

嗜卷书虱气调抗性与熏蒸剂抗性的相互关系

丁伟, 赵志模, 王进军, 陶卉英, 张永强

(西南农业大学植物保护学院/昆虫学及害虫系统控制工程重庆市重点实验室, 重庆 400716)

摘要: 嗜卷书虱(*Liposcelis bostrychophila* Badonnel)是一种重要的储藏物害虫, 经过气调和药剂的抗性筛选, 可以获得抗高 CO₂ 品系(HCO₂-R)、抗低 O₂+高 CO₂ 品系(HCLO-R)和抗 DDVP 品系(DDVP-R)、抗 PH₃ 品系(PH₃-R)。本项研究在获得 4 个抗性品系的基础上, 系统测定了各抗性品系对不同处理的交互抗性指数, 以及交互抗性指数间的重叠值(Ov)和差异度(Sv)等。结果表明, 各抗性品系之间存在着双向交互抗性, 其中, HCO₂-R 品系对低 O₂+高 CO₂ 气调处理的抗性指数为 3.2458, 而 HCLO-R 品系对高 CO₂ 气调处理的抗性指数仅为 1.8280; DDVP-R 品系对 PH₃ 的抗性指数为 3.9614, 而 PH₃-R 品系对 DDVP 的抗性指数为 2.7852; DDVP-R 和 PH₃-R 品系对高 CO₂ 的抗性指数分别为 1.3550 和 1.1816, 但 HCO₂-R 品系对 DDVP 的抗性指数为 2.1372, 对 PH₃ 的抗性指数为 3.3698, 因此, 一旦形成了对高 CO₂ 的抗性, 则对 PH₃ 也会产生明显抗性, 但形成了对 PH₃ 的抗性品系而对高 CO₂ 仍有一定的敏感性。两个抗药性品系均对低 O₂+高 CO₂ 气调处理产生了一定的抗性, 但当形成了抗低 O₂+高 CO₂ 的品系之后, 对 DDVP 的处理仍有较大的敏感性, HCLO-R 品系对 PH₃ 也形成了抗性, 但 PH₃ 的抗性品系对低 O₂+高 CO₂ 气调处理的抗性要低一些。各抗性品系之间对不同处理均存在着交互抗性和双向交互抗性, 各品系之间双向交互抗性的差异表现在重叠值和差异度的不同上。

关键词: 嗜卷书虱; 抗药性; 抗气调性; 交互抗性; 双向交互抗性

The Relationship Between Resistance to Controlled Atmosphere and Insecticides of *Liposcelis bostrychophila* Badonnel (Psocoptera: Liposcelididae)

DING Wei, ZHAO Zhi-mo, WANG Jin-jun, TAO Hui-ying, ZHANG Yong-qiang

(College of Plant Protection, Southwest Agricultural University / Key Laboratory of Entomology and Pest Control Engineering, Chongqing 400716)

Abstract: A systematic study was conducted on the important stored product insect, *Liposcelis bostrychophila* Badonnel, which is about the cross-resistance of 4 resistant strains, HCO₂-R (hypercarbia-resistant strain), HCLO-R (hypoxia and hypercarbia resistant strain), DDVP-R(DDVP-resistant strain) and PH₃-R (PH₃- resistant strain). The results indicated that there were cross-resistances between CA and insecticides, and the quantities of the cross-resistances were different. The cross-resistance factor (RF) of HCO₂-R to hypoxia and hypercarbia was 3.2458, while, that of HCLO-R to hypercarbia was 1.8280. The RF of DDVP-R to PH₃ was 3.9614, while, that of PH₃-R to DDVP was 2.7852. The RF values of DDVP-R and PH₃-R to hypercarbia were 1.3550 and 1.1816, respectively. However, the RF of HCO₂-R to DDVP was 2.1372. There was also a low cross-resistance between DDVP-R and HCO₂-R. The RF of HCO₂-R to PH₃ was 3.3698. This suggested that the insects resistant to high CO₂ concentration atmosphere would develop significant resistance to PH₃, however, the insects resistant to PH₃ remain sensitive to hypercarbia atmosphere. Both DDVP-R and PH₃-R developed resistance to high CO₂ treatment. There was a low cross-resistance between DDVP-R and HCLO-R.

收稿日期: 2003-05-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39800017)和霍英东教育基金资助项目(71022)

作者简介: 丁伟(1966-), 男, 河南邓州人, 副教授, 博士, 从事昆虫毒理及害虫化学防治方面的研究。Tel: 023-68251795(O), 68251136(H); E-mail: dwing818@yahoo.com.cn

The insects resistant to hypoxia and hypercarbia were very sensitive to DDVP. There was also a cross-resistance between HClO-R and PH₃-R, but the resistance of PH₃-R to hypoxia and hypercarbia was lower than that of HClO-R to PH₃. The differences of the overlapping and separate values indicated that there were differences in the intercross-resistance of 4 resistance strains.

Key words: *Liposcelis bostrychophila* Badonnel; Cross-resistance; Resistance to controlled atmosphere (CA); Resistance to insecticide; Double direction cross-resistance

气调和药剂熏蒸作为控制储藏物害虫的两项关键技术,或者单用、或者混用或者交替使用等在储藏物害虫的控制中发挥着重要的作用。但仓储害虫对两者的抗性也十分突出。储藏物害虫对熏蒸剂抗性的产生与发展已经导致熏蒸剂使用的危机,目前寻找新的熏蒸剂已成为储粮害虫控制中的一个重要课题^[1]。气调处理是近年来广泛应用于密闭环境中控制害虫的新技术,但长期使用同样也会诱发害虫产生抗性^[2,3]。害虫对熏蒸剂的抗性与对气调处理的抗性都是通过气体分子的影响形成的,两者之间有什么关系这一问题,目前的研究报道很少。嗜卷书虱 (*Liposcelis bostrychophila* Badonnel) 是一种重要的储藏物害虫,目前已成为“双低(低氧、低药剂)”、“三低(低氧、低药剂、低温)”储粮环境中的害虫优势种群,在我国南方地区发生危害十分严重^[4,5]。Pinniger 的研究表明,嗜卷书虱对磷化氢和溴甲烷具有较强的忍耐力^[6];另外,在实验室条件下,以 35%CO₂ 和 1%O₂ 组配的气调环境筛选 30 代,抗性达到 5.6 倍,且有继续增强的基因潜能^[7]。在仓储环境条件下,嗜卷书虱在“双低”、“三低”储粮措施的控制下,仍严重危害的事实也说明该虫不仅对化学药剂具有抵抗力,而且对气调也具有抵抗力。因此,探明嗜卷书虱所形成气调抗性和熏蒸剂抗性之间的关系直接影响到气调措施和熏蒸药剂的轮用或混用等问题,同时也是研究熏蒸剂抗性和气调抗性机理的基础。为此,本研究选用嗜卷书虱对熏蒸剂 PH₃、有机磷杀虫剂 DDVP,高 CO₂ 气调和低 O₂+高 CO₂ 气调的 4 个抗性品系,分别测定它们之间的相互敏感性,确定嗜卷书虱在不同逆境胁迫下所培养出的抗性品系之间是否具有交互抗性,以比较这些抗性品系所形成的不同抗性之间的相互关系,为进一步研究气调抗性和熏蒸剂抗性的机理提供依据。

1 材料与方 法

1.1 供试昆虫

嗜卷书虱 1990 年采自西南农业大学应用昆虫与螨类生态研究室的模拟粮仓中,并在实验室(27±0.5)℃、RH 75%~80%、不予光照条件下以全麦粉、酵母粉、脱脂奶粉为原料的混合饲料饲养多代获得的品系。

参照 Leong and Ho^[8]和丁伟等^[9]的饲养方法,在饲养过程中,培养条件稳定,没有接触任何化学农药,将该品系视为敏感品系(S)。

抗性品系:气调抗性品系 HClO-R 和 HCO₂-R 分别是实验室内采用低 O₂+高 CO₂(1%O₂、35%CO₂、64%N₂)及高 CO₂(35%CO₂、21%O₂ 和 44%N₂)的气调对嗜卷书虱的敏感品系在死亡率为 75%的选择压力下选育 45 次而获得的,抗性指数分别为 5.2376 和 3.2547;抗药性品系 PH₃-R 和 DDVP-R 分别是在实验室内以 PH₃ 和 DDVP 熏蒸处理,在同气调抗性品系的选育条件下选育获得的,其抗性指数分别为 4.5083 和 10.2105。

1.2 供试药剂和熏蒸方法

供试药剂为 80%DDVP(敌敌畏)乳油,湖北沙隆达农药股份有限公司生产。熏蒸处理前,将刚羽化 3~5 d 的成虫挑入直径 2 cm、高 1 cm 放有少许饲料的塑料培养盒中,用 160 目纱网做成的盒盖盖严,每盒接 20 头,每处理 3 盒,放置在体积为 500 ml(高 12 cm)的广口瓶中。熏蒸时,将 80%DDVP 乳油用丙酮稀释后,移取一定的体积滴加在长 3 cm、宽 1 cm 的滤纸片上,丙酮作对照。立即将滤纸片悬挂在熏蒸瓶的瓶塞上,盖严瓶塞,放置在温室[(27±0.5)℃,相对湿度 75%~80%,黑暗条件]中进行熏蒸处理。

56%的 ALP(磷化铝)片剂,山东济宁化工厂生产。ALP 片剂在水分的作用下产生 PH₃ 气体,发生的气体收集在密闭的集气瓶中,用硝酸银处理过的硅胶管检测含量后,用微量注射器(规格 50 μl)移出所需的气体量供试。试虫的选择与处理同上。施药时,采用微量注射器,分别吸取一定体积的 PH₃,注入瓶塞上带有橡胶导管的 1 000 ml 广口瓶内,扎紧导管,熏蒸处理条件同上。

1.3 气调设备和处理方法

气调设备采用西南农业大学应用昆虫及螨类生态研究室设计组装的气体浓度控制仪。O₂、N₂、CO₂ 气体分别贮存于钢瓶中(气体纯度分别为 O₂>99.2%、N₂>99.9%、CO₂>99.0%)。参照吴仕源等^[10]的方法,以 N₂ 作为平衡气体,按试验所需调节 N₂、CO₂、

O₂ 的流量。所用容器为瓶塞上带有两个橡胶导管的 1 000 ml 的广口瓶，一个导管用于充气，一个导管用于排气。每个广口瓶装入试虫后，充气 0.5 h，密闭导管，进行气调处理。气调处理的培养条件同上。根据在试虫死亡 10%~90% 范围内设置的时间梯度打开广口瓶，并立即将装有试虫的小盒子放置在 (26±0.5) °C、RH75%~80% 的培养室内，24 h 后检查试虫死亡情况。

1.4 统计分析方法

根据各处理试虫的死亡率，用 Abbot 公式计算校正死亡率，并求出药量对数或气调处理时间对数与死

亡率机率值的毒力回归方程 $Y=a+bx$ 。以嗜卷书虱敏感品系 (S) 对各处理的 LT₅₀ 或 LC₅₀ 为基准，计算各品系的相对抗性指数。抗性个体诊断剂量采用各处理对敏感品系的 LT₉₉ 或 LC₉₉。所有数据处理与计算均在 DPS^[11] 和 Excel 上完成。

2 结果与分析

2.1 嗜卷书虱不同抗性品系间交互抗性的测定

2.1.1 HClO-R、PH₃-R 和 DDVP-R 品系对高 CO₂ 的敏感性 采用高 CO₂ 的气调环境对嗜卷书虱的 HClO-R、PH₃-R 和 DDVP-R 品系进行处理，结果见表 1。

表 1 嗜卷书虱 HClO-R、PH₃-R 和 DDVP-R 品系对高 CO₂ 的敏感性

Table 1 Susceptibility of HClO-R, DDVP-R and PH₃-R strains to high carbon dioxide

品系 Strains	LT ₅₀ (h)	LT ₅₀ 95% 的置信限 95% CI of LT ₅₀	抗性指数 RF	回归方程 (Y=) Regression equation	χ ²
HCO ₂ -R	30.7901±0.1582	30.4816~31.1018	3.2547	-28.1162+22.2493x	8.998
HClO-R	17.2937±0.3351	16.6492~17.9632	1.8280	-2.4505+6.0087x	16.892
DDVP-R	12.8238±0.3088	12.2326~13.4435	1.3555	-0.4823+4.9478x	1.239
PH ₃ -R	11.1779±0.2507	10.6972~11.6802	1.1816	-1.4925+6.1930x	1.450
S	9.4603±0.0673	9.3294~9.931	-	-10.8592+16.2507x	3.450

从表 1 可以看出，在高 CO₂ 处理下，HClO-R、PH₃-R 和 DDVP-R 品系与敏感品系相比，其敏感性都明显降低。这说明，对于由低 O₂+高 CO₂、DDVP 和 PH₃ 这几种不同的环境胁迫所筛选产生的抗性品系，同样会对高 CO₂ 产生一定抗性，其抗性由高到低依次为 HClO-R>DDVP-R>PH₃-R。采用敏感品系的 LT₉₉ (13.1541h) 作为诊断剂量，对各品系的抗性个体频率进行诊断，结果表明，高 CO₂ 抗性品系，其群体中

已经不存在相对敏感的个体，而其余几个品系在使敏感品系死亡 99% 的情况下，仍分别有 76.6%、47.8% 和 33.1% 的个体存活 (表 5)。

2.1.2 HCO₂-R、DDVP-R 和 PH₃-R 品系对低 O₂+高 CO₂ 的敏感性 采用低 O₂+高 CO₂ 气调处理，测定气调抗性品系 HCO₂-R 和抗药性品系 DDVP-R、PH₃-R 对这一气调处理的致死反应，结果如表 2 所示。从表 2 可以看出，HCO₂-R、DDVP-R 和 PH₃-R

表 2 嗜卷书虱 HCO₂-R、DDVP-R 和 PH₃-R 品系对低 O₂+高 CO₂ 的敏感性

Table 2 Susceptibility of HCO₂-R, DDVP-R and PH₃-R to hypoxia and hypercarbia by *L. bostrychophila*

品系 Strains	LT ₅₀ (h)	LT ₅₀ 95% 的置信限 95% CI of LT ₅₀	抗性指数 RF	回归方程 (Y=) Regression equation	χ ²
HCO ₂ -R	14.3995±0.3479	13.7335~15.0977	3.2458	-0.3276+4.599x	8.924
HClO-R	20.2226±0.5121	19.2433~21.2516	5.2376	-0.7147+4.3762x	10.087
DDVP-R	10.1564±0.2044	9.7635~10.5651	2.2894	-2.2076+7.1593x	9.312
PH ₃ -R	12.0300±0.2659	11.5200~12.5625	2.7117	-1.8177+6.3111x	8.345
S	4.4363±0.0735	4.2943~4.5827	-	0.7460+6.5747x	8.484

等 3 个抗性品系对低 O₂+高 CO₂ 的环境胁迫都产生了一定的抗性，抗性指数分别为 3.2458、2.2894 和 2.7117。这说明，上述 3 个抗性品系对低 O₂+高 CO₂ 具有交互抗性，其交互抗性的大小依次为 HCO₂-R>PH₃-R>DDVP-R。各品系的抗性个体频率的诊断结果表明，上述 3 个抗性品系对低 O₂+高 CO₂ 的气调环境都有一定的抗性，抗性个体的频率均在 50% 以上 (表 5)。

2.1.3 HCO₂-R、HClO-R 和 PH₃-R 品系对 DDVP 的敏感性 对 HCO₂-R、HClO-R 及 PH₃-R 抗性品系采用 DDVP 进行熏蒸处理，测定各品系对 DDVP 熏蒸处理的敏感性，结果如表 3 所示。

从表 3 可以看出，3 个供试的抗性品系对 DDVP 也有一定的交互抗性。其交互抗性的高低依次为 PH₃-R>HCO₂-R>HClO-R，抗性指数分别为 2.7852、2.3172 和 1.4368。不同抗性品系对 DDVP 的抗性情况

表3 HCO₂-R、HClO-R和PH₃-R品系对DDVP的敏感性Table 3 Susceptibility of resistant strains to DDVP by *L.bostrychophila*

品系 Strains	LC ₅₀ (10 ⁻⁴ mg·L ⁻¹)	LC ₅₀ 95%的置信限 95% CI of LT ₅₀	抗性指数 RF	回归方程 (Y=) Regression equation	χ ²
HCO ₂ -R	0.6020±0.0116	0.5798~0.6251	2.3172	6.6514+7.4933x	14.478
HClO-R	0.3720±0.0177	0.3389~0.4083	1.4368	6.1223+2.6133x	15.406
DDVP-R	2.6435±0.0466	2.5539~2.7364	10.2105	1.8210+7.5298x	5.164
PH ₃ -R	0.7211±0.0144	0.6935~0.7499	2.7852	-0.5974+6.5237x	1.689
S	0.2589±0.0050	0.7493~0.2689	—	9.0040+6.8223x	9.664

表明,虽然3个抗性品系对DDVP均有一定的交互抗性,但PH₃-R品系对DDVP的交互抗性倍数最高,而HClO-R品系对DDVP的交互抗性倍数较低,说明抗气性和抗药性品系之间有一定的差异。

采用使敏感品系死亡99%的剂量作为诊断剂量(DDVP, 0.5677×10⁻⁴ mg·L⁻¹)对HCO₂-R、HClO-R、PH₃-R和DDVP-R等4个品系进行抗性个体频率的诊断分析,结果表明,PH₃抗性品系虽然对DDVP的抗性指数仅为2.7852,但是,用敏感品系的诊断剂量来处理,已经不存在敏感个体(表5)。这说明,抗PH₃的品系已对DDVP产生了完全的抗性,不存在敏感个体;两个抗气性品系HClO-R和HCO₂-R虽然对DDVP也存在交互抗性,但抗性个体的频率较低,分别为31.6%和57.6%。

2.1.4 HCO₂-R、HClO-R和DDVP-R品系对PH₃的敏感性 采用PH₃熏蒸处理对HCO₂-R、HClO-R和DDVP-R品系进行敏感性测定,结果如表4所示。

从表4可以看出,HCO₂-R、HClO-R和DDVP-R等3个供试的抗性品系对PH₃的敏感性均显著降低,它们的抗性指数分别是3.3698、2.5720和3.9614,虽然没有PH₃直接选育出的抗性指数大(4.5083),但也表现出明显的交互抗性。而且,在这种交互抗性中,

DDVP抗性品系与PH₃抗性品系的交互抗性最大,而两个抗气性品系的交互抗性则相对较低。各抗性品系的抗性个体频率的诊断结果表明(表5),DDVP-R和HCO₂-R品系,已经没有敏感个体,说明这两个品系已对PH₃产生了完全的抗性,而HClO-R品系仍有10%的敏感个体。

2.2 各抗性品系之间的双向交互抗性

如果一个品系对A药剂产生了抗性,而对从未使用过的B药剂也产生抗性,可以称为交互抗性,那么对于同一个品系来说,对B药剂产生了抗性,反过来对从未使用过的A药剂也产生了抗性,我们将这种交互抗性称为双向交互抗性。将本项研究的测定资料进行汇总,各抗性品系间交互抗性的关系如图所示。

从图中可以看出,在双向交互抗性中,正反两个方面交互抗性的测定结果是不一致的,如HCO₂-R品系对低O₂+高CO₂处理的抗性指数为3.2458;而HClO-R品系对高CO₂处理的抗性指数仅为1.8280。

2.3 各抗性品系之间交互抗性的重叠值和差异度

为了全面评价双向交互抗性的情况,笔者引进了重叠值和差异度两个概念。根据测定结果,我们将两个抗性品系间的抗性指数,以较小的一个数值作为重叠值,即两个品系间一个重叠的交互抗性值;以较大

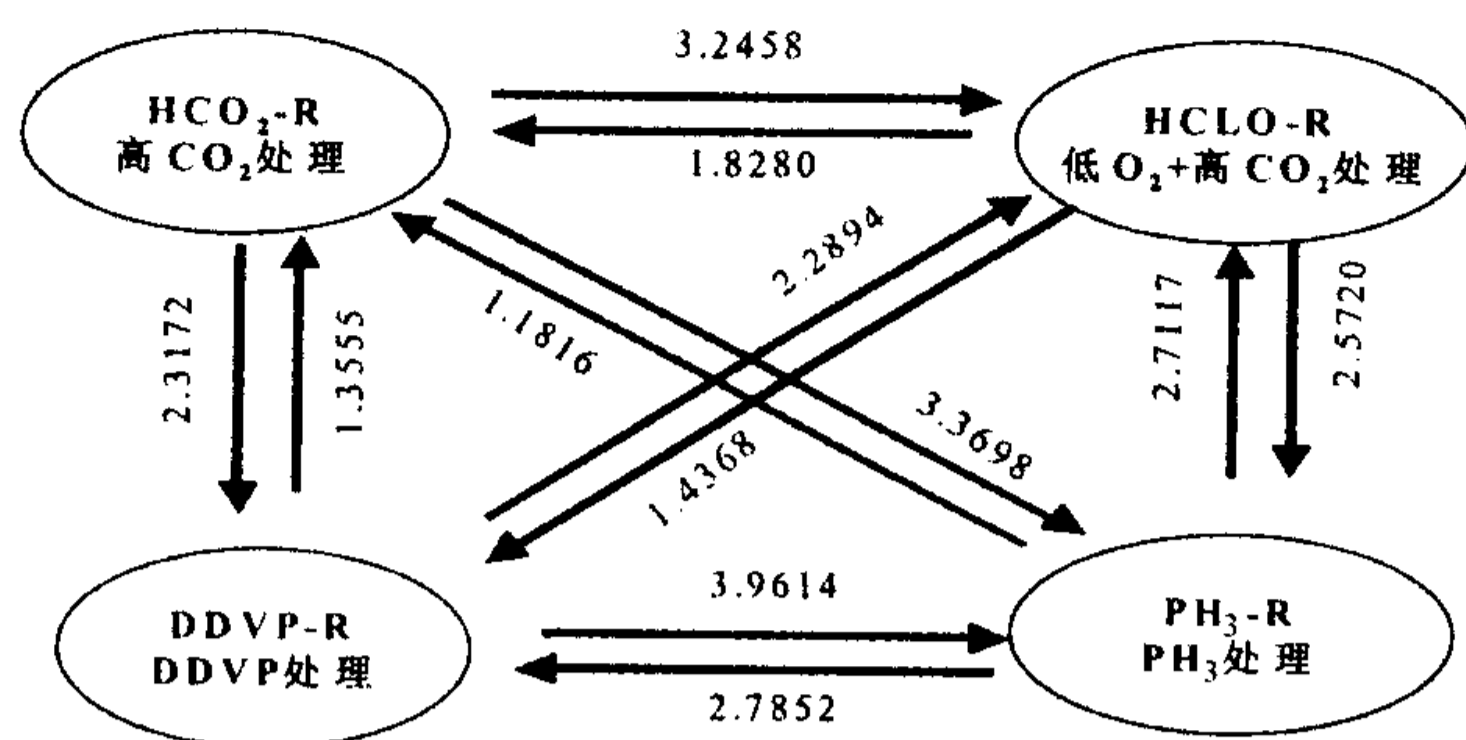
表4 PH₃对HCO₂-R、HClO-R和DDVP-R品系的致死作用Table 4 Susceptibility of PH₃ to HCO₂-R, HClO-R and DDVP-R by *L. bostrychophila*

品系 Strains	LC ₅₀ (μg·L ⁻¹)	LT ₅₀ 95%的置信限 95% CI of LT ₅₀	抗性指数 RF	回归方程 (Y=) Regression equation	χ ²
HCO ₂ -R	34.3789±0.4377	33.5316~35.2477	3.3698	-10.5351+10.1121x	28.199
HClO-R	26.2405±0.5408	25.2016~27.3221	2.5720	-3.8778+6.2565x	15.564
DDVP-R	40.4154±0.3070	39.8181~41.0216	3.9614	-22.9584+17.4028x	6.475
PH ₃ -R	45.9941±0.4155	45.1868~46.8157	4.5083	-22.6209+14.0655x	1.845
S	10.2022±0.1121	9.9849~10.4243	-	-9.8270+11.3207x	1.213

表5 嗜卷书虱不同抗性品系的抗性个体频率诊断结果

Table 5 Frequency of resistant individual to the diagnostic doses of different treatment

处理 Treatment	诊断剂量 Diagnostic dose	单位 Unit	抗性个体频率 Frequency of resistant individual (%)			
			HCO ₂ -R	HClO-R	DDVP-R	PH ₃ -R
高CO ₂ Hypercarbia	13.1541	h	100	76.6	47.8	33.1
低氧、高CO ₂ Hypoxia and hypercarbia	10.0198	h	76.5	90.9	51.6	69.2
DDVP	0.5677	10 ⁻⁴ mg·L ⁻¹	57.6	31.6	100	100
PH ₃	16.3753	Mg·L ⁻¹	100	90	100	100



箭头方向表示该品系对某种处理的抗性。如箭头从 $\text{HCO}_2\text{-R}$ 出发到 $\text{PH}_3\text{-R}$ 表示高 CO_2 品系对 PH_3 的抗性情况。箭头上的数据表示抗性指数。The direction of the arrow indicates the resistance to a specific treatment, e.g. $\text{HCO}_2\text{-R} \rightarrow \text{PH}_3\text{-R}$ indicates the resistance of $\text{HCO}_2\text{-R}$ to PH_3 . And the data is RF

图 各抗性品系间交互抗性的关系图

Fig. The relationship of cross-resistance in different resistant strains

表 6 嗜卷书虱不同抗性品系间交互抗性的重叠值和差异度

Table 6 The overlapping and separate values of different resistant strains of *L. bostrychophila*

抗性品系 Resistant strains	抗性指数 RF	交互抗性指数 Cross-resistance factors	重叠值 Overlapping value	差异度 Separate value
$\text{HCO}_2\text{-R}-\text{HCLO-R}$	3.2547, 5.2376	3.2458, 1.8280	1.8280	1.4178
$\text{HCO}_2\text{-R}-\text{DDVP-R}$	3.2547, 10.2105	2.3172, 1.3555	1.3555	0.9617
$\text{HCO}_2\text{-R}-\text{PH}_3\text{-R}$	3.2547, 4.5083	3.3698, 1.1816	1.1816	2.1882
$\text{HCLO-R}-\text{DDVP-R}$	5.2376, 10.2105	1.4368, 2.2894	1.4368	0.8526
$\text{HCLO-R}-\text{PH}_3\text{-R}$	5.2376, 4.5083	2.5720, 2.7117	2.5720	0.1397
$\text{PH}_3\text{-R}-\text{DDVP-R}$	4.5083, 10.2105	2.7852, 3.9614	2.7852	1.1762

含量 (35%) 高于一般大气, 而且 O_2 含量 (1%) 也低于一般大气。理论上讲, 后者的选择压力更大, 从实际的抗性指数来看, 也是后者 (5.2376) 大于前者 (3.2547)。

$\text{HCO}_2\text{-R}$ 对低 O_2 +高 CO_2 气调的交互抗性指数为 3.2458, 由于本文计算的气调抗性指数都是以同一敏感品系的 LT_{50} 为基础, 因此可以认为 $\text{HCO}_2\text{-R}$ 品系对低 O_2 +高 CO_2 的交互抗性占该品系原抗性的 99.7%; 而 HCLO-R 对高 CO_2 气调的抗性指数为 1.8280, 仅占该品系原抗性的 34.9%。两者相比, 说明 $\text{HCO}_2\text{-R}$ 对低 O_2 +高 CO_2 气调的交互抗性远大于 HCLO-R 对高 CO_2 的交互抗性。这种情况表明, 虽然同是气调处理, 但气体组分不同, 诱导产生的抗性品系会有不同的抗性效果。应该是一旦形成了高 CO_2 的抗性品系, 则同样会对低 O_2 +高 CO_2 有抗性, 而形成了低 O_2 +高 CO_2 的抗性品系, 则对高 CO_2 的气调处理的抗性程度要低

的交互抗性值减去较小的交互抗性值, 称为两者的差异度。各抗性品系交互抗性的重叠值和差异度结果如表 6 所示。

从表 6 可以看出, 抗 PH_3 和抗 DDVP 品系的重叠值最大, 而且差异度并不大; HCLO-R 品系和 $\text{PH}_3\text{-R}$ 品系的交互抗性指数的重叠值比较大, 但差异度却很小, 由此可以初步比较出两个品系的抗性机理相似性比较大; 而两个气调抗性品系之间的交互抗性最为明显, 两者之间的重叠值比较大, 但是, 两者之间的差异度也比较大, 因此, 两者之间虽然有一定的交互抗性, 但是, 两者之间的交互机理却有一定的差异。

3 讨论

3.1 不同抗性品系之间交互抗性程度的分析

3.1.1 两个气调抗性品系间的交互抗性分析 在抗性选育过程中, 两个气调抗性品系 $\text{HCO}_2\text{-R}$ 和 HCLO-R 所采用的气体组分有明显的差异, 表现在前者仅 CO_2 (35%) 的含量高于一般大气, 而后者较前者不仅 CO_2

一些。

3.1.2 两个抗药性品系间交互抗性的分析 DDVP-R 的抗性指数为 10.2105, $\text{PH}_3\text{-R}$ 的抗性指数为 4.5083。DDVP-R 对 PH_3 的交互抗性指数为 3.9614, 为 DDVP-R 原抗性指数的 38.8%, 而 $\text{PH}_3\text{-R}$ 对 DDVP 的交互抗性指数为 2.7852, 为 $\text{PH}_3\text{-R}$ 原抗性指数的 61.8%。这表明, $\text{PH}_3\text{-R}$ 对 DDVP 的交互抗性大于 DDVP-R 对 PH_3 的交互抗性。也就是说, 当嗜卷书虱对 PH_3 产生抗性后, 则对 DDVP 也会产生相当程度的抗性, 这在嗜卷书虱防治实践中应特别注意。

DDVP 作为有机磷杀虫剂, 虽然这里作为熏蒸剂使用, 但其作用机制与常规熏蒸剂 PH_3 相比有其差异性。但是, 以 DDVP 处理 PH_3 的抗性品系, 该品系对 DDVP 的抗性指数可达 2.7852, 以 DDVP 敏感品系的 LC_{99} 的剂量作为诊断剂量, PH_3 抗性品系中不存在对 DDVP 的敏感个体; 以 PH_3 处理 DDVP 的抗性品系,

DDVP 抗性品系的抗性指数可达 3.9614, 同样以 PH_3 敏感品系的 LC_{99} 的剂量作为诊断剂量, DDVP 的抗性品系中也不存在对 PH_3 的敏感个体。所以, 这两个品系对药剂的抵抗力应该是群体的整体抗性发展所导致, 而且也与筛选频率有关。

3.1.3 高 CO_2 抗性品系与抗药性品系间的交互抗性

$\text{HCO}_2\text{-R}$ 的抗性指数为 3.2547, 但采用高 CO_2 处理 DDVP 和 PH_3 的抗性品系, 可以获得 1.3555 和 1.1816 倍的抗性指数, 分别是 $\text{HCO}_2\text{-R}$ 抗性指数的 41.63% 和 36.30%。以高 CO_2 敏感品系的 LT_{99} 作为诊断剂量, 抗 DDVP 和 PH_3 的两个抗性品系的抗性个体频率分别为 47.8% 和 33.1%。这说明, 这两个抗药性品系对高 CO_2 气调处理也形成了明显的抗性。DDVP-R 的抗性指数为 10.2105, 但采用 DDVP 处理 $\text{HCO}_2\text{-R}$ 品系, 该品系的抗性指数为 2.3172, 仅为 DDVP-R 品系抗性指数的 20.93%。采用对 DDVP 敏感品系 LC_{99} 的剂量对该抗性品系进行诊断, $\text{HCO}_2\text{-R}$ 品系中仍有 42.4% 的敏感个体。因此, 可以说明, DDVP-R 和 $\text{HCO}_2\text{-R}$ 两个品系间也有一定的交互性, 但是交互性要低一些。

$\text{PH}_3\text{-R}$ 的抗性指数为 4.5083, 而 $\text{HCO}_2\text{-R}$ 对 PH_3 的抗性指数可达 3.3698 倍, 是 $\text{PH}_3\text{-R}$ 的 74.75%; 在对 PH_3 敏感品系 LC_{99} 的诊断剂量下, 抗高 CO_2 已经没有敏感个体的存在, 说明该品系已经完全形成了对 PH_3 的抗性。抗 PH_3 品系对高 CO_2 有一定抗性, 但抗性指数仅为 1.1816, 而且在诊断剂量下, 仍有 33.1% 的敏感个体存在。二者的双向交互性是 $\text{HCO}_2\text{-R}$ 品系对 PH_3 的交互抗性要大于 $\text{PH}_3\text{-R}$ 对 CO_2 的抗性。也就是说, 一旦形成了对高 CO_2 的抗性, 则对 PH_3 也会产生明显抗性, 但形成了对 PH_3 的抗性品系而对高 CO_2 仍有一定的敏感性。这在对储藏物害虫进行气调与药剂处理时应给予高度重视。

3.1.4 低 O_2 、高 CO_2 抗性品系与抗药性品系间的交互抗性 HCLO-R 的抗性指数为 5.2376, 但采用低 O_2 +高 CO_2 的气调处理 DDVP-R 和 $\text{PH}_3\text{-R}$, 二者对低 O_2 +高 CO_2 的抗性指数分别为 2.2894 和 2.7117, 分别是 HCLO-R 原抗性指数的 43.71% 和 51.77%。采用低 O_2 +高 CO_2 敏感品系 LT_{99} 的剂量诊断两个抗性品系, DDVP-R 和 $\text{PH}_3\text{-R}$ 品系抗性个体的频率分别为 51.6% 和 69.2%。说明两个抗药性品系均对低 O_2 +高 CO_2 气调处理产生了一定的抗性。

而采用 DDVP 处理 HCLO-R 品系, 其可以产生 1.4368 倍的抗性, 仅为 DDVP-R 的 14.07%, 采用 DDVP 敏

感品系 LC_{99} 的剂量进行诊断, 结果该品系仍有 68.4% 的敏感个体。这说明, DDVP-R 品系和 HCLO-R 品系间所形成的交互抗性只是很轻微的, 特别是形成了抗低 O_2 +高 CO_2 的品系之后, 对 DDVP 的处理仍有较大的敏感性。因此, 在采用低 O_2 +高 CO_2 气调处理形成抗性之后, 仍可以采用 DDVP 进行处理。

采用 PH_3 处理 HCLO-R 品系, 其可以产生 2.5720 倍的抗性, 是 $\text{PH}_3\text{-R}$ 原抗性指数的 57.05%。采用 PH_3 敏感品系 LC_{99} 的剂量进行诊断, 结果该品系仅有 10% 的敏感个体。这说明, HCLO-R 品系对 PH_3 也形成了抗性; 但是 PH_3 的抗性品系对低 O_2 +高 CO_2 气调处理的抗性要低一些。

3.2 气调与熏蒸剂的抗性评价

一般来说, 农业害虫对于杀虫剂的处理, 当抗性指数达到 5 倍以上时, 即表明产生了抗性^[12]; 但是评价抗性是否产生仅用抗性指数来表达是不够的, 还必须结合回归直线的斜率值, 即坡度。同时, 诊断剂量也可以用来说明抗性发展的程度。对于贮藏物害虫的气调处理, 抗性指数达到多少时才算产生了抗性, 目前还没有一个具体指标。以气调处理这一致死方式来说, 其本身的作用时间就比较长, 而且致死作用将影响到昆虫生理生化的多个方面, 抗性增长 1 倍, 就意味着处理时间的加倍, 而昆虫要发展出忍耐加倍致死时间的长度, 其体内的代谢变化要比化学农药的情况复杂的多。根据本试验 45 次抗性筛选的结果, 笔者认为, 对于用 LT_{50} 表示的抗性指数只要明显大于 1, 且用诊断剂量判断超过 30% 的抗性个体, 即可认为该品系已经产生了抗性。同样, 昆虫对熏蒸剂是否产生抗性也可以此标准来判断。

3.3 气调与熏蒸剂的抗性机理

根据昆虫对药剂产生交互抗性的情况, Brown^[13] 把昆虫产生抗性的类型分为 6 类: DDT、环戊二烯类和六六六、有机磷、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯和甲脒类 (formamidines)。一般说来, 同一类杀虫剂之间容易发生交互抗性, 一类杀虫剂与另一类杀虫剂之间是否发生交互抗性的问题则比较复杂^[14], 这取决于杀虫药剂的作用机理。作用机理相同的杀虫剂易产生交互抗性, 即使不是同一类的杀虫剂, 如果有相同的作用机理仍会产生交互抗性。已有研究表明, 气调对昆虫的作用机理比较复杂, 明显有别于化学杀虫剂^[15]。但本项研究的结果表明, 气调和 PH_3 、DDVP 虽然具有不同作用机理的杀虫方式, 但却能诱导嗜卷书虱

产生一定的交互抗性。因此,对交互抗性形成机制的研究还需要进一步加强。

本项研究结果表明,嗜卷书虱抗气性品系之间,抗药性品系之间,抗气性与抗药性品系之间,均可产生不同程度的交互抗性。这一测定结果与实仓嗜卷书虱防治中遇到的问题相吻合。不少研究表明,PH₃和高CO₂混合熏蒸时,CO₂不仅能提高PH₃的毒力^[16],还能抑制害虫的有氧代谢^[17],刺激昆虫的气门打开^[18-19],从而导致虫体水分丧失而死亡。因此,气调和化学药剂熏蒸两种措施的配合使用,一般并不影响防治的效果,反而能够起到增效作用。但是,一旦采用某种单一的措施诱发了昆虫的抗性,则另一种措施的效果就可能随之降低。这一点,在嗜卷书虱的抗性治理中非常重要。

3.4 关于交互抗性问题的

关于交互抗性的研究已有许多研究报道^[20-22],但是,目前还没有双向交互抗性的提法。交互抗性的一般定义是指某一个品系对药剂A产生抗性后,对另一种从未接触过的药剂B也具有了抗性。从“交互”本身的概念来理解,交互抗性应该从两个方面来判断。对同一个物种来说,一方面用对A药剂产生了抗性的品系来判断是否对B药剂产生抗性;另一方面,还应该判断对B药剂产生了抗性的品系是否对A药剂也产生抗性。从理论上讲,对A药剂产生抗性之后,对从未使用过的B药剂也产生抗性,这说明B药剂的作用机制与A有相同或相似之处,但反过来讲,对B药剂产生抗性之后,不一定会对A药剂产生抗性,因为A药剂的作用机制可能会比B复杂一些,或者是作用位点要多一些。因此,交互抗性的判断应该从正反两个方面来确定,只有通过正反两个方面的测定,才能获得完全的交互抗性信息。本项研究通过对4个抗性品系对4种不同环境胁迫交互抗性的测定,提出了双向交互抗性的概念,并提出了以重叠值和差异度评价双向交互抗性的方法。这一方面可以用来判断昆虫对两种不同的环境胁迫产生交互抗性程度的大小,而且可以由此探讨两种不同环境胁迫在作用机理上的差异程度,在抗性治理和抗性机理的研究上有重要意义。

References

- [1] McDonald D. Fumigation: What next after methyl bromide? *International Pest Control*, 2001, 3 (4): 140-141.
- [2] Donahaye E. Physiological differences between strains of *Tribolium castaneum* selected for resistance to hypoxia and hypercarbia, and the unselected strain. *Physiology Entomology*, 1992, 17: 219-229.
- [3] Wang J J, Zhao Z M, Li L S. Induced tolerance of the psocid, *Liposcelis bostrychophila* Badornel (Psocoptera: Liposcolididae), to controlled atmosphere. *International Journal of Pest Management*, 1999, 45(1): 75-79.
- [4] 沈兆鹏. 书虱的种类、生物学特性及防治. *粮食储藏*, 1995, 24(4): 11-14.
Shen Z P. Species and biology of psocids and its control. *Grain Storage*, 1995, 24(4):11-14. (in Chinese)
- [5] 丁伟, 李隆术, 赵志模. 书虱的综合治理研究进展. *粮食储藏*, 2001, 30(4): 3-6.
Ding W, Li L S, Zhao Z M. Research advance on IPM of booklice. *Grain Storage*. 2001, 30 (4):3-6. (in Chinese)
- [6] Pinniger D B. Recent research on psocids in aspects of pest control in the food industry: Proceedings of the symposium of the society of food hygiene technology. *Nottingham, SOFFH*, 1984:37-42.
- [7] Wang J J, Zhao Z M. Resistme and some enzyme activities in *Liposcelis bostrychophila* Badornel (Psocoptera: Liposcolididae) in relation to carbon dioxide enriched atmospheres. *Journal of Stored Product Research*, 2000, 36: 169-175.
- [8] Leong E C W, Ho, S H. Techniques in the culturing and handling of *Liposcelis entomophila* (Enderlein). *Journal of Stored Product Research*, 1990, 26 (2): 60-70.
- [9] 丁伟, 王进军, 赵志模. 书虱实验种群饲养技术研究. *西南农业大学学报*, 2001, 23 (4): 304-306.
Ding W, Wang J J, Zhao Z M. Study on the breeding conditions for the laboratory populations of booklice (*Liposcelis*). *Journal of Southwest Agricultural University*, 2001, 23(4): 304-306. (in Chinese)
- [10] 吴仕源, 曾正, 邓永学. 气体浓度控制仪的制作及使用. *西南农业大学学报*, 1992, 14 (2): 47-51.
Wu S Y, Zeng Z, Deng Y X. How to make and use the controlled atmosphere (CA) instrument. *Journal of Southwest Agricultural University*, 1992, 14 (2): 47-51. (in Chinese)
- [11] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其计算机处理平台. 北京: 中国农业出版社, 1997: 135-139.
Tang Q Y, Feng M G. *Practicality Statistic Analysis and Computer Process System*. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 135-139. (in Chinese)
- [12] 唐振华, 黄刚. 农业害虫抗药性. 北京: 农业出版社, 1982: 4-11.
Tang Z H, Huang G. *Resistance of Agricultural Insects*. Beijing: Agricultural Press, 1982: 4-11. (in Chinese)
- [13] Brown A W A, Pal R. Insecticide resistance in arthropods. *WHO Monograph Serie*, No 38, Geneva, 1971.
- [14] 唐振华. 昆虫抗药性及其治理. 北京: 中国农业出版社, 1993.
Tang Z H. *Insecticide Resistance in Insect and Management*. Beijing: China Agriculture Press, 1993. (in Chinese)

- [15] 程伟霞, 丁 伟, 赵志模. 气调(CA)对储藏物害虫的作用机制. 昆虫知识, 2001, 38(5): 330-333.
Cheng W X, Ding W, Zhao Z M. Mechanisms of controlled atmosphere suppressing stored product pests. *Entomological Knowledge*, 2001,38(5):330-333. (in Chinese)
- [16] Jones R M. Toxicity of fumigant- CO₂ mixtures to the red flour beetle. *Journal of Economic Entomology*, 1983, 31: 298-309.
- [17] Navarro S, Galderon M. Exposure of *Ephestia Cautella* (Wik) Pupae to carbon dioxide concentrations part different relative humidities the effect on adult emergence and loss on weight. *Journal of Stored Product Research*, 1974, 10: 237-241.
- [18] 翦福记, 陈启宗, 陆安邦. 磷化氢、二氧化碳混合气体对腐食酪螨成螨的生物学效应. 昆虫学报, 1995, 38(1): 11-19.
Jian F J, Chen Q Z, Lu A B. Some biochemical aspects of phosphine in combination with carbon dioxide against the adults of *Tyrophagus putrescentia* (Schrank) (Astigmata: Acaridae). *Acta Entomologica Sinica*, 1995, 38(1): 11-19. (in Chinese)
- [19] Rajendran S, Nayak K R, Anjum S S. The action of phosphine-resistance and -susceptible strains of *Rhyzopertha dominica* F. *Pest Management Scienc*, 2001, 57: 422-426.
- [20] Noppum V T, Miyata T, Saito T. Laboratory selection for resistance with phenthoate and fenvalerate in the diamond-back moth, *Plutella xylostella* L.(Lepidoptrra: Yponomeutidae). *Crop Protection*, 1986, 5(5): 323-327.
- [21] 吴益东, 沈晋良, 尤子平. 棉铃虫对氰戊菊酯抗性和敏感品系的选育. 昆虫学报, 1994, 37(2): 130-135.
Wu Y D, Shen J L, You Z P. Laboratory selection for fenvalerate resistant and susceptible strans in cotton bollworm, *Heliothis armigera* (Hübner). *Acta Entomologica Sinica*, 1994, 37(2): 130-135. (in Chinese)
- [22] McCaffery A R, Walker A J, Topper C P. Insecticide resistance in the bollworm, *Helicoverpa armigera* from Indonesia. *Pesticide Science*, 1991, 32: 85-90.

(责任编辑 王红艳)

欢迎订阅

《植物学报》由中国科学院植物研究所和中国植物学会主办, 是植物学综合性学术期刊。主要刊登: 植物生理生化、植物分子生物学、植物遗传学、植物生殖生物学、植物生态学、植物化学与资源植物学、植物系统与进化、古植物学以及生物技术等领域的原始研究论文、综述和快讯。国内统一刊号为 CN 11-5067/Q, 国际标准刊号变更为 ISSN 1672-9072, CODEN 码 CHWHAY, 国际标准 A4 大 16 开, 每月 10 日出版, 每期 128 页, 铜版纸印刷。国内发行, 定价每期人民币 90 元, 全年 1080 元, 国内邮发代号 2-500, 邮局订购。国外订购请与 Blackwell Publishipng 联系。主要读者对象: 植物学、农、林、医药、轻工领域的研究、教学人员, 从事资源调查、开发利用的技术人员, 以及有关管理干部和专家, 高校学生。本刊自 2005 年第一期起, 将由国际著名的 Blackwell Publishing 出版, 英文名称为 “Journal of Integrative Plant Biology”。编辑部地址: 北京香山南辛村 20 号, 邮编 100093; 电话: 010-62591431-6563;82592636;传真: 010-82592636;E-mail:jiaoyali@ibcas.ac.cn