

〈해 설〉

放射線을 利用한 害虫防除現況

權 臣 漢 · 鄭 圭 會

放射線農學研究所

(1973년 1월 30일 접수)

放射線이나 放射性同位元素의 害虫구제에 대한 利用은 近來 20여년간에 걸쳐 획기적인 發展을 거듭하여 왔으며, 一部 害虫에 대해선 完전구제에 成功을 보기도 하였다. 더욱이 1945年頃, 強力한 有機鹽素劑인 D.D.T., B.H.C. 등의 開發과 유기인제등의 開發利用이 확대됨에 따라 害虫防除에 공헌한 바 지대하였으나, 天敵의 消滅, 害虫의 藥劑에 대한 抵抗性, 人畜에 대한 毒性등이 問題되어 二次的인 被害가 늘어나 難關에 逢着하게 되었다. 1950年 이후에 強調되어온 綜合的 防除對策의 一環으로서, 放射線의 利用은 점차적으로 害虫防除의 重要한 一部가 되어 가고 있다. 이러한 放射線이나 放射性同位元素의 害虫學的 利用은 追跡子로서의 昆虫生理 및 昆虫生態 研究에 貢獻한 바 크며, 放射線은 해충구제면에서 直接 使用되어 왔다. 追跡子로서의 利用은 害虫學에 있어 특이한 것은 아니므로 여기서는 放射線의 害虫防除에의 利用과 아울러 해충구제시 반드시 必要한 人工大量飼育問題에 關하여 說明하고자 한다.

1. 放射線의 害虫學的 利用

放射線을 害虫에 利用하여 殺虫效果 또는 不妊效果를 얻기 시작한 것은 1937年 처음으로 美農務省 昆虫局長 Knipling(1959, 60, 65)에 의해서 Screw worm의 雄虫(♂)에 不妊을 誘導, 放散하면 구제할 수 있을 것이라는 可能性이 제시된 후, Lindquist(1952, 55, 58), Baumhover(1963), Baumhover(1959) et al, Bushland 및 Hopkins(1953)氏 등 여러 사람에 의해 많은 研究가 이루어졌으며, 1957年 Florida 주 남쪽 Curacao 섬에서 이와같은 理論的 근거를 實地 實驗하여 처음으로 成功을 보았다. 이후 害虫學者들의 관심은 고조되어 Stable fly, Fruit fly, Codling moth, Boll weevil 등의 大量飼育과 放射線照射에 의한 不妊害虫放散으로 해충구제에 좋은 結果를 얻고 있다(I. A. E. A. 1971).

(1) 不妊技術의 利用原理

放射線을 昆虫體에 照射하여 不妊을 誘起시킨 후, 不妊화된 害虫을 大量으로 野外에 放散시켜, 野外의 健전한 雌虫(♀)과 交尾케 함으로서, 無精囊을 얻어 集團의 量을 減少시킴으로서, 구제효과를 얻는 것을 不妊技術을 利用한 害虫防除라고 부른다.

一般的으로 放射線에 대한 感受性은 細胞分裂이 旺盛한 기관에서 크며, 昆虫體는 다른 高等動物보다 放射線에 대한 抵抗性이 強하다고 알려져 있다. Sado(1966)는 누에의 發生段階에 따른 生殖細胞의 形成狀態와 各段階에서의 放射線 感受性을 研究한 結果, 表 1에서의 같이 發生段階가 어린 것일수록 感受性이 예민하며, 노숙화 됨에 따라서 抵抗性이 強하다는 結論을 얻었는데 이는 제1~3齡期 幼虫은 感受性이 가장 예민한 것으로 알려진 精原細胞(spermatogonia)로서 大部分이 構成되어 있기 때문이며, 第5齡期 初에는 精原細胞보다 放射線에 強한 精母細胞나 精細胞(Spermatids)로 形成되어 있어, 感受性이 第1~3齡期 幼虫보다는 強하나 다른 Stage 보다는 예민했다. Plough(1954)등은 Drosophila 와 哺乳類에 대한 放射線에 對한 感受性을 比較, 그 結果를 表 2와 같이 보여 주었다.

一般的으로 昆虫의 放射線 感受性이 強한 原因은 再生力이 없는 表皮組織, 粘膜組織, 淋巴組織으로 構成되어 있으며 더욱이 成虫의 몸은 主로 神經, 筋肉, 脂肪組織 등으로 되어 있고 表皮는 生命力이 없는 Cuticle 로 되어 있기 때문으로 본다.

한편 不妊誘起에 關聯되는 生殖細胞는 再生能力이 強하여 感受性이 예민하기 때문에 致死線量과 不妊誘起線量의 差異가 커서 昆虫體에 放射線을 照射시키면 一般的인 生理活動에는 큰 影響을 주지 않고 生殖能力만을 喪失케 할 수 있어 有用性이 있는 것이다. 다음 表 2에서 보는 바와 같이 초파마의 不妊誘起線量은 致死線量

Table 1. Growth and germ cell formation of silk worm

Growing stage	Germ cell in testes
Hatching-The 1st Star	Spermatogonia
The 2nd Star-The 3rd Star	Spermatogonia, the 1st spermatocyte
The 3rd Star-The 4th Star	The 1st spermatocyte, the 2nd spermatocyte
The 4th Star-The 5th Star	// //
The 5th Star-Pupae	Spermatids immature sperm.
Adult	Mature sperm.

Table 2. Radiosensitivities of Drosophila and Mammals

	Drosophila	Mouse	Man
LD 50	30,000	650	400
LD 100	80,000	800	600
Male Sterilizing Dose	5,000	500	500

의 1/16밖에 되지 않기 때문에 활력에는 별로 영향을 주지 않고 昆蟲體에 不妊性을 誘起할 수 있는 것이다. 不妊誘起線량을 適當한 發育段階의 虫尾에 照射시켰을 경우, 雌虫에서는 生殖細胞인 원시생식세포에서 囊原細胞, 囊母細胞의 分化가 잘 되지 않거나 囊形成時 完全

한 囊을 形成하지 못해서 產囊이 抑制되며, 雄虫의 경우도 精子形成을 못한다든지 Testes가 작아져 交尾는 하나 内容物이 不充分해서 產囊이 抑制되거나 無精囊을 낳게한다.

Flint(1965, 1966)는 Hippelates Pussio Loew 雄虫의 蛹에 5,000R을 照射한 후, 成虫의 Testes를 調査한 結果 크기가 작아졌으며 이로 인해 產囊에 지장을 받는다 하여 위와 같은 結果를 證明하였다.

Sterile-male technique는, 체세포보다 感受性이 예민한 生殖細胞가 放射線照射로 因하여 精子의 活潑한 運動力을 喪失케 되므로 昆蟲의 活動에는 別影響을 주지 않게 되며 放散은 시도하면 生物의 交尾本能에 依해서 不妊雄虫은 雌虫을 찾아 가므로 一般 殺虫劑와는 달리 能動的이고 選擇的이며 또한 生物學的原因으로서의 防除力을 얻을수 있어 그 效果가 크고 동시에 天敵의 殺害나 殘留毒性등의 被害가 수반되지 않는것이 특징이다. 위에서 說明한 條件을 充足시킬만한 不妊誘起線量으로 照射된 雄虫을 放散시킬 경우, 自然狀態에서 자란 雄虫과 充分한 交尾競争을 이룰수 있어야 하며 放散에 要求되는 數는 自然狀態의 環境에 의해서 決定될 것이고, 自然集團밀도가 크거나 生活力이 빠른 狀態에서는 수많은 放散雄虫을 必要로 하게 된다. 結局 自然狀態의 害虫數가 적어야만 不妊虫의 數가 적게 되며 飼育費用도 절감시킬수 있을 것이다. 照射받은 害虫이 野外에서 完全한 交尾競争을 할수 있다면 우리는 自然集團의 추세를 평가할수 있고 標準增加率도 算出해 낼수 있을 것이다.

一定한 數의 雄虫을 放散시켜서 各世代의 集團量 (population size) 變動을 農藥使用時와 比較한 結果,

Table 3. Theoretical model showing the trend of insect populations subjected to three different treatments

Generation	No treatment (control)	Insecticide treatment that kills 90 percent each generation	Release of constant number of sterile insects that initially overflow the natural population by a ratio of 9:1		
			Natural population	Sterile population	Ratio: sterile to fertile
	1,000	1,000	1,000	9,000	9:1
F ₁	5,000	500	500	9,000	18:1
F ₂	25,000	250	132	9,000	68:1
F ₃	*125,000	125	10	9,000	900:1
F ₂	125,000	62	0		
F ₅	125,000	31			
F ₆	125,000	16			
F ₇	125,000	8			
F ₈	125,000	4			
F ₉	125,000	2			
F ₁₀	125,000	1			

* An uncontrolled population of any insect will reach a maximum population level that the environment will maintain. For this model, it is assumed that 125,000 would represent the maximum.

Table 4. Relative trends of hypothetical insect populations subjected to

(1) No control; (2) Control by insecticides alonne; (3) Control by the use of sterile insects alone; and (4) Control by theintegration nf chemical control and sterile insect releases.

Generation	(1) Uncontrolled population*	(2) Insecticide treatments (90% kill each generation)	(3) Sterile insect releases (9,000,000 each generation)	(4) integrated programme of insecticides and sterile-insect releases
Parent	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
F ₁	5,000,000	500,000	500,000	45,450
F ₂	25,000,000	250,000	131,625	9,880
F ₃	125,000,000	125,000	9,540	485
F ₄	Same	62,500	50	0

* It is assumed that the uncontrolled population increases at a 5-fold rate until the maximum density for the environment is reached, which is assumed to be 125,000,000.

表 3에서와 같이 昆虫의 增加率을 每 世代當 5倍로 가정한다면 自然集團의 增加를 防止하고 平行을 維持하기 위해서는 最少限 4:1로 放散하여야만 되고 集團量을 줄이기 爲해선 4:1以上이 되어야만 한다는 結論을 얻을수 있는 것이다. 農藥使用時도 80%의 殺虫率을 維持한다 면 現在의 集團을 現狀態대로 保存할수 있으며 90%를 殺虫시켜야만 昆虫數를 줄일수 있고, 이 경우 F₁의 數 는 9:1로 放散시킨 結果와 같은 것을 볼수 있으나 F₂, F₃, ……로 됨에 따라 效果는 현저한 差異가 있다. F₂, F₃로 되면서 集團의 量이 낮아짐에 따라 放散比率은 반 대로 높아지기 때문에 正常雌虫의 不妊率이 상승하여 集團의 量은 急進의으로 감소되나 殺虫劑처리 的 영향은 集團의 量이 클 경우 實際的인 殺虫效果는 대단히 크지 만 集團量이 낮아짐에 따라 殺虫效果는 지극히 낮아지 는 것이다. 이러한 것은 해충구제에 있어 殺虫劑의 使用 과 不妊技術의 利用중 選擇的인 그 個個의 特性을 效果 的으로 混用할때 必要한 特徵인 것이다.

一般的으로 害虫은 自然狀態의 集團量이 가장 낮은 水準에 있을 때에도 個體數가 상당히 많아 이를 구제키 위해서는 殺虫劑의 使用이나 生態的 防除法 등이 飼育 經濟性에 비추어 볼때, 不妊個體放散에 의하는 것보다 效果의이나 一定한 密度水準으로 個體數가 낮아질 경우 에는 不妊個體放散에 의하는 것이 더욱 效果的인 것이다. 例 를 들면 100만 的 昆虫個體가 있을 경우 殺虫劑에 의한 90%구제는 900,000마리의 殺虫으로서 대단한 效果이지 만 두번째 처리의 경우는 90,000, 세번째는 9,000, 네 번째는 900, 다섯번째는 90, 여섯번째는 단지 9마리로서 그 效果는 集團量이 낮아짐에 따라 점점 微弱해 진 다. 따라서 集團密度가 낮아지는 어느 기점에서 不妊 技術利用이 殺虫劑의 繼續的인 使用보다 더욱 效果的인 것이며, 이렇게 不妊技術利用이 보다 效果的인 되는 그 密度水準은 그 昆虫의 生産費用에 依存하여 決定되는 것이다.

一般的으로 殺虫劑에 의한 方法과 不妊技術을 混用한 다면 表 4에서와 같이 더 큰 放散效果를 얻을수 있으며 實際로 野外集團量이 큰 害虫에 있어 實效性이 있는 것 이다. 그러나 不妊誘起線量이 너무 높을 경우엔 被射害虫 的 活動 및 交尾競爭등에 많은 障害를 받기가 쉬어 害虫의 選擇은 本 技術利用의 成敗를 가름하게 되는 것 이다.

(2) 交尾競爭(mating competition)

放射線을 高線量으로 照射시킬 경우 昆虫의 交尾競爭 的 直接 間接으로 影響을 많이 받기 때문에 照射線量은 交尾活動에 지장을 주지 않는 범위내에서 不妊을 誘起 할수 있도록 決定되어야한다. 實際로 不妊個體를 自然集團 에 放散시켰을때 不妊雄虫과 正帶雄虫사이에 생기는 交尾競爭에서 一般的인 行動이나 飛散力, 壽命, 性的競爭 力, 交尾行動의 狀態등이 同一하여야만 좋은 結果를 얻을수 있는 것은 勿論 交尾回數도 줄지 말아야 좋을것 이다. 一般的으로 昆虫의 交尾回數를 알아내는데는 放射 性同位元素인 P³²나 C¹⁴등을 많이 使用하고 있는데 모 기에서 그 例를 보면 幼虫의 먹이에 P³²로 표지된 KH₂ P*O₄를 넣으면 P³²가 정자속에 축적되고, 이렇게 축적 된 雄虫 한 마리와 正常的인 雌虫 여러 마리를 한 交尾 用 상자속에 넣었다가 計測機로 雌虫에 대하여 放射線 放出 有無를 測定하면 표지된 精子가 저장낭속에 있는 지를 알게 된다(Abedl-Malek, 1961, 1965).

Flint 등의 보고에 의하면 Tobacco Budworm의 成虫 的 有 45Kr 以上의 線量을 照射받은 雄虫을 正常的인 雌虫과 交尾시킨 結果 100%의 不妊效果를 얻었고 一定 期間동안 同一한 곳에서의 交尾回數는 5日동안 94.3% 가 交尾를 했으나 正常雄虫은 97.4%가 交尾를 하여 약 간의 差異가 있었으나 이정도의 근소한 差異는 不妊技術 利用面에서 別問題가 아닌 것이라 했으며 또한 平均 交尾回數는 2.4回(正常은 2.5回)였고 照射받은 雄虫과 正常雄虫을 같은 交尾상자에 넣어 競爭시킨 結果는 表

Table 5. Mating competitiveness of radiation-sterilized tobacco bud worm males

Ratio*	No. of eggs	Hatched(%)	
		observed value	expected value
0:1:1	673	89.5	
1:0:1	534	0.5	
1:1:1	863	63.8	44.7
2:1:1	792	73.3	29.8
3:1:1	685	52.4	22.3

* Irradiated male: Normal male: Normal female

5에서와 같이 상당한 差異를 나타내었다.

交尾組合이 1:1:1일때 처리雄虫의 交尾能力이 正常雄虫과 同等하다면 囊의 孵化率은 理論적으로 0:1:1의 交尾組合에서의 孵化率의 半, 即 $89.5 \times \frac{1}{2} = 44.7(\%)$ 가 되어야 하다 實驗値는 理論値보다 높아, 交尾回數實驗結果와는 달리 처리雄虫의 競爭力은 正常個體에 比하여 떨어졌다. 이러한 差異는, 前者는 交尾回數, 後者는 孵化率에 대하여 各各의 差異를 구명했기 때문이며 이 問題를 解決하기 위해선 C^{14} 으로 精子를 標識하면 쉽게 구명될수 있다. 即 雄虫을 하루동안 굶긴후 C^{14} -glucose (2×10^5 dpm/50 μ l)와 꿀을 1:1로 섞어서 섭취시켜 다음 날 正常雌虫과 交尾시킨후 放射能을 計測하면 된다. Flint에 의하면 Tobacco budworm에 있어 C^{14} -glucose로 標識한 후의 交尾競争結果는 큰 差異를 볼 수 없었으므로 만일 成虫들間에 交互交尾가 이루어 진다면 理論値보다 實測値가 높아질 것으로 보고 第一回는 不妊雄虫, 第二回는 正常雄虫으로 交尾시킨 結果 不妊率이 54%이었으며 反對의 交尾組合에서는 22%에 不過하였다. 따라서 交尾效果에 의한 理論値와 實測値의 差異가 생길수 있을 것이다. 그러나 交尾本能은 많은 昆虫의 未交尾雌虫(Vergin female)에서 發散되는 性 pheromone에 의해 자극되는 경우가 많고 한번 交尾한 成虫은 분비량이 극히 적어지며 수초 이내에 휘발하여 소멸되므로 Cage內의 調整에서는 交尾回數가 正常時보다 더 많아지는 경우가 있겠으나 野外에서는 서로 멀리 떨어져 있어 性 pheromone의 자극이 극히 적을 것으로 보아 영향력이 감소되므로 큰 問題는 없을 것으로 본다.

2. 人工大量飼育

앞서 說明한 바와 같이 Sterile-male technique는 自然界的 害虫數보다 많은 不妊成虫을 放散해야 하기 때문에 成功여부는 自然界的 害虫數에 대한 放散不妊雄虫

數의 比에 의하여 決定된다. 또한 雄性不妊技術의 利用뿐 아니라 生物學的 防除나 化學的 防除面에서도 供試虫의 必要性이 要求되어 昆虫의 人工飼育이란 새로운 分野가 登揚하였다.

大部分의 害虫이 속해 있는 鱗翅目(Lepidoptera)의 경우 植物體를 섭취하는 고로 飼育方法이 어려웠 1942年 처음으로 Bottger가 조명나방(European corn borer)에 대하여 보고하였으며 人工飼料에 관한 研究가 많이 이루어 졌다. 그러나 植物組織이 첨가되지 않은 化學飼料에 의한 飼育은 幼虫期間의 致死率이 높아 그 利用이 늦어졌으나 Vanderzant와 Reiser(1956)에 의해서 100% 飼育할수 있는 方法이 開發됐지만 飼育費用이 많이 들었고 飼育費用을 줄이기 위해 Adkison(1960) 등이 Wheat germ diet 등을 첨가시켜 값싼 飼育의 成功을 보았다. 그에따라 Boll worm(1962, Vanderzant), Cabbage looper(1963, Ignoffo), Sugar canborer(1961, Pan and Long), Rice stem borer(1964, Fukaya and Kamano) Fallarmy worm(1967, Burton), Corn ear worm(1969, Burton), Tobacco budworm((1969, 1972, Raulston)등의 人工飼育法이 開發되었으나 一部 害虫에서는 아직도 飼育費用이 비싸기 때문에 繼續 研究되고 있는 중이다. 植物體를 먹이로 하지 않는 파리류(Diptera)등은 이보다 앞서 집파리의 경우는 Lodge(1918)에 의해 飼育의 成功을 보았으며 動物의 피를 먹이로 하는 Screw worm이나 쇠파리(Stable fly)는 1925년에 一部 飼育結果가 報告되었다(Glaser 1924). 또한 파리류는 鱗翅目 害虫에 比해 飼育費用도 저렴하여 1957년에는 1週일에 2,000만 마리의 雄虫을 生産할수 있는 工場을 세우기에 이르렀다. 結局, 害虫의 人工飼育法開發은 雄性不妊技術의 成功여부를 左右하는 重要한 要因인 것이다. Lindquist는 1963年 大量飼育을 위한 人工飼料의 開發을 위해 營養物質 相互間의 構成比와 섭취속진 물질 그리고 飼料의 物理的 狀態 即 植物體를 섭취하는 害虫의 飼料形態 및 飼育中 雜菌汚染에 의한 腐敗등을 研究하였고 또한 成虫의 飼料, 例를 들면 모기의 幼虫時 飼料와, 成虫時 雌虫은 피를 食餌하나 雄虫은 食餌하지 않는다는지, 쇠파리와 같이 成虫은 피를 반드시 食餌하는 問題, 受精囊을 쉽게 얻을수 있는 것과 같은 問題點등을 提起하였다. 이러한 問題點을 解決하고 防除에 成功을 거둔 Screw worm을 보면, Texas內의 Mission 工場에서의 生産費用은 成虫 百萬當 約 250~300\$이었다. 生産費用面에서 보아 열대지방의 fruit fly, melon fly, stable fly 등은 100~200\$정도로 飼育할수 있기 때문에 雄性不妊技術을 利用하는 防除에 生態調査 結果만 좋다면 成功될수 있을 것으로 보며, 百萬마리의

生産費用이 1,000~5,000 \$ 로서 生産될수 있는 많은 種類의 害虫은 農藥등의 補助使用物質에 따라서 成功될수 있겠다는 것이 美國 農務省의 發表이다.

〈人工大量飼育의 例〉

지금까지 開發된 大量飼育을 할수 있는 害虫중 鱗翅目과 파리目的 重要한 害虫을 보면 다음과 같다.

[Lepidoptera]

European corn borer.	Ostrinia nubilalis
Rice stem borer.	Chilo supressalis
Oriental fruit moth.	Grapholitha molesta
Red banded leaf roller.	Argyrotaenia velutinana
Pink boll worm.	Pectinophora gossypiella
Silk worm.	Bombyx mori
Cabbage looper.	Trichoplusia ni
Codling moth	Carpocapsa pomonella
Sugar can borer.	Diatraea saccharalis
Boll worm.	Heliothis zea
Tobacco hornworm.	Protoparee sexta
Tomatoes hornworm.	Protoparee quinquemaculata
Fall army worm.	Spodoptera frugiperda
Tobacco budworm.	Heliothis virescens
Beet armyworm.	Spodoptera exiqua

[Diptera]

Screw worm.	Cochliomyia hominivorax
Cherry fruit fly.	Rhagoletis cerasi
Olive fly.	Dacus oleae
Mediterranean fruit fly.	Ceratitis capitata
House fly.	Musca domestica
Stable fly.	Stomoxys calcitrans
Tsetse fly.	Glossina spp.
Oriental fruit fly.	Dacus dorsalis
Melon fly.	Dacus cucurbitae
Tropical fruit fly.	Dacus musa
Tropical fruit fly.	Dacus zonatus
Fruit fly.	Drosophila melanogaster, etc.

3. Sterile male technique 에 의한

害虫防除의 例

1928年 放射線이 昆虫에 처음으로 使用된 후 1958年에는 Screw worm 이 局少地域에서 成功되었으며 다른 여러 害虫들(Codling moths, Oriental fruit fly, Melon fly, Boll weevil, Boll worm, Tobacco budworm, Tobacco hornworm, Malaria mosquito, Cabbage looper, Stable fly 등)에서도 시도되고 있는 중이다.

이들중 국소지역에서의 成功을 본후 Texas, Mexico 등지에 까지 확장을 시도하여 구제사업을 벌이고 있는 Screm worm 의 경우를 보면 1次 대상지역인 Florida 남쪽 170평방 mile 의 Curacao 섬에서의 調査結果 1평방 mile 당 一週에 800마리의 不妊雄虫을 必要로 하기 때문에 一週일에 2,000만마리의 雄虫을 生産할수 있는 工場을 1957年에 Florida 주를 中心으로 여러곳에 分散시켜 세웠으며 飼育에 必要한 飼料量은 一週에 8만 파운드, 물 9,600개론, 소피 4,500개론, 꿀 350개론이나 되었다.

不妊化를 위한 放射線源은 初期에는 C¹⁶⁰ 11ci 와 70ci 를 利用했으나 後에는 800~900R/min 의 線量率을 내는 것으로 바꾸었고, 照射時期는 五齡期 蛹에 5KR 으로서 不妊을 誘導하였으며 照射된 蛹은 440個體씩 한 종이상자(4 1/2 × 5 1/2 × 2 inches)에 넣어 溫度 27°C, 相對濕度 70~80%를 維持시키고 地域의으로 生産된 것을 몰아 飛行機로서 투하 放散하였다. 放散效果는 1957年 가을부터 1959年 2月까지 18個月만에 이 害虫을 完全 구제시켰으며 소모된 蛹數는 37억 個였고 630만파운드의 肉類, 20대의 飛行機, 고용원 500명에 이르는 總 研究費 25만\$과 事業費 1,000만\$이 소모되었으며 年間 純利益 1,000만\$ 以上으로서, 現在까지 約 2억\$ 以上の 利益을 얻었을 것이라고 美農務省은 추산하고 있다. 그후 Texas 주에서는 1962年에 18억, 1963年에는 60억의 번데기를 生産하여 放散시킴으로서 成功을 거두었다. 이와 같은 成功은 막대한 事業費를 補助한 牧畜業者와 연방정부 및 農務省의 힘이었음은 勿論, 繼續해서 研究를 促進시켜 온 研究者의 努力의 結晶이라 하겠다. 이외에도 Arizona 및 California 주에서 목화의 Boll worm, Washington 주에서는 사과에 기생하는 Codling moth 등 大量飼育과 大量放散에 의한 害虫防除가 活潑히 進行되고 있으며 Beltsville, North Calorina, Brownville, Texas 및 Tucson 等地에서의 各種害虫의 人工飼育法開發은 印象의이었다.

4. 앞으로의 害虫구제 전망

大量飼育法이 發展됨에 따라 自然集團의 變動狀態나 生活習性등의 基礎資料를 얻기가 쉽워졌으며 不妊誘起 線量이 比較的 낮은 파리류에 대한 구제는 實用化될 可能性이 높아졌고 生産費用이 比較的 높은 다른 害虫의 경우에도 綜合的 防除對策의 一環으로서 利用된다면 앞으로의 害虫防除에 큰 成果를 거둘 것으로 본다.

한편, 供試虫의 大量획득은 各國에서 開發을 시도하고 있는 性 誘引物質(Sex pheromone) 發展에도 成果

를 期待할수 있으며 飼育費用이 적게 드는 大量飼育法 開發은 害虫구제의 重要한 關鍵이 되리라고 본다.

References

- 1) Abedl-Malek, A. A., A. O. Tantawy, & A. M. Wakid. 1966. Studies on the eradication of *Anopheles pharoensis* Theobald by the sterile-male technique using cobalt 60 I. Biological effects of gamma radiation on the different developmental stages. *J. Econ. Ent.* 59: 672.
- 2) Abedl-Malek, A. A., A. O. Tantawy, & A. M. 1961. The effect of radiative phosphorous on the growth and development of *Culex pipiens* malestus Forsk. *Bull. Ent. Res.* 52: 701.
- 3) Adkisson, P. L., E. S. Vanderzant, D. L. Bull, & W. E. Assison. 1960 a. A wheat germ medium for rearing the pink bollworm. *J. Econ. Ent.* 53(5): 759-762.
- 4) Baumhover, A. H. 1963. Susceptibility of screw-worm larvae and prepupae to desiccation. *J. Econ. Ent.* 56: 473-475.
- 5) Baumhover, C. N. Husman, C. C. Skipper & W. D. New. 1959. Field observations on the effects of releasing sterile screw-worms in Florida. *J. Econ. Ent.* 52: 1202.
- 6) Bottger, G. T. 1942. Development of synthetic food media for use in nutrition studies of the European corn borer. *J. Agr. Res.* 65:493-500.
- 7) Burton, R. L. 1969. Mass rearing the corn ear-worm in the laboratory. USDA, ARS 33-134.
- 8) Burton, R. L. 1967. Mass rearing the fall army worm in the laboratory. USDA, ARS 33-117.
- 9) Bushland, R. C. & D. E. Hopkins. 1953. Sterilization of screw-worm flies with X-rays and Gamma-rays. *J. Econ. Ent.* 46: 648.
- 10) Flint, H. W. 1966. The effects of gamma radiation on mating competitiveness and fecundity of *Hippelates pusio*. *J. Econ. Ent.* 59: 96.
- 11) Flint, H. W. 1965. The effects of gamma radiation on the fertility and longevity of *Hippelates pusio*. *J. Econ. Ent.* 58: 555.
- 12) Fukaya, M. & S. Kamano. 1964. The major insect pests of the rice plant—proceeding of a symposium at the IRRI. The Johns Hopkins Press. Baltimore, Maryland pp. 241-248.
- 13) Glaser, R. W. 1924. Rearing flies for experimental purposes with biological notes. *J. Econ. Ent.* 17: 486-496.
- 14) Ignoffo, C. M. 1963. A successful technique for mass-rearing cabbage loopers on a semi-synthetic diet. *Ann. Ent. Soc. Am.* 56:178-182.
- 15) Knipling, E. F. 1965. Research in Pesticides., 233-249.
- 16) Knipling, E. F. 1960. Biological and chemical control of plant and animal pests.
- 17) Knipling, E. F. 1959. Sterile-male method of population control. *Sci.* 130: 3380.
- 18) Lindquist, A. W. 1958. Entomological uses of radioisotopes. *Radiation Biology and medicine.* Addison-Wesley Pub. Co. 688-710.
- 19) Lindquist, A. W. 1955. The use of gamma radiation for control or eradication of the screw-worm¹. *J. Econ. Ent.* 48: 467.
- 20) Lindquist, A. W. 1952. Radioactive materials in entomological research. *J. Econ. Ent.* 45: 264.
- 21) Lodge, O. C. 1918. An examination of the sense relations of flies. *Bull. Ent. Res.* 9: 141-151.
- 22) Pan, Y. S. & W. H. Long. 1961. Diet for rearing the sugar cane borer. *J. Econ. Ent.* 54(2):257-261.
- 23) Plough, H. H. & C. W. Sheppard, Eds. 1954. Genetic effects of fast neutrons from nuclear detonations. Projects 23.4-23.14 and 23.16 (of) Operation Upshot-Knothole. WT-820, Division of Biology and Medicine (AEC), Washington D. C. Jan. pp. 58.
- 24) Raulston, J. R. & P. D. Lingern. 1969. A technique for rearing larvae of the bollworm and tobacco budworm in large numbers. *J. Econ. Ent.* 62(4): 959-961.
- 25) Raulston, J. R. & P. D. Lingern. 1972. Methods for largescale rearing of the tobacco budworm USDA, ARS production research report N. 145.
- 26) Sado, T. 1966. Cytological evaluation of dose-rate effects of radiation on mutation frequency and killing of spermatogonia during chronic irradiation. *Mutation Res.* 3: 510.
- 27) Vanderzant, E. S. & R. Reiser. 1956. Studies of the nutrition of the pink bollworm using

- purified casein media. J. Econ. Ent. 49(4): 454-458.
- 28) Vanderzant, E.S. C.D. Richardson & S.W. Fort, Jr. 1962. Rearing of the bollworm on artificial diet. J. Econ. Ent. 55(1): 140.
- 29) IAEA, 1971. Sterility principle for insect control or eradication.