

## 研究报告 Original Papers

## 茄子空间诱变效应及其 AFLP 分析

孙保娟<sup>1</sup>, 黎振兴<sup>1</sup>, 罗少波<sup>1</sup>, 李植良<sup>1,\*</sup>, 李艳艳<sup>2</sup><sup>1</sup>广东省农业科学院蔬菜研究所, 广州510640; <sup>2</sup>华南农业大学生命科学院, 广州510642

**摘要:** 为了研究茄子空间诱变效果, 比较空间诱变系与原始对照间的分子水平差异, 揭示空间诱变的分子效应, 对3个不同茄子原始自交系(K<sub>1</sub>、L<sub>1</sub>、M<sub>1</sub>)及其对应空间诱变系(K<sub>2</sub>、L<sub>2</sub>、M<sub>2</sub>)生物学性状进行了比较研究, 并利用 AFLP 分子标记技术进行了 DNA 指纹分析。结果表明, 与原始自交系相比, 3个空间诱变系的生育期、株型、果形均未发生明显变化, 发生变化的性状是平均单果重和种子千粒重。诱变系 M<sub>2</sub> 的平均单果重比其对照增加 16.82%, 差异极显著; 种子千粒重有降低趋势, 其中 L<sub>2</sub> 比 L<sub>1</sub> 显著降低了 10.24%。48 对 AFLP 选择性扩增引物在 6 个自交系和诱变系间扩增得到 40 条可以揭示诱变系与原始自交系间多态性的条带; 部分目标片段测序结果经 BLAST 分析表明与已报道的高频突变相关 DNA 区域或蛋白同源性很高。可见, 空间诱变技术能够引起茄子的遗传变异, 而且这种变异是以 DNA 水平的变异为基础的。

**关键词:** 茄子; 空间诱变; AFLP 标记

## Induced Effects of Space Flight on Eggplant (*Solanum melongena* L.) and AFLP Analysis on Mutants

SUN Bao-Juan<sup>1</sup>, LI Zhen-Xing<sup>1</sup>, LUO Shao-Bo<sup>1</sup>, LI Zhi-Liang<sup>1,\*</sup>, LI Yan-Yan<sup>2</sup><sup>1</sup>Vegetable Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; <sup>2</sup>College of Life Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

**Abstract:** In order to study the mutagenic effects of space flight on eggplant (*Solanum melongena*), the biological characteristics were compared and the molecular difference was analyzed by amplified fragment length polymorphism (AFLP) between 3 original lines (K<sub>1</sub>, L<sub>1</sub> and M<sub>1</sub>) and their corresponding mutant lines (K<sub>2</sub>, L<sub>2</sub> and M<sub>2</sub>). The result showed that, the growth periods, plant types and fruit shapes of the three mutant lines had no significant difference compared with the original lines, whereas the average weight per fruit and seed weight per thousand were varied significantly. The average fruit weight of mutant line M<sub>2</sub> increased significantly by 16.67% than that of its original line M<sub>1</sub>, and the seed weight per thousand of L<sub>2</sub> decreased significantly by 10.24% than that of L<sub>1</sub>. 40 polymorphic bands between original lines and mutant lines were amplified by 48 AFLP selective amplification primer combinations. By BLAST analysis, it was showed that the sequence of some target AFLP fragments were highly homologous to the reported DNA region or protein implicated in high frequency mutation. It revealed that space flight could create genetic variations in eggplant which were based on the variation of their DNAs.

**Key words:** eggplant; space mutation; AFLP

空间诱变是植物种质资源创新的一种有效手段, 为作物新品种培育提供了一条新的途径。我国的航天育种已在番茄、辣椒、水稻等作物上取得了重大进展, 培育的新品种已在生产中推广应用(温贤芳等 2004)。而且, 在番茄(王艳芳等 2008)、水稻(蒲志刚等 2006)、芝麻(孙建等 2007)等的空间诱变材料上开展了分子标记研究, 为空间变异的分子标记辅助选择育种及揭示空间诱变育种机制建立了一定的基础。茄子是一种重要的茄科茄属蔬菜作物。王世恒等(2004)对航天搭载后茄子后代的

生物学特性和超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性的变化进行了研究, 发现航天搭载后, 变

收稿 2010-08-18 修定 2010-11-01

资助 广东省基础条件建设项目(2009B060600004)、广东省国际科技合作项目(2007A050100036、2008B050300006)、广州市科技攻关重点项目(2006Z-E0061)、广州市科技招标项目(GZCQC0902FG06017-02)、现代农业产业技术体系建设专项资金、农业公益性行业科研专项经费项目(nyhyzx07-007-14)、广东省农科院院长基金项目(201008)。

\* 通讯作者(E-mail: vri\_li@163.com; Tel: 020-38469456)。

异表现在株高、生育进程、叶片大小、结果率等方面, 但最显著的变异是生育进程, 变异体内的SOD活性比非变异株(对照)高出1倍多。棒状紫红茄作为华南地区一种主栽的茄子生态类型, 对其空间诱变生物学效应的研究未见报道, 而且也未见对空间诱变茄子材料开展分子标记研究的报道。本所分别于2003、2004和2006年分别用3份不同的华南紫红茄自交系的种子进行空间诱变试验, 经过多代观察和分离, 发现了一些变异, 因此为开展本研究打下一定基础。本研究对3个茄子诱变自交系和其相应原始自交系的主要生物学性状分别进行比较研究, 目的是发现茄子空间诱变容易发生变异的农艺性状、变异趋势和幅度; 采用扩增片段长

度多态性(amplified fragment length polymorphism, AFLP)技术对空间诱变自交系与原始对照间的多态性信息进行分析, 揭示空间诱变自交系与原始对照间分子水平的差异; 并通过序列信息的BLAST比对, 为探讨空间诱变的分子机制提供线索。

## 材料与方法

### 1 材料

实验材料为本所选育的不同株型和不同果形的茄子(*Solanum melongena* L.)自交系3份, 分别为K<sub>1</sub>、L<sub>1</sub>、M<sub>1</sub>, 干种子采用不同航天器搭载, 太空飞行种子返地后经5代系统选育分别得到纯化株系K<sub>2</sub>、L<sub>2</sub>、M<sub>2</sub>(表1)。

表1 空间诱变茄子来源及搭载情况

Table 1 The origin and carrying information of space-induced eggplants

空间诱变体	原始自交系	株型	果形	搭载卫星	搭载时间
K <sub>2</sub> (05121)	K <sub>1</sub> (07004)	展开	短柱	第23颗返回式(实践八号)	2006年, 15 d
L <sub>2</sub> (CHA44-2)	L <sub>1</sub> (5804)	半直立	长条	第18颗返回式	2003年, 18 d
M <sub>2</sub> (04CHA62)	M <sub>1</sub> (枫木茄)	直立	长筒	第20颗返回式	2004年, 18 d

## 2 方法

**2.1 空间诱变茄子材料与原始对照的生物学特性比较** 各自交系播种120株, 未设重复。出苗期、开花期、种子成熟期及株型通过田间观察记录。株高是测量各稳定自交系中的10个单株, 取平均值。果长、果径、单果重是取各自交系10个大小和成熟度一致的种果测量, 取平均值。种子千粒重是各自交系分别取5个上述种果的种子称量, 取平均值。

**2.2 DNA提取及AFLP分析** 随机抽取各自交系10个单株的幼叶混合, 液氮速冻后放-80℃冰箱, 以备提取DNA。DNA提取采用改良的CTAB法, 纯度和浓度分别用紫外分光光度计和1%琼脂糖凝胶电泳检测, 确保样品符合AFLP分析要求。茄子AFLP分析体系参照孙保娟等(2008)并适当优化。采用EcoRI和MseI两种限制性内切酶, 37℃酶切6h, 室温(25℃左右)连接过夜, 产物用ddH<sub>2</sub>O稀释10倍用作预扩模板。预扩EcoRI和MseI引物序列分别为: 5'-GACTGCGTACCAATTCA-3', 5'-

GATGAGTCCTGAGTAAC-3', 在其3'端各加2个碱基用作选扩引物。预扩体系为: 2.5 μL稀释10倍的酶切连接产物、2.5 μL 10×PCR缓冲液、2.0 μL MgCl<sub>2</sub> (25 mmol·L<sup>-1</sup>)、0.7 μL EcoRI预扩引物(50 ng·μL<sup>-1</sup>)、0.7 μL MseI预扩引物(50 ng·μL<sup>-1</sup>)、0.5 μL dNTPs (10 mmol·L<sup>-1</sup>)、0.2 μL Taq酶(5 U·μL<sup>-1</sup>), ddH<sub>2</sub>O补充总体积到25 μL。PCR反应条件: 94℃ 30 s, 56℃ 65 s, 72℃ 60 s, 27个循环。选扩体系为: 2 μL 10×PCR缓冲液、1.6 μL MgCl<sub>2</sub> (25 mmol·L<sup>-1</sup>)、0.5 μL EcoRI选扩引物(10 ng·μL<sup>-1</sup>)、0.6 μL MseI选扩引物(50 ng·μL<sup>-1</sup>)、0.5 μL dNTPs (10 mmol·L<sup>-1</sup>)、0.2 μL Taq酶(5 U·μL<sup>-1</sup>)、0.8 μL模板DNA(预扩产物稀释60倍), ddH<sub>2</sub>O补充总体积到20 μL。PCR反应条件: 94℃ 3 min; 94℃ 30 s, 65℃ 30 s(每循环一次降低0.7℃), 72℃ 60 s, 17个循环; 94℃ 30 s, 53℃ 30 s, 72℃ 60 s, 28个循环; 72℃ 7 min; 4℃。

**2.3 聚丙烯酰胺凝胶电泳及显色** 用6.25%变性聚丙烯酰胺凝胶检测选扩产物, 在伯乐公司垂直电泳

系统上进行, 采用105 W恒功率预电泳30 min, 然后上样, 1 800 V恒电压电泳2.5 h。凝胶染色采用Sanguinetti快速银染法(Sanguinetti等1994)或Bassam银染法(Bassam等1991), 略改良。改良Sanguinetti法具体为: 先用ddH<sub>2</sub>O漂洗支撑凝胶的玻璃板1次; 0.1% AgNO<sub>3</sub>染色液1 L染色20~30 min; 在盛有1 L ddH<sub>2</sub>O的托盘中漂洗5~10 s; 迅速放入显色液(20 g NaOH+0.4 g无水Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶于1 L ddH<sub>2</sub>O, 在显色前加入4 mL甲醛), 直到所有条带都出现; 用大量自来水冲洗玻璃板, 室温下自然晾干。改良Bassam银染法具体为: 固定/终止液(900 mL ddH<sub>2</sub>O中加入100 mL冰醋酸)固定20 min; ddH<sub>2</sub>O漂洗凝胶3次; 染色液(1 g AgNO<sub>3</sub>和1.5 mL 37%甲醛溶于1 L ddH<sub>2</sub>O中)中染色30 min; ddH<sub>2</sub>O漂洗5~10 s, 放入显示液(30 g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶于1 L ddH<sub>2</sub>O中, 冰浴至10 °C, 使用之前加1.5 mL 37%甲醛和200 μL 10 mg·mL<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)中显色; 所有条带都出现后加入固定/终止液; 用大量自来水冲洗玻璃板, 室温下自然晾干。

**2.4 聚类数据分析** 数据记录时, 只取完全清晰且大于50 bp的扩增条带予以记录, 同一位置有带赋值“1”, 无带赋值“0”, 先在Excel文档中构建“01”矩阵。采用生物学软件NTSYSpc2.10分别计算相似系数SM, 聚类图的生成分别用SHAN程序中的UPGMA方法, 然后通过Tree plot模块生成聚类图。

**2.5 目标片段的回收与测序** 将手术刀在酒精灯上灭菌后, 割取目标条带的1/2, 溶解在30~40 μL TE中, 37 °C放置过夜或煮沸15 min, 可以用作差异片段PCR反应的模板。PCR反应体系为: 10×PCR缓冲液2.0 μL、MgCl<sub>2</sub> (25 mmol·L<sup>-1</sup>) 1.6 μL、dNTPs

(10 mmol·L<sup>-1</sup>) 0.4 μL、对应EcoRI选扩引物(10 ng·μL<sup>-1</sup>) 2 μL、对应MseI选扩引物(50 ng·μL<sup>-1</sup>) 1 μL、Taq酶(5 U·μL<sup>-1</sup>) 0.2 μL、回收模板6 μL, 加ddH<sub>2</sub>O至20 μL; PCR反应采用选扩程序。PCR产物或连接转化菌液送到Invitrogen公司测序。

## 实验结果

### 1 空间诱变对茄子生物学特性影响

对3份不同品系、不同航天器搭载的茄子空间诱变材料后代进行多株系、多代种植, 后代各株系中株型, 叶片形状、叶色、叶片表面茸毛疏密, 茎色、茎茸毛疏密, 花色, 果形、果皮色、果肉色等性状未观察到非常明显的变异; 出苗期、开花期、种果成熟期、株型和果形等5个生物学性状没有发生明显变化。比较原始自交系K<sub>1</sub>、L<sub>1</sub>、M<sub>1</sub>及其相应的空间诱变系K<sub>2</sub>、L<sub>2</sub>、M<sub>2</sub>的株高、果长、果径、单果重和种子千粒重等5个主要生物学性状, 结果表明诱变后株高略有下降, K<sub>2</sub>较其原始自交系K<sub>1</sub>降低1.4 cm, 差异显著, L<sub>2</sub>和M<sub>2</sub>的株高与其相应原始自交系相比变化不显著; 相对原始自交系而言, 3个诱变品系果径、果长变化均不显著; 诱变系M<sub>2</sub>的单果重比M<sub>1</sub>增加了16.82%, 差异极显著, K<sub>2</sub>和L<sub>2</sub>的单果重变化不明显; 经空间诱变后种子千粒重有下降的趋势, L<sub>2</sub>比L<sub>1</sub>显著地降低10.24%, K<sub>2</sub>和M<sub>2</sub>分别比K<sub>1</sub>和M<sub>1</sub>降低2.72%和0.51%, 变化不显著(表2)。

### 2 AFLP分析

本研究所提取的DNA, 浓度介于200~1 200 ng·μL<sup>-1</sup>, OD<sub>260</sub>/OD<sub>280</sub>比值介于1.8~2.0之间, 琼脂糖电泳检测的结果也表明该方法提取的基因组DNA

表2 航天茄子材料与原始对照的生物学特性比较

Table 2 Comparison of biological characteristics between mutant lines and their original lines of eggplants

材料	株高/cm	果长/cm	果径/cm	单果重/g	种子千粒重/g
K <sub>1</sub>	74.7±0.8 <sup>a</sup>	21.17±0.76 <sup>a</sup>	7.45±0.22 <sup>a</sup>	465.0±49.5 <sup>a</sup>	4.512±0.218 <sup>a</sup>
K <sub>2</sub>	73.3±0.7 <sup>b</sup>	21.81±1.82 <sup>a</sup>	7.66±0.68 <sup>a</sup>	482.3±76.8 <sup>a</sup>	4.389±0.253 <sup>a</sup>
L <sub>1</sub>	128.0±3.8 <sup>a</sup>	37.10±0.41 <sup>a</sup>	3.90±0.26 <sup>a</sup>	246.0±3.6 <sup>a</sup>	3.993±0.050 <sup>a</sup>
L <sub>2</sub>	125.0±4.1 <sup>a</sup>	37.44±1.61 <sup>a</sup>	3.84±0.10 <sup>a</sup>	244.0±26.8 <sup>a</sup>	3.584±0.102 <sup>b</sup>
M <sub>1</sub>	132.4±1.8 <sup>a</sup>	28.64±2.50 <sup>a</sup>	4.75±0.25 <sup>a</sup>	214.0±16.7 <sup>b</sup>	4.472±0.249 <sup>a</sup>
M <sub>2</sub>	131.8±1.5 <sup>a</sup>	28.64±2.31 <sup>a</sup>	4.85±0.17 <sup>a</sup>	250.0±14.1 <sup>a</sup>	4.449±0.426 <sup>a</sup>

数值后不同的小写字母表示差异显著(P<0.05)。

结构完整, RNA去除完全, 没有蛋白质及酚等物质污染, 完全满足 AFLP 分析对 DNA 模板的高质量要求。64 对 AFLP 选择性扩增引物中 48 对有较好的 PCR 产物扩增, 共扩增清晰条带 2 100 条, 6 个自交系间具有多态性的条带共 101 条, 其中 61 条为 3 个原始自交系间固有的多态, 而 40 条为揭示诱变自交系与原始自交系间多态性的条带。E6M9-3 ( $M_2$ )、E6M9-4 ( $M_2$ )、E8M9 ( $L_2$ )、E9M10-2 ( $M_2$ )、E10M6-7 ( $L_2$ )、E10M6-8 ( $K_2$ )、E11M10-2 ( $M_2$ ) 等 7 条带是在单一突变品种(系)中新增的带; E5M6-2 (图 1-E)、E6M9-2、E7M5-4 等 3 条带是突变系

$M_2$  单一缺失的带; E4M9、E5M7-2、E6M4-4、E7M5-6、E7M7-3、E8M4-7、E8M4-8、E8M4-9、E8M5-1、E8M5-2 (图 1-D)、E9M10-1 等 11 条带是  $K_1$  和  $L_1$  特有的带型; E6M9-9、E7M7-2 (图 1-B)、E7M8-3、E10M5、E10M6-1 等 5 条带是 3 个突变系较其原始对照均缺失的带型; 其余 14 条带在原始对照的 3 个自交系中不均一分布, 突变在个别自交系体现条带的缺失或增加, 如 E4M4-2 (图 1-A) 为  $L_1$  特有带, 其他 5 个自交系缺失, E7M8-1 和 E7M8-2 (图 1-C) 为  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $M_1$  有, 而  $K_1$ 、 $K_2$  和  $M_2$  缺失的带型。

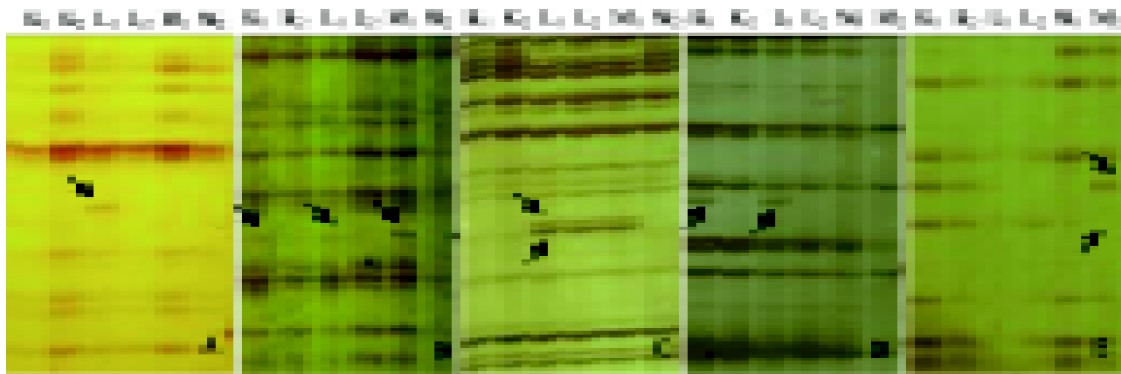


图1 部分引物在空间诱变品系与原始对照品系间AFLP扩增结果

Fig. 1 AFLP polymorphisms amplified with some selective primers between original control lines and their mutant lines

A: E4M4-4; B: E7M7-2; C: E7M8-1 和 E7M8-2; D: E8M5-2; E: E5M6-1 和 E5M6-2。

### 3 聚类分析

以 101 个 AFLP 标记对 3 个突变系及其相应的原始对照种进行相似系数计算, 结果显示,  $M_1$  和  $M_2$  的相似系数最高, 为 0.802,  $K_1$  与  $K_2$  的相似系数是 0.792,  $L_1$  与  $L_2$  的相似系数为 0.733,  $K_1$  与  $M_2$  的相似系数最低, 为 0.228。从 UPGMA 方法生成的聚类树中可见, 与原始对照相比, 3 个突变系发生了分子水平的变化,  $L_2$  的变化幅度略高于  $K_2$  和  $M_2$  (图 2)。

### 4 序列分析

回收以上得到的可以反映空间诱变引起的多态性 AFLP 片段, 对部分片段进行测序的结果通过 NCBI 进行 BLASTn、BLASTX 比对(表 3)。结果显示, E7M8-1 和 E7M8-2 泳带不在同一位置, 但测序结果显示它们片段长度相同, 是同一 DNA 片段的 2 条互补链; E5M6-1 和 E5M6-2 情况类似。长度完

全一样的互补链 E5M6-1、E5M6-2 和 E7M8-1、E7M8-2 泳带不在同一位置, 主要原因可能是由于这些 DNA 片段比较短, 2 条互补链 A、G、T、C 组

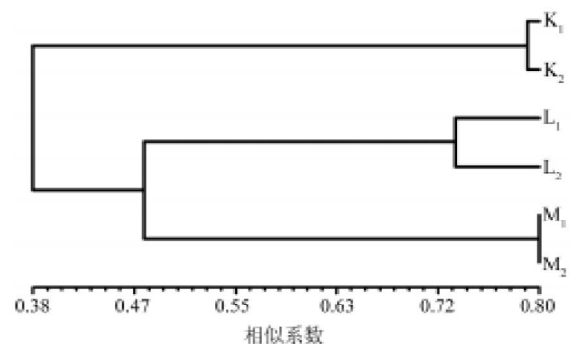


图2 茄子突变品系及其原始对照种的 UPGMA 聚类图

Fig. 2 UPGMA clustering graph of mutant lines and their original control lines of eggplants

表3 空间诱变AFLP多态片段序列比对结果

Table 3 Homology of the sequences of AFLP fragments related to space mutation to sequences in database

序号	AFLP 片段	长度/bp	NCBI同源序列	NCBI BLASTn 得分	功能分类
1	E5M6-1	114	马铃薯二倍体种 <i>Solanum phureja</i> 基因组克隆 LuSp022C24 (GS270648)	1e-25	未知
2	E5M6-2	114	马铃薯二倍体种 <i>Solanum phureja</i> 基因组克隆 LuSp022C24 (GS270648)	1e-25	未知
3	E6M4-5	100	无同源序列		未知
4	E7M7-1	157	CHO_OF4 烟草基因组序列	0.47	未知
5	E7M8-1	161	马铃薯第五号染色体克隆 RH144002 (AC236629)	8e-43	假拟逆转录转座子蛋白
6	E7M8-2	161	马铃薯第五号染色体克隆 RH144002 (AC236629)	8e-43	假拟逆转录转座子蛋白
7	E8M5	156	龙葵叶绿体 JLB 区域 (Z71248)	4e-71	核糖体蛋白 S19
8	E10M6-1	158	无同源序列		未知
9	E11M5	87	番茄基因组克隆 SL_EcoRI0074E073 (DU934052)	6.1e-07	未知

成不同, 所以电泳速度不同。E7M8-1 片段除去接头序列长度为 161 bp, 经 BLASTn 和 BLASTX 程序在 NCBI GenBank 数据库中进行同源性检索和相似性比对, 分析发现, 其与马铃薯 (*Solanum demissum*) 的假拟 gag-pol 多蛋白 (putative gag-pol polyprotein)、假拟逆转录转座子蛋白 (putative retrotransposon protein) 同源性达 74%, 说明 E7M8-1 特异片段的功能可能与逆转录转座子有密切关系。E8M5 除去接头序列, 长度为 156 bp, NCBI GenBank 数据库中进行同源性检索和相似性比对, BLASTn 和 BLASTX 分析表明, 该特异片段与龙葵 (*Solanum nigrum*) 叶绿体 J<sub>LB</sub> 区域的 DNA 序列同源性高达 96%, 与核糖体蛋白 S19 (ribosomal protein S19, RPS19) 同源性高达 100%, RPS19 包含于 J<sub>LB</sub> 区域。E5M6-1、E5M6-2 与二倍体马铃薯基因组上的一段序列同源性达到 88%, 功能未知; E11M5 与番茄基因组 SL\_EcoRI0074E073 克隆的同源性达 90%, 功能未知。E6M4-5 和 E10M6-1 未发现同源的 DNA 序列。

## 讨 论

本研究结果显示, 空间诱变可以使茄子的平均单果重、种子千粒重、株高等生物学性状发生变异, 有些性状还具有一定的趋势, 如千粒重均有不同程度的降低, 但其他性状变异不显著。王世恒等 (2004) 报道, 航天搭载对茄子个别植株的生育进程和器官大小有一定影响, 但未发现明显的质量性状

(如果形、果色等) 的变异, 这与我们的试验结果相似。

本研究通过 AFLP 技术对 3 个来源不同自交系及其相应的 3 个稳定的空间诱变系进行了 DNA 分子水平分析, 48 对引物共扩增出 2 100 条带, 其中多态性带 133 条, 多态性为 6.33%, 单态性带 7 条, 占 0.33%, 共同带 1 959 条, 占 93.29%, 如果每个多态性带代表一个基因位点, 则平均每对引物组合可检测 2.77 个基因位点。上述结果说明, 尽管空间诱变后 AFLP 检测到的多态性并不是很高, 但诱变系与原始对照自交系在 DNA 水平上发生了变异, 不同自交系变异的幅度和变异的方式不完全相同; 3 个诱变系较其相应原始对照均缺失的带型说明这些 DNA 位点在不同品种间的空间诱变效应具有一致性。AFLP 标记一般比较短, 大部分集中在 50~600 bp 之间, 我们测序的结果也显示这些与空间诱变效应相关的 AFLP 标记片段小于 200 bp, 在转化为 SCAR 标记的过程中可能遇到一些困难。

此外, 从聚类分析的结果也可以看出, 空间诱变获得的诱变系还是首先和其相应的原始对照聚在一起, 说明相对长期的品种自然进化和人工选择而言, 各空间诱变茄子材料在 DNA 水平上的变异较小, 这也在一定程度上解释了为什么这些诱变后代自交系和其原始对照间没有观察到非常明显的性状 (如果色、果形等) 的变异。在空间诱变芝麻材料上的研究发现, 诱变系与原始对照种的 AFLP 多态性位点比率达到 53.15% (王世恒等 2004), 而我们

得到的诱变多态率仅1.90%，说明我们所采用的茄子材料空间诱变发生的变异小，这与其生物学特性上没有发现明显的变异是相吻合的。

BLAST 比对的结果表明本实验所获得的空间诱变相关的多态性片段与基因突变比较活跃位点有较高的同源性。片段E7M8-1代表的基因编码假拟逆转录转座子蛋白。逆转录转座子主要特性是与高频自发突变有关，刺激基因组发生多种形式的遗传重排(孔卫青等2004)。E8M5与叶绿体 $J_{LB}$ 区域的DNA序列高度同源。叶绿体DNA的IR (inverted repeat)和LSC (large-single-copy)之间的连接区域(junction)被命名为 $J_{LA}$ 和 $J_{LB}$  (Shinozaki等1986)。已有的报道认为 $J_{LA}$ 和 $J_{LB}$ 区域是DNA的一个高变区(hypervariable region)，与不同品种的系统进化相关(Goulding等1996)。其他的片段虽然未能通过BLAST找到同源序列，尚不明确其功能，但它们可能与茄子空间诱变引起的生物学性状变异相关，这些分子标记将有助于目的基因或QTLs的染色体定位及分离克隆，为创造茄子育种新材料奠定基础。综述所述，空间诱变技术能够创造茄子的遗传变异，不同品系茄子个别性状空间诱变后变异有一致的趋势。茄子空间诱变获得的这种性状变异是以染色体或DNA结构的变异为基础的。

## 参考文献

- 孔卫青, 朱勇, 杨金宏(2004). 逆转座子及其在真核生物基因组进化中的作用. 蚕学通讯, 24 (4): 27~31
- 蒲志刚, 张志勇, 郑家奎, 向跃武, 张志雄, 蔡平钟, 文春描(2006). 水稻空间诱变的遗传变异及突变体的 AFLP 分子标记. 核农学报, 20 (6): 486~489
- 孙保娟, 李植良, 黎振兴, 孙光闻, 廖毅(2008). 茄子及其近缘野生种 AFLP 分析体系的建立. 分子植物育种, 6 (1): 183~186
- 孙建, 涂玉琴, 张秀荣(2007). 芝麻空间诱变品系(种)的 DNA 指纹分析. 中国农业科学, 40 (12): 2696~2701
- 王世恒, 祝水金, 张雅, 王艳芳(2004). 航天搭载茄子种子对其 $SP_1$ 生物学特性和SOD活性的影响. 核农学报, 18 (4): 307~310
- 王艳芳, 王世恒, 赵彦宏, 郑积荣, 祝水金(2008). 航天诱变番茄无限生长突变体 RAPD 及 SCAR 分子标记研究. 航天医学与医学工程, 21 (5): 407~410
- 温贤芳, 张龙, 戴维序, 李春华(2004). 天地结合开展我国空间诱变育种研究. 核农学报, 18 (4): 241~246
- Bassam BJ, Caetano-Anolles G, Gresshoff PM (1991). Fast and sensitive silver staining of DNA in polyacrylamide gels. Anal Biochem, 196: 80~83
- Goulding SE, Olmstead RG, Morden CW, Wolfe KH (1996). Ebb and flow of the chloroplast inverted repeat. Mol Gen Genet, 252: 195~206
- Sanguinetti CJ, Dias Neto E, Simpson AJ (1994). Rapid silver staining and recovery of PCR products separated on polyacrylamide gels. Biotechniques, 17: 915~919
- Shinozaki K, Ohme M, Tanaka M, Wakasugi T, Hayashida N, Matsubayashi T, Zaita N, Chunwongse J, Obokata J, Yamaguchi-Shinozaki K et al (1986). The complete nucleotide sequence of the tobacco chloroplast genome: its gene organization and expression. EMBO J, 5: 2043~2049