

Malathion 抵抗性 및 感受性 복숭아혹진딧물의 溫度에 따른 發育特性

Effect of Temperatures on the Growth of Susceptible and Malathion Resistant Green Peach Aphid Strains

宋承錫¹ · 本山直樹²

Seung Seok SONG¹ and Naoki MOTOYAMA²

ABSTRACT This test has been carried out to evaluate the effect of temperature on the growth of the insecticide susceptible strain, URY-O normal genotype and insecticide resistant strain, O-RY abnormal genotype, and ABURABI normal genotype. The nymphal periods were not significantly different between URY-O and O-RY strains at 25°C. At 30°C, susceptible strain URY-O could give birth to offsprings almost normally, while resistant strain O-RY could not produce any offspring for 20 days which results in nymphal death. The numbers of offsprings of strain URY-O and strain ABURABI were not different between 25°C and 28°C, but strain O-RY, when it was reared at 28°C, could produce offsprings only 10% of those at 25°C. Body weight of strain URY-O and strain ABURABI were 0.22 mg/♀ and 0.27 mg/♀, respectively at 28°C, however that of O-RY was only 0.16 mg/♀, showing considerable difference between normal and abnormal genotype. Substrain O-RY(+) which has high esterase activity showed poor reproduction ability(0.8 progenies per G₁ individual) than substrain O-RY(-) (3.4 progenies per G₁ individual) which has low esterase activity at 28°C.

KEY WORDS Green peach aphid, esterase activity, Temperature, growth, resistance

초 록 온도가 살충제의 저항성과 감수성계통, 복숭아혹진딧물의 발육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 核型이 정상인 감수성 계통(URY-O)과 저항성 계통(ABURABI : 油日) 및 核型異常(A1, 3轉座)으로 저항성인 O-RY 계통을 사용하였다. 25°C에서의 약충 기간은 저항성과 감수성 계통 간에 차이가 없었으나, 30°C에서는 감수성인 URY-O 계통은 8.3일간에 성충이 되었었음에 비하여 저항성인 O-RY 계통은 조사기간인 20일까지 약충상태로서 성충으로 발육하지 못하고 사망하였다. 감수성인 URY-O 계통과 저항성인 ABURABI 계통의 산자수는 28°C와 25°C에서 서로 차이가 없었으나, 저항성인 O-RY 계통의 산자 수는 28°C에서 25°C에서보다 1/10밖에 자충을 낳지 못하였다. 또한 총체중은 28°C에서 URY-O와 油日은 각각 0.22와 0.27 mg/♀이었으나, O-RY는 0.16 mg/♀로서 차이가 컸다. 가수분해활성(n mol/15 min/♀)이 19인 O-RY(-)와 88인 O-RY(+)는 28°C에서 G₁ sub-strain의 산자수는 각각 3.4마리와 0.8마리로서 에스테라제 활성이 높은 O-RY(+)계통이 에스테라제 활성이 낮은 O-RY(-)계통보다 새끼수를 적게 낳았다.

검색어 복숭아혹진딧물, 발육특성, 온도, 에스테라제 활성, resistance(저항성)

복숭아혹진딧물의 살충제 저항성 발달에 대해서는 국내외적으로 많이 알려져 있다(Devonshire 1973, 兵 1981, Choi 1985, 崔 1988, 李 1990). 살충제 저항성 기구는 피부의 약제 투과성 저하, 작용점에서 감수성 저하 및 곤충 체내에서 효소에 의한 해독 작용으로 보고되고 있다(本山과 野村 1981). 유기인계의 경우는 acetylcholinesterase의 작용점에서의 감수성 저하 또는

Cytochrom P-450 의존성 Mixed-function oxidase, Glutathione S-transferase 및 Esterase 등의 해독분해능력의 증대가 관여하고 있다고 한다(本山 1983). 복숭아혹진딧물의 유기인계 살충제 저항성에 관련된 효소로서 carboxylesterase가 알려져 있는데(Devonshire 1973, Sawicki *et al* 1980, 兵 1981, Hama & Hosoda 1988, Masashi 1983, Sissaert 1976, 高田 1981) α-

¹農學科學技術院 作物保護部 農藥品質科(Division of Pesticide Quality, Department of Plant Protection, National Agricultural Science and Technology Institute, R.D.A., SUWON 441-707, KOREA)

²千葉大學 園藝學部 (Laboratory of Pesticide Toxicology, Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Chiba-ken 271, JAPAN)

naphtylacetate(α -NA)를 기질로써 검출한 aliesterase의 활성은 저항성 계통이 감수성 계통에 비하여 현저히 높으며(Needham & Sawicki 1971), 에스테라제를 전기영동으로 분리하면 유기인제에 대한 저항성 발달 정도에 따라 E-4대(Devonshire 1977), E-2대(Beranek 1974), 또는 RAE(Takada 1979)라고 하는 특정밴드가 나타난다고 하였다. 이와같이 α -NA를 기질로 검출한 Esterase는 paraoxon이나 malaaxon과 같은 유기인계의 옥손체를 가수분해 하는 효소와 동일한 효소라고 하였다(Oppenoorth & Voerman 1975, Devonshire 1977).

Oppenoorth & Asperen(1961)이 발표한 저항성이 되는 효소의 기원에 대해서 구조유전자의 돌연변이가 효소의 질적변화를 일으킨다고 하는 Mutant aliesterase설을 제창(Motoyama & Dawterman 1974, 本山 1981, 本山等 1983) 하였는데 많은 이론(異論)이 있기는 하다. 진딧물의 살충제 저항성에 있어서 6월에 채집한 개체군이 11월에 채집한 개체군에 비해서 유기인제에 대한 감수성 정도가 높음이 관찰되었다보고(Song *et al* 1986, Song & Motoyama 1993)가 있어 본 연구에서는 포장에서 살충제 저항성과 온도와의 관계를 조사하여 약제효과와 계절적 변동의 원인을 구명코자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시충의 계통별 특성

이 실험에 사용된 복숭아혹진딧물의 계통중 URY-O(1971년 高田이 교토의 무우밭에서 채집한 황색계통)는 살충제의 감수성 계통이며, O-RY(1978년에 高田이 남아사키의 무우밭에서 채집한 황색계통)와 A-BURABI(1985년 시오노기제약주식회사가 시가의 온실 양배추에서 채집한 적색계통)는 마라치온의 저항성 계통으로써 1987년말 시험당시 각 연구실에서 분양받아 4~5세대 누대 사육하여 실험에 사용하였다. 미량국소처리법으로 시험한 결과 각 계통의 말라치온에 대한 반응은 감수성인 URY-O계통의 LD50치를 기준으로 ABURABI는 420배, O-RY는 870배의 저항성을 나타내었다(柳原과 本山 1985).

2. 공시충의 사육방법

시험곤충은 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 16L:8D의 광주기조건(Takada 1982)의 사육실에서 31 cm \times 22 cm \times 10 cm의 플라스틱 사육상자 바닥에 신문지를 깔고 그 위에 농약이 살포되지 않은 신선한 배추 잎을 먹이로 주어 사육하였

다. 사육상자는 통기를 좋게하고 도망을 방지하기 위하여 통기구를 나이론 망사로 구멍을 막아 주었다.

3. 온도별 발육시험방법

각 계통의 온도 반응시험은 5단계의 온도를 동시에 조절할 수 있는 NK식 항온기(日本醫化機製作所에서 특수 주문생산)를 사용하였다. 항온기 내에서 각 계통의 사육은 배추 잎을 먹이로 하여 플라스틱 샬레(35 \times 10 mm)에 한 마리씩 넣어 10, 15, 20, 25, 28 및 30°C 의 온도에서 1세대와 2세대의 발육기간, 치사율, 산자수 등등을 조사하였다. 사육샬레내의 습도는 먹이인 배추의 습도로써 조절하였다.

결과 및 고찰

1. 제1세대 약충기간과 사망율에 미치는 온도의 영향

감수성인 URY-O 계통과 저항성인 O-RY 계통을 30, 25, 20, 15, 10°C 로 5단계의 온도가 임의 조절되는 항온기에서 제1세대의 약충기간을 조사한 결과 10~ 25°C 의 범위에서는 UR-0가 24.0, 12.0, 9.1, 7.0일, O-RY는 26.0, 13.0, 10.4, 7.8 일로서 계통간에 유의차는 없었으며, 온도가 높아질수록 약충기간이 짧아졌다(Table 1). 그러나 30°C 인 고온조건 하에서는 URY-O 계통의 약충기간은 8.3일이었으나 O-RY계통은 조사기간인 25일까지 성충으로 발육하지 못하고 약충태로 모두 사망하였다.

각 사육 온도에 있어서 감수성, 저항성 계통 제1세대의 사망율을 7일간 조사한 결과(Fig. 1) 25°C 이하에서는 저항성인 O-RY계통의 사망율이 감수성인 URY-O의 사망율 보다 약간 낮았으나 유의 차는 없었다. 그러나 30°C 에서 두 계통의 사망율은 급격히 상승하였는데 특히 O-RY는 URY-O에 비하여 유의성이 있는 높은 사망율이 있었다. Fig. 2는 30°C 에서 개체별로 성충을

Table 1. Nymphal periods (days; Mean \pm SE) of insecticide resistant and susceptible strains of green peach aphid

Temperature ($^\circ\text{C}$)	N	URY-O	O-RY
10	18	24.0 \pm 2.0	26.0 \pm 3.0
15	18	12.0 \pm 1.5	13.0 \pm 2.5
20	18	9.1 \pm 1.5	10.4 \pm 1.5
25	18	7.0 \pm 1.5	7.8 \pm 1.0
30	18	8.3 \pm 2.0	- ^a

^a Nymphs are dead.

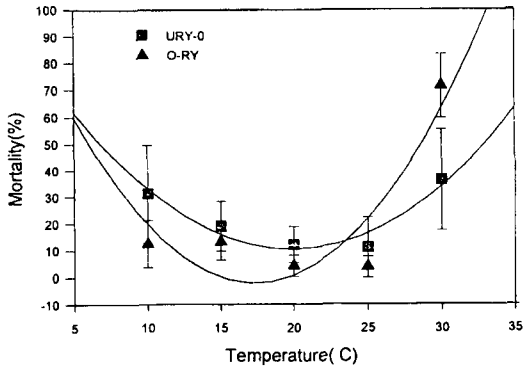


Fig. 1. Mortality of G₁ progeny of the resistant and susceptible strains for 7 days after hatching.

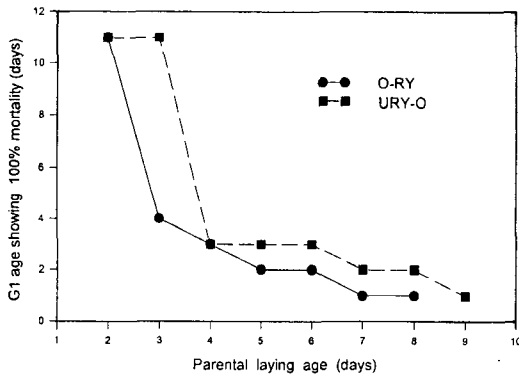


Fig. 2. Relationship between parental laying age (days) and G₁ age showing 100% mortality (days) of the resistant and susceptible aphid strains at 30°C

접종한 후 제 1세대 자충을 낳기까지 기간과 낳은 자충이 100% 사망하기까지의 기간과의 관계를 나타낸 것이다. 성충을 접종하고 2일차에 낳은 자충은 양 계통간에 차가 없어 11일 후에는 모두 100% 사망하였다. 그러나 3일차에 낳은 자충은 명확하게 차가 있었다. 즉 URY-O는 11일 후에 100% 사망했는데 O-RY는 4일 후에 100% 사망했다. 성충을 접종하고 4일 이후에 낳은 자충은 양계통 모두 3일이내에 100% 사망하여 계통간에 큰 차는 없었다.

2. 28°C 조건에서의 산자 수에 미치는 영향

각 사육온도에서 20일간 조사한 저항성 및 감수성 계통의 제1세대 자충이 산자한 제2세대의 자충 수를 보면 Table 2와 같다. 즉 사육온도 10, 15, 20, 25, 30°C에 있어서 제1세대 자충 개체당 온도별 평균 산자수는 URY-O가 11, 66, 74, 87, 7, O-RY가 5, 62, 57,

Table 2. Young aphids produced by the G₁ of resistant and susceptible strains at different temperatures for twenty days

Temperature (°C)	N	No. of G ₂ /G ₁ individual	
		URY-O	O-RY
10	12	11±1.5	5±0.5
15	12	66±4.0	62±8.5
20	12	74±7.0	57±9.5
25	12	87±4.0	59±4.0
30	12	7±1.5	-*

* No. of Nymphs : mean±SE

Table 3. Young aphids produced by G₁ and G₂ of the resistant and susceptible strains at 28°C

strain	N	G ₁ Young aphids		G ₂ Young aphids	
		Total	G ₁ /parent	Total	G ₂ /G ₁
URY-O	30	75	2.5±1.4	206	2.7±1.6
ABURABI	30	85	2.8±1.6	282	3.3±2.0
O-RY	30	84	2.8±1.5	28	0.3±0.3

* No. of Nymphs : mean±SE

Table 4. Body weight of G₁ progenies of the resistant and susceptible strains at 25°C and 28°C

strain	25°C		28°C		b/a
	Test G ₁	B.W.	Test G ₁	B.W.	
URY-O	8	0.28	10	0.22	0.78
ABURABI	8	0.33	11	0.27	0.81
O-RY	10	0.33	9	0.16	0.48

* B.W. : Body weight (mg/♀)

59, 0마리로서 25°C 이하에서는 계통간에 차이는 없었지만, 30°C에서는 O-RY의 제1세대의 약충이 성충으로 발육하지 못하고 모두 사망하였는데, 이것은 고온 조건 하에서 어떠한 부정적 영향을 받은 것으로 시사된다. 따라서 URY-O와 O-RY 계통 간에 온도에 대한 반응의 차가 나타나는 한계온도가 어느곳인가를 좀더 명확히 알아보기 위하여 산자 수 차이에 관한 시험을 한 결과, 제2세대의 생산여부는 28°C에서 양 계통간의 차이가 있음을 알수 있었다. 따라서 이후의 실험은 28°C에서 실시하였다. 28°C에서 양계통의 총 한 마리가 하루에 낳는 산자 수를 비교한 결과는 Table 3와 같다. 이 실험에서 저항성 계통으로는 O-RY와 ABURABI도 함께 실시하였다. 그 결과 제1세대 산자수에 대해서는 어느 계통에서도 큰 차는 없었고 제2세대 산자 수에서는 명확한 차가 있었는데 O-RY계통만이

Table 5. Relationship between esterase activity and aphid emergence in the O-RY substrains of aphid at 28°C

substrain	N	α -NA hydrolase activity (n mol/15 min/♀)		Young aphid laid by G ₁		Young aphid laid by G ₂	
		Parent	G ₁	Total	G ₁ /parent	Total	G ₂ /G ₁
O-RY (-)	15	22±7	19±7	69	4.6±2.8	235	3.4
O-RY (+)	6	102±39	88±30	24	4.0±2.5	19	0.8

*O-RY (-) : Sub-strain from O-RY, with low esterase activity

O-RY (+) : Sub-strain from O-RY, with high esterase activity

수가 극히 적었다. 그리고 다른 계통의 1세대 총체의 크기에 비하여 O-RY 계통만이 현저히 적어 발육 장애가 일어나고 있음을 육안관찰에 의해서 확인하였다.

3. 제1세대 총의 체중에 미치는 온도의 영향

O-RY계통의 발육저해가 나타나는 것을 확인하기 위하여 25°C와 28°C에서 사육한 3계통의 제1세대 총이 태어나고서 2주후에 체중을 측정해서 비교했다 (Table 4). 그 결과 25°C조건에서 태어난 제1세대 총은 각 계통간에 표준편차상의 유의성은 없었다. 그러나 28°C조건 하에서는 약충의 발육저해가 일어나기 때문에 제1세대 총은 성충이 되지 못하였고, 이 때문에 제2세대가 태어날 수 없었던 것으로 생각된다.

4. CE활성과 온도에 의한 약충의 발육저해와의 관계

O-RY 계통 중에서 CE활성이 높은(+) Sutstrain 계통과 낮은(-) Sutstrain 계통을 선발해서 제1세대와 제2세대의 산자수와 CE활성과의 관계를 조사하여 Table 5와 같은 결과를 얻었다. CE활성은 1-Naphthol의 검량선을 이용해서 nmol로 환산해서 ΔA_{600} 을 나타낸 것으로서 어미세대와 제1세대의 두 Sutstrain 계통간에 모두 약 5배의 차가 있었다. 28°C에 있어서 제1세대 산자수는 Sutstrain 계통간에는 표준편차 상의 유의 차는 없었지만 제2세대의 산자수는 명확하게 차가 있어 CE활성이 높은(+) Sutstrain 계통은 산자 수가 현저히 낮았다. 따라서 O-RY 계통에서는 고온조건에서 제1세대 자충의 발육이 저해되어 제2세대를 생산하지 못한다는 것은 이 계통이 CE 활성이 높다고 하는 것과 어떤 관계가 있다고 생각된다.

O-RY와 ABURABI는 살충제의 저항성 계통으로서 에스테라제의 활성이 높다고 하는 공통점을 갖고 있다. 그러나 이 두 계통은 α -NA의 가수분해 활성검정 방법으로 실험에 사용한 계통의 에스테라제활성을 보면, 감수성 계통인 URY-O에 비하여 ABURABI계통은

17배, O-RY계통은 25배 정도의 활성이 높았는데(柳原과 本山 1985) 이들 계통에 대한 에스테라제 활성을 시험당시 확인한 결과 공시충의 감수성 정도는 변함이 없었다. 또한 O-RY계통은 염색체 전좌를 일으킨 것임에 비하여 ABURABI는 정상적인 것으로서 핵형이 서로 다르다는 것이 보고되어 있어서(柳原과 本山 1985) ABURABI계통은 O-RY계통과 에스테라제 자체의 성질이 서로 다른 것으로 생각된다. 이러한 2가지 성질의 차이 중에서 염색체 전좌를 일으켜 핵형이 다른 O-RY가 갖고 있는 에스테라제가 고온에서 제1세대 약충이 발육할 시 탈피과정의 JH홀몬에 영향을 미쳐 성충화 하지 못하게 하여 제2세대 자충을 생산하지 못하기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 야외에서는 가을에 비하여 여름의 고온시에 복숭아혹진딧물의 감수성이 높다고 하는 것은(Song *et al* 1993, 宋 등 1993)저항성 계통이 고온에 대하여 적응성이 낮아서 감수성 계통의 비율이 상대적으로 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 ABURABI계통의 경우 온도에 따른 밀도 변동을 추론하기 어려우므로 이에 대한 검토와 함께 Song 등(1986)과 Song과 Motoyama(1993)에 의해 보고된 우리나라에 있어서 진딧물의 계절적 약제 저항성 변동이 핵형 변화에 의한 esterase 활성 증가로 인한 것인지 아니면 다른 요인에 의한 것인지에 대한 연구와 우리나라 진딧물의 저항성 pattern의 조사가 이루어져야 하리라 사료된다.

인용문헌

- Beranek, A. P. 1974. Esterase variation and organophosphate resistance in populations of *Myzus persicae*. Ent. Exp. and App. 17: 129-142.
- 최귀문. 1988. 해충상의 변화와 방제전략. 농약의 품질 관리연찬회지. 농자검. 201-231.
- Choi, S. Y. 1985. Studies of insecticide resistance in *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera:Aphididae)(1) 대한

- 민국학술원논문집 24: 285-226.
- Devonshire, A. L. 1973.** The biochemical mechanisms of resistance to insecticides with especial reference to the housefly *Musca domestica* and *Myzus persicae*. *Pestic. Sci.* 4: 521-529.
- Devonshire, A. L. 1977.** The properties of a carboxylesterase from *Myzus persicae*, and its role in conferring insecticide resistance. *Biochem. J.* 167: 657-683.
- Dunn, J. A. and Kompton, D. P. 1966.** Non-stable resistance to Demeton methyl in a strain of *Myzus persicae*. *Ent. Exp. Appl.* 9: 67-73.
- 兵 弘司 1981.** 모모아카아브람시의殺蟲劑抵抗性の發現機構. *植物防疫* 35(1): 21-26.
- Hama, H. and Hosoda, A. 1988.** Individual variation of alioesterase activity in field population of *Aphis gossypii* Glover. *Appl. Ent. Zool.* 23: 109-112.
- 이승찬 1990.** 곤충의 약제저항성 발달기작과 대책. 농약의 생물학적 품질관리연찬회지 7-32.
- Masashi, U. 1983.** Electrophoretic analysis of non-specific esterases and acetylcholinesterases from the housefly, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae), with reference to organophosphorus insecticide resistance. *Appl. Ent. Zool.* 18: 447-455.
- Motoyama, N. and Dauterman, W. C. 1974.** The role of nonoxidative metabolism in organophosphorus resistance. *J. Agr. Food Chem.* 22: 350-356.
- 本山 直樹 野村 建一 1981.** 모모아카아브람시의各種殺蟲劑에對する交差抵抗性のパターンと抵抗性のメカニズム. "1980年科學研究補助金によるアブラムシ類の藥劑 抵抗性に関する生理. 生態學的研究報告書. 6-9.
- 本山直樹 1981.** 神經の化學. 農藥實驗法 1. 殺蟲劑編. 210-224.
- 本山直樹, 兵弘司, 高橋洋治 1983.** 殺蟲劑抵抗性との生化學, 代謝, 藥劑抵抗性, 소프트사인스 社, 54-85.
- Needham, P. H. and Sawicki, R. M. 1971.** Diagnosis of resistance to organophosphorus insecticide in *Myzus persicae*. *Nature* 230: 125-126.
- Oppenoorth, F. J. and Asperen, K. V. 1961.** The detoxication enzyme causing organophosphate resistance in the house fly; Properties inhibition, and the action of inhibitors as synergists. *Ent. Exp. Appl.* 4: 311-333.
- Oppenoorth, F. J. and Voerman, S. 1975.** Hydrolysis of paraoxon and malaoxon in three strains of *Myzus persicae* with different degree of parathion resistance. *Pest. Biochem. and Phys.* 5: 431-443.
- Sawicki, R. M., Devonshir, A. L., Payne, R. W. and Petzing, S. M. 1980.** Stability of insecticide resistance in *Myzus persicae*. *Pestic. Sci.* 11: 33-42.
- Sissaert, H. R. 1976.** Reactivity of a critical sulfhydryl group of the acetylcholinesterase from *Myzus persicae*. *Pest. Biochem. and phys.* 6: 215-222.
- Song, S. S., Oh, H. K., Choi, N. J. and Kim, Y. W. 1986.** Sensitivity of various insecticides on *Myzus persicae*. Annual Reports of Biological Inspection on the Chemicals of NAMIO in Korea. 50-62.
- Song, S. S and Motoyama, N. 1993.** Seasonal fluctuation of susceptibility of the green peach aphid to insecticide in Chinese cabbage field. *Korean J. Appl. Entomol.* 32: 218-221.
- 宋承錫, 吳鴻圭, 本山直樹 1993.** Carboxyl Esterase의 활성측정에 의한 복숭아혹진딧물, *Myzus persical* S의 살충제 포장 저항성의 계절적 변동. *韓應昆誌* 32: 348-359.
- Takada, H. 1979.** Characteristics of forms of the Aphid *Myzus persicae* distinguished by colour and esterase differences, and their occurrence in populations on different host plants in Japan. *Appl. Ent. Zool.* 14: 370-375.
- 高田 肇 1981.** 모모아카아브람시自然個體群의色彩. 에스테라제型構成 とその動態-とくにRAE高活性型の出現比率と分布-. "1980年科學研究補助金によるアブラムシ類の 藥劑抵抗性に関する生理. 生態學的研究報告書. 1-5.
- Takada, H. 1982.** Influence of photoperiod and temperature on the production of sexual morphs in a green and a red form of *Myzus persicae* 1. Experiment in the laboratory. *Kontyu. Tokyo* 50: 233-245.
- 柳原節子, 本山直樹 1985.** 모모아카아브람시의殺蟲劑抵抗性 : 核型異常とエステ라제活性との關係. 千葉大園藝學部卒業論文. 48.

(1994년 8월 2일 접수)