

航天诱变育种研究进展*

王艳芳¹, 王世恒², 祝水金¹

(1 浙江大学 农业与生物技术学院, 浙江 杭州 310029;

2 杭州市蔬菜科学研究所, 浙江 杭州 310004)

[摘要] 利用返回式卫星搭载作物种子并研究其变异机理, 进而培育新品种, 这已成为一种新型的育种方法。近年来, 我国已利用返回式卫星搭载了 70 多种植物 500 多个品种的作物种子, 航天诱变育种取得了显著成就, 培育出许多新品种(系)。对航天诱变机理的研究方法也逐渐增多, 从单一的形态观察向细胞水平、分子水平发展, 并且取得了一些长足的进展。本文对航天诱变育种的成就、研究方法和机理进行了综述, 同时对存在的问题进行了探讨, 对其前景进行了展望。

[关键词] 卫星搭载试验; 诱变育种; 微重力; 高真空; 强辐射

[中图分类号] S335.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)01-0009-04

宇宙空间具有微重力、高真空和各种辐射等特性, 与地球上的环境条件大不相同。研究这些特殊条件对地球生物的影响, 是各国科学家们关注的问题之一。返回式卫星的成功发射, 拉开了空间生命科学研究的序幕。利用航天器或返回式卫星搭载植物种子并研究其生长发育及遗传变异的工作, 迄今已有 40 多年的历史。我国是目前世界上掌握航天器返回技术的 3 个国家(中国、美国、俄罗斯)之一^[1], 从 1975 年开始到 2004 年, 已成功发射了 17 颗返回式卫星, 其中有 10 颗进行了航天搭载试验^[2]。航天诱变育种是航天技术与作物遗传育种技术相结合的产物, 作为农作物诱变育种的新兴领域, 航天育种可以创造出更多更新的种质资源, 培育出特异的优良品种。本文综述了航天诱变育种的主要成就、特点、研究方法和诱变机理, 并对其前景进行了展望, 旨在为航天诱变育种和诱变机理研究提供有益的借鉴。

1 我国航天诱变育种的主要成就

到目前为止, 我国利用航天诱变技术已培育出许多新品种(系)。在大田作物方面, 已培育出水稻、小麦、玉米、大豆等许多高产、优质、早熟及抗病性和抗逆性强的新品种(系); 在蔬菜方面, 已获得黄瓜、甜椒、番茄、莲子、花菜等多种高产优质突变体, 培育出许多新品种(系), 并投入农业生产; 在花卉、微生

物方面, 也取得了较好的研究结果。

1.1 大田作物

徐建龙^[3]利用航天诱变育种技术, 从特早晚粳稻“丙 95-503”的 SP₂ 代中筛选出株高比对照高 10 cm、平均每穗稻粒比对照多 15.2 粒的高株大穗型突变体。2000-01, 江西省抚州地区农科所选育的优质早熟太空早粳, 通过了江西省科委的成果鉴定, 其产量比对照增加 16.3%~17.9%, 并且具有高抗稻瘟病、适应性广^[4]的优点。陈忠正等^[5]通过空间诱变技术培育了新型雄性不育水稻新种质“W S31”, 该品种是无花粉型的雄性不育新种质, 不育性稳定, 且不受温光条件的影响。张国民等^[6]对返回式卫星搭载的 12 个稳定的水稻突变体进行了稻瘟病抗性鉴定, 发现其中有 3 个突变体抗叶瘟和穗瘟。

四川农业大学玉米研究所于 1996 年选送玉米材料进行卫星搭载试验, 从中选出了不育突变体, 并通过直接杂交, 获得了不育系。该不育材料花粉败育彻底, 不育性状表现稳定, 且呈现出由隐性单基因控制的核不育遗传特性^[7]。

喻树迅等^[8]对搭载的棉花材料进行了研究, 发现其变化主要表现在株高、铃重、衣分等方面, 变异谱广, 从中可能选育出具有特殊性状的优良育种材料或品种。师维军等^[9]对卫星搭载的棉花进行了研究, 发现航天诱变对棉花品种的早熟性及衣分有较

* [收稿日期] 2005-05-20

[基金项目] 浙江省科技重点项目(2004C22014); 杭州市科技重大项目(200312B14)

[作者简介] 王艳芳(1975-), 女, 山西中阳人, 讲师, 在读博士, 主要从事诱变育种研究。

[通讯作者] 祝水金(1962-), 男, 浙江海宁人, 教授, 博士, 主要从事植物遗传育种研究。

明显的改良作用。

1.2 蔬菜作物

1996年,中国科学院遗传研究所利用返回式卫星搭载黄瓜种子,经过5年选育,已获得产量高、口味好、果型大的新品系太空黄瓜“96-1”。中国科学院植物研究所从卫星搭载的黄瓜后代中,获得了雌花多的丰产突变体。

刘敏等^[10]通过卫星搭载处理甜椒种子,育成甜椒87-2,其单果平均重300g左右,Vc含量提高了20%,可溶性固形物含量提高了25%左右,产量为4000~5000kg/hm²,比对照品种“龙椒2号”增产20%~30%,其高产优质等优良性状稳定,已在生产上大面积试种。

李金国等^[11]对航天搭载的番茄种子进行了数代选育,获得优良新品系“TF873”,其幼苗比对照强壮,SP₂代植株高度比对照增加44.74%,果穗增多13.3%,病情减轻56.8%。

1.3 花卉

1988年,由第11颗返回式卫星搭载处理的石刁柏种子经种植后,出现了雌雄同株的抗盐碱突变体。1994年,由第16颗返回式卫星搭载的百合种子,其大多植株的花期比对照提前2~7d,少数植株花期甚至提早20d,且耐霜性增强,并获得了当代鳞茎较对照大1倍的突变体。1996年,中科院遗传研究所在卫星上搭载了20种花卉种子,获得了花期长、分枝多、花朵大、矮化性状明显的一品红新品系;在红色的矮牵牛花中,获得了花色相间,一株上可长出不同颜色花朵的突变体;三色堇花色变为浅黄色,花期更长。

1.4 微生物

1987年以来,中国科学院微生物研究所等单位,先后利用卫星搭载了真菌、酵母、放线菌、细菌等30多种微生物菌种^[12],经培养后观察发现,处理后菌种的性状均产生了一些变异,从中选择培育出了一些能提高抗生素和酶产量的新菌种,现已投产应用。印红等^[13]利用返回式卫星搭载红曲霉菌,从中筛选到8株耐晒又高产的洛伐他汀(Lovastatin)菌株。

2 航天诱变育种的特点

航天诱变和人工理化诱变一样,都会出现遗传变异和非遗传变异,有利突变和不利突变,都有突变体性状稳定快、育种周期短等特点,但航天诱变育种又有一些自己独特的特点。

2.1 突变的广谱性

航天诱变比人工诱变性状变异范围更广,幅度更大,出现特异突变的机率更高。“卫紫香糯”就是经空间诱变而得到的一个特殊突变体,其谷壳紫色,茎秆和中缘紫色,米粒紫色,是优质晚季紫色香糯^[14]。1987年,中国科学院遗传研究所与黑龙江省农科院园艺所协作,用卫星搭载处理甜椒,其第三代出现了600g以上的大果^[15]。

2.2 诱变频率高

经过航天诱变后,各种作物的性状变异分布广,变异系数大,变幅极差大。李源祥等^[14]对12个水稻亲本品种后代的性状表现及遗传情况进行统计,变异频率为1.14%~12.35%,平均为4.66%。

2.3 植株损伤轻

航天搭载对植物的生长发育无显著影响,更无明显的限制作用,但对植株的生育进程、器官和果实大小等数量性状有一定影响,其中对植物生育进程的影响最为显著^[16]。Liu Lu-xiang^[17]比较了航天诱变与传统射线处理种子在当代生物的效应表现后发现,两者的最大区别在于前者损伤轻,且有刺激生长的作用。

3 航天诱变育种的主要研究方法

航天诱变育种是一种新型的育种手段,其研究方法很多,但均处于摸索阶段,尚未形成一个比较成熟的研究体系。目前所用的研究方法主要有以下几种。

3.1 形态学鉴定

这是直接获得突变体的方法,也是航天育种中采用最多的方法。在获得形态性状变异个体后,再进行系统选择及各种分析、测试和鉴定工作。

3.2 细胞学观察

李金国等^[18]对搭载的大麦和小麦的花粉母细胞进行观察,发现搭载卫星的种子,当代就可诱导出染色体桥、落后染色体及染色体数目与正常体细胞不同的个体。王彩莲等^[19]发现,航天搭载水稻的细胞染色体畸变率明显高于地面对照组,而有丝分裂指数明显大于γ射线处理组。

3.3 营养成分分析

刘敏等^[10]测定了搭载甜椒的Vc含量,结果发现比对照提高了20%。赵玉锦等^[20]分析了返回式卫星搭载的纯系高粱品种“晋粮5号”SP₂代种子品质,发现种子中亮氨酸含量和可溶性糖含量明显提高,单宁含量显著降低,SP₂代种子品质与对照相比

有明显提高。

3.4 生理生化分析

同工酶是植物基因表达较直接的产物, 其变异与性状遗传密切相关, 每个品种的同工酶带多少基本稳定。利用同工酶的这一特性对空间诱变的变异植株进行初筛, 可减少分子生物学检测的盲目性和工作量, 为快速、有效地分析诱变后代基因组 DNA 分子标记的检测结果奠定良好基础^[15]。

3.5 分子标记分析

通过对航天诱变材料的分子生物学分析, 不仅可以对航天诱变育种机理进行系统研究, 而且可能获得可用于分子标记辅助育种和图谱制作的分子标记, 从而更好地运用空间变异进行植物育种。邱芳等^[21]用 RAPD 对空间诱变的长荚绿豆材料进行了分析, 找到了 3 个 RAPD 标记, 并将其中 1 个转换成了稳定的 SCAR 标记。

3.6 诱变材料的保存

航天诱变材料比较宝贵, 突变材料的保存对于诱变机理和遗传特性的研究工作至关重要。浙江大学和杭州市蔬菜所合作, 对航天搭载的番茄突变体进行了组织培养保存和群体扩大研究, 结果表明, 经茎尖培养再生的植株可保留可遗传的变异和不可遗传的变异, 为航天诱变机理研究提供了充足的试验材料(待发表)。

4 航天诱变的机理与理论

空间环境导致作物遗传变异的原因尚不完全清楚, 一般认为空间诱变的主要因素有以下几点。

4.1 微重力假说

在卫星近地面空间条件下, 环境重力明显不同于地面, 不及地面重力十分之一的微重力是影响飞行生物生长发育的重要因素之一。在地球重力场中生长的植物均具有向重性。植物进入空间环境, 重力极大地降低, 失去了在静止状态下的向重性生长反应, 导致其对重力的感受、转换、传输、反应发生了变化, 从而产生了直接效应和间接效应^[22]。多数高等植物具有特殊的重力敏感器官, 能够识别重力矢量的改变, 并启动系统的响应, 发出信号引起广泛的生理反应, 表现出微重力的直接效应^[23]。近年来, 对微重力环境影响的研究多集中在其对生物系统生理、生化过程的影响。有研究^[24]表明, 微重力对植物的向性、生理代谢、激素分布、Ca²⁺ 含量分布和细胞结构等均有明显影响。微重力还可能干扰 DNA 损伤修复系统的正常运行, 即阻碍或抑制 DNA 断链的

修复^[25]。Halstead 等^[26]在对大豆及拟南芥根细胞的研究中发现, 在航天搭载的细胞中出现了细胞核的异常分布现象, 并且浓缩染色质明显增加, 这一现象与细胞有丝分裂减少有关。

4.2 空间辐射假说

卫星飞行空间存在着各种质子、电子、离子、粒子、高能重粒子(HZE)、X 射线、γ射线及其他宇宙射线。这些射线和粒子能穿透宇宙飞行器外壁, 作用于飞行器内的生物, 产生很高的生物效应和有效的诱变作用。Mei 等^[27]对搭载的玉米干种子进行了辐射剂量测定, 认为有 85% 的种子至少被高能重粒子击中一次。Horneck^[28]研究表明, 空间辐射主要导致生物系统遗传物质的损伤, 如突变、肿瘤形成、染色体畸变、细胞失活、发育异常等。Maksirnova^[29]研究发现, 莴苣种子在空间飞行中被高能重离子击中后, 其染色体畸变率大大增加, 这说明空间飞行引起的染色体损伤与空间辐射有着很大关系。

4.3 转座子假说

随着基因组研究的深入和发展, 中国科学院遗传研究所的专家发现了新的诱变机制, 即转座子假说^[30]。该假说认为, 太空环境将潜伏的转座子激活, 活化的转座子通过移位、插入和丢失, 导致基因变异和染色体畸变。这一新的发现为航天诱变育种机理研究增加了新的内容, 加速了航天诱变育种机理的研究进程。

5 问题与展望

目前, 我国在植物航天诱变育种方面的研究工作尚处于初级阶段, 还存在许多问题, 主要表现在以下几个方面: (1) 搭载材料仅限于种子和微生物等, 研究工作多数还停留在大田突变体的直接筛选上; (2) 基础理论研究十分薄弱, 航天诱变机理尚不清楚, 这明显制约着航天诱变育种工作的纵深发展。

针对上述航天诱变育种中存在的问题, 今后我国的植物航天诱变育种应在以下方面加强研究: (1) 加强航天诱变机理的研究, 更深入地探讨主要诱变因素及其作用的生化和分子生物学机理; 研究不同植物、品种、组织、离体培养物、细胞、原生质体等对空间条件的敏感性差异, 为提高航天诱变育种效率提供参数。(2) 深入进行航天诱变的生物效应研究, 从细胞学、生理学、生物化学等方面继续探讨空间条件对植物的影响。(3) 扩大空间诱变, 创造植物稀、特、优、新种质(品种)研究和应用的范围, 尽快形成航天诱变育种技术体系。(4) 自 20 世纪 40 年代以

来,人们发现利用理化因素复合处理植物种子能提高突变频率和诱变效果。航天诱变也可以与空间条件以外的理化诱变因子相结合,对材料进行复合处理。(5)将航天诱变技术与地面综合模拟技术相结合,加快航天诱变机理研究的进程。

总之,航天诱变最终能否成为推动植物诱变育种学这门交叉学科的新武器,不仅需要进一步探求其所依赖的理论机制,更应从植物育种实践中进行鉴定,尤其要看能否高效率诱变出使用传统诱变因素难以获得的突变体和自然界罕见的种质材料。通

过对航天诱变材料的分子生物学分析,不仅可以对航天诱变育种机理进行系统研究,而且可能会获得可用于分子标记辅助育种和分子图谱制作的分子标记,从而更好地运用空间变异进行植物育种。此外,航天诱变育种研究不仅在育种上有重要意义,而且可以探索空间条件对生物影响的机理,为人类开拓空间资源提供理论依据。航天诱变育种已成为空间生命科学的重要方面,为生物育种开创了一条新途径。

[参考文献]

- [1] 郑家团,谢华安,王乌齐,等. 水稻航天诱变育种研究进展与应用前景[J]. 分子植物育种, 2003, 1(3): 367-371.
- [2] 温贤芳,张 龙,戴维序,等. 天地结合开展我国空间诱变育种研究[J]. 核农学报, 2004, 18(4): 241-246
- [3] 徐建龙. 空间诱变因素对不同粳稻基因型的生物学效应研究[J]. 核农学报, 2000, 14(1): 56-60
- [4] 李忠娴. 航天育种研究动态与展望[J]. 江西农业科技, 2000(3): 43-44
- [5] 陈忠正,刘向东,陈志强,等. 水稻空间诱变雄性不育新种质的细胞学研究[J]. 中国水稻科学, 2002, 16(3): 199-205
- [6] 张国民,孙野青,李明贤,等. 航天诱变水稻对叶瘟和穗瘟的抗性鉴定[J]. 植物保护, 2003, 29(2): 36-39
- [7] 曹墨菊,荣廷昭,潘光堂. 首例航天诱变玉米雄性不育突变体的遗传分析[J]. 遗传学报, 2003, 30(9): 817-822
- [8] 喻树迅,范术丽,原日红,等. 棉花航天诱变试验初报[J]. 中国棉花, 1998, 25(11): 11-13
- [9] 师维军,李雪源,徐利民,等. 棉花品种航天诱变研究[J]. 新疆农业大学学报, 1999, 22(1): 73-76
- [10] 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
- [11] 李金国,刘 敏,王培生,等. 空间条件对番茄诱变作用及遗传的影响[J]. 航天医学与医学工程, 2000, 13(2): 114-118
- [12] 翁曼丽,李金国,高红玉,等. 大肠杆菌菌种空间变异的研究[J]. 航天医学与医学工程, 1998, 11(4): 245-248
- [13] 印 红,谢申义,章光明,等. 利用返回式飞船选育优良红曲霉菌[J]. 核农学报, 2004, 18(4): 297-299
- [14] 李源祥,蒋兴村,李金国,等. 水稻空间诱变性状变异及育种研究[J]. 江西农业学报, 2000, 12(2): 17-23
- [15] 李金国,刘 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
- [16] 王世恒,祝水金,张 雅,等. 航天搭载茄子种子对其SP1 生物学特性和SOD 活性的影响[J]. 核农学报, 2004, 18(4): 307-310
- [17] Liu Lu-xiang. Space-induced mutation technique and its application in crop quality improvement in China[C]//Workshop on Methodology for Plant Mutation Breeding. Japan: Screening for Quality Regional Nuclear Cooperation in Asia, 2000: 71-80
- [18] 李金国,蒋兴林,王长城. 空间条件对几种粮食作物的同工酶和细胞学特性的影响[J]. 遗传学报, 1996, 23(1): 48-55
- [19] 王彩莲,陈秋方,慎 玫. 水稻空间诱变效应的研究[J]. 中国农学通报, 1998, 14(5): 21-23
- [20] 赵玉锦,赵 琦,白志良,等. 空间诱变高粱突变体的研究[J]. 植物学通报, 2001, 18(1): 81-89
- [21] 邱 芳,李金国,翁曼丽,等. 空间诱变绿豆长英型突变系的分子生物学分析[J]. 中国农业科学, 1998, 31(6): 38-43
- [22] 蒋兴村. 农作物空间诱变育种进展及其前景[J]. 卫星应用, 1996, 4(3): 21-25
- [23] 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
- [24] 江丕栋. 空间生物学[M]. 青岛: 青岛出版社, 2000
- [25] Horneck G. Impact of space flight environment of radiation response of *Tritium aestivum* coleoptiles under influences of low gravity[J]. Plant, Cell and Environment, 1995, 18: 53-60
- [26] Halstead T W. Introduction: an overview of gravity scanning, perception and signal transduction in animal and plant[J]. Adv Space Res, 1994, 14(8): 315-316
- [27] Mei M, Qiu Y, Sun Y, et al. Morphological and molecular changes of maize plants after seeds been flown on recoverable satellite[J]. Adv Space Res, 1998, 22(12): 1691-1697.
- [28] Horneck G. Radiobiological experiments in space: a review [J]. Nucl Tracks Radiat Meas, 1992, 20(1): 185-205.
- [29] Maksimova Y N. Effect on seeds of heavy charged particles of galactic cosmic radiation[J]. Space Biol Aerosp Med, 1985, 19(3): 103-107.
- [30] 沈桂芳,倪丕冲,孙丙耀. 中国航天育种[J]. 世界农业, 2002, 273(1): 37-40

(下转第 19 页)

days after anthesis, then dropped gradually, while for Yum ai 50 and W en m ai 4 peaked w ithin 6 days, then dropped sharply and the rose slightly w ithin 24 days after anthesis The total soluble sugar content in Zhengm ai 9023 peaked w ithin 6 days and 18 days after anthesis, and the first peak w as much higher than the second, while Yum ai 50 and W en m ai 4 peaked w ithin 12 days after anthesis The starch and its component content in three varieties w ith different gluten types rose constantly after anthesis, and the content in Yum ai 50 w as much higher than that in the Zhengm ai 9023 and W en m ai 4 The activity of ADP glucose pyrophorylase (A GPP) in three varieties w ith different gluten types peaked w ithin 18 days after anthesis The activities of UDP glucose pyrophorylase (U GPP) and soluble syntheses (SSS) in the grains of W en m ai 4 peaked respectively w ithin 12 days and 18 days after anthesis, while for Yum ai 50 and Zhengm ai 9023 peaked respectively w ithin 18 days and 12 days after anthesis

Key words: wheat variety; carbohydrate; starch; synthesis enzyme; filling stage

(上接第 12 页)

Abstract D: 1671-9387(2006)01-0009-EA

Advance in the space flight mutation breeding

WANG Yan-fang¹, WANG Shi-heng², ZHU Shui-jin¹

(1 College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310029, China;

2 Hangzhou Vegetable Research Institute, Hangzhou, Zhejiang 310004, China)

Abstract: It is a new breeding method to bring seeds to space by recoverable satellite. In recent years, we have brought more than 70 plants and 500 cultivars to space, obtained great achievements and developed many new cultivars through the special environment of outer space. More and more methods of studying the mechanism for the space mutation have appeared, developing from observation to cell and molecular techniques, and some great progresses have been made. In addition, the problems and tendency in space mutation breeding as well as the major research aspects for the space mutation breeding in the future were discussed in this paper.

Key words: recoverable satellite; micro-gravity; fine vacuum; strong radiation; mutation breeding