

귤응애에 대한 팔라시스이리응애의 포식특성

김동환* · 김상수¹ · 김광식 · 현재욱

난지농업연구소 난지환경과, ¹순천대학교 식물의학전공

Characteristics of Predation of *Neoseiulus fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) on *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae)

Dong-Hwan Kim*, Sang-Soo Kim, Kwang-Sik Kim and Jae-Wook Hyun

Department of Plant Environment, National Institute of Subtropical Agriculture, RDA, Jeju 690-150

¹Department of Plant Medicine, Suncheon National University, Suncheon 540-742

ABSTRACT : Predation of *Neoseiulus fallacis* was observed for biological control of *Panonychus citri* that is one of the major insect pests on citrus. The daily predation of development stages of *P. citri* by an adult female of *N. fallacis* were 20.1 eggs, 26.1 larvae, 18.2 protonymphs, and 7.4 deutonymphs at 25°C. The daily predation of *P. citri* eggs by *N. fallacis* was observed under different temperatures. The predation was increased as the temperature rise. At this time, ratio of eggs production of *N. fallacis* after predation of *P. citri* eggs (number of eggs *N. fallacis*/number of eggs *P. citri* consumed by *N. fallacis*) was 0.09. The daily predation of *P. citri* eggs by *N. fallacis* was 21.1, 17.3, and 16.7 on the different arenas (diameter: 20, 40, and 60 mm), respectively. The predation was decreased as the arena of the leaf increase. The functional response of *N. fallacis* to *P. citri* showed Holling's Type II response: the consumption of prey by *N. fallacis* increased as the density of prey increase but increasing rate was gradually reduced. As the result, it seemed that *N. fallacis* can be use for biological control of *P. citri*.

KEY WORDS : Citrus, *Panonychus citri*, Predation, *Neoseiulus fallacis*, Biological control

초 록 : 감귤의 중요 해충인 귤응애의 생물적 방제를 위한 목적으로 귤응애에 대한 팔라시스이리응애의 포식특성을 조사하였다. 25°C 항온조건에서 귤응애의 알, 유충, 전약충, 후약충에 대한 팔라시스이리응애 암성충의 1일간 포식량은 각각 20.1, 26.1, 18.2, 7.4개체로 유충에 대한 포식량이 가장 많았다. 온도에 따른 포식량 조사결과, 온도가 높을수록 포식량이 증가하였으며, 이 때 팔라시스이리응애가 귤응애 알을 포식한 후의 출산능력(팔라시스이리응애 출산 알수/포식된 귤응애 알수), 즉 전환율은 10°C를 제외하고는 0.09로 일정하였다. 잎 절편의 지름을 각각 20, 40, 60 mm로 하여 귤응애 알을 먹이로 공급했을 때 1일간 포식량은 각각 21.1, 17.3, 16.7개로 잎 면적이 증가할수록 포식량은 감소하였다. 또한 팔라시스이리응애는 귤응애 알, 유충, 약충을 먹이로 공급하였을 때 먹이밀도가 증가할수록 포식량은 점차 증가하였으나 그 증가율은 점차 감소하는 Holling의 기능반응 II형의 특성을 보였다. 이상의 시험결과 팔라시스이리응애는 귤응애의 생물적 방제 인자로서 가치가 있는 것으로 판단된다.

검색어 : 감귤, 귤응애, 팔라시스이리응애, 포식특성, 생물적방제

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

서론

감귤의 주요 병해충 중의 하나인 귤응애는 오랜 기간 유기합성농약 위주의 방제로 인한 저항성 증가와 1990년 이후 감귤의 시설재배 면적의 급격한 증가로 인해 방제에 더욱 어려움을 겪고 있다. 이와 같은 귤응애 관리의 어려움과 함께 최근 들어 저농약 농산물에 대한 소비자의 요구도가 증가함에 따라 유기합성농약의 사용량을 줄이고 친환경적으로 귤응애를 관리하고자 많은 노력이 가해지고 있다.

이와 같은 노력의 일환으로 Kim *et al.* (2002)은 귤응애에 대한 유용한 생물적 방제인자를 찾고자 3종 이리응애(자생종 1종, 도입종 2종)의 귤응애에 대한 포식능력을 검토하여 팔라시스이리응애(*Amblyseius fallacis* Garman)를 선발한 바 있다. 팔라시스이리응애(=*Neoseiulus fallacis*, =*Amblyseius fallacis*, =*Typhlodromus fallacis*)는 북미가 원산지로 미국에서는 과수원이나 정원수의 응애류 방제를 위한 매우 중요한 생물적 방제인자로 보고(Croft and Hoyt, 1983; Pratt and Croft, 1998)되고 있으나 우리나라에서는 현재까지 발생이 보고된 바가 없는 이리응애이다.

팔라시스이리응애의 포식특성에 관한 많은 연구가 이루어진 바 있다. 25°C에서 팔라시스이리응애 암컷성충 1마리는 점박이응애 알은 12.5개(Kwon *et al.*, 1998), 차응애 알은 12.9개(Kim and Paik, 1999b), 귤응애 알은 10.3개 그리고 귤녹응애 약충·성충은 28.3마리(Kim and Paik, 1999a)를 포식하는 것으로 보고 되어져 있으며, Kim *et al.* (2000)은 차응애 알에 대한 암컷성충 1마리의 1일간 포식량은 17°C에서 1.7개, 30°C에서 18.1개로 온도가 높아질수록 포식량이 증가하였다고 하였다. McMurtry and Croft (1997)가 피식자의 개체군 크기는 포식자의 크기에 영향을 받으며, 포식자의 개체군 크기는 그들의 포식효율에 따라 달라지는 것으로 보고함으로써 포식자와 피식자의 상호작용에 대해 그 중요성을 언급한 바 있는데, 이와 같은 포식자와 피식자의 상호관계를 분석하기 위한 연구가 오래 전부터 이루어져 왔다. Solomon (1949)은 피식자의 밀도변화에 따른 포식자의 포식반응인 기능반응(functional response)과 그 결과로서 나타나는 포식자의 밀도변화인 수반응(numerical response)을 정립하였다. 또한 Holling (1959)은 처리시간(handling time)과 탐색률(search rate)에 의해 결정되는 기능반응 모델인 Disc equation을 만들었으며, 이후 Royama (1971)와 Rogers (1972)가 보다 발전된 모델인 Random predator equation을 만들었다. 기능반응은 포식자의 상태나 피식자의 종류와 분포 등 여러 조건에 따라 달라지기 때문에(Mori and Chant,

1966) 기능반응은 포식자의 포식특성을 이해하는데 좋은 방법으로 인식되고 있으며, 생물적방제를 수행하기 위한 천적의 잠재적 평가(McCaffrey and Horsburgh, 1986) 등에 이용되고 있다. 또한 기능반응은 포식자의 연령이나 굶주림 정도, 피식자의 방어능력과 분포 그리고 대체 가능한 피식자의 존재유무 등에 의해서도 영향을 받는다(Holling, 1966). 팔라시스이리응애에 대한 기능반응에 관한 연구가 점박이응애(Kim, 1992)와 차응애(Kim and Paik, 1999c)를 대상으로 이루어진 바 있다.

팔라시스이리응애의 포식특성에 관한 연구는 주로 점박이응애나 차응애를 대상으로 이루어졌으며, Kim *et al.* (2002)의 보고를 제외하고는 귤응애를 대상으로 한 연구가 보고된 바 없다. 따라서 본 시험은 귤응애 발육태별, 온도별 그리고 먹이밀도별 팔라시스이리응애의 포식량을 조사함으로써 귤응애에 대한 팔라시스이리응애의 생물적 방제인자로서의 이용가능성을 평가하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

팔라시스이리응애의 입수와 사육

시험에 이용한 팔라시스이리응애(*Neoseiulus fallacis* Garman)는 국립식물검역소의 허가를 받아 2000년 8월에 미국의 천적회사인 EC-Giger company로부터 수입하여 사육실(25±1°C, 65±5% RH, 16L:8D)에서 누대사육 하였다. 강낭콩(*Phaseolus vulgaris* var. *humilis* Alefeld)에서 증식된 점박이응애를 먹이로 제공하였으며, 점박이응애의 기주식물인 강낭콩은 직경 10 cm, 높이 9 cm의 비닐포트에 원예용 상토를 담은 후 2~3립씩 파종하여 40×30×10 cm의 사각 플라스틱 박스에 넣어 온실에서 재배하였다. 점박이응애는 본 엽이 완전히 전개 된 후에 집중하여 증식시켰으며, 그 위에 팔라시스이리응애가 증식된 강낭콩 잎을 올려놓아 팔라시스이리응애를 증식시켰다.

포식량 시험에 공통으로 적용된 사항

지름 9 cm, 높이 3 cm의 소형 플라스틱 샐레를 시험 용기로 이용하였다. 용기의 바닥에 물에 적신 탈지면을 깔고 그 위에 감귤나무 잎의 절편을 뒷면이 위로 향하도록 올려놓고 시험하였다. 팔라시스이리응애를 집중한 후에는 항온·항습조건(25±1°C, 65±5% RH, 16L:8D)에서 보관하며 조사하였으며, 실험 중에 이리응애가 물에 빠져 죽거나 자연사한 개체는 성적에서 제외시켰다.

굴응애 발육태별 포식량

굴응애의 알, 유충, 전약충, 후약충에 대한 포식량 조사는 15반복으로 수행되었으며, 먹이로 각각 30개체를 공급하였다. 각각의 용기에 굴응애 암컷성충 15~20마리를 접종하여 1일간 산란시킨 후 용기 당 30개씩의 알을 남기고 모두 제거하여 알을 확보하였으며, 유충, 전약충, 후약충은 다량의 굴응애 알을 산란 받아 부화시킨 후 각 발육태에 도달했을 때 미세한 붓을 이용하여 접종하였다. 용기 당 교미한 이리응애 암컷성충 한 마리씩 접종하여 24시간 후에 포식된 개체수를 조사하였다.

동일한 실험에 굴응애의 알과 ‘유충+약충’을 함께 접종하여 각각에 대한 포식량을 조사하였다. 이때 먹이로 알은 70개체, ‘유충+약충’은 각각 35개체를 공급하였다. 먹이로 공급된 굴응애 알은 굴응애 성충을 접종하여 1일간 산란시켜 확보하였으며, ‘유충+약충’은 굴응애 밀도가 높은 감귤 잎을 절단하여 가져와 미세한 붓을 이용하여 굴응애 알이 산란된 감귤잎(4×4 cm)에 유충과 약충을 다시 접종하였다. 20반복으로 수행하였으며, 팔라시스이리응애 산란 암컷성충을 각각 1마리씩 접종한 후 12시간 간격으로 2회에 걸쳐서 포식된 개체수를 조사하였다.

온도별 포식량

먹이로는 굴응애 알을 공급하였으며 20반복으로 수행하였다. 지름 4 cm의 감귤 잎 절편에 굴응애 암컷성충을 각각 30마리씩 접종하여 1일간 산란시켜 먹이를 확보하였다. 알을 50개씩만 남기고 굴응애 성충과 나머지 알을 제거한 후에 팔라시스이리응애 산란 암컷성충을 각각 1마리씩 미세한 붓으로 접종하여 10, 15, 20, 25, 30, 35℃에 각각 보관한 후 12시간 간격으로 2회에 걸쳐서 포식된 알의 수를 조사하였다.

기능반응

먹이밀도(4, 8, 16, 32, 64, 128개체)에 따른 포식량 조사는 굴응애 알, 유충, 약충을 대상으로 수행하였으며, 포식자는 4×4 cm의 감귤나무 잎 절편에 먹이를 접종하고 팔라시스이리응애 산란 암컷성충을 1마리씩 접종하여 12시간 및 24시간 후에 포식된 먹이의 수를 조사하였다. 그 외의 방법은 굴응애 발육태별 포식량 조사방법과 동일한 방법으로 수행되었다. 반응면적(지름 20, 40, 60 mm)에 따른 포식량 조사는 굴응애 알을 먹이로 하였으며, 15반복으로 하여 각각 50개씩의 먹이를 공급하였고, 그 외의 조사방

법은 먹이밀도에 따른 포식량 조사방법과 동일한 방법으로 수행되었다. 기능반응의 모수인 탐색률(Search rate, a)과 처리시간(Handling time, b)은 Royama (1971)와 Rogers (1972)의 Random Predator Equation을 이용하여 추정하였다.

$$y = x\{1 - \exp[-ap_i(T - b(y/p_i))]\}$$

여기서 y =포식수, x =초기 피식자 밀도, a =탐색률, b =처리시간, p_i =포식자수, T =반응시간을 나타내고, 실험 중 먹이가 보충되지 않았으므로 Holling (1959)의 Disc equation 대신에 위 공식을 이용하였다. 모수추정은 대수변환한 후 y 에 대한 $\ln(x-y)/y$ 의 직선회귀(Rogers, 1972)로 초기값을 구한 후, y 에 대한 $\ln(x)$ 의 Marquardt 용법에 의해 최종적인 값을 추정하였다(SAS Institute, 1999).

통계분석

시험 결과는 분산분석(ANOVA)과 Tukey's studentized range test (SAS Institute, 2004)에 의해 $P < 0.05$ 범위에서 유의성을 검정하였다.

결 과

굴응애 발육태별 포식량

25℃에서 굴응애의 알, 유충, 약충, 전약충, 후약충을 각각 먹이로 공급하여 팔라시스이리응애 암컷성충 1마리의 1일간 포식량을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 알, 유충, 전약충, 후약충에 대한 포식량은 각각 20.1, 26.1, 18.2, 7.4개체로 유충에 대한 포식량이 가장 많았고 후약충에 대한 포식량이 가장 적었는데, 알과 유충 그리고 전약충의 포식량 간에 유의차는 나타나지 않았다. Table 2는 굴응애 알과 ‘유충+약충’에 대한 팔라시스이리응애의 포식 선호도를 평가한 결과이다. 이리응애 접종 후 12시간 뒤의 알과 ‘유충+약충’에 대한 포식량은 각각 6.2개와 5.2마리로 알을 조금 더 포식하기는 하였으나 유의차는 없었다. 또한 24시간 뒤에도 포식량이 각각 10.4개와 9.8마리로 12시간 후의 조사 결과와 같은 경향을 보임으로써 팔라시스이리응애는 굴응애의 알과 ‘유충+약충’ 중 어느 한 쪽을 더 선호하지 않는 것으로 나타났다.

온도별 포식량

온도가 팔라시스이리응애의 포식량과 산란에 미치는 영향을 알아보기 위해 10, 15, 20, 25, 30, 35°C의 항온조건에서 꿀응애 알에 대한 팔라시스이리응애 산란 암컷성충 1마리의 1일간 포식량과 산란수를 조사하였다(Table 3). 각각의 온도에서 1.1, 4.7, 13.2, 20.6, 21.3, 25.3개를 포식하여 온도가 높을수록 포식량이 증가하였다. 또한 각 온도에서의 산란수는 0.3, 0.4, 1.1, 1.8, 1.9, 2.3개로 역시 온도가 높고 포식량이 많을수록 보다 많은 알을 산란하였다. 팔라시스이리응애는 20°C 이상이 되어야 꿀응애 알을 10개 이상 포식하고 1개 이상의 알을 낳는 것으로 나타났는데, 25°C와 30°C에서의 포식량 간에 유의성은 없었으며 산란수도 25°C 이상에서는 유의차를 보이지 않았다. 팔라시스이리응애가 포식한 먹이의 양과 포식 후의 다음세대

생산량과의 관계 즉, 천적의 소비효율을 나타내는 전환율은 20°C에서 0.08이었으며, 그 외에는 모두 0.09이상으로 높게 나타났다.

반응면적별 포식량

먹이밀도는 동일한 수준으로 하고 먹이가 올려져 있는 식물 잎의 크기를 달리하였을 때의 포식량과 그에 따른 산란수를 조사하였다(Table 4). 반응면적을 지름 20, 40, 60 mm로 하였을 때의 포식량은 팔라시스이리응애 접촉 초기에는 반응면적 간에 차이를 보이지 않았으나 24시간 뒤에는 20 mm에서는 21.1개를, 40 mm와 60 mm에서는 각각 17.3개와 16.7개를 포식하여 반응면적이 작아질수록 포식량이 증가하였다. 그러나 40 mm와 60 mm 간에 유의차는 없었다. 그에 따른 산란수는 접촉 후 8시간 후에

Table 1. Number of *Panonychus citri* (Mean±SE) consumed by a female *Neoseiulus fallacis* for 24 hours on citrus leaf disc (4×4 cm) under 25±1°C, 65±5% RH, and 16L:8D

Developmental stage of <i>P. citri</i>	No. of individuals tested	No. of preys eaten/day/female
Egg	14	20.1±0.78 a ¹⁾
Larva	15	26.1±0.70 a
Protonymph	14	18.2±0.59 a
Deutonymph	12	7.4±0.58 b

¹⁾ Means followed by the same letter within a column are not significantly different by ANOVA, Tukey (P=0.05).

Table 2. Preference of *Neoseiulus fallacis* between egg and 'larva+nymph' of *Panonychus citri* on citrus leaf disc (4×4 cm) at 25±1°C, 65±5% RH and 16L:8D

Prey	No. of preys eaten (Mean±SE)/female	
	12 hr	24 hr
Egg	6.2±0.44	10.4±0.54
Larva+nymph	5.2±0.40	9.8±0.66
t-value	6.9 ns ¹⁾	7.4 ns

¹⁾ t-test (P=0.05), ns means no significant difference.

Table 3. Consumption of *Panonychus citri* eggs (Mean±SE) and oviposition by a female *Neoseiulus fallacis* for 24 hours on citrus leaf disc (φ4 cm) under different temperatures

Temperature (°C)	No. of individuals tested	No. of preys eaten/day/female	No. of eggs laid/day/female	Conversion rate ¹⁾
10	19	1.1±0.32 e ²⁾	0.3±0.11 c	0.27
15	19	4.7±0.49 d	0.4±0.11 c	0.09
20	17	13.2±0.86 c	1.1±0.16 b	0.08
25	17	20.6±1.19 b	1.8±0.18 a	0.09
30	15	21.3±0.84 b	1.9±0.22 a	0.09
35	16	25.4±1.30 a	2.3±0.17 a	0.09

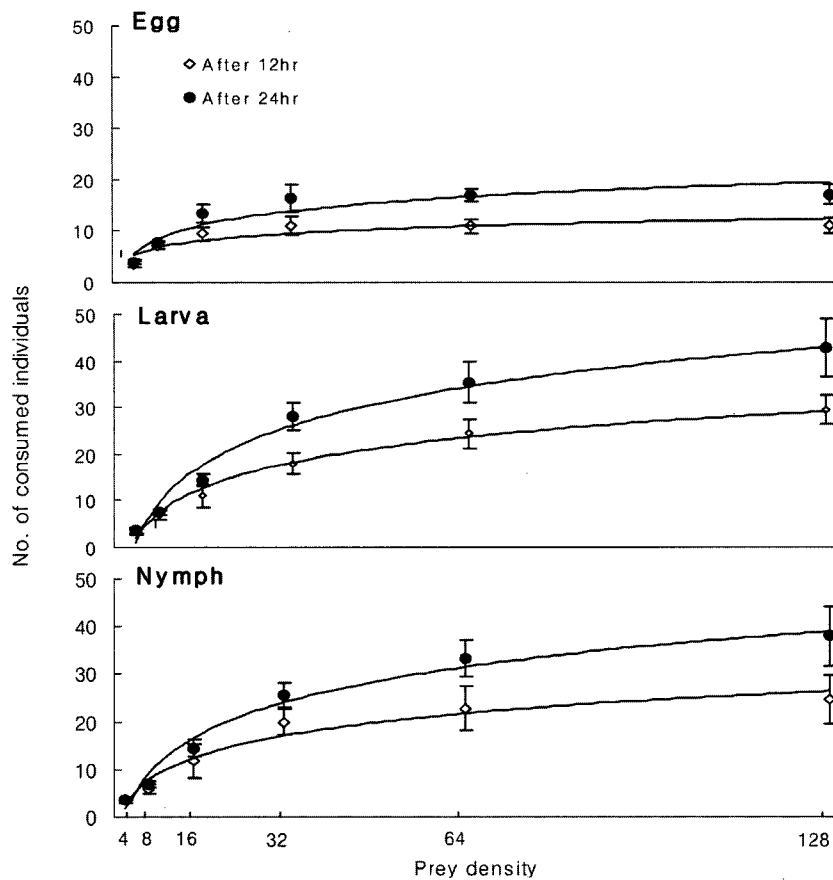
¹⁾ Number of predator's egg laid over number of prey eaten.

²⁾ Means followed by the same letter within a column are not significantly different by ANOVA, Tukey (P=0.05).

Table 4. Consumption of *Panonychus citri* eggs (Mean±SE) and oviposition by a female *Neoseiulus fallacis* for 24 hours at different arena size under 25±1°C, 65±5% RH and 16L:8D

Diameter of arena (mm)	No. of preys eaten			No. of eggs laid		
	8 hr	16 hr	24 hr	8 hr	16 hr	24 hr
20	10.1±0.70	16.0±0.98	21.1±1.08 a ¹⁾	0.9±0.15	1.7±0.16 a	2.6±0.19 a
40	9.2±0.77	13.7±0.93	17.3±0.95 b	1.0±0.14	1.5±0.17 a	2.1±0.20 ab
60	8.5±0.72	13.5±0.83	16.7±1.01 b	0.6±0.13	0.9±0.12 b	1.6±0.16 b

¹⁾ Means followed by the same letter within a column are not significantly different by ANOVA, Tukey (P=0.05).

**Fig. 1.** Functional responses of adult female *Neoseiulus fallacis* to the density of egg, larva and nymph of *Panonychus citri*.

는 유의차가 없었으나 16시간 이상이 지난 후부터는 반응 면적 간에 유의차가 나타났다. 즉 반응면적이 좁을수록 포식량이 많고 산란수도 많았다.

기능반응

Fig. 1은 같은 크기의 감귤 잎에 먹이종류(귤응애의 알, 유충, 약충) 및 밀도(4, 8, 16, 32, 64, 128개체)를 다르게 하여 팔라시스이리응애를 접종한 후 1일간의 포식량을

조사한 결과이다. 먹이밀도가 증가할수록 포식량이 증가 하였는데, 알의 수는 16개까지, 유충과 약충의 수는 32마 리까지 일정한 증가량을 보였으나 그 이상에서는 증가량 이 감소하는 경향을 보였다. Table 5는 밀도수준에 따른 포식량을 이용하여 추정된 탐색능력(a)과 처리시간(Th) 을 나타낸 것이다. 귤응애의 알, 유충, 약충에 대한 팔라시스이리응애의 먹이 탐색률(a)은 각각 0.5542, 0.3192, 0.2155로 알, 유충, 약충 순으로 높았으며, 탐색시간(Th)은 알(1.2221), 유충(1.7143), 약충(1.9143) 순으로 낮았다.

Table 5. Parameter estimates of the functional response (Royama equation) for *Neoseiulus fallacis* feeding on *Panonychus citri* under 25±1°C, 65±5% RH, and 16L:8D

Prey	Parameter estimates		
	a ¹⁾	Th ²⁾	r ²
Egg	0.5542±0.2561	1.2221±0.0897	0.96
Larva	0.3192±0.3202	1.7143±0.3779	0.99
Nymph	0.2155±0.0492	1.9143±0.1606	0.84

¹⁾ a; attack rate.

²⁾ Th; handling time.

고 찰

팔라시스이리응에 암컷성충 1마리가 25°C에서 1일간 차응애 알, 유충, 약충을 각각 14.9, 18.6, 13.4개체씩 포식하였고(Kim and Paik, 1999b), 점박이응애 알과 전약충은 각각 12.5개, 12.4마리를 포식하였다(Kwon *et al.*, 1998)고 하였는데, 굴응애를 대상으로 한 본 시험에서는 알, 유충, 전약충, 후약충을 각각 20.1, 26.1, 18.2, 7.4개체씩 포식함으로써 차응애와 점박이응애를 대상으로 한 선행된 시험 결과보다 포식량이 높은 것으로 나타났다(Table 1). 단지 포식량만을 가지고 천적의 이용가치를 판단할 수는 없겠으나 팔라시스이리응애가 주로 점박이응애의 생물적 방제 인자로 이용되고 있는 천적(Croft, 1975; Hoyt and Caltagirone, 1976)임을 고려해 볼 때 점박이응애나 차응애에 비해서 포식량이 높게 나타난 본 시험결과는 팔라시스이리응애가 굴응애의 생물적 방제 인자로서 이용될 가치가 있음을 시사해주는 것이라 할 수 있다. 팔라시스이리응애는 차응애 알보다는 유충을 더 많이 포식하였다는 Kim and Paik (1999b)의 보고와 마찬가지로 본 시험에서도 유충을 더 많이 포식함으로써 같은 경향을 보였다. 이처럼 알보다 유충에 대한 포식량이 많은 것은 알은 고정되어 있어서 포식에 유리해 보일 수 있으나 그 내용물의 흡즙을 위해서는 유충의 표피에 비해 단단한 알의 껍데기를 뚫어야 하는 어려움이 있기 때문인 것으로 판단된다.

Blackwood *et al.* (2001)은 협식성전문포식자는 알을 선호하고, 광식성일반포식자는 알과 유충을 모두 선호하거나 유충을 좀 더 선호한다고 함으로써 전문포식자인 팔라시스이리응애는 점박이응애의 유충보다는 알을 더 선호한다고 하였다. 그러나 굴응애를 대상으로 한 본 시험에서는 팔라시스이리응애는 굴응애의 알과 '유충+약충' 중 어느 한 쪽을 더 선호하지 않음으로써 팔라시스이리응애가 광식성일반포식자의 성격을 보이는 것으로 나타났는데(Table 2), 이 두 실험의 조건이 다르기 때문에 직접

비교에 의한 평가는 어려우며 추후 보다 정밀한 시험을 통하여 평가가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

팔라시스이리응애는 17, 20, 25, 30°C에서 1일간 차응애 알을 각각 8.6, 8.9, 12.9, 18.1개를 포식하였고(Kim *et al.*, 2000), 점박이응애 알에 대해서는 13.3°C와 26.4°C에서 각각 6.5, 11.4개를 포식하였으며(Ball, 1980), 차응애 알에 대한 긴털이리응애의 포식량은 15, 20, 25, 30°C에서 각각 3.0, 4.9, 15.7, 19.4개였다(Kim, 1994)고하여 온도가 높을수록 포식량이 증가하는 것으로 보고하였는데, 굴응애 알에 대한 팔라시스이리응애의 1일간 포식량을 조사한 본 시험에서도 10, 15, 20, 25, 30, 35°C에서 각각 1.1, 4.7, 13.2, 20.6, 21.3, 25.3개를 포식하여 같은 경향을 보였다(Table 3). 각 온도에서의 산란수를 조사한 결과 역시 온도가 높을수록 산란수도 많아지는 것으로 나타났는데, 온도가 산란에 직접적으로 영향을 주었다기보다는 온도가 높을수록 포식량이 많았기 때문에 산란수도 많아진 것으로 생각된다. 팔라시스이리응애는 15°C에서 1일간 굴응애 알을 4.7개 포식하고 0.4개의 알을 낳으며, 20°C에서는 13.2개를 포식하고 1.1개의 알을 낳은 본 시험 결과로 판단해 볼 때 팔라시스이리응애가 하루에 1개 이상의 알을 생산하기 위해서는 적어도 10개 이상의 굴응애 알을 포식해야 하는 것으로 생각된다. 팔라시스이리응애는 적정 발육온도가 26.7°C이며(Smith and Newsom, 1970), 항온·항습 조건에서 발육률이 높고, 고온이나 저습 조건에서는 발육률이 매우 낮은 것으로 보고 되어져 있다(Kramer and Hain, 1989). 그러나 본 시험에서는 35°C에서 25.4개의 굴응애 알을 포식하고 2.3개의 알을 생산함으로써 고온에서도 포식능력과 알 생산능력이 높은 것으로 나타났다. 또한 팔라시스이리응애가 포식한 먹이의 양과 포식 후의 다음세대 생산량과의 관계 즉, 천적의 소비효율을 나타내는 전환율은 0.09정도로 나타나면 일반적으로 효율이 좋은 것으로 추정하는데, 본 시험 결과 20°C에서 0.08이었으며, 그 외에는 모두 0.09이상으로 팔라시스이

리응애는 굴응애 알을 먹이로 하였을 때에도 먹이섭식에 따른 산란효율이 높은 것으로 나타났다. 10°C에서는 conversion rate가 0.27로 매우 높았는데, 이는 처리 전의 섭식이 영향을 주었기 때문에 높게 나타난 것으로 생각된다. 이상의 온도별 포식량 시험 결과 고온에서도 포식 및 산란능력이 높고, 먹이에 대한 소비효율이 좋은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 굴응애의 생물적 방제를 위한 팔라시스이리응애의 유용성을 보여주는 것이라 할 수 있다.

반응면적을 달리하여 굴응애 알을 먹이로 공급한 후 팔라시스이리응애의 포식량과 산란수를 비교한 결과 (Table 4), 반응면적이 좁을수록 포식량이 많고 산란수도 많았다. 이는 먹이 수는 일정하나 반응면적이 좁아짐에 따라 포식자가 피식자와 조우할 기회가 많아지고 탐색능력이 높아지기 때문이라고 생각된다. 그러나 본 시험 결과는 잎의 크기를 4 cm²와 16 cm²로 하였을 때 차응애 알에 대한 긴털이리응애의 포식량에 차이가 없었다는 Kim (1994)의 보고와 다소의 차이를 보였다. 또한 점박이응애 알의 분포와 밀도는 긴털이리응애의 포식량에 영향을 주었으나 반응면적에 의한 영향은 없었다는 Kim (1992)의 보고와도 약간의 차이를 보이고 있다. 이와 같은 차이는 시험에 이용된 포식자와 피식자 그리고 제공된 반응매질 (식물체 잎의 종류)의 종류에 따라 결과가 다르게 나타난 것으로 생각된다. Kim (1992)은 먹이가 집중분포 할 경우 반응면적에 따른 탐색률의 차이는 나타나지 않지만 균일 분포 할 경우에는 반응면적이 클수록 탐색률이 낮았다고 함으로써 경우에 따라서는 반응면적이 포식량에 다소의 영향을 줄 수도 있음을 시사하였다.

굴응애 알, 유충, 약충을 대상으로 먹이밀도를 달리하였을 때의 팔라시스이리응애의 포식특성을 비교한 결과 (Fig. 1), 먹이밀도가 증가할수록 포식량이 증가하였으며, 먹이밀도가 낮을 경우에는 굴응애의 발육단계에 대한 포식특성에서 차이를 보이지 않았으나 먹이밀도수준이 16 이상일 경우에는 유충이나 약충에 비해 알의 포식량 증가율이 급격하게 낮아졌다. 따라서 이러한 결과는 굴응애에 대한 팔라시스이리응애의 포식효율은 알보다는 유충과 약충에서 더 높다는 것을 보여주는 것이라 할 수 있다. 대부분의 포식성 응애류에서 보고(Lee, 1990; Kim and Paik, 1999c; Kim, 1992)된 것과 마찬가지로 본 시험에서도 먹이밀도가 증가할수록 포식수는 증가하나 그 증가율은 감소하는 Holling의 기능반응II형(포화형)의 특성(Holling, 1959)을 보여주었다. 기능반응의 유형은 포식자의 연령이나, 굶주림 정도, 피식자의 방어능력과 분포 그리고 대체 가능한 피식자의 존재유무에 따라 영향을 받는

다(Holling, 1966). 또한 피식자의 발육단계나 먹이를 공급해주는 시간간격에 따라서도 달라진다고 보고된 바 있다(Mori and Chant, 1966; Takafuji and Chant, 1976).

이상과 같은 굴응애에 대한 팔라시스이리응애의 포식 특성에 관한 시험 결과를 종합해보면, 팔라시스이리응애는 25°C에서 굴응애 알, 유충, 전약충, 후약충을 각각 20.1, 26.1, 18.2, 7.4개체를 포식하였는데, 이는 차응애와 같은 다른 종류의 잎응애를 먹이로 공급했을 때에 비해 낮지 않은 수준이다. 또한 굴응애의 알과 '유충+약충'이 감귤 잎에 공존할 경우 팔라시스이리응애는 특정 발육단계를 더 선호하지 않고 포식하였는데, 이는 피식자의 특정 발육 단계를 더 선호할 때보다 감귤나무의 수관 내에 보다 많은 시간 동안 머무를 수 있다는 것을 보여주는 것이라 할 수 있다. 그리고 굴응애에 대해 기능반응 II형의 특성을 보인 팔라시스이리응애는 먹이밀도가 낮을 경우에는 발육단계별로 포식특성에서 차이를 보이지 않았으나 먹이 밀도수준이 잎 절편 당 16 이상일 경우에는 유충이나 약충에 비해 알의 포식량 증가율이 급격하게 낮아졌다. 따라서 팔라시스이리응애는 굴응애 알보다는 유충이나 약충에 대한 포식효율이 높음을 보여주었다. 포식능력은 이리응애의 유용성을 판단하기 위한 방법 중의 하나이다. 그러나 이상과 같은 굴응애에 대한 팔라시스이리응애의 높은 포식능력과 굴응애 알을 섭취했을 때의 포식응애 알로의 전환율이 0.09 정도로 산란효율이 높았다는 점 등을 고려해 볼 때, 팔라시스이리응애가 주로 점박이응애의 생물적 방제 인자로 이용되고 있는 천적이기는 하지만 Rutacea과(科)에 속하는 식물인 *Skimmia japonica*에 기생하는 굴응애에 대한 *A. fallacis*의 밀도억제효과가 우수하였다는 보고(Pratt and Croft, 1998)가 있듯이 굴응애의 생물적 방제 인자로서도 이용 가치가 있다고 생각된다.

Literature Cited

- Ball, J.C. 1980. Development, fecundity, and prey consumption of four species of predatory mites (Phytoseiidae) at two constant temperatures. *Environ. Entomol.* 9: 298-303.
- Blackwood, J.S., P. Schausberger and B.A. Croft. 2001. Prey-stage preference in generalist and specialist phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) when offered *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) eggs and larvae. *Environ. Entomol.* 30: 1103-1111.
- Croft, B.A. 1975. Integrated control of apple mites. Cooperative extension service. Michigan St. Univ. Eaten. Bull. E: 15-22.
- Croft, B.A. and S.C. Hoyt. 1983. Integrated management of insect pests of pome and stone fruits. Wiley, New York, 454pp.
- Holling, C.S. 1959. Some characteristics of simple types of pre-

- dation and parasitism. *Can. Entomol.* 91: 385-398.
- Holling, C.S. 1966. The functional responses of invertebrate predators to prey density. *Mem. Entomol. Soc. Can.* 48: 3-86.
- Hoyt, S.C. and L.E. Caltagirone. 1976. The development of integrated control of pests of apples in Washington and peaches in California. In *biological control*, ed. by C.B. Huffaker. 395-421.
- Kim, D.H., K.S. Kim, J.W. Hyun and S.K. Jeong. 2002. Comparison of predation rates of three phytoseiid mite species on citrus red mite (*Panonychus citri* McGregor) on citrus tree. *Korean J. Appl. Entomol.* 41: 55-60.
- Kim, D.I. 1994. Ecological characteristics of *Tetranychus kanzawai* and *Amblyseius longispinosus* in integrated pest management of tea. 74pp. Ph. D. thesis, Chonnam Nat'l Univ.
- Kim, D.S. 1992. Studies on the interaction of *Amblyseius longispinosus* Evans (Phytoseiidae) and *Tetranychus urticae* Koch (Tetranychidae): Functional response, Searching behavior, and Distribution of searching efforts. 48pp. M.S. thesis. Seoul Nat'l Univ.
- Kim, S.S. and C.H. Paik. 1999a. Predation of five species of Phytoseiid mites on *Panonychus citri* and *Aculops pelekassi*. *Korean J. Entomol.* 29: 261-264.
- Kim, S.S. and C.H. Paik. 1999b. Biological characteristics of *Amblyseius fallacis* as a predator of *Tetranychus kanzawai* (Acarina: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Korean J. Tea Soc.* 5: 99-109.
- Kim, S.S. and C.H. Paik. 1999c. Functional response of predatory mite, *Amblyseius fallacis* to *Tetranychus kanzawai* (Acarina: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Korean J. Tea Soc.* 5: 111-118.
- Kim, S.S., C.H. Paik and D.I. Kim. 2000. Influence of temperature on predation of *Amblyseius fallacis* as a predator of *Tetranychus kanzawai* (Acarina: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Korean J. Tea Soc.* 6: 45-51.
- Kramer, D.A. and F.P. Hain. 1989. Effect of constant and variable-humidity and temperature regimes on the survival and developmental periods of *Oligonychus ununguis* (Acarina: Tetranychidae) and *Neoseiulus fallacis* (Acarina: Phytoseiidae). *Environ. Entomol.* 18: 741-746.
- Kwon, G.M., Y.I. Lee, S.W. Lee and K.H. Choi. 1998. Development and prey consumption of Phytoseiid mites, *Amblyseius womersleyi*, *A. fallacis*, and *Typhlodromus occidentalis* under controlled environments. *Korean J. Appl. Entomol.* 37: 53-58.
- Lee, S.W. 1990. Studies on the pest status and integrated mite management in apple orchards. Ph. D. thesis, Seoul Nat'l Univ. 87pp.
- McCaffrey, J.P. and R.L. Horsburgh. 1986. Functional response of *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthicoridae) to the European red mite, *Panonychus ulmi* (Acarina: Tetranychidae), at different constant temperatures. *Environ. Entomol.* 15: 532-535.
- McMurtry, J.A. and B.A. Croft. 1997. Life styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Ann. Rev. Entomol.* 42: 291-321.
- Mori, H. and D.A. Chant. 1966. The influence of prey density, relative humidity and starvation on the predacious behavior of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae). *Can. J. Zool.* 44: 483-491.
- Pratt, P.D. and B.A. Croft. 1998. *Panonychus citri* (Acarina: Tetranychidae) on *ornamental Skimmia* in Oregon, with assessment of predation by native phytoseiid mites. *Pan-Pacific Entomol.* 74: 163-168.
- 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. 1999. SAS version 8.1. SAS Institute. Cary, N.C.
- SAS Institute. 2004. SAS user's. SAS Institute, Cary, N, C.
- Smith, J.C. and L.D. Newsom. 1970. The biology of *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) at various temperature and photoperiod regimes. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 63: 460-462.
- Solomon, M.E. 1949. The natural control of animal populations. *J. Anim. Ecol.* 18: 1-35.
- Takafuji, A. and 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.

(Received for publication 12 June 2006;
accepted 10 August 2006)