

基因枪法转化水稻 E32 后代 非目标农艺性状变异的研究

郭建夫¹, 黄永相¹, 彭贤力¹, 袁红旭¹,
蒋世河¹, 许新萍², 张建中¹

(1. 广东海洋大学农业生物技术研究所, 广东 湛江 524088; 2. 中山大学生物工程研究中心, 广州 510275)

摘要: 采用基因枪法将 4 个抗真菌性病害基因 ($RA C_{22}$ 、 RCH_{10} 、 $\beta-1,3-Glu$ 和 $B-Rip$) 导入超级稻 (*Oryza sativa* L.) 恢复系 E32 中, 经选择获得 10 个 T₄ 代转基因株系。分蘖盛期纹枯病抗性鉴定表明外源基因已在转基因株系中得到表达并获得抗性, 这些转基因株系除了产生抗病性等目标性状的变异外, 还发生生育期、植株形态、谷粒外观及产量性状等非目标农艺性状变异。对这些非目标性状进行遗传增益和稳定性分析表明, 不同转化株系间或性状间的遗传增益均存在较大差异, 其中遗传增益最高的性状是单株穗数、着粒密度和单株产量; 各性状中以株高、穗长和谷粒外观性状的变异程度最低, 单株穗数和千粒重的变异系数最大。通过选择可获得产量与品质性状均有提高的转基因水稻。

关键词: 水稻; 基因枪法; 转基因; 非目标性状

中图分类号: S511.035.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2007)04-0284-06

Variation of Non-target Agronomic Traits in the Offspring of Transgenic Rice Line E32 by Particle Bombardment

GUO Jian-fu¹, HUANG Yong-xiang¹, PENG Xian-li¹, YUAN Hong-xu¹,
JIANG Shi-he¹, XU Xin-ping², ZHANG Jian-zhong¹

(1. Institute of Techniques for Agricultural Biology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

2. Biotechnology Research Center, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Four antifungal protein genes ($RA C_{22}$, RCH_{10} , $\beta-1,3-Glu$ and $B-Rip$) were introduced into *Indica* hybrid rice (*Oryza sativa* L.) restorer line E32 by particle bombardment. Ten transgenic progenies of T₄ generation exhibited resistance to sheath blight after inoculated at the active tillering stage. In addition, the transgenic progenies had obvious variations in some non-target agronomic traits, such as growth duration, morphology, grain appearance and grain yield. The genetic gains were different among transgenic lines and the traits. Panicle, grain density and grain yield per plant had the highest genetic gains. The variation coefficients of plant height, panicle length and grain appearance were low, while those of panicle numbers per plant and 1000-grain weight reached high levels. The transgenetic rice cultivars with high yield and good quality could be developed.

Key words: Rice; Particle bombardment; Transgene; Non-target traits

通过转基因技术把外源目的基因转化到水稻受体品种中, 可定向改良其不良性状, 快速定向培育新品种, 从而由不定向达到定向改良性状的目

的, 这是育种技术的一大进步^[1-2]。但是转基因水稻在改良目的基因性状(如抗病虫性等)的同时, 亦会引发农艺性状等非目标性状的变异, 其产生变异的

收稿日期: 2006-09-08 接受日期: 2006-12-11

基金项目: 国家“863”计划项目(101-01-02-02); 广东省“十五”重大科技专项项目(A2010104)资助

可能原因有多种: 转化过程中离体组织培养阶段发生变异; 外源基因导入靶细胞 DNA 后发生诱变; 外源基因的插入异常表达所致等^[3-6]。进一步加强转基因后代材料的非目标农艺性状遗传变异规律的研究, 有利于促进转基因技术与单株选择、形态育种等常规育种手段的有机结合, 选育出更优良的品种。目前, 对转抗螟虫和抗潮霉素基因水稻后代农艺性状的变异表现已有报道^[6-7], 但对抗病原真菌转基因水稻后代非目标农艺性状的报道甚少。为此, 本研究选用超级稻 (*Oryza sativa* L.) 恢复系 E32 以及 10 个转抗真菌蛋白基因后代株系, 比较两者间多个非目标农艺性状的表现与差异, 同时对这些转基因株系的选择效果及后代选择空间进行估算, 以期选育优质、高产、多抗的转基因水稻新品种提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料是超级稻 (*Oryza sativa* L.) 组合 (培矮 64S/E32) 的恢复系 E32 和以 E32 为受体亲本, 经中山大学生物工程中心采用基因枪法导入 4 个抗真菌蛋白基因 [*RAC*₂₂ (水稻碱性几丁质酶基因)、*RCH*₁₀ (水稻酸性几丁质酶基因)、*β-1,3-Glu* (苜蓿葡聚糖酶基因) 和 *B-Rip* (大麦核糖体失活蛋白基因)] 后^[8-9], 由广东海洋大学杂优水稻研究室于 T₄ 代选育出的 10 个抗病转基因株系 (E121-1、E121-2、E121-3、E122-1、E122-2、E123-3、E124-1、E124-2、E124-3 和 E127-1)。对照亲本 E32 和转基因株系在相同条件下种植 4 代。

水稻纹枯病菌 (*Rhizoctonia solanikühn* AG-IIA) 为广东海洋大学分子育种实验室自农业生物技术研究所水稻试验基地的稻田中分离, 经致病性鉴定为强致病菌株。

1.2 试验设计与统计方法

田间种植试验于 2003 年晚季在广东海洋大学农业生物技术研究所试验田进行, 7 月 19 日播种, 8 月 13 日移栽, 随机区组设计, 3 次重复, 小区面积为 2.3 m², 每小区种植 6 行, 每行 10 株, 小区肥水管理与大田相同, 记载始穗期并计算播始历期 (Days before heading)。完熟后每小区取中间行 5 株考察稃芒 (Husk awn)、颖壳颜色 (Grain colour)、株高 (Plant height)、剑叶长 (Flag leaf length)、剑叶宽 (Flag leaf width)、剑叶面积 (Flag leaf area)、单株穗数 (Number

of panicles per plant)、穗长 (Panicle length)、每穗总粒数 (Total grains per panicle)、着粒密度 (Grains density)、每穗实粒数 (Filled grains per panicle)、结实率 (Seed setting)、千粒重 (1000-grain weight)、单株产量 (Yield per plant)、谷粒长 (Grain length)、谷粒宽 (Grain width) 和谷粒长宽比 (Grain length/grain width)。

田间纹枯病抗性鉴定试验于 2004 年早季进行, 每个株系自成一区, 随机排列各小区, 每小区种植 3 行, 每行 12 株, 4 月 11 日播种, 5 月 7 日移栽, 周围设 0.5 m 的保护行, 小区管理同 2003 年。5 月 25 日, 于每个小区随机抽取 20 株采用牙签接种法接种水稻纹枯病菌, 每株接种 3 种, 1 个月后调查病秆数并按潘学彪^[10]的 9 级分级标准记录病级, 计算出各株系的病秆率 (Disease stalk rate)、平均病级 (Disease degree) 和病情指数 (Disease index)。

非目标农艺性状的测定和分析参照张龙步等^[11]和罗利军等^[12]的方法, 遗传增益的估算公式:

$$\Delta G = S/\mu \times 100\%$$

式中, S 为选择差, 即新选转基因株系平均值与对照平均值的离差; μ 为对照平均值。统计分析用 DPS 数据处理系统软件完成。

2 结果和分析

2.1 转基因后代株系的纹枯病抗性表现

从表 1 可见, 与非转化对照品种 E32 相比, 转基因后代株系的病秆率、平均病级和病情指数都明显低于其受体亲本, 表现出不同程度的纹枯病抗病性, 其中以 E122-2、E122-1、E121-3 和 E127-1 4 个株系的抗病力最强, 其纹枯病病情指数分别为 4.8%、6.3%、7.6% 和 7.8%, 均比非转化对照的病情指数低 30% 以上, 抗性水平表现为高抗, 表明外源广谱性抗真菌基因已导入水稻植株并得到表达, 提高了原品种的纹枯病抵抗能力。

2.2 转基因后代株系的非目标农艺性状变异表现

2.2.1 生育特征及产量相关性状的变异表现

由表 2 可见, 转基因后代株系的播始历期普遍比非转化对照延长。10 个转基因株系的播始历期平均值为 79.3 d, 比对照品种长 1.3 d, 其中 E123-3 的播始历期比对照长 5 d, 但个别株系如 E124-2 的生育期缩短, 播始历期比对照短 2 d。另外, 从表 2 还可看出, 转基因后代株系中有不少株系的主要产量性状与对照品种 E32 相比存在较大差异。如

表 1 转基因后代株系纹枯病抗性表现

Table 1 Resistance of transgenic rice lines to sheath blight

株系 Line	病秆率 Disease stalk rate (%)	平均病级 Disease degree	病情指数 Disease index (%)	株系 Line	病秆率 Disease stalk rate (%)	平均病级 Disease degree	病情指数 Disease index (%)
E121-1	63.8±14.0*	1.3±0.6**	14.2±6.3**	E123-3	48.8±13.6**	1.4±0.9**	15.5±9.2**
E121-2	51.1±11.2**	1.0±0.5**	11.5±5.4**	E124-1	55.3±14.9*	1.5±1.1**	16.9±13.1**
E121-3	44.1±9.7**	0.7±0.3**	7.6±3.0**	E124-2	53.7±14.5**	1.6±1.0**	16.5±10.2**
E122-1	42.1±7.8**	0.6±0.2**	6.3±1.7**	E124-3	33.2±10.5**	1.0±1.0**	10.9±11.4**
E122-2	34.3±19.2**	0.4±0.5**	4.8±5.1**	E127-1	40.8±13.1**	0.7±0.5**	7.8±5.5**
E32 (Control)	82.0±11.7	3.4±1.0	37.9±11.8				

*, ** 分别表示与对照相比达差异显著 ($P<5\%$) 和极显著水平 ($P<1\%$), 下同。* and ** present significant differences at $P<5\%$ and 1% levels, respectively, compared with the control. The same as below.

E121-2 的着粒密度、单株产量和 E121-3 的单株穗数、单株产量分别比对照增加 3.4 粒 cm^{-1} 、13.4 g 和 2.6 穗、19.2 g, 而穗长则下降 3.2 cm 和 4.2 cm。株系 E127-1 的着粒密度比对照增加 2.8 粒 cm^{-1} , 但穗长、结实率以及千粒重分别低于对照 3.9 cm、19.5% 和 6.9 g, 这些差异都达显著或极显著水平。这表明除目的基因整合后稳定表达对纹枯病的抗性外, 转抗真菌蛋白基因水稻后代株系的部分非目标农艺性状也发生了明显变异, 其变异的方向有正有负。

2.2.2 植株形态与谷粒外观等性状的变异表现

在发生生育期及产量性状变异的同时, E32 的转基因后代还发生了植株形态与谷粒外观等非目标农艺性状变异 (表 3)。总体上, 转基因株系较多表现出株高降低、剑叶变小、谷粒长宽比增加的特

点。全部转基因株系的株高均低于对照并且变异较大, 其中 E121-1 和 E121-3 等 7 个株系的株高下降了 8.3%–27.0%, 与对照的差异达显著或极显著水平。株系 E122-1 的剑叶长、宽与对照的差异达极显著水平, 而其它株系的剑叶形态性状与对照的差异虽未达显著水平, 但在剑叶长、剑叶宽和剑叶面积 3 性状上的均值比对照相应少 5.1 cm、0.2 cm、2.6 cm^2 。而在谷粒外观性状上, 转基因后代株系与对照品种也存在较大差异, 如 E123-3 的谷粒长、长宽比以及 E127-1 的谷粒长宽比均极显著高于对照, E121-1、E121-2、E121-3、E124-1 和 E127-1 等 5 个株系的谷粒宽则显著或极显著低于对照。

除此以外, 从表 3 还可看出, 转抗真菌基因水稻后代非目标农艺性状变异范围很广泛, 不但包括

表 2 转基因后代株系生育特征及产量性状表现

Table 2 Growth and yield traits in transgenic rice lines

株系 Line	播始历期 Days before heading (d)	穗长 Panicle length (cm)	单株穗数 Number of panicles per plant	每穗总粒数 Total grains per panicle	着粒密度 Grain density (cm^{-1})	每穗实粒数 Filled grains per panicle	结实率 Seed setting (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	单株产量 Yield per plant (g)
E121-1	78	24.2±1.1*	5.4±3.2	221.6±36.1	9.2±1.7	177.3±27.4	80.0±18.6	24.7±9.4	23.7±7.3
E121-2	79	24.5±2.4*	6.2±1.9	281.6±58.5	11.4±1.5*	233.4±33.3	82.9±8.2	25.7±9.3	37.2±6.6*
E121-3	78	23.5±2.4**	7.0±0.7*	245.0±50.5	10.4±1.6	217.2±27.6	88.7±4.8	28.3±7.6	43.0±5.1**
E122-1	79	25.7±1.9	4.8±2.4	251.4±60.6	9.8±2.5	195.1±39.1	77.6±17.6	26.4±3.2	24.7±7.8
E122-2	82	28.5±1.1	6.6±3.0	250.6±29.5	8.8±0.9	168.6±25.5	67.3±21.5*	21.9±10.6	24.4±7.6
E123-3	83	25.8±2.0	4.6±1.8	247.0±69.6	9.5±2.1	183.5±39.3	74.3±9.0	21.2±6.3*	17.9±7.1
E124-1	78	27.7±3.3	5.0±1.2	249.0±30.0	9.0±0.9	177.5±20.2	71.3±10.5	19.6±2.9**	17.4±4.4
E124-2	76	26.8±2.2	4.6±2.3	248.4±83.5	9.1±2.4	167.8±47.5	67.5±11.4*	24.0±3.7	18.5±8.1
E124-3	78	24.5±2.6*	6.2±1.3	198.0±60.2	8.0±2.1	145.9±36.3	73.7±12.4	23.9±1.6	21.6±6.5
E127-1	81	23.8±1.9**	5.4±1.9	255.0±38.4	10.8±1.6*	177.4±25.3	69.6±12.1**	20.2±7.9**	19.4±5.9
E32 (Control)	78	27.7±0.7	4.4±0.9	224.2±39.3	8.0±1.6	199.9±22.2	89.1±5.1	27.1±2.6	23.8±3.9

表 3 转基因后代株系植株形态及谷粒外观性状表现
Table 3 Grain appearance traits and morphology of transgenic rice lines

株系 Line	株高 Plant height (cm)	剑叶 Flag leaf			谷粒 Grain			颖壳颜色 Grain colour	稃芒 Husk awn
		长 Length (cm)	宽 Width (cm)	面积 Area (cm ²)	长 Length (mm)	宽 Width (mm)	L/W		
E121-1	110.4±4.1*	37.7±7.3	1.9±0.1	53.4±12.3	8.6±0.5	2.6±0.1*	3.3±0.2	淡黄	无
E121-2	115.8±4.3	42.4±8.0	2.2±0.1	68.1±14.2	8.2±0.3	2.4±0.0**	3.4±0.2	淡黄	无
E121-3	109.0±12.2**	40.4±5.5	2.0±0.1	58.4±6.6	8.0±0.1	2.6±0.4*	3.2±0.5	淡黄	无
E122-1	111.8±10.5*	25.5±16.5**	3.1±0.8**	57.4±31.0	9.1±0.2	2.8±0.0	3.2±0.1	淡黄	短
E122-2	117.4±12.5	42.3±5.9	2.6±1.4	83.0±49.3	8.6±0.6	2.8±0.2	3.1±0.2	淡黄	长
E123-3	119.7±9.6	41.2±6.8	2.1±0.3	65.3±16.02	9.6±0.1**	2.6±0.4	3.8±0.9**	橙黄	无
E124-1	115.4±3.9*	48.3±6.2	2.1±0.1	75.06±11.2	9.1±0.4	2.5±0.1*	3.6±0.3*	淡黄	无
E124-2	107.0±6.4**	39.6±0.8	2.3±0.3	66.2±8.3	8.2±0.5	2.9±0.1	2.7±0.2	淡黄	无
E124-3	96.7±10.4**	40.9±12.3	1.9±0.2	56.8±21.6	8.7±0.4	3.0±0.1	2.9±0.2	淡黄	无
E127-1	106.6±4.7**	38.3±9.7	1.8±0.3	52.8±22.5	8.8±0.5	2.3±0.4**	3.9±0.9**	麻褐	长
E32 (Control)	123.7±2.8	44.7±6.6	2.1±0.1	67.7±12.2	8.4±0.1	2.9±0.0	2.9±0.2	淡黄	无

株高、穗长等数量性状,而且还发生了颖壳颜色和稃芒有无等质量性状的变化。如 E127-1 的谷粒颖壳颜色为麻褐色,并伴有较长的稃芒(约 1 cm),与对照有明显差异。结合表 2 和表 3 的结果可知,超级稻恢复系 E32 在导入外源抗真菌蛋白基因后出现了非目标农艺性状的变异,这种变异不是在 1 个或 2 个非目标农艺性状上,而是在生育期、植株形态、谷粒外观及产量相关性状等多个数量或质量性状上的,并且其变异的方向、频率及幅度具有随机性。

2.3 转基因后代株系非目标农艺性状的遗传增益估算

遗传增益 (Genetic gain) 亦称为遗传获得量或选择效应,是在育种中衡量选择效果的主要指标,它反映了某一数量性状经过选择之后,子代比亲本在该性状上得到提高的部分^[13-14]。本文对主要非目标农艺性状的遗传增益进行了估算,结果(表 4)表明,10 个转基因株系的主要非目标变异性状具有较大的遗传增益,说明对由基因枪转化系统所诱发的水稻农艺性状变异进行选择具有明显的效果。但不同的转基因株系其变异性状的遗传增益差异较大,

表 4 转基因后代株系主要非目标性状的遗传增益(%)
Table 4 The genetic gains of the major non-target agronomic traits of transgenic rice lines

株系 Line	播始历期 Days before heading	株高 Plant height	单株穗数 Number of panicles per plant	每穗总粒数 Total grains per panicle	着粒密度 Grain density	每穗实粒数 Filled grains per panicle	结实率 Seed setting	千粒重 1000-grain weight	单株产量 Yield per plant	谷粒长宽比 Ratio of grain length to width
E121-1	-1.27	-10.75	22.73	-1.16	15.00	-11.31	-10.21	-8.86	-0.42	11.11
E121-2	0.00	-6.39	40.91	25.60	42.50	16.76	-6.96	-5.17	56.30	14.14
E121-3	-1.27	-11.81	59.09	9.28	30.00	8.65	-0.45	4.43	80.67	6.73
E122-1	0.00	-9.62	9.09	12.13	22.50	-2.40	-12.91	-2.58	3.78	9.09
E122-2	3.80	-5.09	50.00	11.78	10.00	-15.66	-24.47	-19.19	2.52	2.69
E123-3	5.06	-3.23	4.55	10.17	18.75	-8.20	-16.61	-21.77	-24.79	29.63
E124-1	-1.27	-6.71	13.64	11.06	12.50	-11.21	-19.98	-27.68	-26.89	20.54
E124-2	-2.53	-13.50	4.55	10.79	13.75	-16.06	-24.24	-11.44	-22.27	-7.41
E124-3	-1.27	-21.83	40.91	-11.69	0.00	-27.01	-17.28	-11.81	-9.24	-1.01
E127-1	2.53	-13.82	22.73	13.74	35.00	-11.26	-21.89	-25.46	-18.49	41.75
平均 Mean	0.38	-19.70	26.82	9.17	20.00	-7.77	-15.50	-12.95	4.12	12.73

如转基因株系 E124-1 单株产量的遗传增益为 -26.89%，而 E121-3 的为 80.67%；E127-1 的谷粒长宽比的遗传增益为 41.75%，而 E124-2 的为 -7.41%。此外，同一转基因株系不同变异性状的遗传增益也存在较大的差异。如 E121-2 的单株穗数遗传增益为 40.91%，而每穗总粒数为 25.60%，着粒密度为 42.50%，单株产量为 56.30%，但其结实率和千粒重的遗传增益则分别为 -6.96%和 -5.17%。因此，在对变异性状进行选择时，其选择效果可能因不同的转基因株系或不同的变异性状而不同。

2.4 转基因后代株系非目标农艺性状的稳定性分析

通过对转基因后代株系各个非目标性状的变异系数进行分析，结果表明，不同非目标性状间的变异系数存在很大差异，因此，不同非目标农艺性状间因其变异程度不同其育种利用价值和途径也不同。根据各转基因株系非目标性状的变异系数值，计算各性状间的欧氏距离并用类平均法 (UPGMA) 进行系统聚类分析。从图 1 可知，15 个非目标农艺性状可划分为 3 大类，第 1 大类含有 10 个性状，又分为 2 亚类。第 I 亚类有株高、穗长、谷粒长、谷粒宽和谷粒长宽比，其变异系数均值在 6.4%~9.8%之间，是较为稳定的性状，对其进行选择的范

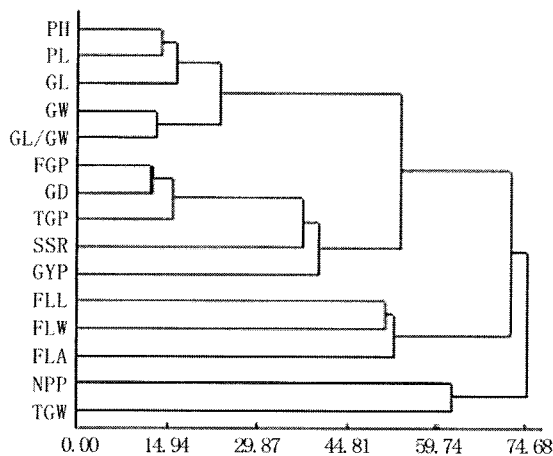


图 1 转基因后代株系非目标性状变异系数的聚类图

Fig. 1 Dendrogram of the variation coefficients of non-target traits of transgenic rice lines

PH: 株高 Plant height; PL: 穗长 Panicle length; GL: 谷粒长 Grain length; GW: 谷粒宽 Grain width; FGP: 每穗实粒数 Filled grains per panicle; GD: 着粒密度 Grain density; TGP: 每穗总粒数 Total grains per panicle; SSR: 结实率 Seed setting; GYP: 单株产量 Yield per plant; FLL: 剑叶长 Flag leaf length; FLW: 剑叶宽 Flag leaf width; FLA: 剑叶面积 Flag leaf area; NPP: 单株穗数 Number of panicles per plant; TGW: 千粒重 1000-grain weight.

围较窄。第 II 亚类则包括每穗实粒数、着粒密度、每穗总粒数、结实率和单株产量，变异系数均值范围为 17.2%~25.2%，性状的可选性稍优于第 I 亚类。第 2 大类性状是剑叶长、剑叶宽和剑叶面积，其变异程度介于第 1 大类与第 3 大类之间，变异系数平均值为 18.4%~27.6%，对其可进行适当的定向选择。第 3 大类性状是单株穗数和千粒重，变异系数平均值分别为 36.5%和 29.0%，为全部非目标性状中的最高，对这两个性状进行后代选择的范围较大，获得性状优良的后代的机率较其它性状要高。

3 讨论

3.1 如何处理目标性状与非目标性状的选择

转基因水稻后代农艺性状表现的好坏，决定着转基因作物能否直接应用。与原亲本相比，多数研究认为转基因当代植株及其自交衍生后代的农艺性状普遍表现较差^[4,15-16]。但也有研究表明外源基因不足以对重要的农艺性状造成显著的影响^[17-18]。通过对水稻转化后代多个非目标农艺性状变异情况进行研究表明，利用基因枪法导入外源抗真菌蛋白基因不但产生非目标农艺性状的诱变效应，而且经过人工定向选择后，不少性状已获较大的遗传增益，部分农艺性状得到改善。因此，对于转基因水稻后代这类非目标性状变异应该给予足够重视，因为从水稻育种学角度来看，不管怎样严格选用转基因水稻受体品种，除了目标性状外，受体品种总还有这样或那样的缺点，而通过导入目的基因定向改良水稻不良性状与对诱发的非目标性状变异选择有机结合起来，将可以大大丰富和拓宽水稻育种选择的内容和范围。在改良抗病、抗虫等目标性状的同时，通过对非目标农艺性状的选择，以求转基因水稻在产量和品质方面也得到提高。

3.2 转抗真菌蛋白基因水稻非目标农艺性状的变异特点

本研究的结果表明，用基因枪法获得的转抗真菌蛋白基因水稻后代有植株变矮和单株穗数增加的现象，这与唐祚舜等^[7]和何龙飞等^[6]报道的基因枪法转基因水稻的株高显著或极显著下降，分蘖力增强的结果一致。另外，转抗真菌蛋白基因水稻生育期推迟，剑叶有变短变宽的趋势，这与何龙飞等^[6]报道的转基因水稻生育期缩短，剑叶有变狭长的趋势

恰好相反。转抗真菌蛋白基因水稻存在一些结实率偏低的株系, 极少数株系出现了个别不育植株, 这些与唐祚舜等^[7]的研究结果一致。此外, 与转抗螟虫和抗潮霉素基因水稻相比, 转抗真菌蛋白基因水稻后代还具有穗长、千粒重和穗实粒数下降明显, 着粒密度、谷长及谷粒长宽比增加较大的特点。

有关转基因水稻后代产生农艺性状等非目标性状变异的原因可能是: 转化过程中离体组织培养阶段发生变异; 外源基因导入靶细胞 DNA 后发生诱变; 外源基因的插入异常表达所致^[3-6]。唐祚舜等认为转基因农艺性状变异的原因主要来自体细胞无性系变异^[7]。何龙飞等则认为在不同的情况下外源基因导入的影响可能更为重要^[9]。本研究结果显示, 在转基因后代农艺性状变异中, 有些性状变异是一致的, 如株高的下降和单株穗数的增加, 这与何龙飞等的研究结果相似, 但同时发现转基因当代再生植株普遍表现出育性下降, 在 T₁ 和 T₂ 代中逐渐恢复正常的现象, 这又与唐祚舜等^[7]的研究结果趋同, 说明引起基因枪法转基因水稻后代农艺性状变异的原因不可能只是某种作用方式的结果, 而是多种方式的综合表现, 至于确切的机制则还有待深入研究。

3.3 加强转基因技术与常规育种技术的结合

植物遗传转化的主要目的, 不仅是要将有用的目的基因导入受体植物, 更重要的是要使获得的转基因植株具有良好的应用价值, 真正使转基因技术成为改良植物品种的现代育种手段。本研究 and 以往的研究均表明, 除目的基因性状外, 转基因水稻后代非目标农艺性状普遍发生变异。因此, 积极开展合作研究, 促进遗传转化工作与常规育种工作的结合, 加强转基因作物后代农艺性状及其遗传特性的研究, 将有助于加快转基因优良品种的培育。

参考文献

- [1] Christou P, Ford T L, Kofron M. Production of transgenic rice (*Oryza sativa* L.) plants from agronomically important *Indica* and *Japonica* varieties via electric discharge particle acceleration of exogenous DNA into immature zygotic embryos [J]. *Biol Techn*, 1991, 9:957-962.
- [2] Jiang J H(蒋家焕), Guo Y M(郭奕明), Yang Y G(杨映根), et al. Research and application of transgenic rice [J]. *Chin Bull Bot(植物学通报)*, 2003, 20(6):736-744.(in Chinese)
- [3] Min S K(闵绍楷), Shen Z T(申宗坦), Xiong Z M(熊振民), et al. Breeding of Rice [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1996: 269-275.(in Chinese)
- [4] Lynch P T, Jones S J, Blackhall N W, et al. The phenotypic characterization of R₂ generation rice plants under field and glasshouse condition [J]. *Euphytica*, 1995, 85:395-401.
- [5] Zuo Q F(左清凡), Zhang J Z(张建中), Yuan H X(袁红旭), et al. Breeding of transgenic rice Zhuzhuan 68 with blast resistance [J]. *Hybrid Rice(杂交水稻)*, 2001, 14(3):11-12.(in Chinese)
- [6] He L F(何龙飞), Wei S Q(韦善清), Lu S A(卢升安), et al. Studies on the variations of agronomic characteristic from rice transformed with *SCK* gene progeny [J]. *J Guangxi Agri Biol Sci(广西农业生物科学)*, 2002, 21(2):73-77.(in Chinese)
- [7] Tang Z S(唐祚舜), Li L C(李良材), Tian W Z(田文忠), et al. Agronomic traits in progeny of transgenic rice mediated by biolistic bombardment [J]. *Sci Agri Sin(中国农业科学)*, 2001, 34(6):581-586. (in Chinese)
- [8] Feng D R, Xu X P, Wei J W, et al. Enhancement of rice disease resistance by two antifungal protein genes [J]. *Acta Bot Sin*, 1999, 41:1187-1191.
- [9] Xu X P(许新萍), Chen J T(陈金婷), Zhang J Z(张建中), et al. Novel transgenic rice strains resistant to blast and sheath blight [J]. *Acta Sci Nat Univ Sunyatsen(中山大学学报: 自然科学版)*, 2001, 40(3):131-134. (in Chinese)
- [10] Pan X B(潘学彪), Chen Z X(陈宗祥), Xu J R(徐敬友), et al. The effects of different methods of inoculation and investigation on genetic research of resistance to rice sheath blight [J]. *J Jiangsu Agri Coll(江苏农学院学报)*, 1997, 18(3):27-32.(in Chinese)
- [11] Zhang L B(张龙步), Dong K(董克). *Methods and Testing Technology of Rice Agricultural Experimentation* [M]. Shenyang: Liaoning Science & Technology Press, 1993:5.(in Chinese)
- [12] Luo L J(罗利军), Ying C S(应存山), Tang S X(汤胜祥). *Rice Germplasm Resources* [M]. Wuhan: Hubei Science & Technology Press, 2002:93-101.(in Chinese)
- [13] Gu W C(顾万春). *Statistical Genetics* [M]. Beijing: Science Press, 2004:339.(in Chinese)
- [14] Sheng Z L(盛志廉), Wu C X(吴常信). *Quantitative Genetics* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999:112-113.(in Chinese)
- [15] Oard J M, Linscombe S D, Braverman M P, et al. Development, field evaluation, and agronomic performance of transgenic herbicide resistant rice [J]. *Mol Breed*, 1996, 2:359-368.
- [16] Tu J, Zhang G, Datta K, et al. Field performance of transgenic elite commercial hybrid rice expressing *Bacillus thuringiensis* δ -endotoxin [J]. *Nat Biotechn*, 2000, 18:1101-1104.
- [17] Cui H R(崔海瑞), Wang Z H(王忠华), Shu Q Y(舒庆尧), et al. Agronomic traits of hybrid progenies between *bt* transgenic rice and conventional rice varieties [J]. *Chin J Rice Sci(中国水稻科学)*, 2001, 15(2):101-106.(in Chinese)
- [18] Wang Z H(王忠华), Cui H R(崔海瑞), Shu Q Y(舒庆尧), et al. The inheritance and expression of transgenes in the progenies of *bt* rice crossed to conventional rice varieties and its breeding utilization [J]. *J Agri Biotechn(农业生物技术学报)*, 2000, 8(1): 89-94.(in Chinese)