

# 空间诱变水稻广谱恢复系航恢七号的选育及利用

刘永柱 陈志强 张建国 王慧 郭涛 林轩东

(华南农业大学植物航天育种研究中心,广东 广州 510642)

**摘要:**航恢七号是利用航天育种技术,将特籼占13纯系干种子经返回式卫星搭载15d后,从地面种植的空间诱变处理后代群体中选育出的优良恢复系。它具有农艺经济性状好、恢复力强、恢复谱广、配合力好、花粉量大、制种产量高等特点。航恢七号与两系光温敏核不育系及三系胞质雄性不育系组配的一系列杂交水稻新组合表现出较强的杂种优势,其杂种培杂航七已通过广东省品种审定。

**关键词:**水稻;空间诱变;恢复系;航恢七号;选育

## BREEDING OF " HANGHUI NO. 7 ", A WIDE RESTORER LINE OF RICE BY SPACE MUTATION AND ITS UTILIZATION

LIU Yong-zhu CHEN Zhi-qiang ZHANG Jian-guo WANG Hui GUO Tao LIN Xuan-dong

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

**Abstract:** Hanghui No. 7 was selected from rice Texianzhan 13, which was carried into space with retrieved satellite for 15 days. Hanghui No. 7 was a new restorer line with good agronomic and economic characters, strong restoring ability, and so on. It was exhibited a series stronger restoring ability, when hybridized to photoperiod-temperature sensitive nucleic male sterility lines and cytoplasmic male sterile lines of three-line, and the hybrid combinations appeared powerful competition heterosis of F<sub>1</sub> hybrid compared with the control Peizashuang 7. A new hybrid combination Peizahang 7 (Peiai 64S × Hanghui No. 7) was examined and released by Guangdong Provincial Committee of Crops Variety Examination in 2005.

**Key words:** rice; space mutation; restorer line; Hanghui No. 7; breeding

我国65%以上人口以稻米为主食,其播种面积和总产量分别约占全国粮食生产的30%和40%<sup>[1]</sup>。杂交水稻的研究成功和推广应用,对发展水稻生产、保障粮食安全、促进经济增长起到了积极作用。我国杂交水稻育种的突破性成就依赖于特异种质的发现及育种材料的构建,但目前所选育的细胞质雄性不育系不育质源比较单一,与大多数恢复系品种存在恢保关系等现状制约了相关方面的突破性发展<sup>[2]</sup>。刘殊<sup>[3]</sup>分析了31个恢复系材料的遗传背景,段世华等<sup>[4]</sup>分析了35份恢复系材料,都发现我国水稻恢复系遗传资源较为丰富,但生产上大面积应用的主要恢复系之间的遗传背景比较单一,大部分材料的遗传相似系数较高。何光

华等<sup>[5,6]</sup>研究了生产上应用的22个中籼恢复系和四川省大量使用的18个骨干恢复系,发现这些恢复系的亲缘未超过明恢63,用这些恢复系配组的杂交稻组合遗传差异未明显大于汕优63。以往恢复系的选育几乎都是利用与具有强恢复能力的IR8、印尼水田谷等品种杂交,通过测交筛选进行,这就势必造成恢复系的遗传基础过于狭窄,使选育新组合在产量方面很难有大的突破<sup>[7]</sup>。20世纪80年代末以来我国利用空间诱变育种,先后选育和创造出一大批优质、高产、高抗的水稻新品种和新种质<sup>[8-14]</sup>。空间诱变具有变异频率高、幅度大、多数性状能遗传等特点,既能明显改良作物的某些农艺性状,又能获得地面育种难以得到的罕见突

收稿日期:2007-09-30 接受日期:2007-12-18

基金项目:国家863计划资助项目(2001AA241012和2002AA241011);广东省科技重大专项资助项目(2001A2010301和2004A20107001);广东省自然科学基金重点项目(06105466);农业部超级稻新品种选育与示范项目

作者简介:刘永柱(1974-),男,江西吉安人,硕士,助理研究员,主要从事水稻遗传育种研究。

通讯作者:陈志强(1956-),男,广东揭阳人,教授,博士生导师,主要从事水稻遗传育种研究。E-mail:chenlin@scau.edu.cn

变,是一种新的育种方法<sup>[15-18]</sup>。

本研究利用空间诱变育种技术,搭载籼稻特粳占13种子,从诱变后代群体中筛选,测恢,选育出优良的恢系航恢七号,并配组选育出多个具有较强杂种优势的两系和三系组合。

## 1 航恢七号选育

1996年,选用籼稻品种“特粳占13”干种子2000粒搭载人造返地式卫星,距地175~350km,微重力优于 $1 \times 10^{-3}g$ ,真空 $1 \times 10^{-3}Pa$ ,辐照量为12.8mGy/d,总剂量约为191mGy(14d19h),15d后返回地面,采用宽窄行的形式全部种植,成熟后混收SP<sub>1</sub>代种子,混种SP<sub>2</sub>代群体,群体规模为1500~2000株左右,成熟时,依据育种目标及个体农艺经济性状,选育优良单株200~300株左右,SP<sub>3</sub>代种成株系,以后各世代经连续多代定向筛选,单株选择,种成株系,直至育成稳定株系。2000年开始从稳定株系(SP<sub>7</sub>代)中选择单株进行测恢,其中有一单株组配的杂交组合表现出杂种后代优势明显,并且对两系核不育系及不同胞质三系不育系都具有较强的恢复力和较广的恢复谱,将其定名为“航恢七号”,具体选育过程及杂交组合组配情况如下:

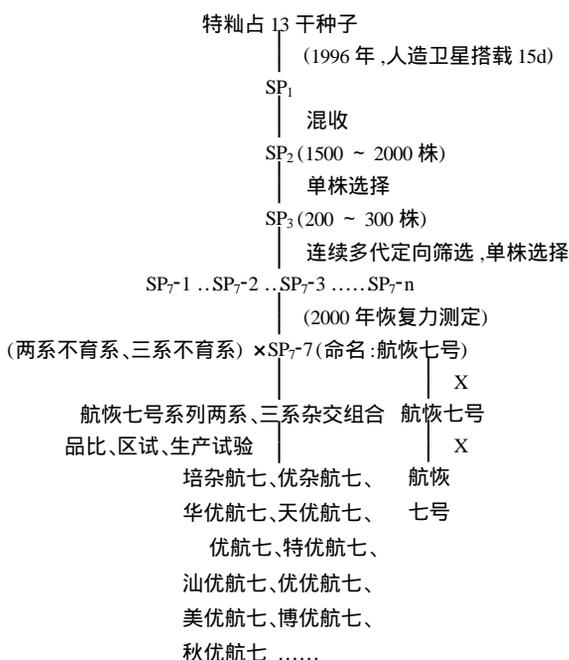


图1 恢复系航恢七号选育流程

Fig.1 The breeding process of restorer line hanghuiqihao

## 2 航恢七号的主要特征特性

### 2.1 植株性状

航恢七号株高107cm左右,株型集散适中,分蘖力强,剑中直立,穗大粒多,结实率高。叶鞘绿色,叶片(基部)浅绿色;倒数第二叶叶耳紫色,叶舌长,形状二裂,白色;剑叶叶片反卷,叶片、叶宽、叶片着生角度属于中间类型;茎秆长度、粗细适中,直立,茎节露;穗长中,稻穗下垂;颖壳茸毛多,颖尖桔黄色,护颖白色,颖壳桔黄色;谷粒芒极短,谷粒细长,糙米纺锤形,腹白少,直链淀粉含量低,外观品质较好。

### 2.2 穗部性状

穗长23.8cm,呈纺锤形,穗着粒数184粒,实粒167粒,结实率为90.36%,着粒密度7.72粒/cm,谷粒长宽比为4.14,千粒重21.02g。

### 2.3 播抽期与开花习性

航恢七号早造播始历期为70-75d,晚造播始历期为80-83d,主茎15~16片叶。抽穗当天开花,单穗开花主要集中在上午9:00-12:00,单穗开花历期7-9d,平均7.9d,单穗花时主要集中在开花后1-6d,开花历期长。

### 2.4 抗病性

经广东省农业科学院植物保护研究所抗病性鉴定,航恢七号抗稻瘟病抗谱达90%,表现为高抗。

### 2.5 航恢七号与原种主要农艺经济性状比较

表1为航恢七号和原种特粳占13的12项主要农艺经济性状比较。从表1可以看出,航恢七号与特粳占13生育期相差3d左右,株高矮3cm左右,穗数增多,穗长增大,谷粒长宽比增加,株叶形态较好,田间观察发现其花药饱满,花粉量大,制种产量高,比原种具有更好的一般配合力。

### 2.6 恢复力表现

用航恢七号与培矮64S、N9S、N39S三个两系不育系及华A、天丰A、II-32A、粤特A等不同胞质类型的11个三系不育系组配了14个杂交组合,结果显示(表2),所有杂种F<sub>1</sub>代的结实率为72.36%~90.19%,平均为81.73%。表明航恢七号对两系核不育系和夜公型、野败型、印水型、红莲型等不同质源的不育系都具有较强的恢复力,恢复谱广。所有组合的千粒重比对照培杂双七都有所增加,表现出较强的竞争优势。

表 1 航恢七号与特籼占 13 主要农艺性状比较

Table 1 The agronomic traits comparison of Hanghui No. 7 and Texianzhan 13

农艺性状 agronomic traits	航恢七号 Hanghui No. 7	特籼占 13 Texianzhan 13	两者差异 Difference
早造播始历期 DSH of early season (d)	70 - 75	73 - 77	- 3
晚造播始历期 DSH of late season (d)	80 - 83	77 - 80	3
株高 plant height (cm)	107.75 ±2.10	110.41 ±2.77	- 2.66
剑叶长 flag leaf length (cm)	32.03 ±0.53	34.23 ±0.42	- 2.21
剑叶宽 flag leaf width (cm)	2.03 ±0.06	2.13 ±0.05	- 0.11
有效穗数 productive panicle number	9.3 ±0.20	7.6 ±0.20	1.70
穗长 panicle length (cm)	23.80 ±0.23	21.23 ±0.15	2.57
总粒数/穗 total grains/panicle	183.77 ±1.12	184.97 ±1.23	- 1.21
实粒数/穗 filled grains/panicle	166.06 ±1.05	167.01 ±1.77	- 0.95
结实率 seed setting ratio (%)	90.36 ±0.12	90.44 ±0.15	- 0.08
千粒重 1000 grain weight (g)	21.02 ±0.18	22.47 ±0.20	- 1.45
谷粒长 grain length (mm)	9.23 ±0.28	8.95 ±0.31	0.28
谷粒宽 grain width (mm)	2.23 ±0.37	2.41 ±0.22	- 0.18
谷粒长宽比 grain length-width rate	4.14 ±0.02	3.69 ±0.05	0.45

表 2 航恢七号与 14 个不育系测配杂种 F<sub>1</sub> 代性状表现Table 2 Characters of the hybrid F<sub>1</sub> segregation of 14 combinations for Hanghui No. 7

组合名称 combination name	播始期 duration from sowing to heading (d)	株高 plant height (cm)	有效穗数 (穗、丛) productive panicle number	穗长 panicle length (cm)	第一枝梗数 (个) primary branches	穗实粒数 (粒) filled grains per panicle	结实率 seed setting ratio (%)	千粒重 1000-grain weight (g)
华优航七 Huayouhang 7	70	96.9	9.66	22.4	12.3	146.57	76.44	23.53
粤优航七 Yueyouhang 7	70	97.1	9.4	22.2	11.4	156.78	79.16	24.92
博优航七 Boyouhang 7	83	87.9	8.93	22.4	12.5	174.51	82.89	21.64
天丰优航七 Tianfengyouhang 7	69	99.8	8.27	23	11.5	177.64	86.59	25.38
特优航七 Teyouhang 7	69	97.9	7.6	22.8	11.6	157.44	80.17	26.76
川香优航七 Chuanxiangyouhang 7	69	100.7	8.2	24	12.6	160.26	84.03	26.37
优航七 youhang 7	70	90.6	8.07	23	12.6	165.83	86.35	25.57
秋优航七 Qiuyouhang 7	85	91.4	10.3	17.6	12	148.39	73.77	20.43
美优航七 Meiyouhang 7	85	91.2	9.8	21.6	12	155.78	72.36	20.47
振优航七 Zhenyouhang 7	85	89.3	9.2	20.2	13	180.93	83.66	21.8
农优航七 Nongyouhang 7	69	92.6	8	23.1	11.2	139.34	78.13	26.09
优杂航七 Youzhang 7	69	98.9	9.8	24.2	11.8	147.39	86.75	24.09
N39 杂航七 N39zhang 7	69	100.8	8.2	24.7	10.8	173.22	90.19	22.97
培杂航七 Peizhang 7	63	100.8	8.33	23.5	11.8	191.1	83.7	22.12
培杂双七(CK) Peizashuang 7	72	92.1	10.5	23.2	11.5	172.15	79.27	20.23

### 3 航恢七号所配部分杂交组合表现

#### 3.1 培杂航七

利用光温敏核不育系培矮 64S 与航恢七号组配而成的感温型优质高产两系杂交水稻新组合培杂航七, 2005 年通过广东省品种审定。

培杂航七株高 100.5 ~ 107.2cm, 株型集散适中, 分蘖力强, 叶色淡绿, 叶片直立半瓦状。全生育期早造约 125d, 晚造约 110d。穗长 21.2 ~ 22cm, 穗大粒多, 每穗

总粒数 159 ~ 162 粒, 结实率 76.5 % ~ 80.0 %, 千粒重 21.5g。米质鉴定为外观二级, 整精米率 63.7 %, 垩白粒率 24.0 %, 垩白度 7.2 %, 直链淀粉含量 25.0 %, 胶稠度 50mm, 长宽比 3.2。

2003 年培杂航七晚造参加广东省区试, 比对照组合培杂双七增产 5.88 %, 增产显著; 在肇庆市农业科学研究所的品种比较试验中, 亩产 536kg, 比对照组合培杂双七增产 13.5kg, 增幅达 2.58 %; 在揭阳潮下示范场大田生产试验中, 种植面积 0.08hm<sup>2</sup>, 实收亩产 540.2kg; 2003 年早造、2004 年晚造在高要市蚬岗镇高产示范试验, 实收亩产分别为 626.6kg 和 626kg; 2004

年晚造由广东省农业厅杂优站安排生产试验, 15 个点平均亩产 462.6kg, 其中 5 个点亩产超过 500kg, 产量最高的新兴点亩产达 615kg; 2005 年早造在广东省惠东县 5.3hm<sup>2</sup> 连片生产试验, 平均亩产达到 600 ~ 650kg。

培杂航七在生产示范中总体表现为株型较好, 后期熟色好, 穗大粒多, 米质较好, 有较好的丰产性和稳产性。

### 3.2 其他优势较强的杂交新组合

3.2.1 优杂航七 优杂航七是利用 N9S 与 航恢七号组配而成的感温型两系杂交稻新组合, 早造全生育期 131d, 与汕优 63 相近; 株高 104cm, 穗长 22.63cm; 每穗总粒数 149 粒, 平均结实率 89.09%, 千粒重 23.46g; 外观品质好, 食味佳。该组合分蘖力一般, 株型较紧凑; 株型直立, 集散度好, 叶片上举, 宽窄适中, 茎秆粗壮, 抗倒伏; 抽穗整齐, 后期转色佳, 成熟时青枝蜡杆, 对稻瘟病全群抗性比为 85.0%。

3.2.2 华优航七 华优航七是利用华农 A 与 航恢七号组配而成的感温型三系杂交稻新组合。早造全生育期 125d; 株高 108cm, 穗长 23.65cm; 每穗总粒数 173 粒, 平均结实率 89.64%, 千粒重 21.39g。该组合分蘖力强, 株型直立, 集散度好, 后期转色佳, 对稻瘟病全群抗性比为 90.0%。

3.2.3 天丰优航七 用天丰 A 与 航恢七号组配而成的感温型三系杂交稻新组合天丰优航七, 晚造全生育期 103d, 株高 100cm, 穗长 22.98cm; 穗大粒多, 每穗总粒数 205 粒, 平均结实率 86.85%, 千粒重 25.25g; 外观品质好, 食味佳。该组合分蘖力中等, 叶片宽厚, 茎秆粗壮, 耐肥抗倒伏; 抽穗整齐, 后期转色顺调。2004 年晚造在华南农业大学杂交稻品种比较试验中, 亩产 609.17kg, 比对照培杂双七 550.29kg 亩增产 10.70%, 2006 年晚造参加广东省区试, 2007 年晚造参加复试及生产试验。

3.2.4 博优航七 利用博 A 与 航恢七号组配而成的感光型三系杂交稻新组合博优航七, 晚造全生育期 123d, 株高 98cm, 穗长 22.37cm; 每穗总粒数 210 粒, 平均结实率 83.12%, 千粒重 21.10g; 外观品质及蒸煮品质较好。该组合分蘖力强, 株型直立, 集散度好, 剑叶长宽, 茎秆粗壮。

3.2.5 优航七 利用 -32A 与 航恢七号组配而成的三系杂交稻 优航七, 早造生育期 124d, 晚造生育期 101d, 株高 90.6cm, 有效穗数 8.07 丛, 穗长 23cm, 第一枝梗数 12.6 个, 每穗粒数 165.23 粒, 结实率 86.35%, 千粒穗 25.57g。该组合分蘖力较强, 株高适中, 叶较宽厚, 茎秆粗壮, 结实率较高, 2007 年早造参

加江西省品种区试。

## 4 讨论

利用航天诱变技术创建水稻育种新种质的研究已有不少报道。刘永柱等<sup>[19,20]</sup> 利用返地式卫星搭载籼稻种子特粒占 13, 从后代中选育出特异矮秆突变体, 获得了矮秆新种质 CHA-1。王丰等<sup>[21]</sup> 从经过卫星搭载的培矮 64S 种子及 SP<sub>3</sub> 代中获得柱头比培矮 64S 明显增大的变异株系。蒲志刚等<sup>[22]</sup> 从“神舟三号”航天飞船搭载的水稻纯合种子在返回地面后 SP<sub>3</sub> 代群体中选育出颖壳、茎秆和叶片的主脉变异为金黄色的突变体, 同时进行了遗传多态性分析。黎毛毛等<sup>[3]</sup>、周炳炎等<sup>[23]</sup> 利用返地式科学卫星搭载水稻, 从诱变后代群体中获得了对三系籼型不育系具有恢复能力的突变体。航天诱变技术在水稻育种种质资源的创建上也显示出巨大的优越性, 这对于开展水稻突变体基因的发掘、鉴定、功能研究和杂交水稻聚合育种有十分重要的意义。

本研究利用空间诱变技术选育的新恢复系航恢七号, 具有良好的农艺经济性状、开花习性、配合力和恢复力。并由其配组选育出培杂航七、优杂航七、早杂航七等两系组合和华优航七、II 优航七、天丰优航七、川香优航七、粤优航七、特优航七、农丰优航七、振丰优航七、博优航七、秋优航七、美优航七等三系组合, 在各级试验示范中均表现出较强的杂种优势。其中培杂航七于 2005 年通过了广东省农作物品种审定委员会审定。航恢七号表现出恢复力强, 恢复谱较广的特点, 作为特异的育种资源在杂交水稻育种上显示出良好的应用前景, 其恢复基因的遗传特性、基因定位及功能研究正在进行中。

## 参考文献:

- [1] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2001, 254 ~ 255
- [2] 李必湖, 李光清, 宁鹏, 谢军, 唐显岩, 吴厚雄. 早籼恢复系 402 生物学特性及高产制种技术. 作物研究, 2003, 17(2): 81 ~ 83
- [3] 刘殊, 程慧, 王飞, 朱英国. 我国杂交水稻主要恢复系的 DNA 多态性研究. 中国水稻科学, 2002, 16(1): 1 ~ 5
- [4] 段世华, 毛加宁, 朱英国. 用微卫星 DNA 标记对我国杂交水稻主要恢复系遗传差异的检测分析. 遗传学报, 2002, 29(3): 250 ~ 254
- [5] 何光华, 唐梅, 裴炎, 杨光伟, 谢戎, 杨正林, 李永洪. 四川主要水稻恢复系的 DNA 多态性研究. 杂交水稻, 1999, 14(6): 39 ~ 40.
- [6] 何光华, 裴炎, 杨光伟, 谢戎. 我国中籼杂交稻亲本的 DNA 多态性研究. 作物学报, 2000, 26(4): 449 ~ 454

(下转第 518 页)

ZR与生长抑制类激素 ABA 和 JA 的比值均高于同期对照,说明半夏块茎的生长需要较高的  $GA_3$ 、IAA 和 ZR 水平,较低的 ABA 与 JA 水平。其中,遮荫处理与对照 IAA/ABA、ZR/ABA、IAA/JA 和 ZR/JA 曲线接近平行,高峰均出现在 30d,说明 IAA/ABA、ZR/ABA、IAA/JA 和 ZR/JA 比值对半夏块茎生长调节机制相似,但在块茎不同生长阶段,激素的合适比值是不同的。

本试验初步探讨了遮荫对半夏块茎鲜重和内源激素含量的影响。但块茎内源激素与叶片内源激素有何关系,通过对叶片喷施外源植物生长物质调节块茎内源激素能否起到与遮荫调节块茎内源激素同样的效果,还有待于进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 靳忠英,彭正松,李育明,王梅. 半夏的光合特性. 作物学报, 2006, 32(10): 1542 ~ 1548
- [2] 郭巧生. 药用植物栽培学. 北京: 高等教育出版社, 2004, 8: 232 ~ 238
- [3] 孟祥海,张跃进,皮莉,杨东风,翟宇君. 遮荫对半夏叶片光合色素与保护酶活性的影响. 西北植物学报, 2007, 27(6): 1167 ~ 1171
- [4] 李合生. 现代植物生理学. 北京: 高等教育出版社, 2002
- [5] 张小斌,唐养璇,雷艳妮. 商洛半夏遮荫增产效果研究. 时珍国医国药, 2007, 18(8): 1884 ~ 1885
- [6] 吴能表,谈锋. 不同遮荫条件下少花桂幼苗内源激素含量的季节性变化. 西南师范大学学报, 1999, 24(6): 674 ~ 677
- [7] 张秋英,刘晓冰,金剑,等.  $R_5$  期遮荫对大豆植株体内源激素和酶活性的影响. 大豆科学, 2000, 19(4): 362 ~ 366
- [8] 董志强,舒文华,翟学军,张保明,刘芳,宋国琦. 棉株不同器官中几种内源激素的变化及相关关系. 核农学报, 2005, 19(1): 62 ~ 67
- [9] 薛建平,朱艳芳,张爱民,柳俊. 半夏试管块茎直接再生技术的研究. 作物学报, 2004, 30(10): 1060 ~ 1064
- [10] 何钟佩. 农作物化学控制实验指导. 北京: 北京农业大学出版社, 1993, 32
- [11] 袁媛,杨文钰. 遮荫对野生大百合叶片内源激素含量的影响. 北方园艺, 2007, 8: 123 ~ 125
- [12] 刘小阳,李玲,蔡永萍. 光强对砷山酥梨石细胞形成的影响及其与内源 IAA、ZR 和 ABA 含量的关系. 激光生物学报, 2006, 15(2): 161 ~ 166
- [13] 李卓杰. 植物激素及其应用. 广州: 中山大学出版社, 1993: 10 ~ 56
- [14] 薛建平,葛德艳,张爱民,柳俊,朱艳芳. 试管地黄的不定根膨大过程中 4 种内源激素的消长. 作物学报, 2004, 10(20): 1056 ~ 1059
- [15] 王庆美,张立明,王振林. 甘薯内源激素变化与块根形成膨大的关系. 中国农业科学, 2005, 38(12): 414 ~ 420
- [16] Jarvis B C, Shannon P R M, Yasmin S. Influence IBA and cordyepin on rooting and RNA synthesis in stem cutting of Phaseolus aureus Roxb. Plant Cell Physiol, 1983, 24: 139 ~ 142
- [17] Hsiao TC. Plant responses to water stress. Ann Rev Plant Physiol, 1982, 24: 519 ~ 570
- [18] 曹尚银,张俊昌,魏立华. 苹果花芽孕育过程中内源激素的变化. 果树学报, 2000, 17(4): 244 ~ 248
- [7] 黎毛毛,周炳炎,许秀钧. 水稻空间诱变后代恢复力的研究. 江西农业科技, 1998, 2: 24 ~ 25
- [8] 王乃彦. 开展航天育种的科学研究工作,为我国农业科学技术的发展做贡献. 核农学报, 2002, 16(5): 257 ~ 260
- [9] 王俊敏,魏力军,骆荣挺,张铭铄,孙野青,徐建龙. 航天技术在水稻诱变育种中的应用研究. 核农学报, 2004, 18(4): 252 ~ 256
- [10] 徐建龙,李春寿,王俊敏,骆荣挺,张铭铄. 空间环境诱发水稻多稃矮秆突变体的筛选与鉴定. 核农学报, 2003, 17(2): 90 ~ 94
- [11] 黄荣华,张书标,章清杞,杨仁崔. 辐射诱变选育特优 63 糯的研究. 核农学报, 2005, 19(1): 1 ~ 5
- [12] 郭泰,刘忠堂,胡喜平,王志新,吴秀红,郑伟,陈德祥,王雷. 辐射诱变培育高油大豆新品种及其应用. 核农学报, 2005, 19(3): 163 ~ 167
- [13] 王广金,闫文义,孙岩,黄景华,刁艳玲,兰静,郭强,邓双丽,孙光祖. 航天诱变选育高产优质小麦新品系龙辐 02 ~ 0958. 核农学报, 2005, 19(5): 347 ~ 350
- [14] 戴正元,李爱宏,黄年生,刘广清,周长海,张洪熙. 核辐射创造的高配合力水稻种质扬稻 6 号的应用. 核农学报, 2006, 20(2): 83 ~ 86
- [15] Kozzak C F, Nilan R A, Kleinhof A. Artificial mutagenesis as an aid in overcoming genetic vulnerability of crop plants. In: Mir-hammed A, Aksel R, Borstel R C (Eds.), Genetic Diversity in Plants. New York and London: Plenum Press, 1997, 163 ~ 177
- [16] 蒋兴村,李金国,陈芳远,卢升安,彭月华,易小平,杨存义. "8885" 返地卫星搭载对水稻种子遗传性的影响. 科学通报, 1991, 36(23): 1820 ~ 1824
- [17] 陈芳远,蒋兴村,卢升安,易小平,杨存义,李金国. 高空环境对水稻遗传性的影响. 中国水稻科学, 1994, 8(1): 1 ~ 8
- [18] 李常银,孙野青,杨谦. 空间生物学研究进展. 哈尔滨工业大学学报, 2003(4): 385 ~ 388
- [19] 刘永柱,王慧,陈志强,郭涛,张建国. 水稻空间诱变特异矮秆突变体 CHA-1 变异特性研究. 华南农业大学学报, 2005, 26(4): 1 ~ 4
- [20] 王慧,刘永柱,张建国,陈志强. 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. 中国水稻科学, 2004, 18(5): 391 ~ 395
- [21] 王丰,李永辉,柳武革,金素娟,李金华,刘振荣,廖亦龙,黄德娟,朱满山. 水稻不育系矮矮 64S 的空间诱变效应及后代的 SSR 分析. 核农学报, 2006, 6: 449 ~ 453
- [22] 蒲志刚,张志勇,郑家奎,向跃武,张志雄,蔡平钟,文春描. 水稻空间诱变的遗传变异及突变体的 AHP 分子标记. 核农学报, 2006, 6: 486 ~ 489
- [23] 周炳炎,许秀钧,黎毛毛,张冬仙,吴小燕. 水稻空间诱变恢复系杂种优势测定试验初报. 遗传, 2001, 23(3): 234 ~ 236

### (上接第 442 页)

- [7] 黎毛毛,周炳炎,许秀钧. 水稻空间诱变后代恢复力的研究. 江西农业科技, 1998, 2: 24 ~ 25
- [8] 王乃彦. 开展航天育种的科学研究工作,为我国农业科学技术的发展做贡献. 核农学报, 2002, 16(5): 257 ~ 260
- [9] 王俊敏,魏力军,骆荣挺,张铭铄,孙野青,徐建龙. 航天技术在水稻诱变育种中的应用研究. 核农学报, 2004, 18(4): 252 ~ 256
- [10] 徐建龙,李春寿,王俊敏,骆荣挺,张铭铄. 空间环境诱发水稻多稃矮秆突变体的筛选与鉴定. 核农学报, 2003, 17(2): 90 ~ 94
- [11] 黄荣华,张书标,章清杞,杨仁崔. 辐射诱变选育特优 63 糯的研究. 核农学报, 2005, 19(1): 1 ~ 5
- [12] 郭泰,刘忠堂,胡喜平,王志新,吴秀红,郑伟,陈德祥,王雷. 辐射诱变培育高油大豆新品种及其应用. 核农学报, 2005, 19(3): 163 ~ 167
- [13] 王广金,闫文义,孙岩,黄景华,刁艳玲,兰静,郭强,邓双丽,孙光祖. 航天诱变选育高产优质小麦新品系龙辐 02 ~ 0958. 核农学报, 2005, 19(5): 347 ~ 350
- [14] 戴正元,李爱宏,黄年生,刘广清,周长海,张洪熙. 核辐射创造的高配合力水稻种质扬稻 6 号的应用. 核农学报, 2006, 20(2): 83 ~ 86
- [15] Kozzak C F, Nilan R A, Kleinhof A. Artificial mutagenesis as an aid in overcoming genetic vulnerability of crop plants. In: Mir-hammed A,