

文章编号: 1001-1498(2002)02-0229-06

空间诱变技术及其在我国花卉育种上的应用

王雁,李潞滨,韩蕾

(中国林业科学研究院花卉研究与开发中心,北京 100091)

摘要: 在综述微重力环境、空间辐射等对生物样本的诱变研究成果的基础上,论述了应用空间诱变技术进行高科技生物育种的理论基础。回顾了空间诱变技术在我国农作物、花卉新品种选育工作中取得的成就,并探讨了花卉新品种培育中应用空间诱变的不定向性的优势及花卉空间诱变成功的可能性,对未来花卉空间诱变育种的应用前景进行了展望。

关键词: 空间诱变育种;微重力;空间辐射;花卉育种

中图分类号: S335

文献标识码: A

空间环境相对于地球环境具有高真空、微重力、高能空间辐射以及强烈的地磁场,这些特殊条件,对进入空间环境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。空间物理诱变因素主要包括自由空间辐射(空间的电磁辐射与空间的电离辐射)、重力、大气、磁场。空间化学诱变剂种类很多,如辐射保护剂、辐射敏化剂乙二胺四乙酸(EDTA)等。已有的研究表明,空间诱变作物具有变异频率高、变异幅度大、多数性状的变异能够遗传等特点,有些变异是迄今地球上用其它诱变因素处理难以出现的,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^[1,2]。我国自1987年开展农作物、抗生素及酶制剂菌种等的诱变育种研究以来,取得了一定的成绩^[1],2001年1月,我国搭载花卉种质材料的“神州2号”卫星成功返回地面,再次引起人们对花卉空间诱变育种的广泛兴趣。

1 空间诱变育种的理论基础及特点

1.1 空间诱变育种的基本理论

1.1.1 植物的向重性及微重力影响 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,重力极大的降低,失去了在静止状态下(地球重力1g)的向重性生长反应,导致对重力的感受、转换、传输、反应发生变化,产生直接效应和间接效应^[1]。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。而间接效应是植物响应微重力条件所引起的局部环境的变化。

蒋兴村等^[3]认为微重力能够使生物体细胞的形态发生变化,增强了对诱变因素的敏感性,

收稿日期: 2001-06-12

基金项目: “国家林业局西部专项(J00-B-001-11)的部分内容

作者简介: 王雁(1969-),女,黑龙江哈尔滨人,副研究员,园林博士。

使染色体 DNA 损伤加剧而增加变异的发生机率。还有的研究表明^[4],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。美国空间实验室 D1 飞行中发现, *Escherichia Coli* 基因重组率增加的原因是在微重力下细菌性纤毛附着时间较地面长,并通过纤毛的结合交换 DNA^[5]。Halstead 等^[6]在大豆 (*Glycine max* Merr.) 及拟南芥 (*Arabidopsis thaliana* L.) 根细胞的研究中发现,在空间飞行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。同时,在微重力环境中生长的细胞染色体畸变明显增加,每个细胞核仁的数目均减少。微重力除影响植物的向重性外,对植物的代谢、激素分布、Ca²⁺ 分布和细胞超微结构等也有明显的影响^[7]。

1.1.2 空间辐射的影响 空间的辐射线包括重离子 (HZE 粒子) 射线、宇宙射线、紫外线等,都对生物体发生作用。辐射对生物产生的效应有两种,一种是受照射的生物所产生的辐射效应称为遗传效应,另一种是成年或幼龄生物个体产生的副辐射效应称为躯体效应。

研究证明,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^[8]。Maksimova^[9]和 Nevzgodina^[10]用核径迹探测片观察到莴苣 (*Lactuca sativa* L.) 种子在空间飞行中被高能重离子击中后染色体畸变率大大增加,说明空间飞行引起的染色体损伤与空间辐射有着很大的关系。近 20 a 来,重离子辐射生物学研究的结果表明,此类重粒子能更有效地引起并导致细胞内 DNA 分子的双链断裂,且其中非重接性断裂所占的比例较高^[11],从而对细胞有更强的杀伤及致突变和致癌变能力^[12]。梅曼彤等^[13]通过对重离子辐射诱导水稻花粉母细胞染色体畸变的研究,进一步证明重离子辐射在生殖细胞内引起的遗传物质损伤难以修复。

1.1.3 电场和磁场的影响 地球上的植物除受重力作用外,永久性地磁场是它们的生活环境。磁生物学表明,植物具有自己的磁场,植物体内有电位和电流。水分子对电场和磁场有高度的敏感性,它们的结构在电场和磁场的作用下会发生改变。实验证明弱磁场影响植物的生长和形态,如呼吸强度增高、酶含量提高、细胞有丝分裂指数增加、幼苗生长快、侧根和不定根形成受到促进等。有人推测电、磁场对植物的效应可能会弥补空间环境对植物的不良影响^[7]。

1.1.4 复合因素影响 空间环境因子单独作用于生物,使其产生空间效应的同时,微重力和空间辐射的协同作用是生物体产生空间诱变的重要原因。但由于系统的复杂及试验条件的难以控制,不同的材料、不同的试验往往得出不同的结果^[12]。

Maksimova^[9]等报道种子在空间飞行 38 d 后产生了很大的畸变,表明空间飞行诱发的染色体损伤与飞行时间有关。Vanlina^[14]和 Anikeeva^[15]报道还阳参 (*Crepis crocea* Bab.) 种子经空间飞行后增大了飞行前辐射所引起的染色体损伤,认为这是由于空间环境中微重力通过抑制了植物对辐射引起的 DNA 损伤的修复而加剧了损伤。Planel^[16]等认为空间飞行诱发的损伤主要是空间辐射和空间其它因子综合作用的结果,通过改变细胞对辐射的敏感性而加剧损伤。

空间辐射,特别是其中的高能重离子 (HZE 粒子) 能有效地引起细胞中 DNA 双链断裂,微重力环境具有抑制 DNA 损伤修复的机制,二者的协同作用可在一定程度上解释空间环境诱变植物种子产生强烈的突变现象。

1.2 空间诱变的特点

空间条件对生物的诱变有生理性变异和遗传性变异。生理性变异仅在处理当代产生变异,在后代中消失,如在空间处理的萝卜 (*Raphanus sativus* L.) 种子^[11],当代具有抗虫性,但第二

代就消失了。遗传性的变异,一旦获得就不容易消失,如植物的形态变异、形状变异等。

大量的研究表明,空间诱变是随机的,由于空间诱变因素较地面辐射和化学诱变复杂,难于控制,且每次空间试验的条件都不尽相同,所以空间诱变的重演性较差。与常规辐射诱变育种相比,空间诱变效应具有以下特点:(1)突变频率高、变异幅度大、突变谱广。(2)突变的不定向性依然存在,正向和负向变异都会发生。(3)生理损伤轻,伤害性变异小,诱变效率高。(4)变异性状稳定较快,多数在 Sp_4 代可达到状态稳定,育种年限大大缩短。(5)往往出现一些其他理化因素处理较少出现的特殊的变异类型,因而利用空间诱变育种有可能获得地球上罕见或无法获得的变异。

2 空间诱变育种的概况

2.1 空间诱变育种的回顾

2.2.1 国际 目前,世界上只有美国、俄罗斯和中国三个国家成功地进行了卫星或宇宙飞船搭载的空间诱变育种研究。前苏联以模型植物拟南芥为对象进行了从种子到种子的全过程太空试验。1994 年以来俄罗斯与美国宇航局合作先后在和平号轨道站进行了多次小麦从种子到种子的全生活周期的太空试验,取得了令人瞩目的进展。俄罗斯的宇航员在“礼炮号”和“和平号”空间站长期生活期间,曾经播种过小麦(*Triticum aestivum* L.)、洋葱(*Allium cepa* L.)、兰花(*Cymbidium* spp.)等植物,这些植物比在地球上生长快,成熟早。前苏联还曾将枞树(*Abies alba* Mill.)种子送入太空,在后代中获得生长快速的植株。美国在空间实验室和航天飞船上也进行过松树(*Pinus* spp.)、燕麦(*Avena sativa* L.)、绿豆(*Vigna radiata* Wilczek)等植物的试验,发现这些植物在失重条件下生长不仅没有受到影响,而且蛋白质含量提高,说明空间种植作物可以提高产量。美国将番茄种子送上太空达 6 a 之久,回收后做种植试验,结果获得了变异型番茄。美、俄两国已先后培育出百余种太空植物,其中包括番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)、萝卜、甜菜(*Beta vulgaris* L.)、甘蓝(*Brassicaoleracea* var. *capitata* L.)、莴苣、黄瓜(*Cucumis sativus* L.)、洋葱等蔬菜。

2.2.2 国内 中国是世界上开展农作物空间诱变育种最早的国家之一。1987 年我国首次搭载植物种子、低等植物藻类、微生物菌种和昆虫卵。搭载了 25 种植物的种子、无性系材料、植物细胞及愈伤组织,并获得了大量变异^[3]。返回的植物种子仍具备生长发育的能力,并产生多种形态变异;微生物菌种和昆虫卵也部分成活,并伴有变异的发生,当时即引起科技界的广泛兴趣和关注。随着对人造卫星和高空气球等技术的不断完善,为空间诱变育种提供了有利的条件。

1994 年发射的“940730”返回式卫星增加搭载了部分花卉种子。其后,农业部将农作物空间诱变育种列入“九五”高新计划与基础研究重点科研计划,在“九五”期间发射一颗农业育种卫星,根据不同生态区域种植农作物重点的不同选择搭载作物种类。1999 年 11 月发射的“神州”号飞船搭载了包括粮食作物、经济作物、果树、蔬菜、中药材等 100 余种、2 353 g 种子。2001 年 1 月发射的“神州 2 号”飞船,搭载了包括花卉、果树种苗在内的多种植物材料。

迄今为止,我国已完成了 300 多项空间搭载试验^[1],取得了一定数量的优良变异,选育出许多突变体、新品系、新品种。搭载过水稻(*Oryza sativa* L.)、小麦、高粱(*Sorghum saccharatum* Moench.)、玉米(*Zea mays* L.)、谷子(*Setaria italica* (L.) Beauv.)等粮食作物及甜椒(*Capsicum*

annuum L. var. *grossum* Sendt.)、番茄等蔬菜作物;油料作物有大豆(*Glycine max* Merr.)、绿豆、芝麻(*Eruca sativa* Mill.)、油菜(*Brassica campestris* L.)等;观赏植物与药用植物有石刁柏(*Asparagus officinalis* L.)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、鸡冠花(*Celosia cristata* L.)、三色堇(*Viola tricolor* var. *hortensis* DC.)、矮牵牛(*Petunia hybrida* Vilm.)、一串红(*Salvia splendens* Ker.)、龙葵(*Solanum nigrum* L.)、菊花(*Dendranthema* spp.)、兰花(*Cymbidium* spp.)、甘蓝等。现在已从水稻、小麦、大豆、青椒、油菜、白莲、石刁柏、黄瓜等中获得了许多丰产、优质、抗病的新品系和品种,部分品种已经在生产中发挥了作用^[1]。事实证明空间条件下处理种子是植物诱变育种的一种新的、有效的方法^[18]。

3 空间诱变技术在我国花卉育种方面的应用

3.1 我国花卉空间诱变育种现状

我国花卉空间诱变育种工作开始于20世纪80年代。中国科学院遗传研究所^[17]自1987年以来,先后将一串红、鸡冠花、矮牵牛等27种花卉种子送入太空。这些花卉种子出现了许多地面上无法获得的变异,并且有益变异多、变异幅度大、稳定性强,大大缩短了育种周期。

1994年江西省广昌县白莲研究所^[19]对13个品种的白莲进行卫星搭载,经Sp1及Sp2地面种植观察,Sp1叶宽、叶柄长度、花梗长度等显著不同于对照,同时现蕾明显提前,是一般常规育种未曾出现过的明显变异。Sp2有些单株无性系后代产生多花类型,并且每个莲蓬的平均产量约增加6g;个别株系莲子单粒质量达3.3g,是未经处理莲子质量的2倍多。在观赏性状方面,Sp1和Sp2代均出现花型由单瓣花变为半重瓣或重瓣花;花色淡红,出现玫瑰红、爪红、粉红、白、青白等颜色的变异;花梗增长,个别品种花梗高出叶柄53cm,观赏价值大大增强。这些变异均可通过无性繁殖的方法稳定下来。

东北林业大学花卉研究所^[20]于1994年利用“940730”卫星搭载了毛百合干种子。经Sp1和Sp2代地面种植观察,卫星搭载可使Sp1、Sp2代毛百合鳞茎在大小和重量上增大,可溶性糖、可溶性蛋白质含量提高,过氧化物酶活性增大;并且Sp2代种子千粒重比对照增加0.4g,个别植株开花,即卫星搭载可以缩短毛百合的生育期。这说明空间条件能够明显改变过氧化物酶的遗传表达。同时,由于糖和蛋白质是植物抗低温的重要物质,空间诱变的毛百合可能成为百合抗寒性育种的有用的种质材料。

东北林业大学张岐芳等^[21,22]1994年7月,将16个露地菊花品种的种子搭载到“940730”卫星上,在空间历时14.4d,飞行高度近地点为240km,远地点为300km。卫星飞行期真空度为 10^{-8} ,微重力级别为 10^{-5} g,电子辐射积分适量为 $1.010\text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,舱内温度为 $32\sim 16^\circ\text{C}$,有重粒子存在。经地面栽培与对照比较,Sp1代露地菊花花径有变小的趋势;花期提前 $2\sim 7\text{ d}$ (个别品种花期提早20d),生育期缩短,将为寒冷地区露地菊花的育种提供有效途径;耐霜性显著提高;株高有矮化的趋势。对Sp2、Sp3代的变异情况继续观测发现经卫星搭载的4个品种Sp1代的株高均较对照矮,但仅1个品种与对照差异显著;在Sp2代,有3个品种株高与对照差异显著;在Sp3代,4个品种的株高均与对照差异显著,且分离出株高仅10cm的超矮化品种。

中国林科院花卉研究与开发中心于2001年1月在“神州二号”卫星上搭载了中国兰的春兰(*Cymbidium goeringii* Rehb. F.)和蕙兰(*C. Faberi* Rolfe)、草坪草早熟禾(*Poa pratensis* L.)品

种,以及月季(*Rosa chinensis* Jacq. cv. Sangria, *R. chinensis* Jacq. cv. Gold Gate, *R. chinensis* Jacq. cv. Red Champ)组织培养瓶苗等花卉种质。目前,这一批经空间条件诱处理的花卉种质的观察选育工作正在进行。

3.2 花卉空间诱变的特点

由于空间诱变效应具有不定向性,在以追求高产为目的的农作物定向育种中,时常效率不高或表现为无能为力。而对于花卉而言,由于人们对观赏价值的多价值取向性和观赏部位的多角度性,空间诱变的不定向性恰恰成为花卉诱变的高效性和成功的可能性。

花卉品种的培育素来以追求“新、奇、特”为代表,观赏价值的高低往往取决于变异的程度大小,具体表现在花色、花姿、花期、瓣性、叶色、叶型、株型、抗性,甚至枝条的颜色、刺、翅、落叶花卉的展叶期、落叶期等方面的变异均是有益的。因而,利用空间条件进行花卉的诱变育种,在一定程度上讲,只要在相对保持其优良形状的基础上,所发生的变异几乎尽皆可取。

以作者搭载的中国兰为例,对观花来说,花瓣的瓣型(荷瓣、梅瓣、水仙瓣等)、花姿(飞肩、平肩)、花色(素心、色花、复色、花朵带艺)、花型(奇瓣、多瓣);就观叶而言,叶片的形态(宽阔叶、匙形叶、龙旋、蛤蟆皮、水晶),尤其叶色(覆轮、缟、透、虎斑等),都是人们关注的优良性状或是有价值的变异;在株型方面,增高可以作为高档切花,矮化(达摩)也是人们追求的目标之一;而花期方面,春兰、蕙兰如果能够提前到元旦、春节开花,延长群体花期,将具有更高的观赏价值;在形态方面,如果春兰的一些传统名品花萼高出叶面更加精、气、神十足。

3.3 花卉空间诱变育种展望

多年的植物空间诱变应用实践证明,空间条件诱变效果比常规诱变更好,空间诱变育种是继常规育种、分子生物学技术育种的又一有效的育种新途径。

我国是世界上能发射返回式卫星的少数几个国家之一,已经成功发射近 20 枚卫星,我国也能自行设计和发射 30~40 km 的高空气球,有条件进行空间诱变育种研究。同时,我国对粮食作物、油料作物、蔬菜、果树等农作物的成功搭载和空间诱变育种积累了大量宝贵经验,为花卉空间诱变育种打下了良好基础。花卉种子一般具有体积小、质量轻、包装方便、便于搭载等特点,这些特点将能保证花卉空间诱变育种的顺利进行。在今后的花卉空间诱变育种研究中,必将与常规育种、分子育种等手段相结合,使花卉空间诱变育种取得更加神奇的新成果。

参考文献:

- [1] 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
- [2] Dutcher F R, Hess E L, Halstead R W. Progress in plant research in space[J]. Adv Space Res, 1994, 14(8): 159~171
- [3] 蒋兴村. “8885”返地卫星搭载水稻种子获得的遗传变异[J]. 科学通报, 1991, 37(23): 1819~1822
- [4] Horneck G. Impact of space flight environment on radiation response of *Triticum aestivum* coleoptiles under conditions of low gravity[J]. Plant, Cell and Environment, 1995, 18: 53~60
- [5] Klaus D, Simske S, Todd P, et al. Investigation of space flight on *Escherichia coli* and proposed model of underlying physical mechanisms[J]. Microbiology, 1997, 143(Pt 2): 449~455
- [6] Halstead T W. Introduction: an overview of gravity sensing, perception and sign transduction in animal and plants[J]. Adv Space Res, 1994, 14(8): 315~316
- [7] 江丕栋. 空间生物学[M]. 青岛: 青岛出版社, 2000
- [8] Horneck G. Radiobiological experiments in space: a review[J]. Nucl Tracks Radiat Meas, 1992, 20(1): 185~205
- [9] Maksimova Y N. Effect on seeds of heavy charged particles of galactic cosmic radiation[J]. Space Biol Aerosp Med, 1985, 19(3): 103~

107

- [10] Nevzgodina L V, Maksimova Y N. Cytogenetic effects of heavy charges particles of galactic cosmic radiation in experiments aboard Cosmos-1129 biosatellite[J]. *Space Biol Aerosp Med*, 1982, 16(4) :103 ~ 108
- [11] Chatterjee A, Holley W R. Biochemical mechanism and clusters of damage for high-LET radiation[J]. *Adv Space Res*, 1992, 12(2) :33 ~ 43
- [12] 杨垂绪,梅曼彤. 太空放射生物学[M]. 广州:中山大学出版社,1995. 1 ~ 18, 33 ~ 96, 109 ~ 129
- [13] Mei M, Zhang C, He Y, et al. Chromosome aberration and RFLP analysis of heavy-iron induced mutation in rice[A]. In: Abstracts of the 31 Scientific Assembly of COSPAR[C], 1989. 336
- [14] Vaulina E N, Anileeva I D, Kostina L N. Radiosensitivity of higher plant seeds after space flight[J]. *Adv Space Res*, 1984, 4(10) :103 ~ 107
- [15] Anileeva I D, Kostina L N, Vaulina E N. Experiments with air-dried seeds of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. and *Crepis capillaris* (L.) wallr[J]. Aboard salyut 6. *Adv Space Res*, 1983, 3(8) :129 ~ 133
- [16] Planel H, Ganbin Y, Pianezzi B, et al. Space environmental factors affecting responses to radiation at the cellular level[J]. *Adv Space Res*, 1989, 9(10) :157 ~ 160
- [17] 蒋兴村. 农作物空间诱变育种研究概况[J]. *现代化农业*, 1998, (11) :2 ~ 4
- [18] 蒋兴村. 863 - 2 空间诱变育种进展及前景[J]. *空间科学学报*, 1996, 16(增刊) :77 ~ 83
- [19] 刘光亮, 谢克强, 李本信, 等. 卫星搭载对白莲后代的遗传变异[J]. *空间科学学报*, 1996, 16(增刊) :159
- [20] 张 芳, 杨利平, 丁冰. 卫星搭载对毛百合的影响[J]. *空间科学学报*, 1996, 16(增刊) :165
- [21] 张 芳, 杨利平, 丁冰. 卫星搭载对露地菊后代遗传性的影响[J]. *空间科学学报*, 1996, 16(增刊) :166
- [22] 洪波, 河森, 张 芳. 空间诱变对露地栽培菊矮化形状的影响[J]. *木本植物研究*, 2000, 20(2) :212 ~ 214

Space Mutation Technique and Its Application in China 's Ornamental Plant Breeding

WANG Yan, LI Lu-bin, HAN Lei

(Flower Research and Development Center, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract : On the basis of the research of microgravity environment, space radiation on bio-sample mutagenesis, the theoretical basis of hi-tech breeding with space mutation technique is discussed. The application of space mutation technique in China 's crop and flower new variety breeding is reviewed and the nondirective superiority of space mutation breeding and the possibility of successful space mutation breeding are discussed. A prospect for the application of space mutation breeding of flower in the future is described.

Key words : space mutation breeding ; microgravity ; space radiation ; flower breeding