

오이이리응애(*Amblyseius cucumeris*)를 이용한 차면지응애(*Polyphagotarsonemus latus*) 생물적 방제나승용¹ · 백채훈* · 이건휘 · 김두호²국립식량과학원 벼백류부, ¹농촌진흥청 국립축산과학원, ²국립농업과학원 유해생물과Biological Control of *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tasonemidae) by *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae)Seung-Yong La¹, Chae-Hoon Paik*, Geon-Hwi Lee and Doo-Ho Kim²

Department of Rice and Winter Cereal Crop, NICS, RDA, Iksan 570-080, Korea

¹National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-706, Korea²Microbial Safety Division, NAAS, RDA, Suwon 441-707, Korea

ABSTRACT : This study was conducted on the biological control effects of the natural enemy, *Amblyseius cucumeris*, against *Polyphagotarsonemus latus*. The broad mite moved to a new habitat after the carrying capacity of the preferred habitat on the upper leaf has been reached. Population dynamics between predator, *Amblyseius cucumeris*, and prey, *P. latus*, were quite well synchronized since the predator followed the movement of the prey. In predation test by *Amblyseius cucumeris* on *P. latus*, *A. cucumeris* fed on 8.8, 15.2, 27.0 and 30.3 individuals/day under the temperatures of 15, 20, 25, and 30°C, respectively. The *A. cucumeris* larva, protonymph, deutonymph, adult male, and adult female fed on 0.5, 1.6, 5.2, 3.8, and 27 individuals of adult *P. latus* per day, respectively, under 25°C condition. The functional response curve of adult *P. latus* to the densities of *A. cucumeris* showed Holling's Type II curve. The consumption of prey by *A. cucumeris* increased with the prey density increase, but the consumption rate decreased. The critical ratio of predator vs. prey effectively to suppress (98% over) the population of *P. latus* by releasing *A. cucumeris* was 1:40 on red pepper.

KEY WORDS : *Polyphagotarsonemus latus*, *Amblyseius cucumeris*, Biological control, Predation, Population suppression

초 록 : 본 연구는 차면지응애의 천적인 오이이리응애의 생물적 방제효과를 조사하였다. 차면지응애는 상위 엽을 가해하다가 밀도가 높아짐에 따라 먹이조건이 나빠지기 때문에 새로운 서식처를 찾아 이동하였다. 오이이리응애와 차면지응애의 밀도변동은 먹이충인 차면지응애의 이동에 따라 천적인 오이이리응애의 서식지가 같아졌다. 차면지응애에 대해 천적인 오이이리응애의 포식량은 15, 20, 25 및 30°C에서 각각 8.8, 15.2, 27.0 및 30.3마리를 포식하였다. 25°C 조건하에서 부화유충은 0.5마리, 전약충은 1.6마리, 후약충은 5.2마리, 수컷 성충은 3.8마리, 암컷 성충은 27.0마리의 차면지응애 성충을 포식하였다. 차면지응애 성충에 대한 오이이리응애 성충의 기능반응은 차면지응애의 밀도가 증가함에 따라 포식량은 점차 증가하였으나 그의 포식율은 감소하여 Holling의 기능반응곡선 제II형과 일치하였다. 천적인 오이이리응애와 먹이충인 차면지응애 접종비율이 고추에서 1:40일 경우 밀도억제효과가 98% 이상으로 가장 효과적이었다.

검색어 : 차면지응애, 오이이리응애, 생물적 방제, 포식, 밀도억제

*Corresponding author. E-mail: paikch@rda.go.kr

차면지용애(*Polyphagotarsonemus latus*)는 먼지용애과(*Tarsonemidae*)에 속하는 아주 미소한 응애로서 국내의 시설채소와 화초류에 많이 발생하여 문제되고 있는 해충이다. 차면지용애는 원래 차의 해충으로 알려져 있으나 그 외에 고추, 가지, 감자 등의 작물과 베고니아, 다알리아 등의 화초류 및 토마토, 오이, 강낭콩 등 기주범위가 매우 넓다. 피해가 심할 경우, 바이러스와 비슷한 피해증상을 보이며, 잎이 오그라들고 신초부위의 생육이 정지되며 잎이 전개되지 못하게 하여 식물체가 정상적으로 자라지 못하게 한다. 시설하우스 작물의 응애류 방제를 위해 무분별한 약제사용과 동일약제의 연용으로 인해 저항성 응애류 해충 발생과 더불어 유용생물자원 등 포식성 천적의 발생에 큰 영향을 주기 때문에, 응애류 해충의 종합적 관리를 위해서는 포식성 천적자원을 이용한 생물적 방제기술의 이용이 바람직하다(Pena *et al.*, 1989). Huffaker *et al.*(1970)은 이리응애과(*phytoseiidae*)가 응애류의 천적으로서 중요하며, 이들이 특히 *Tetranychus* 속 응애류의 종합관리시 생물적 방제인자로서 가능성이 있는 천적이라고 하였다. 이리응애과는 1,000여종 이상이 알려졌고 이중 약 40여종이 응애류의 천적으로서 중요한 것으로 보고되었다(Hoy *et al.*, 1982).

먼지용애류 방제에 이용 가능한 유용생물자원은 포식성 천적으로 이리응애과에 속하는 오이이리응애(*Amblyseius cucumeris*), 나팔이리응애(*A. barkeri*) 등 28종, *Bedellidae*과에 *Bedella distincta*, *Ascidae*과에 *Asca muma*가 보고되어 있으며(Pena *et al.*, 1989; Gerson, 1992; McMurtry *et al.*, 1984; Huffaker and Kennett, 1956), 병원미생물로는 *Hirsutella nodulosa*, *Beauveria bassiana*, *Hirsutella thompsonii* 등 4종이 알려져 있다(Gerson, 1992; Pena *et al.*, 1996). 이와 같은 많은 천적자원에 대한 천적으로서의 활용가치 평가방법은 먹이충에 대한 포식능력, 먹이충과 관련된 생활사, 포식자의 환경 저항능력 등이 있다(Murdoch and Oaten, 1975). 이중에서 포식능력 평가는 포식자가 먹이충을 찾아내고 다양한 먹이충의 밀도에 대하여 반응하는 능력을 결정하는 것으로 매우 중요한 평가항목이다(Huffaker *et al.*, 1970). 이러한 측면에서 포식자의 기능반응 모델이 응용되고 있는데 기능반응모델은 해충종합관리(Integrated Pest Management) 계획에서 생물적 방제를 수행하기 위한 천적의 잠재력 평가 및 천적간의 상대적 능력비교 등에 많이 이용되고 있다(Nagai, 1991; Coll and Ridgway, 1995).

세계적으로 몇 가지 포식성 천적에 대하여 차면지용애의 포식량 및 차면지용애의 생물적 방제를 위한 작물별 효율적인 접종비용 등 많은 연구들이 각국에서 진행되고 있다(Hariyappa and Kulkarni, 1989; Karupuchamy *et al.*, 1994). Badii and McMurtry(1984)는 몇가지 천적별 차면지용애의 충태별 포식특성을 조사한 결과, *Typhlodromus annectens*, *T. porresi*와 *T. rickeri*는 약충(larvae)을 선호한 반면, *Euserius stipulatus*는 정지기 약충(nymphal)을 제외한 알, 약충 및 성충을 선호하는 것으로 나타났다. 또한 여러 나라에서는 원예작물을 가해하는 다양한 응애류에 대하여 가장 유력한 천적으로 알려진 이리응애류를 이용한 생물적 방제 또는 종합적 관리기술의 개발을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 일부 종들은 상업적으로 활용되고 있다(Croft *et al.*, 1996; Dicke and De Jong, 1988; Genini *et al.*, 1991; Hamamura, 1986; Zhang and Croft, 1994).

따라서 본 연구에서는 시설재배작물에 발생되어 큰 피해를 주고 있는 차면지용애에 대해 천적인 오이이리응애의 작물체 내에서의 위치, 충태별 포식량 그리고 해충과 천적의 효율적인 방사비용 등을 조사하여 시설해충 종합관리를 위한 기초자료로 활용하고자 본 시험을 실시하였다.

재료 및 방법

식물 부위별 천적분포도 변화

작물체 내에서 차면지용애와 천적인 오이이리응애의 분포상황을 조사하기 위하여 파종 후 30일된 고추묘(엽수 12개)에 차면지용애 암컷 성충을 주당 5마리씩 접종한 후 8일 후 오이이리응애 암컷성충을 주당 2마리씩 각각 3반복으로 접종하였다. 4일 간격으로 고추를 부위별로(신초: 3~4엽, 중엽: 신초와 하엽을 제외한 엽, 하엽: 밑에서 3~4엽) 채취하여 광학현미경(20×) 하에서 차면지용애와 오이이리응애의 분포수를 조사하였다.

오이이리응애의 포식량

차면지용애의 천적으로 알려진 오이이리응애를 이용하여 처리온도에 따른 오이이리응애의 포식량을 조

사하고자 실시하였다. 처리온도는 15, 20, 25, 30°C를 설정하였고, 처리방법은 페트리디쉬(직경 9 cm, 높이 3 cm) 내에서 차면지응애 성충 50~70마리가 접종된 고추잎(직경 2.8 cm)에 오이이리응애 성충을 1마리씩 접종한 다음, 24시간 후 포식된 개체수를 조사하였다. 온도 및 충태별 포식량은 각각 15반복으로 처리하였다.

오이이리응애의 기능반응

오이이리응애의 기능반응을 조사하기 위하여 먹이로 차면지응애 성충을 밀도(20, 40, 60, 80, 100개체)별로 고추 잎(직경 2.8 cm) 위에 접종한 다음, 오이이리응애 약충, 수컷 성충 및 암컷 성충을 각각 1마리씩 접종하여 24시간 후 먹이밀도별 포식량을 조사하였다. 시험조건은 온도 25±0.5°C(항온기 16h L/8h D), 습도 70~80%(RH)였으며, 처리는 15반복으로 통계분석하였다.

기능반응의 매개변수를 추정하기 위하여 Rogers(1972)와 Royama (1971)의 방법을 이용하였으며, 적용한 식은 다음과 같다.

$$y = x(1 - \exp(-aP_t(T - T_h(y/p_i))))$$

y : 피공격수, x : 기주의 밀도, a : 오이이리응애의 탐색율,

T : 전노출시간, T_h : 기주 처리시간, P_t : 오이이리응애 수

a와 T_h의 초기값은 y에 대한 ln(x-y)/y의 직선회귀로 구한 다음, SAS(SAS Institute, 1995)의 비선형최소자승법(Nonlinear least square method : NLIN procedure, Method=DUD)을 이용하여 최종적인 값을 추정하였다.

차면지응애 밀도억제효과

오이이리응애가 차면지응애 밀도를 어느 정도 억제할 수 있는지를 알아보기 위하여 공시 기주식물로 포트(직경 12 cm)에 식재된 고추묘(품종명: 녹광, 파종 30일 후)를 이용하였다. 먼저 차면지응애 암컷 성충을 주당 5마리씩 접종한 후 1주일 후에 밀도(마리/주)를 조사하였다. 조사된 차면지응애의 밀도에 따라 오이이리응애와 차면지응애를 60:1, 40:1, 20:1의 밀도수준으로 접종한 처리구와 오이이리응애를 접종하지 않은 무처리구를 두고 1주일 간격으로 3주 동안 오이이리응애와 차면지응애의 밀도변화를 각각 3반복으로 조사하였다.

결과 및 고찰

식물 부위별 천적 분포도 변화

고추 유묘에 차면지응애와 천적인 오이이리응애를 접종한 후 시일경과에 따른 증식량 및 서식처 선호성을 조사한 결과(Fig. 1), 차면지응애는 접종후 12~16

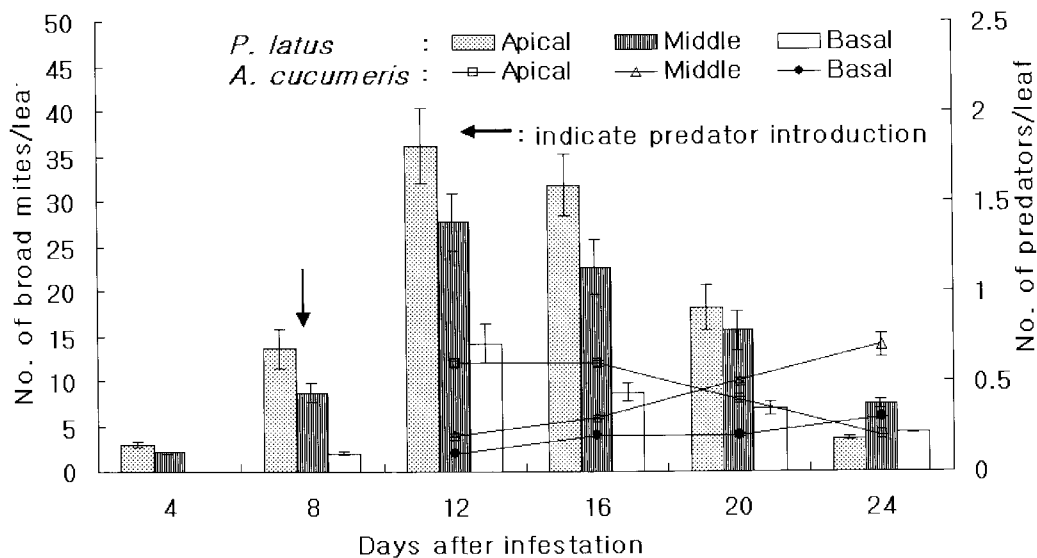


Fig. 1. Changes of population densities of *P. latus* and *A. cucumeris* on red pepper plants following infestation.

일 사이에 증식량이 가장 많았으며, 16일 이후는 밀도가 감소하기 시작하였다. 기주식물 엽 위치별 차면지응애 분포비율은 접종 20일 후 까지는 상위 엽에 분포하는 비율이 높았지만 20일 이후에는 중엽 및 하엽으로 이동하는 비율이 높았다. 또한, 이것은 접종초기에는 차면지응애가 신초부위를 선호하나 밀도가 늘어남에 따라 신초부위의 먹이조건이 나빠지기 때문에 새로운 서식지를 찾아 중엽과 하엽으로 점진적으로 이동하는 것으로 생각된다. 천적인 오이이리응애는 차면지응애의 상위엽 분포비율이 높은 16일까지는 상위엽에 분포하는 비율이 높았지만, 그 이후는 차면지응애 분포비율이 높은 중엽 및 하엽으로 이동하여 이곳에서 분포하는 비율이 높아지기 시작하였다. 이것은 먹이충인 차면지응애의 이동에 따라 천적인 오이이리응애 분포비율이 달라진 것으로 생각된다.

de Cross-Romero and Pena(1998)는 고추에 주당 20마리의 차면지응애를 접종하여 시일경과에 따라 증식량과 엽 앞면과 뒷면의 서식처 선호성을 조사한 결과, 증식량은 접종 8~14일 사이에 가장 많았고, 대부분 엽 위쪽보다는 아래쪽을 선호하지만, 엽 아래쪽에서 차면지응애 발생밀도가 최고점에 도달한 후 수컷의 성충은 이동성이 적으나 암컷의 성충은 새로운 서식처를 찾기 위해서 엽 위쪽으로 이동하는 것으로 보고하였다. 그러나 전체적으로 차면지응애 성충, 약충 및 산란된 난은 엽 위쪽보다 아래쪽에서 많았다. 이것은 차면지응애가 햇빛과 낮은 습도를 회피하는 습성을

지니고 있기 때문에 보고하였다(Jeppson *et al.*, 1975; Jones and Brown, 1983). Steiner(1990)는 오이 잎에 분포하는 오이이리응애 서식처 선호성을 조사한 결과, 신초부위 보다는 중엽과 하엽 부분에 분포하는 비율이 높은 것으로 보고하였다. 이것은 오이 신초엽 부위는 많은 강모가 있기 때문에 활동하기 어려워 이동하기 용이한 중엽이나 하엽에 분포하는 비율이 높은 것으로 생각된다. 결과적으로 고추의 부위별로 해충 및 천적의 발생시기 및 발생량에 따라 천적의 분포도의 차이를 보이는 것으로 보아 초기에 발생하는 차면지응애의 방제를 위해서는 가능한 신초부위와 가까운 곳에 접종함으로써 방제효과를 극대화 시킬 수 있을 것으로 생각된다.

오이이리응애의 포식량

포식성 천적의 대상해충에 대한 포식능력은 그 천적의 유용성을 측정 할 수 있는 하나의 요건이 된다. 고추 잎에 번식한 차면지응애 성충을 먹이로 공급하여 오이이리응애 성충의 온도별 일일포식량을 조사한 결과(Table 1), 오이이리응애 성충의 일일포식량은 온도가 높을수록 증가하여 30°C에서 30.3마리로 가장 많았고, 15°C에서 8.8마리로 가장 적었다. 차면지응애 성충을 먹이로 공급하여 오이이리응애 충태별 일일포식량을 조사한 결과(Table 2), 25°C에서 부화유충 및 전약충은 포식량이 많지 않았지만, 후약충, 성충 수컷

Table 1. Number of *P. latus* consumed per day by adult female of *A. cucumeris* at different temperatures (16L:8D, RH 60±5%)

Temp. (°C)	No. of prey consumed/day*
15	8.8±2.68 a**
20	15.2±2.89 b
25	27.0±5.10 c
30	30.3±5.12 d

*1 adult female of *A. cucumeris* infestation to 50~70 population of *P. latus*

**Means followed by the same letter are not significantly different ($P>0.05$) by DMRT.

Table 2. Number of *P. latus* consumed per day by different stages of *A. cucumeris* at 25°C condition

Stages	No. of prey consumed/day*
Larva	0.5±0.52 a**
Protonymph	1.6±0.77 a
Deutonymph	5.2±2.44 b
Adult male	3.8±1.36 b
Adult female	27.0±5.10 c

*1 adult female of *A. cucumeris* infestation to 50~70 population of *P. latus*

**Means followed by the same letter are not significantly different ($P>0.05$) by Duncan's multiple range test.

및 암컷은 각각 5.2, 3.8 및 27.0마리였다. 따라서, 암컷 성충의 포식량이 가장 많았고, 후약충과 수컷 성충의 포식량은 비슷한 경향이였다.

Kim et al.(2001)은 몇 가지 포식성 응애(Phytoseiid mites) 종류별로 차면지응애 성충에 대한 일일 포식량을 25°C에서 조사한 결과 *Amblyseius fallacis*와 긴털이리응애(*Amblyseius womersleyi*)의 포식량은 각각 21.6 및 19.5마리로서 *Amblyseius andersoni*, *Typhlodromus pyr*와 *Metaseiulus occidentalis*의 일일 포식량인 각각 17.6, 17.1 및 11.8마리보다 많았다고 보고하였다. 또한 차면지응애의 또 다른 포식성 천적인 *A. ovalis*는 25°C에서 차면지응애 난, 제1약충, 제2약충, 용 및 성충을 각각 5.8, 4.6, 3.2, 3.1 및 2.1마리를 포식하는 것으로 보고된 바 있다(Karuppuchamy et al., 1994). 본 연구에서 조사된 오이이리응애의 차면지응애 포식량을 이전의 다른 연구에서 보고된 포식성응애류의 차면지응애 포식량과 비교해 볼 때, 차면지응애 포식성 천적 응애류 중 오이이리응애가 다른 천적에 비하여 포식량이 많은 것으로 나타났다.

오이이리응애의 기능반응

오이이리응애의 수컷 및 암컷성충의 먹이밀도를 달

리하여 포식량을 조사한 결과, 오이이리응애는 차면지응애의 밀도가 증가함에 따라 포식량은 점차 증가하였으나 증가율은 감소하여 Holling(1965)의 기능반응 곡선 제II형과 일치하였다(Fig. 2). 또한 오이이리응애의 먹이 중 탐색율(a)과 탐색시간(T_h)에 있어서 수컷성충 보다 암컷성충의 탐색율이 높고, 탐색시간은 짧았다(Table 3). 일반적으로 포식성 천적은 같은 종 내에서 먹이충에 대하여 탐색율은 높고 탐색시간이 짧을 수록 유용한 충태로 알려져 있다 (Murdoch and Oaten, 1975). 따라서 오이이리응애의 경우 수컷 성충에 비하여 암컷 성충이 차면지응애 방제에 있어서 더 효율적인 충태로 생각된다.

Zang et al.(2000)은 오이이리응애를 이용한 *Schizotetranychus nanjingensis*의 포식력을 조사한 결과, 암컷 성충이 제2약충과 수컷 성충에 비하여 2배 정도 많이 포식하였으며, 공격율도 포식자의 크기에 비례하여 암컷 성충의 성공률이 가장 높았다고 보고하였다. 이와 같은 결과와 비교하였을 때, 고추에서 차면지응애를 대상으로 오이이리응애 암컷과 수컷 성충의 기능반응에서 포식량과 공격율이 압도적으로 높았던 것은 다른 응애에 비하여 차면지응애의 충체가 매우 작았고, 고추에는 강모나 센털과 같은 물리적 구조가 거의

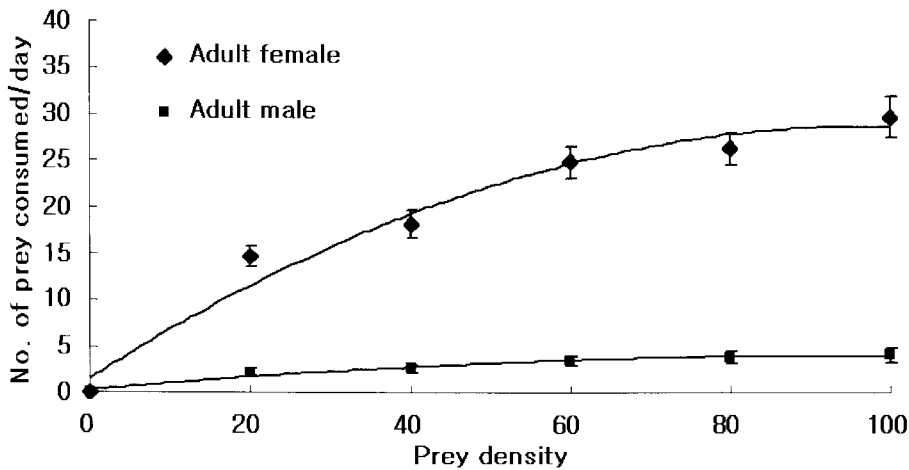


Fig. 2. Functional response of *A. cucumeris* on *P. latus* on red pepper leaf. Vertical bars indicate S.E.

Table 3. Parameters of the functional response equation for *A. cucumeris* feeding on *P. latus* in the red pepper leaf

Stage	Parameters		Asymptotic SE	
	a*	T_h	a	T_h
Adult male	0.1743	0.1888	0.0505	0.0271
Adult female	2.1892	0.0247	0.5904	0.0019

*a: attack rate, T_h : handling time.

없어 포식자에게 쉽게 노출되었던 것으로 생각된다. 따라서 추후 이러한 먹이 해충의 크기와 물리적 구조 그리고 포식자와의 관련된 연구가 수행된 후 포장상태에서 오이이리응애 암컷과 수컷 성충의 비율을 달리 접종하여 방제효과 검증 등 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

차면지응애 밀도억제효과

실질적으로 포장상태에서 오이이리응애가 차면지응애의 밀도를 어느 정도 억제할 수 있는 능력이 되는지 알아보고자, 고추에 발생하는 차면지응애 밀도수준에 따라 오이이리응애 접종비율을 달리하여 조사한 결과 (Fig. 3), 천적접종 후 14일에는 접종 밀도가 1:20, 1:40 까지만 밀도억제효과가 90% 이상이었지만, 21일에는 1:20, 1:40, 1:60 접종비율에서도 밀도억제효과가 98% 이상이었다. 그러나 1:60 접종비율에서는 접종초기 차면지응애를 효과적으로 억제하지 못하여 기주식물에

약간의 피해증상이 발생하였다. 칠리(Chilli)에서 발생하는 차면지응애를 방제하기 위하여 포식성 천적인 *A. ovalisf* 를 접종한 결과, 천적과 먹이충의 접종비율이 1:25, 1:50 및 1:100 은 접종 후 17일까지 차면지응애 밀도를 효율적으로 억제할 수 있었지만 1:150 비율에서는 효율적이지 못 한 것으로 보고하였다(Hariyappa and Kulkarni, 1989). 또한 딸기 재배지에서 발생하는 응애류를 방제하기 위하여 천적인 오이이리응애(*A. cucumeris*)와 해충인 *Phytonemus pallidus* 간에 접종비율을 달리하여 조사한 결과, 천적과 해충간의 접종비율이 1:10일 때 효과적으로 *P. pallidus* 밀도를 억제시킬 수 있었다(Easterbrook *et al.*, 2001).

고추에 차면지응애와 오이이리응애 접종비율을 달리하여 접종비율에 따른 고추의 생육에 미치는 영향을 조사한 결과(Table 4, Fig. 4), 접종비율 처리간의 고추 생육을 보면 천적과 차면지응애의 접종비율이 1:60일 때는 무처리에 비하여 초장이 짧아 차면지응애의 피해가 나타남을 알 수 있었으나 접종비율이 1:20

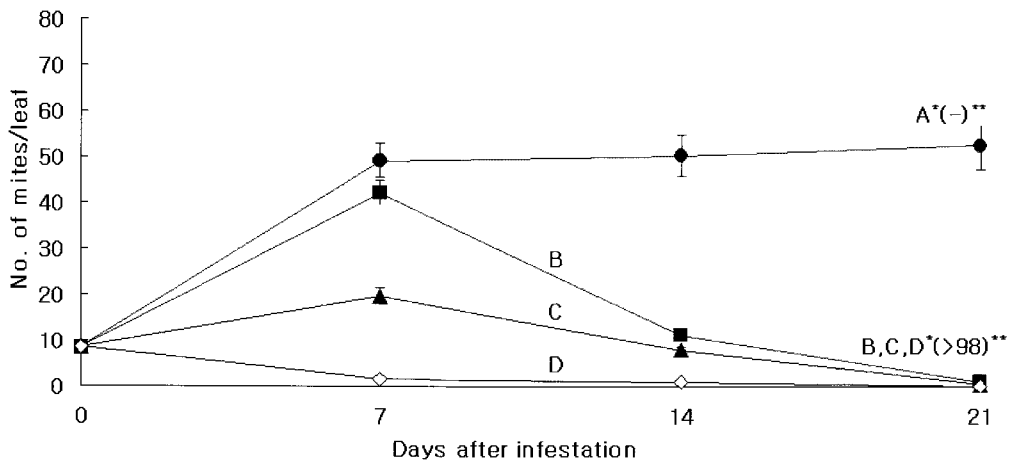


Fig. 3. Changes in the numbers of *P. latus* on red pepper after the infestation of mites and predator, *A. cucumeris* adults. Vertical bars indicate S.E.

* Ratio of *A. cucumeris* adults and *P. latus* (A = Mites only, B = 1:60, C = 1:40, D = 1:20)

** () : Control effect (%).

Table 4. Comparison of mean plant height (±S.E.) with ratio of infested *P. latus* and *A. cucumeris* on red pepper

Ratio of infestation (<i>A. cucumeris</i> : <i>P. latus</i>)	Plant height (cm)		
	7	14	21 days
1 : 20	18.2±0.58 a *	22.3±0.00 c *	26.4±0.58 c *
1 : 40	20.3±0.00 b	21.4±0.58 b	24.2±0.58 b
1 : 60	18.4±0.58 a	18.0±1.00 a	19.3±1.00 a
Control	19.5±0.00 b	23.3±0.58 c	27.3±1.00 c

*Means followed by the same letter are not significantly different (P>0.05) by DMRT.

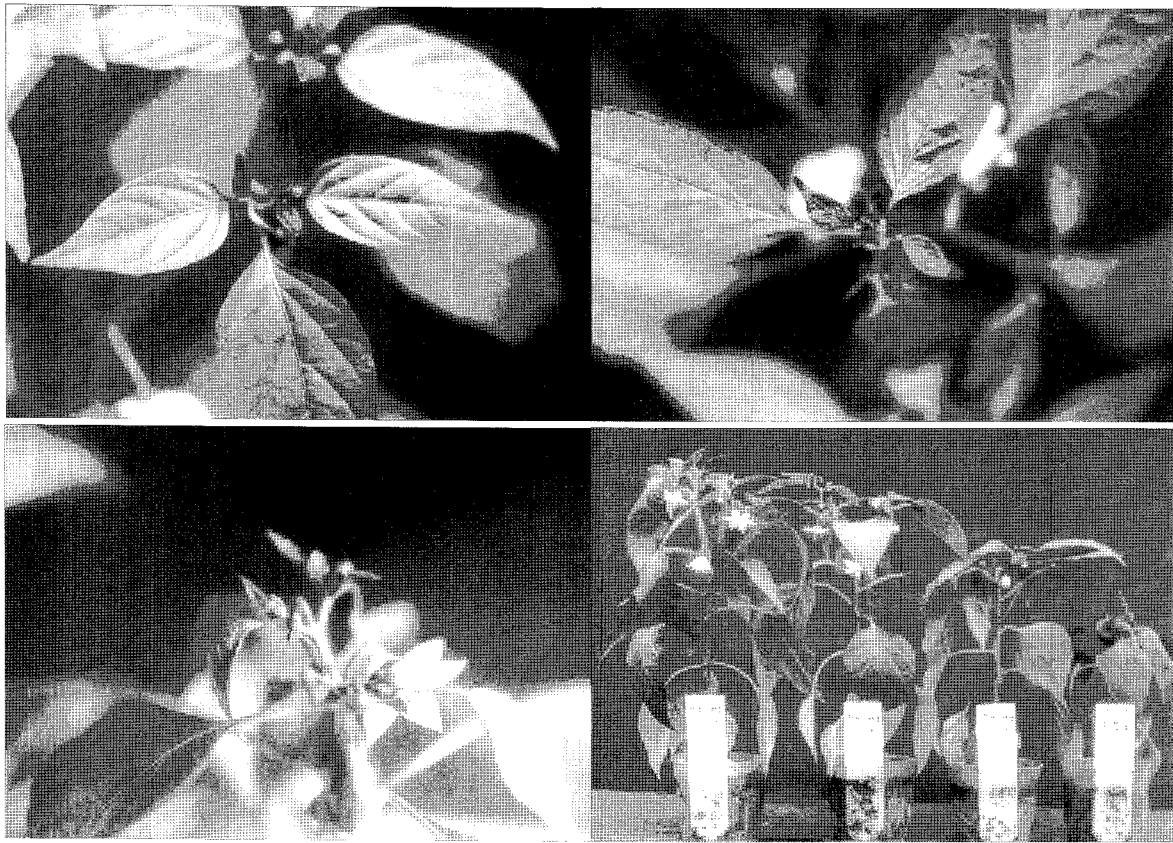


Fig. 4. Symptoms of red pepper damaged by broad mite, *P. latus* (A: healthy, B: damaged, C: severely damaged on the growing point, D: growth of red pepper 3 weeks after infestation of *P. latus* and *A. cucumeris*).

및 1:40 일 때의 고추 초장은 접종 21일 후까지는 무처리와 거의 비슷한 수준의 생육을 나타내어 천적에 의한 차면지응에 방제가 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 고추에 발생하는 차면지응에 방제를 위하여 천적인 오이이리응애를 이용할 때 해충의 밀도억제효과와 고추생육상황을 고려해 보았을 때 천적과 해충 간의 접종비율이 1:40일 때가 가장 합리적일 것으로 사료된다. 그러나 이와 같은 천적을 이용한 해충의 밀도억제효과는 기주식물 생육상태, 온도, 습도 및 일광 등 여러 가지 환경조건하에서 달라질 수 있으므로 실제적으로 농가에서 활용하기 위해서는 하우스 조건하에서 좀더 많은 검토가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

Literature Cited

Badii, M.H. and J.A. McMurtry. 1984. Feeding behavior of some phytoseiid predators on the broad mite, *Polyphagotarsonemus*

latus (Acari: Phytoseiidae, Tarsonemidae). *Entomophaga*. 29: 49-53.

Coll, M. and R.L. Ridgway. 1995. Functional and numerical response of *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthracoridae) to its prey in different vegetable crops. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 88: 732-738.

Croft, B.A., S.S. Kim and D.I. Kim. 1996. Intra- and interspecific predation on four life stage groups by the adult females of *Metaseiulus occidentalis*, *Typhlodromus pyri*, *Neoseiulus fallacis* and *Amblyseius andersoni*. *Exp. Appl. Acarol.* 20: 435-444.

de Cross-Romero, M. and J.E. Pena. 1998. Relationship of broad mite (Acari: Tarsonemidae) to host phenology and injury levels in *Capsicum annuum*. *Florida Entomol.* 81: 515-526.

Dicke, M. and M. De Jong. 1988. Prey preference of the phytoseiid mite, *Typhlodromus pyri*: an electrophoretic analysis. *Exp. Appl. Acarol.* 4: 15-25.

Easterbrook, M.A., J.D. Fitzgerald and M.G. Solomon. 2001. Biological control of strawberry tarsonemid mite *Phytonemus pallidus* and two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* on strawberry in the UK using species of *Neoseiulus* (*Amblyseius*) (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 25: 25-36.

Genini, M., A. Klay, J. Baumgartner, V. Delucchi and M. Baillod. 1991. Comparative studies on the influence of temperature and food on the development of *Amblyseius andersoni*, *Neoseiulus fallacis*, *Galendromus longipilus* and *Typhlodromus pyri* (Acari

- : Phytoseiidae). *Entomophaga*. 36: 139-154.
- Gerson, U. 1992. Biology and control of the broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* (banks) (Acari: Tarsonemidae). *Exp. Appl. Acarol.* 13: 163-178.
- Hamamura, T. 1986. Studies on the biological control of kanzawa spider mite, *Tetranychus kanzawai* Kishida by the chemical resistant predacious mite, *Amblyseius longispinosus* (Evans) in tea fields (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae). *Bull. Natl. Res. Inst. Tea*. 21: 121-201.
- Hariyappa, A.S. and K.A. Kulkarni. 1989. Interaction between the predatory mite, *Amblyseius ovalis* (Evans) and chilli mite, *Polyphagotarsonemus latus* (Banks). *J. Biol. Control*. 3: 31-32.
- Holling, C.S. 1965. The functional responses of predators to prey density and its role in mimicry and population regulation. *Mem. Entomol. Soc. Can.* 45: 1-62.
- Hoy, M.A., S.C. Hoyt, J.A. Logan, J.A. McMurtry and L.K. Tanigoshi. 1982. Recent advances in knowledge of the phytoseiidae, Univ. of California. 92 pp.
- Huffaker, C.B. and C.E. Kennett. 1956. Experimental studies on predation: Predation and cyclamen-mite populations on strawberries in California. *Hilgardia*, 26: 191-222
- Huffaker, C.B., M. van de Vrie and J.A. McMurtry. 1970. Ecology of Tetranychid mites and their natural enemies: a review. II. Tetranychid population and their possible control by predators : an evaluation. *Hilgardia*. 40: 391-458.
- Jeppson, L.R., H.H. Keiffer and E.W. Baker. 1975. Mites injurious to economic plants. Univ. California press, Los Angeles.
- Jones, V.P. and R.D. Brown. 1983. Reproductive responses of the broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae), to constant temperature-humidity regimes. *Ann. Ent. Soc. Am.* 76: 466-469.
- Karuppachamy, P., G. Balasubramania, P.C. Sundarababu and M. Gopalan. 1994. A potential predator of chilli mite, *Polyphagotarsonemus latus*(Banks), *J. Agri. Madras*. 81: 552-553.
- Kim, S.S., C.H. Paik, G.H. Lee and Y.S. Cho. 2001. Predation of five species of phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae) on *Tetranychus kanzawai* and *Polyphagotarsonemus latus* (Acarina: Tetranychidae, Tarsonemidae). *J. Kor. Tea Soc.* 7: 37-44.
- McMurtry, J.A., M.H. Badii and H.G. Johnson. 1984. The broad mite, *Polyphagotarsonemus latus*, as a potential prey for phytoseiid mites in California. *Entomophaga*. 29: 83-86.
- Murdoch, W.W. and A. Oaten. 1975. Predation and population stability. *Adv. Ecol. Res.* 9: 2-131.
- Nagai, K. 1991. Predatory characteristics of *Orius* sp. on *Thrips palmi* Karny, *Tetranychus kanzawai* Kishida, and *Aphis gossypii* Glover. *Jpn. J. Appl. Ent. Zool.* 35: 269-274.
- Pena, J.E., R.M. Baranowski and H.A. Denmark. 1989. Survey of predators of the broad mite in southern Florida. *Florida Ent.* 72: 373-377.
- Pena, J.E., L.S. Osborne and R.E. Duncan. 1996. Potential of fungi as biocontrol agents of *Polyphagotarsonemus latus* (Acari : Tarsonemidae). *Entomophaga*. 41: 27-36.
- Rogers, D.J. 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.
- SAS Institute. 1995. SAS/STAT user's guide, release 6.12 ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Steiner, M. 1990. Determining population characteristics and sampling procedures for the western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) and the predatory mite *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) on greenhouse cucumber. *Environ. Entomol.* 19: 1605-1613.
- Zhang, Y., Z.Q. Zhang, J. Lin and J. Ji. 2000. Potential of *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) as a biocontrol agent against *Schizotetranychus nanjingensis* (Acari: Tetranychidae) in Fujian, China. *Systematic and Applied Acarology Special Publications*. 4: 109-124.
- Zhang, Z.Q. and B.A. Croft. 1994. A comparative life history study of immature *Amblyseius fallacis*, *Amblyseius andersoni*, *Typhlodromus occidentalis* and *Typhlodromus pyri* (Acari: Phytoseiidae) with a review of larval feeding patterns in the family. *Exp. Appl. Acarol.* 18: 631-657.

(Received for publication July 29 2009;
revised September 17 2009; accepted September 18 2009)