑞珍. 福建中医药, 2006, **37**(6): 55.)
- [40] Sun Xiufeng, Xiong Junfen, He Zhongjun. Journal of Yunnan Agricultural University(Nature Sciene), 2008, **23**(2): 245(in Chinese).  
(孙秀峰, 熊俊芬, 何忠俊. 云南农业大学学报(自然科学), 2008, **23**(2): 245.)
- [41] Lei Xi, Shen Hong. China Pharmacy, 2002, **13**(2): 119(in Chinese).  
(雷曦, 申鸿. 中国药房, 2002, **13**(2): 119.)
- [42] Liu Meihui, Jin Shunfu, Pu Chunhai. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2004, **27**(11): 808(in Chinese).  
(刘美辉, 金顺福, 濮存海. 中药材, 2004, **27**(11): 808.)
- [43] Zhong Hailuo, Dong Yu, Dong Yuning, *et al.* Chinese Pharmaceutical Journal, 1998, **33**(9): 520(in Chinese).  
(钟海洛, 董昱, 董玉宁, 等. 中国药学杂志, 1998, **33**(9): 520.)
- [44] Li Fengqin, Shi Dongxia, Ma Zhensi, *et al.* Lishizhen Medicine and Materia Research, 2006, **17**(11): 2348(in Chinese).  
(李奉琴, 史冬霞, 马振嗣, 等. 时珍国医国药, 2006, **17**(11): 2348.)
- [45] Yu Y B, Jeong I Y, Park H R, *et al.* Radiation Physics and Chemistry, 2004, **71**(1): 117.
- [46] Wang Baoqin, Yao Fenghe. Co-ray Irradiation Quality Evaluation of Traditional Chinese Medicine. Beijing: Chinese Medical Science and Technology Press, 1995, 60—65(in Chinese).  
(王宝琴, 药凤荷. Co-射线辐照中药质量评价研究. 北京: 中国医药科技出版社, 1995, 60—65.)
- [47] Koseki P M, Villavicencio A L CH, Brito M S, *et al.* Radiation Physics and Chemistry, 2002, **63**(3): 681.
- [48] Owczarczyk H B, Migd W, Kedzia B. Radiation Physics and Chemistry, 2000, **57**(3): 331.
- [49] Ge Xiaoqing, Li Tiemin, Wang Li. Endemic Diseases Bulletin, 2005, **20**(4): 103(in Chinese).  
(葛晓清, 李铁民, 王丽. 地方病通报, 2005, **20**(4): 103.)
- [50] Kim J K, Jo C, Hwang H J, *et al.* Radiation Physics and Chemistry, 2006, **75**(3): 449.

## Application of Nuclear Irradiation to Traditional Chinese Medicine\*

LIANG Jian-ping<sup>1)</sup>, LI Xue-hu, LU Xi-hong, TAO Lei, WANG Shu-yang

(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The application of nuclear irradiation in the field of traditional Chinese medicine has received much attention. In this paper we reviewed the application of nuclear radiation on the cultivation, breeding and disinfection of traditional Chinese medicine, and pointed out that the combination of radiation-induced mutagenesis and biological technology would promise broad prospects for increasing the cellular mutation rate and speeding up the genetic improvement of traditional Chinese medicine.

**Key words:** nuclear radiation; traditional Chinese medicine; mutation breeding; sterilization

\* Received date: 5 Jan. 2010; Revised date: 3 Feb. 2010

\* Foundation item: Key Scientific Technology Research Project of Gansu Province(092GKDA0033); Hundred Talent Program of Chinese Academy of Sciences(O861010ZY0)

1) E-mail: liangjp100@sina.com