

# 大豆航天育种研究进展

郑伟 郭泰 王志新 李灿东 张振宇 郭美玲 王庆胜 张茂明 刘忠堂

(黑龙江省农业科学院佳木斯分院 佳木斯 154007)

**摘要** 航天诱变是大豆新品种培育过程中创造变异的重要手段。目前我国大豆航天育种已经取得了阶段性进展,先后有4个航天诱变大豆新品种通过了国家或省级审定,多个品系参加国家或省级区域试验和生产试验。本文对基础材料选择、诱变后代选择时期和选择方法等育种相关技术进行了深入研究,对农艺性状和抗性等主要性状的诱变效应进行了分析,并形成了对大豆航天诱变育种具有指导意义的相关理论。还论述了航天诱变的分子机理与分子标记辅助选择在航天诱变育种中的应用,指出诱变机理和选择方法仍然是研究的焦点,建议各育种单位之间应该加强育种材料与技术的合作交流,以提高大豆航天诱变育种的水平和效率。

**关键词** 大豆, 育种, 航天诱变, 研究进展

**中图分类号** TL99

DOI:10.11889/j.1000-3436.2015.rj.33.050101

航天育种是借助航天器材将农作物的种子或者繁殖体带入太空,通过空间环境因素的诱导产生变异,然后经过连续多代地面定向选择,培育出农作物新品种的方法<sup>[1-3]</sup>。空间诱变育种具有扩大变异频率及变异性状稳定、速度快等优点,因此空间诱变是植物诱变育种的新途径,近年来逐渐受到广大育种家的重视<sup>[4-5]</sup>。1987年我国育种家首次将水稻和青椒送入太空,开展作物空间育种试验,目前该项技术已经在粮食作物<sup>[6-10]</sup>、油料作物<sup>[11-12]</sup>、蔬菜作物<sup>[13-14]</sup>及园林作物<sup>[15-19]</sup>等育种领域得以广泛应用,获得大量突变体,同时对航天搭载的诱变机理、分离规律及选择效果等进行了深入研究,形成了一套比较完备的作物航天诱变育种理论<sup>[20-23]</sup>。我国大豆航天育种与其它作物相比起步较晚<sup>[24-26]</sup>,黑龙江省农科院育种所宝清试验站于1991年首先开展此项研究,获得少量有价值突变体,但并没有品种经过正式审定推广<sup>[27]</sup>;2003年至今,在国家各级项目的支持下进行了多次大豆航天搭载研究,以神舟4号卫星和实践八号卫星为载体进行的两次搭载最具代表性,育成了一批有特色的突变体,并通过国家或者省级审定<sup>[28-34]</sup>。可见,我国大豆航天育种目前已经取得了阶段性进展,本文对我国大豆航天育种所取得的成果进行总结,以期今后大豆航天育种提

供理论基础。

## 1 航天诱变效应

### 1.1 航天搭载对大豆农艺性状的影响

不同成熟期春大豆品种对空间诱变的敏感性存在差异,一般中熟品种相对敏感,早熟品种次之,晚熟品种敏感性相对差一些<sup>[29]</sup>。航天搭载对农艺性状的诱变效应最为直观,SP1代表现为发芽率会降低,田间出苗率降低,熟期提早等诱变效应,但不同品种之间往往存在差异<sup>[30]</sup>;航天搭载后SP1代表现出刺激生长的效应,变异性状包括生育期、株高、开花习性、分枝数、节数、单株有效荚数和种脐色等<sup>[31]</sup>。航天诱变是属于特定环境下的物理诱变,各个农艺性状诱变应在开始SP1代表现出来,到SP2代诱变效应表现更为明显<sup>[32-33]</sup>。SP2-SP4代是后代群体分离的主要世代,株高、底荚高度、主茎节数、单株荚数、单株粒数等农艺性状均表现出不同程度的诱变效应,可以为大豆育种所利用,SP2株系内与株系间均存在明显变异,SP3株系内变异开始减弱,株系间变异仍然存在,并且表现越发明显<sup>[26,34]</sup>。航天搭载对大豆光合特性有显著的诱变效应,不同品种之间存在差异,空间诱变处理能够增加叶柄长度,有利于增强植株中下层叶片的自我调节能力,

基金资助:国家科技支撑计划“核技术在作物育种中的应用研究”项目(2014BAA03B04)资助

第一作者:郑伟,男,1976年12月出生,2014年6月于沈阳农业大学获博士学位,从事大豆遗传育种与栽培研究工作,副研究员

通讯作者:郭泰,男,研究员,从事大豆遗传育种与栽培研究工作, E-mail: guotaidadou@163.com

收稿日期:初稿 2015-06-19;修回 2015-08-13

同时减小叶柄与主茎之间的夹角,使太阳光能够照射到冠层底部,改善植株下部叶片的受光状况<sup>[25]</sup>;与地面对照相比较,搭载后代群体叶色值和光合速率都有一定的提高,而蒸腾速率则呈相对降低的趋势<sup>[24]</sup>。长花序、短果枝是大豆高产稳产的一个优良农艺性状,空间诱变对大豆长花序、短果枝性状具有一定的诱变效应,经空间诱变后长花序大豆花序长度、单株荚数、单株粒重均有增加趋势;对短果枝性状诱变效果虽然不明显,但是短果枝上的总荚数、总粒重都有增加趋势<sup>[35]</sup>。

## 1.2 航天搭载对大豆抗性和品质的影响

航天搭载对植物抗性和品质也具有一定的诱变效应,航天搭载后代能够诱变出对草甘膦抗性强的个体,并且能够稳定遗传<sup>[36]</sup>;航天诱变对大豆品质改良具有显著效果,以往研究表明,航天搭载对大豆蛋白质和脂肪含量均有一定诱变效应,以高油或者高蛋白种质为亲本,其诱变后代群体往往也呈现高油或者高蛋白的特点<sup>[37]</sup>;航天诱变使大豆 11S 蛋白亚基产生变异,胰蛋白酶抑制剂(Kunitz)基因发生点突变,产生的变异虽然是随机的,但有一定的内在规律性,产生的变异能够稳定遗传<sup>[31]</sup>。

## 1.3 复合诱变技术研究

航天诱变育种与其它诱变技术比较既有相似之处,又有其空间环境诱变因素的不可替代性<sup>[38-43]</sup>。为了提高空间诱变育种效率,可尝试将航天诱变与其它育种方式相结合,尤其是以航天诱变为基础的复合诱变技术成为近期大豆诱变育种研究的焦点问题<sup>[44]</sup>。黑龙江省农科院佳木斯分院先后将合丰 25、合丰 50、龙品 05-171、龙品 05-359、黑 05-140、绥农 14 等 6 个大豆品种 SP1 代种子进行了 <sup>60</sup>Co- $\gamma$  辐射处理,结果表明,与未辐射处理后代相比较,经过复合诱变后大豆群体植株高度、底荚高度、主茎有效节数、单株有效荚数及单株粒数等主要农艺性状发生不同程度的变化,存在着与对照处理达到显著或极显著的株系<sup>[45-46]</sup>。虽然主要农艺性状变异方向千差万别,但其中有利于大豆新品种选育的变异类型较多,可以为大豆育种提供更多选择机会。

## 2 后代选择

目前有多个大豆品种通过省级以上审定,从通过审定品种亲本来源可以看出,目前以不稳定后代

群体作为航天搭载基础材料育成品种数目较多,占育成品种总数的 75%;目前参加区域(生产)试验品系则是以适应性好的主栽品种为基础材经过航天诱变育成的品系占较大比重,因此,选择遗传基础良好的不稳定材料和广适应性大豆品种为试材进行搭载更容易获得成功。

大豆空间诱变育种地面选择方法目前尚处在探索阶段,关于后代选择方法,不同育种单位采用的方法往往不尽相同,黑龙江省农科院合江所早期世代采用混合法选择<sup>[46]</sup>,而黑河分院<sup>[47]</sup>和克山分院<sup>[48]</sup>采用系谱法进行选择,从效果来看,相同的后代群体数目,黑龙江省农科院合江所育成品种(系)较之其它育种单位更多,育种效率高,说明了航天诱变早期选择以混合法为好,能够在后代群体中保留更多的变异类型;另外几家单位在大豆航天诱变育种上的成功,说明系谱法选择同样有效,广大育种专家可以在后代育种实践中灵活掌握选择方法。SP1 代群体的变异是由空间环境造成的一些生物学效应,此时对品质性状进行选择是有效的<sup>[26, 36, 38]</sup>。关于产量相关因子在 SP2-SP4 选择效果明显,SP4 代入单株入选率与 SP2 代单株有效荚数、单株粒数、底荚高度、节间长度等农艺性状变异率与相关达到显著水平与株高和有效荚数相关不显著,说明在 SP2 代对单株有效荚数、单株粒数、底荚高度、节间长度等农艺性状进行选择有效,而对株高和有效节数选择效果不明显<sup>[39]</sup>;光合作用是作物产量形成的基础,选择高光效大豆品种是提高大豆产量的重要途径,净光合速率在 SP3 和 SP4 代进行选择效果明显,SP2 代对净光合速率等光合性状选择效率较低<sup>[24]</sup>。在大豆航天育种实践过程中,广大育种专家应该按照既定的育种目标确定选择世代与选择方法,一般品质育种应在 SP1 代开始选择,产量性状在 SP2 代开始选择效果较好,而对高光效品种的选择应该从 SP3 代开始选择效果较为理想。

## 3 分子诱变机理

空间引起诱变的机理目前尚未完全研究清楚,已有研究结果表明,引起作物空间诱变的主要因素有以下几个方面:首先是微重力作用,微重力是宇宙空间所特有的环境因素,微重力能够使植物体细胞分裂紊乱、染色体畸变及核小体数目发生变化,从而影响植物的生长发育和信息传导等生理生化过程,同时微重力还能干扰 DNA 的损伤修复能力,

抑制 DNA 损伤后修复, 增加植物对其他诱变因素的敏感性, 加速生物变异, 提高诱变效率<sup>[49]</sup>。其次是空间环境强辐射作用, 宇宙空间存在着比地球上强得多的天然辐射, 这些射线来自于地球磁场捕获高能粒子所产生的俘获带电辐射和太阳系外突发性事件中产生的银河系宇宙射线(GCR)以及太阳爆发产生的太阳粒子(SPE), 这些辐射中的高能重粒子(HZE)对植物体具有强烈的诱变效应, 可引起细胞的突变甚至死亡<sup>[50-51]</sup>。还有其他诱变因素: 主要包括高真空、压力、地磁强度、气温及卫星飞船发射时强振动及其他目前未知的因素, 有待今后进一步探索研究。

分子标记能准确反映个体或种群间 DNA 的差异性, 对 DNA 碱基序列差异进行分析, 能够提示突变体否发生变异, 有利于阐明空间环境诱变的机理, 有的放矢的指导作物空间诱变育种<sup>[52-53]</sup>。因此, 分子标记技术在植物空间诱变育种中应用越来越广泛。国内外学者对水稻、甜菜等多种农作物空间诱变机理进行了分子领域探索, 发现多个与农艺性状、品质性状等相关的基因位点<sup>[54-56]</sup>, 这为空间诱变分子辅助选择提供了理论依据。关于大豆航天诱变分子机理研究相关报道较少, 赵曦等<sup>[55]</sup>利用 RAPD 标记法, 随机选用的 70 个引物, 对 12 个空间诱变突变体及 4 个原始亲本进行多态性分析, 共获得 247 条 DNA 谱带, 其中多态性谱带达到 39 条, 多态性位所占点比率为 15.8%, 品系间多态性位点比率在 1.43%~10%之间, 扩增片段长度在 250~2100 bp 之间, 同时不同品种对航天搭载敏感性存在差异, 4 个原始亲本中有 2 个对航天诱变反应敏感; 航天大豆后代品质上的变异与基因点突变关系密切, 变异

是分子层面的, 是可遗传的<sup>[32]</sup>。张宏纪等<sup>[56]</sup>以小麦为试材, 分别在空间诱导的后代及亲本中进行 RAPD 分子鉴定, 得到的多态性位点比率 6.7%, 李东芳<sup>[53]</sup>在水稻上进一步验证了这一观点, 这也从另一个角度为大豆航天诱变提供了分子层面的佐证。以上研究可以直接或间接的为大豆航天诱变提供分子水平上的支持, 能够为大豆航天诱变育种分子标记辅助选择提供理论依据。

#### 4 种质创新效果

1991 年我国开始大豆航天育种到目前为止, 已经取得了阶段性成果(表 1)。截止 2014 年通过国家或省级农作物品种审定委员会审定推广大豆新品种品种 4 个, 其中克山 1 号为早熟高油品种<sup>[48]</sup>, 2009 年通过国家审定, 2014 年推广面积超过 100 万亩, 已经成为黑龙江省大豆生产上的主栽品种之一; 金源 55 为早熟高蛋白品种<sup>[47]</sup>, 2014 年推广面积达到 15 万亩; 合农 61 和合农 65 均为中熟丰产型品种<sup>[57]</sup>, 2014 年 2 个品种推广面积达到 60 万亩。据不完全统计, 目前参加国家或者各省区域试验及生产试验的品系有 6 个, 通过专家鉴定品系 1 个, 分别来自中国农科院作物科学研究所(1 个)、黑龙江省农业科学院佳木斯分院(3 个)、黑龙江省农业科学院绥化分院(1 个)和浙江省农业科学院作物与核技术利用研究所(1 个), 这 6 个品系在各自参加的试验中表现为丰产性突出、抗逆性强。HD-1 为通过专家鉴定品系, 春播产量可达 370 kg 以上, 夏播产量可达 240 kg, 比对照品种中黄 13 增产 42.30%, 蛋白质含量高达 48.40%<sup>[58]</sup>。

表 1 航天搭载育成大豆品种(系)情况  
Table 1 Spacecraft-carrying bred soybean varieties (lines) case

| 品种(系)名称<br>Name of varieties<br>(Lines) | 亲本与组合<br>Parents and combination                    | 审定与试验级别<br>Level of certification<br>and test levels | 审定(试<br>验)时间<br>Validation<br>(test) year | 油分含量<br>Oil con-<br>tent / % | 蛋白质含<br>量<br>Protein<br>content<br>/ % | 对照品种<br>CK         |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|--------------------|
| 克山 1 号<br>Keshan1                       | (黑河 18×绥农 14) F1<br>(Heihe18×Suinong14)F1           | 国家审定<br>National certification                       | 2009                                      | 21.82                        | 38.04                                  | 黑河 43<br>Heihe43   |
| 合农 61<br>Henong61                       | (北丰 11 号×97-793) F5<br>(Beifeng11×He97-793)F5       | 国家审定<br>National certification                       | 2010                                      | 20.82                        | 38.94                                  | 绥农 14<br>Suinong14 |
| 合农 65<br>Henong65                       | (合 93-793×黑交 95-750) F2<br>(He93-793×Heihe95-750)F2 | 黑龙江省审定<br>Heilongjiang certi-<br>fication            | 2014                                      | 20.19                        | 40.50                                  | 合丰 50<br>Hefeng50  |
| 金源 55<br>Jinyuan55                      | (黑交 83-889×美丁) F2<br>(Heijiao83-889×Meiding)F2      | 国家审定<br>National certification                       | 2013                                      | 19.60                        | 42.19                                  | 黑河 43<br>Heihe43   |

续表

| 品种(系)名称<br>Name of varieties<br>(Lines) | 亲本与组合<br>Parents and combination                      | 审定与试验级别<br>Level of certification<br>and test levels | 审定(试<br>验)时间<br>Validation<br>(test) year | 油分含量<br>Oil con-<br>tent / % | 蛋白质含<br>量<br>Protein<br>content<br>/ % | 对照品种<br>CK                |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|
| 绥航 095002<br>Suihang095002              | 绥农 4<br>Suinong14                                     | 黑龙江省生产试验<br>Heilongjiang produc-<br>tion testing     | 2014                                      | —                            | —                                      | 合丰 55<br>Hefeng55         |
| 合航 2010239<br>Hehang2010239             | (黑 1032×黑 1827) F2<br>(Hei1032×Hei1827)F2             | 国家区域试验<br>National regional<br>Testing               | 2014                                      | —                            | —                                      | 克山 1<br>Keshan1           |
| 合航 2010-181<br>Hehang2010-181           | (黑交 03-140×黑 01-1032) F2<br>(Heijiao140×Hei01-1032)F2 | 黑龙江省预备试验<br>Heilongjiang prelimi-<br>nary testing    | 2014                                      | —                            | —                                      | 黑河 43<br>Heihe43          |
| 合航 SP10-239                             | (黑交 03-140×黑 01-1032) F2<br>(Heijiao140×Hei01-1032)F2 | 黑龙江省区域试验<br>Heilongjiang regional<br>testing         | 2014                                      | —                            | —                                      | 黑河 43<br>Heihe43          |
| 中作 103<br>Zhongzuo103                   | 中黄 38<br>Zhonghuang38                                 | 国家区域试验<br>National regional<br>testing               | 2013-2014                                 | —                            | —                                      | 冀豆 12<br>Jidou12          |
| HD-1                                    | 中豆 28<br>Zhongdou28                                   | 鉴定<br>Appraisal                                      | 2013                                      | —                            | 48.4                                   | 中黄 13<br>Zhonghua<br>ng13 |
| 航豆 3-2<br>Hangdou3-2                    | —                                                     | 国家区域试验<br>National regional<br>testing               | 2014                                      | —                            | —                                      | 浙鲜 5<br>Zhexian5          |

注：“—”表示没有该数据或者数据不详。

Note: The data indicate that no data or not the Department of detailed.

## 5 展望

空间诱变育种技术在大豆育种中应用已经初见成效<sup>[57-59]</sup>, 该项技术有利于扩大变异谱、改变个别性状、缩短育种周期等优点<sup>[60-61]</sup>, 今后在大豆育种实践过程中应该广泛利用。目前, 关于空间诱变育种技术的一些原理和方法还不够健全, 比如诱变材料的选择、后代选择和诱变机理等问题将是今后研究的重点。空间诱变变异的分子机理将是今后研究的焦点问题之一, 分子标记能准确反映个体或种群间DNA的差异性, 对DNA碱基序列差异进行分析, 能够提示突变体是否发生变异, 有利于阐明空间环境诱变的机理<sup>[61]</sup>, 有的放矢的指导大豆空间诱变育种, 因此, 分子标记技术在植物空间诱变育种中具有广阔的应用前景。目前由于受到某些客观条件的限制, 空间诱变育种开展还不够普遍, 今后应该加大空间诱变育种的团队规模, 扩大诱变群体数量, 为选育出更多的优良大豆品种服务, 同时, 不同育种单位之间应该加强交流和合作, 真正做到资源和方法共享, 使大豆空间诱变育种得到更快的发展。

## 参考文献

- 1 刘录祥, 王晶, 赵林姝, 等. 作物空间诱变效应及其地面模拟研究进展[J]. 核农学报, 2004, **18**(4): 247-251. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8551.2004.04.002.  
LIU Luxiang, WANG Jing, ZHAO Linshu, *et al.* Research progress in mutational effects of aerospace on crop and ground simulation on aerospace environment factors [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2004, **18**(4): 247-251. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8551.2004.04.002.
- 2 田伯红, 孔德平, 王建广, 等. 航天诱变对农作物的生物学效应及育种成就[J]. 山西农业科学, 2008, **36**(4): 14-16. DOI: 10.3969/j.issn.1002-2481.2008.04.005.  
TIAN Bohong, KONG Deping, WANG Jianguang, *et al.* Biological effects and cultivar development of space irradiation in field crops [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2008, **36**(4): 14-16. DOI: 10.3969/j.issn.1002-2481.2008.04.005.
- 3 刘录祥, 郑企成. 空间诱变与作物改良[M]. 北京: 原子能出版社, 1997.  
LIU Luxiang, ZHENG Qicheng. Space-induced mutations for crop improvement [M]. Beijing: Atomic Energy Press,

- 1997.
- 4 李永辉, 涂北根, 焦长兴, 等. 植物空间诱变育种研究进展[J]. 江西农业科学, 2008, **20**(1): 21-25. DOI: 10.3969/j.issn.1001-8581.2008.01.007.  
LI Yonghui, TU Beigen, JIAO Changxing, *et al.* Progress in space mutation breeding of plant [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2008, **20**(1): 21-25. DOI: 10.3969/j.issn.1001-8581.2008.01.007.
- 5 Miroslaw Maluszynski. Officially released mutant varieties-the FAO/IAET database [J]. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 2001, **65**(3): 175-177. DOI: 10.1023/A: 1010652523463.
- 6 张宏纪, 王广金, 孙岩, 等. 春小麦航天诱变入选后代的变异研究[J]. 核农学报, 2007, **21**(2): 111-115. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8551.2007.02.002.  
ZHANG Hongji WANG Guangjin SUN Yan, *et al.* Study on variation of selected progeny by space induced mutation in spring wheat [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2007, **21**(2): 111-115. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8551.2007.02.002.
- 7 田伯红, 王建广, 李雅静, 等. 空间诱变对谷子农艺性状效应的研究[J]. 植物遗传资源学报, 2008, **9**(3): 340-345.  
TIAN Bohong, WANG Jianguang, LI Yajing, *et al.* Effects of Space radiation on agronomic performance in foxtail millet [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2008, **9**(3): 340-345.
- 8 Gu Ruiqi, Shen Huiming. Effects of space flight on the growth and some cytological characteristics of wheat seedlings [J]. *Acta Hotophysiological Sinica*, 1989, **15**(4): 403-407.
- 9 严文潮, 孙国昌, 俞法明, 等. 早籼稻空间诱变新品种“浙 101”的选育[J]. 核农学报, 2006, **20**(5): 398-400.  
YAN Wenchao, SUN Guochang, YU Faming, *et al.* A new mutant indica rice diseases resistance variety “ZHE101” for by space mutation [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2006, **20**(5): 398-400.
- 10 Mei M, Qin Y, Sun Y. Morphological and molecular changes of maize plants after seeds been flown on recoverable satellite. *Advances in Space Research*, 1998, **22**: 1691-1697.
- 11 谢琳, 牛应泽, 郭世星. 航天搭载与 NaN<sub>3</sub> 处理对甘蓝型油菜根尖细胞的诱变效应[J]. 中国农业科学 2008, **41**(12): 4250-4256. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2008.12.041.  
XIE Lin, NIU Yingze, GUO Shixing. Cytological effects of mutation on root-tip cells in rapeseed (*Brassica napus* L.) by space flight and sodium azide [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, **41**(12): 4250-4256. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2008.12.041.
- 12 胡国玉, 张丽亚, 黄志平, 等. 空间搭载对夏大豆品种的诱变效应[J]. 大豆科学, 2010, **29**(6): 930-933. DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2010.06.0930.  
HU Guoyu, ZHANG Liya, HUANG Zhiping, *et al.* Mutagenic effects of space flight on summer soybean varieties [J]. *Soybean Science*, 2010, **29**(6): 930-933. DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2010.06.0930.
- 13 李水凤, 汪柄良, 管学玉, 等. 卫星搭载处理对辣椒萌发过程中抗氧化酶活性的影响[J]. 核农学报, 2006, **20**(4): 432-436. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8551.2006.03.010.  
LI Shuifeng, WANG Bingliang, GUAN Xueyu, *et al.* Effects of boarding return satellite on antioxidant enzyme activities germination of hot pepper seed [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2006, **20**(4): 432-436. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8551.2006.03.010.
- 14 Nechitailo G S, LU Jinying, Xue Huai, *et al.* Influence of long term exposure to space flight on tomato seeds [J]. *Advances in Space Research*, 2005, **36**(7): 1329-1333. DOI:10.1016/j.asr.2005.06.043.
- 15 Rasmussen O, Baggenmd C, Larssen HC, *et al.* The effect of microgravity on regeneration of intact plant from protoplasts [J]. *Physiology Plant*, 1994, **92**: 404-411.
- 16 ZHANG Linlin, HU Peisong, TANG Shaoqing, *et al.* Comparative studies on major nutritional components of rice with giant embryo [J]. *Journal Food Biochemistry*, 2005, **29**: 653-661.
- 17 严琳玲, 白昌军, 刘国道. 卫星搭载柱花草的生物学效 [J]. 热带作物学报, 2009, **30**(11): 1565-1571. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2009.11.004.  
YAN Linling, BAI Changjun, LIU Guodao. Biological effects of space mutants of *Stylosanthes guianensis* [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2009, **30**(11): 1565-1571. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2009.11.004.
- 18 白昌军, 刘国道, 严琳玲. 空间诱变柱花草品系比较试验 [J]. 热带作物学报, 2009, **30**(7): 953-959. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2009.07.012.  
BAI Changjun, LIU Guodao, YAN Linling. Comparison trials of *Stylosanthes* induced by space flight [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2009, **30**(7): 953-959. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2009.07.012.
- 19 密士军, 郝再斌. 航天诱变育种研究新进展[J]. 黑龙江

- 省农业科学, 2002(4): 31-33.
- MI Shijun, HAO Zaibin. The recent progress on breeding by spaceflight mutagenesis [J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2002(4): 31-33.
- 20 方金梁, 邹定斌, 周永胜, 等. 航天诱变选育高产高蛋白水稻新品种[J].核农学报, 2004, **18**(4): 280-283. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8551.2004.04.010.
- FANG Jinliang, ZOU Dingbin, ZHOU Yongsheng, *et al.* Breeding of high yield and high protein rice varieties by space mutation [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2004, **18**(4): 280-283. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8551.2004.04.010.
- 21 王广金, 闫文义, 孙岩, 等. 春小麦航天育种效果的研究[J]. 核农学报, 2004, **18**(4): 257-260. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8551.2004.04.004.
- WANG Guangjin, YAN Wenyi, SUN Yan, *et al.* Breeding effect of space treatment on spring wheat [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2004, **18**(4): 257-260. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8551.2004.04.004.
- 22 潘光辉, 尹贤贵, 杨琦凤, 等. 作物航天诱变育种研究进展[J]. 西南农业学报, 2005, **18**(6): 853-857. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4829.2005.06.043.
- PAN Guanghui, YIN Xiangui, YANG Qifeng, *et al.* Progress in crop mutation breeding induced by space flight [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2005, **18**(6): 853-857. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4829.2005.06.043.
- 23 周桂元, 梁炫强, 李少雄. 花生太空诱变育种研究初报[J]. 花生学报, 2006, **35**(1): 22-24. DOI: 10.3969/j.issn.1002-4093.2006.01.005.
- ZHOU Guiyuan, LIANG Xuanqiang, LI Shaoxiong. The first report of study on space mutation in peanut breeding [J]. Journal of Peanut Science, 2006, **35**(1): 22-24. DOI: 10.3969/j.issn.1002-4093.2006.01.005.
- 24 刘鑫磊, 马岩松, 栾晓燕, 等. 航天诱变对大豆品种光合性状影响[J]. 大豆科学, 2011, **30**(4):606-608.
- LIU Xinlei, MA Yansong, LUAN Xiaoyan, *et al.* Effect of space mutation on photosynthetic characteristics of soybean varieties [J]. Soybean Science, 2011, **30**(4): 606-608.
- 25 张惠君, 敖雪, 王海英, 等. 空间诱变对大豆叶片形态和生理的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2011, **42**(5): 527-532. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1700.2011.05.003.
- ZHANG Huijun, AO Xue, WANG Haiying, *et al.* Effect of space mutation on leaf morphology and physiology of soybean cultivar [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2011, **42**(5): 527-532. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1700.2011.05.003.
- 26 郑伟, 郭泰, 王志新, 等. 航天搭载大豆 SP2 农艺性状诱变效应初报[J]. 核农学报, 2008, **22**(5): 563-565.
- ZHENG Wei, GUO Tai, WANG Zhixin, *et al.* The mutagenic effects of space flight on SP2 agronomic traits of soybean [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2008, **22**(5): 563-565.
- 27 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.
- WEN Xianfang, ZHANG Long, DAI Weixu, *et al.* Study of space mutation breeding in China [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2004, **18**(4): 241-246.
- 28 郭泰, 刘忠堂, 吕秀珍, 等. 合丰号的辐射诱变育种回顾[J]. 核农学报, 2010, **24**(2): 292-297.
- GUO Tai, LIU Zhongtang, LYU Xiuzhen, *et al.* A review of irradiation-induced breeding of a series of soybean varieties Hefeng [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2010, **24**(2): 292-297.
- 29 郑伟, 郭泰, 王志新, 等. 不同熟期大豆对航天诱变的反应[J]. 中国种业, 2008(5): 47-49.
- ZHENG Wei, GUO Tai, WANG Zhixin, *et al.* Reaction of soybean to space mutation in different stages of ripening stage [J]. Chinese Seed Industry, 2008(5): 47-49.
- 30 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.
- WANG Ruizhen, CHENG Chunming, HU Shuixiu, *et al.* Soybean carried by airship [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2001, **13**(4): 62-64.
- 31 于绍轩, 韩粉霞, 孙君明, 等. 空间环境对大豆主要农艺性状及蛋白品质的诱变效应[J]. 核农学报, 2010, **24**(3): 453-459.
- YU Shaoxuan, HAN Fenxia, SUN Junming, *et al.* Effect of induced mutation by space-flight on main agronomic traits and protein components in soybean [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2010, **24**(3): 453-459.
- 32 夏承志, 张玲华. 空间诱变育种的分子标记技术[J]. 生物技术通讯, 2006, **17**(5): 814-816. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0002.2006.05.040.
- XIA Chengzhi, ZHANG Linghua. Molecular marker technique in space mutation breeding [J]. Letters in Biotechnology, 2006, **17**(5): 814-816. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0002.2006.05.040.
- 33 龙卫平, 郑锦荣. 太空育种研究进展[J]. 长江蔬菜, 2005(7): 35-38.
- LONG Weiping, ZHENG Jinrong. Advances in the

- research and application [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2005(7): 35-38.
- 34 刘玲雪, 贺海生, 郑伟, 等. 航天搭载大豆 SP3 几个农艺性状诱变效应[J]. *大豆科学*, 2011, **30**(1): 168-170.  
LIU Lingxue, HE Haisheng, ZHENG Wei, *et al.* Space flight mutagenic effects on major agronomic characters of SP3 soybean [J]. *Soybean Science*, 2011, **30**(1): 168-170.
- 35 谢甫绋, 姜艳杰, 张惠君, 等. 空间诱变对大豆长花序短果枝性状的影响[J]. *大豆科学*, 2009, **28**(6): 964-969. DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2009.06.964.  
XIE Futi, JIANG Yanjie, ZHANG Huijun, *et al.* Effect of space mutagenesis on long floral axis and short pod-branch of soybeans [J]. *Soybean Science*, 2009, **28**(6): 964-969. DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2009.06.964.
- 36 蒋凌雪, 刘章雄, 任洪雷, 等. 空间诱变后大豆对草甘膦的耐性研究[J]. *核农学报* 2011, **25**(5): 844-850.  
JIANG Lingxue, LIU Zhangxiong, REN Honglei, *et al.* Glyphosate tolerance of soybean mutant gained after boarding on satellite [J]. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2011, **25**(5): 844-850
- 37 甘仪梅, 张树珍, 武媛丽, 等. 作物航天诱变育种变异特征研究进展[J]. *广东农业科学*, 2015(1): 119-123.  
GAN Yimei, ZHANG Shuzhen, WU Yuanli, *et al.* Advance on the mutant characteristics of crops induced by spaceflight [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015(1): 119-123.
- 38 黄永相, 郭涛, 蔡金洋, 等. 空间环境和  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  辐照对水稻稻米品质的诱变效应[J]. *核农学报* 2013, **27**(6): 709-714.  
HUANG Yongxiang, GUO Tao, CAI Jinyang, *et al.* Mutagenic effect of space environment and  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  ray on rice quality [J]. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2013, **27**(6): 709-714.
- 39 彭选明, 庞伯良, 邓钢桥, 等. 航天与辐射共诱变在水稻育种中的应用[J]. *激光生物学报*, 2006, **15**(1): 101-105.  
PENG Xuanming, PANG Boliang, DENG Gangqiao, *et al.* Application of space mutation and irradiation in the Breeding of rice variety [J]. *Acta Laser Biology Sinica*, 2006, **15**(1): 101-105.
- 40 庞伯良, 彭选明, 朱校奇. 航天诱变与辐射诱变相结合选育水稻新品种[J]. *核农学报*, 2004, **18**(4): 284-285.  
PANG Boliang, PENG Xuanming, ZHU Xiaochi. The breeding of new rice variety by space mutation and irradiation [J]. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2004, **18**(4): 284-285.
- 41 庞爱军, 庞伯良, 彭选明, 等. 卫星搭载与  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  射线复合处理水稻干种子诱变效果的研究[J]. *核农学报*, 2006, **20**(2): 87-89. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8551.2006.02.002  
PANG Aijun, PANG Boliang, PENG Xuanming, *et al.* Mutagenic effects of rice carried by recoverable satellite and irradiated with  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -ray [J]. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2006, **20**(2): 87-89. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8551.2006.02.002.
- 42 周秀艳, 王新国, 刘建平, 等. 黄瓜品系 649 卫星搭载后的遗传变异研究 [J]. *东北农业大学学报*, 2011, **42**(1): 85-88.  
ZHOU Xiuyan, WANG Xinguo, LIU Jianping, *et al.* Study on inheritance and variance of cucumber line 649 carried by recoverable satellite [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2011, **42**(1): 85-88.
- 43 郑伟, 郭泰, 王志新, 等. 大豆合丰 25 复合诱变研究[J]. *激光生物学报*, 2011, **20**(2): 190-194.  
ZHENG Wei, GUO Tai, WANG Zhixin, *et al.* A research of composite mutagenesis on soybean Hefeng25 [J]. *Acta Laser Biology Sinica*, 2011, **20**(2): 190-194.
- 44 吕爽, 郑伟, 郭泰, 等. 大豆航天搭载与  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  辐射复合诱变效果分析[J]. *黑龙江省农业科学*, 2012(3): 12-15.  
LYU Shuang, ZHENG Wei, GUO Tai, *et al.* Effect analysis on composite mutation with space launch and  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  ray on soybean [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2012(3): 12-15.
- 45 郭泰, 刘成贵, 郑伟, 等. 美国矮秆大豆资源引入与育种利用效果分析[J]. *大豆科学*, 2014, **33**(5): 638-641.  
GUO Tai, LIU Chenggui, ZHENG Wei, *et al.* Breeding effect analysis and introduction of USA dwarf soybean resources [J]. *Soybean Science*, 2014, **33**(5): 638-641.
- 46 郑伟, 谢甫绋, 郭泰, 等. 大豆航天搭载 SP4 选择效果与 SP2 代变异率相关分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2014, **15**(1): 200-204.  
ZHENG Wei, XIE Futi, GUO Tai, *et al.* The correlation analysis of selection effect for SP4 and variations for SP2 in space flight on soybean [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, **15**(1): 200-204.
- 47 贾鸿昌, 韩德志, 闫洪睿, 等. 利用航天育种技术选育大豆新品种金源 55 号 [J]. *核农学报*, 2015, **29**(6): 1025-1029. DOI: 10.11869/j.issn.1000-8551.2015.06.1025.  
JIA Hongchang, HAN Dezhi, YAN Hongrui, *et al.* Development of a new soybean variety 'Jinyuan No.55' by using space breeding [J]. *Journal of Nuclear Agricultural*

- Sciences, 2015, **29**(6): 1025-1029. DOI: 10.11869/j.issn.1000-8551.2015.06.1025.
- 48 张勇, 杨兴勇, 董全中, 等. 利用空间诱变技术选育大豆新品种克山 1 号[J]. 核农学报, 2013, **27**(9): 1241-1246. DOI: 10.11869/hnxb.2013.09.1241.  
ZHANG Yong, YANG Xingyong, DONG Quanzhong, *et al.* Development of a new soybean variety 'Keshan No.1' by using space-induced mutation [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2013, **27**(9): 1241-1246. DOI: 10.11869/hnxb.2013.09.1241.
- 49 潘光辉, 尹闲贵, 杨琦凤, 等. 作物航天育种研究进展. 西南农业学报, 2005, **18**(6): 853-856.  
PAN Guanghui, YIN Xiangui, YANG Qifeng, *et al.* Progress in crop mutation breeding induced by spaceflight, Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2005, **18**(6): 853-856.
- 50 Chatterjee A, Holley W R. Biochemical mechanisms and clusters of damage for High-LET radiation [J]. The Official Journal of The Committee on Space Research 1992, **12**(2-3): 33-43. DOI: 10.1016/0273-1177(92)90087-E.
- 51 薛淮, 刘敏. 植物空间诱变的生物效应及其育种研究进展[J]. 生物学通报, 2002, **37**(11): 7-9. DOI: 10.3969/j.issn.0006-3193.2002.11.003.  
XUE Huai, LIU Min. Plant mutation breeding biological effects and its research progress [J]. Bulletin of Biology, 2012, **37**(11): 7-9. DOI: 10.3969/j.issn.0006-3193.2002.11.003.
- 52 杨存义, 陈芳远, 王应祥, 等. 粳稻品种秋光空间诱变突变体的微卫星分析[J]. 西北植物学报, 2003, **23**(9): 1550-1555. DOI: 10.3321/j.issn:1000-4025.2003.09.013.  
YANG Cunyi, CHEN Fangyuan, WANG Yingxiang, *et al.* Polymorphic analysis of microsatellite markers in mutants of japonica cultivar "Akibikari" induced by the space flight [J]. Acta Botanica Boreo-Occidentalia Sinica, 2003, **23**(9): 1550-1555. DOI: 10.3321/j.issn:1000-4025.2003.09.013.
- 53 李东芳, 倪丕冲, 沈桂芳. 水稻航天诱变育种及其机理研究的进展与展望[J]. 生物技术通报, 2004(3): 23-29. DOI: 10.3969/j.issn.1002-5464.2004.03.006.  
LI Dongfang, NI Pichong, SHEN Guifang. The progress and prospect on the rice breeding by space-flight mutagenesis and mechanism [J]. Biotechnology Bulletin, 2004(3): 23-29. DOI: 10.3969/j.issn.1002-5464.2004.03.006.
- 54 王茂芊, 吴则东, 王华东. 利用 SRAP 标记分析我国甜菜三大产区骨干材料的遗传多样性[J]. 作物学报, 2011, **37**(5): 811-819. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2011.00811.  
WANG Maoqian, WU Zedong, WANG Huazhong. Genetic diversity of major sugar beet varieties from three regions of China with SRAP markers [J]. Acta Agronomica Sinica 2011, **37**(5): 811-819. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2011.00811.
- 55 赵曦, 王广金, 李铁, 等. 大豆空间诱变突变体的 RAPD 分析[J]. 核农学报, 2014, **28**(5): 772-776.  
ZHAO Xi, WANG Guangjin, LI Tie, *et al.* RAPD analysis of soybean mutants by space mutation [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2014, **28**(5): 772-776.
- 56 张宏纪, 刁艳玲, 孙连发, 等. 航天诱变新品种龙辐麦 18 的选育及其主要特征特性分析[J]. 核农学报, 2008, **22**(3): 243-247.  
ZHANG Hongji, DIAO Yanling, SUN Lianfa, *et al.* The breeding of Longfuma 18 by space mutation and variation analysis of its main characters [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2008, **22**(3): 243-247.
- 57 郑伟, 朱凤丽, 郭泰, 等. 空间诱变创新大豆种质的研究进展, 中国种业, 2015(6): 16-18.  
ZHENG Wei, ZHU Fengli, Guo Tai, *et al.* The research progress of soybean germplasm innovation mutation induced by space flight [J]. China seed industry, 2015(6): 16-18.
- 58 武丽荣. 非转基因航天大豆通过鉴定[J]. 中国油脂, 2013, **38**(5): 29.  
WU Linrong. Identification of non-GMO soybeans [J]. Chinese Oil, 2013, **38**(5): 29.
- 59 张达, 王云秋, 郝再彬, 等. 谈我国航天育种研究[J]. 东北农业大学学报, 2006, **37**(3): 416-422.  
ZHANG Da, WANG Yunqiu, HAO Zaibin, *et al.* Review on the research of space flight breeding in China [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2006, **37**(3): 416-422.
- 60 王旭辉, 赵晓梅, 叶凯, 等. 农业航天诱变育种的应用及研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, **41**(23): 9575-9576.  
WANG Xuhui, ZHAO Xiaomei, YE Kai, *et al.* Application and advance in the space flight mutation breeding in agriculture [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, **41**(23): 9575-9576.
- 61 Dellaporta S L, Wood J, Hick J B. A plant DNA miniprep: version II [J]. Plant Molecular Biology Reporter. 1983, **1**(4): 19-20.



## Research progress on the space-flight mutation breeding of soybean

ZHENG Wei GUO Tai WANG Zhixin LI Candong ZHANG Zhenyu GUO Meiling  
WANG Qingsheng ZHANG Maoming LIU Zhongtang

*(Jiamusi Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154007, China)*

**ABSTRACT** Space mutation breeding is an important soybean breeding method in the new variety creation process. Currently, periodical progress in soybean space mutation breeding has been made in China. There were four space mutation soybean varieties that had been approved by national or provincial crop variety examination and approving committee and more soybean strains participated in the national or provincial regional tests and production tests. The breeding technique studies including material selection, progeny selection and the time and methods selection have been carried out deeply. The mutagenic effects on agronomic traits and resistance have been fully research. The studies formed a technical system, which guided the soybean space mutation breeding. It discussed the space mutation breeding applications on mutagenic molecular mechanism and marker-assisted selection. The study indicated mutagenic mechanism and screening techniques would be the key in the future research. In order to improve the level and efficiency of soybean space-flight mutation breeding, the cooperation and communication on breeding materials and technologies between the breeding institutes should be strengthened.

**KEYWORDS** Soybean, Breeding, Space-flight mutation, Research progress

**CLC** TL99