

邓惠清,唐灿明,刘正奎,等. 陆地棉空间诱变 SP₁ ~ SP₃ 主要性状变异分析[J]. 江苏农业科学,2020,48(12):64-67,74.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.12.014

陆地棉空间诱变 SP₁ ~ SP₃ 主要性状变异分析

邓惠清¹,唐灿明²,刘正奎¹,苏锦其¹,姜利农¹

[1. 江苏省太仓市农业技术推广中心(太仓市棉花育种中心),江苏太仓 215400;

2. 南京农业大学农学院/作物遗传与种质创新国家重点实验室,江苏南京 210095]

摘要:为了解陆地棉空间诱变第1代至第3代(SP₁ ~ SP₃)的性状变异情况,2007—2009年对搭载“实践八号”卫星的2份陆地棉材料进行连续多代性状考察,将诱变后代群体主要性状的平均值、变异系数与对照群体进行比较。结果表明,诱变后代 SP₁ ~ SP₃ 衣分、铃质量性状的变异有逐代下降的趋势,而纤维品质性状的变异在 SP₃ 达到最大。SP₃ 是突变体集中产生的主要时期,2个 SP₃ 群体中均出现了较多优质棉突变个体,其品质指标较原始品种有了显著提升,表明空间诱变可能对改良棉纤维品质有较大正向作用。

关键词:空间诱变;陆地棉;变异;“实践八号”卫星;衣分;铃质量;长度;比强度;马克隆值

中图分类号:S562.036 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)12-0064-04

利用返回式卫星和高空气球所能达到的空间环境对作物种子的诱变作用产生有益的变异,在地面选育新种质、新材料,培育新品种的育种途径和方法,称为空间诱变育种或航天育种^[1]。我国是世界上少数几个成功开展航天育种的国家之一,自1987年以来,利用返回式卫星、飞船、高空科学试验气球等运载工具开展了一系列相关试验,培育出了粮棉油、蔬菜、瓜果等作物的一大批新种质资源和新品种^[2]。棉花开展航天诱变育种起步相对较晚。喻树迅等通过考察4个品种的 SP₁ 代发现,航天诱变有利于缩短中熟棉生育期,但不同品种之间有明显差异,特殊变异单株果枝始节上升,结铃性增强^[3]。师维军等发现,航天诱变对改善棉花品种的早熟性、衣分及纤维强度作用最大,不同品种不同性状对航天诱变的反应程度及方向不同,航天诱变效应可持续到2代以后^[4]。宋美珍等在对春棉和夏棉品种的航天诱变效应研究中发现,航天诱变处理能引起棉株生育性状发生变化,诱变对纤维比强度、伸长率、马克隆值作用较大,对长度、整齐度作

用相对较小,产量性状变异程度有逐代下降的趋势^[5]。李建彬等通过连续2年对诱变材料进行观察,发现航天诱变对株高、叶绿素含量有明显正向作用,对铃质量、衣分具有负作用,诱变后代的纤维长度、马克隆值的变异朝着高支纱方向变化,而比强度则呈下降趋势^[6]。彭振等通过对航天诱变处理后的10个棉花品种进行DNA分子标记检测表明,航天诱变处理能够诱导棉花产生变异,并且通过选择可以获得新种质^[7]。江苏省太仓市棉花育种中心的2个常规陆地棉品种(系)参加了“实践八号”空间搭载试验,本研究对诱变后代群体第1代至第3代(SP₁ ~ SP₃)的变异特点作初步分析,为以后相关研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

苏棉16号和太8033等2个陆地棉品种(系),均由江苏省太仓市棉花育种中心选育提供。供试种子分成2份,1份用于空间诱变处理,另1份用作地面对照(CK)。试验种子于2006年9月9日搭载“实践八号”卫星上天,在太空运行15d后落地回收。

1.2 试验方法

2007年在江苏省太仓市棉花育种中心试验基地以3:1比例间比排列种植 SP₁ 和对照。棉铃成熟吐絮后以单株为单位收取种子,对照材料按同样

收稿日期:2019-06-14

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2008BAD97B05-2);江苏省科技支撑计划(编号:BE2012337)。

作者简介:邓惠清(1974—),男,江苏太仓人,高级农艺师,主要从事棉花遗传育种研究。E-mail:deng0510@126.com。

通信作者:唐灿明,博士,教授,主要从事种业科学和棉花遗传育种研究。E-mail:tangcm@njau.edu.cn。

的方法进行。2008年选取2007年单株材料种植成株行(SP_2),每6行设置1行对照。9—10月在每个株行中选择若干单株,以单株为单位收取棉样,分别测定衣分与铃质量,同时将皮棉试样送农业农村部棉花品质监督检验测试中心完成品质检测(HVICC标准)。2009年从2008年每个株行中分别选择若干单株材料种植成株行(SP_3),具体试验方法与2008年相同。

试验栽培采用营养钵育苗移栽方式,于每年4月上旬播种,5月中旬移栽,按常规大田丰产栽培技术管理,种植密度为3万株/hm²。

1.3 数据处理

采用Excel 2003和DPS 14.50^[8]软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 衣分与铃质量

对分别占 SP_1 群体73.0%和67.8%的595个苏棉16单株材料和433个太8033单株材料进行考察,结果发现, SP_1 个体衣分、铃质量性状的变异幅度明显增大,总体变异系数均高于对照材料(表1)。通过平均数显著性检测发现,太8033诱变群体的衣分平均值比对照低8.70%,达极显著水平,铃质量平均值比对照低3.56%,但不显著;苏棉16衣分平均值比对照低1.30%,达显著水平,铃质量平均值同对照相比无显著差异。这表明空间诱变的第1代与原始材料相比就出现了变化,总体趋势是衣分降低、铃质量变小,其中衣分变异显著。

SP_2 个体的衣分、铃质量性状的变幅较 SP_1 变小,但总体变异系数仍高于对照材料(表1)。平均数显著性检测表明,2个材料 SP_2 诱变群体的衣分、铃质量平均值与对照相比均无显著差异。从总体上看, SP_2 群体的变异较 SP_1 有所降低。

SP_3 除太8033铃质量变幅较 SP_2 变小,其他的都较 SP_2 增大;而变异系数除了苏棉16的铃质量,其他的均低于 SP_2 。这表明 SP_3 群体这些性状的变异在总体上较 SP_2 有所降低,但出现了有较大变异程度的突变个体。平均数显著性检测结果表明,太8033衣分平均值比对照低1.30%,达显著水平,铃质量平均值比对照增5.10%,达极显著水平;苏棉16的衣分平均值比对照低3.32%,达极显著水平,而铃质量平均值同对照相比无显著差异。

综合来看,诱变后代 $SP_1 \sim SP_3$ 衣分、铃质量性

状的变异在总体上有逐代下降的趋势,但 SP_3 突变个体的变幅要超过 SP_2 个体。诱变后代 $SP_1 \sim SP_3$ 衣分的变异系数相对要低于铃质量,但除了 SP_2 ,其余2代的平均值均较其原始品种显著降低。

2.2 纤维品质

随机选取分别占 SP_1 群体37.1%和26.3%的302个苏棉16和168个太8033单株皮棉试样进行纤维品质测定,结果发现, SP_1 材料除了苏棉16的纤维长度平均值比对照显著低1.54%,其他的总体平均值均比对照大但不显著(表2)。2个 SP_1 群体纤维品质变异系数均表现为长度<比强度<马克隆值,其中太8033相对略高。与对照材料相比,太8033纤维比强度、马克隆值的变异系数增大,而苏棉16总体变化不明显。这表明空间诱变处理对 SP_1 不同品种纤维品质性状的影响有差异。

SP_2 纤维长度、比强度、马克隆值的变异系数均高于对照。 SP_2 纤维长度变异系数高于 SP_1 ,比强度和马克隆值的变异系数低于 SP_1 。平均数显著性检测结果显示, SP_2 太8033纤维长度平均值比对照增3.41%,达极显著水平;苏棉16马克隆值平均值比对照降低4.47%,达极显著水平;其他与对照相比差异均不显著。从总体上看, SP_2 纤维品质的变异程度与 SP_1 基本一致,但不同品种之间表现有差异。

SP_3 除太8033纤维长度的变异系数低于 SP_2 ,其余均高于 SP_2 。 SP_3 纤维比强度的变异幅度较 SP_2 明显大。 SP_3 苏棉16比强度在35 cN/tex以上的单株试样占检测单株总数的48.4%,38 cN/tex以上的占总数11.6%;太8033中比强度在35 cN/tex以上的占检测总数的39.7%,38 cN/tex以上的占总数的7.7%。其中,太8033中有2份单株试样达到了4A(长绒棉)标准[主要指标:长度33.0~36.9 mm,比强度 ≥ 36 cN/tex,马克隆值3.5~4.2]^[9]。通过平均数显著性检测发现, SP_3 群体的纤维长度、比强度、马克隆值与对照相比均出现极显著差异,其中太8033纤维长度平均值比对照高5.07%,比强度比对照高10.80%,马克隆值比对照低7.56%;苏棉16纤维长度平均值比对照高5.26%,比强度比对照高8.71%,马克隆值比对照低5.66%。

综合来看,诱变后代 $SP_1 \sim SP_3$ 纤维品质变异系数均表现为长度<比强度<马克隆值, SP_1 与 SP_2 变异系数基本一致,而 SP_3 有增大趋势。 SP_3 纤维品质较原始品种有了显著提升,主要表现为长度变长、比强度变大、马克隆值变小,尤其是有较大一部

表1 SP₁~SP₃ 衣分和铃质量统计结果

诱变材料	性状	代数	均值	变幅	极差	标准差	标准误	变异系数
太 8033	衣分(%)	SP ₁	40.70 **	25.82 ~ 49.63	23.81	2.601 6	0.125 0	6.39%
		SP ₂	43.29	37.31 ~ 49.52	12.21	2.315 7	0.149 8	5.35%
		SP ₃	43.22 *	29.57 ~ 54.29	24.72	2.228 1	0.155 2	5.16%
		P ₁	44.58	40.30 ~ 46.75	6.45	1.317 4	0.186 3	2.96%
		P ₂	43.17	40.16 ~ 46.09	5.93	1.357 9	0.196 0	3.15%
		P ₃	43.79	40.96 ~ 46.44	5.48	1.410 7	0.223 1	3.22%
	铃质量(g)	SP ₁	4.88	2.87 ~ 8.72	5.85	0.641 4	0.030 8	13.14%
		SP ₂	4.97	3.27 ~ 7.94	4.67	0.619 5	0.040 1	12.46%
		SP ₃	5.36 **	3.77 ~ 7.14	3.37	0.542 0	0.037 8	10.11%
		P ₁	5.06	3.80 ~ 6.05	2.25	0.542 9	0.076 8	10.73%
		P ₂	4.97	3.72 ~ 6.20	2.48	0.516 8	0.074 6	10.40%
		P ₃	5.10	3.97 ~ 5.88	1.91	0.461 5	0.073 0	9.05%
苏棉 16	衣分(%)	SP ₁	43.23 *	26.97 ~ 49.82	22.85	4.342 8	0.178 0	10.05%
		SP ₂	44.13	32.94 ~ 49.62	16.68	3.222 7	0.219 8	7.30%
		SP ₃	43.39 **	31.50 ~ 50.57	19.07	3.072 5	0.257 8	7.08%
		P ₁	43.80	40.95 ~ 47.75	6.80	1.628 7	0.196 1	3.72%
		P ₂	44.00	41.08 ~ 46.36	5.28	1.167 1	0.174 0	2.65%
		P ₃	44.88	42.87 ~ 48.88	6.01	1.301 6	0.203 3	2.90%
	铃质量(g)	SP ₁	5.27	3.32 ~ 7.98	4.66	0.527 4	0.021 6	10.01%
		SP ₂	4.95	3.23 ~ 6.54	3.31	0.490 7	0.033 5	9.91%
		SP ₃	4.93	3.16 ~ 6.92	3.76	0.733 6	0.061 6	14.88%
		P ₁	5.31	4.10 ~ 6.40	2.30	0.492 4	0.059 3	9.27%
		P ₂	5.04	3.91 ~ 6.04	2.13	0.483 5	0.072 1	9.59%
		P ₃	4.92	3.80 ~ 6.02	2.22	0.551 7	0.086 2	11.21%

注:SP₁~SP₃、P₁~P₃ 分别表示诱变材料和对照的第1代至第3代; *、** 分别表示诱变后代的群体与其相应的对照相比在0.05、0.01水平差异显著。表2同。

分个体的纤维比强度出现了增大变异,出现了较多具有3A、4A(长绒棉)^[9]品质变异的个体。SP₃的2个群体表现基本一致,表明空间诱变可能对改良棉纤维品质有较大的正向作用,在诱变后代中较易筛选出符合高品质棉标准的突变个体。

3 讨论与结论

3.1 空间诱变处理能诱发棉花的产量和品质性状产生变异

通过诱变育种创造突变体,特别是创造主要农艺性状表现优良的变异是棉花育种的一项重要研究内容。目前,应用在棉花育种上的主要物理诱变方法有钴源、离子束等^[10-12]。卫星搭载空间环境诱变是一个有效创造变异的方法,2006年组织实施的“实践八号”卫星搭载试验已取得重要进展,在多个作物上成功开展了相关研究^[13-17]。棉花的铃质量、衣分、纤维长度、比强度等性状遗传率较高^[18],对这些性状进行考察,有利于探明棉花空间诱变后代变

异规律。

本研究表明,棉花种子经“实践八号”卫星搭载后,诱变后代的产量和纤维品质性状均发生了变化,出现了多种类型的突变体。SP₃是群体变异较大、突变体出现较多的时期。SP₃纤维品质变异不仅程度大,而且范围广,同时,筛选出的优质突变体一般具有较好的产量性状,这对于克服优质棉育种长期面临的纤维优质与高产的负相关困难有着重要意义^[19-22]。SP₃纤维品质变异2个群体表现基本一致,表明空间诱变可能对改良棉纤维品质有较大的正向作用,但由于此次试验品种较少,空间诱变的这种改良作用是否具有普遍性还须作进一步验证。

3.2 棉花空间诱变后代选育方法探讨

空间诱变育种是筛选并固定优良变异的过程。后代群体的性状变异规律是确定具体选育方法的主要依据。本研究中2份试验材料在不同性状上的变异程度有所差异,但总体上SP₃是变异集中产生的主要时期。因此,SP₁除个别特殊变异材料外可

表2 SP₁ ~ SP₃ 纤维品质统计结果

诱变材料	品质指标	代数	均值	变幅	极差	标准差	标准误	变异系数
太 8033	长度 (mm)	SP ₁	29.40	27.20 ~ 31.60	4.40	0.875 4	0.067 5	2.98%
		SP ₂	30.05 **	26.60 ~ 34.40	7.80	1.291 8	0.117 0	4.30%
		SP ₃	30.66 **	27.50 ~ 34.30	6.80	1.243 2	0.099 5	4.05%
	比强度 (cN/tex)	P ₁	29.33	26.90 ~ 31.10	4.20	1.032 6	0.163 3	3.52%
		P ₂	29.06	26.60 ~ 31.10	4.50	1.164 1	0.220 0	4.01%
		P ₃	29.18	27.70 ~ 30.80	3.10	0.779 3	0.133 6	2.67%
		SP ₁	30.75	25.90 ~ 36.40	10.50	2.097 1	0.161 8	6.82%
		SP ₂	30.29	25.90 ~ 35.60	9.70	2.019 9	0.182 9	6.67%
		SP ₃	34.36 **	28.30 ~ 42.30	14.00	2.455 8	0.196 6	7.15%
		P ₁	30.54	27.90 ~ 33.50	5.60	1.208 4	0.191 1	3.96%
		P ₂	30.06	27.60 ~ 33.80	6.20	1.487 6	0.281 1	4.95%
		P ₃	31.01	27.10 ~ 33.80	6.70	1.404 8	0.240 9	4.53%
	马克隆值	SP ₁	4.68	3.30 ~ 6.60	3.30	0.613 0	0.047 3	13.10%
		SP ₂	4.43	2.90 ~ 5.60	2.70	0.567 4	0.051 4	12.81%
		SP ₃	4.40 **	3.30 ~ 6.10	2.80	0.582 8	0.046 7	13.25%
		P ₁	4.66	3.30 ~ 5.50	2.20	0.478 7	0.075 7	10.27%
		P ₂	4.38	3.70 ~ 5.30	1.60	0.380 7	0.071 9	8.69%
		P ₃	4.76	4.20 ~ 5.40	1.20	0.263 9	0.045 3	5.54%
苏棉 16	长度 (mm)	SP ₁	28.81 *	26.30 ~ 31.80	5.50	0.746 3	0.042 9	2.59%
		SP ₂	29.23	27.00 ~ 32.40	5.40	0.949 4	0.078 8	3.25%
		SP ₃	30.23 **	26.80 ~ 33.30	6.50	1.326 6	0.136 1	4.39%
	比强度 (cN/tex)	P ₁	29.26	26.40 ~ 31.00	4.60	1.136 7	0.207 5	3.88%
		P ₂	29.29	27.70 ~ 30.40	2.70	0.555 1	0.088 9	1.90%
		P ₃	28.72	26.60 ~ 30.60	4.00	0.950 5	0.194 0	3.31%
		SP ₁	30.41	26.60 ~ 35.10	8.50	1.474 3	0.084 8	4.85%
		SP ₂	29.38	26.00 ~ 34.30	8.30	1.414 9	0.117 5	4.82%
		SP ₃	34.59 **	27.80 ~ 39.60	11.80	2.668 3	0.273 8	7.71%
		P ₁	30.26	27.70 ~ 33.00	5.30	1.555 5	0.284 0	5.14%
		P ₂	29.04	26.90 ~ 31.20	4.30	1.034 8	0.165 7	3.56%
		P ₃	31.82	28.80 ~ 34.60	5.80	1.242 6	0.253 6	3.91%
	马克隆值	SP ₁	4.75	3.70 ~ 6.30	2.60	0.457 2	0.026 3	9.63%
		SP ₂	4.49 **	3.20 ~ 5.40	2.20	0.379 2	0.031 5	8.45%
		SP ₃	4.33 **	3.10 ~ 5.60	2.50	0.512 9	0.052 6	11.85%
		P ₁	4.68	3.60 ~ 5.30	1.70	0.389 0	0.071 0	8.31%
		P ₂	4.70	4.00 ~ 5.20	1.20	0.275 3	0.044 1	5.86%
		P ₃	4.59	4.00 ~ 5.10	1.10	0.304 9	0.062 2	6.64%

采取混收。SP₂ 可采用系谱法选择优良变异单株,但选择面宜宽,选择强度不宜过大,中选概率一般应高于8%~10%。SP₃ 要加强对优异单株材料的选择,重点考察性状出现变异的优良株行。SP₁、SP₂ 应侧重于对衣分、铃质量等性状的筛选,SP₃ 着重对纤维品质进行选择,同时要兼顾衣分、铃质量等产量性状的表现。采用系谱法对诱变后代进行选择,能够在控制和减少工作量的基础上,快速选出综合性状优良的新材料,同时也有可能丢失部分农艺性状不够理想但具有研究价值和特异变异的突变体。因此,在筛选后代优异个体时应不忽视对特殊变异材料的选择,要尽量扩大选育群体,尤其是早代的混收群体。

本研究中对早代选出的优良突变体进行了3~5代系选,获得了性状纯合、产量与品质表现突出的

新品系。洪梅等研究认为,空间诱变育种可以较大程度提高育种效率^[23],这与本研究结果一致。空间诱变处理能产生常规条件下难以获得的优良变异类型,是培育棉花新种质和新品种的一个高效途径。

参考文献:

- [1] 刘录祥,郑企成. 空间诱变与作物改良[J]. 中国核科技报告, 1997(增刊1):475-485.
- [2] 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.
- [3] 喻树迅,范术丽,原日红,等. 棉花航天诱变试验初报[J]. 中国棉花,1998,25(11):11-13.
- [4] 师维军,李雪源,徐利民,等. 棉花品种航天诱变研究[J]. 新疆农业大学学报,1999,22(1):73-76.

[11] Yooyongwech S, Samphumphuang T, Tisarum R, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved water deficit tolerance in two different sweet potato genotypes involves osmotic adjustments via soluble sugar and free proline [J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 198:107 – 117.

[12] Wang J D, Zhu G P, Dong Y, et al. Potassium starvation affects biomass partitioning and sink – source responses in three sweet potato genotypes with contrasting potassium – use efficiency [J]. *Crop and Pasture Science*, 2018, 69(5):506 – 514.

[13] 张海燕, 解备涛, 段文学, 等. 不同时期干旱胁迫对甘薯光合效率和耗水特性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2018, 29(6):1850 – 1943.

[14] Kays S J. The physiology of yield in the sweet potato [M]// *Sweet Potato Products*. USA: CRC Press, 2018.

[15] 张飒琪, 陈杰, 张辉, 等. 不同土壤水分条件下施氮对甘薯干物质积累及块根品质的影响 [J]. *江苏农业学报*, 2013, 29(3):533 – 539.

[16] 柳洪鹏, 姚海兰, 史春余, 等. 施钾时期对甘薯济徐 23 块根淀粉积累与品质的影响及酶学生理机制 [J]. *中国农业科学*, 2014, 47(1):43 – 52.

[17] Katayama K, Nishinaka M, Nakamura Y, et al. New sweet potato lines have high amylose and resistant starch contents [J]. *Starch*, 2019, 71(3/4):1800180.

[18] 柳洪鹏, 史春余, 张立明, 等. 钾素对食用型甘薯糖代谢相关酶活性的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(3):724 – 732.

[19] Battie – Laclau P, Laclau J P, Beri C, et al. Photosynthetic and

anatomical responses of *Eucalyptus grandis* leaves to potassium and sodium supply in a field experiment [J]. *Plant, Cell & Environment*, 2014, 37(1):70 – 81.

[20] Gupta R, Min C W, Wang Y, et al. Expect the unexpected enrichment of “hidden proteome” of seeds and tubers by depletion of storage proteins [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7:761.

[21] Wijewardana C, Reddy K R, Shankle M W, et al. Low and high – temperature effects on sweetpotato storage root initiation and early transplant establishment [J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 240:38 – 48.

[22] Khangahi M Y, Pirdashti H, Rahimian H, et al. Leaf photosynthetic characteristics and photosystem II photochemistry of rice (*Oryza sativa* L.) under potassium – solubilizing bacteria inoculation [J]. *Photosynthetica*, 2019, 57(2):500 – 511.

[23] Ruiz C A S, van den Berg C, Wijffels R H, et al. Rubisco separation using biocompatible aqueous two – phase systems [J]. *Separation and Purification Technology*, 2018, 196:254 – 261.

[24] Dana S, Herdean A, Lundin B, et al. Retracted: each of the chloroplast potassium efflux antiporters affects photosynthesis and growth of fully developed arabidopsis rosettes under short – day photoperiod [J]. *Physiologia Plantarum*, 2016, 158(4):483 – 491.

[25] Liu W H, Zhan X W, Xing F L, et al. Effect on the grown of cotton seedlings and efficiency of potassium under different levels of light and applying potassium [J]. *Cotton Sciences*, 2015(4):3.

[26] Xia J, Zhu D, Wang R, et al. Crop resistant starch and genetic improvement: a review of recent advances [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2018, 131(12):2495 – 2511.

(上接第 67 页)

[5] 宋美珍, 喻树迅, 范术丽, 等. 棉花航天诱变的农艺性状变化及突变体的多态性分析 [J]. *中国农业科技导报*, 2007, 9(2):30 – 37.

[6] 李建彬, 洪亚辉, 周树良, 等. 棉花种子航天搭载主要经济与农艺性状变异的研究 [J]. *湖南农业科学*, 2008(1):25 – 26, 31.

[7] 彭振, 宋美珍, 喻树迅, 等. 棉花航天诱变敏感材料的筛选及多态性分析 [J]. *棉花学报*, 2010, 22(4):312 – 318.

[8] 唐启义. DPS 数据处理系统 [M]. 3 版. 北京: 科学出版社, 2013:61 – 86.

[9] 杨伟华, 许红霞, 王延琴, 等. 优质棉的定义及其评价方法解读 [J]. *中国棉花*, 2008, 35(10):2 – 4.

[10] Yu Y J, Wu L J, Wu Y J, et al. The damaging effects of nitrogen ion beam implantation on upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) pollen grains [J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (Beam Interactions with Materials and Atoms)*, 2008, 266(18):3959 – 3967.

[11] Yue J Y, Wu L J, Wu Y J, et al. Alpha – particles and ⁶⁰Coγ – rays have different biological effects on upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) pollen grains [J]. *Journal of Agricultural Science*, 2012, 4(3):145 – 162.

[12] 岳洁瑜, 杨郁文, 于艳杰, 等. N⁺ 离子注入陆地棉花花粉对胚珠 DNA 及 MI 代 cDNA 表达的影响 [J]. *核农学报*, 2009, 23(1):

54 – 59.

[13] 刘洁. 我国实践 8 号航天育种工程取得阶段性重要进展 [J]. *中国航空*, 2009(10):15.

[14] 刘录祥, 郭会君, 赵林姝, 等. 植物诱变突变技术育种研究现状与展望 [J]. *核农学报*, 2009, 23(6):1001 – 1007.

[15] 吴德志, 刘永柱, 郭涛, 等. 实践八号育种卫星搭载籼稻的诱变效应研究 [J]. *核农学报*, 2010, 24(2):209 – 213.

[16] 张采波, 吴章东, 徐冬平, 等. 玉米空间诱变后代 SP₄ 选系配合力效应分析 [J]. *遗传*, 2013, 35(7):903 – 912.

[17] 李鹏, 孙明柱, 张风云, 等. 小麦空间诱变抗寒性突变体的初步研究 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27(27):70 – 74.

[18] 潘家驹. 棉花育种学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998:90 – 93.

[19] 汤飞宇, 程锦, 黄文新, 等. 高品质陆地棉复交品系主要经济性性状变异与相关分析 [J]. *作物杂志*, 2008(5):47 – 49.

[20] 徐鹏, 张伟, 万素梅, 等. 阿拉尔垦区常规棉和杂交棉产量与纤维品质性状比较 [J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(8):82 – 86.

[21] 杨六六, 刘惠民, 曹美莲, 等. 棉花产量和纤维品质性状的遗传研究 [J]. *棉花学报*, 2009, 21(3):179 – 183.

[22] 郑巨云, 王俊铎, 艾先涛, 等. 陆地棉产量与纤维品质性状的遗传相关分析 [J]. *新疆农业科学*, 2013, 50(6):995 – 1002.

[23] 洪梅, 李诗林, 吐尔逊·吐尔洪, 等. 太空诱变创制优异海岛棉资源 [J]. *新疆农业科学*, 2015, 52(7):1308 – 1315.