

# 普通野生稻褐飞虱抗性遗传纯合研究

冯锐, 郭辉, 刘百龙, 秦学毅\*

(广西农业科学院水稻研究所/广西水稻遗传改良生物技术重点实验室, 南宁 530007)

**摘要:**【目的】研究普通野生稻褐飞虱抗性遗传的稳定性, 筛选出抗性稳定的野生稻种质, 为水稻抗褐飞虱育种提供抗源。【方法】对从46个原生地采集获得的1591份野生稻植株进行褐飞虱抗性分析, 并选择具有抗性的野生稻材料通过套袋自交或花药培养分析其后代抗性遗传纯合表现。【结果】收集的野生稻材料主要为杂合体, 其自交一代的生长习性和芒性等发生明显分离。在1591份普通野生稻中, 仅有30份材料对褐飞虱具有抗性, 其抗性等级为3~5级, 大部分为5级。在11份抗性材料的自交后代中,  $Z_1$ ~ $Z_3$ 均存在褐飞虱抗性分离, 部分材料在 $Z_4$ 抗性表现稳定; 有5份材料抗性从3级提高到1~3级, 有4份材料抗性从5级提高到1~3级, 有两份材料抗性从5级提高到3级。普通野生稻材料2174花药培养结果表明, 6000枚花药经离体培养、诱导, 可获得125块独立起源的愈伤组织, 分化出8丛双倍体绿苗和两丛单倍体绿苗, 愈伤组织诱导率仅为2.0%, 绿苗分化率为6.4%。8个独立起源的花培后代中有6个株系抗性等级为5级, 有两个抗性等级达到抗的水平(3级), 未发现具有1级高抗水平的植株。【结论】普通野生稻通过套袋自交和多代抗虫鉴定, 可以获得稳定的高抗抗源, 可以明显提高普通野生稻的褐飞虱抗性水平。花药培养有利于加速野生稻抗性遗传纯合, 缩短后代筛选时间。

**关键词:** 普通野生稻; 褐飞虱; 抗性鉴定; 抗性遗传; 花药培养

中图分类号: S511.034

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2012)02-0146-05

## Genetic homozygosis of *Oryza rufipogon* resistance to brown plant hopper

FENG Rui, GUO Hui, LIU Bai-long, QIN Xue-yi\*

(Rice Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences/Guangxi Rice Genetic Improvement and Biotechnology Key Lab, Nanning 530007, China)

**Abstract:**【Objective】The heredity stability of *Oryza rufipogon* resistance to brown plant hopper was studied to screen wild rice germplasm with stable resistance for providing sources in breeding resistant rice varieties.【Method】Total 1591 accessions of *Oryza rufipogon*, collected from 46 proterozoic growth locations of Guangxi, were screened for brown plant hopper resistance and the genetic homozygosis in their offsprings was detected using bag-selfing or anther culture methods.【Result】The results showed that most of *Oryza rufipogon* germplasm accessions were heterozygotic and the growth habit and awn of their self  $F_1$  generation showed separation. Among 1591 germplasm accessions, only 30 showed 3<sup>rd</sup>–5<sup>th</sup> grades of resistance to brown plant hopper, most of them showed 5<sup>th</sup> grade. Among self offsprings of 11 resistant accessions, the  $Z_1$ – $Z_3$  showed separation of resistant genes, while some accessions showed stable resistance in  $Z_4$ . Out of 11 accessions, resistance of 5 accessions increased from 3<sup>rd</sup> to 1<sup>st</sup>–3<sup>th</sup> grades, 4 accessions from 5<sup>th</sup> to 1<sup>st</sup>–3<sup>rd</sup> grades and 2 accessions from 5<sup>th</sup> to 3<sup>rd</sup> grade. The anther culture of 2174 material showed induction of callus in 125 accessions from 6000 anthers. They were differentiated in 8 clusters of diploid and 2 clusters of haploid with 2.0% induction rate and 6.4% differentiation rate. Out of 8 offspring of anther culture, 6 showed 5<sup>th</sup> grade of resistance to brown plant hopper and 2 plants showed 3<sup>rd</sup> grade resistance.【Conclusion】The stable highly-resistant resources could be obtained and resistance level of *Oryza rufipogon* could be enhanced through bag-selfing and multi-generation identification of resistance to brown plant hopper. Anther culture is beneficial to promote the genetic homozygosis of *Oryza rufipogon* resistance to brown plant hopper and shorten homozygosis time.

**Key words:** *Oryza rufipogon*; brown plant hopper; resistance identification; resistance heredity; anther culture

## 0 引言

【研究意义】普通野生稻(*Oryza rufipogon* Griff.)是栽培稻的祖先种, 是水稻品种改良的重要种质资源,

其蕴藏着丰富的特有的抗逆等优异基因, 对拓宽栽培稻遗传基础、提高栽培稻产量和抗性、改良栽培稻品质等均具有重要的应用价值(余萍等, 2004; 黄娟等,

收稿日期: 2012-01-09

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻0992016); 广西农业科学院基本科研业务专项面上项目(桂农科2012YM04)

作者简介: \*为通讯作者, 秦学毅(1956-), 研究员, 主要从事水稻育种研究工作, E-mail: qxueyi@gxaas.net. 冯锐(1979-), 主要从事水稻抗性育种研究工作, E-mail: fengrui@gxaas.net

2009)。普通野生稻与栽培稻(*O. sativa* L.)的亲缘最近,而且具有许多极为优良的性状(钟代彬等,2000),具有与栽培稻相同的AA染色体组,其抗性基因可以通过常规杂交方法导入栽培稻中;发掘含AA染色体组的普通野生稻对挖掘褐飞虱的广谱高抗抗源及对水稻抗性育种具有重要的意义(李容柏等,2003)。此外,普通野生稻的遗传多样性丰富(杨庆文等,2004),许多优良基因仍有待挖掘与利用,因而进一步开展野生稻的研究和利用具有重要的意义。【前人研究进展】近年来,许多学者对野生稻褐飞虱抗性的鉴定及其抗性基因的定位与克隆、遗传分析与利用、分子标记与QTL等方面(王布哪等,2001;李容柏等,2003;Sogawa et al., 2003;Li et al.,2006;梁肖仍等,2010;黄得润等,2011)进行了大量研究,鉴定出一批褐飞虱抗性基因(祝莉莉等,2011),筛选出抗褐飞虱的水稻品系(李进波等,2011),促进了水稻抗褐飞虱品种的选育,提高了水稻褐飞虱抗性。【本研究切入点】普通野生稻具有特殊的抗褐飞虱基因,但普通野生稻因其异花授粉特性,柱头外露,天然异交率远高于栽培稻(余萍等,2004;杨培周等,2006),收集保存的野生稻材料其遗传上是杂合的,所筛选出的抗源抗性和农艺性状都存在很大的遗传分离,平均抗性级别不高,直接利用难度较大,因此有必要对普通野生稻抗性进行遗传纯合研究。本课题组经过对普通野生稻的抗性鉴定和遗传进行多年研究,从中获得一批稻褐飞虱抗源,通过进一步的抗性纯合和筛选,获得了多份对多种褐飞虱生物型具有广谱高抗性的抗源。【拟解决的关键问题】对从不同地区收集的1591份广西普通野生稻及其自交后代、花药培养所获植株的褐飞虱抗性进行遗传分析,探讨广西普通野生稻抗性遗传特性,筛选抗性稳定的野生稻种质,为水稻抗褐飞虱育种提供抗源。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

普通野生稻分别采自广西的隆安、来宾、象州、田东、武鸣、玉林等6个有代表性的县市,多为典型野生稻。

### 1.2 试验方法

1.2.1 抗性鉴定 将采集的野生稻种植于大缸中,抽穗后进行套袋收种。种子催芽后均匀条播,每个材料播100粒发芽种子,在3叶期按每亩10头的密度接种1~2龄褐飞虱若虫,分别以材料Rathu Heenati和TN1为抗、感对照。在感虫对照TN1全部死亡后7 d进行抗性级别调查,参照国际水稻研究所制定的抗褐飞虱评级标准(表1),稍加修正后进行等级鉴定(吕再萍,2009)。

表 1 野生稻苗期褐飞虱抗性等级标准

Tab.1 Grades of resistance to brown plant hopper in *Oryza rufipogon* at seedling

抗性等级	抗性水平	受害症状
Resistance grade	Resistant level	Damaging symptoms
0	免疫 Immunity	未受害
1	高抗 Highly resistant	第1片叶部分变黄
3	抗虫 Resistant	第2、3片叶部分变黄
5	中抗 Moderately resistant	显著发黄,植株有些矮小
7	感虫 Susceptible	植株仅有1片叶未枯死
9	高感 Highly susceptible	全部植株死亡

1.2.2 花药纯合 为了获得幼穗分化植株,对普通野生稻进行为期20 d、每天11 h的遮光短日照处理。在花粉母细胞减数分裂的单核靠边期剪取稻穗,清洗后放入6~8℃的培养箱中预处理6~8 d。在无茵条件下把小穗放入0.1%升汞溶液中消毒6 min,取花药接种到愈伤组织诱导培养基中,在无光照条件下培养。花药诱导培养基配方为N6大量和微量元素+MS有机物+甘氨酸4 mg/L+丙氨酸2 mg/L+水解乳蛋白(LH)400 mg/L+2,4-D 2 mg/L+6-苄基嘌呤(6-BA) 0.5 mg/L+蔗糖5%。将培养获得的2 mm大小愈伤组织接种于分化培养基上进行分化培养,绿苗分化培养基为MS基本培养基附加水解酪蛋白(CH)500 mg/L、IAA 0.5 mg/L、6-BA 0.5 mg/L、Kinetin 1.5 mg/L、蔗糖30 g/L、琼脂6 g/L, pH 5.2。愈伤组织分化出的绿苗经炼苗、移栽和套袋收种,用收获的种子进行抗性鉴定,供后代品系比较分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 普通野生稻杂合性

栽培稻是普通野生稻经过长期进化而形成的必然产物,普通野生稻最初原始的形态多为匍匐型和倾斜型、基部叶鞘紫色、长芒、颖壳褐色、种皮红色。从表2可以看出,从46个原生地采集回来的野生稻植株经套袋收种,其自交一代某些性状发生较大分离,主要有反映野生性状的生长习性和芒性等,而叶鞘、颖壳和种皮的颜色差异不大。说明几乎所有的普通野生稻都为杂合体,个别种质还分离出近栽类型,这是由于普通野生稻具有异花授粉特性,相互间可以风为传媒进行自然杂交,所得种子又可在原生地繁殖生长,因而在自然界所保留下来的植株多为杂合体。

### 2.2 自交抗性遗传分析

对1591份普通野生稻进行褐飞虱抗性鉴定筛选,结果发现仅有30份材料对褐飞虱具有抗性,其原平均抗性等级最高为3级,大部分为5级(表3)。从这些抗源材料中挑选有代表性的11份材料进行抗性遗传分析,发现每份抗源材料自交后代均有很大分离。

在不同来源材料中(表3),来自田东的材料2186,

原抗褐飞虱等级平均为3级,其自交一代( $Z_1$ )抗性分离为1~5级,经3代自交后抗性等级趋于纯和,即从原来的3级提升为1级高抗水平。来自隆安和来宾的材料2165、2173、2174及武鸣材料2195,原来抗褐飞虱等级平均为5级,在自交一代中出现明显的抗性分离,整体抗性水平为1~5级,大部分植株为3~5级,但也有个别单株表现出1级高抗水平;从其每代后代群体中挑选出最抗的单株进行自交,经3代自交后,仍分离出3级和5级的个体。这4个材料的抗性等级从原来的5级中

抗水平提升为1~3级高抗水平,这可能是由于抗性的基因系多基因控制,在自交后代难以选择到纯和的个体。来自象州、田东和武鸣等地的材料2175、2183、2184、2192原抗性等级均为3级,在自交后代中主要分离出1~3级抗性植株,继续自交则可以筛选出1级高抗单株材料。来自玉林的抗性为5级的2204、2205两份材料自交后代也出现分离,主要是分离出3~5级的植株,未筛选出抗性1级的株系。

表 2 普通野生稻及其自交一代农艺性状表现

Tab.2 Agronomic traits of *Oryza rufipogon* and its  $F_1$  generation

材料名称 Name of material	起源地 Source area	世代 Generation	生长习性 Habit of growth				基部叶鞘色 Color of leaf sheath base	芒性 Awn	柱头颜色 Stigma color	内外颖颜色 Glume color	种皮颜色 Testa color
			直立 Vertical	半直立 Semi-vertical	倾斜 Incline	匍匐 Asprawl					
2165	隆安 Long'an	原生性状 Proto-trait	-	-	-	√	紫	长	淡紫	褐	红
		自交一代 Selfing $F_1$	0	0	29	71	紫	长	淡紫	褐	红
2174	来宾 Laibin	原生性状 Proto-trait	-	-	√	-	淡紫	长	淡紫	褐	红
		自交一代 Selfing $F_1$	0	2	65	32	淡紫	长、部分芒	淡紫	褐	红
2175	象州 Xiangzhou	原生性状 Proto-trait	-	-	√	-	淡紫	长	淡紫	褐	红
		自交一代 Selfing $F_1$	0	6	75	19	淡紫	长、部分芒	淡紫	褐	红
2184	田东 Tiandong	原生性状 Proto-trait	-	-	√	-	紫	长	淡紫	褐	红
		自交一代 Selfing $F_1$	0	4	61	35	淡紫	长	淡紫	褐	红
2192	武鸣 Wuming	原生性状 Proto-trait	-	-	√	-	淡紫	长	淡紫	褐	红
		自交一代 Selfing $F_1$	0	1	83	16	淡紫	长	淡紫	褐	红
2204	玉林 Yulin	原生性状 Proto-trait	-	-	√	-	淡紫	长	淡紫	褐	红
		自交一代 Selfing $F_1$	1	10	85	4	淡紫	长、部分芒	淡紫	褐	红

-:表示无此性状 Without the trait ;√:有此性状 Showing the trait

表 3 普通野生稻自交后代褐飞虱抗性的遗传表现

Tab.3 Genetic performance for resistance to brown plant hopper in selfing generations of *Oryza rufipogon*

材料名称 Material name	起源地 Origin	原平均抗性等级 Average resistance grade of the original plant	$Z_1$ 抗性分离情况(级) Resistance grade of separation $Z_1$	$Z_2$ 抗性分离情况(级) Resistance grade of separation $Z_2$	$Z_3$ 抗性分离情况(级) Resistance grade of separation $Z_3$	$Z_4$ 抗性分离情况(级) Resistance grade of separation $Z_4$	纯合后平均抗性等级 Resistance grade after isozygoty	形态纯合性 Isozygoty of morphology
2165	隆安 Long'an	5	1~5	1~3	1~3	1~3	1~3	不纯合
2173	来宾 Laibin	5	1~5	1~3	1~3	1~3	1~3	不纯合
2174	来宾 Laibin	5	1~5	1~3	1~3	1~3	1~3	不纯合
2175	象州 Xiangzhou	3	1~5	1~3	1~3	1~3	1~3	不纯合
2183	象州 Xiangzhou	3	1~5	1~3	1~3	1~3	1~3	不纯合
2184	田东 Tiandong	3	1~5	1~3	1~3	1~3	1~3	不纯合
2186	田东 Tiandong	3	1~5	1~3	1~3	1	1	纯合
2192	武鸣 Wuming	3	1~5	1~3	1~3	1~3	1~3	不纯合
2195	武鸣 Wuming	5	1~5	1~3	1~3	1~3	1~3	不纯合
2204	玉林 Yulin	5	3~5	3~5	3~5	3	3	不纯合
2205	玉林 Yulin	5	3~5	3~5	3~5	3	3	不纯合

从表2还可以看出,在11个不同来源材料中,有10个材料在自交4代( $Z_4$ )仍然存在抗性等级的分离,仅有来自田东的2186的抗性已经稳定,这些材料的平均抗性水平有了很大提升,自交4代( $Z_4$ )普通野生稻的形态特性均已基本稳定。因此,经过4~5代的套袋自交和抗性鉴定结合的方法,可以获得抗性等级提高的单株,从而提高整体抗性水平。部分材料整体抗性水平遗传纯和,表明普通野生稻通过套袋自交和多代抗虫鉴定可以获得稳定的高抗抗源。

### 2.3 花药培养遗传纯合

在进行自交纯合的同时,通过对普通野生稻材料2174进行花药培养,在花粉母细胞发育的单核后期剪取稻穗,对6000枚花药进行离体培养,诱导获得125块独立起源的愈伤组织,分化出8丛双倍体绿苗和两丛单倍体绿苗,愈伤组织诱导率仅为2.0%,绿苗分化率为6.4%(表4)。说明普通野生稻花药培养难度较大,须经过大量的花药培养才有可能获得单倍体绿苗,但同时也表明,通过对普通野生稻进行花药培养获得绿苗是可行的。

从调查结果可看出(表5),不同花药独立起源的植株后代对稻褐飞虱的抗性水平有一定差异,在8个独立起源的花培后代中有6个抗性等级为5级,有两个抗性等级达到抗的水平(3级),未发现具有1级高抗水平的植株,而材料2174的自交后代则可选育出1级高抗稳定群体。这说明花药培养有利于加速野生稻遗传

特性纯合,纯合时间仅需一代,比自交纯合所需时间明显缩短,但单纯依靠花药培养不一定能获得最高抗性等级的株系。因此,可采用套袋自交并经抗性鉴定后,从中筛选出最高抗的单株进行花药培养,以缩短抗性纯合时间。

表 4 普通野生稻材料2174花药培养结果

Tab.4 Anther culture results of material 2174 of *Oryza rufipogon*

接种花药数(枚) Number of inoculated anther	独立花药起源 源愈伤组织 Number of callus	源愈伤组织 诱导率(%) Induction rate of callus	独立花药 起源绿苗数 Number of plantlet	绿苗分化 率(%) Differentiation rate	成活绿苗 数(丛) Survival plantlets	双倍体 植株(丛) Diploid plantlets	单倍体 植株(丛) Haploid plantlet
6000	125	2.0	8	6.4	10	8	2

表 5 普通野生稻材料2174花培植株褐飞虱抗性表现

Tab.5 BPH resistance of plantlet derived from anther of *Oryza rufipogon* material 2174

独立花药 起源编号 Serial number of anther	H <sub>2</sub> 抗性等级 Resistance grade of H <sub>2</sub>	原平均抗 性等级 Average grade of resistance	抗性 Resistance	形态纯合性 Isozygoty of morphology
2174-1	5	5	MR	纯合
2174-2	3	3	R	纯合
2174-3	5	5	MR	纯合
2174-4	5	5	MR	纯合
2174-5	5	5	MR	纯合
2174-6	5	5	MR	纯合
2174-7	3	3	R	纯合
2174-8	5	5	MR	纯合
2174(Z <sub>4</sub> )	-	1	HR	纯合

HR-高抗, R-抗, MR-中抗, MS-中感, HS-高感

### 3 讨论

#### 3.1 自交纯合与抗性水平

普通野生稻具有异花授粉特性,在自然环境中相互之间串粉杂交,且落粒性极强,种子发芽后以植株的方式生存。目前,在国家和地方种质库及资源圃保存的野生稻均是从原产地收集回来,除极少数典型野生稻外,绝大多数都是以杂合体形式保存下来,这些材料的抗性水平普遍较低,几乎没有1级抗性材料,难以代表野生稻真正的抗性水平。如直接利用未经纯合的野生稻进行育种,尤其是进行抗性育种,则难以获得具有高抗的后代,从而不利于普通野生稻的开发利用。因此,普通野生稻抗性遗传纯合在普通野生稻种质资源的开发利用中极为重要。

本研究结果表明,经过4~5代的套袋自交及抗性鉴定,有可能获得抗性遗传稳定的野生稻材料,这些材料经过遗传纯合后,群体的平均抗性等级明显提高,从而有利于对其真实抗性、抗谱及在水稻育种中的利用价值作出客观评价。

#### 3.2 花药培养纯合与抗性稳定

目前,国内外学者已对利用水稻花药培养来获得

单倍体植株进行了大量研究。21世纪90年代初,我国部分学者开展了普通野生稻性状的花药培养遗传纯合研究,但极少对抗褐飞虱材料进行遗传纯合研究。在本研究中,以普通野生稻材料2174进行花药培养,结果表明该方法也能获得纯合的抗性材料。但如果用原生境采集回来的野生稻进行花药培养,很难获得最好的抗性材料,这可能是由于普通野生稻花药培养难度较大,独立花药所诱导出的愈伤组织和分化出的绿苗太少的缘故,须经过进行大量的花药培养及获得大量的单倍体绿苗,才能从中选择到最好抗性材料。因此,建议可在野生稻自交一代的抗性鉴定材料中选择最抗的材料用于花药培养,缩短其抗性纯合培养时间,从而获得抗性较好的材料。

### 4 结论

本研究结果表明,普通野生稻以杂合体为主。从46个原生地采集获得的1591份野生稻材料,其自交一代的生长习性和芒性等出现较大分离;仅有30份材料对褐飞虱抗性为3~5级,且其自交后代抗性遗传出现较大分离。通过对普通野生稻进行花药培养获得绿苗是可行的,且有利于加速野生稻遗传特性纯合,纯合时间仅需一代,比自交纯合所需时间明显缩短,但普通野生稻花药培养难度较大,而且单纯依靠花药培养不一定能获得最高抗性等级的株系。因此,可采用套袋自交并经抗性鉴定后,从中筛选出最抗的单株进行花药培养。

#### 参考文献:

- 黄得润,陈洁,赖凤香,刘光杰,庄杰云. 2011 东乡野生稻抗褐飞虱 QTL 分析[J]. 作物学报, (11): 210-214.
- Huang D R, Chen J, Lai F X, Liu G J, Zhuang J Y. 2011. Analysis of quantitative trait loci for resistance to brown planthopper in Dongxiang wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) [J]. Acta Agronomica Sinica, (11): 210-214.

- 黄娟,杨庆文,陈成斌,梁世春,张万霞,乔伟华,王家祥. 2009. 广西普通野生稻的遗传多样性及分布特征[J]. 中国农业科学, 42(8):2633-2642.
- Huang J, Yang Q W, Chen C B, Liang S C, Zhang W X, Qiao W H, Wang J X. 2009. Genetic diversity and the geographical characteristics of wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) in Guangxi[J]. Scientia Agricultura Sinica, 42(8):2633-2642.
- 梁肖仍,金科,龙章德,申佩弘,蒋承建,武波. 2010. 药用野生稻抗褐飞虱基因的 RAPD 标记研究[J]. 广西植物, (6): 865-868, 824.
- Liang X R, Jin K, Long Z D, Shen P H, Jiang C J, Wu B. 2010. RAPD mapping of a brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) resistance gene from *Oryza officinalis*[J]. Guihaia, (6): 865-868, 824.
- 李进波,万丙良,夏明元,戚华雄,石华胜,辛复林. 2011. 抗褐飞虱水稻品种的培育及其抗性表现[J]. 应用昆虫学报, (5):1348-1353.
- Li J B, Wan B L, Xia M Y, Qi H X, Shi H S, Xin F L. 2011. Breeding of the brown planthopper resistant rice varieties [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, (5):1348-1353.
- 李容柏,秦学毅,韦素美,黄凤宽,张向军,魏源文,杨新庆,李维科,邓智年,朱汝财,黄所生,吕维莉,李青,罗善昱. 2003. 普通野生稻褐飞虱抗性在水稻改良中的利用研究[J]. 广西农业生物科学, 22(2): 75-83.
- Li R B, Qin X Y, Wei S M, Huang F K, Zhang X J, Wei Y W, Yang X Q, Li W K, Deng Z N, Zhu R C, Huang S S, Lü W L, Li Q, Luo S Y. 2003. Study on use of brown planthopper resistance derived from *Oryza rufipogon* (Griff.) in rice improvement[J]. Journal of Guangxi Agricultural and Biological Science, 22(2):75-83.
- 吕再萍,杨长举,华红霞. 2009. 武昌地区褐飞虱生物型鉴定[J]. 湖北农业科学, 48(6):1369-1370.
- Lü Z P, Yang C J, Hua H X. 2009. Identification of the biotypes of the brown planthopper (BPH) in Wuchang area[J]. Hubei Agricultural Sciences, 48(6):1369-1370.
- 王布哪,黄臻,舒理慧,任翔,李香花,何光存. 2001. 两个来源于野生稻的抗褐飞虱新基因的分子标记定位[J]. 科学通报, (1):46-49.
- Wang B N, Huang Z, Shu L H, Ren X, Li X H, He G C. 2001. Molecular marker loci of new genes resistant to brown planthopper derived from wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) [J]. Chinese Science Bulletin, (1):46-49.
- 杨培周,郭海滨,赵杏娟,李金泉,黄成达,刘向东,卢永根. 2006. 广东高州普通野生稻生殖特性的研究 I. 结实率、花粉育性及其发育特点[J]. 植物遗传资源学报, 7(1):7-12.
- Yang P Z, Guo H B, Zhao X J, Li J Q, Huang C D, Liu X D, Lu Y G. 2006. Study on the reproductive characteristics of *Oryza rufipogon* Griff. in Gaozhou, Guangdong Province I. Seed setting rate, pollen fertility and its developmental characteristics[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 7(1):7-12.
- 杨庆文,张万霞,时津霞,任军方,苗晗. 2004. 广东高州普通野生稻(*Oryza rufipogon* Griff.)的遗传多样性和居群遗传分化研究[J]. 植物遗传资源学报, 5(4):315-319.
- Yang Q W, Zhang W X, Shi J X, Ren J F, Miao H. 2004. Genetic diversity and differentiation of *Oryza rufipogon* populations in Gaozhou[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 5(4):315-319.
- 余萍,李自超,张洪亮,李道远,王美兴,孙俊立,王象坤. 2004. 广西普通野生稻(*Oryza rufipogon* Griff.)表型性状和 SSR 多样性研究[J]. 遗传学报, 3(9): 934-940.
- Yu P, Li Z C, Zhang H L, Li D Y, Wang M X, Sun J L, Wang X K. 2004. Genetic diversity of common wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) by using SSR markers and phenotypic traits in Guangxi Province[J]. Acta Genetica Sinica, September, 31(9): 934-940.
- 钟代彬,罗利军,应存山. 2000. 野生稻有利基因转移研究进展[J]. 中国水稻科学, 14(2):103-106.
- Zhong D B, Luo L J, Ying C S. 2000. Advances on transferring elite gene from wild rice species into cultivated rice [J]. Chinese Rice Science, 14(2):103-106.
- 祝莉莉,胡亮,杜波. 2011. 水稻抗褐飞虱基因研究进展[J]. 湖北农业科学, 50(13):2593-2597.
- Zhu L L, Hu L, Du B. 2011. Research progress of brown planthopper resistance genes in rice[J]. Hubei Agricultural Sciences, 50(13): 2593-2597.
- Li R B, Li L S, Wei S M, Wei Y P, Chen Y Z, Bai D L, Yang L, Huang F K, Lu W L, Zhang X J, Li X Y, Yang X Q, Wei Y W. 2006. The evaluation and utilization of new genes for brown planthopper resistance in common wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) [J]. Molecular Plant Breeding, (3): 365-371.
- Sogawa Kazushige, Zeng J, Qian Z H. 2003. Applications of DNA-markers to analyze rice planthopper resistance genes [J]. Chinese Journal of Rice Science, (S1): 42-51.

(责任编辑 韦莉萍)