

파밤나방(*Spodoptera exigua* (Hübner))의 살충제 감수성 변이- 에스테라제와 아세틸콜린에스테라제 활력

Variation in Insecticide Susceptibilities of the Beet Armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner): Esterase and Acetylcholinesterase Activities

김용균 · 이준익 · 강성영 · 한상찬

Yong Gyun KIM, Joon Ik LEE, Sung Young KANG and Sang Chan HAN

ABSTRACT There was a great variation in insecticide susceptibilities among field and laboratory populations of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner). Unselected laboratory population, which had been reared for 6~7 generations in our laboratory without exposure to insecticides, was more susceptible than its parental field population in all tested insecticides. Two selected laboratory populations with parathion or deltamethrin showed much higher insecticide tolerance than did the unselected laboratory population in their own selection insecticide. The variation of the insecticide susceptibilities was highly correlated with esterase and acetylcholinesterase activities. Field and the selected laboratory populations had lower acetylcholinesterase activities and higher esterase activities than did the unselected laboratory population. Acetylcholinesterase of the field and the selected laboratory populations had higher Km values than did that of the unselected. In a population, Km values were varied among different developmental stages; acetylcholinesterase of the fifth instar larvae had the highest Km value among those of the other larval stages. Twenty one esterase bands were separated on 6.5% nondenaturing polyacrylamide gel from the whole body extracts of the fifth instar larvae. E2, E7, E8, E11, E16, and E17 esterase bands were developed more frequently in the insecticides-selected populations than in the unselected population. These results suggest that the variation of insecticide susceptibilities of the beet armyworm includes both biochemical mechanisms: target site insensitivity and enhanced activity of detoxification enzyme.

KEY WORDS *Spodoptera exigua* (Hübner), insecticide resistance, esterase, acetylcholinesterase

초 록 파밤나방(*Spodoptera exigua*(Hübner))은 야외집단과 실내집단들간에 살충제 감수성에서 큰 변이를 보였다. 조사된 모든 약제에서 야외집단은 비선발 실내집단보다 높은 약제 저항능력을 보였다. 약제 선발된 실내집단은 선발 약제에 대해 저항능력을 높게 발현시켰다. 이러한 약제 저항능력의 변이가 아세틸콜린에스테라제와 에스테라제 활력 변이와 비교 분석되었다. 약제 저항능력이 높은 집단일수록 아세틸콜린에스테라제 활력이 낮아지고 에스테라제활력은 높아졌다. 아세틸콜린에스테라제의 Km(Michaelis-Menten constant) 값은 약제 저항능력이 높은 집단일수록 증가하는 것으로 기질에 대한 이 효소의 친화도가 낮아졌다. 이 효소의 효소활력 변이는 같은 집단 내에서 발육단계에 따라 차이를 나타내어 2, 3, 4령충보다는 5령충에서 특히 Km 값이 증가하였다. 파밤나방의 에스테라제는 6.5% 비변성조건인 겔에서 21개 밴드를 보였다. 이 중 E2, E7, E8, E11, E16, E17 밴드들은 약제 저항능력이 높은 집단일수록 발현 빈도수가 높았다. 이상의 결과는 파밤나방의 살충제 감수성변이에 해독효소활력증가와 작용점변환이 포함됨을 나타낸다.

검색어 파밤나방, 살충제 저항성, 에스테라제, 아세틸콜린에스테라제

파밤나방은 동남아시아가 원산지로서 열대, 아열대, 온대지방에 널리 분포하며 미국남부와 유럽에서 목화와 채소해충으로 알려져 있으며 최근 대만, 일본, 중국 등에서 발생지역이 급격히 늘고 있는 것과 같이 우리나라

도 최근 각종 농작물에 큰 피해를 주고 있다(안 등 1989, 1990, 고 등 1993). 파밤나방은 우리나라에서 5월 중순경부터 10월초까지 3~4회 발생하며 8~9월에 최다 발생을 보인다. 고온성 해충으로 8월에 발생이 많으나 피해는 작

물의 유묘기때부터 심하게 나타나 중령유충까지는 집단 가해 하지만 이후 분산하여 가해한다. 야간에 섭식량이 많다(김과 여 1995). 파밤나방은 파의 최대해충이지만 기주범위가 광범위하여 채소, 화훼, 전작물, 특작물, 잡초 등의 거의 모든 식물을 가해하는 잡식성 해충으로 경제적 피해가 심각한 농작물 해충중의 하나이다(고 등 1991).

최근 파밤나방의 밀도 증가 원인은 채소 집단재배지의 증가(이와 안 1991, 김과 추 1994, 김과 장 1996), 노숙유충의 약제 감수성저하(高井 1987), 약제저항성 발달(Meinke & Ware 1978, Chaufaux & Ferron 1986, Brewer *et al.* 1990), 유충의 잡식성과 성충의 비래 가능성(고 1991, Mikkola 1970) 및 국내 월동가능성 증대(Kim & Kim 1997) 등으로 추정된다. 이러한 요인중 가장 중요하고 심각한 요인은 바로 약제 감수성저하 및 약제저항성 발달이라 하겠다.

파밤나방의 방제에 주로 쓰였던 methomyl은 1975년 Arizona의 목화농장들에서 채집된 집단들 간에 이 약제에 대해 감수성 변이를 보였고(Meinke & Ware 1978) 이후 Yoshida & Parrella(1987)은 Florida 화훼밭에서 파밤나방의 methomyl에 대한 약제 저항성을 확인하였다. Brewer & Trumble(1989)은 같은 지역에서 시기적으로 파밤나방의 methomyl에 대한 감수성 정도의 차이를 보고하였다. Chaufaux & Ferron(1986)은 파밤나방의 피레스로이드계통의 약제에 대해 저항성을 보고하였다. 이러한 카바메이트농약과 피레스로이드농약 전반에 대해 야외충을 대상으로 Brewer *et al.*(1990)은 살충제 저항성을 분석하였다. 이 해충과 같은 속에 속하는 *Spodoptera frugiperda*(Smith)의 경우 유기인계, 카바메이트계 및 피레스로이드계 농약 전반에 걸쳐 야외 집단들의 저항성을 보고하였고 해독효소활력증가, 작용점변화 및 기타 생리적 기작이 복합적으로 약제저항성기작에 포함되고 있음을 밝혔다(Yu 1991).

이와 같이 기존의 살충제에 대해 약제 감수성변이를 보이는 파밤나방에게 있어서 약제 저항성 기작을 정확히 밝히는 것이 이 해충의 올바른 방제법을 개발하는데(예를 들어 새로운 살충제의 개발, 협력제의 개발 또는 저항성 개체군관리 등) 선행되어야 한다. 본 연구는 파밤나방의 살충제 감수성변이에 주 원인이 되는 것을 밝히고 자 일반적인 약제 저항성 기작에 속하는 작용점의 변화와 해독효소활력의 증가(Georghiou & Saito 1983, Roush & Tabashnik 1990) 등의 생화학적 변화를 추적함으로써 궁극적으로 이 해충의 약제 저항성의 기작을 이해하려는 데 목적을 둔다.

재료 및 방법

시험곤충

항온기내에서 온도($25 \pm 1^\circ\text{C}$), 광주기(L : D=16 : 8 h), 상대습도(40~60%) 조건하에서 1994년 9~10월 안동시 일직면 고추밭에서 채집한 파밤나방을 살충제 도태 없이 인공사료(고 1991)로 사육했다. 누대사육된 파밤나방 집단의 약제선발에 따른 약제 감수성변화를 알아보기 위해 0.1 g의 deltamethrin과 1 g의 parathion 약량으로 각각 2세대에 걸쳐 선발하였다.

살충제 생물검정

파밤나방 5령충을 실내온도 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 각 농도별 10마리씩 미리 샐레에 넣어 얼음판위에 올려서 마취시킨 후 국부처리기로 1 μl 씩 복부등쪽에 처리하였다. 처리후 48시간 경과시 막대봉으로 머리, 가슴, 배를 각각 한번씩 눌러 움직이지 않으면 사충으로 정하였다. Finney(1971)의 probit분석법에 의해 반수치사농도(LD₅₀)를 personal computer를 이용하여 산출하였다.

수용성 단백질 추출 및 총단백질 측정

파밤나방을 한 마리씩 microcentrifuge tube(1.5 ml)에 넣고 5°C 의 PBS-TX(0.1 M sodium phosphate buffer saline, pH 6.5, 0.5% Triton X-100) 용액 1 ml로 분쇄하였다. 이후 5분간 15,000 rpm에서 분리된 상등액을 다시 PBS-TX로 10배 희석하여 총단백질 및 효소 분석에 이용되었다. 총 단백질은 Bradford(1972) 방법에 따라 실험하였다. 표준용액으로 bovine serum albumin을 이용했다.

Esterase(EST) 활성 측정

EST활성은 Townson(1972)의 방법을 파밤나방에 변형된 방법을 이용했다. 10 μl 의 10배 희석된 효소용액에 2 μl 의 50 mM p-nitrophenyl acetate(80% methanol) 및 985 μl PBS-TX를 혼합한 용액을 25°C 에서 10분간 반응시킨 후 400 nm에서 10분 간격으로 흡수도의 변화를 double beam spectrophotometer(Uvicon 960, Kontron Instrument)로 측정했다. 표준용액으로 10~120 mM의 p-nitrophenol을 이용하였다.

Acetylcholinesterase(AChE) 활성 측정

AChE활력은 Ferari *et al.*(1993)의 방법을 파밤나방에 변형하여 개발된 방법을 이용하였다. 각 파밤나방

의 단백질 추출물(PBS-TX로 10배 희석) 500 μ l와 AChE inhibitor로서 1,5-bis(4-allyl dimethyl ammonium phenyl) pentan-3-one dibromide 50 μ l을 1 ml spectrophotometer tube에 넣는다. 이때 500 μ l의 AChE의 기질용액(100 mM acetylthiocholine iodide(1.2 ml)), 12 mM 5,5-dithio bis(nitrobenzoic acid)(2.4 ml), 증류수(56.4 ml)를 섞었다. 이후 405 nm에서 10분 간격으로 흡광도를 측정하였다. 측정된 흡수도는 thionitrobenzoic acid의 소멸계수($14150 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 AChE의 활성을 계산하는데 이용되었다. AChE의 Michaelis-Menten constant(K_m) value 결정은 AChE의 활성측정법과 동일하나 AChE의 기질인 acetylthiocholine iodide를 네가지 다른 농도별(0.5 mM, 1 mM, 2 mM, 4 mM)로 하여 효소활력을 측정하였다. K_m 결정은 Lineweaver-Burk 선형함수를 이용하여 계산되었다.

Esterase의 전기영동분석

전기영동은 Tris-glycine buffer(0.05 M Tris, pH 8.3) sys-

tem의 6.5% nondénaturing polyacrylamide gel(Davis 1964)에서 Hoffer vertical slab gel을 사용하였다. 각 시료(약 0.7 g 단백질함유)는 loading buffer(0.125 mM Tris, pH 8.3, 50% sucrose, 0.01% bromophenol blue, 0.004% basic fuchsin, 0.154% dithiothreitol, 0.0372% EDTA) electrode buffer)로 준비되었다. 전기영동은 300 V 일정 전압에서 tracking dye가 바닥까지 도달할 때까지 이루어졌다. EST 염색은 100 ml 염색용액(0.2 M phosphate buffer(pH 6.5), 2% α -naphthyl acetate, 0.04 g fast blue BB salt)에서 25°C 30분 동안 이루어졌다. 염색후 겔은 고정용액(7% acetic acid, 5% methanol)에서 관찰할 때까지 보관된다.

결 과

집단간 살충제 감수성변이

세 가지 약제(parathion, deltamethrin, bifenthrin)에 대한 파밤나방의 감수성 정도는 시험된 모든 집단에서 달랐다. Deltamethrin으로 2세대 선발된 집단을 제외하고

Table 1. Toxicities of parathion, deltamethrin, and bifenthrin to the laboratory selected strains of the fifth instar larvae of *S. exigua*

populations ¹	Insecticides	N	LD ₅₀ (μ g)	95% FL	Slope	RR ²
Unselected	Parathion	180	6.25	2.53-20.22	0.55 \pm 0.12	1.00
	Deltamethrin	180	0.31	0.10-0.64	0.85 \pm 0.15	1.00
	Bifenthrin	90	0.58	0.11-1.51	0.80 \pm 0.19	1.00
Deltamethrin Gen1	Parathion	144	23.07	15.4-41.02	1.91 \pm 0.41	3.47
	Deltamethrin	146	6.89	2.46-45.15	0.56 \pm 0.13	22.23
	Bifenthrin	144	2.82	1.22- 8.82	0.70 \pm 0.14	4.86
Gen 2	Parathion	144	8.81	3.52-30.37	0.70 \pm 0.15	1.41
	Deltamethrin	146	12.87	3.25-83.30	0.46 \pm 0.14	41.52
Parathion Gen 1	Parathion	126	86.45	no estimate	0.61 \pm 0.19	13.83
	Deltamethrin	126	0.69	0.14- 3.67	0.43 \pm 0.12	2.23
	Bifenthrin	126	0.12	0.05- 0.24	1.01 \pm 0.16	0.21
Gen 2	Parathion	144	7.45	3.31-12.05	1.53 \pm 0.43	1.19
	Deltamethrin	144	0.28	0.01- 1.30	0.36 \pm 0.13	0.90
	Bifenthrin	144	0.64	0.21- 1.34	0.82 \pm 0.15	1.10
Field 1994 Sep	Parathion	150	35.44	no estimate	0.54 \pm 0.18	5.67
	Deltamethrin	150	3.78	1.40-24.57	0.56 \pm 0.12	12.19

¹'Unselected' means a susceptible population which have been reared in laboratory for 6-7 generations without exposure to insecticides. 'Deltamethrin Gen1 and Gen2' means the first and the second generations selected respectively from the susceptible population with 0.1 μ g of deltamethrin. 'Parathion Gen1 and Gen2' means the first and the second generations selected respectively from the susceptible population with 1 μ g of parathion. 'Field 1994 Sep' means the field population captured from the hot pepper farm in Andong in September 1994.

²'RR' represents a relative ratio of LD50 value of a population to that of the unselected population.

전반적으로 반수치사약량을 비교하여 볼 때 parathion, deltamethrin, bifenthrin의 순으로 파밤나방 5령충에 점점 더 강한 살충력을 보여줬다(Table 1). 각 약제에 선발된 집단은 parathion 2세대를 제외하고 세대가 진행함에 따라 선발약제에 대한 감수성이 낮아졌다. Deltamethrin으로 선발된 집단은 deltamethrin 뿐만 아니라 parathion과 bifenthrin에 대한 약제 감수성도 함께 낮아졌다. 이 집단에서 약제 감수성 저하속도를 보면 deltamethrin, bifenthrin, parathion의 순으로 빨랐다. 반면 parathion에 대해 선발된 집단은 감수성 집단과 비교할 때 parathion에 대해 약제 감수성 저하를 보이나 deltamethrin과 bifenthrin에 대하여서는 그다지 큰 약제 영향을 미치지 못했고 오히려 선발 제1세대와 제2세대에서 각각 bifenthrin과 deltamethrin에 대해 감수성 증가의 경향을 보였다. 야외 고추포장에서 얻은 파밤나방과 비교하여 볼 때 실내 누대 사육충은 현격하게 약제 감수성이 크나 단지 한 세대만 대상 약제에 대해 선발하면 충분히 야외충과 비슷한 약제 저항능력을 지님을 보였다.

집단간 효소활성 변이

AChE의 활력은 감수성집단('unselected')에 비해 약

Table 2. Acetylcholinesterase (AChE) and esterase (EST) activities among different populations of the fifth instar larvae of *S. exigua*

populations ¹	N	AChE activities (nmol · min ⁻¹ · μg ⁻¹ protein)	EST activities (nmol · min ⁻¹ · μg ⁻¹ protein)
Unselected	20	0.645 ± 0.251	45.65 ± 16.37
Deltamethrin			
Gen 1	30	0.623 ± 0.261	63.04 ± 22.04
Gen 2	30	0.307 ± 0.193	148.82 ± 123.42
Parathion			
Gen 1	30	0.283 ± 0.206	146.49 ± 50.76
Gen 2	30	0.339 ± 0.240	93.02 ± 38.78
Field			
1994 Sep	58	0.312 ± 0.215	54.69 ± 22.22

¹'Unselected' means a susceptible population which have been reared in laboratory for 6-7 generations without exposure to insecticides. 'Deltamethrin Gen1 and Gen2' means the first and the second generations selected respectively from the susceptible population with 0.1 μg of deltamethrin. 'Parathion Gen1 and Gen2' means the first and the second generations selected respectively from the susceptible population with 1 μg of parathion. 'Field 1994 Sep' means the field population captured from the hot pepper farm in Andong in September 1994.

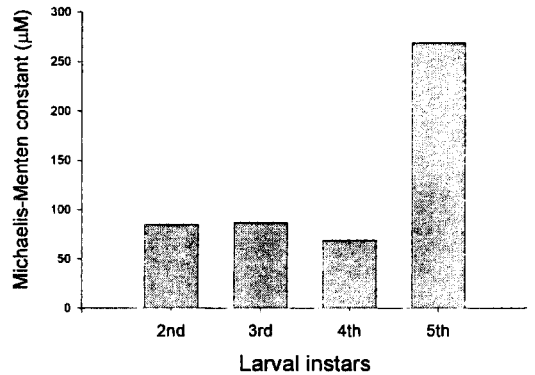


Fig. 1. Michaelis-Menten constants (Km) of acetylcholinesterase among different larval instars of *S. exigua*.

제선발집단들과 야외충에서 낮았으나 EST의 활력은 높아졌다(Table 2). Deltamethrin 선발집단은 선발세대가 진행함에 따라 AChE의 활력은 천천히 감소한 반면 EST의 활력은 빨리 높아졌다. 반면 Parathion 선발집단은 제1세대에서는 감수성집단에 비해 AChE의 활력은 빨리 감소하고 EST의 활력도 빨리 높아졌으나 제2세대에서는 오히려 제1세대에 비해 AChE의 활력은 증가하고 EST의 활력은 낮아졌다. 야외충의 AChE와 EST활력은 각 약제로 도태된 제1 또는 2세대선발집단들의 효소활력과 유사함을 보여준다.

AChE의 변화에 대해 효소 자체의 성질변화를 추적하기 위해 Michaelis-Menten상수인 Km값을 각 집단에서 측정하였다. 감수성집단에서 유충의 영기별로 Km값이 뚜렷하게 변함을 알 수 있다(Fig. 1). 특별히 제5령충

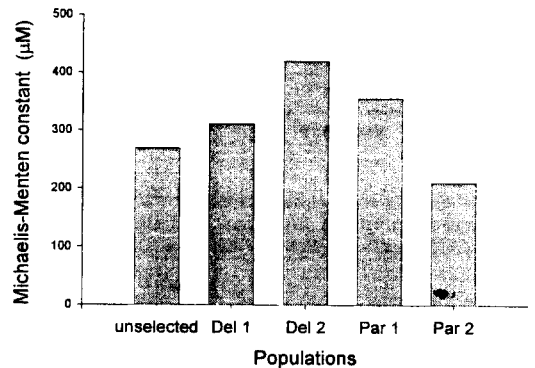


Fig. 2. Michaelis-Menten constants (Km) of acetylcholinesterase among different populations of the fifth instar larval *S. exigua*, where 'Del 1', 'Del 2', 'Par 1', and 'Par 2' represent deltamethrin or parathion-selected generations 1 and 2.

에서 갑자기 Km값의 하락을 보였다. 같은 5령충에서 약제 감수성이 다른 집단간 비교는 약제 감수성 정도가 감소함에 따라 Km값이 증가함을 보였다(Fig. 2).

EST의 변화에 대해 효소 자체의 성질변화를 알아보기 위해 전기영동을 통해 EST의 banding patterns을 비교하였다. 파밤나방은 전체 21개의 EST 밴드가 6.5% gel에서 분리되어졌다(Table 3). 공시충 전체로부터 얻은 수용성단백질시료와 혈림프시료 간에 EST 밴드는 서로 거의 유사하나 EST# 1-5는 혈림프에 주로 분포하는 esterase이고 EST# 7-10, 12-13, 20-21 은 조직내에 주로 분포하는 에스테라제로서 체내 조직간 약간의 변이를 보여 주었다.

약제 감수성 정도가 다른 6개의 집단에서 EST 밴드 양상을 비교하였다. E17을 제외하고 모든 밴드는 집단간의 유의성있게 차이를 나타내는 변이를 보였다

(Table 3). 약제선택 집단에서만 나오는 밴드는 E16과 E17이었고 그 외에 E2, E7, E8, E11은 감수성 집단에서 보다 약제 선택 집단에서 더욱 많은 빈도를 보이는 밴드이었다.

고 찰

파밤나방은 대부분의 살충제에 대하여 약제 저항성을 발현시킬 수 있다고 보고되어졌다(Chaufaux & Ferron 1986, Brewer & Trumble 1989, Brewer *et al.* 1990, Van Laecke & Degheele 1991). 1994년 안동시 일직면 고추밭에서 얻은 파밤나방과 이 야외충으로부터 실내에서 6~7세대 동안 누대 사육한 실내충은 parathion, deltamethrin, bifenthrin순으로 약제 감수성정도가 높았다(Table 1). 즉 유기인계 농약보다는 피레스로이드계

Table 3. Esterase (EST) banding frequencies of different populations of the fifth instar larvae of *S. exigua* which showed different tolerance to insecticides. ESTs of a whole body extract were separated on 6.5% nondenaturing PAGE

EST ¹	Rm ²	Populations ³						$\chi^2_{df=5}$	P
		S1 (n=43)	S2 (n=15)	D1 (n=28)	D2 (n=15)	P1 (n=14)	P2 (n=10)		
E1	0.01	0.512	0.867	0.607	0.000	0.000	0.300	38.73	<0.001
E2	0.03	0.256	0.000	0.214	0.083	0.600	0.256	19.38	0.002
E3	0.05	0.279	0.133	0.500	0.267	0.000	0.100	15.80	0.007
E4	0.08	0.814	0.733	1.000	0.600	0.500	0.500	20.59	0.001
E5	0.09	0.140	0.000	0.286	0.083	0.000	0.000	12.63	0.027
E6	0.13	1.000	0.867	1.000	1.000	0.857	0.900	11.78	0.038
E7	0.15	0.163	0.000	0.214	0.133	0.500	0.000	16.00	0.007
E8	0.17	0.395	0.133	0.536	0.267	0.714	0.900	21.53	0.001
E9	0.18	0.861	1.000	0.929	0.533	0.643	0.235	54.89	<0.001
E10	0.19	1.000	1.000	1.000	1.000	0.857	1.000	16.12	<0.001
E11	0.20	0.372	0.133	0.893	0.200	0.786	0.700	39.69	<0.001
E12	0.23	0.698	0.933	0.900	1.000	0.786	1.000	13.49	0.019
E13	0.25	0.116	1.000	0.286	0.933	0.643	0.600	57.76	<0.001
E14	0.27	0.000	0.800	1.000	0.800	0.000	0.000	105.24	<0.001
E15	0.31	0.000	0.467	0.321	0.000	0.214	0.700	38.21	<0.001
E16	0.33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	58.79	<0.001
E17	0.35	0.000	0.000	0.000	0.067	0.000	0.000	7.39	0.193
E18	0.38	0.000	0.333	0.000	0.083	0.000	0.100	26.78	<0.001
E19	0.41	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	0.900	120.81	<0.001
E20	0.51	-	-	-	-	-	-	-	-
E21	0.63	-	-	-	-	-	-	-	-

¹Each EST was numbered from cathod to anode. Frequencies of E20 and E21 were not recorded.

²'Rm' represents relative mobility of a band to the total migrating distance of tracking dye.

³'S1 and S2' represent the first and the second generations of the susceptible population which have been reared in laboratory for 6-7 generations without exposure to insecticides. 'D1 and D2' represent the first and the second generations selected respectively from the susceptible population with 0.1 µg of deltamethrin. 'P1 and P2' represent the first and the second generations selected respectively from the susceptible population with 1 µg of parathion.

통의 농약에 대해 약제 감수성이 높았다. 또 실내 누대 사육된 집단은 야외충에 비해 약제에 대해 저항능력의 상실을 보였다. 이는 야외충이 약제 선발효과 없이 여러 세대를 지내면서 약제 저항성개체들과 감수성개체를 간에 산란력, 발육속도 및 생존률의 차이에 따라 감수성으로의 복귀로 여겨진다. 이러한 약제 저항능력과 생존력의 차이는 여러 연구에서 나타났고 이에 대한 이유로서 저항성개체가 감수성개체에 비해 약제저항능력을 갖기 위해 과잉 에스테라제의 발현과 같은 에너지소모로 연관되었다(Ferrari & Georghiou 1981, Roush & McKenzie 1987).

또 실내 감수성집단에 비해 이 집단이 deltamethrin과 parathion 각각의 농약으로 선발된 집단들과 비교할 때 각 선발약제에 감수성 저하를 일으킴(Table 1)으로 파밤나방이 두 약제에 대한 내성을 발현하고 있음을 나타낸다. 그러나 두 약제선발에 따른 약제 감수성 저하 현상은 약간의 차이를 나타낸다. Deltamethrin으로 선발된 집단은 같은 피레스로이드계통인 bifenthrin 뿐만 아니라 유기인계인 parathion에 대해 약제 감수성 저하를 유발하나 parathion으로 선발된 집단은 두 피레스로이드약제에 적은 영향을 주었다(Table 1). 이는 deltamethrin약제는 궁극적으로 다른 약제와 교차저항성을 유발할 가능성이 있음을 내포한다. 단 parathion 선발 2세대에서 기대와 달리 선발 1세대에 비해 낮은 약제 저항능력을 보여 선발효과의 일관성 결여를 나타냈다. 이는 특히 선발 2세대에서 자연사망률이 높아 이 집단중에서 도태충과 비도태충간에 생존력의 차등에 기인된다고 여겨진다.

살충제 작용기작면에서 볼 때 유기인계농약은 중추 신경계 특히 신경연접부의 AChE가 작용점이라고 알려졌다(Georghiou & Saito 1983; Roush & Tabashnik, 1990). 이는 약제 감수성저하 집단에서 낮은 AChE활력(Table 2)과 높은 Km값(Fig. 1)에서 유기인계 농약 저항성 기작중의 하나인 이 작용점변환(Roush & Tabashnik 1990)이 일어났음을 추정할 수 있다. 이는 영기가 진행함에 따라 AChE의 Km값이 증가함으로 이 효소의 활동부위에 있어서 변화를 내포한다. 즉 영기 진행에 따라 동일 기질에 대해 서로 다른 친화력을 갖는다는 것을 의미한다. 일반적으로 파밤나방은 어린 유충보다는 노숙유충에서 약제 감수성이 현저히 낮아진다고 보고되었다(高井 1987). Brewer *et al.*(1990)은 이러한 발육시기별 약제 감수성 차이가 fenvalerate와 같은 피레스로이드계통 보다는 methomyl과 같은 카바

메이트계통 약제에서 나타난다고 보고하였다. 이러한 결과들을 종합하여 볼 때 파밤나방의 발육시기별 약제 감수성 차이가 AChE와 관련이 높음을 제시한다.

두 약제선발 집단 모두에서 에스테라제 활력의 증가를 보였다(Table 3). 에스테라제는 일반적으로 대부분의 살충제에 중요한 해독효소로서(Matsumura 1985) deltamethrin과 parathion 약제모두 화학구조내에 에스테르결합을 지니고 있음으로 이 효소의 활력 증가와 약제 감수성저하와는 유관함을 알 수 있다. 전기영동상에서 이 효소의 변이는 뚜렷한 집단간 차이의 경향은 얻을 수 없었으나 E16과 E17은 약제 선발 집단에 특유한 bands로서 주목할 만하다.

이상의 결과로부터 에스테라제라는 해독효소활력 증가와 아세틸콜린에스테라제 효소의 활력변환이 파밤나방의 감수성변이를 유발시키는 인자로서 포함됨을 나타낸다. 이러한 두 효소 외에도 Van Laecke & Degheele(1991)은 파밤나방의 협력제들에 의한 살충력 제고의 연구로부터 가수분해효소, glutathion S-transferase 및 mixed function oxidase 등의 해독효소활력 변화가 파밤나방의 살충제 감수성변이에 관여함을 보였다.

사 사

이 연구를 수행하는 과정에서 공시충의 채집 및 사육에 도움을 준 정원준, 권기용, 신형태, 정현치군에게 감사드립니다. 본 연구는 농림수산부 현장애로기술사업 연구비지원으로 수행되었습니다.

인용문헌

- 안성복, 이상범, 조왕수. 1990. 전남북 지방의 파잎가해 해충종류 및 피해. 농시논문집. 33: 66-73.
- 안성복, 김인수, 조왕수, 이문홍, 최귀문. 1989. 1988년 해충발생현황(민원중심). 한응곤지. 28: 246-253.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye finding. Anal. Biochem. 72: 248-254.
- Brewer, M. J. & J. T. Trumble. 1989. Field monitoring for insecticide resistance in beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). J. Econ. Entomol. 82: 1520-1526.
- Brewer, M. J., J. T. Trumble, B. Alvarado-Rodriguez & W. E. Chaney. 1990. Beet armyworm (Lepidoptera:

- Noctuidae) adult and larval susceptibility to three insecticides in managed habitats and relationship to laboratory selection for resistance. *J. Econ. Entomol.* **83**: 2136-2146.
- Chaufaux, J. & P. Ferron. 1986.** Sensibilit diff rente de deux populations de *Spodoptera exigua* Hüb. (Lépid., Noctuidae) aux baculovirus et aux pyréthrin des de synthèse. *Agronomie.* **6**: 99-104.
- Davis, B. J. 1964.** Dis. electrophoresis. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **121**: 404-427.
- Ferrari, J. A. & G. P. Georghiou. 1981.** Effects of insecticidal selection and treatment on reproductive potential of resistant, susceptible, and heterozygous strains of the southern house mosquito. *J. Econ. Entomol.* **74**: 323-327.
- Ferrari, J. A., J. G. Morse, G. P. Georghiou & Y. Sun. 1993.** Elevated esterase activity and acetylcholinesterase insensitivity in citrus thrips (Thysanoptera: Thripidae) populations from the San Joaquin valley of California. *J. Econ. Entomol.* **86**: 1645-1650.
- Finney, D. J. 1971.** Probit analysis, estimation of the median effective dose. Cambridge Univ. Press. Cambridge England. pp. 19-47.
- Georghiou, G. P. & Saito, T. 1983.** Pest resistance to pesticides. Plenum Press. New York.
- Kim, Y. & N. Kim. 1997.** Cold hardiness of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner). *Environ. Entomol.* (in press)
- 김용균, 추 일. 1994.** 안동지역의 농업현황과 U.R.대책. 안동대학교 농업과학연구소논문집. **1**: 23-31.
- 김용균, 장동길. 1996.** 배추좀나방(*Plutella xylostella* L.)의 deltamethrin 저항성 기작에 관한 에스테라제의 역할. *한응곤지.* **35**: 74-79.
- 김용균, 여광동. 1995.** 파밤나방(*Spodoptera exigua*(Hübner))의 섭식행동 연구. 안동대학교 농업과학기술연구소 논문집. **2**: 9-15.
- 高井幹夫. 1987.** 高知縣におけるミロイチモジヨトウの生態防除. *農業研究.* **34**: 23-30.
- 고현관, 이상계, 이비파, 최귀문, 김정화. 1991.** 인공사료에 의한 파밤나방의 대량사육법. *한응곤지.* **29**: 180-183.
- 고현관, 최재승, 엄기백, 최귀문, 김정화. 1993.** 파밤나방 성충 및 유충의 발생. *한응곤지.* **32**: 389-394.
- 고현관, 박종대, 최용문, 최귀문, 박인선. 1991.** 파밤나방의 기주 및 피해조사. *한응곤지.* **30**: 111-116.
- Matsumura, F. 1985.** Toxicology of Insecticides. Plenum Press, NY.
- Meinke, L. J. & G. W. Ware. 1978.** Tolerance of three beet armyworm strains in Arizona to methomyl. *J. Econ. Entomol.* **71**: 645-646.
- Mikkola, K. 1970.** The interpretation of long-range migrations of *Spodoptera exigua* Hb. (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Anim. Ecol.* **39**: 593-598.
- Roush, R. T. & J. A. McKenzie. 1987.** Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. *Annu. Rev. Entomol.* **32**: 361-380.
- Roush, R. T. & B. E. Tabashnik. 1990.** Pesticide resistance in arthropods. Chapman & Hall, NY.
- Townson, H. 1972.** Esterase polymorphism in *Aedes aegypti*: the genetics and Km values of electrophoretically heterogenous forms. *Ann. Trop. Med. Parasitol.* **66**: 255-266.
- Van Laecke, K. & D. Degheele. 1991.** Synergism of diflubenzuron and teflubenzuron in larvae of beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* **84**: 785-789.
- Yoshida, H. A. & M. P. Parrella. 1987.** The beet armyworm in floricultural crops. *Calif. Agric.* **41**: 13-15.
- Yu, S. J. 1991.** Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Pestic. Biochem. Physiol.* **39**: 84-91.

(1997년 1월 6일 접수)