DOI:10.11937/bfyy.201514048

# 太空诱变育种的研究进展

李 谨,耿金鹏,曹天光,韩英荣,李多芳,展 永

(河北工业大学 理学院,生物物理研究所,天津 300401)

**摘 要**:太空诱变育种研究是利用太空搭载等综合技术进行的诱变育种研究工作,是集空间技术、现代化农业技术以及分子生物技术于一体的跨学科的交叉新技术,是近几十年来产生的一种崭新育种技术。与传统育种方式相比,可在相对较短的时间内,大幅度提高作物产量和抗性,创造出大批优质种质资源,是缓解植物及农作物种质资源匮乏的有效途径之一,也是生物育种的重要发展方向之一。现对太空诱变育种的概念特点、生物学效应以及国内外研究进展等方面进行了全面阐述,并对未来的发展趋势进行了展望。

**关键词**:太空诱变;诱变育种;传统育种;变异;生物学效应

**中图分类号**:S 603.6 **文献标识码**:A **文章编号**:1001－0009(2015)14－0189－05

太空环境具有高真空、微重力、地球磁场和高能带电粒子辐射等特点。众多复杂的空间环境因素对生物体的生长发育会产生极大的影响。

**第一作者简介**:李谨(1986-),女,博士研究生,研究方向为辐照生物学。E-mail:Davidjin2013@163.com.

**责任作者**:展永(1954-),男,博士,教授,博士生导师,现主要从事生物大分子动力学及辐照生物学的教学与研究工作。E-mail:Yong_zhan@163.com.

**基金项目**:河北省科技计划资助项目(09220102D);河北省自然科学基金资助项目(2013202192)。

**收稿日期**:2015－03－15

## 1 太空诱变育种的概念和特点

“太空诱变育种”是指利用返回式近地卫星、高空气球等方式搭载生物体种质材料,在近地空间的物理和化学等综合因素的影响下,使生物体遗传物质发生改变,导致其后代发生表观性状的变异,经地面选育和培育新品种的方法。

太空诱变育种比地面常规育种方式具有更显著的优势:1)其变异频率高、变异谱宽、变异幅度广以及变异性状稳定等特点。生物发生自然突变的频率很低,大约为 $10^{-6}$,而利用外太空的特殊环境条件,太空诱变育种产生的有益变异率可达到1%～5%,大大提高了诱变产生有益变异的频率[1]。2)性状变异方向不定,各种性状

# The Role and the Research Prospect of Arbuscular Mycorrhizal in Degraded Ecosystem Restoration

CAO Lixia,FU Ying,HOU Weifeng,WU En

(College of Ecology and Environmental Science,Inner Mongolia Agricultural University,Huhhot,Inner Mongolia 010019)

**Abstract**:Arbuscular mycorrhizal is an important part of natural ecological system,it has a variety of physiological and ecological function. In recent years,the mycorrhizal restoration of degraded ecosystem research gradually became a hot topic of both at home and abroad because the ecological environment destruction and degradation problems. This research reviewed the individual nutrient absorption of plant,stress resistance,growth and development,plant diversity,community productivity,soil system and the physiological and ecological function of the stability in ecological system of arbuscular mycorrhizae,and discussed existing problems and present situations of the effect of the degraded ecosystem restoration and reconstruction at home and abroad,at the same time,made the prospect of mycorrhizal in degraded ecosystem restoration research for the future.

**Keywords**:arbuscular mycorrhizal;degraded ecosystems;restoration;functions;prospect



PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

的有利和不利的正反 2 个方向突变都有。3)出现特殊变异类型如早熟、大粒大穗、大果的机率高。在对白莲进行航空搭载试验后,获得了单粒重 1.85 g 的莲子,而地面对照组仅为 1.08 g[2]。在太空油菜中也获得了角果长 13 cm 的单株变异株[3],绿豆中得到了夹长约 16 cm、每夹种子数为 15～19 粒的单株变异株[4],这些都是地面常规育种中难以获得的。4)普遍出现高产的特性,比地面对照的产量高出 10%～30%,维生素 C 含量以及可溶性固形物等营养成分也有很大程度的提高,抗病性大大增强。因此太空诱变可以在较短的时间内创造出地面辐射诱变难以获得的罕见基因突变和优质种质材料。太空诱变育种方式已经成为农作物遗传育种的高效新途径,受到了国内外育种专家的广泛重视。

## 2　太空诱变的生物学效应

特殊的太空条件会对生物体的萌发和生长过程产生一定的影响,从而导致辐射后的生物体与地面对照在各种水平上产生较大差异,然而不同物种对太空辐射条件的敏感性不同,产生的影响也不尽相同。但太空诱变总体上具有以下几种生物学效应。

### 2.1　对生物体生长发育的影响

研究证明,空间环境条件会影响生物体的萌发与生长。不同生物体对辐射条件的敏感性不同。郭明忠等[5]将贡氏圆尾鲭受精卵搭载“神舟七号”飞船进行太空诱变,空间诱变的鲭鱼卵孵化后鱼苗生长速度较快,抗逆性强,存活率较高。“神舟四号”飞船中通过电融合获得的烟草融合细胞,经地面培养获得再生植株,空间飞行样品再生愈伤组织的频率为地面对照的 3 倍多,而植株再生频率却比地面对照约低 20%[6]。天水羊角椒和天水牛角椒搭载“神舟三号”飞船进行空间诱变处理,结果表明,突变系品种出现了果实大,单果重提高了 12.7%,鲜食品质好,具有较强的抗逆性和广泛的适应性[7]。贺朝祥等[8]利用“神舟三号”搭载的杂交水稻种子其产量表现为增产,农艺性状优良,稻米品质优,香味浓。魏力军等[9]同样利用“神舟三号”飞船搭载水稻种子并对 SP1 代变化的分析,结果显示空间环境处理对水稻生长发育有着重要的影响,在“神舟三号”飞船上搭载 10 个不同成熟期水稻品种的干种子,结果表明空间环境对不同基因型品种的分蘖有刺激和抑制 2 种效应。

经过“神舟三号”飞船搭载的孜然品种比普通孜然品种的产量和品质要高,抗病能力和适应性强。“太空甜椒 T100”是由“神舟三号”宇宙飞船搭载,具有抗热耐寒,丰产潜力大,坐果多,成熟早,果肉较厚,辣味浓等特点。李佛琳等[10]发现太空飞行后的种子较对照的发芽势、发芽率和发芽指数均下降且太空飞行效应显著。可见,即使相同的生物体材料、不同的试验体系往往也会得到不一致的结果。

### 2.2　对生物体形态学的影响

与地面对照组相比,经过太空飞行处理的生物体在表观性状上呈现出显著的变异。刘建福等[11]研究表明,经过“神舟八号”飞船搭载的武夷岩茶表现出了不确定性的突变性状,金毛猴和铁罗汉经过诱变后产生矮化且变粗壮的突变,而矮脚乌龙幼苗出现明显增高的性状。可以看出,太空诱变的突变性状具有不确定性。经过“神舟八号”飞船搭载的水稻种子,发现其 SP1 代的发芽率、主穗结实率分别显著和极显著下降[12],而搭载“神舟四号”的水稻表观性状在 SP1 代没有明显变化,在 SP2 代株高、生育期、分蘖、叶色、芒和红叶耳等性状上发生明显的变异,获得株高突变体、早熟突变体、分蘖突变体以及独杆、无芒、叶色黄化合类病变等有功能基因研究价值的突变体[13]。搭载“神舟三号”神舟飞船的水稻纯合种子在返回地面后其 SP3 代种子出现颖壳、茎杆和叶片的主脉变异为金黄色的突变体[14]。由此可见同一品种的植物在不同的太空搭载中对辐射的敏感程度也存在差异性。空间诱变除了对水稻性状有影响,对蔬菜也有明显的诱变效应。蒲晓斌等[15]对“神舟四号”飞船、第十八颗返回式卫星搭载油菜种子及其后代的初步研究表明,SP1 代与对照组相比没有明显变化,但在 SP2 代发现出长果、多果、早花、矮杆、大粒等有利变异株,多头茎、主茎短缩等畸形变异株。由此可知,太空环境对农作物和蔬菜的 SP1 代表观性状影响不大,在 SP2 和 SP3 代都出现明显变异,而对于草类和花卉却在 SP1 代即可表现出明显的性状差异。搭载我国“神舟三号”飞船的 4 个紫花苜蓿材料,出现了不同的突变类型,多叶变异较为显著、叶面积增大较为显著[16]。利用“神舟四号”搭载凤仙花种子,对当代 SP1 的花、果实和种子的研究发现,花部性状有变化、花瓣数目增多、单株结果实的数目变化大、并有异型果、双果出现,种子的大小不一致,每果种子的数量变化很大[17]。搭载“神舟八号”的四季薰衣草 SP1 代出现了花期延长、花产量增加、叶形变异以及株高增高的变异情况;而同样搭载“神舟八号”的仙客来在花形和花色上也出现了明显变异[18]。

### 2.3　对生物体细胞学效应的影响

特殊的太空环境条件会使生物体细胞出现不适应性及内部异常变化,从而导致其结构变化,进而造成染色体变异,影响生物体功能。杨芬等[19]研究发现空间飞行可诱发体外培养的心肌细胞发生功能减退和微管解聚,这对于进一步研究空间心血管功能紊乱的机制提供了细胞学基础。经过“神舟四号”携带的植物烟草细胞,其空间飞行样品中双核细胞的比率和多核细胞比率比地面大大增加,同时细胞活力也比地面对照提高了 39.7%,同时微重力环境中融合细胞的代谢活动也发生了显著的改变[20]。刘敏等[21]利用“神舟三号”飞船搭载的树莓试管苗发现其叶片细胞形状、叶绿体、线粒体等



PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

细胞结构变化较大。“神舟四号”搭载了月季组培苗[22]，空间处理的月季组培苗株高、叶片数及植株鲜重均显著大于地面对照，和地面对照相比，空间处理的月季组培苗细胞超微结构发生较大变化，部分细胞出现了细胞壁变形，叶绿体增大，线粒体增多等现象。

2.4 对生物体生理生化的影响

太空诱变可诱发生物体生理生化的变化，对生物体的光合作用、呼吸特性以及酶活性和产酶能力等产生影响。以“神舟八号”搭载的苜蓿种子为材料，经过筛选获得高株、多分枝等变异材料，与地面对照相比，空间搭载苜蓿的 DNA 甲基化水平提高 3%～8%，且增加水平因变异类型而异[23]。

郑少清等[24]利用“神舟三号”宇宙飞船搭载的烤烟品种发现幼苗的叶长、宽，叶绿素含量，单位叶面积和抗坏血酸含量均发生了不同程度的变异。除此之外，通过“神舟八号”搭载的果胶酶菌株，与地面对照相比持续产霉能力增强，产霉能力最稳定[25]。王俊锋等[26]对重组人干扰素菌株进行空间诱变，通过菌株筛选，获得 6 株空间诱变后较高表达的重组人干扰素。经过“神舟七号”搭载，太空环境对合成的工程菌株有明显的影响，菌落形态上为菌落大小发生明显变化[27]。选取维生素 C 二步发酵产生菌搭载于“神舟七号”飞船进行空间诱变，返回地面后，新菌株摇瓶发酵转化率提高了 5%～7%。实现了维生素 C 菌种的高效筛选，此法可作为今后维生素 C 发酵菌种育种的适宜筛选模式[28]。搭载“神舟五号”的茅台大曲酵母菌，搭载后的菌株在耐有机溶剂、耐酶解、耐酒精、耐热性方面均高于搭载前菌株。太空搭载使菌株的细胞结构发生了变异，菌体的抗逆性增强。同时发酵性优于地面对照组[29]。王璋等[30]利用“神舟四号”搭载菌株的菌落形态发生变异，获得了一系列产霉能力大幅度提高的优良突变菌株，产酶活力提高 30%。空间处理后的月季组培苗叶片中超氧化物歧化酶、过氧化物酶均有增加，同时 DNA 变异率达 6.34%[22]。经过“神舟四号”宇宙飞船搭载的维生素 C 生产菌株得到了高效菌株，提高了其发酵效率，发酵周期有不同程度的缩短[31]。不仅如此，搭载“神舟三号”宇宙飞船的中药知母种子，发现太空知母 Zn、Sr 元素含量比地面组知母分别提高 2.7 倍和 1.7 倍。航天诱变第 4 代知母中——水草酸钙晶体的含量明显减少，微量元素指标明显优化[32]。除此之外，太空特殊环境对蛋白质的表达和代谢会产生很大的影响。常德等[33]利用太空环境改变了屎肠球菌的生物学特性、并影响大量蛋白质的表达。王雅娟等[34]的研究也表明空间环境可影响褪色沙雷菌大量蛋白质的表达。在“神舟八号”空间蛋白质结晶试验中[35]，14 种蛋白质样品的出晶率达到 85%，优于地面的 78%，也超过“神舟三号”的 75%。

2.5 对生物体分子生物学的影响

随着对太空诱变研究的深入，太空诱变分子生物学机理研究逐步开展起来。研究表明空间搭载植物种子确实可导致当代植株基因组发生变异，部分多态性可遗传至后代[7,36]。李华盛等[37]利用“神舟八号”飞船，搭载拟南芥幼苗，筛选出了在空间飞行中仍然能够稳定表达的基因。薛淮等[22]利用“神舟四号”搭载的月季组培苗为材料，用 40 个随机引物对空间处理和地面对照叶片 DNA 进行 RAPD 检测，共扩增出 148 条带，其中 5 个引物表现出多态性，变异程度达 6.34%。蒲志刚等[14]利用 AFLP 分子标记的方法，对航天诱变的水稻突变体进行基因组对比分析，通过聚丙烯酰胺电泳寻找突变体多态性 DNA 片段，找到了 5 条多态性 DNA 条带，对开展突变体基因功能研究有十分重要的意义。对经过“神舟八号”飞船搭载的仙客来突变株进行的 RAPD(random amplified polymorphic DNA)试验分析中，28 条随机引物中有 27 条引物扩增出现多态性，总共扩增出 156 条条带，其中 91 条呈现出多态性，多态性比率达到 58.33%[18]。综合分析显示，太空环境对当代植株造成了显著的诱变效应，经诱变后的植株在分子水平上均发生了明显的变异，而基因组的改变进一步导致了植株表观性状的变异。

## 3 太空诱变的国内外研究现状

### 3.1 太空诱变育种的国外研究现状

自 20 世纪 60 年代初，前苏联科学家便开始对拟南芥进行了从种子到种子的全过程太空试验搭载试验[38]，从此揭开了太空育种的序幕。之后美国、德国等也陆续开展了太空搭载植物的试验，探索太空环境对植物的生长规律和生育衰老过程等[39]，以此达到改善人类生存空间，解决航天员生存安全以及食品供给为目的。到了 20 世纪 80 年代，美国将番茄种子送上太空达 6 年之久，并在地面试验后获得了番茄变异品种，可以食用并且无毒害[40]。1994 年俄罗斯开始与美国宇航局合作，在“和平号”空间站先后进行了多次小麦全生长周期的太空试验，取得了举世瞩目的进展。1995 年，美国航宇局在北卡罗来纳州立大学建立了引力生物学中心，重点研究植物对引力的感受和反应[41]。1996 年，美国的布鲁斯·巴格比研究出太空矮秆小麦，小麦株高 40 cm，生育期也只有 60 d，这种小麦产量高出普通小麦的 3 倍，很有可能适合太空生长[42]。除此之外，俄罗斯和美国成功的在“和平号”空间站成功种植出小麦、白菜以及油菜等植物品种。1999 年，俄罗斯的太空小麦也终获成功。进入 21 世纪，美、日、西欧已将太空植物的培育做为重点发展项目。美、俄 2 国已先后培育出百余种太空植物，其中包括萝卜(*Raphanus sativus* L.)、甘蓝(*Brassicaoleracea* var. *capitata* L.)、番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)、莴苣、黄瓜(*Cucumis sativus* L.)、甜菜(*Beta vulgaris* L.)、马铃薯[43]、洋葱等蔬菜。



PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

3.2　太空诱变育种的国内研究现状

我国空间生命科学试验始于20世纪60年代,从1964年到1966年,我国先后发射了5枚生物探测火箭,通过对小白鼠、狗以及其它生物样品的试验,为我国空间生物科学研究迈出了具有历史意义的第一步。到了1987年,我国首次利用高空气球搭载了甜椒品种的"龙椒2号",得到了单果重250 g以上同时增产120%的新品种,开启了太空诱变育种的序幕。与此同时首次利用FSW-O返回式卫星搭载植物种子、低等植物藻类、昆虫卵和微生物菌种。从搭载的供试材料中获得了大量的变异体,随即引起科学界的广泛兴趣和关注。我国航天事业的不断发展,也为太空诱变育种的深入研究创造了有利条件。20余年来我国多次利用高空气球、返回式卫星以及神舟飞船等搭载的方式完成了300多项空间搭载试验[44],获得了大量有益变异体。先后搭载过水稻[45-47]、小麦、谷子、大豆、玉米[48-49]、高粱[50]、马铃薯[51]等粮食农作物;青椒[52-53]、番茄[53-55]、绿菜花[56]、石刁柏、黄瓜、茄子、豇豆、树莓等蔬菜水果作物;油菜[57]、大豆[58]、绿豆[59]、芝麻[60]、核桃等油料作物;大枣、桂花、棉花、红麻、孜然、牧草[61]、甜菜等其他农作物;香菇[62]、藻类[63-64]等真菌及微生物;兰花、油松、三色茧、菊花、矮牵牛、鸡冠花、一串红、白莲、石刁柏[65]、龙葵、甘蓝、灵芝[66]等观赏植物与药用植物共6 000多份种质材料,1 122个作物品种送上太空。选育出了一大批综合性状良好同时具有市场竞争力的农作物新品种。太空诱变育种可以充分利用太空的独特环境条件,创造出地面难以模拟的条件,进而使诱变材料产生罕见的变异,创造出新的种质资源。

## 4　展望

多年以来,我国常规育种处于艰难的爬坡局面,其重要原因是核心种质资源过于单一、优质种源匮乏,进而影响了我国育种的进展。实践证明,太空诱变既能显著改善农作物、植物等的某些性状,可获得地面育种以及地面常规诱变育种难以得到且具有重要经济性状的罕见突变。通过对这些变异材料的利用,能使我国的育种水平发生突破性的进展,从而育出具有目标性状的植物新品种,对我国农作物进行种质资源的改造具有重大的意义,提高我国在国际市场的竞争力。先进的太空航天技术为快速培育优良品种及特异种质资源开辟了一条新途径,为人类进入太空农业时代展示了美好前景。因此,太空诱变育种的研究不但在育种上和应用上具有重要的意义,而且在探索空间条件对生物体影响机理等方面也具有重要的理论意义,同时为人类开拓空间资源创造了条件,具有十分广阔的发展前景。

### 参考文献

[1]　WANG Y,LI L B,HAN L. Space mutation technique and its application in China's ornamental plant breeding [J]. Forest Res,2002,15(2):229-234.

[2]　谢克强,杨良波,张香莲,等.白莲二次航天搭载的选育研究[J].核农学报,2004,18(4):300-302.

[3]　刘泽,赵仁渠.空间条件对油菜诱变效果的研究[J].中国油料作物学报,2000,22(4):6-8.

[4]　邱芳,李金国,翁曼丽,等.空间诱变绿豆一长英型突变系的分子生物学分析[J].中国农业科学,1998,31(6):38-42.

[5]　郭明忠,郑乐云,林光纪,等.空间搭载贡氏圆尾鳍受精卵的孵化与生长观察[J].核农学报,2012,26(8):1132-1136.

[6]　李秀根,陈爱地,王六发,等.空间电融合的烟草原生质体再生植株分析[J].植物生理与分子生物学学报,2007,33(5):361-368.

[7]　鹿金颖,韩新运,梁芳,等.空间诱变育成辣椒新杂交种航椒6号及其RAPD分析[J].核农学报,2008,22(3):265-270.

[8]　贺朝祥,唐怀君.高产、优质、抗病香型杂交水稻新组合花香7号[J].中国农技推广,2007,23(8):16.

[9]　魏力军,辛平,罗成飞,等."神舟三号"飞船搭载水稻种子M1代变化的分析[J].哈尔滨工业大学学报,2003,35(6):641-643.

[10]　李佛琳,强继业,罗以贵.太空飞行对3个烤烟品种种子活力的影响[J].湖北农业科学,2008,47(9):1046-1050.

[11]　刘建福,黄安民,钟书淳,等."神舟八号"航天搭载武夷岩茶品种形态变异研究[J].福建茶叶,2015(5):8-10.

[12]　罗文龙,陈立凯,王慧,等."神舟八号"搭载航恢173种子的当代生物效应及SSR分析[J].中国农业通报,2014,30(15):11-16.

[13]　范海阔,李晓兵,汤浩茹,等."神舟四号"航天搭载水稻变异性状的田间调查[J].分子植物育种,2005,3(3):357-362.

[14]　蒲志刚,张志勇,郑家奎,等.水稻空间诱变的遗传变异及突变体的AFLP分子标记[J].核农学报,2006,20(6):486-489.

[15]　蒲晓斌,张锦芳,李浩然,等.甘蓝型油菜太空诱变后代农艺性状调查及品质分析[J].西南农业学报,2006,19(3),373-377.

[16]　杨红善,常根柱,包文生,等.紫花苜蓿航天诱变田间形态学变异研究[J].草业学报,2012(10):222-228.

[17]　汤泽生,杨军,赵燕,等.航天诱变凤仙花SP1代花、果实和种子的研究[J].西华师范大学学报,2005,26(1):47-51.

[18]　李谨,耿金鹏,曹天光,等.太空环境对仙客来诱变效应的研究[J].北方园艺,2015(4):112-115.

[19]　杨芬,李莹辉,丁柏,等.空间飞行条件下心肌细胞发生功能减退与微管解聚[J].科学通报,2008,53(5):561-567.

[20]　郑慧琼,王六发,陈爱地,等.烟草细胞的空间电融合[J].科学通报,2003,48(13):1438-1441.

[21]　刘敏,薛淮,鹿金颖,等.空间环境对植物试管苗生长发育及遗传变异的影响[J].科技导报,2004(6):23-25.

[22]　薛淮,刘敏,鹿金颖,等.空间环境对月季组培苗生物学特性的影响[J].自然科学进展,2005,15(2):173-178.

[23]　郭慧琴,任卫波,解继红,等.卫星搭载后紫花苜蓿DNA甲基化变化分析[J].中国草地学报,2013,35(5):29-33.

[24]　郑少清,叶定勇,杨俊.航天条件对烟草几个性状变异的影响[J].中国烟草科学,2004(1):1-4.

[25]　马成,马伟超,安建平,等."神舟八号"航天搭载诱变选育果胶酶高产菌株[J].食品工业科技,2013(13):184-201.

[26]　王俊锋,刘金毅,方向群.重组人干扰素α1b空间诱变菌种初步筛选研究[J].军医进修学院学报,2013,34(1):148-150.

[27]　蒋培霞,张瑞萍,王海胜.紫色杆菌素合成工程菌太空诱变效应及其高产菌株的筛选[J].化工学报,2010,61(2):455-461.

[28]　汲涌,陈宏权,荆士华.维生素C生产菌"神舟七号"搭载育种[J].微生物学杂志,2010,30(2):38-42.

[29]　史东健,王昌禄,龚国利,等.太空搭载对酵母菌抗逆性的影响[J].中国酿造,2008,17(194):42-44.



PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

[30] 王璋,刘新征,王亮,等.链霉菌搭载"神舟四号"飞船的空间育种效果[J].食品工业科技,2003,24(8):17-20.
[31] 郭立格,刘其友,杨润蕾,等.从空间搭载维生素C生产酶株中筛选高产酶株[J].河北大学学报,2004,24(3):284-287.
[32] 郭西华,关颖,杨腊虎,等.航天诱变育种第4代知母的XRF、PXRD分析[J].药物分析杂志,2008,28(12):2100-2102.
[33] 常德,刘进文,方向群.空间环境诱导屎肠球菌突变株LCT-EF18的蛋白质组学分析[J].军医进修学院学报,2013,34(1):69-73.
[34] 王雅娟,刘进文,方向群,等.空间环境诱导褪色沙雷菌LCT-SM166的蛋白质组学分析[J].军医进修学院学报,2013,34(1):84-89.
[35] 仓怀兴,张贺桥,韩毅,等.神舟八号飞船空间蛋白质结晶实验[J].科技导报,2012,30(16):20-25.
[36] 骆艺,王旭杰,梅曼彤.空间搭载水稻种子后代基因组多态性及其与空间重离子辐射关系的探讨[J].生物物理学报,2006,22(2):131-138.
[37] 李华盛,鹿金颖,潘毅,等.航天环境对拟南芥幼苗内参基因表达稳定性的影响[J].航天医学与医学工程,2014,27(1):50-53.
[38] KUANG A,XIAO Y,MUSGRAVE M E.Cytochemical localization of reserves during seed development in *Arabidopsis thaliana* under spaceflight conditions[J].Annals of Botany,1996,78:343-351.
[39] 梅曼彤.空间诱变研究的进展[J].空间科学学报,1996,16(增刊):148-152.
[40] RASMUSSEN O,BAGGENMD C,LARSSEN H C,et al.The effect of 8 days of microgravity on regeneration of intact plant from protoplasts[J].Physiol Plant,1994,92:404-411.
[41] 刘录祥.空间技术育种现状与展望[J].国际太空,2001(7):8-11.
[42] 温贤芳,刘录祥.我国农业空间诱变育种研究进展[J].高科技与产业化,2001(6):31-37.
[43] COOK M E,CROXDALE J L,TIBBITTS T W,et al.Development and growth of Potato tubers in microgravity[J].Adv Space Res,1998,21(8/9):1103-1110.
[44] 王雁,李潞滨,韩蕾.空间诱变技术及其在我国花卉育种上的应用[J].林业科学研究,2002,15(2):229-234.
[45] 王彩莲,慎玫,陈秋芳,等.空间环境对水稻的细胞学效应研究[J].核农学报,1998,12(5):269-273.
[46] 李金国,李源祥,华育坚,等.利用搭载卫星水稻干种子选育出"赣早籼47号"的研究[J].航天医学与医学工程,2011,14(4):286-290.
[47] 邢金鹏,陈受宜,朱立煌,等.水稻种子经卫星搭载后大粒型突变系的分子生物学分析[J].航天医学与医学工程,1995,8(2):109-112.
[48] 李社荣,刘亚楠,李敏,等.玉米空间诱变效应及其应用的研究I.空间条件对玉米叶片超微结构的影响[J].核农学报,1998,12(5):274-280.
[49] 李金国.卫星搭载玉米雄性不育突变系的遗传稳定性研究[J].航天医学与医学工程,2002,15(1):51-54.
[50] 李金国,刘根齐,张健,等.高粱种子搭载返回式卫星的诱变研究[J].航天医学与医学工程,2001,14(1):57-59.
[51] 薛淮,刘敏,王亚林,等.模拟微重力条件下马铃薯的同工酶检测及RAPD产物分析[J].核农学报,2000,14(4):218-224.
[52] 刘敏,李金国,王亚林,等.卫星搭载的甜椒87-2过氧化物同工酶检测和RAPD分子检测初报[J].核农学报,1999,13(5):291-294.
[53] 邓立平,郭亚华,杨晓辉,等.利用空间条件探讨番茄青椒的遗传变异初报[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,1995,11(3):85-89.
[54] 韩东,李金国,梁红健,等.利用RAPD分子标记检测空间飞行诱导的番茄DNA突变[J].航天医学与医学工程,1996,9(6):412-416.
[55] 李金国,李敏,王培生,等.番茄种子宇宙飞行后的过氧化物同工酶及RAPD分析[J].园艺学报,1999,26(1):33-36.
[56] 李金国,王培生,张健,等.中国农作物航空航天诱变育种的进展及其前景[J].航天医学与医学工程,1999,12(6):464-468.
[57] 刘泽,赵仁渠.空间条件对油菜诱变效果的研究[J].中国油料作物学报,2000,22(4):6-8.
[58] 王瑞珍,程春明,胡水秀,等.春大豆空间诱变性状变异研究初报[J].江西农业学报,2001,13(4):62-64.
[59] 邱芳,李金国,翁曼丽,等.空间诱变绿豆一长英型突变系的分子生物学分析[J].中国农业科学,1998,31(6):38-42.
[60] 张秀荣,李培武,程勇,等.航芝1号芝麻新品种的选育及配套栽培技术[J].中国油料作物学报,2003,25(3):34-37.
[61] 徐云远,贾敬芬,牛炳韬,等.空间条件对3种豆科牧草的影响[J].空间科学学报,1996(16):136-141.
[62] 边银丙,翁曼丽,孙勇,等.香菇菌丝体太空诱变效应研究II.太空环境对香菇同工酶和子实体性状的影响[J].食用菌学报,2001,8(3):6-10.
[63] 胡章立,刘永定.藻类空间生物学效应机制研究[J].空间科学学报,1997(17):24-34.
[64] 刘志恒.几种微生物空间生物学效应研究[J].空间科学学报,1997(17):82-89.
[65] 徐继,闰田,赵琦.空间环境对石刁柏幼苗向性生长及代谢过程的影响[J].生物物理学报,1997,13(4):660-664.
[66] QI J J,MA R C,CHEN X D,et al.Analysis of genetic variation in *Ganoderma lucidum* after space flight [J].Ads Space Res,2003,31(6):1617-1622.

# Research Progress on Space Mutation Breeding

LI Jin,GENG Jinpeng,CAO Tianguang,HAN Yingrong,LI Duofang,ZHAN Yong
(School of Sciences,Hebei University of Technology,Tianjin 300401)

**Abstract**:The study of space mutation breeding was a comprehensive technologies carried by spacecraft which combined space technology, modern agricultural technology and molecular biology technology. It has been a new kind of interdisciplinary technology in decades. Compared with the traditional breeding,it could greatly improve the yield and resistance of crop germolasm resources in a relatively short period of time. The space mutation breeding technology could create a large number of high-quality germplasm resources, which was an effective way for easing plants and crops germplasm resources shortages and it was also an important development direction of biological breeding. In this paper, the concept and characteristics of the space mutation breeding, biological effects, as well as the research progresses at home and aboard were summarized,and the future development trend was prospected.

**Keywords**:space mutation;mutation breeding;traditional breeding;mutation;biological effect



PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn