

籼稻恢复系空间诱变后代恢复力变异及遗传多态性分析

吴德志[†], 刘永柱[†], 郭涛, 张建国, 陈志强, 王慧
(华南农业大学, 国家植物航天育种工程技术研究中心, 广东 广州 510642)

摘要:利用航天搭载处理水稻恢复系 R998、桂 99 和航恢七号种子,从诱变后代中筛选突变体,考察了突变体对不同类型不育系恢复力的变化及其一般配合力,并用水稻 SSR 引物分析了突变株系的遗传多态性.结果表明:空间诱变能引起籼稻恢复系恢复力的变异;与对照相比,突变体与不育系测交杂种 F₁ 的花粉育性表现出一定程度的变化,尤其是出现由恢复系变为保持系的突变体. R998-3、R998-4、桂 99-2、桂 99-4 和航恢七号-4 产量相关性状的配合力效益值较高.选用分布于 12 对染色体的 104 对 SSR 引物,对比检测原种和突变体基因组间的多态性,共检测了 2 538 个基因座,基因座多态频率为 9.85%,多态性以小片段缺失或插入为主.

关键词:水稻;空间诱变;恢复力;变异特性;遗传多态性

中图分类号:S852.65

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2011)03-0001-05

Variation of Restoring Ability and Analysis of Genetic Polymorphism in Posterity of Restorer Lines by Space Mutagenesis

WU De-zhi[†], LIU Yong-zhu[†], GUO Tao, ZHANG Jian-guo, CHEN Zhi-qiang, WANG Hui

(National Engineering Research Center of Plant Space Breeding, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Mutants were selected from the rice restorer lines of R998, Gui99 and Hanghui No. 7 treated by space mutation. The restoring and combining ability of mutants crossing with diverse sterile lines were evaluated. The genetic polymorphism between mutants and wild type was also studied using Simple Sequence Repeat (SSR) primers in rice. The results showed that space mutagenic effects could cause variation of restoring ability in posterity of restorer lines, and pollen sterility of F₁ hybrid combinations represented a certain extent variation compared with that of control. Especially, some restorer lines mutated into maintainer lines. The values of GCA of the yield-related characters of R998-3, R998-4, Gui99-2, Gui 99-4 and Hanghui No. 7-4 were large. There were 2 538 loci detected by 104 pairs of SSR primers, which distributed over the 12 rice chromosomes. The frequency of polymorphism was 9.85%, which mainly caused by small fragments of DNA deletion or insertion mutation.

Key words: *Oryza sativa*; space mutation; restoring ability; character variation; genetic polymorphism

杂交水稻的成功育成是水稻育种技术的一次飞跃,为解决粮食安全提供强有力的保证.我国杂交水稻种植面积占水稻总种植面积 60% 左右^[1-2].多年来,我国先后选育出了一大批优良的恢复系,为我国杂交水稻育种做出了巨大贡献,但现有的恢复系多数遗传差异较小,背景比较单一,限制了水稻杂种

收稿日期:2010-12-01

作者简介:吴德志(1983—),男,硕士;刘永柱(1974—),男,助理研究员,硕士;[†]对本文贡献相同;通信作者:王慧(1965—),女,副教授,E-mail:wanghui@scau.edu.cn

基金项目:863 计划项目(2007AA100101);国家科技支撑计划项目(2008BAD97B02)

优势的利用^[3],绝大多数籼稻恢复系遗传背景没有摆脱 IR 系列和明恢 63^[4-7]. 20 世纪 80 年代末以来我国利用空间诱变技术,先后选育出一批水稻育种优良新种质资源,为我国水稻育种开辟了一条新途径^[8-9]. 福建省农业科学院利用空间诱变技术选育出水稻三系恢复系航 1 号^[10],黎毛毛等^[11-12]利用返地式科学卫星搭载水稻,从诱变后代群体中获得了三系籼型不育系具有恢复能力的突变体,但鲜见有水稻恢复系空间诱变效应的研究报道. 本研究利用“实践八号”农业育种卫星搭载 3 个籼稻恢复系材料进行诱变,在地面进行多代连续鉴定和筛选,在 SP₁、SP₂ 种子活力、农艺性状、稻米直链淀粉含量和白叶枯病抗性诱变效应研究的基础上^[13],从诱变 SP₃ 代中筛选突变体单株,考察其恢复力的变化、配合力及遗传多态性,旨在揭示空间环境对恢复系恢复力的诱变效应及特点,选育突变新种质和拓宽杂交育种新途径.

1 材料与方法

1.1 材料

杂交稻恢复系 R998、桂 99 和航恢七号经空间搭载处理的诱变,从 SP₃ 代选出的突变体,测交母本为培矮 64S、Y 华农 A、天丰 A 和 II-32A.

1.2 方法

1.2.1 材料种植和鉴定 根据对诱变 SP₂ 代调查结果,在 SP₃ 代将农艺经济性状与原种平均值相差 ± 3 倍标准差范围以外的植株定为突变株^[14-15],每个材料选取 8 个突变单株,于 2008 年早季每个单株均种植小区,原种作对照,每个小区单本种植 36 株,规格 20 cm \times 20 cm,常规栽培管理. 在开花期,用突变单株及其原种分别与培矮 64S、Y 华农 A、天丰 A 和 II-32A 进行测交,获得杂种 F₁ 代种子. 杂种 F₁ 及其父本(SP₄ 代)于 2008 年晚季种植成小区. 在开花期,每个杂交组合取 3 株当日将要开花的小穗 3~5 枚,用 FAA 固定,取样的穗进行套袋、考察自交结实率,实验室用 I₂-KI 法观察花粉育性,花粉镜检每株观察 3 个小穗,成熟后,每个杂交组合及其父本随机取 5 株进行室内考种,花粉育性及自交结实率取平均数.

1.2.2 配合力分析 参考荣廷昭等^[16]的“不完全双列杂交设计的配合力分析”,所有数据采用 DPS 数据处理系统进行运算.

1.2.3 SSR 标记分析 水稻叶片 DNA 的提取按 CTAB 法^[17],根据水稻基因组公共数据库,12 条染

色体上选取了 104 对 SSR 引物,引物由上海生工生物工程技术有限公司合成. PCR 反应采用 20 μ L 反应体系:1.0 μ L 的 DNA 溶液,2.0 μ L 的 10 \times PCR Buffer,0.2 μ L 的 10 mmol/L dNTPs,10 μ mol/L 的正负引物各 1.0 μ L,0.2 μ L 的 Taq DNA 聚合酶(5 U/ μ L),用双蒸灭菌水(ddH₂O)补足. PCR 反应程序:94 $^{\circ}$ C 预变性 5 min;94 $^{\circ}$ C 30 s,55~57 $^{\circ}$ C 30 s,72 $^{\circ}$ C 1 min,35 个循环;72 $^{\circ}$ C 再延伸 5 min. 扩增产物于 4 $^{\circ}$ C 下保存备用. 扩增产物在 w 为 8% 的聚丙烯酰胺凝胶中电泳后,蒸馏水中洗胶 2 次,每次约 1 min,再用 10 g/L AgNO₃ 溶液染色 10 min,蒸馏水中同样洗胶 2 次,1 \times 显影液中摇动显影后观察分析.

2 结果与分析

2.1 突变体测交杂种 F₁ 花粉育性及自交结实率

突变体及其原种与 4 个不育系杂交 F₁ 的花粉育性及套袋自交结实率变化情况见表 1. 从表 1 可以看出:由于两系不育系培矮 64S 育性恢复不受恢保关系影响,突变体与其测交杂种 F₁ 的花粉育性均表现正常. 与原种相比,突变体与其他 3 个不育系杂交 F₁ 的花粉育性表现出一定的差异,并出现了由恢复系变为保持系的突变单株. R998 突变体除了 R998-8 与 II-32A 杂交 F₁ 的花粉育性较低(59.7%)外,其他突变体杂交 F₁ 的花粉可育率差异较小且大部分在 90% 以上,表现为较强恢复能力,空间诱变对其恢复力影响较小. 突变体桂 99-2 与 Y 华农 A 杂交 F₁ 花粉可育率较低,为 51.2%,表现为弱恢复能力,桂 99-5 与 Y 华农 A、天丰 A 和 II-32A 的杂交 F₁ 花粉可育率均为 0,由原种的恢复系变成了保持系. 航恢七号诱变后测交杂种 F₁ 的花粉育性变化较大,突变体航恢七号-1、航恢七号-5 和航恢七号-6 与 Y 华农 A 测交杂种 F₁ 花粉可育率接近 0,由恢复系转变成保持系;航恢七号-5 与天丰 A 测交杂种 F₁ 花粉可育率为 55.1%,航恢七号-1 与 II-32A 测交杂种 F₁ 花粉可育率为 25.5%,航恢七号-7、航恢七号-8 分别为 51.5% 和 49.4%,空间诱变对其恢复力影响较大. 突变体及其原种与 4 个不育系测交杂种 F₁ 套袋自交结实率与花粉育性表现结果比较一致,由于套袋后受袋内小气候环境的影响,所有杂种结实率都较低,且杂种花粉育性低,其自交结实率也表现较低,花粉育性为 0 的,其自交结实率也为 0,如突变体桂 99-5 与 Y 华农 A、天丰 A 和 II-32A 测交,突变体航恢七号-1、航恢七号-5、航恢七号-6 与 Y 华农 A 测交,其杂种花粉育性为 0,套袋自交结实率也为 0. 进一步说明了这些突变体和原种相比从恢复系突变成了保持系.

表1 突变体与不育系测交杂种 F₁ 代花粉育性及套袋自交结实率¹⁾

Tab.1 The pollen sterility rate and self-fruitful rate of F₁ between the control and mutants cross with cytoplasmic male sterility

突变体	花粉育性/%				套袋自交结实率/%			
	A	B	C	D	A	B	C	D
R998 ²⁾	91.8	96.9	81.6	97.8	67.3	60.2	55.7	66.0
R998-1	93.9	95.7	94.7	97.1	60.9	61.3	59.1	
R998-2	93.8	97.1	93.9	97.5	53.4	54.9	56.1	52.7
R998-3	96.2	92.2	97.9	98.5	62.0	69.7	53.1	51.8
R998-4	91.7	95.2	95.5	96.8	51.1	73.0	53.2	45.1
R998-5	92.5	95.4	90.1	97.7	67.8	67.9		55.6
R998-6	89.7	97.9	95.3	97.0	58.7	45.5	60.1	57.6
R998-7	94.5	95.6	96.7	96.5	59.8	44.9	41.1	58.5
R998-8	94.2	93.4	90.9	59.7	59.4	73.9	47.0	20.7
桂99 ²⁾	91.8	83.9	92.8	66.7	68.9	56.4	54.9	54.3
桂99-1	93.9	69.1	88.6	78.2	54.4	2.5	55.4	53.8
桂99-2	93.5	51.2	95.6	75.9	66.1	0.0	58.6	53.5
桂99-3	96.1	84.0	92.4	79.5	55.5	66.1	56.9	53.2
桂99-4	95.9	90.5	88.9	83.2	51.9	64.6	60.1	45.3
桂99-5	83.5	0	0	0	41.9	0	0	0.8
桂99-6	94.0	63.2	89.0	75.4	52.7	0.0	63.8	53.7
桂99-7	91.2	77.5	90.2	64.3	66.3	62.4	52.3	47.9
桂99-8	95.9	63.0	90.4	84.2	61.3	50.6	55.7	57.6
航恢七号 ²⁾	96.2	65.7	93.2	84.4	59.1	60.9	57.9	55.0
航恢七号-1	94.9	0.1	70.9	25.5	47.3	0.0	60.0	11.0
航恢七号-2	97.1	35.9	96.3	64.6	52.7	20.3	62.5	46.6
航恢七号-3	96.7	75.5	88.5	95.4	46.0	38.0	53.1	47.6
航恢七号-4	97.0	84.7	96.9	89.1	55.7	43.8	32.4	31.9
航恢七号-5	93.2	0.1	55.1	80.2	57.1	0.0	10.2	47.1
航恢七号-6	97.1	2.5	64.7	77.4	63.3	0.0	50.0	42.4
航恢七号-7	91.9	41.9	83.3	51.5	58.6	43.8	52.4	19.6
航恢七号-8	94.1	44.9	80.4	49.4	51.5	44.5	46.2	14.1

1) A、B、C、D 分别为不育系培矮64S、Y 华农 A、天丰 A 和正32A; 2) 原种。

2.2 突变体一般配合力分析

诱变后代 24 个突变体及 3 个原种 8 个主要农艺经济性性状一般配合力的效应值(GCA)见表 2。从表 2 中可以看出,同一品种的突变体之间在同一性状上的一般配合力效应值存在较大的差异,既有正效应值,也有负效应值;不同品种的突变株系之间在同一性状上的一般配合力效应值差异也存在较大的差异。27 个父本中,株高、单株穗质量、有效穗、穗长、穗粒数、结实率、谷粒长宽比和千粒质量 8 个性状的一般配合力效应值最高的亲本分别是突变体航恢七号-7、航恢七号-4、航恢七号-1、桂 99-5、航恢七号-7、桂 99-4;就综合性状而言,R998-3、R998-4、桂 99-2、桂

99-4 和航恢七号-4 除少数性状一般配合力效应值较低外,其产量性状的一般配合力效应值均较高,用这几个恢复系测配有希望获得高产杂交稻组合。

表2 杂交父本的一般配合力效应值(GCA)

Tab.2 The GCA values of hybrid parent lines

突变体 ¹⁾	株高	单株穗质量	有效穗	穗长	穗粒数	结实率	谷粒长宽比	千粒质量
R998	-1.67	-27.30	12.97	-1.41	-5.26	-29.23	-5.13	-3.09
R998-1	-3.30	-29.93	14.53	-0.99	-4.70	-34.05	-5.40	-3.50
R998-2	-2.02	-3.66	-5.86	-2.56	-8.68	14.70	-4.80	-7.32
R998-3	-3.82	12.52	3.55	-1.71	-6.17	22.57	-4.15	-6.41
R998-4	-0.80	3.10	10.61	-6.51	-18.29	8.52	-5.26	-5.44
R998-5	-7.81	-18.94	27.09	-8.50	-12.75	-20.56	-5.28	-8.85
R998-6	4.07	-8.01	21.60	-4.17	-4.33	-24.87	-3.15	-10.70
R998-7	2.02	-24.65	12.97	-3.81	-1.76	-49.82	-1.09	-14.04
R998-8	2.87	-12.60	23.16	-1.85	8.07	-45.26	0.28	-14.20
桂99	2.04	11.32	-14.49	0.02	11.47	-0.67	7.96	7.60
桂99-1	1.35	3.83	-16.84	0.75	14.12	-3.87	8.03	7.62
桂99-2	-1.54	33.87	6.69	0.62	2.02	19.67	1.97	10.12
桂99-3	-3.40	7.99	-5.08	-5.08	-18.71	22.04	-0.29	8.63
桂99-4	-2.25	13.66	-2.72	-6.30	-20.35	25.69	5.08	11.52
桂99-5	-0.37	8.37	-6.65	-7.19	-13.72	27.02	6.74	7.73
桂99-6	-5.17	-6.84	-6.65	-7.68	-16.10	12.99	2.68	6.52
桂99-7	0.02	-36.95	3.55	-12.49	-7.17	-21.42	8.32	0.08
桂99-8	1.80	-34.96	-10.57	-7.41	11.16	-21.46	8.89	-0.83
航恢七号	6.12	7.89	-9.00	9.27	26.95	0.68	12.66	-0.10
航恢七号-1	6.34	6.71	-12.14	9.30	27.83	-1.06	14.24	-0.23
航恢七号-2	1.41	4.59	-8.22	5.02	10.29	0.32	7.58	0.57
航恢七号-3	-1.37	22.36	1.20	4.88	7.71	10.27	5.12	1.84
航恢七号-4	2.18	39.31	28.66	-1.47	2.01	19.82	7.30	-3.31
航恢七号-5	0.73	17.08	16.10	0.80	-0.04	14.93	3.06	-4.58
航恢七号-6	1.86	-2.52	-16.84	-0.86	10.60	14.08	7.74	-6.26
航恢七号-7	9.07	9.64	-5.08	1.41	23.02	0.67	14.93	-7.81
航恢七号-8	7.61	-0.15	-8.22	1.06	19.94	0.98	11.13	-7.66

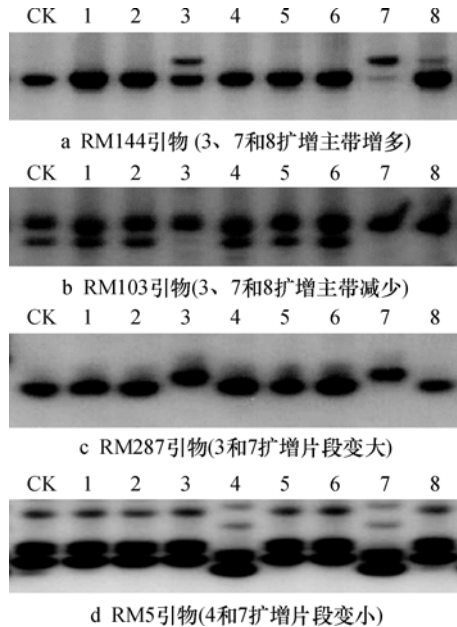
1) R998、桂 99 和航恢七号为原种。

2.3 突变体 SSR 多态性分析

选择分布于水稻 12 条染色体上的 104 对 SSR 引物对突变体与原种之间进行多态性检测,其中 94 对 SSR 引物为有效扩增,共检测了 2 538 个基因座(Loci),其中发生突变的基因座有 250 个,多态频率为 9.85%。不同材料突变体基因座多态频率存在差异,航恢七号突变体多态频率最高,为 11.5%;桂 99 次之,为 10.2%,R998 则为 7.02%,说明空间环境对不同材料在 DNA 水平上的诱导效果不一。

SSR 多态性的表现形式主要有 4 种(图 1):扩增片段条带数(电泳谱主带)增多、减少以及扩增片段长度增加、减小。4 种形式比例分别为 9.5%、5.8%、39.6% 和 46.5%,主要以扩增片段长度增加和减少

为主,其比例达 86.1%,说明 DNA 水平上的变异并非点突变,可能是由于小片段的缺失和插入,而导致上、下游引物间区段的变化。



CK: R998 原种; 1~8 分别代表 R998 的 8 个突变体。

图 1 4 种引物在 R998 原种及突变体中的扩增结果

Fig. 1 Amplification results of four primers in the control and mutations of R998 (3, 7 and 8 increase amplification of the main belt)

同一材料不同染色体的多态频率存在差异,不同材料同一染色体多态频率也存在差异(图 2)。R998 第 3 染色体的多态频率最高,为 19.7%,而第 5 和第 12 染色体的突变频率为 0。桂 99 第 1 染色体的突变频率最高,为 15.6%,第 6 染色体的突变频率最低,为 3.1%。航恢七号第 1 染色体的突变频率最高,为 13.9%,第 12 染色体的突变频率最低,为 1.8%。上述结果表明,不同品种对空间环境敏感性的差异,即使在同一染色体上变异也是随机发生的,由此可见,空间条件导致的 DNA 水平的变化是随机发生的。

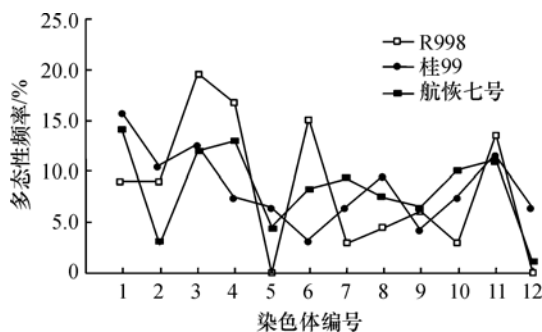


图 2 多态性频率在 12 条染色体上的分布

Fig. 2 The distribution of polymorphism of 12 chromosomes

3 讨论

空间环境对水稻农艺经济性状及分子水平的诱变效应已有很多研究报道,王慧等^[18-19]对特籼占 13 空间诱变后的 21 个高代(SP₁₀)突变品系的主要农艺经济性状以及稻瘟病抗病性考察,发现各突变品系大部分性状表现出明显的变异,并在分离群体中选出株高、熟期、产量、外观品质和抗性等有明显改良的新种质。郭涛等^[20]在空间诱变后代中发现了非 Wx 基因控制的低直链淀粉含量突变体。徐建龙等^[21]和王慧等^[22]通过水稻空间搭载,在诱变后代中获得了多穗矮秆突变体材料,遗传分析表明控制其矮生的基因与 sd-1 基因不等位。也有大量研究集中揭示空间诱变的分子突变特点及机理^[23],邢金鹏等^[24]运用 RAPD 方法对卫星搭载获得的农垦 58 大粒型水稻突变系进行多态性分析并初步证明了卫星搭载纯系后代在 DNA 水平上确实发生了变异。易继财等^[25]和杨存义等^[26]也有类似的报道。周峰等^[27]用 299 对 SSR 引物分析了经卫星搭载后的 5 个突变后代的 DNA 多态性,其结果表明多态性频率介于 0.35%~2.47%。王丰等^[28]研究结果认为空间诱变引起的变异可能是以 DNA 缺失和重复为主。在本研究中,诱变后代突变株系的多态性频率在 7.02%~11.5%,表现出较高的多态性,突变以小片段的插入和缺失为主。本研究结果也有类似的诱变效应,不同品种(材料)诱变效果不一,性状变异也存在较大差异^[13],体现在分子水平上突变也是随机的。

当前我国杂交稻育种存在资源匮乏,多数恢复系遗传基础狭窄,不育系细胞质来源单一的局面已是不争的事实。广大育种工作者通过杂交、测交等手段创造出一批优良的杂交稻育种亲本资源(恢复系、不育系),并组配出优良杂交稻新组合,取得了良好的育种效果。但从生产实际应用来看,目前所育成的杂交稻新品种在产量、品质和抗性上取得重大突破的品种较少,原因之一是亲本之间的遗传距离太小,传统的杂交方法难以打破不良性状间的连锁。空间诱变在创造育种新种质上体现出其优越性,在水稻恢复系选育研究上,前人主要集中在对不同品种(材料)、甚至恢复系本身通过航天搭载诱变后,从中考察恢复力的变化,选育优良恢复系突变体,从不具恢复能力品种的诱变后代选育出具有恢复能力的突变体。本研究结果也表明,恢复系材料经空间搭载后,其恢复力向正负两向出现变异,有恢复力增强的突

变体,也有恢复力减弱的突变体,甚至有由恢复系变成保持系的突变体,突变类型丰富.如突变体桂99-5对天丰A、II-32A,航恢七号-1、航恢七号-5、航恢七号-6对Y华农A都由原种恢复系变成了相应的保持系,R998-3、R998-4、桂99-2、桂99-4和航恢七号-4在产量性状上具有较高的一般配合力,可用于杂交稻组合选配,有望获得高产组合.这些突变体在水稻育种中的应用还有待于进一步的验证.对水稻恢复系空间搭载的诱变效应研究结果显示,空间诱变水稻恢复系不仅可以改良现有恢复系,而且可以创造出保持系,这也是杂交稻保持系选育的一种新途径.

参考文献:

- [1] 罗闰良. 水稻杂种优势利用的成就与展望[J]. 湖南农业科学,2002(院庆特刊):11-14.
- [2] 毛昌祥,万宜珍,马国辉,等. 中国杂交水稻发展现状分析[J]. 杂交水稻,2006,21(6):1-5.
- [3] 张瑞祥,廖家槐,张红林,等. 中国水稻杂种优势利用的现状和对策[J]. 江西农业大学学报,1998,20(3):223-226.
- [4] 王三良,许可. 我国籼型杂交水稻育种现状、问题与对策[J]. 杂交水稻,1996,11(3):1-4.
- [5] 何光华,唐梅,裴炎,等. 四川主要水稻恢复系的DNA多态性研究[J]. 杂交水稻,1999,14(6):39-40.
- [6] 段世华,毛加宁,朱英国. 利用RAPD分子标记对我国杂交水稻主要恢复系的DNA多态性研究[J]. 武汉大学学报,2001,47(4):432-436.
- [7] 阳峰萍,胡志萍,刘海林,等. 对“九五”以来选育的三系杂交水稻恢复系的分析[J]. 江西农业学报,2007,19(2):21-24.
- [8] 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):232-235.
- [9] 刘录祥,郭会君,赵林姝,等. 我国作物航天育种20年的基本成就与展望[J]. 核农学报,2007,21(6):589-592.
- [10] 谢华安,王乌齐,陈炳焕,等. 超级杂交稻恢复系“航1号”的选育与应用[J]. 中国农业科学,2004,37(11):1688-1692.
- [11] 黎毛毛,周炳炎,许秀钧. 水稻空间诱变后代恢复力的研究[J]. 江西农业科技,1998(2):24-25.
- [12] 周炳炎,许秀钧,黎毛毛,等. 水稻空间诱变恢复系杂种优势测定试验初报[J]. 遗传,2001,23(3):234-236.
- [13] 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.
- [14] 严文潮,徐建龙,俞法明,等. 不同早籼基因型水稻的空间诱变效应研究[J]. 核农学报,2004,18(3):174-178.
- [15] 范海阔,李晓兵,汤浩如,等. “神州四号”航天搭载水稻变异性状的田间调查[J]. 分子植物育种,2005,3(3):357-362.
- [16] 荣廷昭,潘光堂,黄玉璧. 数量遗传学[M]. 北京:中国科学技术出版社,2003:187-194.
- [17] 宋敏,张云孙,胡卫红. 4种提取水稻基因组DNA方法的比较[J]. 云南大学学报,2001,23(1):74-76.
- [18] 王慧,张建国,陈志强. 航天育种优良水稻品种华航一号[J]. 中国稻米,2003(6):18.
- [19] 王慧,陈志强,张建国,等. 水稻卫星搭载突变性状考察和品系选育[J]. 华南农业大学学报,2003,24(4):5-8.
- [20] 郭涛,韦璇,王慧,等. 2个低直链淀粉含量籼稻突变体的遗传分析[J]. 华南农业大学学报,2009,30(1):10-13.
- [21] 徐建龙,李春寿,王俊敏,等. 空间环境诱发水稻多穗矮秆突变的筛选与鉴定[J]. 核农学报,2003,17(2):90-94.
- [22] 王慧,刘永柱,张建国,等. 空间诱变水稻矮秆突变体CHA-1对赤霉素的反应及其遗传分析[J]. 中国水稻科学,2004,18(5):391-395.
- [23] 陈志强,郭涛,刘永柱,等. 水稻航天育种研究进展与展望[J]. 华南农业大学学报,2009,30(1):1-5.
- [24] 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的分子生物学分析[J]. 航天医学与医学工程,1995,8(2):109-113.
- [25] 易继财,梅曼彤. 水稻空间诱变雄性不育突变体ws-3-1的抑制缩减杂交分析[J]. 华南农业大学学报,2007,28(1):70-73.
- [26] 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.
- [27] 周峰,易继财,张群宇,等. 水稻空间诱变后代的微卫星多态性分析[J]. 华南农业大学学报,2001,22(4):55-57.
- [28] 王丰,李永辉,柳武革,等. 水稻不育系培矮64S的空间诱变效应及后代的SSR分析[J]. 核农学报,2006,20(6):449-453.

【责任编辑 周志红】