

## 植物空间环境的诱变育种与现存问题分析

宋兴舜<sup>1,2</sup>, 刘雪梅<sup>1,2</sup>, 李开隆<sup>2</sup>, 宋贵波<sup>3</sup>, 杨传平<sup>2</sup>

(1. 东北林业大学生命科学学院遗传学科, 哈尔滨 150040;

2. 东北林业大学林木遗传育种与生物技术教育部重点实验室, 哈尔滨 150040;

3. 黑龙江省朗乡林业局, 黑龙江 伊春 152519)

**摘要:**通过返回式卫星进行搭载,利用空间环境进行诱变育种作为现代育种的一条新途径,已成为植物诱变育种的新兴领域。我国目前在航天诱变育种方面取得了显著的成就,培育出许多新品种(系)。但同时也存在着诸多亟待解决的问题,尤其对理论研究质疑较多,甚至存在很多矛盾性的结果,阻碍了航天育种的进一步发展。综述了航天育种的诱变机理、诱变特点及对植株的影响,并着重对存在的问题进行了分析和展望。

**关键词:**空间环境;植物;诱变育种;诱变机理

中图分类号:S335.2<sup>+</sup>1

文献标识码:A

文章编号:1008-0864(2008)04-0007-04

## Plant Mutation Breeding in Space Environment and Analysis of Existing Problems

SONG Xing-shun<sup>1,2</sup>, LIU Xue-mei<sup>1,2</sup>, LI Kai-long<sup>2</sup>, SONG Gui-bo<sup>3</sup>, YANG Chuan-ping<sup>2</sup>

(1. Department of Genetics, College of Life Science, Northeast Forestry University, Harbin 150040;

2. Key Laboratory of Forest Tree Genetic Improvement and Biotechnology, Ministry of Education, Northeast Forestry University,

Harbin 150040; 3. Langxiang Forestry Bureau of Heilongjiang Province, Yichun 152519, China)

**Abstract:** Putting up in backtracked secondary planet and using space environment to carry out mutation breeding has become a new way for modern plant breeding and a new area for plant mutation breeding. Space mutation breeding in China has gained notable achievements, and bred many new varieties (lines). But at the same time, there still exist many problems to be solved, especially some theoretical research activities having a lot of contradictory results, which hindered the further development of space breeding. This paper reviews the mechanism of mutation breeding in space, mutagenic characteristics, its effect on plants, and carries out analysis and prospect on the existing problems.

**Key words:** space environment; plant; mutation breeding; mutation mechanism

利用空间环境进行诱变育种,是利用卫星、飞船等返回式航天器,将植物种子、组织、器官或生命个体送到宇宙空间,在太空高能离子辐射、微重力、高真空、交变磁场等因素的诱导下,使植物材料发生基因突变,再经过地面繁殖、栽培、测定试验,筛选出能够稳定遗传的优质、高产、抗逆性强的新品种<sup>[1]</sup>,通常又称为航天育种。航天育种为农作物遗传改良和种质创新提供了崭新的途径,引起了国内外遗传育种界的广泛重视。相关研究也经常见于各种报道<sup>[2-5]</sup>,其中多数报道对航天育种诱变的有效性前景普遍看好,但随之出现

的问题也有待于解决并进行深入的分析和思考,如对诱变机理的研究存在诸多说法,这些问题能否很好的解决将直接关系到航天育种的进一步发展,对此需要引起足够的重视。本文侧重综述航天育种的诱变机理、诱变特点和对植株的影响,并对存在的问题进行了分析和展望,旨在为航天育种的深入研究提供有益的参考。

### 1 空间诱变因素

在过去近 20 年的空间诱变育种研究中,有关

收稿日期:2008-04-01;修回日期:2008-06-19

基金项目:黑龙江省科技攻关项目(GA06B301-2-3)和黑龙江省博士后课题(LRB06-299)资助。

作者简介:宋兴舜,博士,研究方向为植物遗传育种。Tel:0451-82191755; E-mail: sfandi@163.com。通讯作者:刘雪梅,副教授,博士,研究方向为植物分子遗传育种。Tel:0451-82191755; E-mail: lxmsyt@126.com

空间诱变机理的探索主要基于空间环境因素的作用研究<sup>[2,6]</sup>。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。

### 1.1 微重力

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。多数高等植物具有特殊的重力敏感器官,能够识别重力向量的改变,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<sup>[7]</sup>。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。有研究表明<sup>[8]</sup>,微重力对植物的向性、生理代谢、激素分布、Ca<sup>2+</sup>含量分布和细胞结构等均有明显影响。Halstead等<sup>[9]</sup>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,浓缩染色质明显增加,这一现象与细胞有丝分裂减少有关。Horneck<sup>[10]</sup>研究认为微重力可能干扰DNA损伤修复系统的正常运行,即阻碍或抑制DNA断链的修复。但是也有一些研究<sup>[11,12]</sup>表明,微重力对DNA复制、修复及突变频率几乎没有影响。Monje等<sup>[13]</sup>研究表明微重力不能改变温和光照条件下小麦的气体交换和饱和CO<sub>2</sub>浓度。Levine等<sup>[14]</sup>发现微重力本身对细胞壁二聚体合成及微纤维的沉积没有影响。这些矛盾性的结果可能与复杂的太空环境和实验材料有关,相关理论机制还有待于进一步的研究。

### 1.2 空间辐射

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、C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<sup>[15]</sup>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<sup>[16]</sup>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。Maksimova<sup>[17]</sup>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。

## 2 太空环境对植株的影响

### 2.1 农艺学性状的变异

经过太空环境处理的植物种子发芽率表现因品种而异,油松和三色堇等发芽率上升,活力提高;玉米和水稻等种子发芽率无明显改变;而西瓜和西红柿的发芽率下降。航天搭载明显影响了植物的生长发育进程,如使洋葱鳞茎提早生根,唐菖蒲鳞茎提早开花,但使拟南芥发育迟缓,形成4叶莲座丛的时间推迟<sup>[18]</sup>。航天搭载后的变异更明显地表现在株高、叶片大小或长短,果实大小、形状及颜色、结实率和抗病抗逆等方面,如航天诱变西红柿和辣椒品种在温室中的长势增强,产量增加<sup>[19]</sup>。统计表明,航天搭载使雄性不育株出现的频率增加,单株有效穗数、每穗粒数、千粒重、穗长、单株分蘖力等性状呈偏正态分布,以正向变异为主,利于选择,SP2还常出现多个优良性状结合的单株<sup>[20]</sup>。另外水稻和青椒的选育结果除了出现上述一些优良性状外,成熟期也明显缩短。中国科学院遗传与发育生物学研究所经过半年的试管筛选和培育试种,发现曾受太空特殊环境处理的紫花苜蓿、沙米、红豆草、冰草等具有抗旱抗寒性能的牧草显现出变异特征,尤其是紫花苜蓿,与未经搭载的对照株相比,存活期变长,而且不易枯萎。可见太空环境对农艺学性状的影响较为复杂。

### 2.2 细胞结构和染色体的变异

太空环境或卫星发射过程中的强烈冲击,可使植物细胞壁产生破损,造成种子吸水能力提高、导电性增强<sup>[21]</sup>。经搭载的玉米后代叶片细胞壁薄厚凹凸不平,细胞大小不等,表面不规则,部分细胞退化消失,仅残留细胞壁,细胞液泡化程度加剧,将细胞器挤至四周,并导致叶绿体变形等<sup>[22]</sup>。空间诱变的红豆草叶片细胞壁不规则增厚,细胞质稀薄,液泡大,叶绿体变小,形状多不规则,叶绿体内淀粉粒细小、数量多,基粒片层直径小,但数量明显多于对照株,匍匐型突变体表现尤为明

显<sup>[23]</sup>。染色体方面的常见变化有染色体桥、断片和微核,其次有超倍体、亚倍体等数目的改变,另外在分裂过程中, G<sub>1</sub> 期延长,有丝分裂指数减少,有丝分裂不同阶段出现细胞歧化和反常的分裂数,染色体在分裂中期不沿赤道板排列等现象<sup>[24]</sup>。

### 2.3 生物大分子的变异

**2.3.1 同工酶的变化** 一般搭载植物 SP1 代幼苗的酯酶和过氧化物同工酶酶谱会有新酶带出现或酶带活性增强,如搭载的西红柿酯酶和过氧化物同工酶都比对照组增加了 2 条谱带;搭载茄子种子的 SP1 代变异株幼苗体内超氧化物歧化酶的活性比未变异株或对照株增强了 1 倍多<sup>[24]</sup>,但经“神州 4 号”飞船搭载的红豆草当代种子出现匍匐型突变体,其叶片同工酶谱及细胞超微结构的分析结果表明,匍匐型突变体、空间诱变直立型植株与对照株在过氧化物酶同工酶带数没有明显差异<sup>[25]</sup>。

**2.3.2 叶绿素与营养成分的变化** 搭载过的黄瓜、西红柿后代叶片中叶绿素含量提高,而叶绿素 a/叶绿素 b 比值比对照组低,光能利用率提高,最终表现为产量提高。空间诱变育种选育的甜椒中维生素 C 的含量明显提高,西红柿中  $\beta$ -胡萝卜素含量大幅度提高<sup>[25]</sup>。

**2.3.3 基因变异** 王斌等<sup>[26]</sup>用 DNA 多态性方法分析航天诱变的绿豆种子,使用 3 个引物可在突变体和原始品系间扩增出稳定的、重复性好的多态性产物,在这 3 个引物的多态性图谱中,3 个突变系间无明显差别,但与原始对照品系间存在共同的差异。曹墨菊等<sup>[27]</sup>对空间诱变获得的玉米雄性不育突变体进行了遗传分析,并通过微卫星技术将不育基因定位在 2 号染色体上。

## 3 现存问题分析与展望

目前,无论是空间诱变的机理,还是空间诱变的特点及对植物的影响,研究工作尚处于初级阶段,并存在着诸多矛盾性的结果和尚不能确定的认识。因此空间诱变育种在以下方面应加强研究。

### 3.1 加强作空间诱变育种的基础研究

太空的条件很复杂,有空间宇宙射线、微重

力、高真空和交变磁场等<sup>[28]</sup>,这些因素的综合效有待进一步研究。由于目前仅限于种子和微生物的搭载,基础理论研究十分薄弱,空间诱变育种机理尚不清楚,这严重影响和制约了空间育种向纵深发展。目前我国在作物空间环境诱变机理、提高突变预见性和选择效率等基础研究方面明显滞后于应用研究,空间诱变因素的假说也仅停留在研究的起步阶段。因此必须加强空间环境机理研究及空间诱变生物学效应的基础研究;加强空间诱变生物学的人才队伍建设,促进多学科交叉,拓宽应用研究领域;在细胞和分子生物学的水平上进行基础研究和地面模拟研究;加强理论方法学及其相关基础研究,明确空间诱变诱变育种作用的机理,特别是要深入探讨空间诱变的分子生物学机理,寻找与空间诱变育种有关的主要环境条件,弄清空间诱变重要性状的遗传规律,为作物空间诱变育种应用奠定理论基础。

### 3.2 加强空间诱变育种技术与其他技术的结合

目前尚未育成综合性状具有突破性的生产品种,这除与诱变技术有关外,还与诱变材料后代的选择处理方法有关。由于作物品种的性状经过诱变发生变异后,还需要通过有效的选择使这些变异遗传下去,并且能够得到加强,这一方面取决于变异性状的遗传力,另一方面也取决于恰当的选择方法。现在的工作多注重对大田突变体进行直接选择,对诱变后代材料的处理及选择方法上的研究还不够,在田间选择和后代材料处理上具有盲目性,致使选择效率低。所以,对于变异性状特别是一些重要的农艺性状在不同世代的选择效应和选择方法的研究,在作物育种上同样具有重要意义。另外,针对空间诱变后的植物材料在后代表型性状中产生的变异,可以利用分子生物学方法克隆得到特异基因,并通过基因工程手段将其转入到作物基因组中,进行定向表达;还可以利用分子标记辅助选择方法,借助与目标基因紧密连锁的遗传标记,分析基因型,鉴定分离群体中含有目标基因的个体,加快育种进程,提高育种效率。

### 3.3 空间诱变育种的实用化有待突破

我国航天诱变技术在不同作物之间发展不平衡。在水稻、小麦、西红柿、青椒等作物上应用较为成功,但在玉米、大豆、油菜以及林业、草业作物

上的应用尚待深入研究。即便对于空间诱变育种技术应用较为成功的作物来说,也还没有得到大面积的推广利用,因此空间诱变新品种在农业增产、农民增收中的作用还远未充分发挥<sup>[2]</sup>。建议从目前已经育成的空间诱变新品种中选择市场前景好、具有后续产业化潜力的品种,纳入国家农业科技成果推广计划。委托重点科研与企业单位,精心组织,加速试验,集中示范和扩大推广,以基地带动生产,提高空间诱变技术育种的显示度。通过企业化的管理机制,把示范推广和技术服务提高到科研与展示并重的地位,逐步建立起集科研、开发、示范、推广于一体的空间诱变技术育种研发网络,实现空间诱变育种技术产业化。

综上所述,空间诱变育种的研究还有诸多的问题亟待解决。但是,我国在空间诱变育种方面一直位于世界前列,在实际应用和理论研究方面做了大量工作,随着资料的逐渐积累,对空间诱变诱变育种的研究会更加深入和系统。相信不久的将来,空间诱变育种会成为加快植物育种进程的更为可行和实用的新途径,对空间诱变机制的深入研究反过来也可以对地面的诱变育种产生更有意义的影响。

### 参 考 文 献

- [1] 季孔庶. 园林植物高新技术育种研究综述和展望[J]. 分子植物育种, 2004, 2(2): 295-300.
- [2] 刘录祥, 赵林妹, 郭会君. 作物航天育种研究现状与展望[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(2): 26-29.
- [3] 李 瑜, 廖新福, 王惠林. 航天育种及其在蔬菜作物上的应用[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(Bo6): 11-15.
- [4] 潘连公, 陈彩能, 包文生, 等. 航天育种遗传机理与选育成效分析[J]. 作物栽培, 2007, 11(1): 33-35.
- [5] 白 斌. 我国小麦航天诱变育种研究进展与思考[J]. 甘肃农业科技, 2007, 35(4): 22-24.
- [6] 王艳芳, 王世恒, 祝水金. 航天诱变育种研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(1): 9-13.
- [7] 王 雁, 李璐滨, 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.
- [8] 江丕栋. 空间生物学[M]. 青岛: 青岛出版社, 2000.
- [9] Halstead T W. Introduction: an overview of gravity scanning, perception and sign transduction in animal and plant[J]. Adv. Space Res., 1994, 14: 315-316.
- [10] Horneck G. Impact of space flight environment of radiation response of *Triticum aestivum* coleoptiles under ixhisms of low gravity[J]. Plant Cell Environ., 1995, 18: 53-60.
- [11] Ohnishi T, Takahashi A, Ohnishi K, et al. Alkylating agent (MNU)-induced mutation in space environment[J]. Adv. Space Res., 2001, 28: 563-568.
- [12] Takahashi A, Ohnishi K, Takahashi S, et al. The effects of microgravity on induced mutation in *Escherichia coli*. and *Saccharomyces Cerevisia*[J]. Adv. Space Res., 2001, 28: 555-561.
- [13] Monje O, Stutte G, Chapman D. Microgravity does not alter plant stand gas exchange of wheat at moderate light levels and saturating CO<sub>2</sub> concentration[J]. Planta, 2005, 222: 336-345.
- [14] Levine L H, Heyengab A G, Levine H G, et al. Cell-wall architecture and lignin composition of wheat developed in a microgravity environment[J]. Phytochemistry, 2001, 57: 835-846.
- [15] Mei M, Qiu Y, Sun Y. Morphological and molecular changes of maize plants after seeds been flown on recoverable satellite[J]. Adv. Space Res., 1998, 22: 1691-1697.
- [16] Horneck G. Radiobiological experiments in space: a review[J]. Nucl. Tracks Radiat. Meas., 1992, 20: 185-205.
- [17] Maksirnova Y N. Effect on seeds of heavy charged particles of galactic cosmic radiation[J]. Space Biol. Aerosp. Med., 1985, 19: 103-107.
- [18] 李社荣, 曾孟潜, 刘雅楠. 植物空间诱变研究进展[J]. 核农学报, 1998, 12(6): 375-379.
- [19] 裴孝伯, 顾晓君, 陈春宏. 航天诱变种番茄和辣椒在现代温室中的表现[J]. 核农学报, 2004, 18(4): 321-322.
- [20] 薛 淮, 刘 敏. 植物空间诱变的生物学效应及其育种研究进展[J]. 生物学通报, 2002, 37(11): 7-9.
- [21] 邓立平. 蔬菜航天诱变育种的初步探讨[J]. 北方园艺, 1995, 19(1): 9-11.
- [22] 李社荣, 刘雅楠, 刘 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): 19-25.
- [23] 张蕴薇, 任为波, 刘 敏, 等. 红豆草空间诱变突变体叶片同工酶及细胞超微结构分析[J]. 草地学报, 2004, 12(3): 223-226.
- [24] 王世恒, 祝水金, 张 雅. 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.
- [25] 李金贵, 谷文英, 朱 奎, 等. 航天育种及其在药用植物上的应用展望[J]. 中兽医医药杂志, 2006, 25(4): 15-17.
- [26] 王 斌, 李金国, 邱 芳. 绿豆空间诱变育种及其分子生物学分析[J]. 空间科学学报, 1996, 16(增刊): 121-124.
- [27] 曹墨菊, 荣廷昭, 潘光堂. 首例航天诱变玉米雄性不育突体的遗传分析[J]. 遗传学报, 2003, 30(9): 817-822.
- [28] 蒋兴村. 空间诱变育种进展的前景[J]. 空间科学学报, 1996, 16(增刊): 77-82.