한국식물보호학회지 : 제22권 제 2 호
Korean J. Plant. Prot. 22(2) : 98~105(1983)

害虫의 殺虫劑抵抗性과 今後對策

崔 承 允

Insect Pest Resistance to Insecticides and Future Researches

Seung Yoon Choi

ABSTRACT

The rapid increase in cases of insect resistance to insecticides indicates that the contribution of present chemical control practices inevitably leads to exhaustion of available insecticide resources against key insect species. Now the problem of insecticide resistance exists worldwide among insects and mites affecting field crops and animals including human beings, ranging from minimal or absent in some developing countries, where use of insecticides has been low, to extremely severe in many developed countries.

Since the occurrence of insect resistance to insecticides was firstly recognized in 1908, the increase in recent decades has been almost linear and now the number of species of insects and acarines in which resistant strains have evolved have been increased to a total of 432. Of these, 261(60%) are agricultural importance and 171(40%) of medical/veterinary importance. The phenomenon of insecticide resistance is asserting itself as the greatest challenge to effective chemical control of many important insect pests.

Resistance of insects to insecticides has a history of nearly 80 years, but its greatest increase and its strongest impact have occurred during the last 40 years following the discovery and extensive use of synthetic organic insecticides and acaricides. The impact of resistance should be considered not only in terms of greater cost of pest control due to increased dosages and number of applications but also in terms of the ecological disruption of pest-beneficial species density relationships, the loss of investment in the development of the insecticides concerned, and socio-economic disruption in agricultural communities.

Despite its grave economic consequences, the phenomenon of insecticide resistance has received surprisingly little attention in Korea. Since the study of insecticides started firstly in 1963, many entomologists have been concerned with this study. According to their results, some of the rice pests and some of the mites on orchard trees, for example, have developed worrisome level of resistance in several areas of this peninsula.

With many arthropods, considerable advances in the developed countries have been made in the study of the biochemical and physiological mechanisms of resistance.

Progress involves the biochemical characteristics of specific defense mechanisms, their genetics, interactions, and their quantitative and qualitative contribution to resistance. But their

서울大學校 農科大學(College of Agriculture, Seoul Nat'l University)

sutdies are still inadequately known and relatively little have been contributed in terms of unique schemes of population management in achieving satisfactory pest control. It is apparent that there is no easy solution to resistance as a general phenomenon.

For future challenging to effective control of insect pests which are resistant to the insecticides concerned, new insecticide groups with distinctly novel mode of action are urgently needed. It is clear, however, that a great understanding of the factors which govern the intensity of selection of field population for resistance could lead to far more permanently successive use of chemicals within the framework of integrated pest management than heretofore practiced.

緖 言

有機合成殺虫劑의 開發과 그들의 積極的인 使用이 近代 害虫防除에 劃期的인 轉換期를 이룩한 것은 事實이지만 過去에 볼 수 없던 各種 副作用이 誘導되어 社會的 非難의 對象이 되고 있음도 否認할 수 없다.

그들 副作用 중 應用昆虫學的인 側面에서 注目을 끌고 있는 問題點은 所謂 3R인데 이 3R은 Residue, Resurgence, Resistance를 뜻한다. 現存의 殺虫劑가 使用되는 限 이 3R問題는 宿命的인 副作用이기는 하지만 이들 問題點들이 解決되지 않으면 持續的인 殺虫劑의 使用에는 큰 制限을 받지 않을 수 없을 것이다.

特히 害虫의 藥劑抵抗性 問題는 害虫防除에서 現行 殺虫劑가 連用되는 限 必然的으로 隨伴되는 現象이므로 이 現象을 보다 正確히 理解하고 解決方案을 模索하는 일은 應用昆虫學界에 주어진 一大課題로 보는 것이 옳을 것 같다.

害虫의 藥劑抵抗性 問題로 因한 經濟的 損害를 正確히 計測하기는 어렵지만 엄청난 經濟的 損失을 빚고 있음은 누구도 否認할 수 없을 것이다. 한 例를 들면 1972年 美國에서는 害虫의 藥劑防除에 166百萬弗을 投入하였는데 그중 적어도 50%는 抵抗性이 原因이 되어 殺虫劑의 撒布量, 撒布回數가 增加된데 있는 것으로 分析, 報告되고 있다. 게다가 一種의 農藥開發에 所要되는 費用은 過去에 比하여 크게 增加되고 있다. 1956年에는 1.2百萬弗 所要되던 것이 1969年에는 4.1百萬弗, 1975年에는 13百萬弗, 1980年에는 25百萬弗로 늘어났다. Georghiou & Taylor(1977)에 의하면 57種에 達하는 殺虫劑(殺蜱劑 包含)가 抵抗性 發達로 말미아마 더 이상 使用할 수 없게 되었다고 指摘하고 있다. 그 뿐만 아니라 새로 開發된 殺虫劑가 交叉抵抗性의 發現으로 갈미암아 實用을 보지 못한 例等을 包含하여 經濟的 損失을 計上한다면 그 損失은 엄청날 것에 틀림없다.

害虫의 抵抗性問題는 殺虫劑라는 化學的 環境과 그에 對한 害虫의 反應이라는 側面에서 볼 때 生物學上 興味있는 硏究課題이기는 하지만 한편 作物保護라고 하는 觀點에서 보면 어떻게 해서든지 對應策을 마련하지 않으면 안되는 近代農業에 주어진 一大 課題로 삼아야 할 것 같다. 그러므로 害虫의 藥劑抵抗性 發生要因, 發生現況 및 硏究內容을 把握하고 나아가 現時點에서의 對應策을 模索하는 일은 큰 意義가 있다고 본다.

抵抗性의 定義와 抵抗性 害虫의 出現機構

殺虫劑에 對한 昆虫의 反應은 그 類型에 따라 無反應(Refratoriness), 耐性(Tolerance) 및 抵抗性(Resistance)等으로 大別되는데 無反應이나 耐性은 抵抗性과 區別해서 使用해야 한다.

1958年 WHO의 定義에 의하면 殺虫劑에 對한 昆虫의 抵抗性이란 「正常的인 昆虫集團의 大多數를 죽일 수 있는 藥量에서 견디어 낼 수 있는 能力이 發達한 昆虫의 系統」을 일컷는 것으로 되어 있다. 即 抵抗性은 過去에는 高度의 殺虫力을 나타내던 것이 連用한 結果, 現在는 殺虫力이 크게 低下되어 防除할 수 없게 된 現象을 일컷는다.

害虫의 殺虫劑抵抗性 發現機構에 關한 學說로서는 前適應說(Pre-adaptation hypothesis)과 後適應說(Post-adaptation hypothesis) 두 가지 學說이 있다.

前適應說에 있어서 殺虫劑는 淘汰壓(Selection pressure)으로 作用한 結果가 되며 이 때 殺虫劑는 다만 도태유기물질(Selective agent)로만 關係하였다는 見解

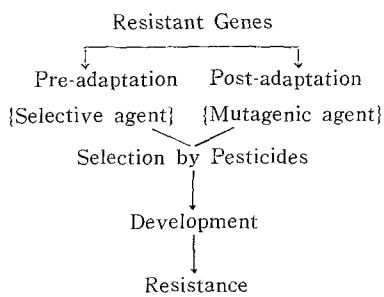

Fig. 1. Hypothetical process of development of resistance to insecticides in insect pests.

이다. 한편 後適應說은 殺虫劑가 淘汰誘起物質로 作用하였다는 點에서 同一하나 그 以前에 殺虫劑가 突然變異誘起物質(Mutagenic agent)로 作用하였다는 點에서 差異가 있다.

現在 여러 硏究者들의 支持를 받고 있는 學說은 前適應說이기는 하지만, 그렇다고 해서 後適應說을 完全히 否認할만한 實驗的 立證은 不足하다.

前適應說이 되었건, 後適應이 되었건 지금까지의 抵抗性發達은 殺虫劑가 突然變異個體의 淘汰要因으로 作用하였을 때 昆虫이 그들에 對한 適應을 위해 發達한 現象이 遺傳해 간다는데 대해서는 조금도 의심할바 없다. 또한 抵抗性을 하나의 進化로 본다면 進化라고 하는 것이 하나의 突然變異選拔機構(Mutation-selection mechanism)와 Mendel集團에 있어서 遺傳子頻度의 變化에 基礎를 두고 있다는데 대해서는 의심할 여지가 없다.

抵抗性系 害虫發生의 近況

殺虫劑의 連用에 의하여 抵抗性系 害虫이 發生하였다는 最初의 報告는 1908年 美國에서 石灰硫黃合劑에 對한 깐호제깍지벌레의 抵抗性으로부터 始作되었다. 有機合成殺虫劑의 使用前인 1938年까지 報告된 抵抗性系 害虫의 種類數는 7種에 不過하던 것이 1940年代 以後 有機合成殺虫劑가 積極的으로 使用되면서 抵抗性系 害虫의 種類數는 急激한 增加를 보이기 始作하였다. 그 後에도 繼續 增加하여 1980年에 와서 抵抗性系 害虫의 種類數는 432種으로 集計, 報告하고 있다(Table 1).

Table 1. Changes in number of arthropods resistant to the pesticides.

Year	No. species
1908	1
1938	7
1948	14
1957	76
1960	137
1963	157
1967	224
1975	364
1980	432

1968年 Brown에 의하여 224種의 抵抗性系 害虫中 農作物害虫이 127種, 衛生害虫이 97種으로 報告되었다. 그 후 Georghiou(1980)의 集計에 의하면 農作物害虫

Table 2. Number of species of Arthropoda with reported cases of resistance to pesticides*

	Pesticide Group							Med.	Agr.	Total
	DDT	Cyclod.	OP	Carb.	Pyrethr.	Fumigant	Other			
Acarina	17	15	43	6			14	15	38	53
Anoplura	4	3	2	1				5		5
Coleoptera	24	53	26	9	3	8	5		64	64
Dermaptera	1								1	1
Diptera	107	111	58	9	3		2	132	25	157
Ephemeroptera	2								2	2
Hemipt./Het.	7	15	5				5	13	18	
Hemipt./Hom.	13	12	29	8	2	3	1		43	43
Hymenoptera	1	2							3	3
Lepidoptera	41	40	31	15	7		2		65	65
Mallophaga		3						3		3
Orthoptera	2	3	1	1	1			3		3
Siphonaptera	7	5	2					8		8
Thysanoptera	3	5	1				2		7	7
	229	267	198	49	16	11	26	171	261	432

*G.P. Georghiou, Resistance Documentation Center, University of California, Riveside, California. Updated July 1980.

은 261種으로서 約 49%의 增加를 보이고 있으며 衛生害虫은 171種으로서 約 57%의 急激한 增加를 보이고 있다. 이를 Brown(1968)의 報告와 比較해 보면 約 52%의 增加를 본 셈이 된다.

Table 2에서 보는 바와 같이 使用歷史가 오랜 有機鹽素系殺虫劑에서 抵抗性 誘發件數가 가장 두드러지게 나타나고 있으며 다음이 有機燐系殺虫劑, Carbamate 系殺虫劑 順으로 나타나고 있다.

殺虫劑抵抗性의 類型分類

害虫의 殺虫劑抵抗性은 주어진 殺虫劑에 對한 反應의 類型에 따라 다음과 같이 分類된다.

(1) 單純抵抗性 또는 單一抵抗性(Mono-resistance)

(2) 交叉抵抗性(廣義)(Cross-resistance) (Broad sence)

—交叉抵抗性(Cross-resistance)

—複合抵抗性(Multiple-resistance)

(3) 連合抵抗性(Joined resistance)

(4) 逆相關抵抗性(Negatively correlated cross resistance)

—眞逆相關交叉抵抗性(True negatively correlated cross resistance)

—僞逆相關交叉抵抗性(Pseudo-negatively correlated cross resistance)

單純 또는 單一抵抗性이란 淘汰藥劑에 대해서만 抵抗性을 나타내는 경우를 일컫는 것인데 이와 같은 實例는 보기 어렵다. 왜냐하면 淘汰藥劑에 대해서만 抵抗性을 나타내었다고 하더라도 實際 淘汰에 關與치 않은 藥劑에 대한 交叉抵抗性을 나타내는 例가 많기 때문이다.

廣義의 交叉抵抗性은 狹義의 交叉抵抗性과 複合抵抗性으로 大別하는데 1種의 殺虫劑로 昆虫을 累代淘汰하였을 때 2種 以上의 殺虫劑에 對하여 抵抗性이 나타나는 現象을 交叉抵抗性이라 하고 2種 以上의 殺虫劑로 昆虫을 累代淘汰하였을 때 그들 殺虫劑는 물론 그밖에 여러가지 殺虫劑에 對하여 抵抗性이 나타나는 現象을 複合抵抗性이라 한다. 이들 複合抵抗性은 2種 以上의 殺虫劑를 同時에 또는 交互로 使用하였을 때에도 適用하고 있으나 生化學的 또는 遺傳學的 解析이 따르지 않으면 區別이 어려운 때가 많다. Tsukamoto(1969)는 遺傳學的 側面에서 볼 때 두 抵抗性은 廣義의 交叉抵抗性이라고 하였다. 그리고 狹義의 交叉抵抗性은 하나의 遺傳子가 複數의 抵抗性機構를 支配함으로서 다른 殺虫劑에 對해서도 抵抗性을 나타내는 경우(Pleiotropic action of a single gene)를 意味하고 複合抵抗性은 同時에 存在하는 相異한 遺傳子(Co-existing different gene)에 의하여 다른 殺虫劑에 對해서도 抵抗性을 나타내는 경우로 區分하고 있다.

連合抵抗性이란 單純抵抗性의 系統을 다시 다른 殺虫劑로 累代淘汰하였을 때 前者의 抵抗性을 그대로 維持하면서 後者의 抵抗性을 겸하게 되는 現象으로서 單純抵抗性이 連合된 것으로 表現되는 抵抗性을 일컫는다. 이들에 關한 遺傳的 解析은 아직 不明하나 現象的인 例는 많다. 한 例로서 有機燐系殺虫劑 malathion을 끝동매미충防除에 連用한 結果, 抵抗性이 發生하였다. 이 때 carbamate系 殺虫劑로 代替하여 連用한 結果, 이들 두 系統의 殺虫劑 모두에 抵抗性이 發達하였는데 이 現象은 連合抵抗性의 한 좋은 例라 하겠다. 抵抗性이 나타나는 現象만을 가지고 볼 때는 連合抵抗性과 複合抵抗性은 同一하나 두 藥劑의 淘汰를 받았느냐, 받지 않았느냐에는 큰 差異가 있다.

逆相關交叉抵抗性은 對象藥劑에 對한 昆虫의 反應差異에 따라 두가지 型으로 나눌 수 있다. 즉 두 種類의 殺虫劑 중 어느 殺虫劑는 感受性 昆虫에 대해서 正常的인 殺虫效果를 나타내지 못하나 다른 한쪽의 殺虫劑에 對하여 抵抗性을 나타내는 昆虫에 대해서만 正常的인 殺虫效果를 나타내는 경우와, 2種의 殺虫劑 모두가 感受性 昆虫에 대해서만 正常的인 殺虫效果를 나타내는 두가지 경우를 생각할 수 있다. 이 때 前者의 경우를 眞逆相關交叉抵抗性이라 하고 後者의 경우를 僞逆相關交叉抵抗性이라 한다. 이 두가지 경우는 遺傳學的으로 볼 때 서로 다르다. 即 眞逆相關交叉抵抗性은 單一遺傳子에 의한 Pleiotropic한 作用으로 보아지고 僞逆相關交叉抵抗性은 Pleiotropic한 것으로 보기는 어렵다.

어느 害虫이 어느 殺虫劑에 對하여 抵抗性이 發生하였을 때 다른 殺虫劑에 대하여 感受性이 어떻게 될 것이냐를 아는 일은 實際 害虫防除에 있어서 必要할 뿐만 아니라 新殺虫劑의 開發이라는 側面에서도 대단히 중요한 意味가 內包되어 있다. 또한 藥劑抵抗性의 類型을 解析하고 把握하는 일들은 抵抗性害虫의 防除對策을 樹立하는데 좋은 情報가 될 수 있다.

抵抗性 發達速度의 支配要因

殺虫劑에 의한 害虫防除가 主體로 되어 있는 現時點에서 害虫들은 殺虫劑에 의한 淘汰를 피할 길이 없으며 이와같은 淘汰가 持續되는 限 어느 害虫에서도 殺虫劑抵抗性은 必然的으로 發達할 것에 틀림없다.

Georghiou & Taylor(1977)는 圃場에 있어서 殺虫劑에 대한 害虫의 抵抗性 發達 및 그의 擴大를 支配하는 要因을 Table 3에서와 같이 要約하였다.

Table 3에 든 要因 以外에도 天敵의 活動, 環境抵抗

Table 3. Known or suggested factors influencing the selection of resistance to insecticides in field populations(Georghiou & Taylor, 1977)

A. Genetic
  1. Frequency of R alleles
  2. Number of R alleles
  3. Dominance of R alleles
  4. Penetrance; expressivity; interactions of R alleles
  5. Past selection by other chemicals
  6. Extent of integration of R genome with fitness factors

B. Biological
  a. Biotic
    1. Generation turn-over
    2. Offspring per generation
    3. Monogamy/polygamy; parthenogenesis
  b. Behavioral
    1. Isolation; mobility; migration
    2. Monophagy/polyphagy
    3. Fortuitous survival; refugia

C. Operational
  a. The chemical
    1. Chemical nature of pesticide
    2. Relationship to earlier used chemicals
    3. Persistence of residues; formulation
  b. The application
    1. Application threshold
    2. Selection threshold
    3. Life stage{s} selected
    4. Mode of application
    5. Space-limited selection
    6. Alternating selection

의 强度 等도 包含되어야 할 것으로 본다. 또한 이들 要因은 단독으로 作用하기 보다는 여러가지 要因이 相互複雜한 系를 이루고 있는 것으로 다루어져야 할 것 같다.

殺虫劑에 對한 昆虫의 發達速度는 淘汰壓, 抵抗性의 遺傳子數, 遺傳子의 優性度, 環境抵抗, 殺虫劑의 作用特性, 昆虫의 特性 등 여러가지 要因에 따라 差異가 있을 것이다. 抵抗性 發達速度는 이들 要因中 昆虫集團이 지닌 遺傳變異(Heritable varience)의 幅과 淘汰壓의 强度에 의한 것이 가장 크게 作用하는 것으로 解析되고 있다. 그러나 淘汰壓이 높으면 높을수록 抵抗性 增大가 반드시 比例的으로 나타난다고 볼 수는 없다. 왜냐하면 높은 淘汰壓下에서는 살아 남는 個體數가 적기 때문에 昆虫集團內에 遺傳變異를 충분히 維持할 수 있는 範圍內에 있어야 抵抗性 發達速度를 論할 수 있기 때문이다.

抵抗性 發達過程을 보면 初期는 완만하게 增加하다가 얼마 후부터 急激히 增加하는 것이 普通이다. 抵抗性의 指數的 增加에 관해서는 몇가지 假說을 들어 論할 수 있다. (1) 遺傳的 또는 生理的 變化가 一定하더라도 어느 藥量水準을 경계로 死虫率에 큰 變化가 있음을 들 수 있고, (2) 昆虫의 集團內에 있어서 抵抗性 遺傳子의 頻度가 심히 낮은 경우 遺傳子頻度를 q라고 하면 $q(1-q)$〔完全優性일 때는 $q(1-q)^2$, 完全劣性일 때는 $q^2(1-q)$〕로 變化되어 가므로 指數的 增加의 說明이 可能하며, (3) 완만하게 增加하는 初期의 期間은 많은 抵抗性 補助遺傳子의 蓄積이 必要하기 때문인 것으로 본다.

殺虫劑 抵抗性 害虫防除의 今後對策과 研究方向

殺虫劑에 對한 害虫의 抵抗性에 關한 研究는 여러가지 方法 또는 여러가지 段階를 생각할 수 있겠으나 다음 4가지 段階를 들 수 있을 것 같다.

(1) 現象論的段階 : 抵抗性現象觀察 및 調査
(2) 實體論的段階 : 機作을 主體로 한 要因分析
(3) 本質論的段階 : 여러가지 要因의 綜合的 分析
(4) 目的論的段階 : 對策追求

一般的으로 抵抗性現象의 確認은 野外에서 잘 듣던 殺虫劑가 들지 않게 되었다는 單純한 觀察에서 出發하여 室內 또는 野外實驗을 通해서 確認하는 段階가 필요하다. 나아가 抵抗性昆虫의 地理的 分布, 發育 stage에 따른 感受性 差異의 究明, 抵抗性·感受性 昆虫間의 生物學的 差異 等을 究明하는 일이 現象論的 段階의 研究라 볼 수 있다.

어느 昆虫이 어느 殺虫劑에 對한 抵抗性이 確認되면 다음은 mechanism에 關한 研究가 始作된다. 一般的으로 *in vivo* 또는 *in vitro*에서 各種 生理·生化學的 要因分析을 實施하여 이들 要因中 어느 要因이 抵抗性과 關係가 있는가를 調査하게 된다. 이와 같이 抵抗性 要因을 分析해서 mechanism을 解明하는 일이 實體論的 段階의 研究에 該當한다.

生理·生化學的 要因이 固定되면 本質的인 研究로 들어가게 된다. 例를 들면 어느 解毒分解酵素의 活性이 높았다고 하면 量的인 差異인지 아니면 質的인 差異인지를 追求해 들어간다. 여기에서 얻어진 決論은 다음에 해당하는 目的論的段階의 研究에 긴요한 情報가 된다.

또한 抵抗性程度가 이상하게 높을 때는 複數의 要因이 重複되어, 相乘的으로 作用하고 있는가를 追究하게 된다. 여기에서 한번 分析한 要因을 다시 한번 生理·生化學的 水準에서 dynamics의 硏究가 行하여 진다. 이와같이 要因의 本質에 關한 硏究, 나아가 산 昆虫에 있어서 그들의 實質的 役割을 評價하는 硏究가 本質論的段階의 硏究라 볼 수 있다.

現在 害虫의 殺虫劑抵抗性에 關한 硏究는 平面的인 要因分析時代에 있으나 앞으로는 立體的인 要因綜合時代가 와야 한 것으로 본다. 아직 目的論的段階에는 이르지 못하고 있으나 現在 水準에서 抵抗性 對策을 몇가지 側面에서 提示해 두고자 한다.

(1) 化學構造修飾에 의한 新殺虫劑開發

現在 抵抗性害虫의 防除對策으로서 가장 一般的인 것은 慣行 殺虫劑를 新殺虫劑로 代替만 하면 可能한 것으로 생각하고 있다. 例를 들면 OP抵抗性 이화명충에는 cartap, chlordimeform, OP抵抗性 끝동매미충, 애멸구, 벼멸구에는 carbamate系 殺虫劑로 代替하면 對策이 끝나는 것으로 여겨 왔다. 그러나 이와같은 對策은 一時的인 對策에 不過함을 알게 되면서 抵抗性對策이 複雜하고 어렵다는 것을 알게 되었다.

殺虫劑에 의한 抵抗性의 原因이 解毒分解酵素의 活性化에 있다는 事實을 알게 되면서부터 解毒을 받기 어려운 化合物로 바꾸려는 化學構造修飾에 關한 硏究가 始作되었다.

抵抗性 對策과 關聯된 殺虫劑의 化學構造修飾은 DDT, malathion, carbaryl 등에서 硏究된 일이 있다. Plapp等(1965)은 malathion에서 O,O-dialkyl關聯化合物에 關해서 R系統의 집파리와 모기의 1種 *Culex tarsalis*에 對한 試驗을 通해서 O,O-dipropyl 基에서 높은 殺虫效果가 나타남을 發見하였다. Fahmy & Fukudo(1970)는 殺虫劑 carbaryl에서 N-acetyl carbaryl이 carbaryl抵抗性 담배거세미나방에 對하여 carbaryl보다 훨씬 높은 殺虫力이 나타남을 發見하였다 이것은 R系統에 있어서 解毒分解酵素(脫 acyl 酵素)를 逆의 活性化酵素로 作用하였기 때문이다. 이는 化合物修飾으로서 抵抗性 害虫防除의 可能性을 示唆하는 좋은 예가 되고 있다.

(2) 協力劑와 協力作用의 利用

抵抗性害虫 防除對策으로서 또 하나는 協力劑의 開發과 그의 利用을 들 수 있다. 近來 알려진 有力한 協力劑로서는 MDP(methylenedioxyphenyl)가 있는데 이 化合物은 MFO(mixed-function oxidase)에 의한 殺虫劑의 酸化的 解毒分解를 阻害한다는 事實이 밝혀지면서 協力劑로서 널리 알려지게 되었다. 이와같은 協力作用은 殺虫劑+殺虫劑, 또는 殺虫劑+殺菌劑에서도 發見되고 있다.

一般的으로 抵抗性 發現이 單一遺傳子의 支配를 받

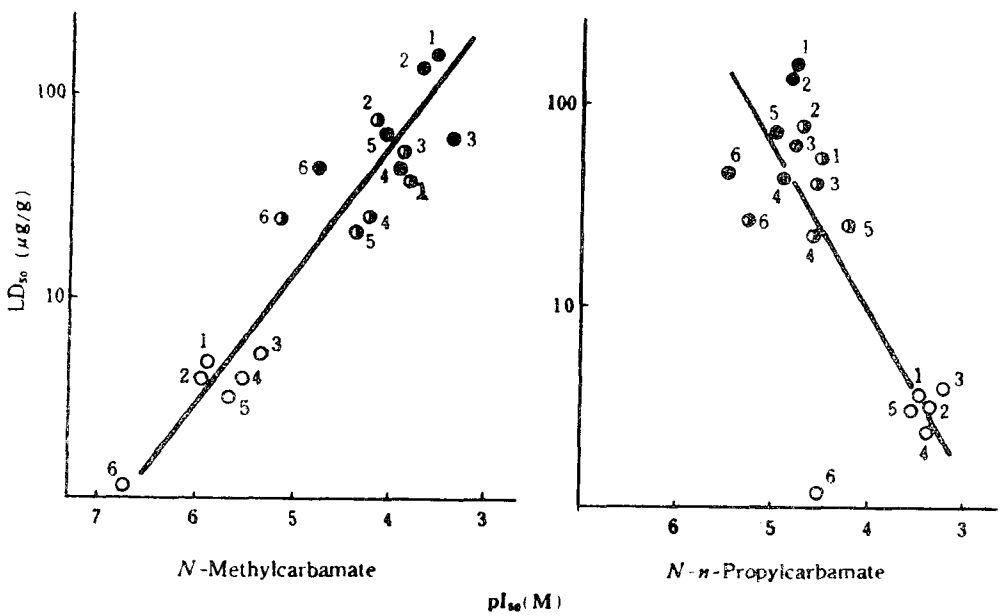

Fig. 2. Negatively correlated cross resistance between N-methylcarbamate and N-*n*-propylcarbamate in the cholinesterase inhibion of green rice leafhopper(Yamamoto et al., 1977)
1. MIPC 2. BPMC 3. MTMC 4. MPMC 5. XMC 6. Carbaryl

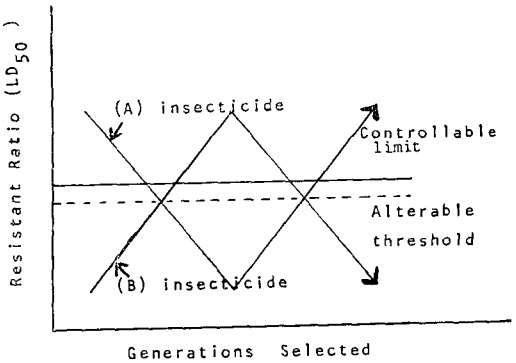

Fig. 3. Scheme of controllable/alterable limits in the control of the insect pests resistant to the given insecticides

을 때는 協力劑에 의한 效果를 크게 期待할 수 있으나 複數遺傳子가 關係할 때는 協力劑의 期待效果는 낮은 것이 普通이다. 이 分野에 關한 硏究는 크게 發展하지 못하고 있으나 앞으로 優秀한 協力劑 또는 混合劑가 開發된다면 抵抗性害虫 防除에 큰 功獻이 있을 것으로 본다.

(3) 逆相關交叉抵抗性 殺虫劑의 開發과 利用

前述한 바와 같이 逆相關交叉抵抗性이란 어느 殺虫劑에 對하여 抵抗性이 發達하면 다른 殺虫劑에 對해서는 오히려 感受性化되는 現象인데 이 分野의 硏究는 앞으로 抵抗性 害虫防除에 至大한 功獻이 있을 것으로 期待된다.

逆相關交叉抵抗性 關係는 DDT抵抗性 초파리에 對한 PTU(phenylthiourea)의 殺虫效果에서 처음으로 發見되었다. 그 후 Fahmy & Fukudo(1970)는 N-acylcarbamate는 R系統의 담배거세미나방(*Protenia litura*)에 對해서 S系統보다 강한 殺虫力을 나타냄을 發見하였는데 R系統에서는 脫acyl化 能力이 높은 活性 N-methylcarbamate의 分解가 많았음을 確認하였다. 한편 Yamamoto等(1977)은 carbamate系 殺虫劑에 對하여 感受性을 달리하는 3系統의 끝동매미충에 對하여 N-methylcarbamate와 N-*n*-propylcarbamate의 ChE 阻害에 關하여 逆相關交叉抵抗性의 現象을 確認하였다 (Fig. 2).

逆相關交叉抵抗性이 抵抗性 遺傳子의 Pleiotropic한 作用을 지닌 것이라면 理想的인 抵抗性 對策이 될 수 있기 때문에 이와같은 化合物의 發見은 대단히 重要한 意義가 있는 것으로 評價되고 있다.

그러나 問題는 逆相關交叉抵抗性을 나타내는 化合物이 發見되었다고 하더라도 그 殺虫劑의 連用은 또다시 抵抗性이 增大하기 때문에 逆相關交叉抵抗性을 나타내는 藥劑가 發見되었다고 하더라도 그것이 항구적인 抵抗性 對策이 確立되었다고는 볼 수 없다는데 있다.

그러므로 Fig. 2에서 보는 바와 같이 이들 두 殺虫劑는 어떠한 理論的인 근거하에서 交互使用을 해야 된다는 結論에 이르고 만다.

(4) 混合劑와 交互使用

항구적인 對策은 될 수 없지만 作用을 달리하는 2種 以上의 殺虫劑의 混合 또는 交互使用(Rotation)함으로서 抵抗性 發達速度를 抑制 내지 遲延시킬 수 있다는 증거는 많다. 그러나 막연한 두 藥劑의 混合만으로 抵抗性 對策이 쉽게 이루어지는 것은 결코 아니다. 混合劑 組合의 경우에는 個個 藥劑의 特性은 물론 두 藥劑 相互關係를 充分히 檢討할 필요가 있다.

(5) 綜合的 對策樹立

現行 害虫防除가 害虫의 汰淘를 隨伴하고 있는 限 어떠한 殺虫劑에 對해서도 抵抗性이 發達한다고 하는 原點에 돌아가 생각할 때 抵抗性 對策에서 잊어서는 안될 點은 어떻게 해서 抵抗性의 發達과 擴大를 抑制하느냐에 있다고 보아야 할 것 같다. 또한 殺虫劑 抵抗性 問題의 解決은 昆虫毒物學者 뿐만 아니라 應用昆虫學者, 生理·生化學者, 遺傳學者 나아가 生態學者의 協力과 協助를 求하여 害虫密度의 抑制라고 하는 綜合的害虫管理(IPM)에 歸結시키지 않을 수 없을 것 같다

引 用 文 獻

1. Brown, A.W.A. 1968. Bull. Entomol. Soc. Amer. 14 : 3-9.
2. Brown, A.W.A. 1977. *In:* ACS Symp. Ser. 37. "Pesticide Chemistry in Twenty Century"(1976), Washington, D.C. ACS. pp. 21-34.
3. Brown, A.W.A. and R. Pal. 1971. Insecticide resistance in Arthropods. W.H.O. Monograph, Geneva. 491pp.
4. Fahmy, M.A. and T.R. Fukuto. 1970. J. Econ Entomol. 63 : 1783.
5. FAO. 1967. First session of the FAO working party of experts on resistance of pests to pesticides. Rome, Oct. 4-9 1965. Rpt. No. PL/19 65/18 : 106pp.
6. FAO. 1981. Report of the 2nd session of the PAO panel of experts. Plant Prod. and Prot Paper 6/3, Rome. 35pp.
7. Georghiou, G.P. and C.E. Taylor. 1977. Proc XV Intr. Congr. Ent., Ent. Soc. Amer. 759 785pp.

8. 石井象二郎. 1981. 昆虫學最近の進步, 東大出版會 pp. 553-569.
9. Metcalf, R.L. 1955. Organic Insecticides. Inter Science, New York : 392 pp.
10. Metcalf, R.L. 1980. Ann. Rev. Entomol. 25 : 219-256.
11. Metcalf, R.L. and J.J. Mekelvey. 1976. The future for insecticides. Needs and Prospect. Environ. Sci. and Tech. 524 pp.
12. Oppenoorth, F.J. 1976. Environ. Sci. and Tech. Vol. 6 : 41-59.
13. Plapp, F.W. 1976. Ann. Rev. Entomol. 21 : 179-197.
14. Plapp, F.W. Orchard, R.D. and J.W. Morgan. 1965. J. Econ. Entomol. 58 : 953.
15. Tsukamoto, M. 1969. Residue Rev. 25 : 289.
16. Yamamoto, I. and J. Fukami. 1979. Pesticide Design. Strategy and Tactics. Soft Sce. INC. 1222 pp.
17. Yamamoto, I., Kyomura, N. and Y. Takahashi. 1977. J. Pestic. Sci. 2 : 463.
18. Welling, W. 1977. Ann. Rev. Entomol. 22 : 53-78.