

生物防治的新技术

H·C·科普尔和J·W·麦廷斯著

唐 文 青 译



新疆科学技术情报研究所

一九八三年三月

前 言

生物防治是消灭害虫的一种方法，主要是利用某些生物或其代谢产物去防除病虫害。这种方法对人畜较为安全，不污染环境，节省人力、物力，效果良好，是害虫防治中一种高效、安全、经济的措施。

生物防治的历史悠久，经验丰富，新技术新方法层出不穷。为了总结这方面的经验和动态，美国俄勒冈大学昆虫系教授科普尔和麦廷斯，花了两年多的功夫，搜集了世界各地的有关资料，编写成了《害虫的生物抑制》一书。该书内容较为充实，有论有据，图文并茂，全面地系统地论述了生物防治的历史、先进经验及目前发展概况，因而它是科研、生产、教学较好的参考书。

为了使读者更快地了解到生物防治的最新技术和发展概况，我们把本书的第四、五部分先行翻译出版。译文中个别标题略有更动。

鉴于水平有限，错误和不当之处在所难免，请读者批评指正。

目 录

一、利用植物抗性防治害虫	(1)
1、抗性的机制	(1)
2、影响抗性的因子	(3)
3、利用寄主抗性的原理和方法	(6)
4、利用寄主抗性的例子	(8)
5、寄主抗性在害虫抑制中的作用及局限性	(12)
二、环境控制和耕作实践	(15)
1、改变环境使之不利于农业害虫的生存	(15)
2、改变环境 促进天敌的发展	(22)
三、自杀防治和遗传防治	(29)
1、利用性的不育性根除害虫	(29)
2、害虫种群的遗传防治	(35)
3、竞争性取代	(38)
4、有益生物的遗传改良	(41)
四、影响昆虫发育、变态和行为的天然决定因素	(46)
1、激素	(46)
2、外激素	(52)
3、拒食剂	(59)
五、综合抑制	(62)
1、害虫综合抑制的概念	(63)
2、农药及其对生物体系的影响	(64)
3、人类教育	(66)
4、目前害虫综合抑制的例子	(69)
六、回顾、反省和展望	(71)
1、以往的成就	(72)
2、目前的状况	(75)
3、未来的方向	(76)

害虫生物防治的新技术

害虫生物防治现代概念的含义远远超出了传统生物防治实际应用的范围。现代害虫生物防治的含义不仅包括传统的生物防治,而且包括着在生物防治中出现的所有新技术。这些新技术涉及到人类对害虫的生物环境的控制。现在人们可通过适宜的干扰,改变有害生物种的特性(即内部环境),或在害虫的外部环境中改变某些与虫口密度无关的条件,引起害虫的死亡,从而获得经济效益。为了方便起见,我们可把这些技术大体上分为两类:一类包括直接关系到有害生物本身的技术,另一类包括生态系统中其它因子的技术。就前一类而言,我们可把古代的而经受过时间考验的习惯做法包括进去,诸如繁育抗害寄主和各种耕作防治。这两方面技术共同构成一个体系,即改变环境中密度无关的条件因子体系,旨在减少它对有害生物的潜在载虫量。后一类包括若干更新的研究技术,主要目的在于改变有害生物种的特性,诸如改变遗传组织或繁殖能力,或干扰正常的行为和发育机能。

一 利用植物抗性防治害虫

认识和改良对昆虫为害具一定抗性的作物品种很可能是以生物学为基础的害虫抑制的最古老的方式。诚然,农业史一直是同用各种方法对驯化了的动植物进行改良共同发展着,其中包括作物对害虫为害的抵抗力。然而,有关这种现象的资料最早出版的年代已经到了十八世纪末。那时提出了小麦对小麦癭蚜 *Mayetiola destructor* (say) 具抵抗力的可能性(Painter, 1951年)。1831年,林德林在英国记述了苹果对绵蚜 *Eriosoma Larnigerum* (Hausman) 的变种抗性。在十八世纪八十年代期间,法国从美国输入了抗葡萄根瘤蚜的根块,拯救了濒临毁灭的葡萄园(Howard, 1930年; Ordish, 1972年)。最近的评论业已论述到禾谷类作物(Gallun等人, 1975年)、林木(Hanover, 1975年)和各类栽培农作物(Maxwell等人, 1972年)的抗性。作为一种防治农业害虫的经济而有效的方法,欲超乎寄主抗性之上是困难的;而“寄主抗性在材料和劳力方面在不增加额外费用的情况下却可为防治昆虫的为害提供保护和保证,同时不会发生化学药品或化学药品残留物所造成的危险(Painter, 1968年)。实际上,它已被称之谓防治昆虫的理想方法(Packard和Martin, 1952年; Luginbill, 1969年)。

1 抗性的机制

对抗性这个词不同的人有不同的解释,若干科学家已试图给这个概念下定义而分析了它的各个方面。芒福德(1931年)是第一批这样的科学工作者之一。他虽然认识到并论述了抗性的最重要特征,可他把这种现象分为增强抗害力(由于外部发生的因子)和自体抗害作用(由于外部的生化因子)。这种分法几乎还未发现有利的差别。后来,斯内林把抗性定义为,那些

能使一种植物逃避、耐受昆虫的袭击或从这种袭击下复壮的特征，在这种袭击情况下往往给同种其它植物造成更大的损害。他在这篇文献中列举了构成抗性的广义概念的15类，以此阐述这个学科的复杂性。1962年，切斯诺克夫强调了专性寄主各种特性的重要意义，这些特性可防止或减少昆虫对个别植物种的为害，或使这个植物种耐受所遭到的破坏；相比之下，其它特定的栽培植物种在同样条件下则易于遭受严重的破坏而导致减产。他认识到两种主要的特性：免疫性或这个种或变种受害比较轻，和对可能造成减产的受害的抵抗力（即耐受性）。由于过份强调了环境调节所需特征的重要性，因而，在苏维埃社会主义联邦共和国以外的地区，切斯诺克夫所阐述的理论尚未被普遍地接受，这些地区反而欢迎孟德尔遗传理论。

关于植物抗性，最为普遍、最为著名的受到欢迎的理论当然是佩因特(1936年,1951年,1966年)所阐述的理论。佩因特强调了这一实事，即抗性只有在相关词汇中才可下定义，而且它是昆虫和植物间相互作用的结果。他指出，几乎可以说，抗性表示某个品种生产出品质优良的作物产量比普通品种生产出的产量多的能力。每一个品种皆可影响昆虫所造成的最终程度的破坏，而这种能力正是这样的品种所具有的量成比例的遗传品质所造成的结果。据认为，专性寄主对专性害虫所呈现的抗性度不同于免疫性，说明在任何条件下对高敏感皆无消耗或损害，说明这种潜力远比昆虫对这种植物给予的平均破坏力大得多。佩因特对抗性原因的分析是基于在田间条件下的实际观察，其中包括三个主要机制：无适应性、抗生和耐性。1958年，斯威特曼提出一个基本相似的分类，只不过把这些方面叫做物理抗性、化学抗性和生理抗性。无适应性指的是一种植物不利于昆虫把它作为产卵的场所、食物和掩护物的行为反应的特征（或各种特征）。抗生对此害虫的生长和成活施加一种不利的影响，经常阻碍、损害和破坏昆虫的生活，但也不总是利用化学手段。耐性可使植物负荷同种昆虫的虫口，尽管品种的抗性较弱，但仍可利用迅速地恢复伤害而保持其正常的活力、生长、繁育和生产。这些抗性因子是相互关联的，且在许多时机中它们的界限不清（Beck, 1965年）。虽然一个寄主体内的抗性可能是它们之中任何一个因子促成，但它通常是三种因子以某种形式的联合而造成的。例如，霍伯（1965年,1972年）从金龟子幼虫 *Melolontha Vulgaris* F、严重感染的田间采集的几种苜蓿品系的根部中发现所有这三种因子皆很活跃。荚果的多毛性长期以来就被一直认为是对蝉具抵抗力的基础（Hollowell等人, 1927年），然而有时它只是形成抵抗力的部分原因（Jewett, 1932年；Johnson和Hollowell, 1935年）。

最近，贝克（1965年,1974年）对抗性又重新下了定义，而把耐性排除在考虑之外。这样一来，植物抗性就是综合的遗传特征，赖以这些特征，一个植物种、小种、无性繁殖系或个体可减少一个昆虫种、种族、同型小种或个体成功地利用这种植物作为一种寄主的可能性。尽管耐性是农学的一个重要特征，但是，贝克认为，就这种狭义而言，它含有一种实质上不同于其它两种机制的生物学特征。

与抗性发生着几分相互关联的另一类群一直被称谓假抗性(Pseudoresistance)(Painter, 1951年)。这个词可应用于在潜在易感寄主体内由于短暂的境遇而产生的类抗性。如果寄主的最易感染期很短促，或害虫种群处于一种低度衰退状态，那么就会发生寄主逃避现象。例如，如果害虫在季节末期才能形成大量的虫口时，那么，早期播种的易感品种就可逃避害虫的主要伤害。诱发抗性是一种暂时的条件，它是由于有益地改变植物环境中的某个条

件而形成的，如施肥或浇水。逃避指的是一种易感的寄主在一个严重感染的种群内由于某种异常的境遇未必然而偶然地没有受到伤害或感染。

2 影响抗性的因子

寄主真抗性是由遗传特征产生的，而不是由象那些促成假抗性发生的生态学条件产生的。无论何处，凡目标昆虫是一种潜在的害虫，在理论上真抗性皆将呈现出来；因此，就其本身而言，它是两种抗性中最有希望且研究得最多的抗性。但是，甚至是遗传特征也只有在一种与之相关的既定环境中才可表示。因此，抗性将或多或少地受到各种环境因子的影响，有些抗性影响到寄主，而有些抗性则关系到昆虫。在一种导入遗传过程中所研究的简单例子是绝大多数抗性几乎不受环境的影响。植物育种者知道，他们不用一个专性特征进行多次的研究，而代之以一种特殊的方法把生物的倾向性反应到某个环境中。把这个概念应用到昆虫抗性之中，我们发现，如果环境改变了，那么寄主——害虫的关系可能改变，也可能不改变。

(1) 寄主体中表现度正在变化的因子

土壤因子和气候因子对抗性表现度具有相当大的作用 (Painter, 1951年; 美国科学院, 1969年a)。湿度高可促进气味的检测，因此，也许会影响昆虫对寄主有吸引力的或讨厌的溢出物作出适宜的或非适宜的反应。含有机物质高的土壤中长出的葱，其刺激性是沙土中长出的葱的两倍 (Yarnell, 1942年)。因此，如果一只昆虫受到葱气味的引诱或排斥，那么，仅仅这种寄主的基质就可能直接对感染率起着很大的不同作用。土壤湿度可通过水份平衡和渗透压力也许会影响到植物对昆虫的抗性 (Withycombe, 1926年)。这类影响对防治吸水昆虫非常有效，虽然要着重指出品种的差异，但可能表现出抗性降低 (Painter, 1951年)。许多研究者已经注意到了土壤肥力与受到昆虫伤害的植物之间的关系 (Painter 的评论, 1951年)。在某些情况下，提高土壤肥力可增强植物对昆虫袭击的抗性 (Keen, 1936年; Chesnokov, 1962年; Leuck, 1972年; Goyer和 Benjamin, 1972年; Smirnoff和 Valero, 1975年)；而在另外一些情况下，则具相反的效应 (Huber等人, 1928年; Shaw和 Little, 1972年)。目前，只能得出两种结论：在任何情况下，土壤肥力既不可能使一种抗性植物变成易感植物，也不可能使一种易感植物变成抗性植物 (美国科学院, 1969年a)。每一个昆虫种和每一棵植物将形成一个独特的问题，要具体情况具体分析 (Painter, 1951年)。温度的效应也已有记载 (Dahms和 Painter, 1940年; Albrecht和 Chamberlain, 1941年)。这些记载指出，苜蓿抗蚜虫品系在温度较高时所呈现出的特性要比在温度低的情况下强，这也许是提高了生长率的缘故。高粱对麦二荏蚜 *Schizaphis graminum* (Rondani) 的抗性，其类似的效应也有记述 (Wood和 Starks, 1972年)。然而，小麦对蚜虫的抗性在高温的情况下可能有相反的效应 (美国科学院, 1969年a)。

若干生物因子也影响着寄主表现出来的抗性。寄主的龄期可能很重要 (de Wilde等人, 1969年)。例如，一个玉米品种的植株，让蛭蟥咬上一次，不同的龄期便产生不同的结果；对籽苗咬上一口就可能使该植株死亡，而在植株生长到一半的时候，被咬上一口，本质上往往是不受影响的。只有短叶松 *Pinus banksiana* Lambert 当年生长的叶子对锯角叶蜂

Neodiprion的两个种是不能接受的,但这种情况一般只限于这种寄主范围以内(Benjamin和Aff, 1973年)。1974年,哈维和哈克罗特在研究高粱的过程中发现,只要幼苗对麦二荏蚜呈现出一种高度的抗性,就有可能获得最高的产量。昆虫往往是植物病的病媒虫(Carter, 1973年)。在一种植物体中存在一种次致死感染,就有可能使该植物对害虫的袭击更具吸引力(Baker, 1960年; Whitten和Swingle, 1958年; Fleming, 1972年),或则抗化学制剂的能力减弱,或则对这种袭击的耐受性降低。可能影响植物抗性的其它生物学因子,通过选择在遗传上早熟品种和杂种优势品种的途径是可以避开的(Painter, 1951年)。邻近的个体存在或不存在,也可能对抗性产生一种效应。就肉用牛而言,其主要的区别业已呈现出角蝇Haematobia irritans (L.)和厩蝇S. Calcitrans (L.)喜爱黑色皮毛甚于浅色皮毛(美国科学院, 1969年a)。因此,浅色品种的牛和黑色品种的牛一块儿放牧的时候,浅色品种的牛就显示出相对的非适应性,但浅色家畜本身可能受到严重地感染。

(2) 可改变害虫反应的因子

影响害虫对它们具抗性的寄主的反应的因子中,首要的因子是遗传属的研究。为了这方面的论述,这些因子可定义为,一个害虫种的生物学品系通常在形态学上辨别不出来,而一个在遗传学上稳定的寄主品种则呈现出种种的生理反应。改良能够袭击抗病作物品种的病原体种长久以来就已被认识到了。举一个最近的例子,人们只需要考虑一下在十九世纪七十年代初,真菌病原体Helminthosporium maydis Nisikado和Maiyake(南方谷物叶子枯萎病)毁掉了美国的谷类作物就足以说明。这种现象在害虫中没有在病原体中那样普遍,但有几个例子是众所周知的(Singh和Painter, 1965年; Briggs, 1965年; Hatcher和Gallun; Neilson等人, 1970年; Wood, 1971年)。玉米植株上的玉米螟(Chiang等人, 1968年)和小麦植株上的瑞典杆蝇Oscinella frit(L.)(Chesnokov, 1962年)二者体内的遗传属也有说明。昆虫的遗传族似乎主要有两类。最为罕见的是,豌豆上的豆长管蚜Acyrthosiphon Pisum(Harris)所呈现的遗传属,在这种作物上,很显然,在成功的遗传属中较强的活力和较大的个体绝对地超过了抗性(Harrington, 1945年)。另一个属是以苜蓿上的斑点苜蓿蚜Therioaphis maculata(Buckton)为代表,在斑点苜蓿蚜体中的遗传属被阐述为所谓的“一把钥匙开一把锁”的理论(Painter, 1951年),或一个基因一个基因的特征(Flor, 1956年)。例如,六种已经认识到的斑点苜蓿蚜T. maculata之中的每一个种,对“海登”氏(Hayden)苜蓿的同本亚种的毒性各不相同(Neilson和Don, 1974年)。因此,一种单个的同本亚种对遗传属A可能是敏感的,但对遗传属H和其它遗传属则具抗性,这是因为只有遗传族具有一种基因,使它能够克服在植物体内具抗性的一种独有的基因。同样地,另一个同本亚种可能对遗传属H是敏感的,但对遗传属A或其它遗传属则不然,依此类推。这类遗传属的研究的其它例子尚有小麦植株上的小麦瘿蚊(Hatcher和Gallun, 1970年)和悬钩子属植物上的蚜虫Amphorophora rubi(Kaltenbach)(Briggs, 1965年)。遗传属存在的发现强调说明几种遗传抗性因子联合成的每一个品种的重要性,以便解决逐个基因特征的问题,通过选择而出现的遗传属极似杀虫剂的抗性(Painter, 1951年)。

改变害虫对抗性寄主反应的其它主要特征包括它的发育期、害虫种群的大小和不同的世代。有些昆虫种仅在未成熟期才摄食，因而，其成虫决不会直接对任何寄主造成伤害。另一些昆虫种则以寄主作为若虫幼虫的食物，而成虫却以一种完全不同的寄主作为食物来源。有些昆虫在所有发育期对害寄主皆可造成伤害。早龄幼虫往往比末龄幼虫所造成的伤害轻。一种正在成熟过程中的害虫种群所造成的破坏经常是成阶层的增加着，即繁殖所造成的破坏及多世代的害虫种随着季节的进展，个体也随之长大，虫口数量也随之增多所造成的破坏。在抗性的耐受性方面，这些效应特别明显。许多寄主品种可能承受数目少而个体小的害虫的为害，然而，只有耐受性最强的寄主品种才可抵挡得住虫口多而个体大的昆虫的为害，不致于显著地减产。有时，昆虫的化性对改变寄主体内抗性的表现很重要（Guthrie等人，1970年）。对第一代玉米螟幼虫摄食具抗性的近交系玉米没有必要抵抗第二代玉米螟幼虫的摄食，反之亦然。这部分地是由于不同的摄食行为所造成的结果；第一代幼虫袭击含一种对抗性的化学物质的输生叶，而第二代幼虫则是鞘的摄食者。

最后，利用这个机会再着重强调一下对害虫的正确鉴定和透彻的了解。由于不正确的鉴定，许多对昆虫抗性的观测导致成了问题（Painter，1951年）。害虫种的混合体是不能作为一个整体进行研究的，除非已经知道它们会造成相同的伤害，喜食同样的植物品种食物，而且对这些品种产生同样的反应。那种只叙述一个品种“蓟马”和“钻柱性昆虫”具有抗性的文章，几乎是没有什么意义的，除非搞了种的鉴定工作。例如，悬钩子属植物品种“Herbert”对蚜虫A. rubi是具抗性的，但对Aphis rubicola (Oestlant)却没有抵抗力（Winter，1929年）。至于害虫生物抑制的其它方面，《了解昆虫》这本书有很重要的论述。

（3） 影响永久抗性的因子

为了有条不紊地讨论，这里也简要地提一下有关寄主对害虫的遗传抗性的永久性。鉴于前两部分所论述的诸因子可能引起抗性表现暂时的不同，事实仍然是，这种抗性取决于遗传，而且是代代相遗传。尽管如此，但改变害虫或寄主可能证明对现状有害的遗传结构，的确存在着可能性。这个问题涉及到植物（或动物）育种者能否令人满意地走在自然界前面的问题。在寄主的基因库中能够发现适宜的抗性品种来抵销害虫体中所发生着的病毒性的新突变吗？如果一个抗性品种对敏感性维持着一种突变，那么，在它广泛地散布以前就认识到它并加以清除了呢？这类问题，在目前只是大胆地设想，不过育种者必须给予考虑。而且，抗性品种对那些呈现出的遗传属施加选择压力，这种压力往往呈现出把优势给予一种有毒的遗传属，结果导致它在生态学上的成功而完成对其它遗传属的替位工作。到目前为止，这种情形作为田间昆虫的一个严重问题也尚未遇到过。另一种理论是研究害虫利用一种非适宜寄主的可能性（Painter，1951年）。如果非适宜性是基于一种驱气味或摄食阻碍物的，那么，面临着逼在眼前的饥饿，而全部可获得的食物又只有这种非适宜寄主，在这种情况下，害虫变得习惯于这种气味是有可能实现（Cushing，1941年）。由此而联想到众所周知的实事，即有些昆虫喜欢把卵产在它们未成熟期曾利用过的同一寄主体上（Hoyanitz，1969年），在害虫能利用以前的抗性寄主方面，这可能终于形成一种永久性移换。这种理论导致从事研究寄主的选择和专一性这个大而复杂的课题。这个课题。弗伦克尔（1969年）、德赛（1970年）。

和贝克(1974年)曾详细地评述过,不过太广泛了,在本书中无法加以论述。

3 利用寄主抗性的原理和方法

在农业上,成功地培育和利用抗性品种的首要条件在于至少有一位能胜任的育种工作者和一位能胜任的昆虫学工作者之间的合作。每一个专门研究人员在他们的专业领域内工作时,都应当力争熟悉在另一专业中所面临的问题。各学科之间的研究是更好地了解害虫、寄主及二者之间的关系的保证。添加的害虫抗性应当力求列入每一个致力于改良品质或提高家畜或农作物产量的育种计划中,而且在把已知品种引进到新的地理区域内时也应当把添加的害虫抗性考虑在内(美国科学院,1969年a)。除少数例外,以往最好的昆虫学文献在害虫防治中对于抗性也没有给予足够的重视,尽管葡萄根瘤蚜的故事完全象吹绵蚧的故事那样引人入胜。

育种学工作者——昆虫学工作者协作小组的成员在完全掌了相互原理的实际操作方法以后,他们就必须详细地了解欲研究的各个寄主、害虫和寄主——害虫的相互作用。就植物研究而言,为了研究害虫的生物学和行为,测定品种的特性,尤其是那些被选为在最大范围内按时成熟的品种表现出来的特性,通常的做法是在不同的日期内在一系列的小区上播下合用的品种。对这类小区的观测可使以后把假抗性和其它生态学效应从寄主品种体内的主要遗传抗性中识别和分离出来。虽然这些经验通常属于田间各小区的自然侵染,但大多数后来的试验是在温室中或实验室内进行的。在温室和实验室内,无论是环境条件还是侵染程度都是能够加以控制的,从而使一系列连续性的试验非常有可能可供比较。然后,再搞一次田间小区试验进一步证实试验的结果。

研究计划中另一个新问题是发现遗传的抗性因子。寻找这种抗性的机率与个体的数目及检验的品种极成比例。迄今为止,仍然是哪里进行了充分的寻找,那里就发现了遗传抗性(Painter, 1966年)。由于几种原因,培育抗节肢动物的动物育种工作的进展尚没有培育抗性植物的进展那样迅速(美国科学院, 1969年a)。阻碍动物育种工作进展的有下列诸因素:费用高得多(例如猪对谷类作用的费用时代持续的时间较长),每代留下的后代较少,从大量的品种中选择出合用的品种更为有限。相比之下,研究植物材料要容易得多。在各种可利用的资源中,当地生长而适宜的品种应当首先研究,这是因为它们所具有的许多优良品质,已经事先知道的缘故(除了优良的抗性以外)。在筛选过程中还应当包括其它抗病源或特征已被改良了的品种,以便输入到新品种中。虽然由于其它原因,在一个当地生长的适宜的品种中要找出抗性因子是困难的,但是,象这样偶然的結果却曾发生过(美国科学院, 1969年a)。凡与附近同种的个体或品系相比较,呈现出为害较轻、产量较高或耐受虫害较少的个体植物或品系,均可能载有抗性因子。如果这种遗传因子对当地品种没有效力,那么研究人员就要进一步向远处寻找(Sullivan等人, 1974年),甚至不惜到这种害虫和/或作物的原产地去找,或到这种作物形态学变异性最为显著的地方去找。昆虫和植物在原产地联合和进化的时间长,它们有足够的时间对抗性特征进行自然选择。另一方面,保持着各种大量的种群的物理特征的各地植物,同时也许含有在选择抗性中适用的各种生理特征的潜能。对寄主具密切的种系发生的特征的植物,在极度的情况中也可能是抗性基因的资源。外

来品种的种质也可从研究同一个种的同事、从保存材料的组织获得 (Gallun, 等人, 1975 年), 诸如美国农业部, 或通过与联合国食品和农业组织 (FAO) 的协作获得。最后, 有用的突变利用辐射或其它手段有时可能予以诱发 (Micke 等人, 1973 年)。

在这些早期的试验中, 找出适宜的抗性潜能, 以获得有遗传能力的反应因子的证据, 这是很必要的。必须牢牢记住, 某种程度的抗性是目标, 而不是总的免疫性。最好比较一下害虫对品种的感染度, 适宜于诱出为害的最大差异; 感染度不要太低, 以致许多因子逃跑, 也不要太高, 以致掩蔽住抗性的任何成分, 尤其是耐性。遗传诱发的抗性证据来自于育种研究和可疑寄主后代的检验中。这往往包括若干代植物的自花传粉和在抗性选择中的最终异花受精。正在研究的品种要经常同一个标准品种进行比较, 标准品种既可为一个已知为易感的品种, 也可为原抗性亲本; 而且环境条件和感染条件要始终如一。另外, 在种种环境条件下抗性的保持力对假定的遗传抗性因子可进一步提供证据。每当大量的品种可利用的时候, 就要明智地考虑有可能一次就发现对一种以上的害虫的互补抗性, 即使最初的着重点集中在一个种上也如此。

从实际上来讲, 详细地了解寄主对抗性的实际根据已经是没有必要的了。对这种了解的研究迄今尚未进展到实际利用这种方法的程度 (Painter, 1966 年)。然而, 这种情报资料在理论上却具有重大的意义, 可能对害虫抑制未来的发展发挥重要的作用 (Beck, 1965 年, 1974 年)。目前的实践要求从遗传上、生物学上和生态学上对这个体系的组成进行全面的分析。此后, 最好有一位生物化学家补充到这个研究小组中来。有若干个生物化学要素虽然在植物间选择寄主时已经鉴定过了 (Beck, 1965 年; Hsiao, 1969 年), 但是, 品种间这种差异的实际例子却是罕见的 (Beck, 1960 年; Da Costa 和 Jones, 1971 年)。一般来说, 在目前条件下, 寻找抗性的最经济、最迅速、最有效的方法是对后补品种进行一种实际的生物测定, 用于防治潜在的害虫, 与任何化学试验程序相反 (Agasnal, 1969 年)。

抗性的主要化学成分的鉴定和寄主的选择, 无论如何, 理应还有其它的用途。正在自然发生的寄主化学制剂对适宜性、非适宜性、排斥性或摄食阻碍物起着作用, 很可能已广泛地要求用于抑制害虫的行为 (Gilbert 等人, 1967 年; McMillian 等人, 1969 年; Munakata, 1970 年; Benjamin 和 All, 1973 年)。这些化学制剂合成的类以物, 其效力可能甚至更大。与抗生联合的化学制剂可能用作更具特效的新杀虫剂的主要成分 (美国科学院, 1969 年 b; Klun, 1974 年; Shaver, 1974 年)。最后, 熟悉抗性的主要化学成分及其存在的测定往往非常有益于动物和多年生木本植物, 这类动植物每一代要持续几年的时间, 因而, 用生物测定法进行筛选的实际应用较少。植物病理学家已经在这个领域中取得了重大的进展, 现在只要把一种从真菌病原体孢子中鉴定出的毒素简单地喷洒到所试验的植物上, 就能够迅速地筛选出抗眼斑病的甘蔗个体植株 (Strobel, 1975 年)。

假如在一个适应当地的栽培品种中有一种适当的抗性因子, 那么, 可把它们非常容易地选择出来, 或联合生产一个新品种, 直接进行测定和散布。然而, 如果在一种非适宜源中发现了抗性基因, 那么, 就一定要把令人满意的植物品种经过连续几代重新选择的抗性进行杂交育种, 使它们联合成一种可接受的遗传型品种。抗性最好的亲代源是那些呈现出一种以上的抗性成分, 较好的亲代源是那些呈现出载有一个以上的抗性单基因。如果有可能, 就应当把来

自于几种资源的抗性因子同时积累到新品种中，因为在这种计划中要控制一个单基因虽则比较容易，而众多的抗性基因将大大减少对一种能够克服抗性的昆虫遗传属的自然选择的机率。结果产生的新品种肯定要至少等于那些当地普遍生长的具全部农学特征品种，否则，它就几乎没有机会被种植者所接受，纵使它具有优良的抗性特性。

4 利用寄主抗性的例子

为了阐述利用抗性品种抑制害虫的重要性和效果，我们选择了下面三个典型事例简要地加以论述：为害葡萄的葡萄根瘤蚜、为害棉花的小叶蝉和为害小麦的小麦瘿蚊。在这些例子中，用于抑制的主要方法是寄主抗性，而在其它许多例子中，寄主抗性只不过是一种综合研究减少病虫害问题的必不可少的组成部分。

(1) 葡萄对葡萄根瘤蚜的抗性

在所有利用抗性寄主抑制害虫的例子中，最为卓著的是法国葡萄根瘤蚜 *Phylloxera Vitifoliae* 的侵染而被抑制的事迹。作为现代应用昆虫学基石的典型事例，它完全可与为害柑桔的吹绵蚧的防治相提并论。按奥迪什（1972年）的说法，这个“胜利……拯救了全世界的葡萄”。奇妙的是，伟大的美国昆虫学家C、V、赖利在这一伟迹中又一次发挥了一种指导作用。

葡萄根瘤蚜是北美洲的一种蚜虫，本地所产。它的寄主仅限于葡萄科 *Vitaceae* 植物范围以内，生活周期非常复杂，可简明扼要地总结如下：就美洲本地葡萄而言，它既能生活于地面上的树瘿中，也能生活于地下的树瘿中；既能有性繁殖，也能无性繁殖。就欧洲葡萄 *Vitis Vinifera* L. 而言，它的生活周期几乎全部发生在地下，仅单性生殖。这一事实非常重要，即美洲葡萄种对昆虫的感病性各不相同，最为重要的抗性是可忍受长叶瘿感染的昆虫，而忍耐不住相对的短根瘿的感染。就为害美洲葡萄而论，根瘿和变形仅仅阻止生长，增加根的直径；而对欧洲葡萄，这种感染持续下去，就会杀死根。这种情况发生时，这种蚜虫就毁掉正在脱水的食物源，经由可用的缝隙移动到土壤表面。它们在那儿寻找另一株葡萄，如果找到一株，就钻到它的根部，重新开始摄食。就这样，毁坏逐渐扩大开来。

1863年，在英国的一个温室内首次发现欧洲葡萄 *V. vinifera* 丛中生存有葡萄根瘤蚜 *P. vitifoliae*，它也许是随着从美国输入的观赏五叶地锦 (*Ampelopsis*) 而到达的 (Ordish, 1972年)。大约在同时，这种昆虫也有可能是在法国出现了，但它首次出现的年代通常定为1867年 (Howard, 1967年; Ordish, 1972年)。1868年，这个问题便严重到了这种程度，以致于法国议会指定进行调查研究。该会的议员之一J、E、普兰昌发现了这种昆虫，实际上，这种昆虫是造成过去一直被认为是一种病的原因。由于不知道它和美国葡萄根瘤蚜完全相同，因此，他把它命名为 *Rhizaphis vastatrix*，一种非常合乎欧洲格式的名称，其含意为毁掉根的蚜虫。此后不久，就发现这种昆虫其实是葡萄根瘤蚜属的一个成员。到1869年，普兰昌的内兄和C、V、赖利已经决定要精确地鉴定出美国种和欧洲种了。虽则葡萄根瘤蚜 *P. vitifoliae* 是符合科学的正确名称，但由于 *P. vastatrix* 在文献中使用得太广泛了，因此，它仍是一个可接受的名称。

下一个问题是研究这种害虫的生活史和生物学，以便找出它袭击中的一个弱点。完成这项工作的主要人员有：法国的西格诺雷特、利克顿斯坦、科奴和巴尔比安，英国的韦斯特伍德，美国的赖利。普兰昌和赖利进行了互访，以考察两个国家中这种昆虫的习性。法国政府第一次提供了一笔20,000法郎的奖金，后来又资助了300,000法郎的奖金，来解决这个问题。这反而使社会各个部分产生了过多的荒谬建议。要解决这些建议需要进行大量的调查研究，发生了很多争执，浪费了可观的力量。可后来证明所有的建议都是无用的，尤其是把最终解决看得简单的建议。

这种解决方法是把果实长得很理想的欧洲葡萄 *Vinifera* 的植株嫁接到具抗病性的美国根材料上。在“新西班牙”（墨西哥），西班牙的殖民者受到鼓励，把西班牙葡萄 *Vinifera* 的插枝嫁接到已定殖的本地植物上，以迅速建立葡萄园（Ordish, 1972年）。遗憾的是，墨西哥根本不存在葡萄根瘤蚜，因此，输入这种抗性根材料依然是不清楚的；这同一位美国植物学家巴克利在费城的一个植物标本室中早期所作的一个记录如出一辙。这个记录指出，引进的（欧洲）葡萄只要嫁接到茁壮的本地材料上，才会生长茂盛（Ordish, 1972年）。十八世纪四十年代，法国在研究一种抗霉病品种时，就已经输入和定殖了美国葡萄，而且正是在葡萄根瘤蚜虫灾降临以后不久，这些葡萄呈现出的持续活力才被记录下来。由于这种虫害日渐严重，因此，只种植美国葡萄种才给予考虑；不过它们生产出的葡萄很差。把果实长得良好的植株嫁接到抗病性根上的理论自然是基于这些考虑而创造出来的。

至于谁应当获得创造这个理论的荣誉和奖金，争论相当激烈（Howard, 1930年；Ordish, 1972年）。波尔多的M、利奥·拉利曼是第一个注意到美国葡萄对法国葡萄园中这种虫害的抗病性，而且，后来又是他提出发奖金的主张。然而，M、加斯顿·贝齐尔在1869年第一次提出了实际解决嫁接的建议，而且到1871年，他已经成功地实现了他的建议。大约同时，普兰昌和利克顿斯坦取得了同样的成就；而次年，赖利从美国精心挑选了若干葡萄植株送到法国。这些具抗病性的美国种渐渐取代了行将死亡的欧洲葡萄的老根，使法国的酿酒业走上了恢复的征途。其它遇到同样困难的国家得到了同样解决困难的方法。拉利曼提出要320,000法郎的奖金，没有被批准。这显然是由于他没有提出根治葡萄根瘤蚜的方法，只是发现了阻止它发生的一种途径。奖金应当发给他，还是让他和贝齐尔分享，尚不清楚。不过不大可能得不到报酬，因为政府不愿给的只是一部分钱（Ordish, 1972年）。

这种贡献的真正价值可根据下述引语来判断（Howard, 1930年）：

“葡萄根瘤蚜在法国引起的恐慌是难以言过其实的。它造成了许多灾难性的后果。且不说早在1884年就彻底毁掉1,200,000英亩土地上的葡萄，据估计，金钱上的损失达7,200,000,000法郎，另外还得加上因此而需要输入的鲜葡萄和酿酒用的葡萄干，法国花在这上面的钱达2,800,000,000余法郎，至1884年，总的损失达一百亿法郎（二十亿美元）。”

这个问题的解决再一次说明了完全了解害虫在各方面的生活史、生物学和生态学的重要性。

（2）棉花对小叶蝉（Jassids）的抗病性

小叶蝉 *Empoasca fascialis Jacobi* 曾经是非洲棉花最主要的害虫之一（Smit,

1964年)。在全世界范围内, *Ciccardellidae*, 尤其是 *Empoasca* 属中包括着大量的棉花主要害虫 (Hussain 和 Lal, 1940年)。这种昆虫是极度多食性的, 在南非, 自帕奈尔和他的同事们最初发现了很有成效的抗病性多毛品种以来, 利用这个品种大大地减少了有关棉花病虫害问题。

棉小叶蝉 *E. fascialis* 为一种浅绿色小吸虫, 造成破坏的特征为烧叶病, 开头叶缘变黄, 进而发红, 并迅速扩散到主脉间的组织。在严重的感染中, 这些叶子终于干枯, 从边缘向内变成褐色, 有可能从植株上落下来。幼叶卷起, 变成褐色。在潮湿季节里, 在德兰士瓦的浅草草原上和祖鲁的产棉区, 这种昆虫尤具破坏性。在北非、中非和印度, 它还是一种农业害虫 (Evans, 1952年; Smit, 1964年)。由于农作物和野生植物种类繁多, 因此利用杀虫剂防治是不经济的, 也是行不通的。1922年—1923年间, 南非第一次爆发了小叶蝉 *E. fascialis* 病虫害, 致使此后数年间棉花至少减产25% (Worral, 1923年, 1925年)。当时, 第一次记录下品种抗性的简要说明 (Worral, 1923年)。有几个品种受害迅速且严重, 然而美洲陆地棉 *Gossypium hirsutum* L. 有受害较轻之倾向, 尽管它们差异很大, 即使在同品种植物间。抗性植物的毛毫无例外地比易感病的植物的毛多。一个选择自印度的陆地棉 *G. hirsutum* 的 Cambodia 品种长的毛极多, 实际上不受小叶蝉的为害 (Worral, 1925年; Parnell, 1927年)。

抗小叶蝉棉的育种计划始于1925年。帕奈尔 (1925年) 指出: “所有抗病性植物皆具明显的毛, 尽管所有长毛的植物没必要具有很高的抗病性。” 在那一年, 选择了一棵单株植物 (命名为 U、4) 用来培植。自1929年以来, 它就成了南非种植所有抗小叶蝉品种的基石。到1930年, 在南罗德西亚小叶蝉虫口已经显著地下降了, 这也许是抗病性棉所起的作用 (Peat, 1930年)。单株抗病性植物的选育使得以前认为由于小叶蝉的为害而无用的土地有可能种植棉花而获益。开头, 种植者并非把 U、4 植株的选育看得重于一切, 而寄希望于其它方面, 但是在这个品系范围内选育而搞的一个杂交计划, 取得了相当大的改进 (Parnell, 1935年; Parnell 等人, 1949年)。

在巴基斯坦和印度, 最主要的小叶蝉是 *Empoasca devastans* Distant (Husain 和 Lal, 1940年)。在印度各地, 凡对 *E. devastans* 没有抗病性的植物根本没有机会生存下去 (Sohi, 1964年)。它对植物的为害类似于记述的棉小叶蝉 *E. fascialis*。早在1913年, 就有人认识到达瓦尔—美洲棉 (Dharwar — American Cotton) 的多毛植株对小叶蝉的为害 (当时认为是一种病) 具抗病性, 于是选育了这个品系, 以 Gadag I 而保存了许多年。早在十九世纪三十年代, 就有人了解到所谓红叶凋萎病 “(red leaf dright) 的真正原因, 到1937年, 印度开始搞了一个政府协作计划, 进行抗小叶蝉的育种工作。地方 Desi 品种 (*Gossypium arboreum* L.) 对小叶蝉的抵抗力很大, 而许多陆地棉品种却是易感病的 (Sohi, 1964年)。有些从南非引进的抗病性 U、4 棉在旁遮普省和马德拉斯省证明对 *E. devastans* 是敏感的, 尽管它们是多毛的 (Husain 和 Lal, 1940年)。总之, 长毛极多的品种具抗病性; 而有些品种是易感病的, 少数毛长得很稀疏的品种也具抗病性。

在昆士兰, 对棉花造成类似为害的是另一种小叶蝉 *Empoasca terra-reginae paoli* (Sloan, 1938年)。大约1937年开始搞抗性育种, 同时检验了各种输入的品种, 其中包括

南非的U、4和千里达的Ferguson。这些培育出的品种在本地比易感的品种,诸如Miller,更为适应,从而,在商业上获得了有效的品质高的抗性选择(Marriott, 1943年)。同时,还注意到抗性植物通常是多毛的,不过也有例外。

其它地方也搞了观测和育种计划(Paintner, 1951年)。在苏丹,抗小叶蝉毛叶棉品种的培育,由于难以把高产量和多毛品质诸因子结合起来,也由于多毛品种易受白蝇(Whitefly)的为害,因而成效甚少。这与一个不同种的小叶蝉 *Empoasca libyca* (de Bergevin 和 Zanon) 大有关系,因为苏丹南部虽确发生有E. fascial, 但对那里多毛陆地棉的为害已经降到次要位置(Schmutterer, 1969年)。

全世界的观测资料和经验总结已经证实了这一事实,即棉花对小叶蝉的抗性一般与密集的多毛性、尤其是叶上的多毛性有关。南非的研究工作业已进展到这样的程度,即能阐述多毛性及其对E. fascialis的抗性之间的一种直接关系(Parnell等人, 1949年)。无论是毛的密度还是毛的长度均与抗性有关,只不过毛的长度呈现出是最重要的因子。看起来似乎是抗性与成虫小叶蝉对多毛的棉叶的非适应性有关,尽管抗性植物的耐性也发挥着作用(Parnell, 1927年; Sloan, 1933年; Afzal等人, 1943年)。多毛性及其对E. terrarum的抗性之间的关系也是很密切的,不过不完全象南非的情况(May, 1951年)。虽然如此,这种关系已经证明了抗小叶蝉的育种是有效的。在印度,棉花对E. devastans仿佛有一种特别不同的基础,在这种基础上, U、4植株和其它一些多毛品种是敏感的,而若干毛稀少的品种却反而呈现出抗性。在这种情况下抗性品系叶脉的粗糙度呈现为一种很重要的特征(Lal和Husain, 1945年; Afzal和Ghani, 1948年),而这种特征与多毛性也密切相关着。无论如何,克服小叶蝉对多毛棉花的为害是由于毛或其它一些因子机械地阻止了摄食的缘故;很清楚,抗性基因与多毛性基因通常是有关联的,这种特征可用作一种更有效地培育抗性品系的手段,直到真正的抗性基本原理弄清楚为止。

(3) 小麦对小麦瘿蚊的抗性

小麦是世界上主要粮食作物,北美洲、欧洲、亚洲、阿根廷和澳大利亚都大面积地种植着(Paintner, 1951年)。小麦瘿蚊Mayetiola destructor是一种状似蚊的蝇,曾经是小麦的一种主要害虫,对北半球的大麦和黑麦也有些微的为害。目前,小麦主要种植区不存在小麦瘿蚊的感染,每个种植区内至少有一种适用于抗蝇小麦能够种植(Paintner, 1966年),而无需造成损失。

小麦瘿蚊对易感品种造成的为害是由于幼虫的几种摄食习性所致。幼虫袭击小麦的茎,分泌出一种物质,直接使袭击部位下方的细胞停止生长。周围细胞持续地生长,给这种昆虫留下一个洼穴,幼虫便在洼穴内摄食和发育。最后,它变成一只围蛹[“亚麻籽”(“flax seed”)],而后羽化为成虫蝇。通常每年生殖2—5代。植物由于茎被破坏或则整株死掉,或则部分地失去机能。感染还有可能使弱小植物冻死率增加,或使成熟的谷穗实际数目少或个体小而减产。为害最为严重的是在收获不久正在被寄宿的植物,这是因为茎秆在幼虫袭击而削弱处折断所致。

第一次论及抗小麦瘿蚊的小麦是在一篇农业论文中,发表于1785年,作者不详(Pain-

ter, 1951年)。在十七世纪末, 约发现10个品种呈现出抗性的品质, 不过一直到了十八世纪的八十年代和九十年代才在加利福尼亚首次进行详细的研究 (Woodworth, 1891年)。到那时, 从北美洲到欧洲和俄国, 小麦瘿蚊M. destructor一直在毁坏着小麦的收获 (Chesnova, 1968年)。全世界试验的种子资源有一百余种, 其中有22种被认为是具适度的抗性、抗性或免疫性。抗性品种具有成熟期比易感品种成熟期早的倾向。

十九世纪二十年代和三十年代期间, 不仅在加利福尼亚州 (Packard, 1928年) 和堪萨斯州 (McColloch和Salmon, 1923年; Painter等人, 1931年), 而且在俄国 (Chesnokov, 1939年), 均进行了较大的筛选和育种计划。这些试验的结果培育出一系列小麦新品种, 对小麦瘿蚊具有高度的抗性, 于十九世纪四十年代初分发给农场主们。象Poso42和BigcLub43这样的品种是极为成功的, 在加利福尼亚州取代易感品种竟达到了这样的程度, 以致于要采集足够的小麦瘿蚊进行季节史研究就很困难。在堪萨斯州和内布拉斯加州, 广泛种植着Pawnee品种, 到1948年, 许多州就已经解决了这种蝇的为害问题。但研究仍在这种地区持续着, 以便提供更好的品种。据1966年佩因特报导, 业已筛选出具抗性小麦品种在6,000至9,000个之间。已经被鉴定出的抗性基因, 至少有六个。现存的抗小麦瘿蚊的品种至少有29个之多 (Gallun和Reitz, 1971年)。植物病状的持续变化、磨粉和发酵条件及在其它特征方面改良的品种可用性的持续变化, 终于造成在抗性或其它方面均为更优的新品种取代了抗蝇的老品种的局面。

如前所述, 小麦瘿蚊是一种呈现为遗传属发育的害虫, 这一事实是佩因特 (1930年) 首次指明的。这种昆虫遗传属的遗传学现在象它的寄主植物那样众所周知 (Hatchett和Gallun, 1970年)。有八个小种, 是利用三对等位基因的各种联合而测定出来的; 这种知识业已促使盖伦 (1974年) 提出, 如果政府对那些地区种植的小麦品种制定出严格的规定, 那么, 就整个州那样大的面积来说, 小麦瘿蚊也有可能完全被根除或不致造成受害。

小麦抗蝇的实际基本原理仍然不十分清楚, 尽管佩因特 (1951年) 指出了所有三种成分: 非适应性、抗性和耐性。但无论如何, 在没有这种知识, 甚至在有关它的遗传生殖知识搞明白以前, 培育理想抗性品种的最终目标就获得了成功。

5 寄主抗性在害虫抑制中的作用及局限性

寄主抗性的作用及局限性业已论述过, 而在这点上, 把它们与增加的一些知识一起再加以总结似乎是明智的。

抗性寄主的培育是一个长期的过程, 需要现下调查研究, 将来才能获益。决没有目光短浅和政治上异想天开那样的余地。发现和利用抗性因子需要的时间可能是相当长的; 就一个小麦品种的培育而言, 可能需要15—20年或更长的时间 (美国科学院, 1969年a)。培育的时间往往被认为可与一种合成的杀虫剂所需时间相比较, 直到最近, 才发现这种比较是不恰当的。现在, 由于对环境更加关心和需要大部头的资料来争取对用于杀虫剂的新化学药品的注册, 寄主抗性的研究呈现一派欣欣向荣的景象。另一种可与杀虫剂相比的特性是适应性 (Painter, 1966年)。与杀虫剂相比较, 一个抗性品种对害虫种群的效应是累积的, 选择的和持久的; 而杀虫剂则是突然的, 往往是危险的, 无选择的, 且效力逐渐降低, 除非重新

施用。有些抗性品种一发现就可立即使用，而一种杀虫剂，无论何时发现，都需要尽快地测定出它合适的剂量，才能使用。抗性品种的持久性是如此之长，以致农民们往往忘记所抗之昆虫和这种昆虫是如何被防治的，直到他们遇到另一个易感的品种而必须重新学习为止。

害虫遗传属的居先存在或自然选择有可能证明不利于一个抗性寄主品种的培育获得成功。遗传属发育不利于寄主抗性的例子虽然众所周知，然而，植物病理学家所面临的问题比毒物学家在研究害虫抗杀虫剂品系时所面临的问题，更为严重得多，更为普遍得多。抗生的成分或非适应性能对害虫种群施加一个强大的选择压力，增加遗传属发育的机会。这种抗性的持久性问题就是这样产生的。进化具有抗性品种发育的特征，而人工加速进化过程的方法主要是利用干扰现存寄主植物的专一性而把被保护的植物种群从害虫寄主范围内除去（Beck, 1974年）。最后重新适应需要而发生自然的变化似乎是大有可能的，除非采取措施阻止它发生。阻止它发生的一种方法是从几种资源中同种繁育出抗性品质，而靠不同的基因更好地传播（Pathak, 1970年；Dahms, 1972年）。另一种方法是，利用几个抗性品种也有可能获得在一个大面积上种植的一棵单株作物内的遗传多样性。这样一来，就使下述情况不太可能发生，即一个在一个能够克服一个品种内抗性的远距离的害虫种中的突变体将能够在整个种群中保持其毒性基因。

耐性的防御性质是应当强调的（Hobrer, 1974年）。迄今为止，人们还根本没有认识到昆虫克服抗性的这种成分，可是，人们却认识到了新的遗传属克服非适应性或抗生的攻击性。耐性高的品种是良种，在林木和饲料作物中尤其如此，即便是一种有限度的耐性也是有价值的，它可能有足够的力量给农作物“挣得时间”，直到天敌种群建立起来，或其它自然过程把害虫数目减少为止（Wyatt, 1970年；Starks等人, 1972年）。事实上，抗性任何成分的效力接近100%是没有必要的，否则，有可能甚至是合乎要求的，因为正是靠着这种迅速性和效率，这样的抗性才阻抗着具毒性遗传属的害虫种群。一种低度抗性也许可完成所需之一切。十九世纪五十年代期间，堪萨斯州抗小麦蝇蚊的主要小麦品种Pawnee的抗性最多只有50%，然而那里的小麦瘿蚊却几乎被消灭干净了（Painter, 1966年）。这是寄主抗性的累加和持久效应的另一个例子。

抗性品种的另一个潜在的局限性是其它理想的农学特性与抗性因子的不相容性。例如，豆科植物对昆虫的抗性影响所生产的饲料的营养价值吗？如果家畜或人类象潜在的害虫那样以一种抗性植物的同样部分为食，那么，这种潜在的危害是什么？假如化学药品是影响抗生或非适应性的主要原因，需要详细的研究观察，可迄今没有一个已知的例子中，证明过一种抗害寄主有害于人类或家畜的健康（Painter, 1951年）。在种系发生方面，温血动物中的昆虫，显然还有它们所影响的抗性植物中的昆虫，分明被根除了。抗性有可能位于人们不利用的生物组织或植物成分中，或只是在寄主生命的一个短时间内所发生的抗性才有效，在收获和利用以前充分表现出来（Horber, 1974年）。抗性苜蓿栽培的若干研究表明，它们的营养价值与动物饲料敏感品种的营养价值相等（Barnes等人, 1970年；Kindler等人, 1971年），而在品质方面常常要优良些。这是因为减少了对抗害所造成的蛋白质和维生素的损失（Sorensen等人, 1969年）。对抗小叶蝉密切相关的棉花多毛性由于叶片和棉纤维混在一起，可能造成轧棉的困难；而且，这种多毛的叶子较易于遭到棉蚜 *Aphis gossypii*

Glover (May, 1951年) 和烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Schmutterer, 1969年) 的袭击。抗葡萄根瘤蚜的美国葡萄根材料同适用于酿酒的果实二者之间的不相容性是通过接枝被克服掉了 (Ordish, 1972年)。

农场主不愿接受一个抗害新品种可能是一个绊脚石, 除非这个新品种在其它方面比易感的老品种明显的优良。鉴于此, 最好的办法是经常设法把增强的抗性联合到这个品种上, 或在育种计划中针对提高产量或改良农作物或家畜的其它农学特征来防治几种害虫, 这种方法更为可取 (例如, Patnak, 1969年, 1970年)。

抗性品种在每公顷价值低的农作物中或在由于气候变化莫测或其它间歇性危害的情况下, 发挥着最大的作用 (美国科学院, 1969年a)。在发展中国家里或个体农民耕种的土地面积小, 不熟悉使用杀虫剂、或买不到或嫌太贵的其它情况下, 抗性品种也在发挥着作用。一种农作物的一个抗昆虫品种可能对同地区同一昆虫袭击的另一农作物具有一种有益的效应。在美国南方, 利用一个抗玉米穗夜蛾品种还减少了同一昆虫对棉花的危害, 在那里由于该昆虫的整个种群较小, 而通称为棉铃虫 (美国科学院, 1999年a)。

让我们对寄主抗性在害虫抑制中做一些成本—收益的分析来结束这项讨论。十八世纪八十年代期间, 有关法国防止葡萄根瘤蚜的情形已经使金钱在实践中的重要性产生某种观念; 在法国, 通过引进抗性根材料解决了超过二十亿美元的累加损失。最近, 最广泛地利用寄主抗性的意见在其它地方已经取得了可观的进展。1961年, 汉森利用苜蓿对斑点苜蓿蚜的抗性评价了投资的美金的赢利率: 100:1。这种与日俱增的重要性导致了美国农业部植物科学研究所为了研究植物对昆虫的抗性从1963年到1969年期间把人力增加了50% (Sprague和Dahms, 1972年)。联邦、州机构和私人公司为了培育出抗小麦瘿蚊, 小麦茎锯蜂、玉米螟和斑点苜蓿蚜投入的全部研究费用, 一个最近的估计数字 (环境质量委员会, 1972年) 约为九百三十万美元。据估计, 农场主每年可从减少损失中节省三亿八百万美元。这就是说, 十年期间, 仅研究挣得了净值约三亿美元, 或每投资到研究中一美元, 可从减少损失中赢利约300美元。更准确地说, 抗小麦瘿蚊的小麦仅堪萨斯州每年就至少保全五百万蒲式耳 (1蒲式耳=35.238公升——译者注) 粮食 (Painter, 1966年)。在整整二十年期间, 美国农业部 (USDA) 在培育抗棉铃虫 [*H. zea* (Boddie)] 中每投资一美元就在增产的价值中实现赢利二十美元 (McMillian和Wiseman, 1972年)。