

稻谷在贮藏期间对仓库害虫抗性的研究进展

吴荣宗

(植保系)

提 要

利用抗虫品种防治仓库害虫有可能成为综合防治的重要措施之一。本文主要根据前人的研究成果。综合有关水稻在贮藏期间对仓库害虫抗性研究的现况,按抗虫品种的筛选,品种的多抗性,抗虫机制,环境对抗虫性的影响,害虫的生物型和抗性遗传等6个方面进行论述。以提供今后开展这方面研究工作的参考。

粮食在贮藏期间常受各种害虫的为害,引起巨大的损失。自从 Fernando (1959)〔24〕研究了稻谷品种在储藏期间对麦蛾的抗性之后,应用水稻抗虫品种作为仓虫的防治手段,才开始为人们所重视。并且认为这是一个有效的防治途径。例如稻谷被麦蛾连续为害经过6个世代,如果利用抗虫品种,则受害损失可减少在50%以下〔46〕,又稻谷分别受米象、谷蠹和麦蛾为害,经过3个世代,按谷物失重计算,感虫品种损失率为3~12%,而抗虫品种为1~3%,价格损失:前者为20%,后者低于5%〔47〕。

世界上不少国家已陆续开展了稻种对仓库害虫的抗性研究工作,特别是近10年来发展较快。例如作者统计自1970年至1982年发表此方面的文献数量约占1957~1982年总数量的72%。其中以美国和印度开展的研究工作最多,这两个国家已发表的文献数量分别占全世界总数量的41%。

本文根据1982年以前的研究成果,按抗虫品种的筛选,品种的多抗性、抗虫机制、环境对抗虫性的影响、害虫的生物型和抗性遗传等6个方面进行综合整理,以提供今后开展这方面研究工作的参考。

一、抗虫品种的筛选

筛选方法因仓虫种类不同而异。但要求测试的品种样品要含水量一致,并且预先消灭所有潜伏的仓虫和致害的病菌,清除一切的杂质。接虫后要放置在恒温和恒湿的条件内;而评定抗性的常用标准有:仓虫产生的后代数量,仓虫的发育历期、取食和产卵的嗜好性、品种受害后的损失率等。Dobie〔21〕曾用感敏度系数(Index of susceptibi-

• 蒙国际稻作研究所B. O. Juliano博士和日本、东京农业大学I. Yamamoto博士惠赠有关原著。
本校刘秀琼教授审阅全文。仅此志谢。

lity) 表示玉米品种对玉米象的抗性强弱。以后Nwana等^[30]亦曾用此系数来表示稻谷对玉米象的抗性, 当感敏度系数大时, 表明品种的抗虫性弱或感虫; 反之, 则抗虫性高。计算方法如下:

$$\text{敏感度系数} = \frac{\log_2 \text{子代数}}{\text{平均发育历期}}$$

此外, 也可以用x光来检查谷粒内仓虫的数量和为害严重程度^[46]。

筛选方法包括有自由选择法与非自由选择法两种^[13]。前者系将各测试的稻种随机放在一密闭而有通气装置的容器内, 然后接入一定对数的仓虫, 任其自由产卵与为害。经历一个时间, 再评定稻种对害虫的抗性表现。后者是将各测试的品种单独分别放置在另一容器内, 接入数量相同和质量(如龄期、大小)一致的仓虫, 以后评定它们间抗性的差别。此外, 由于粮食加工类型不同对抗虫性常产生明显的差异, 因此同一稻种又可分为原粮(稻谷)、粗米、精米或不同碾米率的抗虫性测定^{[35][38][39][41]}。

下面列出有关品种对主要仓虫的抗性筛选的结果:

(一) 麦蛾 (*Sitotroga cerealella* Oliv.)

表1结果表明抗麦蛾的水稻品种比例较大, 它的数量占品种筛选数的14.9%。但由于各作者所采用的筛选方法不同, 且其中有些试验缺乏标准抗虫品种或感虫品种作为对照, 因而所得的结果只是相对的抗性。其中高抗品种计有 Dawn, Labelle和CI 12273^{[16][18]}; 缺品种原名而仅有种子编号的高抗品种有 No. 160448、9481、160800、7392、160645、160975、9553、8364^[48]和No. 12273^[16]。

(二) 谷蠹 (*Rhizopertha dominica* F.)

表2列出了对谷蠹具有抗性的水稻品种, 其中Labelle是由父本Dawn与母本Belle patna (感虫品种) 杂交得来, Labelle兼能抗稻瘟病^[35]。

表1 抗麦蛾的水稻品种

作 者	筛选品种数 (个)	抗虫品种数 (个)	抗虫品种名称
Cogburn et al ^[18]	36	2	CI 12273, PI 161036
Cogburn ^[16]	111	32	*
Russell ^[46]	10	2	Labelle, Dawn
Russell and Cogburn ^[48]	780	102	*
Chellappa and Chellian ^[13]	10	3	LR 8, Kannaki, Cauvery
Abraham and Nair ^[5]	29	4	PTB 7, PTB 2, PTB 32, PTB 34
Abraham and Nair ^[4]	29	8	PTB 2, PTB 7, PTB 15, PTB 16 PTB 32, CO 25, GEB 24, PTB 8
Chatterji et al ^[12]	12	2	T. 412, Badshabhog
Kitter et al ^[31]	67	6	CR 207, Cross 34, IR 12, MGI 2, R 8, Sonth
合 计	1084	161** (14.9%)	

*原文仅有种子编号, 缺种子原名, 故省略。**括弧内数字表示抗虫品种数占品种筛选数的百分率

表2 抗谷蠹的水稻品种

作 者	筛选品种数 (个)	抗虫品种数 (个)	抗 虫 品 种 名 称
MaGaughey ^[35]	4	2	Dawn, Labelle
Marallo-Rejesus et al ^[36]	15	5	IR 24, IR 29, IR 9129-136-2, IR 9129-209-2, IR 9761-43-3
姚康等 ^[2]	5	3	华矮15号, 广陆矮4号, 二九青
合 计	24	10 (41.6%)*	

*括弧内数字表示抗虫品种占品种筛选数的百分率

表3 抗玉米象和米象的水稻品种

害虫名称	作 者	筛选品种 (个)	抗虫品种 (个)	品 种 名 称
玉米象	Nwana et al ^[39]	13	4	V ₁ , V ₂ , V ₄ , V ₅ ,
	Russell ^[45]	6	2	S-6001, S-1045
	Morrallo-Rojesus et al ^[36]	15	5	IR 3351-38-3, IR 3880-10, IR 9129-457-1, IR 9761-19-1, IR 24
	合 计	34	11 (32.35%)*	
米 象	Awasthi ^[6]	15	4	Madhukar, IR 8, Vishunparag, Saket 4
	Rout et al ^[44]	8	2	Vijaya, OR-10-26
	Russell ^[45]	6	2	S-6001, S-1049
	合 计	29	8 (27.6%)*	

*括弧内数字表示抗虫品种数占品种筛选数的百分率

(三) 玉米象 (*Sitophilus zeamais* Motsch.) 与米象 (*Sitophilus oryzae* L.)

已筛选出的抗性品种见表3。抗玉米象与米象的品种依次占筛选数量的32.35%和27.6%，其中Russell^[45]筛选出的稻种S~6001和S~1045均同时抗玉米象和米象。说明它们的抗虫基因对这两个近缘种的害虫可能是相同的。

二、品种的多抗性

作物品种同时能抗多种害虫和病害, 在生产实践中会更有价值。已证实若干水稻品种在贮藏期间可以对几种仓虫表现出抗性, 例如品种CI 12273能抗麦蛾、谷蠹和杂拟谷盗^[18]。IR 8, Kannaki和Cauvery等品种受麦蛾与谷蠹为害, 其损失率较其他测试品种为轻^[18]。品种Dawn同时能抗麦蛾与谷蠹的为害^[17], 它与Belle patna, Nato和Bluebelle等水稻品种比较, 对印度谷蛾、地中海粉螟、杂拟谷盗、谷蠹和米象等5种害虫的抗性也较强^[37]。此外, IR₂₄对玉米象、谷蠹和赤拟谷蠹均表现出抗性^[38]。

三、抗虫机制

Juliano^[28]曾就稻谷的外壳构造、胚乳特性和其他因素(包括非嗜好性、香味)与抗虫性的关系进行了综述。本文分别列举稻种对不同种类仓虫的抗虫机制。

(一) 麦蛾

1. 颖壳的紧密程度: Cogburn^[15]证实了抗虫品种Dawn具有紧密的颖壳,不利于麦蛾产卵。因为麦蛾选择在外颖与内颖间留有裂隙的稻谷上产卵,且幼虫容易钻入具有破损外壳的稻谷内为害。据观察61%的卵粒被产在颖壳的内方,仅有39%的卵粒产在颖壳的外面。Russel等^[48]认为幼虫入侵的障碍是抗虫的主要机制。因为生活在抗虫品种的幼虫死亡率虽大,但在谷粒内部找不到任何死亡的幼虫或蛹。此外,生活在抗虫品种的幼虫,其发育历期比感虫品种的要推迟,此种现象说明了抗性原因可能还存有其他因素的影响。

2. 米糠含量: 稻谷的米糠含量与麦蛾的生存率成正相关。品种TN₁的米糠含量最低,其抗虫性最强^[18]。

3. 直链淀粉(Amylose)含量和碱化值(Alkali spreading value): Abrahm^[7]分析了14个水稻品种的直链淀粉含量,证实与抗虫性无明显的关系。但Juliano^[28]综合分析各方面的资料,认为除品种Cesariot外,直链淀粉含量低的品种较含量中等或高的品种对麦蛾更为敏感。此外,碱化值低(3.5~4.0)的品种一般较碱化值高(6.2~7.0)的抗性强。

4. 非选择性(Non-preference): 成虫喜产卵在稻谷,而不喜产卵在精米^[23]。Kittur^[31]测试67个品种,其中有7个为成虫所喜爱。Cogburn^[15]比较了6个品种,认为品种Dawn对成虫具有非选择性,成虫不喜在此品种上产卵。

此外,Chippendale等^[14]证实了麦胚含有引诱麦蛾幼虫取食的物质为甘油三酸脂和脂肪酸。Russell等^[47]用嗅觉计(Olfactometer)测定,证实粗米较稻谷能引诱到较多的麦蛾幼虫,且不同品种的粗米,其引诱能力存在明显的差异。

5. 香味(Aroma): Chatteryi^[12]认为具有强烈香味的品种如T₄₂₁和Badshabhog较其他香味弱的品种受害明显的轻,但Juliano^[28]认为抗性原因可能由于上述品种谷型瘦长,而不是香味所引起。

6. 其他因素: Abraham等^[9]认为谷粒细度(长与宽的比例)、谷壳厚度和蛋白质含量和抗虫性无明显的关系。但Sikder^[49]记述麦蛾饲养在大型谷粒内较细小谷粒产生体型较大的成虫。

(二) 谷蠹

1. 谷粒的原整程度: 谷粒有损伤时,谷蠹幼虫容易钻入为害。因而谷壳的原整程度与抗性有密切的关系。幼虫取食未成熟的稻谷会引起发育不完全,并且较取食成熟稻谷的死亡率高^[11],它的死亡原因可能由于营养不足所引起。

2. 米型: McGaughey^[35]曾用Dawn, Labelle, Bella patna和Bluebelle等4个品种的稻谷、粗米和精米分别作试验,发现取食抗虫品种Dawn和Labelle稻谷上的

谷蠹产生的后代数量明显地少于其他两个感虫品种，但取食粗米上的谷蠹，不论那个品种所产生后代数量均无明显的差别；另外取食精米的谷蠹所产生后代数量均较取食稻谷和粗米的明显减少。上述现象，说明稻谷所以较粗米的抗性强，其原因可能与谷壳的保护作用有直接关系；而精米的抗虫性提高，可能是其他原因，有待于进一步研究。

(三) 玉米象与米象

1. 谷粒的原整程度和颖壳的表面特性：Nawana^[39]认为谷壳有无出现裂缝是影响品种对玉米象抗性的主要因素，感虫品种谷壳开裂的比率明显地较抗虫品种的高。品种的受害损失率与谷壳破裂的比率成正比例。此外在谷壳多裂缝的品种中，有毛的又比无毛的损失轻；毛的数量多少与其长度对成虫的取食产生妨碍作用。Breese^[11]发现米象不能为害与生活在谷壳完整的稻种上，甚至当谷物含水量高的情况下。在颖壳紧密的谷粒内，成虫常常不能正常羽化。Virmani等^[53]筛选出9个抗米象的品种，其中有7个品种的颖壳具长毛，并且发现颖壳表面光滑无毛的品种在田间容易引诱米象为害。综合上面所述，可以认为颖壳的完整性与颖毛的有无，是抗性的重要机制。

2. 谷粒大小：Bhatia^[9]认为谷粒大小是决定品种对米象不同引诱力的主要因素之一，谷粒大的品种能引诱较多的成虫产卵，并且能繁殖出较多的米象后代。Morallo-Rejesus等^[38]证实稻种对玉米象的敏感系数与粗米的宽度和重量成正比。即谷粒愈宽，和愈重，受玉米象为害愈严重。

3. 谷粒的硬度：谷粒的硬度与品种的感虫性成负相关，抗虫品种的谷粒硬度较感虫品种的大^{[44][38]}。

4. 非选择性：玉米象与米象喜产卵在外颖与护颖间隙比率高的水稻品种上，并且产生较多的后代；但在抗虫品种上产卵甚少，故羽化下一代的数量较少^[45]。

周明祥^[1]证实米象对稻谷、糙米及精米有不同的选择性，其中最嗜糙米，而最不嗜稻谷。因而认为从防治观点出发，应以稻谷贮藏为宜，而糙米最不宜。谢丰国^[3]等认为玉米象所以在糙米中的繁殖力和为害严重程度较精米的大，其原因是在糙米中，核黄素和噻胺的含量均较精米的高。这些物质显然有利于该虫的生存与发育。

Honda等^[26]曾研究了贮粮对玉米象的引诱物质。应用嗅觉计进行试验，证实湿度影响谷物对玉米象的引诱能力。只有在低湿的情况下（相对湿度14~16%），谷物才显示出强烈引诱玉米象。此种引诱能力在玉米象雌雄个体间无明显的差别。但年青的成虫较之老的成虫具有更强的嗅觉感受。如割除触角，即丧失比种感受能力，这证明玉米象的嗅觉感受器位于触角之上。此后^[27]，又证实了精米的乙醚抽提物能引诱玉米象，其中抽提物的酸性部份含有这些引诱物质的主要成分，此种物质可能为羧酸。此外测定了38种有机酸，证实了异戊酸、癸酸、酞丙酸、P-羟基苯酸、阿魏酸、亚麻酸和B-当归内酯(B-angelica lacton)对玉米象有强的引诱力。Ohsawa等^[40]将稻米、小麦和玉米的乙醚抽提物再分离为酸性、中性和碱性的三个部份、发现酸性和中性部分对玉米象同样具有强的引诱力，说明了引诱物质在禾谷类的种子中是普遍存在的，并非为稻谷所特有。Yamamoto等测定谷物内这些引诱物质对热（150℃，1小时）、紫外线（2537或3650Å，2小时）和碱是稳定的，并且在150℃的温度中不会挥发^[55]，并认为此类引

诱物质除了存在于稻米和玉米胚内, 还存在于它们的麸油中。由于玉米的胚层较发达, 且含麸油量高, 故引诱物质的含量较稻米的丰富^[86]。以后进一步分析了玉米中此种引诱物质的主要成分为乙酸; 另外, γ -独内脂 (γ -nonalactone) 和 2-苯基乙醇也表现出有强的引诱能力。

5. 谷粒的化学成份: Rout等^[44]测定了稻谷不同品种的淀粉和蛋白质的含量, 认为上述物质含量与对米象的抗性无明显的关系。

Russell^[45]证实了谷物的碘值、支链淀粉的含量、碱化值等均与品种间的抗虫性不存在直接的关系。Morallo-Rejesus^[36]测定抗玉米象的水稻品种, IR3880-10和 IR₂₄均含有低的直链淀粉, 并具有低的糊化温度 (Gelatinization temperature)。

6. 米型: 同一品种内, 精米对玉米象的抗性较稻谷的明显低。原来具有抗虫性的稻谷经碾成米后, 其抗虫性即丧失^[39]。Pingale^[41]将稻种 Halubbulu 分别制成脱壳米, 手舂米, 精米和半熟米, 试验结果表明脱壳米受米象为害最重, 次为手舂米, 半熟米受害最轻。

Mogaughey^[36]也证实了半熟米由于较坚硬, 因而抗虫性较精米强。取食半熟米的 7 种害虫包括有米象、谷蠹、印度谷蛾、杏仁螟蛾 [*Cadra cautella* (Walker)]、烟草蚜虫 [*Lasioderma serricorne* (F.)]、赤拟谷盗和锯齿谷蚜 [*Oryzaephilus surinamensis* (L.)] 等, 他们所产生的后代数量均明显低于取食精米的。此外, 提高碾米率, 会使抗虫性明显下降。因为碾米率愈低, 糠层就会被除去愈多, 可能会增加对仓虫的引诱能力^[44]。也有认为这原因可能与营养条件的改变有关系^[3]

(四) 其他仓虫

粉斑螟: 取食直链淀粉含量低的 IR₂₄ 精米, 较其他直链淀粉含量高的品种, 表现出螟虫具有短的发育历期和高的羽化率, 并且体重较大^[28]。分别用不同含油量 (0、2.5、5、7.5、10%) 的米糠作为幼虫饲料, 结果幼虫不能生存于含油量 0% 和 2.5% 的米糠内, 甚至当含油量达 5% 和 7.5% 时, 幼虫生长也受到阻滞。10% 含油量的, 对幼虫生长正常^[28]。

杂拟谷盗: 幼虫生长在高的碱化值的精米内, 较低碱化值的具有较大的体重。生活在不同品种的粗米内, 幼虫体重和稻米的直链淀粉含量成负相关, 生活在精米的幼虫, 其体重较粗米的重。此外, 比较了直链淀粉含量高的精米的不同品种, 发现生活在低糊化温度的品种内的幼虫, 发育较快^[28]。

四、环境条件对抗虫性的影响

(一) 温度

一般贮粮的含水量愈高, 受害愈重。此种明显关系已有记载的害虫有米象、谷蠹^[11]、麦蛾^[12]、和锯齿谷蚜^[60]。而环境的湿度是直接影响谷物含水量的重要因素, 因而对贮粮的抗虫性产生明显的影响。

(二) 施肥

不同氮肥施用量的水稻品种, 收获后对麦蛾的抗性无明显的差别^[16]

(三) 种植地点

不同地点种植的水稻品种,表现出对麦蛾的抗性有明显的差异^[18]。

综合上述的试验结果,说明环境条件对抗虫性的表现有一定的影响,其中以湿度更为重要。但是环境条件似乎对高抗品种的抗虫性没有产生明显的影响。例如稻种CI₁₂₂₇₃不管种植在任何地点,其抗虫性差别不大^[18];高抗的Badshabhog和T₄₁₂等稻种,即使含水量很高,它们对麦蛾的抗虫性也没有减弱^[12]。当谷物甚至在含水量高的情况下,米象也不能为害具有紧密颖壳的谷粒^[11]。中抗的和感虫品种对玉米象的抗性则受湿度的影响相当显著,当湿度增高,其感虫性即明显增高。但湿度对高抗品种的抗性无明显的影响^[42]。

五、害虫的生物型

Russell等^[48]测定稻谷对采自不同地点的麦蛾抗性的表现。结果发现采自洛杉矶的麦蛾,无论生活在抗虫或感虫品种上均较采自波蒙特(Beaumont)的具有较长的生活历期^[48]。说明了不同地点的麦蛾,它们间某些生物学特性存有差异。此外Russell^[49]曾用不同水稻品种连续饲养麦蛾经过6个世代,比较各世代麦蛾的繁殖能力,结果发现在抗虫品种Labelle和感虫品种CS—M₃上产生的后代数量,均有随饲养世代的增加而提高的趋势,但在另外7个品种上,其后代数量的差别并不明显^[49]。

值得注意的是:一般认为米象不能在蚕豆内生活。但Coombs^[20]发现在特立尼达、牙买加、秘鲁、星加坡、莱索托和埃塞俄比亚等地所采集的米象都能在蚕豆中繁殖,以后Thind和Muggleston^[50]从40个国家采集了87个米象品系进行了测定,结果证实有10个品系能在蚕豆内生活。上述例子说明了米象已产生不同的生物型。由于发现米象的某些品系具有对蚕豆的致害能力。因而应用蚕豆混入谷物内作为防治的手段,将会受到限制。

六、抗虫性的遗传

Tihnd等^[50]测定了能生存在蚕豆的莱索托和特立尼达的米象品系,认为其致害能力是受常染色体的隐性基因(Autosomal recessive gene)所控制。两个抗性位基因是在相同的位点上或由功能相似的而在不同位点上的基因所组成。但上述两个米象品系的遗传背景是不同的,其中莱索托品系携带有性连锁的致死基因(Sex-linked lethal gene)。

Widstrom等^[54]分析了18个马齿种玉米(dent maize)对玉米象的抗性遗传变异,认为显性影响对母本和胚乳的表型是重要的。大多数的累加变异(additive variation)源起于母本,而细胞质的影响是不重要的。

七、结束语

随着研究的深入,利用抗虫品种防治仓库害虫,有可能将会成为综合防治的重要措

施之一,已证实有些水稻品种在贮藏期间,可以对重要的仓虫表现出多抗性^{〔18〕〔19〕〔17〕〔36〕}。从抗虫品种筛选的结果看,具有抗性的品种的比率是高的(表1、2、3、)。值得注意的是这些抗虫品种多起源于热带和亚热带。例如Cogburn^{〔18〕}等认为具有抗性的品种多为东方的稻种,其中具有多抗性的CI 12273源起于台湾, Rossetto(1966)筛选1700个稻种,发现具有紧密颖壳的抗麦蛾的稻种多来自中国(未见原文,来自文献^{〔37〕})。可以预言,随着今后抗虫品种筛选工作的开展,将会发现更多的抗原或在生产上可以利用的抗虫品种。我国对贮粮抗虫性的研究十分薄弱,因此今后应加强这方面的研究工作。

参 考 文 献

- 〔1〕周明祥、张蕴华:米象防治之研究,《新农季刊》,(3)1943:178—216。
- 〔2〕姚康、邓望喜、陶靖平、胡维治:谷蠹生活习性及几种粮食抗谷蠹的试验初报,《华中农学院学报》,(3)1981:29—31。
- 〔3〕谢丰国、高穗生:稻谷害虫之生态,《水稻病虫害、生态学与流行学》,邱人璋主编,83—111,农复会,1978年。
- 〔4〕Abraham, C. C. and M. R. G. K. Nair 1966 Relative susceptibility of different varieties of paddy seeds to infestation by the grain moth *Sitotroga cerealella* Oliv. Agric. Res. Jour. Kerala, 4 (2), 89—91.
- 〔5〕Abraham, C. C. and M. R. G. K. Nair 1968 Survival, development period, size and fecundity of *Sitotroga cerealella* Oliv. bred on different varieties of paddy seeds. Agric. Res. J. Kerala, 6, 37—42.
- 〔6〕Abraham, C. C. and M. J. Thomas 1969 The relation between some grain characters and insect infestation in stored rice. Agric. Res. J. Kerala, 7, 130—31.
- 〔7〕Abraham, C. C., B. Thomas, K. Karunakaran, and R. Gopalakrishnan 1972 Relative susceptibility of different varieties of paddy to infestation by the Angoumois grain moth *Sitotroga cerealella* Oliv. (Gelechiidae: Lepidoptera), as influenced by the amylose content of the endosperm. Bull. Grain Technol., 10: 263—66.
- 〔8〕Awasthi, B. K., Pandey, V., Nigam, P. M., Singh, Y. P. 1979 Relative resistance of different rice varieties to *Sitophilous oryzae* Linnaeus. Indian J. Entomol., 41 (4): 385—87.
- 〔9〕Bhatia, S. K. 1976 Resistance to insects in stored grain. stored Pro. Inf., 31: 21—35.
- 〔10〕Bishara, S. I., A. Koura, and M. A. EL—Halfawy 1972 Oviposition preference of the granary and the rice weevils of recommendations for grain protection. Bull. Soc. Entomol. Egypte, 56: 145—150.
- 〔11〕Breese, M. H. 1960 The infestibility of stored paddy by *Sitophilus sasakii* (Tak.) and *Rhyzopertha dominica* (F.). Bull. Entomol. Res., 51: 599—630.
- 〔12〕Chatterji, S. M., R. C. Dani, and S. Govindaswami 1977 Evaluation of rice varieties for resistance to *Sitotroga cerealella* Oliv. (Lepidoptera: Gelechiidae). J. Entomol. Res., 1: 74—77.

- [13] Chellappa, K. , and Chelliah, S. 1976 Varietal susceptibility of rice to infestation by *Sitotroga cerealella* Oliv. and *Rhizopertha daminica* Fab. , Madras Agric. J. , 63 (3) : 190—92.
- [14] Chippendale, G. M. and Mann, R. A. 1972 Feeding behavior of Angoumois grain moth larvae. J. Insect Physiol. , 18: 87—94.
- [15] Cogburn, R. R. 1974 Domestic rice varieties: apparent resistance to rice weevils, lesser grain borers, and Angoumois grain moth. Environ. Entomol. , 3: 681—85.
- [16] Cogburn, R. R. 1977 Resistance to the Angoumois grain moth in some varieties of rough rice from the USDA world collection. J. Econ. Entomol. , 70: 753—54.
- [17] Cogburn, R. R. 1977 Susceptibility of varieties of stored rough rice to losses caused by storage insects. J. stored Prod. Res. , 13: 29—34.
- [18] Cogburn, R. R. , Bollich, C. N. , Johnston, T. H. , MCilrath, W. O. 1980 Environmental influences on resistance to *Sitotroga cerealella* in varieties of rough rice. Environ. Entomol. , 9 (5) : 689—93.
- [19] Coombs, C. W. 1972 The interpretation of experiments assessing the susceptibility of stored cereals to attack by *Sitophilus* sp. (Col. Curculionidae) . J. Stored Prod. Res. , 8: 81—2.
- [20] Coombs, C. W. , Billings, C. J. and Porter, J. E. 1977 The effect of yellow split—peas (*Pisum sativum* L.) and other pulses on the productivity of certain strains of *Sitophilus oryzae* (L.) (Col. Curculionidae) and the ability of other strains to breed thereon. J. Stored Prod. Res. 13. 53—8.
- [21] Dobie, P. 1974 The laboratory assesment of the inherent susceptibility of maize varieties to post—harvest infestation by *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera, Curculionidae) . J. stored Prod. Res. 10: 183—97.
- [22] Doggett, H. 1958 The breeding of weevil—resistant varieties. Empire J. Exp. Agric. , 26: 37—46.
- [23] El—Nahal, A. K. M. , I. I. Ismail, A. H. Kamel, and T. S. Moustafa 1979 Host ovipositional preference of the Angoumois grain moth, *Sitotroga cerealella* (Oliv.) . Agric. Res. Rev. (Arab Res. Egypt Min. Agric.) , 57 (1) : 115—18.
- [24] Fernando, H. E. 1959 Storage loss of paddy due to *Sitotroga cerealla* and its control. Int. Rice Commn. Newsl. , 8: 20—5.
- [25] Golob, P. , and F. Ashman 1974 The effect of oil content and insecticides on insect attacking rice bran. J. Stored Prod. Res. , 10: 93—103.
- [26] Honda H. , I. Yamamoto and R. Yamamoto 1969 Attractant for rice weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Rhynchophoridae) , from rice grains. I. Bioassay method for the attractancy of rice grain to rice weevils. Appl. Ent. Zool. , 4 (1) : 23—31.
- [27] Honda H. , I. Yamamoto and R. Yamamoto 1969 Attractant for rice weevil,

- Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Rhynchophoridae), from rice grains. II. Fractionation of rice grains and the nature of the crude attractive fraction. Appl. Ent. Zool., 4 (4): 32—41.
- [28] Juliano, B. O. 1981 Rice grain properties and resistance to storage insect: A review. IRRI Research paper Series, No: 56. 9pp.
- [29] Khan, M. Q. 1948 Deterioration of different grades of polished rice in storage, Indian J. Ent., 10: 279—86.
- [30] Khush, G. S., C. M. Paule, and N. M. de la Cruz 1978 Rice grain quality evaluation and improvement at IRRI. 9pp. workshop on chemical aspects of grain quality 23—25 October 1978. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- [31] Kittur, S. U., and K. K. Patel 1972 Preference of *Sitotroga cerealella* Oliv. to rice varieties during storage. Indian J. Agric. Sci., 42: 621—22.
- [32] Koura, A., M. El-Halfawy, and S. A. El-Askalany 1967 The susceptibility of certain varieties of Egyptian rough rice *Oryza sativa* (L.) to infestation with *Sitophilus oryzae* (L.), *S. granarius* and *Rhizopertha dominica* (F.). Agric. Res. Rev. (U. A. R.), 45: 67—9.
- [33] Kruerkalai, W. 1979 Varietal resistance of milled rice to *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*. Report to BIOTROP, Bogor, Indonesia.
- [34] McGaughey, W. H. 1970 Effect of degree of milling and rice variety on insect development in milled rice. J. Econ. Entomol., 63: 1375—76.
- [35] McGaughey, W. H. 1973 Resistance to the lesser grain borer in 'Dawn' and 'Labelle' varieties of rice. J. Econ. Entomol., 66: 1005.
- [36] McGaughey, W. H. 1974 Insect development in milled rice: effect of variety, degree of milling, parboiling and broken kernels. J. Stored Prod. Res., 10: 81—86.
- [37] Mills, R. B. 1976 Host resistance to stored-product insect—II. In Proc. Joint U. S. —Japan Seminar on Stored Products Insect, p. 77—87. Manhattan, Kansas, January, 5—8.
- [38] Morallo-Rejesus B., P. A. Javier, and B. O. Juliano 1982 Properties of brown rice and varietal resistance to storage insect. The Philippine Entomologist 5 (2): 227—38.
- [39] Nwana, I. E., and D. T. Akibo-Betts 1982 The resistance of some rice varieties to damage by *Sitophilus zeamais* Motschulsky during storage. Trop. Stored Prod. Inf., 43: 10—15.
- [40] Ohsawa, K., K. Oshima, I. Yamamoto, and R. Yamamoto 1970 Attractant for the rice weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Rhynchophoridae), from rice grain. III. A new type olfactometer for rice weevils. Appl. Ent. Zool. 5 (3): 121—25.
- [41] Pingale, S. V., S. B. Kadkol, M. Narayana Rao, M. Swaminathan, and V.

- Subrahmanyam 1957 Effect of insect infestation on stored grain. II-Studies on husked, handpounded and milled raw rice, and parboiled milled rice, J. Sci. Food Agr. 8 (9) : 512—16.
- [42] Rogers, R. R. , and Mills, R. B. 1974 Reactions of sorghum varieties to maize weevil infestation under three relative humidities, J. Econ. Ent. , 67: 692.
- [43] Rossetto, C. J. , Painter, R. H. , and Wilbur, D. 1973 Resistencia de variedades de arroz en casca a *Sitophilus zeamais* Motschulsky. Fitotec Latinoam, 9 (1) : 10—18.
- [44] Rout, G. , Senapati, B. , and Ahmed, T. 1976 Studies on relative susceptibility of some high yielding varieties of rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. (Curculionidae, Coleoptera) . Bull. Grain Technol. , 14 (1) : 34—38.
- [45] Russell, M. P. 1968 Influence of rice variety on oviposition and development of the rice weevil, *Sitophilus oryzae*, and the maize weevil, *S. zeamais* . Ann. Entomol. Soc. Am. , 61: 1335—36.
- [46] Russell, M. P. 1976 Resistance of commercial rice varieties to *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera : Gelechiidae) . J. Stored Prod. Res. , 12: 105—109.
- [47] Russell, M. P. , and R. R. Cogburn 1976 Host resistance to store-products insect-I. --Proc, Joint U. S. -Japan Seminar on Stored Products Insect 1976: 68—76. Mankattan, Kansas, January, 5—8 .
- [48] Russell, M. P. , and R. R. Cogburn 1977 World collection rice varieties : resistance to seed penetration by *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera : Gelechiidae) . J. Stored Prod. Res. , 13: 103—108.
- [49] Sikder, H. P. 1965 Varied growth of stored-grain moth (*Sitotroga cerealella* Oliv.) . as a preliminary index for using its as a test organism in estimating the quality of rice. Indian J. Agric. Sci. , 35: 206—209 .
- [50] Thind B. B. , and J. Muggleston 1981 Inheritance of the ability of strains of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera : Curculionidae) to breed on split-pea (*Pisum sativum*) . Bull. Ent. Res. , 71: 419—24.
- [51] Turney, H. A. 1957 Some effects of cracked grain on the reproduction of the saw-toothed grain beetle. J. Kansas Ent. Soc. , 30: 6—8 .
- [52] Verma, S. K. , G. C. Sachan, Y. S. Rathore, and M. N. Lab 1979 Relative susceptibility of various rice varieties to almond moth, *Ephestia cautella* (Walker). Bull. Grain Technol. 17: 141—43.
- [53] Virmani, S. S. , P. K. B. Menon, and A. S. Gobeh 1980 Varietal resistance to rice weevil. Int. Rice Res. Newsl. , 5 (4) : 8 .
- [54] Widstrom, N. W. , Hanson, W. D. , and Redlinger, L. M. 1975 Inheritance of maize weevil resistance of maize. Crop. Sci. , 15: 467—70.
- [55] Yamamoto, I. , and Yamamoto R. 1970 Host attractants for the rice weevil

- and the cheese mite, p. 331—45. In Wood, David L. et al ed. , Control of insect behavior by natural products, New york, 1970, 345 pp.
- [56] Yamamoto, I., Ohsawa, H. Honda, S. Kato, and R. Yamamoto 1976 Attractants of rice weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, in rice and corn. In Proc. Joint U. S. -Japan Seminar on Stored Products Insects p. 88-103. Mankattan, Kansas, January, 5—8 .
- [57] Yamamoto, R. , K. Ohsawa, H. Hona, I. Yamamoto 1980 Attractants for rice weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, isolated from corn grains. 5pp : (Mimeograph) .

AN ADVENCE OF RICE VARIETAL RESISTANCE TO INSECT PESTS IN STORED GRAINS

Wu Jung Tsung

(Department of Plant Protection)

ABSTRACT

This paper is a review article outlining the present state of research into rice resistance to attack by stored-product insects, in which the following aspects of these studies are described,

- 1) Screening of varieties for the resistant sources,
- 2) Multiresistance,
- 3) Machanism of resistance,
- 4) Environmental factors influencing the expression of resistance,
- 5) Insect biotype,
- 6) Genetics of resistance.

Varietal resistance to rice storge insect is a potential means of reducing postharvest losses of the rice crop, therefore breeding for resistance to storge pests should form an integral part of the integrated pest management.