

# 紫花苜蓿的航天诱变

杨红善<sup>1</sup>, 常根柱<sup>1</sup>, 包文生<sup>2</sup>

(1. 中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所, 甘肃 兰州 730050; 2. 甘肃省航天育种工程技术中心, 甘肃 天水 741030)

**摘要:** 航天诱变育种是以高科技返回式卫星为平台的新兴育种方法, 其目的是利用太空的特殊环境使种子遗传信号发生改变, 地面种植后, 获得有益突变体, 选育新种质、新材料和培育新品种的植物育种技术。航天育种已在小麦(*Triticum aestivum*)、水稻(*Oryza sativa*)、辣椒(*Capsicum* spp.)、番茄(*Lycopersicon esculentum*)等农作物及蔬菜上被广泛应用, 且已通过国家或省级鉴定了 72 个品种, 我国的航天育种走在世界前列, 但牧草航天育种尚处于初始阶段, 主要集中于紫花苜蓿(*Medicago sativa*)方面的相关研究。本文简要阐述紫花苜蓿航天诱变研究的自身特点, 以及目前我国紫花苜蓿航天诱变研究进展, 并提出当前存在的问题。

**关键词:** 紫花苜蓿; 航天育种; 变异类型

**中图分类号:** S816; S541<sup>+</sup>. 103. 52

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-0629(2013)02-0253-06

\* 1

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)是多年生的优良豆科牧草, 其营养价值高, 生产潜力大, 用途广泛, 在我国草产业发展中十分重要。紫花苜蓿产业被誉为“牛奶生产的第一车间”, 据相关报道, 按科学标准, 用紫花苜蓿干草饲喂奶牛, 可以使原料奶的乳蛋白率超过 3.0%, 乳脂率超过 3.5%, 这个指标大大超过当前的国家标准(2.75%), 并与国际标准接轨<sup>[1-2]</sup>。针对我国目前气候变化异常、紫花苜蓿当地品种及老品种病虫害严重、产量低、品质差的现状, 筛选或培育适应生产发展要求, 具优质、高产、抗旱、抗寒、耐瘠薄的紫花苜蓿品种迫在眉睫。同时, 紫花苜蓿为多年生、异花授粉植物, 遗传背景复杂, 遗传改良有很大难度, 传统的育种方法周期长、转基因育种难度大, 因此寻找一种较为快捷有效的育种方式尤为重要。采用高端的空间技术与常规农业育种技术相结合, 则是一种具有高创新型的育种研究, 航天诱变育种是以高科技为背景的新兴育种方法, 我国的航天育种走在世界前列, 主要集中于农作物和蔬菜<sup>[3]</sup>, 牧草航天育种近几年刚刚起步, 主要集中于紫花苜蓿方面的研究。应用航天诱变技术, 培育具有自主知识产权的优质、高产、安全的牧草航天诱变新品种、新品系和育种新材料, 可加快推动我国草产业的发展。

## 1 航天诱变育种

**1.1 航天诱变育种的定义** 航天诱变育种是以高科技返回式卫星为平台的新兴育种方法, 指将植物种子或其他生命体, 搭载于神舟飞船等返回式航天器, 利用空间的特殊环境(如空间宇宙射线、高真空、微重力、弱磁场等因素)综合作用, 引起生物体染色体畸变, 导致生物体遗传变异, 地面种植, 获得有益突变体, 选育新品种、新品系和新材料的植物育种技术<sup>[3]</sup>。

**1.2 航天诱变的机理** 航天诱变是高真空、微重力、空间辐射及太空未知诱因的综合作用, 包括以下 3 方面: 1) 宇宙射线、高能离子、宇宙其他物质照射种子胚芽, 导致 DNA 双链断裂重组, 从而使遗传信号改变; 2) 航天器上升、回落、失重、微重力等环境可改变染色体结构, 使得紧凑螺旋状的染色体拉长, 导致遗传信号改变; 3) 其他许多太空未知诱因, 这些因子正在研究过程中<sup>[4-9]</sup>。

**1.3 航天诱变育种的特点** 诱变频率高, 变异幅度大, 缩短育种周期。特殊的太空环境能诱发作物种子产生遗传变异, 诱变种子地面种植后, 变异类型多, 变异幅度大, 多数变异性状在后代能稳定遗传, 可加快育种进程, 一般在 SP<sub>4</sub> 代即可稳定, 比常

收稿日期: 2012-02-08 接受日期: 2012-08-23  
基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所)——苜蓿航天诱变新品种选育(1610322010002)  
作者简介: 杨红善(1981-), 男, 甘肃兰州人, 助理研究员, 在读博士生, 研究方向为牧草航天育种。E-mail: yanghsh123@126.com

规育种可提前 1~2 个世代,在植物育种上具有创新突破。作物抗逆性和产量显著提高。华南农业大学将“特粘占 13”航天搭载,经地面选育,从 SP<sub>4</sub> 代中选育出早晚季适用的新品系“华航一号”较原种增产 5%~15%,一般增产 10%,同时得到 5 个品系,稻瘟病抗性比原“特粘占 13”抗性频率从 52.9% 提高到 70% 以上<sup>[10-13]</sup>。改善农作物、蔬菜的品质。航天诱变后水稻蛋白质含量提高了 8.7%~12%,青椒的 Vc 含量提高了 19%~23%<sup>[11]</sup>。较转基因作物安全。航天诱变产生的变异属于内源基因发生改变,没有外源基因的加入,一般不存在基因安全性问题<sup>[3]</sup>。

**1.4 航天诱变育种国内外研究进展** 我国是世界上掌握了返回式卫星技术的 3 个国家(俄、美、中)之一,在开展航天诱变育种研究方面具有得天独厚的优势,航天育种在我国自 1987 年开始尝试性研究,目前已在国内形成快速发展的趋势。至今,已通过国家或省级鉴定的小麦(*Triticum aestivum*)、水稻(*Oryza sativa*)、辣椒(*Capsicum* spp.)、番茄(*Lycopersicon esculentum*)等农作物及蔬菜品种 72 个,我国的航天育种已走在了世界前列。相比农作物,牧草的航天育种尚处于初始阶段,主要集中于紫花苜蓿品种的选育。航天育种小麦产量 6 185.7 kg·hm<sup>-2</sup>,比普通小麦(4 698 kg·hm<sup>-2</sup>)提高了 31%,航天育种大豆(*Glycine max*)产量 3 000 kg·hm<sup>-2</sup>,比普通大豆 1 737 kg·hm<sup>-2</sup> 提高了 72%。

国外的航天育种以俄罗斯和美国为主,研究始于 20 世纪五六十年代,近年来,除了通过返回式卫星进行搭载试验外,主要在已建成的空间站进行了生物试验,如俄罗斯农业科学院和宇航局在“和平号”宇航站的太空温室里试种太空小麦获得成功;美国就植物对引力的感应进行研究,最终开发适合太空生长的植物,供宇航员食用<sup>[14-18]</sup>。国外在空间生物细胞学研究方面主要对经过空间诱变的哺乳动物细胞进行分子生物学及生理学研究,来了解空间环境对生物有机体的作用和影响,进一步研究空间生物细胞学的发展规律<sup>[19]</sup>。蔬菜航天育种方面,美国从 20 世纪 80 年代开始将番茄种子送上太空,在地面试验中得到了变异植株<sup>[20]</sup>。国外通过航天诱变

育种已先后成功培育了多个农作物新品种应用于生产,但航天诱变在紫花苜蓿方面的研究国外相关报道很少。

## 2 紫花苜蓿航天诱变研究

**2.1 紫花苜蓿及其他草品种航天搭载** 以往航天育种的注意力主要放在农作物和蔬菜上,忽视了草类植物,近几年开始探讨草类航天育种工作,且主要集中在紫花苜蓿研究。1987—2005 年是我国航天育种的研究和立项阶段,在这期间先后利用返回式卫星和神舟飞船共进行 19 次搭载试验,搭载品种 2 000 余种,2006 年开始进入发展阶段,2006 年 9 月 9 日“实践八号”农业育种卫星一次搭载品种 2 000 多种,其中农作物约占 40%,蔬菜约占 30%,而草品种仅占 1% 左右<sup>[4]</sup>,部分草类植物搭载品种见表 1。另外,张蕴薇<sup>[21]</sup>指出,在草类植物航天诱变育种方面,1994 年首次搭载了红豆草(*Onobrychis viciifolia*)、紫花苜蓿、新麦草(*Psathyrostachys juncea*)3 种牧草,此后,神舟 3 号、4 号、5 号和实践八号,先后搭载了紫花苜蓿、草地早熟禾(*Poa pretensis*)、野牛草(*Buchloe dactyloides*)和白三叶(*Trifolium repens*)等,中国林业科学院花卉研发中心近年来对航天搭载的草地早熟禾(*Poa pretensis*)、黑麦草(*Lolium perenne*)生长低矮的性状进行了研究。

## 2.2 紫花苜蓿航天诱变研究

**2.2.1 诱变效应田间观测** 紫花苜蓿种子航天搭载后,表现出较强的诱变效应。张月学等<sup>[8]</sup>研究发现,航天诱变的同一批紫花苜蓿不同品种,在发芽率、单株分枝数等性状上存在差异。任卫波<sup>[23-24]</sup>研究了搭载于第 18 颗返回式卫星的中苜 1 号、龙牧 803、敖汉苜蓿 3 个品种,结果表明,中苜 1 号苗期搭载单株株高显著低于地面对照,而分枝期一开花期单株株高比地面对照显著增加;龙牧 803 搭载单株苗期和分枝期的株高相比地面对照显著增加,初花期则无显著差异;敖汉苜蓿搭载单株在 3 个时期的株高都显著高于地面对照,可见生物学效应因品种和时期而异,3 个品种的诱变效率存在差异。王蜜等<sup>[25]</sup>研究搭载于“实践八号”的 3 个紫花苜蓿品系,发现紫花苜蓿搭载 SP<sub>1</sub> 代和 SP<sub>2</sub> 代种子的发芽率和盐胁迫发芽率均无显著变化;通过田间观测和数据分析发现,搭载后的紫花苜蓿 SP<sub>1</sub> 代单株株高、分枝数、

表 1 牧草航天搭载试验  
Tab 1 Test of forage space mutation

卫星型号 Satellite model	时间 Time/yyyy-mm-dd	试验单位 Trials unit	搭载品种 Equipped variety
第 14 颗返回式卫星 No. 14 recoverable satellites	1992-10-06— 1992-10-13	中科院植物研究所 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> 、 无芒雀麦 <i>Bromus inermis</i>
第 16 颗返回式卫星 No. 16 recoverable satellites	1994-07-03— 1994-07-18	兰州大学 Lanzhou University	红豆草 <i>Onobrychis viciaefolia</i> 、 紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> 、 沙打旺 <i>Astragalus Huangheensis</i>
第 17 颗返回式卫星 No. 17 recoverable satellites	1996-10-20— 1996-11-04	中国农科院北京畜牧研究所 Bei jing Institute of Animal Science of CAAS	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> 、 沙打旺 <i>Astragalus Huangheensis</i> 、 红三叶 <i>Trifolium pratense</i> 、 白三叶 <i>Trifolium repens</i> 、 一年生黑麦草 <i>Lolium multiflorum</i> 、 多年生黑麦草 <i>Lolium perenne</i>
第 18 颗返回式卫星 No. 18 recoverable satellites	2003-11-03— 2003-11-21	中国农科院北京畜牧研究所 Bei jing Institute of Animal Science of CAAS	中苜 1 号紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> Zhong mu No. 1、 龙牧 803 <i>Medicago sativa</i> Longmu 803、 敖汉苜蓿 <i>Medicago sativa</i> Aohan
“神舟 3 号”飞船 “Shenzhou No. 3” spacecraft	2002-03-25— 2002-04-01	甘肃省航天育种中心 Space Breeding Engineering Research Center of Gansu province	德宝 <i>Medicago sativa</i> cv. Derby、德福 <i>Medicago sativa</i> cv. Deful、 三得利 <i>Medicago sativa</i> cv. Sanditi、 阿尔冈金 <i>Medicago sativa</i> cv. Algon- quin
“实践八号”试验卫 星 “Practice No. 8” test satellite	2006-09-09— 2006-09-24	黑龙江农科院草业研究所 Institute of Pratacultural Sciences; Heilongjiang Academy of Agricul- tural Sciences	8 个紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> (WL232、WL323HQ、BeZa87、Plev- en6、龙牧 801 Longmu801、龙牧 803 Longmu803、肇东苜蓿 Zhaodong、草 原 1 号 Caoyuan No. 1)
“神舟 8 号”飞船 “Shenzhou No. 8” spacecraft	2011-11-01— 2011-11-17	中国农科院兰州畜牧与兽药研究所 Lanzhou Institute of Husbandry and Pharmaceutical Sciences of CAAS	3 个紫花苜蓿品系(该所多年选配而 成的品系) Three alfalfa strain
“天宫 1 号” 目标飞行器 “Tiangong No. 1” satellite	2011-11-01— 2012-06-29	中国农科院兰州畜牧与兽药研究所 Lanzhou Institute of Husbandry and Pharmaceutical Sciences of CAAS	2 个紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> 、 2 个燕麦 <i>Avena sativa</i> 、 红三叶 <i>Trifolium pratense</i> 、 猫尾草 <i>Phleum pratense</i>
“天宫 1 号” 目标飞行器 “Tiangong No. 1” satellite	2011-11-01— 2012-06-29	中国农科院兰州畜牧与兽药研究所 Lanzhou Institute of Husbandry and Pharmaceutical Sciences of CAAS	1 个紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> 、 1 个燕麦 <i>Avena sativa</i>

注:数据引自《中国航天诱变育种》和已报道的文献,部分数据未能统计<sup>[4]</sup>,此表仅供参考。

Note: Data cited in “China Space Mutation Breeding” and reported in literature. Part of the data failed to statistics. Only for reference.

单株生物量鲜质量、干质量均出现不同程度的增加,与地面对照差异均达到显著水平( $P < 0.05$ ); SP<sub>2</sub>代种子的千粒重增加了 5%~9%,发芽率、种苗苗质量、芽长和根长显著增加,硬实种子数、霉变种子

数显著减少。中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所与甘肃省航天育种中心及天水市农业科学研究所合作,以 2002 年搭载于“神舟 3 号”飞船的 4 个紫花苜蓿品种德宝、德福、阿尔冈金、三得利为基础材料,

在兰州和天水建立了两个紫花苜蓿航天搭载材料选育圃及两个紫花苜蓿航天诱变育种试验区,连续3年观测记载,初步确定了7种变异类型:多叶(3株)、白花(1株)、速生和高产(14株)、大叶(11株)、抗蓟马、蚜虫(7株)、早熟(7株)、矮生、分蘖性强(2株),所选单株已分别挂牌标记,正在进一步选育,其中多叶型紫花苜蓿新品系“兰航1号”已进入品比试验阶段。

**2.2.2 诱变效应分子标记研究** 分子标记(Molecular Markers)是近年出现的新型遗传标记,已经广泛应用于植物遗传图谱的构建、植物育种的早期筛选、植物遗传多样性分析与种质鉴定等方面。植物种子经航天诱变后,在地面种植而成的植株,所产生的变异,有的可以稳定遗传给下一代,有的不能稳定遗传给下一代。分子标记有利于变异植株的早期选择,同时一些早期选择表现不明显,而在后代中表现优良的植株,可以通过分子标记达到直接选择的目的。因此,分子标记技术越来越广泛的应用于植物航天诱变育种中<sup>[26-38]</sup>。

分子标记在紫花苜蓿航天育种中的应用,范润钧等<sup>[39-40]</sup>就搭载于“神舟3号”飞船的4个紫花苜蓿品种,从17对SSR引物中最终筛选出6对扩增条带较多、条带清晰、信号强的引物,对224株SP<sub>1</sub>代单株材料利用这6对SSR引物进行扩增,共检测到25个等位基因,其中15个与地面对照基因组存在多态性,多态性表现为扩增片段的缺失或增加。王蜜等<sup>[25]</sup>研究中国农业科学院草原研究所搭载于“实践8号”卫星的3个紫花苜蓿品系,在田间初步筛选出15个变异单株,随后对选择的单株材料开展了蛋白质与分子方面的检测分析,结果表明,搭载SP<sub>1</sub>代幼苗的过氧化物酶平均活性比地面对照提高了18.6%;聚丙烯酰胺凝胶电泳结果显示,过氧化物同工酶比对照增加了1条酶带;RAPD检测结果表明,15个变异单株通过株系自交鉴定,其中5个单株的株高变异可以稳定遗传,搭载SP<sub>1</sub>代的可遗传变异率为1.196。杜连莹等<sup>[41]</sup>用36对引物对8个搭载于“实践八号”的紫花苜蓿品种及地面对照进行RAPD随机扩增,通过筛选得到21个引物分别在8个品种扩增出带型清晰、重复性好和多态性高的条带,包括条带的新增和缺失;航天搭载的8个紫花苜蓿品种

其中新增条带多态率最高的达9.72%;而缺失条带多态率最高为12.82%。

**2.2.3 诱变效应生理生化研究** 任卫波等<sup>[7]</sup>研究搭载于“实践八号”的3个紫花苜蓿品系,发现诱变SP<sub>1</sub>代幼苗根尖细胞分离指数、染色体畸变等方面表现出较强的诱变效应,搭载后促进品系二、品系四的细胞正常有丝分裂,抑制品系一的细胞正常有丝分裂;搭载种子根尖细胞染色体出现了微核、染色体桥、断片、落后等畸变类型。冯鹏等<sup>[42]</sup>研究发现,种子含水量对诱变效应具显著影响,以含水量13%~15%为最佳。杜连莹等<sup>[41]</sup>对“实践八号”搭载的8个紫花苜蓿品种研究表明,SP<sub>1</sub>代根尖细胞的有丝分裂指数呈上升趋势;搭载后的8个品种叶片内POD活性均增强、可溶性蛋白含量均增高、叶片内SOD活性均降低。马学敏等<sup>[43]</sup>对不同含水量紫花苜蓿种子航天搭载后植株叶片保护酶活性的研究,得出空间诱变对植株的抗逆性产生正效应,并在含水量13%~15%时达到最大的诱变效应。

### 3 讨论与展望

航天育种是近20多年来发展起来的一项新兴育种技术,其综合了航天科技、空间辐射、分子生物学、遗传、育种等跨学科的高新技术,已成为空间生命科学研究的重要内容之一。航天诱变在地面无法模拟,具有其特殊性和优越性,已成为一种主要的诱变育种方法。目前航天诱变育种的研究大多数只是在田间对变异材料的直接选择,对引起变异的机理如细胞学、分子生物学及生物化学等方面还处于研究阶段,理论研究滞后于应用研究。另外,我国从事该项研究的人员十分分散,工作持续性不足,缺乏信息共享和材料交流,研究论文少,深入研究更少。

航天诱变育种多年研究得出其最显著的特点是提高植物生物量、早熟性和抗逆性,这对紫花苜蓿而言最为重要。在理论和机理研究的基础上,更应该加强育种方面的研究。通过田间观测、室内分析、分子标记等各种方法的综合评价,选出有益变异材料进行品种选育工作,由于诱变育种研究存在一定的不稳定性,如紫花苜蓿在SP<sub>1</sub>代选择的有益单株材料,SP<sub>2</sub>代种植后会出现个体分离,要继续选择,不能认为不稳定而放弃,通常到SP<sub>3</sub>代或SP<sub>4</sub>代就可基本稳定。

植物航天诱变具有不确定性。第一,可以创造出符合育种目标或期望的有益变异,经过多代选育可以培育出有益的新品种、新材料;第二,搭载不产生变异;第三,搭载后产生不利的变异。通常认为诱变  $SP_1$  代植株发生变异,有些属于生理损伤,不能稳定遗传,有些可以稳定遗传给后代,再经过三或四代的选育,使得变异性状稳定遗传,获得表型和基因型变异均稳定的变异株系。

分子标记在紫花苜蓿航天诱变研究中的应用,有利于变异植株的早期选择,如一些早期田间选择表现不明显,而在后代却表现优良的植株,可以通过分子标记达到直接选择的目的,可用于分析诱变材料当代及后代基因型差异,鉴定变异群体中具有目标基因的个体。同时,利用分子生物学的方法克隆出引起变异的诱导基因,通过转基因技术将其转入到载体中,使目标性状得以表达,可以得到更多的育种材料。

## 参考文献

- [1] 杨红善,常根柱,周学辉,等. 美国引进苜蓿品种半湿润区栽培试验[J]. 草业学报,2010,19(1):121-127.
- [2] 杨红善,常根柱,周学辉,等. 苜蓿引进品种半干旱、半湿润区适应性试验[J]. 西北农业学报,2011,20(1):86-90.
- [3] 刘纪元. 中国航天诱变育种[M]. 北京:中国宇航出版社,2007.
- [4] Xu Y Y, Jia F, Wang B, *et al.* Changes in isoenzymes and amino acids in forage and germination of the first post-flight germination of seeds of three legume species after space-flight[J]. Grass and Forage Science, 1999, 54:371-375.
- [5] Mengoni A, Ruggini C, Vendramin G G, *et al.* Chloroplast microsatellite variations in tetraploid alfalfa[J]. Plant Breeding, 2000, 119:509-512.
- [6] Mengoni A, Gori A, Bazzicalupo M. Use of RAPD and microsatellite (SSR) variation to assess genetic relationships among populations of tetraploid alfalfa, *Medicago sativa* [J]. Plant Breeding, 2001, 119:311-317.
- [7] 任卫波,徐柱,陈立波,等. 紫花苜蓿种子微卫星搭载后其根尖细胞的生物学效应[J]. 核农学报,2008,22(5):566-568.
- [8] 张月学,刘杰琳,韩微波,等. 空间环境对紫花苜蓿的生物学效应[J]. 核农学报,2009,23(2):266-269.
- [9] Ourania I, Piergiorgio S, Enrico B, *et al.* Achievements and prospects in breeding for rhizomania resistance in sugar beet [J]. Field Crops Research, 2011, 122:165-172.
- [10] 王慧,陈志强,张建国,等. 航天育种优良水稻品种华航一号[J]. 中国稻米,2003(6):18.
- [11] 李源祥,蒋兴村,李金围,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.
- [12] 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.
- [13] 邢金鹏,陈受宜,朱立煌,等. 水稻种子经卫星搭载后大粒型突变系分子生物学分析[J]. 航天医学与医学工程,1995(2):75-80.
- [14] 密士军,郝再彬. 航天育种研究的新进展[J]. 黑龙江农业科学,2002(4):31-33.
- [15] 杨震,庞伯良,谭林. 我国空间诱变育种研究进展[J]. 湖南农业科学,2006(6):19-21.
- [16] 张蕴薇,韩建国,任卫波. 植物空间诱变育种及其在牧草上的应用[J]. 草业科学,2005,22(10):59-63.
- [17] 李培夫. 航天诱变育种技术在作物育种上的应用[J]. 种子科技,2006,25(1):35-36
- [18] 胡化广,刘建秀,郭海,等. 我国植物空间诱变育种及其在草类植物育种中的应用[J]. 草业学报,2006,15(1):15-21.
- [19] 蔡哲,张岚,舒峻,等. 空间环境对细胞生物学特性的影响[A]. 2011 航天工程育种论坛论文集[C]. 北京:中国空间研究院,2011:66-71.
- [20] 扈新民,李亚利,高彦辉. 航天诱变及其在辣椒育种中的应用及展望[A]. 2011 航天工程育种论坛论文集[C]. 北京:中国空间研究院,2011:132-137. [21] 张蕴薇. 草空间诱变育种研究进展[A]. 中国草学会牧草育种专业委员会 2007 年学术研讨会论文集[C]. 厦门:中国草学会,2007:443-445.
- [22] 任卫波,韩建国,张蕴薇,等. 几种牧草种子空间诱变效应的研究[J]. 草业科学,2006,23(3):72-76.
- [23] 任卫波,韩建国,张蕴薇,等. 航天育种研究进展及其在草上的应用前景[J]. 中国草地学报,2006,28(5):91-97.
- [24] 任卫波,王蜜,陈立波,等. 卫星搭载对苜蓿种子 PEG 胁迫萌发及生长的影响[J]. 草地学报,2008,16(4):428-430.

- [25] 王蜜. 紫花苜蓿种子空间诱变变异效应的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2010.
- [26] 周延清. DNA 分子标记技术在植物研究中的应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2005:6-9.
- [27] 黄艳霞, 白昌军. 分子标记技术及其在牧草中的应用[J]. 热带农业科学, 2008, 8(4):81-85.
- [28] 余红兵, 周峰, 姚鹏, 等. 高空气球搭载诱导水稻育性降低突变体 RAPD 分析[J]. 韶关学院学报(自然科学版), 2004, 25(6):89-91.
- [29] 桂枝, 高建明. 我国苜蓿育种的研究进展[J]. 天津农学院学报, 2003, 10(1):37-41.
- [30] 杨青川, 刘志鹏, 呼天明, 等. DNA 分子标记技术在苜蓿研究中的应用[J]. 中国农业科技导报, 2004, 6(2):30-34.
- [31] 刘志鹏, 杨青川, 呼天明, 等. 用 SSR 标记研究不同耐盐特性四倍体紫花苜蓿的遗传多样性[J]. 作物学报, 2006, 32(4):630-632.
- [32] 张丽芳, 魏臻武, 杨占花, 等. 蒺藜苜蓿 SSR 反应体系优化及在一年生苜蓿种质鉴定中的应用[J]. 草地学报, 2007, 15(5):429-436.
- [33] 魏臻武, 符昕, 耿小丽, 等. 苜蓿遗传多样性和亲缘关系的 SSR 和 ISSR 分析[J]. 草地学报, 2007, 15(2):118-123.
- [34] 魏臻武, 盖钧镒. 豆科模式植物蒺藜苜蓿基因组研究进展[J]. 中国草地学报, 2006(6):83-90.
- [35] 耿小丽, 魏臻武, 姚喜红, 等. 采用流式细胞仪鉴定紫花苜蓿花药愈伤组织的变异[J]. 草业学报, 2011, 20(3):156-161.
- [36] 屠德鹏, 魏臻武, 武自念, 等. 蒺藜苜蓿 EST-SSRs 分布特征及标记的开发[J]. 草业科学, 2011, 28(5):746-752.
- [37] 江腾, 林勇祥, 刘雪, 等. 苜蓿全基因组 WRKY 转录因子基因的分析[J]. 草业学报, 2011, 20(3):211-218.
- [38] 王蜜, 魏建民, 郭慧琴, 等. 紫花苜蓿空间诱变突变体筛选及其 RAPD 多态性分析(简报)[J]. 草地学报, 2009, 17(6):841-844.
- [39] 范润钧, 邓波, 陈本建, 等. 航天搭载紫花苜蓿连续后代变异株系选育[J]. 山西农业科学, 2010, 38(5):7-9.
- [40] 范润钧. 空间搭载紫花苜蓿种子第一代枝株(SP<sub>1</sub>)表型变异及基因多态性分析[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2010.
- [41] 杜连莹. 实践八号搭载 8 个苜蓿品种生物学效应研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨师范大学, 2010.
- [42] 冯鹏, 刘荣堂, 历为宏, 等. 紫花苜蓿种子含水量对微卫星搭载诱变效应的影响[J]. 草地学报, 2008, 16(6):605-608.
- [43] 马学敏, 张治安, 邓波, 等. 不同含水量紫花苜蓿种子卫星搭载后植株叶片保护酶活性的研究[J]. 草业科学, 2011, 28(5):783-787.

## Preliminary study on the space mutation breeding of alfalfa

YANG Hong-shan<sup>1</sup>, CHANG Gen-zhu<sup>1</sup>, BAO Wen-sheng<sup>2</sup>

(1. Lanzhou Institute of Husbandry and Pharmaceutical Sciences of CAAS, Lanzhou 730050, China;

2. Space Breeding Engineering Research Center of Gansu Province, Tianshui 741030, China)

**Abstract:** Boarding crop seeds on recoverable satellites to induce novel variety has become an important characteristic of space mutation breeding. It is a new breeding technique, using a special space environment on seeds, which could cause the release of chromosomal aberration and gain favorable gene mutation to breed new varieties in ground. Space mutation breeding has been widely used on the many crops and vegetables, such as wheat, rice, pepper, tomato and 72 varieties have been identified by nation or provinces. China leads the world in space breeding, but the research on pasture space breeding is still in its initial stages with a focus on the alfalfa. This paper briefly elaborated the space mutation breeding on alfalfa and the current problems.

**Key words:** alfalfa; space mutation breeding; variation types