

긴털이리응애(*Amblyseius womersleyi* Schicha)의 간자와응애에 대한 기능반응 및 개체군 억제에 관한 연구

Functional response and suppression of prey population of *Amblyseius womersleyi* Schicha (Acarina: Phytoseiidae) to *Tetranychus kanzawai* Kishida (Acarina: Tetranychidae)

김도익¹ · 이승찬²

Do-ik Kim¹ and Seung-chan Lee²

ABSTRACT These experiments were conducted in the laboratory conditions to determine the prey consumption of a predacious phytoseiid mite, *Amblyseius womersleyi* Schicha, and its ability to regulate the population of tea red spider mite, *Tetranychus kanzawai* Kishida. The functional response curve of the adult *A. womersleyi* to the density of eggs, larvae, and nymphs of *T. kanzawai* indicated Holling's Type II: the consumption of prey by the adult *A. womersleyi* increased with the prey density but the consumption rate decreased. The critical initial ratio to suppress the prey population by the predator seemed to be 32:1 (prey:predator) at 25°C, and 16:1 at 20°C on kidney bean plant. The predator could not regulate any initial ratio of the prey population at 15°C.

KEY WORDS *Amblyseius womersleyi*, *Tetranychus kanzawai*, functional response, critical initial ratio

초 록 긴털이리응애의 간자와응애에 대한 포식량과 억제능력을 알아보기 위하여 실내에서 강낭콩 잎을 이용하여 시험한 결과는 다음과 같다. 긴털이리응애는 간자와응애의 난, 유충, 약충의 먹이밀도가 증가함에 따라 포식량은 점차 증가하였으나 그의 증가율은 감소하는 Holling의 기능 반응곡선 제II형과 일치하는 경향이 있었다. 긴털이리응애의 간자와응애에 대한 억제능력은 25°C에서 32:1의 비율까지, 20°C에서 16:1 비율까지 억제하였으나 15°C에서는 어느 비율에서도 억제를 하지 못하였다.

검색어 긴털이리응애, 간자와응애, 기능적 반응, 억제능력

서 언

간자와응애(*Tetranychus kanzawai* Kishida)의 포식성 천적으로는 이리응애류(Phytoseiidae)가 가장 유력한 것으로 알려져 있으며(Croft U. K. 1992, Duso U. K. 1991, 이 등 1995), 그중 긴털이리응애(*Amblyseius womersleyi* Schicha)에 의한 생물학적 방제 가능성의 연구도 일본과 중국에서 이루어져 왔다(Hamamura 1987, Lo 등 1984). 이러한 간자와응애와 긴털이리응애의 상호작용은 개체군 생태학적 측면의 연구로 이루어져야 하는데, 포식자의 포식특성을 이해하는 하나의 방법으로 기능반응 모델이 응용되고 있다. 기능반응은 포식자의 상태나 피식자의 종과 분포 및 substrate 등

여러 조건에 따라 달라지며(Eveleigh & Chant 1982a, b), 해충종합관리 측면에서 생물학적방제를 수행하기 위한 천적의 잠재력 평가(McCaffrey & Horsburgh 1986) 등에 이용되고 있다. 浜村(1983)은 점박이응애의 각 발육태를 먹이로 공급하여 긴털이리응애의 포식능력을 조사한바, 먹이의 밀도가 증가하는 경우 포식량이 저하되는 dome형의 기능반응을 나타낸다고 보고하였다. 또한 생물학적 방제를 효과적으로 수행하기 위해서는, 계절별로 간자와응애를 억제할 수 있는 긴털이리응애의 방사 비율이나 억제에 소요되는 기간에 대한 정보가 필요하지만 점박이응애에 대한 긴털이리응애의 억제능력을 보고한 바는 있으나 아직까지 간자와응애에 대한 억제효과를 시험보고한 경우는 없다.

¹전남농촌진흥원 시험국(Research Bureau of Chonnam PRDA, Naju, 523-830, Korea)

²전남대학교 농과대학 농생물학과(Dept. of Agrobiology, Chonnam Nat'l University, Kwangju, 500-757, Korea)

이 논문은 1992년도 농촌진흥청에서 시행한 농업특정연구사업의 연구결과임.

따라서 본 시험에서는 긴털이리응애의 먹이밀도와 포식량의 관계, 간자와응애의 먹이밀도에 따른 긴털이리응애의 온도별 억제능력을 평가하여 긴털이리응애를 이용한 간자와응애의 생물학적 방제에 기초자료로 활용코자 실시하였다.

재료 및 방법

긴털이리응애의 기능반응

긴털이리응애의 기능반응을 조사하기 위해 산란중인 암컷성충을 이용하였으며, 먹이로는 간자와응애의 난, 부화유충, 약충(전약충:후약충=50:50)을 공시하였다. 먹이인 난은 강낭콩 엽편에 간자와응애 암컷 성충을 접종하여 산란시킨 후 필요한 난만 남기고 나머지는 제거하였으며, 부화유충과 약충은 강낭콩 엽편에 산란시켜 발육시킨 후 각 단계의 필요한 개체들을 접종하였다.

먹이밀도 범위는 간자와응애의 난, 부화유충, 약충을 각각 4, 8, 16, 32, 64, 128개체씩을 2×2 cm의 강낭콩 엽편에 접종한 후, 우화 1일째의 긴털이리응애 암컷 성충을 1마리씩 방사시켰다. 이때 강낭콩 엽편은 물에 적신 탈지면위에 놓아서 긴털이리응애 및 간자와응애의 이탈을 방지하고, 접종 8시간과 24시간 후에 긴털이리응애의 포식수와 산란수를 해부현미경 하에서 조사하였으며, 8반복으로 시험하였다. 또한 실험중의 온도는 25°C, 습도 70~80%, 조명은 형광등(2,000Lux) 16시간으로 조절된 항온항습기를 이용하였다.

기능반응의 매개변수를 추정하기 위하여 임의포식 모형(random predator equation) (Royama 1971, Rogers 1972)을 적용하여 구하였으며 적용한 식은 다음과 같다.

$$y = x(1 - \exp(-aP(T - T_h(y/P))))$$

y: 포식당한 피식자의 수, x: 초기 피식자 밀도, a: 포식자의 탐색률, T: 반응시간, T_h:포식자의 피식자 처리시간, P: 포식자 수

a와 T_h의 초기값은 y에 대한 ln(x-y)/y의 직선회귀로 구한 다음, SAS Program(SAS Institute, 1988)의 비선형 최소자승법(Nonlinear least square method:NLIN procedure, Method=DUD)을 이용하여 최종적인 값을 추정하였다.

긴털이리응애의 간자와응애 억제능력

직경 12.5 cm의 pot에 강낭콩 2주를 심고, 강낭콩의 잎이 2~3매일때 우화 1일째의 간자와응애 암컷성충을 128마리씩 접종하고, 우화 1일째의 긴털이리응애 암컷성충 0, 2, 4, 8, 16개체를 간자와응애가 접종된 강낭콩에 동시에 방사하여 15, 20, 25°C의 항온항습기에 배치하고, 습도는 70~80%, 조명은 16시간으로 조절하였다. 방사후 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19일째 등, 3일 간격으로 강낭콩 잎에 있는 간자와응애, 긴털이리응애의 개체수를 세어 밀도변동을 조사하였고, 간자와응애에 의한 강낭콩의 피해를 동시에 조사하였다. 15°C에서는 25, 31, 37일째에도 조사하였으며 각 온도 조건 모두 8반복으로 시험하였고, 강낭콩 잎의 피해도는 피해면적을 기준으로 다음과 같이 6단계로 나눈 Mori와 Moriyama(1970)의 방법을 인용하였다.

- 피해도 0 : 잎에 피해가 거의 없음.
- 1 : 잎면적의 20% 이하가 피해 받음.
- 2 : 잎면적의 20~40%가 피해 받음.
- 3 : 잎면적의 40~80%가 피해 받음.
- 4 : 잎면적의 80%가 피해를 받아 녹색부분이 조금 남아 있음.
- 5 : 잎 전체가 피해받아 녹색부분이 거의 없음.

결과 및 고찰

긴털이리응애의 기능반응

긴털이리응애에 대하여 간자와응애를 각 발육단계로 먹이로서 공급하여 먹이수준에 차이를 두었을때 포식량의 변동을 조사한 결과는 Fig. 1과 같으며, 추정된 기능반응식의 두 매개변수인 탐색능력(a)과 처리시간(T_h)은 Table 1과 같다.

8시간과 24시간 후 조사에서 난, 유충, 약충의 먹이 밀도가 4개에서 128개까지 증가하면 포식량도 점차 증가하였으나 그의 증가율은 감소하여 Holling의 기능적 반응곡선 제II형과 일치하였는데(Holling 1966), 8시간 후 조사에서 난, 유충, 약충의 탐색능력(a)은 각각 0.4728, 0.7226, 0.3313이었으며, 처리시간(T_h)은 0.1354, 0.1589, 0.1545였다. 또한 24시간 후 조사에서 난, 유충, 약충의 탐색능력(a)은 각각 1.5725, 1.7397, 2.0353이었으며, 처리시간(T_h)은 0.0489, 0.0808, 0.0747로서 제II형의 기능반응식에 잘 부합되는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 대부분의 포식성 응애류에서 보고된 바와 같은 경향이었다(浜村 1986, 이 1990, 김 1992). 浜村(1986)은 점박이응애의 각 태를 대상으로 긴털이리응

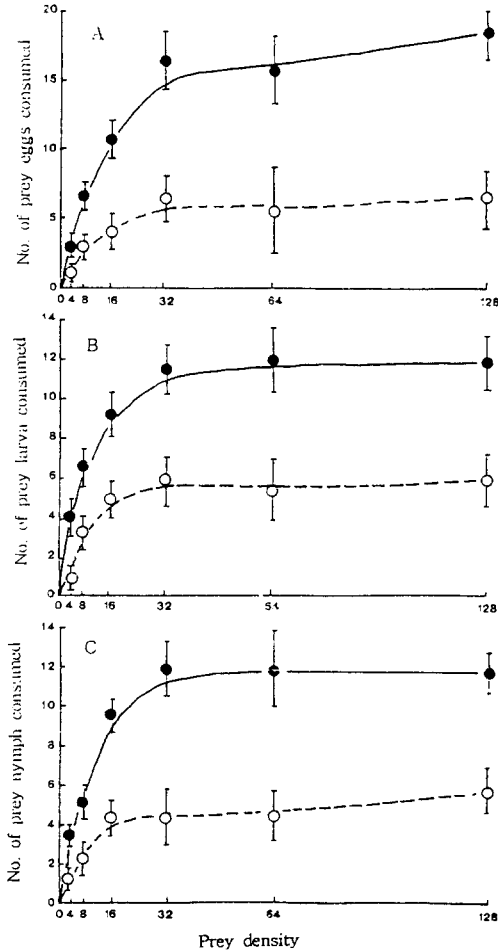


Fig. 1. Functional responses of *Amblyseius womersleyi* to the density of *Tetranychus kanzawai* egg (A), larva (B) and nymph (C). ○-○; 8hr, ●-●; 24hr : duration of the experimental.

애의 기능반응을 시험하여 모든 경우에 포화형의 반응곡선을 나타내어, 간자와응애의 각 태를 대상으로한 본 시험의 결과와 일치하였다. 그러나 Lo 등(1984)은 긴털이리응애는 점박이응애 약충을 먹이 대상으로 하여 160:1의 높은 먹이밀도에서 substrate를 콩잎과 종이로 한 경우 모두 안정적인 포식량을 나타내지만, 간자와응애 약충을 제공하였을 때는 콩잎에서는 먹이밀도가 160:1에서 최고치의 포식량을 나타내고 그 이상의 먹이밀도에서는 떨어져 II형에 가까운 반응을 보이는데, 종이에서는 먹이밀도가 640:1까지 계속하여 올라갈수록 극단적으로 포식량이 높아져 I형과 유사한 반응을 나타낸다고 하였다. 그러나 본 시험은 강낭콩

Table 1. Estimates of the parameter of functional responses of adult female *Amblyseius womersleyi* to *Tetranychus kanzawai* eggs, larvae and nymphs

Stage/ observation time	Search rate*	Handling time (Day)*	R ²
Egg	8 hours 0.4728 ± 0.0252	0.1354 ± 0.0398	0.6080
	24 hours 1.5725 ± 0.0587	0.0489 ± 0.0033	0.7677
Larva	8 hours 0.7226 ± 0.0454	0.1589 ± 0.0807	0.7955
	24 hours 1.7397 ± 0.1859	0.0808 ± 0.0016	0.8595
Nymph	8 hours 0.3313 ± 0.0130	0.1545 ± 0.0250	0.6105
	24 hours 2.0353 ± 0.6106	0.0747 ± 0.0048	0.8656

* Values are Parameter ± SEM

앞조건에서 먹이밀도가 128:1이 상한이어서 이와 같은 현상은 보이지 않았으며 추후 먹이밀도 조건을 확대해서 시험할 필요성이 있는 것으로 보인다. 또한 Everson(1979)도 *Phytoseiulus persimilis*의 점박이응애에 대한 기능반응을 조사하여 콩잎을 substrate로 한 경우에는 포화형의 반응곡선을 보이나, 종이나 플라스틱을 substrate로 하였을 때는 dome형의 반응곡선이 나타나는데 그 원인으로서 먹이밀도가 증가함에 따라 포식자가 먹이응애의 활동성에 의해 피해를 받기 때문이라고 하였다. 따라서 이같은 실험조건에 의해 기능반응은 다르게 나타날 가능성이 있는 것으로 보인데, 피식자의 발육단계나 먹이를 보충해 주는 시간간격에 따라서도 제I형과 제III형(S자형) 또는 제IV형(dome형)의 형태가 나타날 수 있다고 보고된 바 있다 (Mori & Chant 1966, Takafuji & Chant 1976). 이외에도 Holling(1966)은 기능반응에 영향을 미치는 요인으로 포식자의 연령, 굶주림 정도, 피식자의 방어능력, 피식자의 분포, 대체 가능한 피식자의 존재유무 등 많은 요인들이 있음을 언급한 바 있다. 이와 같은 요인들은 결국 포식자의 행동에 변화를 주어 기능반응 형태에 영향을 미치게 되는데(김 1992), Sabelis(1981)는 포식자가 자유로이 분산할 수 있을때 낮은 피식자 밀도에서 포식자의 분산율이 커져 제III형의 반응을 보인다고 보고하였다.

긴털이리응애의 간자와응애 억제능력

긴털이리응애의 간자와응애에 대한 억제능력을 15, 20, 25°C에서 실험한 결과는 Fig. 2~4와 같다. 25°C에서 간자와응애와 긴털이리응애의 비율이 8:1에서는 접종 3일째부터 간자와응애의 밀도가 감소하여 10일째에는 엽당 0.17마리로 완전히 역제가 되었으며, 16:

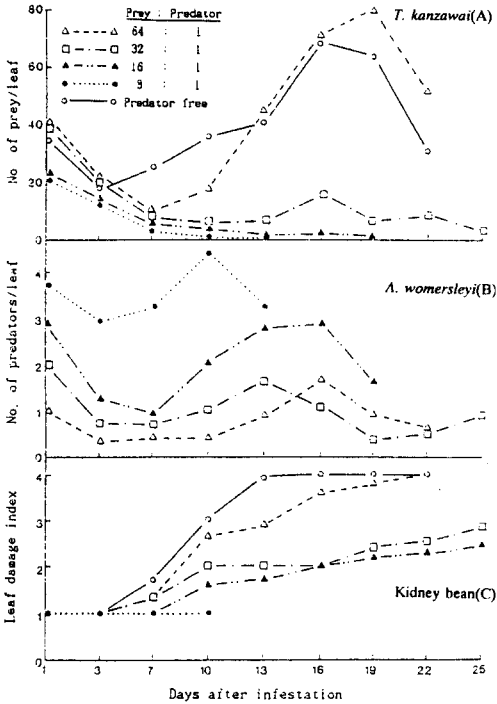


Fig. 2. Population fluctuation of prey adult females of *T. kanzawai* (A) and predatory adults of *A. womersleyi* (B) and changes in leaf damage indexes (C) on kidney bean with different initial prey : predator ratio at 25°C.

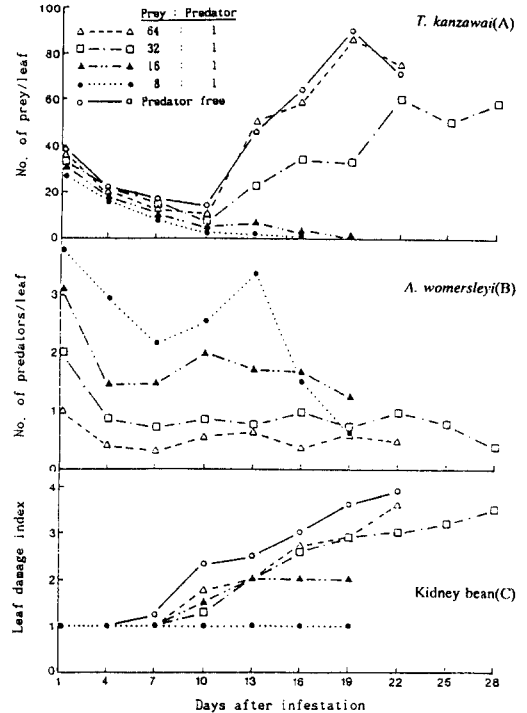


Fig. 3. Population fluctuation of prey adult females of *T. kanzawai* (A) and predatory adults of *A. womersleyi* (B) and changes in leaf damage indexes (C) on kidney bean with different initial prey : predator ratio at 20°C.

1에서는 13일째부터 간자와응애 밀도가 엽당 0.94마리 이하로 떨어져 16일째에 1.25마리로 약간 증가하였으나 19일째에는 0.03마리로 극히 낮은 수준으로 되었다. 32:1에서는 10일째에 밀도가 엽당 5.25마리로 약간 떨어졌으나 다음 세대의 약충이 나타나 일정한 밀도를 형성하여 집중 25일째에야 억제 되었다. 이 때 엽의 피해지수는 2.8로 높은 편이었으며, 긴털이리응애의 개체수도 16일째부터 1마리 이하로 유지되었다. 64:1과 간자와응애만 접종한 경우에는 집중 10일째와 7일째부터 간자와응애의 밀도가 증가하기 시작하였으며 각각 19일째와 16일째에는 밀도가 peak를 이루었고 이후 밀도가 감소하기 시작하였는데 이것은 집중한 강낭콩잎이 변색되기 시작하여 22일째에는 완전히 고사하였기 때문이다. 20°C에서 간자와응애 : 긴털이리응애의 비율이 8:1로 접종된 경우 16일째에 간자와응애 밀도가 엽당 0.24마리로 완전히 억제 되었으며 16:1의 조건에서는 19일째에 엽당 0.5마리 이하로서 25°C의 16:1 비율에서 19일째에 0.03마리로 억제

된 것보다는 높은 수치인데, 엽의 피해지수는 2를 넘지 않았으며 다음 세대의 약충이 나타나지 않아 밀도가 억제된 것으로 판단된다. 그러나 32:1과 64:1에서는 집중 10일째 이후부터 다음 세대의 약충이 나타나기 시작하여 밀도억제가 이루어지지 않았으며, 64:1에서는 간자와응애만 접종한 곳과 마찬가지로 집중 22일째에 강낭콩이 완전히 고사되었다. 15°C에서는 간자와응애의 밀도가 초기에는 증가하지 않다가 13일 이후부터는 모든 집중구에서 증가하기 시작하여 31일째와 37일째에는 강낭콩이 거의 고사 상태에 이르러 피해지수도 4에 가까웠으며, 긴털이리응애는 초기의 집중비율보다 더이상 증가하지 않고 계속 감소하였다.

浜村(1983)은 잠박이응애를 먹이로 하고 8:1~64:1의 비율로 하여 시험한 결과, 25°C의 8:1, 16:1, 32:1, 43:1의 비율에서 각각 13, 20, 23, 37일째에, 20°C의 8:1, 16:1, 32:1 비율에서는 각각 17, 28, 46일째에 억제되었으며, 15°C에서는 억제가 불가능하다고 보고하였다. 따라서 25°C의 43:1 비율은 본 시험에서 조사가 이루어

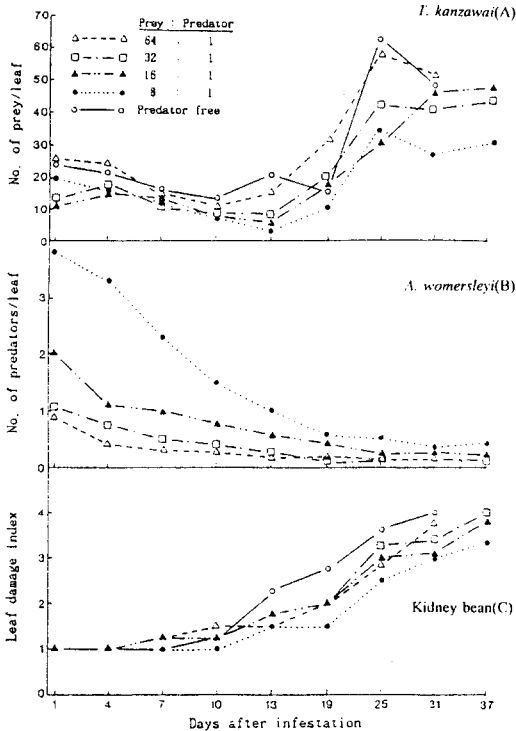


Fig. 4. Population fluctuation of prey adult females of *T. kanzawai* (A) and predatory adults of *A. womersleyi* (B) and changes in leaf damage indexes (C) on kidney bean with different initial prey : predator ratio at 15°C.

어지지 않아 억제여부를 알 수 없으나 25°C의 8:1, 16:1, 32:1 비율과 20°C의 8:1, 16:1 비율에서는 전반적으로 보아 본 시험에서 억제 소요일수가 더 짧은 것으로 나타났으며 20°C의 32:1 비율에서는 억제되지 않는 차이가 있었는데, 이러한 차이점은 점박이응애와 간자와응애의 생태적 이질성 또는 긴털이리응애의 지역적 계통이 같지 않음에 연유한 것으로 생각된다. 한편, Shinkaji & Adachi(1978)는 긴털이리응애와 같은 이리응애科的 *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot를 이용하여 간자와응애에 대한 포식 및 온도별 억제능력을 시험한 결과, 30°C 이하에서는 긴털이리응애 보다 포식량이나 산란수가 많아 우수한 천적이지만 30°C이상의 고온에서는 긴털이리응애가 고온에 더 잘 적응하여 우수한 천적이라고 보고한 점으로 볼때, 간자와응애를 방제하기 위해서는 계절에 따른 온도의 차이를 감안하여 천적을 활용함으로써 생물학적 방제의 가능성을 높여야 할 것으로 보인다.

인용문헌

Croft, B. A., I. V. MacRae & K. G. Curran. 1992. Factors affecting biological control of apple mites by mixes of *Metaseiulus occidentalis* and *Typhlodromus pyri*. *Exp. Appl. Acarol.* **14**: 343-355.

Duso, C., C. Pasqualetto & P. Camporese. 1991. Role of the predatory mites *Amblyseius aberrans* (Oud.), *Typhlodromus pyri* Scheuten and *Amblyseius andersoni* (Chant) (Acari:Phytoseiidae) in vine yards. II. Minimum releases of *A. aberrans* and *T. pyri* to control spider mite populations(Acari, Tetranychidae). *J. Appl. Entomol.* **109**: 172-190.

Eveleigh, E. S. & D. A. Chant. 1982a. Experimental studies on acarine predator-prey interactions: the effects of predator density on prey consumption, predator searching efficiency, and the functional response to prey density (Acarina: Phytoseiidae). *Can. J. Zool.* **60**: 611-629.

Eveleigh, E. S. & D. A. Chant. 1982b. Experimental studies on acarine predator-prey interactions: the effects of predator density on immature survival, adult fecundity and emigration rates, and the numerical response to prey density(Acarina :Phytoseiidae). *Can. J. Zool.* **60**: 630-638.

Everson, P. 1979. The functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae) to various densities of *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae). *Can. Ent.* **111**: 7-10.

浜村徹三. 1983. 케나가카브리ダ니의나미하그니飽食量と制御能力. *茶技研.* **64**: 15-23.

浜村徹三. 1986. 藥劑抵抗性ケナガカブリダニによる茶園のカンザワハダニの生物的防除に 關する研究. *茶業試驗場研究報告.* **21**: 121-201.

Hamamura, T. 1987. Biological control of the kanzawa spider mite, *Tetranychus kanzawai* Kishida, in tea fields by the predacious mite, *Amblyseius longispinosus* (Evans), which is resistant to chemicals (Acarina:Tetranychidae, Phytoseiidae). *Rep. JARQ.* **21**(2): 109-116.

Holling, C. S. 1966. The functional responses of invertebrate predators to prey density. *Mem. Entomol. Soc. Can.* **48**: 3-86.

김동순. 1992. 긴털이리응애(*Amblyseius longispinosus*)와 점박이응애(*Tetranychus urticae* Koch)의 상호작용에 관한 연구:기능반응, 탐색행동, 탐색노력의 분배. 서울대학교 농학석사 학위논문. 48pp

이순원. 1990. 사과원 해충상과 응애류 종합관리에 관한

- 연구. 서울대 박사학위논문. 87pp.
- 이승찬, 김도익, 김상수. 1995. 간자와응애(*Tetranychus kanzawai*)의 생태 및 천적에 관한 연구. 한울곤지. **34**(3): 249-255
- Lo, K. C., H. K. Tseng, & C. C. Ho. 1984. Biological control of spider mites on strawberry in Taiwan(I). *J. Agric. Res. China.* **33**(4): 406-417.
- McCaffrey, J. P. & R. L. Horsburgh. 1986. Functional response of *Orius insidiosus* (Hemiptera:Anthocoridae) to the European red mite, *Panonychus ulmi*(Acari: Tetranychidae), at different constant temperatures. *Environ. Entomol.* **15**: 532-535.
- Mori, H. & D. A. Chant. 1966. The influence of prey density, relative humidity and starvation on the predaceous behavior of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina:Phytoseiidae). *Can. J. Zool.* **44**: 483-491.
- Mori, H. & S. Moriyama. 1970. Biological control of *Tetranychus urticae* Koch on white clover by *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina: Tetranychidae, Phytoseiidae). *Mushi.* **43**: 29-38.
- Rogers, D. 1972. Random Search and insect population models. *J. Anim. Ecol.* **41**: 369-383.
- Royama, T. 1971. A comparative study of models for predation and parasitism. *Res. Popul. Ecol. Suppl.* **1**: 1-91.
- Sabelis, M. W. 1981. Biological control of two-spotted spider mites using phytoseiid predators. Agri. Res. Rep. 910. Pudoc. Wageningen, 242pp.
- SAS Institute. 1988. SAS User's guide: Statistics, version 6.03ed. SAS Institute. Cary, N.C.
- Shinkaji, N. & T. Adachi. 1978. The effect of certain pesticides on the predacious mite *Amblyseius longispinosus* (Evans) (Acarina: Phytoseiidae). Bull. Fruit Tree Res. Stn. Japan. E2. 99-108.
- Takafuji, A. & D. A. Chant. 1976. Comparative studies of two species of predacious phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae), with special reference to their responses to the density of their prey. *Res. Popul. Ecol.* **17**: 255-310.

(1996년 1월 3일 접수)