

水稻空间诱变突变品系主要农艺经济性状及 稻瘟病抗性变异

王 慧¹, 陈志强¹, 杨祁云², 李 力¹, 洪彦彬¹, 张建国¹, 朱小源², 林佩珍²

(1 华南农业大学农学院, 广东 广州 510642; 2 广东省农业科学院植物保护研究所, 广东 广州 510640)

摘要: 对籼稻品种特籼占 13 经返回式卫星搭载空间诱变的 21 个高代(SP10)突变品系的主要农艺经济性状以及稻瘟病抗性表现进行考察. 结果表明: 参试的各突变品系大部分主要农艺经济性状均表现明显的变异, 既有正向也有负向变异; 不同突变品系对稻瘟病的抗性表现差异很大, 同一突变品系对不同致病菌株的抗性表现差异也较大, 表明空间诱变对稻瘟病抗性变异作用明显但较为复杂. 从参试突变品系中可选出在株高、熟期、产量、外观品质和抗性等性状同时得到明显改良的新品种和新种质.

关键词: 水稻; 空间诱变; 性状变异; 稻瘟病抗性

中图分类号: S335

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2004)04-0001-05

Variation of major agronomic characters and resistance to blast of mutant lines by space mutation in *Oryza sativa*

WANG Hui¹, CHEN Zhi-qiang¹, YANG Qi-yun², LI Li¹, HONG Yan-bin¹,
ZHANG Jian-guo¹, ZHU Xiao-yuan², LIN Pei-zhen²

(1 College of Agriculture, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China;

2 Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The major agronomic characters and resistance to blast of 21 space mutant lines (SP10), which were selected from the recoverable satellite carried *indica* rice variety Texianzhan 13, were observed and studied. The results showed that significant variations (including forward and backward mutation) were found in most major agronomic and economic characters in these mutant lines. The positive and negative variations were found in a single character. Different mutant lines showed the different resistance spectrum to blast and the same line had the different blast resistance to different *Magnaporthe grisea* pathogenic strains. These results indicated that the resistance variation caused by space mutation were complicated. The new varieties and gemplasm which had significant improvement in many characters such as plant height, maturing duration, yield, quality and blast resistance could be obtained from the space mutant lines.

Key words: rice (*Oryza sativa* L.); space mutation; character variation; resistance to blast

植物育种的进步和突破往往依赖于育种新技术的创新和育种新材料(种质)的突破. 20 世纪 80 年代末期以来, 我国利用返回式卫星、高空气球等飞行器搭载植物材料开展空间诱变育种研究已取得了丰

硕成果, 先后有水稻、小麦、番茄、甜椒、白莲等植(作)物通过空间诱变途径选育出一批在熟期、产量以及品质性状上有明显改良的新品种(系)、新种质^[1~15]. 证明空间诱变育种是诱导作物产生新的遗

收稿日期: 2004-06-12

作者简介: 王 慧(1965-), 女, 助理研究员, 在职博士研究生, 通讯作者; 陈志强

(1956-), 男, 教授.

基金项目: 国家 863 项目(2001AA241012 和 2002AA241011); 广东省自然科学基金(010353 和 031994); 广东省重大科技专项

(2001A2010301 和 2004A20107001)资助项目

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

传变异、培育新品种和创建新种质的有效的育种技术途径。在小麦^[1]和番茄^[1]等有报道通过空间诱变育成高产和抗病的新品系。有关水稻通过空间诱变对稻瘟病抗性变异研究,特别是与农艺经济性状变异一起进行综合考察研究尚鲜见报道。由真菌 *Magnaporthe grisea* 引起的稻瘟病是一种全球性的对主要粮食作物水稻具有毁灭性的病害,选育和推广抗病品种是防治稻瘟病最经济有效的措施。本研究利用返回式卫星搭载籼稻品种“特占13”干种子,返回地面后选育出一批优良突变品系,重点考察其主要农艺经济性状、对稻瘟病抗性变异表现及其相互关系,探讨空间诱变在对农艺性状诱变的同时对稻瘟病抗性影响及其变异情况,为今后利用空间诱变技术对水稻综合性状改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试水稻品种为“特占13”,广东省水稻推广品种。1996年其干种子利用我国返回式卫星搭载空间运行15 d后,于地面种植,经多代(SPI0)选择,获得性状稳定的21个突变品系,作为供试材料,原种“特占13”作为对照。

试验选用34个稻瘟病代表菌株,选择标准按杨祁云等^[17]的标准进行,分别来自广东省4个稻作区,菌株致病性的划分用对广东稻瘟病菌株具有较好鉴别能力的14个单基因鉴别寄主^[18]进行鉴别,病菌的致病性和遗传宗谱类型具有多样性和代表性。

表1 性状变异方差分析表¹⁾

Tab. 1 Variance analysis of characters

变异来源	株高	有效穗数	穗粒数	结实率	谷粒长	谷粒长宽比	千粒质量	单株穗质量
source of variance	plant height	tillers per plant	grains per panicle	filled grain percent	grain length	grain length width rate	1 000-grain mass	mass per panicle
品系间差异	38.099	1.197	954.837	63.608	0.708	0.342	5.201	12.413
lines variance								
机会误差	0.629	0.179	182.778	10.689	0.003	0.0014	0.195	4.654
chance error								
F	60.612 **	6.687 **	5.224 **	5.951 **	219.837 **	229.995 **	26.717 **	2.667 **

1) $\nu=21$, $F_{0.05}=1.801$, $F_{0.01}=2.299$

2.1.2 性状变异表现 从参试品系9个主要农艺和经济性状表现(表2)可以看出,21个突变品系与对照种特占13(V22)比较,各性状均有不同程度的变异,部分性状如生育期、株高等变异差异较大,有些性状如谷粒长宽比、千粒质量、有效穗数、穗粒数等的变异经过人工选择朝着改良目标发生变化。

生育期变异既有明显早熟又有显著迟熟的突变,如V8、V9、V10和V12均比对照要提前4~5 d,

1.2 方法

1.2.1 田间种植 2002年晚造在华南农业大学校内实验基地田间种植试验材料。21个突变品系(编号:V1, V2, …, V21)以及原种对照特占13(编号:V22),按随机区组设计田间试验,3次重复,每小区种植96株,插植规格20 cm×20 cm,单株植,常规栽培管理。对主要农艺经济性状分别进行田间调查和室内考种,调查数据采用SAS系统进行方差分析。

1.2.2 稻瘟病抗性鉴定 21个突变品系与稻瘟病菌鉴别寄主、非诱变原种对照依次播于瓷盆中,每品系播1穴,每穴10粒种子。待秧苗长至3.5~4片叶时,采用筛选出的代表菌株分别接种,接种液的孢子浓度为 $5 \times 10^4 \text{ mL}^{-1}$,采用高压喷雾接种方法,接种苗于25℃暗室中保湿24 h后,放置荫棚继续保湿7~10 d后,调查发病结果。病级划分标准按中国统一的0~9级标准进行,病级为0~3级的定为抗病,4~9级的定为感病^[17]。

2 结果与分析

2.1 突变品系主要农艺经济性状变异分析

2.1.1 性状变异方差分析 从参试的空间诱变突变品系性状方差分析的结果(表1)来看,所考察的性状的差异都达到了极显著水平。与原种相比较,多个突变品系性状发生了显著或极显著变异(表2),说明经空间处理诱导性状发生了明显的变异,通过人工定向选择这些变异同时得到稳定遗传。

全生育期只有97~98 d;而V1和V13比原种延长12~13 d,达114~115 d。可见空间诱变对生育期性状的变异诱导作用是十分有效的,为选育早熟和适当熟期的品种提供了丰富的材料。

株高表现出明显的正向和负向的变异。大部分突变品系植株变高(对照100.8 cm),如V1的株高106.1 cm, V8的为107.5 cm;有4个突变品系植株矮化,其中V12只有91.2 cm。说明空间条件对植株诱

变作用明显. 表明通过空间诱变途径可选育出符合育种目标的矮秆和中矮秆品种.

有效穗数变化, 除了 V1 (7.5)、V12 (7.6)、V14 (7.6) 比对照 (7.7) 的有效穗数少外, 有 9 个突变品系

有效穗数显著比对照多. 特别是 V16 和 V8 的有效穗数分别达到 9.9 和 9.4. 说明空间诱变对水稻有效穗数的诱导作用有效, 通过人工选择, 完全可能有效地实现对该性状的改良.

表 2 “特粘占 13” 空间诱变突变品系主要农艺经济性状表现

Tab. 2 Variation of major agronomic and economic characters on “Texianzhan 13” space mutant lines

品系 lines	生育期 growth period duration/d	株高 plant height/cm	有效穗数 effective panicles	穗粒数 grains per panicle	结实率 filled grains percent/%	谷粒长 grain length/mm	谷粒长宽比 ratio of grain length to width	千粒质量 1 000-g grain mass/g	单株穗质量 panicle mass per plant/g
V1	114.0	106.1±0.6**	7.5±0.2	161.1±3.2*	88.3±5.9	9.50±0.01**	3.65±0.01**	22.42±0.09	24.82±0.77*
V2	102.0	102.4±0.9*	8.2±0.2	215.2±4.8*	82.3±6.6**	9.89±0.01**	3.94±0.01**	23.18±0.20**	31.15±0.94*
V3	100.0	102.0±1.0	8.0±0.1	206.9±5.0	84.2±5.5**	9.80±0.02**	4.08±0.01**	21.72±0.00	27.33±0.81
V4	100.0	102.0±0.8	7.9±0.1	207.0±9.6	84.7±4.8*	10.19±0.02**	4.25±0.01**	22.48±0.16	27.26±0.62
V5	104.0	103.4±0.6**	7.7±0.2	222.2±4.5*	80.9±6.7**	9.82±0.02**	4.10±0.01**	22.96±0.05*	27.62±0.64
V6	102.0	99.3±0.7*	8.7±0.2**	183.9±3.8	88.2±4.9	8.93±0.01	3.54±0.02	21.87±0.08	29.63±0.89
V7	100.0	98.0±0.6**	7.7±0.1	198.4±8.0	90.2±3.0	9.05±0.02*	3.52±0.01	21.76±0.11	27.13±0.66
V8	98.0	107.5±0.7**	9.4±0.2**	165.6±3.3*	89.6±4.6	9.23±0.04**	4.21±0.02**	20.65±0.13**	28.33±0.66
V9	97.0	103.1±0.7**	9.1±0.2**	168.3±5.6*	91.2±4.7	9.69±0.01**	4.40±0.01**	20.68±0.15**	24.94±0.93*
V10	98.0	104.6±0.5**	8.7±0.1**	192.9±4.0	90.3±4.7	9.41±0.01**	4.35±0.02**	20.38±0.11**	29.05±0.73
V11	103.0	105.6±1.2**	8.8±0.3**	209.4±7.7	86.4±5.1	9.42±0.05**	4.26±0.03**	22.28±0.18	30.97±1.31*
V12	97.0	91.2±0.7**	7.6±0.2	200.7±4.0	94.5±1.7	8.32±0.02**	3.47±0.01	16.91±0.06**	24.16±0.67**
V13	115.0	96.6±0.7**	8.1±0.2	155.1±4.5**	91.8±2.6	9.69±0.02**	4.09±0.02**	21.63±0.18	24.93±0.87*
V14	99.0	100.8±1.3	7.6±0.2	214.3±4.6*	84.5±6.2**	9.67±0.02**	3.87±0.01**	22.98±0.00*	29.94±0.99
V15	103.0	99.9±0.9	7.8±0.2	193.4±4.0	84.4±5.2**	10.14±0.05**	4.22±0.03**	22.91±0.13	26.81±0.81
V16	102.0	103.0±0.7**	9.9±0.2**	166.2±3.6*	92.1±4.6	9.74±0.02**	4.30±0.01**	22.44±0.16	30.40±1.07*
V17	102.0	105.2±0.6**	8.1±0.2	199.1±5.3	76.3±8.3**	9.87±0.01**	4.23±0.02**	21.43±0.17*	27.47±0.83
V18	102.0	99.8±0.5	8.7±0.2**	177.1±3.4	87.1±5.4	9.04±0.02*	3.61±0.01**	21.13±0.10**	30.08±0.81*
V19	102.0	100.9±0.9	8.5±0.1*	192.7±4.4	82.0±4.7**	9.79±0.02**	4.37±0.02**	21.75±0.12	25.77±0.90*
V20	102.0	104.0±0.8**	8.3±0.2	209.1±7.0	84.0±4.3**	9.80±0.01**	4.24±0.01**	21.58±0.10	29.35±0.70
V21	100.0	100.2±1.0	8.6±0.2**	195.9±5.0	90.8±3.0	8.84±0.03*	3.69±0.04**	21.19±0.00**	30.62±0.70*
V22(K)	102.0	100.8±0.7	7.7±0.2	193.3±10.8	91.7±4.6	8.94±0.01	3.49±0.01	22.20±0.18	28.41±0.71

从谷粒外观品质和千粒质量性状来看, 绝大部分突变品系的谷粒长、谷粒长宽比都较对照种特粘占 13 (8.94, 3.49) 要大, 谷粒长宽比超过 4.0 的突变品系有 13 个占 61.9%。原种特粘占 13 千粒质量 22.2 g, 而突变品系既有千粒质量变大的, 又有变小的变异, 而大多数是千粒质量略有减少 (20~22 g), 个别突变品系千粒质量变小显著, 如 V12 千粒质量仅为 16.91 g. 说明通过空间处理对水稻粒型、千粒质量性状的诱变效果明显, 经过人工选择, 可达到定向改良稻米外观品质性状的目的, 满足当前广东省优质稻育种选育细长型丝苗米的目标要求.

穗粒数和实粒数 2 个性状同样表现出正反 2 个方向的变异. 有 12 个突变品系穗粒数比对照 (193 粒) 多, 超过 200 粒的有 V2、V3、V4、V5、V11、V12、V14 和 V20 等 8 个突变品系; 但每穗实粒数超过对照种的只有 4 个品系. 从结实率来看, 除 V17 (76%) 外, 其他 20 个品系的结实率均达 80% 以上. 表明通过空间诱

变途径选育大穗高产型品系(种)是完全可行的.

单株穗质量有 9 个突变品系比对照特粘占 13 (28.41 g) 高, 其中单株穗质量超过 30.0 g 以上的有 V2、V11、V16、V18、V21 等 5 个突变品系. 特粘占 13 是广东省晚造优质谷组区试对照品种, 参试的 21 个突变品系约 43% 的品系单株产量超过特粘占 13, 说明通过空间诱变对水稻产量性状改良效果显著.

2.2 稻瘟病抗性变异

2.2.1 抗性表现 对稻瘟病的抗谱测定结果 (表 3) 表明, 21 个突变品系分别对稻瘟病表现出不同的抗性水平. 抗性比原种特粘占 13 (抗性频率为 52.9%) 明显提高的有 5 个品系, 其中 V1、V13 和 V20 的抗性频率达到 79.4%, V6 和 V18 的达到 70.6%; 抗性比原种特粘占 13 下降的有 V3、V5、V10、V16、V17 和 V19 等品系, 抗性频率均小于 30%.

2.2.2 对致病菌株的抗性反应差异 对抗性提高幅度较大的突变品系进一步研究发现, 品系间在对

接种菌株的抗病反应上存在差异(表4)。V1、V6、V13、V18、V20和V21等6个品系的抗性频率比特种占13提高了14.7%~26.5%。考察该6个品系对接种菌株的抗性反应,发现6个抗病突变品系对致病型I-01-04的2个菌株GD1181a和GD0193a、致病型I-01-05菌株GD2048a、致病型I-02-01菌株GD2052a、致病型I-13的2个菌株GD8288a和GD0016a等均表现抗病,而特种占13则都表现感病;对致病型I-02-03、I-02-04、I-08、I-17和I-24等7个菌株,原种特种占13均表现感病,上述6个突变品系则表现不同的抗感反应,说明该6个突变品系与原种特种占13之间,在抗性表现上存在明显差异;对接种菌株的抗感反应上,突变品系之间也存在差异。

表3 特种占13空间诱变突变品系对稻瘟病的抗谱¹⁾

Tab. 3 The blast resistance spectrum of "Texianzhan 13" space mutant lines

品系 line	抗性频率 resistance spectrum ¹⁾ / %	品系 line	抗性频率 resistance spectrum/ %
V1	79.4	V12	61.8
V2	41.2	V13	79.4
V3	29.4	V14	38.2
V4	32.3	V15	32.3
V5	26.5	V16	26.5
V6	70.6	V17	26.5
V7	61.8	V18	70.6
V8	41.2	V19	29.4
V9	44.1	V20	79.4
V10	29.4	V21	67.6
V11	38.2	V22(CK)	52.9

1) 抗性频率=(品系表现抗病的菌株数/接种的总菌株数)×100%,接种菌株数均为34

表4 特种占13空间诱变突变品系的抗病反应差异

Tab. 4 Different degree of blast resistance by "Texianzhan 13" space mutant lines to *Magnaporthe grisea* isolates

菌株 inoculated isolate	致病型 ¹⁾ pathotype	品系感病病级 infected degree of disease ²⁾						
		V1	V6	V13	V18	V20	V21	V22(CK)
GD1181a	I-01-04	1	2	1	1	2	1	5
GD0193a	I-01-04	3	1	1	1	1	1	4
GD2048a	I-01-05	0	0	2	0	1	0	4
GD2052a	I-02-01	0	0	0	0	0	0	5
GD0053a	I-02-03	7	5	4	2	6	5	5
GD1098a	I-02-03	4	8	7	1	5	2	5
GD3286a	I-02-03	7	7	2	9	7	7	9
GD7230a	I-02-04	3	3	1	7	3	3	6
GD1034a	I-08	1	5	2	5	0	5	6
GD8288a	I-13	1	3	3	2	3	2	4
GD0016a	I-13	3	3	3	3	3	3	7
GD9282a	I-17	0	1	5	5	3	5	5
GD7220a	I-24	1	4	6	5	1	5	6

1)致病型由14个稻瘟病菌单基因鉴别寄主所划分¹⁸⁾; 2)

病级0~3级为抗病(R),4~9级为感病(S)

2.2.3 来源于不同突变株的突变品系对抗性反应的差异 21个突变品系中,V6、V7、V18及V21等4个品系来源于诱变当代(SP1)的同一突变单株,统称为华航1号选系列;V10、V11、V14、V15、V16、V17、V19及V20等8个品系来源于诱变当代(SP1)的同一突变单株,统称为华航3号选系列;V1、V2、V3、V4、V5及V8等6个品系,来源于诱变第三代(SP3)的同一突变单株,统称为华航7号选系列。

以上3个系列品系在抗性反应上有相似的特点,但也存在明显差异(表5),如对广致病谱菌株如I-02-03的菌株,华航3号选系列和华航7号选系列的品系对该致病型的3个菌株均表现感病;华航1号选系列对该致病型的GD3286a菌株均表现感病,而对另外2个菌株既有抗病,又有感病。不同系列品系的抗性也存在差异,如华航3号选系列分别对致病型I-17的GD9282a菌株和I-24的GD7220a菌株均表现抗病,而华航1号选系列对这2个菌株均表现感病。同一系列内不同品系间对某些接种菌株的抗感反应也存在差异,如华航3号选系列8个品系对致病型I-02-04菌株,3个品系表现抗病,另外5个品系则表现感病,说明空间条件对抗病性(抗病基因)的诱变比农艺经济性状的诱变复杂。

表5 不同突变株后代品系对接种菌株的抗性反应差异¹⁾

Tab. 5 The blast resistance of different space mutant lines to *Magnaporthe grisea* isolates

菌株 inoculated isolate	致病型 ²⁾ pathotype	华航1号	华航3号	华航7号
		选系列 Hh No. 1 lines	选系列 Hh No. 3 lines	选系列 Hh No. 7 lines
GD1181a	I-01-04	3R 1S	5R 3S	3R 3S
GD0193a	I-01-04	2R 2S	7R 1S	5R 1S
GD2048a	I-01-05	4R 0S	1R 7S	2R 4S
GD2052a	I-02-01	4R 0S	1R 7S	1R 5S
GD0053a	I-02-03	1R 3S	0R 8S	0R 6S
GD1098a	I-02-03	2R 2S	0R 8S	0R 6S
GD3286a	I-02-03	0R 4S	0R 8S	0R 6S
GD7230a	I-02-04	1R 3S	3R 5S	2R 4S
GD1034a	I-08	1R 3S	1R 7S	1R 5S
GD8288a	I-13	2R 2S	5R 3S	5R 1S
GD0016a	I-13	3R 1S	8R 0S	5R 1S
GD9282a	I-17	0R 4S	8R 0S	6R 0S
GD7220a	I-24	0R 4S	8R 0S	4R 2S

1)R代表抗病,7R表示有7个品系抗病;S代表感病,1S表示有1个品系感病;其余类推。2)致病型由14个稻瘟病菌单基因鉴别寄主所划分¹⁸⁾

3 结论

与原种特种占13比较,大部分突变品系在多个

性状,如生育期、株高、穗数、穗粒数、结实率、谷粒外观品质、产量、抗性等都发生了不同程度的变异。如:V2、V11、V16、V18、V21等品系,单株产量都显著增加,而其他性状也发生了程度不一的变异。属于有效穗数、穗粒数、单株产量同时增加的有V2、V11、V20。从综合性状及对稻瘟病抗性上进行全面考察,可以看到V6品系就表现出矮化、分蘖能力加强、抗性明显提高等综合改良的效果;V20品系穗数、粒数增强、外观品质优化,而且抗性显著提高;又如V18品系分蘖能力增强、外观品质优化、产量增加,而且抗性显著提高,达到了品质、产量、抗性综合改良的目的。从而进一步说明,空间诱变可使个体产生多个有用突变,通过人工定向选择,可以选育出综合性状优良且抗病的新品系(种)。

有些品系在某些性状变异表现突出,如V2、V5就属于大穗大粒(粒数增多、粒重增大)型的变异;V8、V9、V16则显然是从原种特粒占13的大穗型(有效穗数7.7,穗粒数193.3)向穗数型(有效穗数9.0以上,穗粒数165左右)变异;V1、V13生育期延长了12~13 d,单株产量虽然降低了,但其共同的显著特点是抗性显著提高(抗性频率达79.4%)、外观品质(粒变长、长宽比变大)得到明显改良;V4、V15在稻谷外观品质上的改良最为突出;V12早熟、矮化,株型、粒型均变小。这些品系或许不能从中直接选育出优良品种,但由于在矮化、熟期、品质、抗性等方面的明显改良,则有可能作为进一步育种的优异种质资源加以利用。

对稻瘟病抗性鉴定研究表明,空间诱变可以使同一品种材料产生不同的抗病性变异,既有抗病又有感病突变。不同空间诱变突变品系对稻瘟病的抗性表现差异很大,同一突变品系对不同致病菌株的抗性也有较大差异。表明通过空间诱变可以获得对稻瘟病抗性显著提高的特异种质,同时也说明,由于抗病基因与不同生理小种互作的结果,致使抗性变异表现出复杂性。

参考文献:

- [1] 蒋兴村. 863-2 空间诱变育种进展及前景[J]. 空间科学学报, 1996 16(增刊): 77-82.
- [2] LI J, WANG P S, HAN D, et al. Mutation effect of high altitude balloon flight on rice and green pepper seeds[J]. Space Medicine and Medical Engineering, 1997, 10(2): 79-83.
- [3] MEI M T, QIU Y L, HUANG Y Q, et al. Morphological and molecular changes of maize plants after seeds been flown on recoverable satellite[J]. Adv Space Res, 1998, 22(12): 1 691-1 697.
- [4] 吴殿星, 舒庆尧, 夏英武. 空间技术诱发的水稻早熟突变系的品质性状变异[J]. 核农学报, 2000, 14(6): 342-346.
- [5] 李金国, 李源祥, 华育坚, 等. 利用搭载卫星水稻干种子选育出“赣早粳 47号”的研究[J]. 航天医学与医学工程, 2001, 14(4): 286-190.
- [6] 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.
- [7] 王 慧, 陈志强, 张建国. 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(自然科学版), 2003, 24(4): 5-8.
- [8] 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.
- [9] 方金梁, 邹定斌, 周永胜, 等. 航天诱变选育高产高蛋白质水稻新品种[J]. 核农学报, 2004, 18(4): 280-283.
- [10] 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.
- [11] 郭亚华, 邓立平, 谢立波, 等. 空间辐射诱变育成番茄新品种宇番1号[J]. 中国蔬菜, 2001, (6): 28-29.
- [12] 谢立波, 郭亚华, 邓立平, 等. 空间诱变育成甜椒新品种宇椒1号[J]. 黑龙江农业科学, 2004 (1): 49-50.
- [13] 谢克强, 张香莲, 杨良波, 等. 太空莲1、2、3号新品种的选育[J]. 核农学报, 2004, 18(4): 325.
- [14] 施巾帼, 范庆霞, 王琳清, 等. 太空环境诱发红小豆大粒突变[J]. 核农学报, 2000, 14(2): 93-98.
- [15] 王 斌, 李金国, 邱 芳, 等. 绿豆空间诱变育种及其分子生物学分析[J]. 空间科学学报, 1996, 16(增刊): 121-124.
- [16] 李金国, 刘 敏, 王培生, 等. 空间条件对番茄诱变作用及遗传的影响[J]. 航天医学与医学工程, 2000, 13(2): 114-118.
- [17] 杨祁云, 伍尚忠, 朱小源, 等. 广东稻瘟病菌的遗传宗谱与致病性的关系研究[J]. 植物保护学报, 2000, 27(4): 289-294.
- [18] 杨祁云, 朱小源, 雷财林, 等. 粳稻稻瘟病菌致病型单基因鉴别寄主筛选研究[A]. 马占鸿, 吴元华, 郑建秋, 等. 植物病理学研究进展(第5卷)[C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003. 78-86.

【责任编辑 周志红】