

籼稻 A232 及其 RILs 对三化螟产卵的抗性*

谢 戎^{1**} 李永洪¹ 刘成元¹ 向箭宇¹ 彭云良^{2***}

(1. 四川省农业科学院水稻高粱研究所/农业部西南水稻生物学与遗传育种重点实验室, 德阳 618000;

2. 四川省农业科学院植物保护研究所/农业部西南作物有害生物综合治理重点实验室, 成都 610066)

摘 要 【目的】明确不同水稻基因型对三化螟 *Tryporyza incertulas* (Walker) 产卵的抗性差异, 为抗螟材料的育种利用提供依据。【方法】以 5 个对照品种及 10 个冈 46B×A232 的 RILs 为材料, 在海南自然条件下通过灯诱三化螟雌蛾产卵, 比较不同基因型间落卵量的差异。【结果】三化螟雌蛾卵块在水稻基因型间呈聚集分布, A232、TTP、F77 及 RILsC22-230、C22-174、C22-113、C22-133 的聚集均数 (λ) 值 < 2 , 对雌蛾产卵具有一定的驱避性。基因型间的叶片卵块指数及分蘖卵块指数均达显著或极显著差异, 冈优 188 的叶片及分蘖卵块指数分别是 A232 的 6.1 倍及 5.7 倍。C22-99 的叶片及分蘖卵块指数是 C22-113 的 2.7 倍及 3.3 倍。A232、TTP 及 C22-113 对雌蛾产卵及幼虫取食均具有一定抗性。聚类分析将 15 个供试材料分为倾抗虫亲本 A232 和倾感虫亲本冈 46B 两大类。【结论】水稻基因型间对三化螟产卵的抗性存在显著差异, 筛选评价抗螟种质应对幼虫为害抗性以及对雌蛾产卵抗性结合起来。

关键词 水稻, 重组自交系, 三化螟, 产卵趋性

Evaluation of indica rice A232 and its derived RILs on resistance to *Tryporyza incertulas* (Walker)

XIE Rong^{1**} LI Yong-Hong¹ LIU Cheng-Yuan¹ XIANG Jian-Yu¹ PENG Yun-Liang^{2***}

(1. Rice and Sorghum Institute, Sichuan Academy of Agricultural sciences/ Key Laboratory of Rice Biology, Genetics and Breeding in Southwest, Ministry of Agriculture, Deyang 618000, China; 2. Institute of Plant Protection, Sichuan Academy of Agricultural sciences/ Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Southwest, Ministry of Agriculture, Chengdu 610066, China)

Abstract [Objectives] To identify genotypes of rice resistant to *Tryporyza incertulas* (Walker) for the selective breeding of more resistant strains. [Methods] Female *T. incertulas* moths were attracted by light traps to 5 control varieties of rice and 10 RILs derived from Gang 46B × A232 under natural conditions on Hainan Island. Oviposition on rice plants was statistically analyzed among different the different rice genotypes. [Results] Egg masses were aggregated on rice plants. The aggregation average (λ) value was < 2 in the three control varieties (i.e. A232, TTP and F77) and 4 RILs (i.e. RILsC22-230, C22-174, C22-113 and C22-133), suggesting that these lines are somewhat repellent to ovipositing female moths. Egg mass abundance, as assessed by both leaf and tiller indices, were significantly different among rice genotypes ($P < 0.05$ and 0.01 , respectively). Leaf and tiller egg mass indices for Gangyou 188 were 6.1 times and 5.7 higher, respectively, than in A232. Leaf and tiller egg mass indices in C22-99 were 2.7 times and 3.3 higher, respectively, than in C22-113. Our data revealed that the A232, TTP and C22-113 rice strains were relatively resistant to female moth oviposition and larval feeding. We subsequently divided the 15 rice lines into two types on the basis of their similarity to the resistant parent A232, or the susceptible parent, Gang 46B. [Conclusion] Resistance to female moth oviposition was significantly different among different rice genotypes tested. It is necessary to consider resistance to both larval damage and female moth oviposition to evaluate the overall resistance of rice varieties to *T. incertulas*.

* 资助项目 Supported projects: “十二五”四川省水稻育种攻关项目 (2011NZ0098-17); “十二五”四川省财政基因工程项目 (2011GYGC11-029); 四川省财政创新能力提升工程项目 (2013GXJS-012)

**第一作者 First author, E-mail: xr20005@aliyun.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: 45066367@qq.com

收稿日期 Received: 2014-05-27, 接受日期 Accepted: 2015-01-14

Key words rice, recombinant inbred lines (RILs), *Tryporyza incertulas* (Walker), spawning tropism

三化螟 *Tryporyza incertulas* (Walker) 是我国南方稻区主要的水稻害虫之一 (盛承发等, 2001; 王艳青, 2006), 成虫的产卵趋性及产卵密度与其造成的为害程度密切相关 (王才士, 1985)。明确不同水稻基因型对三化螟产卵的抗性差异, 对阐明抗螟机制及育种利用具有重要意义。二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker) 雌蛾产卵对寄主具有选择性。水稻与茭白比较, 雌蛾喜在植株高大的茭白上产卵; 不同作物间 (水稻、玉米、小麦等) 雌蛾嗜好水稻产卵; 雌蛾在杂交稻上的产卵量比常规稻多, 而雌蛾在水稻、玉米、高粱等作物不同品种间也存在产卵趋性差异 (Khan *et al.*, 2000; 戴华国等, 2003; 郝丽霞等, 2008; 林克剑等, 2008; 王利华等, 2012)。此外, 植株形态特征也会影响到雌蛾的产卵行为 (Patanakamjorn and Pathak, 1967)。以往对不同地域及田块、水稻不同生育期及生长季节卵块分布特点等有较多研究, 但对水稻不同基因型间的卵块分布特点报道不多 (丁岩钦和陈玉平, 1985; 黄汉文等, 1989; 李火苟和李玲海, 1991; 王正军等, 2000)。籼稻品种 A232 对二化螟及三化螟幼虫抗性达中抗水平 (李永洪等, 2010, 2011, 2012)。利用 A232 与冈 46B 构建了一套含 265 个家系的重组自交系 (Recombinant inbred line, 简称 RILs), 并连续 2 年 (2012—2013) 在海南进行抗螟性鉴定 (结果另文发表)。A232 及其 RILs 对三化螟雌蛾产卵的抗性需进一步研究。本研究以对照品种及部分抗螟性存在明显差异的 RILs 为材料, 在海南自然条件下通过灯诱三化螟雌蛾产卵, 比较三化螟在不同水稻基因型间的产卵选择性, 进而明确 A232 及 RILs 对雌蛾产卵的抗性。

1 材料与方法

1.1 供试材料

对照品种 5 个: 抗虫亲本 A232、感虫亲本冈 46B、恢复系 F77、常规品种 TTP 来自本所亲

本圃, 杂交稻冈优 188 为市购; RILs 10 个: C22-99、C22-113、C22-121、C22-123、C22-133、C22-165、C22-174、C22-176、C22-230 及 C22-233, 均为 A232×冈 46B 杂交后代, 采用“一粒传法”加代至 F₈ 代。

1.2 试验方法

1.2.1 田间设计 2013 年在海南省陵水县英州镇四川农科院南繁基地进行。参照海南三化螟发生为害规律 (许创, 1991), 于 3 月 20 日播种, 4 月 17 日移栽。田间随机区组排列, 每个材料栽一行 5 株健壮秧苗, 重复 12 次, 栽插行间距为 16.5 cm×23.1 cm, 单本插秧, 供试材料四周种植 3 行感虫亲本冈 46B。全部供试材料共栽 180 行, 分成两厢 (每厢各 90 行) 种植, 两厢之间间隔 150 cm。秧苗移栽前打一次药, 移栽后不再打药, 正常肥水管理。

1.2.2 灯诱方法 在两厢材料中间用竹竿和铁丝搭架, 架高 2 m, 架上固定 8 盏日光灯, 灯间距约 5 m。5 月 12 日始每晚 20:00 时开灯, 00:00 时关灯, 连续处理 5 d。

1.3 调查方法及指标

灯诱结束后随即将供试材料全部收割, 并带回室内, 统计总分蘖数、枯心数、总叶片数及未孵化的三化螟卵块数, 计算枯心率、叶片卵块指数及分蘖卵块指数:

枯心率 (%) = 枯心蘖数/总蘖数×100, 以每个材料 12 次重复平均值代表该材料的枯心率 (%)。

叶片卵块指数 (%) = 供试材料单叶未孵化卵块数/全部供试材料最大单叶未孵化卵块数×100, 以每个材料 12 次重复平均值代表该材料的叶片卵块指数 (%)。

分蘖卵块指数 (%) = 供试材料单蘖未孵化卵块数/全部供试材料最大单蘖未孵化卵块数×100, 以每个材料 12 次重复平均值代表该材料的分蘖卵块指数 (%)。

叶片卵块指数及分蘖卵块指数值越大,表明三化螟在该材料上产卵越多;反之,产卵越少。

1.4 分析方法

利用 DPS 分析卵块聚集度指标、频次分布及聚集均数值 (λ), 对叶片卵块指数及分蘖卵块指数进行方差分析, 以平均拥挤度 m^* 值、聚集均数值 (λ)、叶片卵块指数及分蘖卵块指数 4 个指标对供试材料聚类 (丁岩钦, 1980; 唐启义和冯明光, 2002)。

2 结果与分析

2.1 不同基因型对三化螟幼虫的抗性

在灯诱处理前田间已存在螟虫为害。从图 1 看出, 基因型间枯心率差异达 5% 显著水平。对照品种间: 恢复系 F77 的枯心率为 21.1%, 显著高于 A232。RILs 间: C22-233 枯心率为 28.1%, 显著高于 C22-176、C22-113、C22-174、C22-230、C22-99、C22-133 及 C22-165, 表明不同基因型抗虫性存在显著差异。

2.2 三化螟在不同基因型上产卵的空间分布

2.2.1 卵块的分布类型 本文以叶卵块指数为指

标测定卵块在各基因型上的聚集状况。聚集度指标有: 平均拥挤度指数 (m^* 及 m^*/m)、Morisita 指数 (I')、kuno 指数 (CA)、扩散系数 (C)、负二项分布 K 值。当指标 (m^* 、 m^*/m 、 C) > 1 、(I' 、 CA 、 K) > 0 时为聚集分布, 反之, (m^* 、 m^*/m 、 C) < 1 、(I' 、 CA 、 K) < 0 为均匀分布 (丁岩钦, 1980)。从表 2 看出, 各聚集度指标均 > 1 (或 > 0), 说明三化螟卵块在对照品种及 RILs 上呈聚集分布, 但卵块在不同基因型间的聚集程度有明显差异, 如 A232 的平均拥挤度 m^* 值为 12.148, 冈优 188 为 59.449, RIL C22-113 平均拥挤度 m^* 值为 21.068, 而 C22-99 为 54.100。

通过空间分布型-频次分布检测进一步验证卵块的空间分布类型, 在表 3 中, 叶卵块指数符合泊松-二项分布和复合泊松分布频次检验, 比较二者 P 值, 应该更符合复合泊松分布。复合泊松分布假设在空间有随机分布的小区, 在各小区还有随机分布的点。由于三化螟卵块在不同基因型上的聚集程度有差异, 而本试验设计中各基因型是随机排列的, 因此, 复合泊松分布型能较好地描述本试验叶卵指数的空间分布类型。

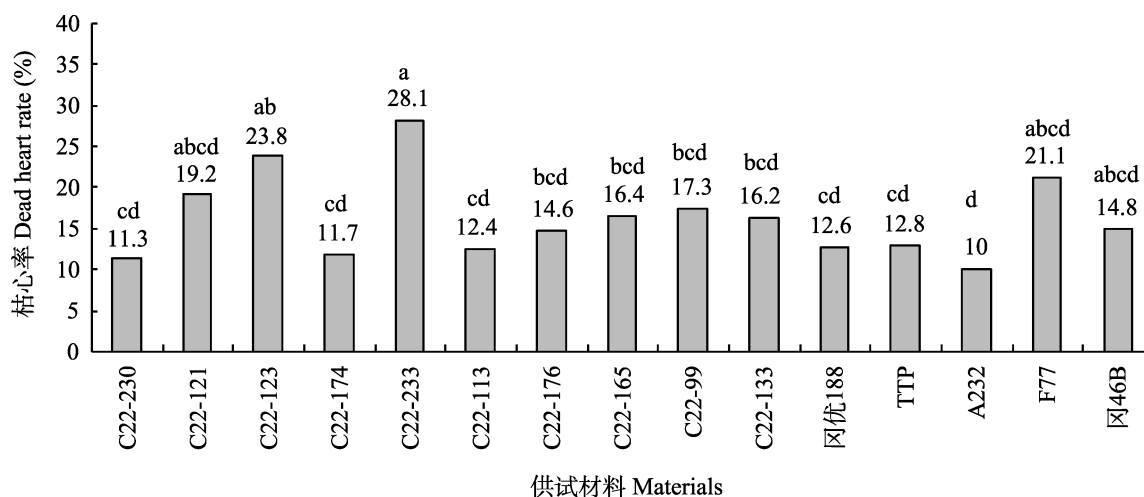


图 1 供试材料的枯心率

Fig. 1 Dead heart rate of the materials

柱上标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 多重比较方法)。下同。

Histograms with lowercase letters indicate significant difference at the 0.05 level by Duncan's multiple range test. The same below.

表 2 各材料上卵块聚集度指标
Table 2 Indexes of gather degree of egg-mass in the materials

材料 Materials	拥挤度 m^* Crowded degree m^*	I 指标 Index I	m^*/m 指标 Index m^*/m	CA 指标 Index CA	扩散系数 C Coefficient of diffusion C	K 指标 Index K	λ 值 λ value
C22-230	21.319	9.222	1.762	0.762	10.222	1.312	1.600
C22-121	39.602	20.256	2.047	1.047	21.256	0.955	2.559
C22-123	41.899	19.825	1.898	0.898	20.825	1.113	2.920
C22-174	40.194	25.869	2.806	1.806	26.869	0.554	1.895
C22-233	34.811	16.948	1.949	0.949	17.948	1.054	2.363
F77	34.855	24.360	3.321	2.321	25.360	0.431	1.388
C22-113	21.068	11.080	2.109	1.109	12.080	0.901	1.321
冈优 188 Gangyou188	59.449	31.590	2.134	1.134	32.590	0.882	3.685
C22-176	43.023	17.910	1.713	0.713	18.910	1.402	3.322
C22-99	54.100	27.572	2.039	1.039	28.572	0.962	3.509
C22-133	27.448	14.176	2.068	1.068	15.176	0.936	1.755
C22-165	31.271	11.854	1.611	0.611	12.854	1.638	2.568
TTP	13.120	5.338	1.686	0.686	6.338	1.458	1.029
A232	12.148	7.584	2.662	1.662	8.584	0.602	0.604
冈 46B Gang46B	63.877	46.674	3.713	2.713	47.674	0.369	2.275

表 3 叶卵块指数的空间分布型-频次分布检测
Table 3 The frequency distribution test for spatial distribution pattern of leaf index of egg-mass

频次分布型 Frequency distribution type	卡方值 χ^2 value	P 值 P value
二项分布频次检验 Frequency distribution test of binomial distribution	721.9687	0.0000
泊松分布频次检验 Frequency distribution test of poisson distribution	467.1256	0.0000
负二项分布频次检验 Frequency distribution test of negative binomial distribution	-	-
矩法估计参数 $K=0.9244$ Estimated parameter by matrix method $K=0.9244$	45.9881	0.0000
零频率法估计参数 $K_0=0.9244$, $K=0.4917$ Estimated parameters by zero frequency method $K_0=0.9244$, $K=0.4917$	42.3965	0.0000
最大或然法估计参数 $K_0=0.9244$, $K=0.5957$ Estimated parameters by most probable method $K_0=0.9244$, $K=0.5957$	39.7715	0.0000
核心分布频次检验 Frequency distribution test of neyman distribution	12.0767	0.0338
泊松-二项分布频次检验 $N=15.8000$, $P=0.1970$ Frequency distribution test of poisson-binomial distribution $N=15.8000$, $P=0.1970$	10.8055	0.0554
复合泊松分布频次检验 $MM=0.8755$, $A=2.3927$ Frequency distribution test of composite poisson distribution $MM=0.8755$, $A=2.3927$	11.7987	0.0666

2.2.2 卵块聚集成因分析 用种群聚集均数值(λ)来判别昆虫种群聚集的成因(丁岩钦和陈玉平, 1985), 本研究中, 当 $\lambda < 2$ 时, 卵块聚集由寄主因素引起, 当 $\lambda \geq 2$ 时, 卵块聚集由雌蛾对寄主的选择行为引起。表 2 中, 对照品种冈 46B 及冈优 188 的 λ 值 >2 , A232、TTP 及 F77 的 λ 值 <2 , 说明雌蛾更喜好在冈 46B 和冈优 188 上产卵; RILs 中, C22-121、C22-123、C22-233、C22-176、C22-99、C22-165 的 λ 值 >2 , 而 C22-230、C22-174、C22-113、C22-133 的 λ 值 <2 , 说明前 6 个 RILs 对雌蛾产卵具有诱集性, 而

后 4 个 RILs 具有一定的驱避性。由此看出, 雌蛾产卵对基因型具有明显的选择性。

2.3 三化螟在基因型间产卵量的差异比较

2.3.1 基因型间叶片卵块指数和分蘖卵块指数差异 以叶片卵块指数和分蘖卵块指数代表三化螟的产卵量, 从图 2 及图 3 看出, 不同基因型间 2 个指标有相似的变化趋势。在对照品种间, 叶片及分蘖卵块指数均以 A232 最小(分别为 4.6 及 4.5), 冈优 188 最大(分别为 27.9 及 25.4), 冈优 188 的 2 个指标分别是 A232 的 6.1 倍及 5.7

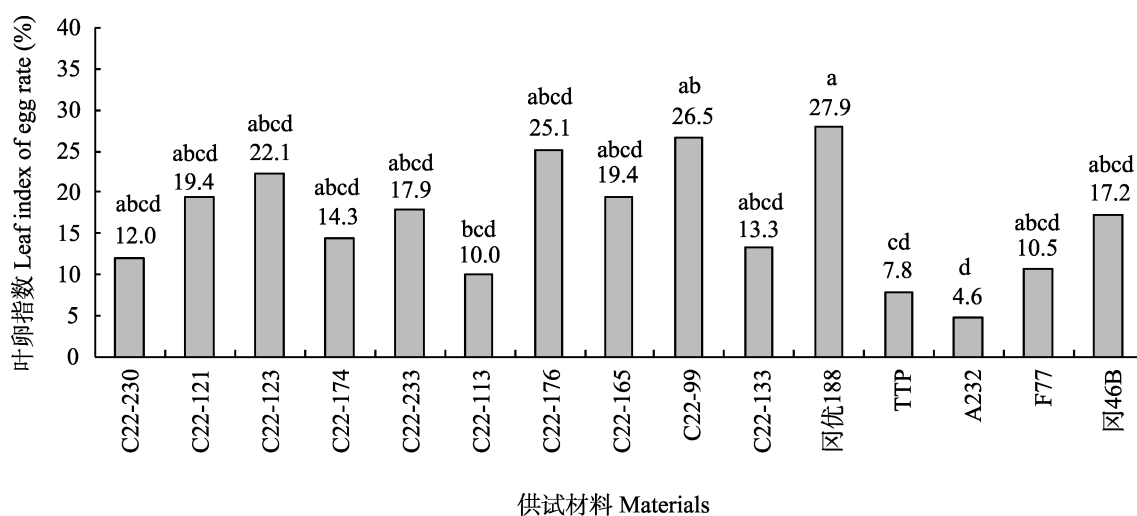


图 2 供试材料叶片卵块指数
Fig. 2 Leaf index of egg-mass for the materials

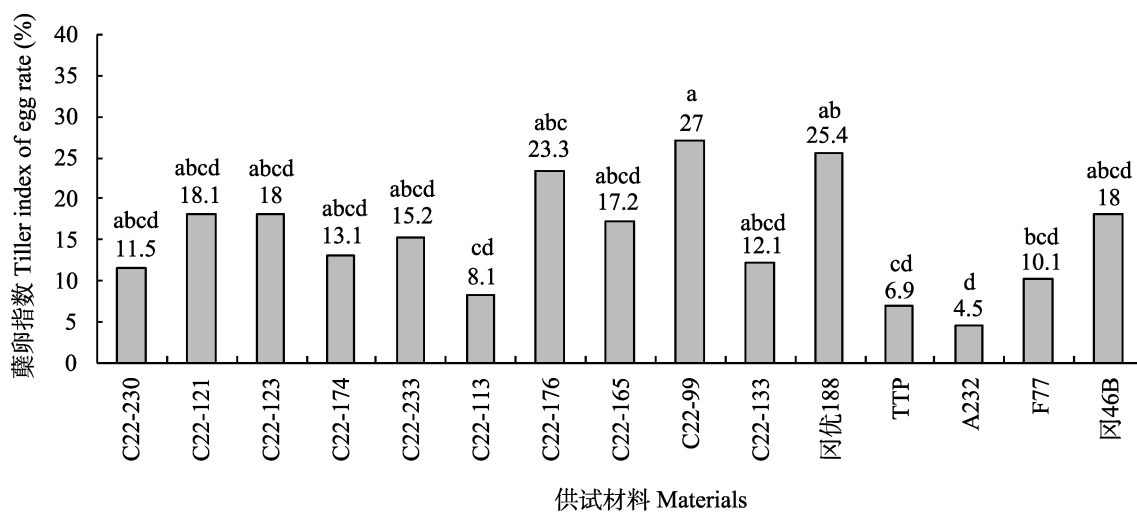


图 3 供试材料分蘖卵块指数
Fig. 3 Tiller index of egg-mass for the materials

倍。在 RILs 间, 叶片及分蘖卵块指数均以 C22-113 最小 (分别为 10.0 及 8.1), C22-99 最大 (分别为 26.5 及 27.0), 后者 2 个指标分别是前者的 2.7 倍及 3.3 倍。

不同基因型间叶片卵块指数存在显著差异 (图 2), 对照品种间: 冈优 188 显著高于 A232, 及 TTP; 对照品种与 RILs 间: 冈优 188 显著高于 C22-113, A232 显著低于 C22-99 及 C22-176; RILs 间叶片卵块指数差异不显著。

不同基因型间分蘖卵块指数的差异显著性与叶片卵块指数表现略有不同 (图 3), 对照品种与 RILs 间: A232 显著低于 C22-99 及 C22-176, TTP 也显著低于 C22-99; RILs 间: C22-99 显著高于 C22-113。由此可见, 三化螟的产卵选择性不仅存在于遗传背景差异较大的品种间, 也存在于遗传背景相近的 RILs 间, 雌蛾产卵选择性由寄主的抗性基因调控。

2.3.2 枯心率与叶片及分蘖卵块指数的相关分析
相关分析表明, 枯心率与叶片卵块指数及分蘖卵块指数的相关系数分别为 0.3097 及 0.2402, 未达显著水平。说明雌蛾产卵趋性与幼虫嗜好并不完全一致。本研究中, 不同基因型与雌蛾产卵及幼虫为害的互作关系明显分为两类, 一类为雌蛾与幼虫的选择性一致, 如 A232、TTP 及 C22-113 等不仅枯心率相对较低, 而且落卵量也较少; 冈 46B 及 C22-121 等枯心率与落卵量均相对较高。另一类为雌蛾与幼虫的选择性不完全一致, 如 F77 及 C22-233 等枯心率相对较高, 但落卵量相对较少, 而冈优 188 及 C22-99 等落卵量相对较高, 但枯心率相对较低。由此看出, 筛选评价抗螟种质应对幼虫为害抗性与对雌蛾产卵抗性结合起来, A232 不仅对幼螟为害具有抗性, 也对雌蛾产卵具有抗性。

2.4 不同基因型对三化螟产卵抗性的聚类

以平均拥挤度 m^* 、 λ 值、叶片卵块指数及分蘖卵块指数为指标, 数据经标准化转换, 采用欧氏距离及离差平方和法对供试 15 个基因型聚类。图 4 将供试 15 个基因型分为两大类: 第一类包括 C22-230、C22-133、C22-174、C22-113、

F77、TTP 及 A232, 第二类包括 C22-121、C22-123、C22-233、C22-165、C22-176、C22-99、冈 46B 及冈优 188。2 类材料 4 个指标间的差异均达 1% 显著水平 (表 4), 这 4 个聚类指标均反映三化螟雌蛾对寄主的产卵趋性。本研究中第一类对三化螟产卵的驱避性倾向于抗虫亲本 A232, 对雌蛾的产卵抗性较好, 其中, 又以 A232 的抗性较强, C22-113 次之; 第二类对三化螟产卵的诱集性倾向于感虫亲本冈 46B, C22-99 及 C22-176 的诱集性超过冈 46B。

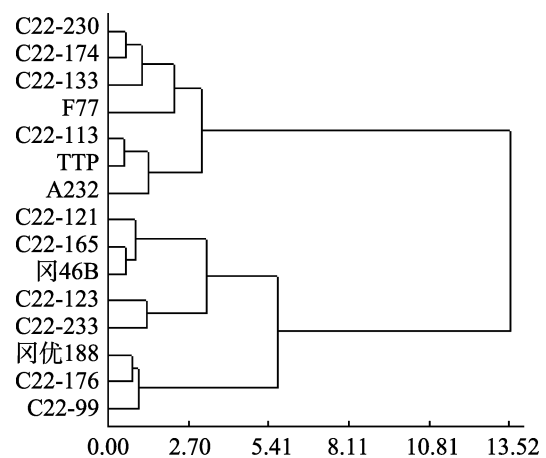


图 4 供试材料对三化螟产卵抗性聚类
Fig. 4 Cluster of the materials resistance to oviposition of *Tryporyza incertulas*

3 讨论

以往研究表明, 不同田块二化螟产卵呈聚集分布, 水稻长势及螟虫种群密度等影响其分布状况 (丁岩钦和陈玉平, 1985; 黄汉文等, 1989; 李火苟和李玲海, 1991; 王正军等, 2000)。本研究中, 三化螟在不同基因型间产卵也具有聚集分布特点, 表明供试材料的遗传差异影响卵块的聚集程度。对照品种间及 RILs 间均存在产卵诱集性及驱避性差异, A232、TTP、F77 以及 RILs C22-230、C22-174、C22-113、C22-133 对雌蛾产卵具有一定的驱避性。

植食性昆虫寄主可分为取食寄主及产卵寄主。如二化螟喜在茭白上产卵, 而幼虫嗜好取食

表 4 两类材料 4 个聚类指标的 t 测验
Table 4 The t -test of 4 indexes of cluster for two kinds of materials

聚类指标 Index of cluster	第一类均值 1st kind mean	第二类均值 2nd kind mean	t 值 t value	P 值 P value
平均拥挤度 m^* Crowded degree m^*	24.0374	46.0040	3.7315	0.0025
λ 值 λ value	1.3703	2.9001	5.9086	0.0001
叶片卵块指数 Leaf index of eggs	10.3603	21.9255	5.9089	0.0001
分蘖卵块指数 Tiller index of eggs	9.4468	210.3069	5.4042	0.0001

水稻(戴华国等, 2003, 林克剑等, 2008), 通过对基因型间枯心率、叶片卵块指数及分蘖卵块指数关联分析表明, 三化螟雌蛾产卵与幼虫取食对水稻不同基因型存在选择性, 同一基因型对产卵与取食的反应也存在差异性。一些基因型对雌蛾产卵具有一定抗性而对幼虫取食抗性较差, 一些基因型的表现正好相反, 说明水稻对三化螟产卵抗性及其取食抗性由不同遗传系统控制。本研究中, A232、TTP 及 C22-113 对雌蛾产卵及幼虫取食均具有一定抗性。

聚类分析将抗虫亲本 A232、感虫亲本冈 46B 及其 RILs 聚为两大类, 供试的 10 个 RILs 中, 有 4 个与抗虫亲本聚为一类, 有 6 个与感虫亲本聚为一类。说明亲本 A232 的抗虫性(包括产卵抗性及其取食抗性)能够遗传给后代, 可通过常规育种方法(杂交、回交等)、转基因技术将抗虫基因转移到新的遗传背景中, 培育新的抗虫品种。

参考文献 (References)

- Dai HG, Sun LJ, Wang Q, 2003. Comparing study on oviposition preference and host-selecting behavior of larvae of rice and water-oat population of rice stem borer, *Chilo suppressalis*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(5): 741–743. [戴华国, 孙丽娟, 王琴, 2003. 二化螟水稻类种群和茭白类种群产卵与幼虫寄主选择行为的比较研究. 应用生态学报, 14(5): 741–743.]
- Ding YQ, 1980. Mathematical Ecology of Insect Population and Its Application. Beijing: Science Press. 84–124. [丁岩钦, 1980. 昆虫种群数学生态学及其应用. 北京: 科学出版社. 84–124.]
- Ding YQ, Chen YP, 1985. The characteristics and application of the distribution parameters of cotton bollworm eggs in cotton fields. *Acta Ecologica Sinica*, 5(1): 54–62. [丁岩钦, 陈玉平, 1985. 棉田内棉铃虫卵块分布型参数特征及其应用. 生态学报, 5(1): 54–62.]
- Hao LX, Han YQ, Hou ML, Liao XL, 2008. Resistance of japonica rice varieties in Liao Valley to *Chilo suppressalis* and its underlying mechanisms. *Acta Ecologica Sinica*, 28(12): 5987–5993. [郝丽霞, 韩永强, 侯茂林, 廖晓兰, 2008. 辽河流域栽培稻对二化螟(*Chilo suppressalis*)的抗性. 生态学报, 28(12): 5987–5993.]
- Huang HW, Li YB, Kuang XQ, Zhang GA, 1989. Study on the distribution pattern of egg-mass population of rice striped borer (*Chilo suppressalis* Walker) in rice fields. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 8(1): 29–35. [黄汉文, 李运璧, 邱幸泉, 张国安, 1989. 稻田二化螟卵块分布型研究. 华中农业大学学报, 8(1): 29–35.]
- Khan ZR, Pickett JA, Van Den Berg J, Wadhams LJ, Woodcock CM, 2000. Exploiting chemical ecology and species diversity: stem borer and striga control for maize and sorghum in Africa. *Pest Manag. Sci.*, 56(11): 957–962.
- Li HG, Li LH, 1991. The investigation of aggregatality of the rice stem borer. *Journal of Jiangxi Agricultural University*, 13(1): 24–27. [李火苟, 李玲海, 1991. 二化螟群集性的调查研究. 江西农业大学学报, 13(1): 24–27.]
- Li YH, Xie R, Liu CY, Xiang JY, 2011. Identification of resistant to stem-borer of indica rice A232 under natural conditions in Hainan Province. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 24(6): 2178–2180. [李永洪, 谢戎, 刘成元, 向箭宇, 2011. 海南自然诱发条件下籼稻 A232 抗螟性鉴定. 西南农业

- 学报, 24(6): 2178–2180.]
- Li YH, Xie R, Liu CY, Xiang JY, 2012. Identification of resistant to *Chilo suppressalis* and *Tryporyza incertulas* on different indica varieties. *China Rice*, 18(4): 61–63. [李永洪, 谢戎, 刘成元, 向箭宇, 2012. 不同籼稻品种对二化螟和三化螟的抗螟性鉴定. 中国稻米, 18(4): 61–63.]
- Li YH, Xie R, Liu CY, Zhang CW, Chen XJ, Zhu YC, He SL, 2010. Identification and genetic analysis of stem-borer resistance in indica rice A232. Hybrid Rice, The first session of China's hybrid rice conference proceedings. Changsha. 92–96. Changsha, China [李永洪, 谢戎, 刘成元, 张长伟, 陈晓娟, 朱永川, 何树林, 2010. 籼稻 A232 抗螟性鉴定及遗传特性初步分析. 杂交水稻, 第 1 届中国杂交水稻大会论文集. 长沙. 92–96.]
- Lin KJ, Hou ML, Han LZ, Liu YD, 2008. Research progress in host selection and underlying mechanisms, and factors affecting population dynamics of *Chilo suppressalis*. *Plant Protection*, 34(1): 22–28. [林克剑, 候茂林, 韩兰芝, 刘玉娣, 2008. 二化螟寄主选择性行为与种群消长机制的研究进展. 植物保护, 34(1): 22–28.]
- Patanakamjorn S, Pathak MD, 1967. Varietal resistance of rice to Asiatic rice borer, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae), and its association with various plant characters. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 60(2): 287–292.
- Sheng CF, Xuan WJ, Jiao XG, Su JW, Shao QC, Song FB, 2002. Causes, trend and control strategies of disaster of rice borers in China. *Journal of Natural Disasters*, 11(3): 103–108. [盛承发, 宣维健, 焦晓国, 苏建伟, 邵庆春, 宋凤斌, 2002. 我国稻螟爆发成灾的原因、趋势及对策. 自然灾害学报, 11(3): 103–108.]
- Tang QY, Feng MG, 2002. DPS Data Processing System for Practical Statistics. Beijing: Science Press. 143–255. [唐启义, 冯明光, 2002. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社. 143–255.]
- Wang CT, 1985. Harm and loss of different eggs density of *Chilo suppressalis*. *Plant Protection*, (2): 19–20. [王才士, 1985. 二化螟不同卵块密度的为害与损失. 植物保护, 11(2): 19–20.]
- Wang LH, Zhang YL, Han GJ, Fang JC, 2012. The relationship between selection and survival of newly-hatched *Chilo suppressalis* larvae feeding on different varieties of rice. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1519–1524. [王利华, 张月亮, 韩光杰, 方继朝, 2012. 二化螟蚁螟在不同类型水稻品种上的存活率及寄主选择性. 应用昆虫学报, 49(6): 1519–1524.]
- Wang YQ, 2006. Analysis on the occurrence and development of rice diseases and insects in China. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 22(2): 343–347. [王艳青, 2006. 近年来中国水稻害虫发生及趋势分析. 中国农学通报, 22(2): 343–347.]
- Wang ZJ, Cheng JA, Shi Z, 2000. Spatial distribution pattern and dynamics of egg masses of the 1st generation of *Chilo suppressalis* (Walker) in the 1st rice crop season in Zhejiang Province. *Journal of Zhejiang University*, 26(5): 465–473. [王正军, 程家安, 史舟, 2000. 早稻二化螟一代卵块的区域性空间分布格局及动态. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 26(5): 465–473.]
- Xu C, 1991. Studies on the regular pattern of occurrence and harm to rice of yellow stem borer and the taics of its control in Hainan. *Journal of Hainan University*, 9(2): 63–67. [许创, 1991. 海南三化螟的发生为害规律与防治策略探讨. 海南大学学报(自然科学版), 9(2): 63–67.]