

한라봉과 왜제비꽃 잎에서 차응애의 발육과 생명표 통계량

현희정 · 김수빈 · 김동순^{1*}

제주대학교 생명자원과학대학(SARI), ¹제주대학교 아열대생명과학연구소

The Development and Life Table Parameters of *Tetranychus kanzawai* (Acarina: Tetranychidae) on Leaves of 'shiranuhi' and Japanese Violet in the Laboratory

Heejeong Hyun, Subin Kim and Dong-Soon Kim^{1*}

Majors in Plant Resource Sciences & Environment, College of Applied Life Science, SARI, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

¹The Research Institute for Subtropical Agriculture and Biotechnology, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

ABSTRACT: This study was conducted to evaluate the fitness of *Tetranychus kanzawai* Kishida on different host plants: young and old leaves of the mandarin orange 'shiranuhi' (*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) × *C. reticulata*, Japanese violet (*Viola japonica* Langsd.) and kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). The development and oviposition experiments were conducted at constant temperatures (20, 25 and 30 °C) and a life table parameters were estimated. *T. kanzawai* could complete its development on 'shiranuhi' young leaves, Japanese violet and kidney bean, while all died during the immature period on 'shiranuhi' old leaves. The total developmental period of *T. kanzawai* feeding on 'shiranuhi' young leaves was 17.4, 13.4 and 10.2 days at each temperature, respectively, which was longer than 16.1, 9.5 and 7.0 days of kidney bean. The female longevity of *T. kanzawai* on young leaves of 'shiranuhi' were 19.1, 15.0 and 12.3 days at each temperature, respectively, and there was no significant difference from 22.1, 14.1 and 10.9 days investigated from kidney bean. The fecundity was 18.1, 23.9 and 17.8 eggs per female, which was less than them of Japanese violet and kidney bean at each temperature, respectively. As a result of estimating the life table parameters based on the experimental data, intrinsic rate of increase (r_m) were significantly different from each other, and appeared in the following order: kidney (0.1542, 0.2563 and 0.3251), Japanese violet (0.1087, 0.2007 and 0.2673) and 'shiranuhi' young leaves (0.0868, 0.1002 and 0.1217) at each temperature, respectively. Finally, the management strategy against *T. kanzawai* in citrus orchards was discussed based on the results.

Key words: *Tetranychus kanzawia*, Citrus pests, Host evaluation, Temperature development, life cycle strategy

초록: 차응애(*Tetranychus kanzawai* Kishida)의 기주식물에 대한 가치를 평가하기 위하여 기주식물로 제주 감귤의 주요 품종인 한라봉, 감귤원에서 많이 서식하는 잡초인 왜제비꽃과 대조군으로 강낭콩을 선정하였다. 항온조건 20 °C, 25 °C, 30 °C에서 발육실험과 산란실험을 진행하고 생명표 분석을 수행하였다. 차응애는 한라봉 어린잎, 왜제비꽃, 강낭콩에서 발육을 완료했지만 한라봉 구엽에서는 발육을 완료하지 못했다. 한라봉 어린잎을 섭식하는 차응애의 총 발육기간은 각 온도조건에서 17.4, 13.4, 10.2일로 강낭콩에서 조사된 16.1, 9.5, 7.0일보다 길었다. 한라봉 어린잎에서의 차응애 성충의 수명은 각 온도에서 19.1, 15.0, 12.3일로 강낭콩에서 조사된 22.1, 14.1, 10.9일과 유의한 차이는 없었으며, 산란수는 각 온도에서 18.1, 23.9, 17.8개로 왜제비꽃(93.3, 105.8, 115.0개)과 강낭콩(127.4, 121.0, 117.1개)에서 보다 적었다. 조사된 발육데이터를 기반으로 생명표 통계량을 추정된 결과 서로 간 유의한 차이를 보였으며 내적자연증가율(r_m)은 각 온도에서 강낭콩(0.1542, 0.2563, 0.3251), 왜제비꽃(0.1087, 0.2007, 0.2673), 한라봉(0.0868, 0.1002, 0.1217)순으로 높게 나타났다. 이상의 결과를 종합하여 감귤원(한라봉)의 차응애 관리 전략에 대하여 고찰하였다.

검색어: 차응애, 감귤해충, 기주평가, 온도발육, 생활사전략

*Corresponding author: dongsoonkim@jejunu.ac.kr

Received April 3 2020; Revised May 18 2020

Accepted May 22 2020

차응애(*Tetranychus kanzawai* Kishida)는 거미강(Arachnida), 응애목(Acarina), 잎응애과(Tetranychidae)에 속한다. 차응애는 차나무를 비롯한 사과, 배, 복숭아 등의 과수부터 장미, 수국 등의 원예작물까지 가해하는 잡식성 해충이다(Beyzavi et al., 2013). 일반적으로 잎과 줄기를 흡즙하여 식물을 가해하며, 작물의 착과기에는 과실(감귤)을 가해(Kang et al., 2017)하여 상품으로서의 가치를 떨어뜨리며 차응애 피해가 큰 작물들을 대상으로 기주가해 양상, 발육기간, 산란수 및 방제 관련 실험들이 많이 이루어졌다(Supp. Table S1 available online).

Jo (2000)는 배과원에서 차응애 발생양상, 온도별 발육기간과 수명 및 산란수, 생명표 통계량에 대하여 보고하였으며 Hasanvand et al. (2019a, b)은 콩(*Glycine max*)과 사과(*Malus domestica*) 잎을 기주로 한 각각의 연구에서 차응애의 생명표 통계량과 선형 모델 및 비선형 모델을 통해 발육에 효과적인 온도를 제안하였다. Kondo and Takafuji (1985)는 강낭콩(*Phaseolus vulgaris*)을 기주로 하여 차응애와 점박이응애의 생명표 통계량과 피해수준에 대해 연구한 바 있다. Gotoh and Gomi (2003)는 차(*Camellia sinensis*), 수국(*Hydrangea macrophylla*), 일본배(*Pyrus pyrifolia*), 칩(*Pueraria lobata*)에서 차응애의 생명표 통계량을 제시하였다. 감귤의 경우 차응애에 의한 피해는 심각하지 않은 것으로 알려져(Kim et al., 2000)있으나 이들에 대한 기초연구 자료가 부족한 실정이다. 제주도에서 온주밀감 다음으로 많이 재배하는 품종은 한라봉(222 ha)이며 주로 가온재배나 비가림시설에서 재배한다(Lee et al., 2006). 제주도 감귤원에서 1998년부터 차응애가 발견된(Kim et al., 2000) 이후 시설하우스재배 감귤원에서 피해가 증가하고 있으나(Kang et al., 2017) 아직 감귤류에서 차응애에 대한 피해를 평가한 사례는 없는 실정이다.

따라서 본 실험에서는 한라봉 잎의 차응애에 대한 기주 가치를 평가하기 위하여 차응애의 발육과 산란실험을 바탕으로 생명표를 작성하고 온도별 기주들의 생명표 통계량을 비교분석하였다. 그리고 차응애의 기주로서 한라봉이 부적절한 경우 생활사를 완료하기 위하여 과원 지면에 있는 다른 식물에서 번식할 것이라는 가정 하에 감귤원 지면에서 많이 발견(RIJP, 2011)되는 왜제비꽃(*Viola japonica* Langsd.)에서도 실험을 수행하였다. 또한 기주별로 차응애의 발육과 생식에 온도가 미치는 영향을 조사하기 위하여 각각 20°C, 25°C, 30°C의 항온조건에서 실험을 진행하였다.

재료 및 방법

차응애 채집 및 사육

발육실험에 이용한 차응애(*T. kanzawai*)는 2018년 10월에

제주대학교 내 수국(*H. macrophylla*)에서 채집하였다. 채집한 차응애는 Ehara (1956)의 광학현미경적 형태 특성에 따라 기문과 수컷의 생식기 모양으로 동정하였다. 추가적으로 배쪽의 3, 4번 자모사이의 주름모양을 확인하였다. 채집한 차응애는 실험실 내 사육 상자의 강낭콩(*P. vulgaris*) 포트에 접촉하고 일주일에 한 번씩 1개의 강낭콩포트를 새로운 강낭콩포트로 교체하면서 총 3개의 강낭콩포트로 밀도를 유지하면서 사육하였다. 강낭콩은 이색포트(지름 10 cm)에 상토(농우바이오, 상토2호)를 2/3 정도 채우고 강낭콩(소화농장, 유월양대, 2018) 2알을 파종하여 물을 줄 때에는 포트 가득 물을 넣었고 그 후에는 물이 1/3 정도 채워진 쟁반 위에 놓고 12L:12D 조건으로 재배하였다. 강낭콩에서 8세대 이상 지난 차응애를 실험에 이용하였다. 산란실험에 이용한 차응애는 2019년 11월에 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소 내 차나무(*C. sinensis*)에서 채집하였다. 채집한 차응애를 강낭콩에서 3세대 이상 경과시킨 후 실험하였다. 발육실험과 산란실험에 이용한 차응애는 항온기(25°C, 16L:8D)에서 사육하였다.

기주식물

발육실험에 이용한 왜제비꽃(*V. japonica*)은 2019년 3월에 제주특별자치도 서귀포시 남원읍의 감귤 노지재배 농가에서 채취하였다. 한라봉(*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) × *C. reticulata*의 어린잎과 구엽은 2019년 5월에 제주특별자치도 서귀포시 남원읍의 한라봉 시설하우스재배 농가에서 일주일에 한 번씩 3회에 걸쳐 채취하였다. 어린잎은 새로 자란 신초에서 너비가 2~4 cm 정도인 잎을 채취하였고, 구엽은 1년 이상의 나뭇가지에서 상단부 잎을 채취하여 사용하였다. 왜제비꽃 잎과 한라봉 어린잎 및 구엽은 채취 즉시 실험에 이용하였고 남은 잎들은 키친타월에 싸서 3°C 냉장고에 보관한 후 사용하였다.

산란실험에 이용한 왜제비꽃은 2019년 12월에 제주대학교 내에서 뿌리째로 채취하여 상토를 넣은 이색포트(지름 10 cm)에 이식하고 12L:12D 조건으로 기르면서 사용하였다. 한라봉 2년생 묘목은 2019년 11월에 제주시산림조합 묘목시장에서 구입한 후 26 ± 4°C, RH 40~75%, 14L:10D 조건에서 포트 재배하였다. 한라봉 어린잎은 새순이 돌아난 후 17일 이상 된 신초에서 잎의 너비가 2~4 cm인 잎들을 채취하여 사용하였다. 산란실험의 경우 개체군들이 각 기주에서 약 15~20일 정도 발육을 한 후 접종을 하기 때문에 잎들의 신선도를 고려하여 직접 재배하여 발육실험에 사용한 잎들과 비슷한 상태에서 실험하였다.

발육실험과 산란실험에 대조군으로 이용한 강낭콩은 차응애 사육에 이용된 강낭콩과 동일한 방법으로 실험실 내에서 재배하였다.

발육실험

본 실험은 한라봉 어린잎과 구엽, 왜제비꽃을 실험기주로 하여 20°C, 25°C, 30°C에서 실험하였다. 각 실험의 대조군은 강낭콩을 기주로 하였다. 아크릴재질의 곤충사육용기(지름 10 cm, 높이 4 cm)의 크기에 맞는 직사각형 모양의 스펀지(높이 2 cm)를 넣고 물을 충분히 머금도록 한 뒤 그 위에 탈지면을 올렸다. 탈지면 위에 각 실험기주의 잎 절편(지름 10 mm)을 배치하였다. 온도별로 각 기주마다 3개의 곤충사육용기를 사용했고 각 용기에는 9개의 잎 절편들을 배치하여 총 27개 절편으로 실험하였다. 잎 절편마다 암컷성충을 붓(화홍 320-0호, 1가닥만 남기고 나머지 모는 제거함)으로 1마리씩 접종하였다. 암컷성충이 산란하면 잎 절편에 알 1개만 남도록 암컷성충과 나머지 알은 제거하였다. 실험을 진행하면서 잎 절편의 상태에 따라 새로운 잎 절편으로 교체하였다. 실험군 및 대조군들에 대한 발육 실험은 온도가 각각 20°C, 25°C, 30°C로 설정된 항온기(16L:8D)에서 수행되었으며, 실험에 이용된 곤충사육용기 안에 물은 용기의 1/3로 채워 습도를 유지하였다. 항온기의 온도는 온습도기록계(HOBO Pro v2 Loggers, Onset, USA)를 이용하여 일정하게 유지되는지 확인하였다.

발육상태는 알, 유충, 제1약충, 제2약충, 성충으로 구분하여 12시간마다 기록하였다. 유충은 다리가 3쌍, 약충은 다리가 4쌍인 특징과 각 단계마다 생기는 탈피각으로 발육단계를 구분하였다. 실험 중에 차응애가 잎 절편을 이탈하여 물에 빠져 사망하는 경우 발육기간 및 생존율 분석에서 제외하였고, 생존율은 잎에서 사망한 개체를 기준으로 계산하였다.

본 실험 시 한라봉 어린잎과 왜제비꽃을 구한 시기가 다르기 때문에 동시에 실험하지 못하였다. 따라서 강낭콩잎을 대조군으로 하여 실험군을 분리하여 수행하였다. 하지만 실험군 별로 대조군으로 사용한 강낭콩 잎에서의 발육기간에 통계적 차이가 없었으므로(전체 발육기간 기준, 20°C : $df = 42$; $t = 1.73$; $P = 0.0903$, 25°C : $df = 45$; $t = -0.15$; $P = 0.8807$, 30°C : $df = 40$; $t = 1.32$; $P = 0.1938$) 같은 온도끼리는 자료를 종합하여 통계 처리하였다.

산란실험

본 실험은 한라봉 어린잎, 왜제비꽃 잎을 실험기주로 20°C, 25°C, 30°C에서 강낭콩을 대조군으로하여 실험하였다. 차응애가 물에 빠져 죽는 경우를 줄이기 위해 지름 14 mm인 잎 절편을 사용하였다. 온도별 각 기주마다 3개의 곤충사육용기를 사용했고 각 용기에는 잎 절편을 9개, 9개, 6개로 배치하여 24반복으로

설계하고 그 외의 실험조건은 발육실험과 동일하게 진행하였다. 붓을 사용하여 잎 절편에 수컷성충 1마리와 제2약충 정지기에 서 탈피한 후 1~2일 정도 지난 암컷성충 1마리를 접종하고 24시간 간격으로 새로 산란된 알을 터트리면서 알의 수를 기록하였다. 잎 절편은 8일 간격으로 새 잎 절편으로 교체하였다. 실험군과 대조군은 16L:8D로 유지되는 항온기 내에서 각 20°C, 25°C, 30°C로 처리하였다. 온도는 발육실험과 동일한 방법으로 측정하였다. 수컷이 물에 빠져 사망하는 경우 새로운 수컷을 접종하였고, 암컷이 이탈하는 경우는 분석에서 제외하였다.

분석방법

발육기간, 산란수 및 성충 수명: 온도와 기주별 발육기간, 산란수 및 성충 수명의 분석은 분산분석(ANOVA)을 실시하였고 평균간 비교는 Tukey 검정을 실시하였다. 통계분석을 위한 원자료의 정규성을 검정하였으며 모두 정규분포의 가정에 적합하였다.

온도와 기주식물을 요인으로 한 이원분류 분산분석(two way ANOVA) 결과 상호작용효과(Eggs: $df = 5, 305$; $F = 1138.84$; $P < 0.0001$; Larvae: $df = 5, 247$; $F = 132.46$; $P < 0.0001$; Protonymphs: $df = 5, 237$; $F = 73.46$; $P < 0.0001$; Deutonymphs: $df = 4, 229$; $F = 115.84$; $P < 0.0001$; Total: $df = 4, 229$; $F = 875.85$; $P < 0.0001$)가 강하였기 때문에 처리온도별, 기주별로 자료를 분리하여 통계분석을 실시하였다.

분산분석 시 반복수가 균등하지 않았으므로 SAS 일반화모형(GLM, generalized linear model)을 적용하였다(SAS Institute., 2013).

생명표 통계: 발육실험과 산란실험으로 얻은 약충기간, 약충생존율(알 포함), 암컷 일별산란수 및 생존율을 적용하여 차응애의 생명표 통계량을 추정하였다. 생명표 통계량 추정에 있어서 성비가 큰 영향을 미치고, 발육실험에서 얻은 성비는 안정된 연령집단을 바탕으로 얻은 값이 아니었으므로 별도의 실험을 통하여 얻은 성비를 적용하였다. 발육과 산란실험에서와 동일한 방법으로 각 잎에서 누대사육하여 안정화된 집단에서 성충 15마리를 임의로 선발하여 2일 간 받은 알을 사육(25°C)하여 성비를 계산하였다. 성비를 암컷의 비율로 나타냈을 때 왜제비꽃 = 0.78, 한라봉(어린 잎) = 0.75, 강낭콩 = 0.73 이었다. 온도에 따라 성비가 변동되지 않는다고 가정(Roy, 2003)하고 모든 온도에 이 값을 적용하였다.

생명표 작성은 Birch (1948)가 제안한 방법을 기반으로 세대증가율(R_0 : Net reproductive rate), 평균세대기간(T : Generation time), 내적자연증가율(r_m : Intrinsic rate of increase), 기간증가

Table 1. Life table parameters and their formula for calculation (Krebs, 1972)

Symbol	Parameter meaning	Formula
x	Age interval in days	-
l_x	Proportion of females surviving to start of age interval	-
m_x	Number of female eggs laid by the average female at age x	-
R_0	Net reproductive rate	$\sum l_x m_x$
r_m	Intrinsic rate of increase (r)	$(\log_e R_0)/T$
λ	Finite rate of increase	e^r
T	Mean generation time	$\sum x l_x m_x / R_0$
DT	Doubling time	$(\log_e 2)/r$

율(λ : Finite rate of increase), 개체군 배가기간(DT: Doubling time)을 구하였으며, 계산은 Krebs (1972)의 방법을 적용하였다. 각 추정값의 통계적 차이 분석은 Meyer et al. (1986)가 고안한 Jackknife법을 이용하여 Maia et al. (2000)가 제안한 방법에 따라 수행하였다(Table 1).

결 과

발육기간

기주식물과 온도에 따른 차응애의 발육기간과 생존율은 Table 2와 같았다. 왜제비꽃을 섭식한 차응애의 알 발육기간은 20°C 에서 다른 기주들에 비해 길었다(df= 3, 104; $F = 13.58$; $P < 0.0001$). 한라봉 구엽을 섭식한 차응애의 알 발육기간은 25°C 에서 다른 기주들에 비해 길었다(df = 3, 97; $F = 20.29$; $P < 0.0001$). 20°C 에서 한라봉 어린잎을 섭식한 차응애는 강낭콩에 비해 총 발육기간이 길었다(df=2, 80; $F = 35.85$; $P < 0.0001$). 25°C 와 30°C 의 온도에서는 왜제비꽃을 섭식한 차응애의 총 발육기간이 한라봉 어린잎을 섭식했을 때보다 짧았다(25°C : df= 2, 73; $F = 161.33$; $P < 0.0001$; 30°C : df= 2, 72; $F = 93.38$; $P < 0.0001$).

성충 전까지 각 발육단계별 누적생존율은 Table 2와 같이 한라봉 구엽에서는 생존이 불가능하였고, Fig. 1과 같이 각 발육 단계별로 변동하였다.

수명 및 산란수

기주식물과 온도에 따른 차응애의 수명 및 산란수는 Table 3과 같았다. 전체적으로 차응애 암컷성충의 수명은 왜제비꽃에서 길어지는 경향이었으며 한라봉 어린잎과 강낭콩은 차이가

없었다(20°C : df = 2, 24; $F = 10.17$; $P = 0.0006$; 25°C : df = 2, 54; $F = 7.27$; $P = 0.0016$; 30°C : df = 2, 44; $F = 8.92$; $P = 0.0006$). 총 산란수는 모든 기주와 비교하여 한라봉 어린잎의 경우 모든 온도에서 유의하게 적었다. 왜제비꽃과 강낭콩의 산란수를 비교하면 강낭콩의 산란수가 많았지만 20°C 를 제외한 나머지 온도에서는 통계적으로 유의하게 다르지 않았다(20°C : df= 2, 24; $F = 43.75$; $P < 0.0001$; 25°C : df= 2, 54; $F = 65.2$; $P < 0.0001$; 30°C : df= 2, 44; $F = 47.7$; $P < 0.0001$). 모든 온도에서 기주식물에 따른 일일산란수는 강낭콩, 왜제비꽃 한라봉 어린잎 순서로 감소하는 경향이 나타났다(20°C : df = 2, 24; $F = 86.81$; $P < 0.0001$; 25°C : df = 2, 54; $F = 86.48$; $P < 0.0001$; 30°C : df= 2, 44; $F = 101.62$; $P < 0.0001$). 암컷성충의 일별 생존율과 산란수는 Fig. 2와 같이 기주식물과 온도에 따라 다양한 양상을 보였다.

생명표 통계량

기주식물과 온도에 따른 차응애의 생명표 통계량은 Table 4와 같았다. 차응애의 GRR (Gross Reproductive Rate)은 모든 온도에서 한라봉 어린잎을 섭식 했을 때 가장 낮았다. 20°C 를 제외한 온도에서 GRR은 왜제비꽃과 강낭콩이 한라봉 어린잎에서보다 높은 경향이었으나 통계적 차이는 나타나지 않았다(20°C : df = 2, 24; $F = 73.08$; $P < 0.0001$; 25°C : df = 2, 54; $F = 38.12$; $P < 0.0001$; 30°C : df = 2, 44; $F = 21.6$; $P < 0.0001$). R_0 에서도 GRR에서와 같은 경향이 나타났다(20°C : df = 2, 24; $F = 43.86$; $P < 0.0001$; 25°C : df = 2, 54; $F = 85.74$; $P < 0.0001$; 30°C : df = 2, 44; $F = 55.47$; $P < 0.0001$). 평균세대기간 T 는 25°C 와 30°C 의 경우 강낭콩에서 가장 짧았으며 한라봉 어린잎과 왜제비꽃에서는 차이가 없었다(25°C : df = 2, 54; $F = 29.76$; $P < 0.0001$; 30°C : df = 2, 44; $F = 30.15$; $P < 0.0001$). 그러나 2

Table 2. Immature development time(days±SD) and survival rate of *Tetranychus kanzawai* according to host plants and temperatures

Temperature (°C)	Host plant ¹ (Leaf)	n	Stage				Total (Egg to adult)	Immature Survival (%)
			Egg	Larva	Protonymph	Deutonymph		
20	Japanese violet	18	7.9 ± 0.50a ²	4.1 ± 0.67b	3.2 ± 0.69a	3.7 ± 0.67a	18.8 ± 1.41a	69.2
	'shiranuhi' young	21	7.0 ± 0.25b	3.5 ± 0.79c	3.1 ± 0.89a	3.7 ± 1.18a	17.4 ± 1.76b	80.8
	'shiranuhi' old		7.1 ± 0.73b (n = 25)	6.0 ± 0.87a (n = 3)	3.5 (n = 1)	- ³	-	0.0
	Kidney bean	44	7.1 ± 0.40b	3.1 ± 0.35d	2.5 ± 0.34b	3.4 ± 0.36a	16.1 ± 0.66c	88.0
25	Japanese violet	20	4.5 ± 0.30b	2.5 ± 0.46a	2.2 ± 0.24b	2.2 ± 0.37b	11.3 ± 0.52b	80.0
	'shiranuhi' young	9	4.1 ± 0.33b	2.9 ± 0.53a	3.3 ± 0.50a	3.1 ± 1.36a	13.4 ± 1.45a	45.0
	'shiranuhi' old		4.8 ± 0.50a (n = 25)	2.8 ± 0.76a (n = 7)	2.2 ± 0.67b (n = 5)	-	-	0.0
	Kidney bean	47	4.1 ± 0.27c	1.9 ± 0.34b	1.6 ± 0.44c	1.9 ± 0.28b	9.5 ± 0.45c	88.7
30	Japanese violet	24	3.2 ± 0.24a	2.0 ± 0.53b	1.6 ± 0.48b	1.9 ± 0.47a	8.7 ± 0.94b	88.9
	'shiranuhi' young	9	3.1 ± 0.17ab	2.6 ± 0.39a	2.5 ± 0.83a	2.1 ± 0.42a	10.2 ± 1.00a	56.3
	'shiranuhi' old		3.1 ± 0.33ab (n = 27)	1.9 ± 0.42b (n = 9)	2.9 ± 0.63a (n = 4)	-	-	0.0
	Kidney bean	42	3.0 ± 0.19b	1.3 ± 0.24c	1.2 ± 0.27c	1.5 ± 0.35b	7.0 ± 0.44c	87.5

¹Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.), Japanese violet (*Viola japonica* Langsd.) and 'shiranuhi' (*[Citrus unshiu × C. sinensis] × C. reticulata*); young = young leaf and old = old leaf for 'shiranuhi'.

²Means with the same letters in a column at each temperature are not significantly different by Tukey test at $P=0.05$.

³No available data.

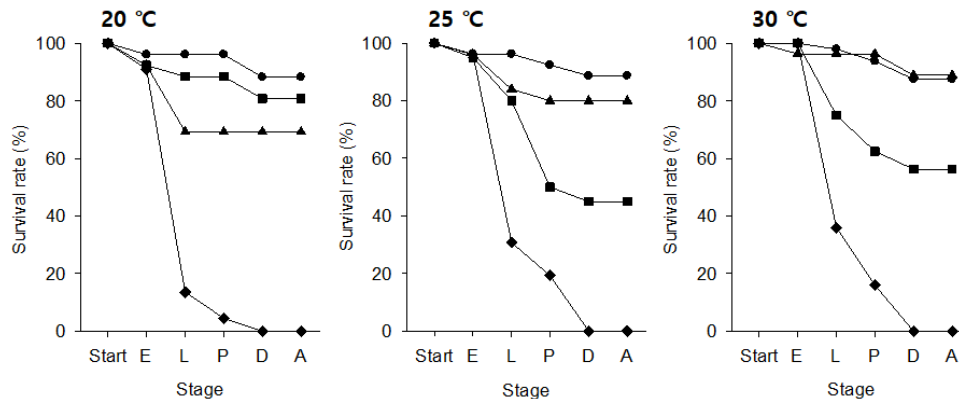


Fig. 1. Survival rate curves of immature *Tetranychus kanzawai* on different hosts plants at constant temperatures. Symbols: ● = Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.), ■ = Japanese violet (*Viola japonica* Langsd.), ▲ = Young leaf of 'shiranuhi' (*[Citrus unshiu × C. sinensis] × C. reticulata*) and ◆ = Old leaf of 'shiranuhi'. E = Eggs, L = Larvae, P = Protonymphs, D = Deutonymphs and A = Adults.

0°C의 경우 왜제비꽃에서의 T 가 한라봉 어린잎과 강낭콩보다 길었으며 한라봉 어린잎과 강낭콩에서의 T 는 유의하게 다르지 않았다($df = 2, 24; F = 12.24; P = 0.0002$). 내적자연증가율 r_m 은 전체적으로 강낭콩, 왜제비꽃, 한라봉 어린잎 순서대로 높게 나타났고(20°C: $df = 2, 24; F = 64.27; P < 0.0001$; 25°C: $df = 2, 54; F = 200.42; P < 0.0001$; 30°C: $df = 2, 44; F = 283.2; P < 0.0001$), 기간증가율 λ 에서도 비슷한 경향이 나타났다(20°C:

$df = 2, 24; F = 66.41; P < 0.0001$; 25°C: $df = 2, 54; F = 193.92; P < 0.0001$; 30°C: $df = 2, 44; F = 252.77; P < 0.0001$). 개체군 배가기간 DT 는 모든 온도에서 한라봉 어린잎에서 가장 길었고 그 다음은 왜제비꽃, 강낭콩 순이었다(20°C: $df = 2, 24; F = 28.8; P < 0.0001$; 25°C: $df = 2, 54; F = 97.86; P < 0.0001$; 30°C: $df = 2, 44; F = 190.6; P < 0.0001$).

Table 3. Adult female longevity and fecundity of *T. kazawai* according to host plants and temperatures

Temperature (°C)	Host plant ¹ (Leaf)	n	Female longevity (Days ± SD)	Fecundity (Total eggs ± SD)	Daily Fecundity (Eggs/day ± SD)
20	Japanese violet	6	35.7 ± 10.23a ²	93.3 ± 22.05b	2.7 ± 0.77b
	'shiranihi' young	9	19.1 ± 6.35b	18.1 ± 8.87c	1.0 ± 0.53c
	Kidney bean	12	22.1 ± 6.20b	127.4 ± 35.68a	5.9 ± 1.05a
25	Japanese violet	16	19.3 ± 6.84a	105.8 ± 25.84a	5.9 ± 1.80b
	'shiranihi' young	14	15.0 ± 2.80b	23.9 ± 13.52b	1.5 ± 0.75c
	Kidney bean	27	14.1 ± 3.17b	121.0 ± 31.10a	8.7 ± 1.90a
30	Japanese violet	10	15.9 ± 4.93a	115.0 ± 29.17a	7.4 ± 1.30b
	'shiranihi' young	8	12.3 ± 2.76ab	17.8 ± 8.81b	1.5 ± 0.65c
	Kidney bean	29	10.9 ± 2.63b	117.1 ± 27.85a	11.0 ± 1.98a

¹Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.), Japanese violet (*Viola japonica* Langsd.) and 'shiranihi' (*[Citrus unshiu × C. sinensis] × C. reticulata*) young leaf.

²Means with the same letters in a column at each temperature are not significantly different by Tukey test at $P = 0.05$.

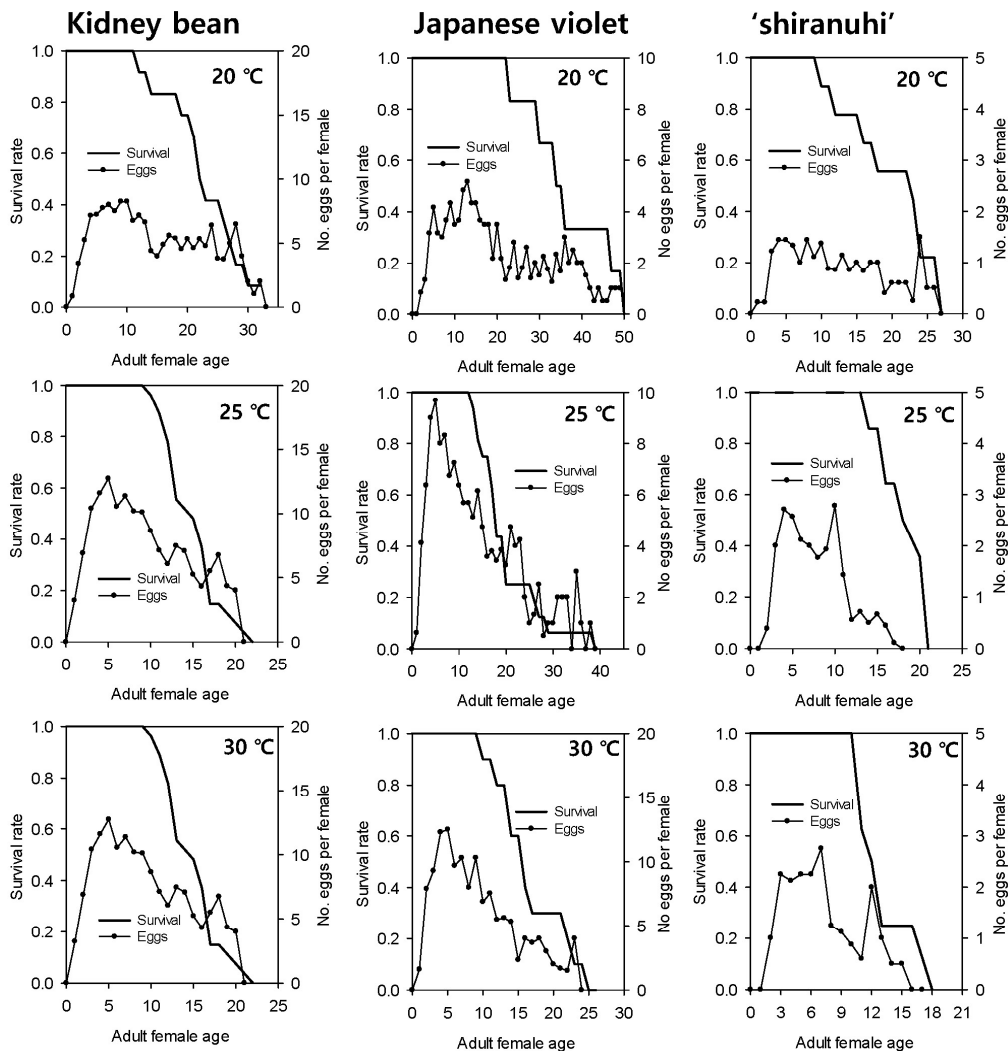


Fig. 2. Age-specific survival rate and fecundity (No. eggs per femlae) of *T. kazawai* female adults on different host plants at constant temperatures: Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.), Japanese violet (*Viola japonica* Langsd.), and young leaf of 'shiranihi' (*[Citrus unshiu × C. sinensis] × C. reticulata*).

Table 4. Estimated parameters of life table for *T. kanzawai* according to host plants and temperatures

Temperature (°C)	Host plant ¹ (Leaf)	Estimated parameters ²					
		<i>GRR</i>	<i>R₀</i>	<i>T</i>	<i>r_m</i>	λ	<i>DT</i>
20	Japanese violet	90.4 ± 14.74b ³	50.2 ± 11.87b	36.0 ± 5.52a	0.109 ± 0.0140b	1.115 ± 0.0157b	6.4 ± 0.80b
	'shiranuhi' young	17.5 ± 7.84c	11.0 ± 5.39c	27.8 ± 2.67b	0.087 ± 0.0177c	1.091 ± 0.0192c	7.9 ± 1.65a
	Kidney bean	125.7 ± 27.64a	75.3 ± 21.10a	28.0 ± 2.82b	0.154 ± 0.0100a	1.167 ± 0.0116a	4.5 ± 0.29c
25	Japanese violet	122.7 ± 50.77a	66.0 ± 16.12a	20.9 ± 2.90a	0.201 ± 0.0294b	1.222 ± 0.0360b	3.4 ± 0.49b
	'shiranuhi' young	19.2 ± 10.04b	8.1 ± 4.56b	20.9 ± 10.2a	0.100 ± 0.0253c	1.105 ± 0.0279c	6.9 ± 1.78a
	Kidney bean	112.1 ± 34.57a	76.8 ± 19.75a	16.9 ± 1.55b	0.256 ± 0.0188a	1.292 ± 0.0244a	2.7 ± 0.20c
30	Japanese violet	111.2 ± 40.04a	79.8 ± 20.25a	16.4 ± 1.86a	0.267 ± 0.0193b	1.306 ± 0.0253b	2.6 ± 0.18b
	'shiranuhi' young	15.4 ± 9.83b	7.5 ± 3.70b	16.7 ± 1.98a	0.122 ± 0.0229c	1.129 ± 0.0259c	5.7 ± 1.09a
	Kidney bean	120.2 ± 44.93a	66.7 ± 15.86a	12.9 ± 1.28b	0.325 ± 0.0218a	1.385 ± 0.0302a	2.1 ± 0.14c

¹Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.), Japanese violet (*Viola japonica* Langsd.) and 'shiranuhi' (*Citrus unshiu* × *C. sinensis*] × *C. reticulata*) young leaf.

²Abbreviation: *GRR*(gross reproductive rate), *R₀*(net reproductive rate), *T*(mean generation time), *r_m*(intrinsic rate of increase), λ (finite rate of increase), and *DT*(population doubling time).

³Means with the same letters in a column at each temperature are not significantly different by Tukey test at *P* = 0.05.

고찰

본 실험결과 차응애의 발육기간(알-성충)은 강낭콩 잎과 비교하여 한라봉 어린잎과 왜제비꽃 잎에서 길어졌다. 기존 기주식물과 온도에 따른 차응애 발육에 관한 연구결과를 정리한 자료에서(Supp. Table S1 available online), 기주식물에 따라 발육기간의 차이가 있었다. 즉, 강낭콩 잎에서 Ullah et al. (2011)의 결과는 15.6일로 본 연구결과 16.1일과 비슷하여 비교가 가능한데, 20°C에서 배 20.3일(Jo, 2000), 사과 21.8일(Hasanvand et al., 2019a)로 한라봉 어린잎이나 왜제비꽃 잎보다 발육이 더 지연되는 경향이 나타났다. 다른 온도 25°C에서는 강낭콩 9.8일(Ullah et al., 2011)에 비하여(본 연구 9.5일) 차 12.2일(Gotoh and Gomi, 2003), 사과 11.0일(Hasanvand et al., 2019a)로 본 연구 한라봉 어린잎에서 조사된 13.4일은 차에서의 발육기간과 더 비슷하였다. 또한 30°C에서 강낭콩 6.3일(Ullah et al., 2011)과 비교하여(본 연구 7.0일) 사과 8.3일(Hasanvand et al., 2019a)로 본 연구의 한라봉 어린잎 10.2일로 가장 발육이 지연되었다.

알컷 수명과 산란수의 경우도 기주와 온도에 따라서 큰 변이가 있었다(Supp. Table S2 available online). 온도 20°C의 경우 강낭콩 잎에서 Ullah et al. (2011)의 수명 28.3일과 산란수 149.3개와 본 연구의 22.1일과 127.4개는 다소 차이가 있었으며, 사과에서 수명 37.5일과 산란수 48개로 성충의 수명이 연장되고 산란수는 크게 감소하였고(Hasanvand et al., 2019a), 콩의 경우는 수명이 연장되고 산란수는 감소하지 않았는데(수명 35.9

일과 산란수 161.3개, Hasanvand et al., 2019b), 본 연구의 경우 왜제비꽃에서 수명은 크게 연장되었으나 산란수는 크게 감소하지 않았고, 반면 한라봉 어린잎에서는 수명은 약간 감소하였고 산란수는 크게 감소하였다. 온도 25°C에서 비교하면, Ullah et al. (2011)의 강낭콩에서 수명 23.3일과 산란수 198.5개와 본 연구의 14.1일과 121.0개는 차이가 매우 크게 나타났지만, 같이 비교하더라도 사과에서 32.6일과 90.5개(Hasanvand et al., 2019a), 수국 24.1일과 55.1개(Gotoh and Gomi, 2003)로 수명의 연장과 산란수의 감소가 나타났으며, 배에서는 수명 14.3일과 176.4개로 본 연구 강낭콩과 비교하여 수명에는 차이가 없었으나 산란수는 보다 많았다. 기존 연구들과 전체적으로 비교하면 산란수의 경우 왜제비꽃 잎에서 다소 감소하고 한라봉 어린잎에서는 크게 감소하는 경향을 보였다. 온도 30°C의 경우 강낭콩 잎에서 Ullah et al. (2011) 수명 10.2일과 산란수 93.3개로 본 연구의 10.0일과 117.1개와 차이가 크지 않아 비교가 가능한데, 사과에서 15.3일과 65.0개(Hasanvand et al., 2019a), 배에서 13.6일과 143.9개(Jo, 2000)로 두 기주식물 모두 수명은 연장되었으나 사과는 산란수가 감소한 반면, 배에서는 산란수가 증가하였다. 이에 비하여 본 연구에서는 왜제비꽃에서는 수명이 크게 연장되었으나 산란수는 변화가 크지 않았고, 한라봉 어린잎에서는 수명이 다소 연장되면서 산란수는 크게 감소하였다.

이와 같이 차응애의 발육기간과 수명 및 산란수는 기주식물에 따라 다양한 양상을 나타냈으며 이는 영양성분의 결핍이나 부족의 영향으로 추정된다(Weibull, 1994; Mollema and Cole,

1996). 향후 강남콩(또는 다른 표준기주식물)과 비교하여 수명과 산란수의 증감을 조합하여 기주의 가치를 평가하는 체계를 개발할 수 있을 것으로 보인다. 즉, 차응애의 중요한 기주식물로 사과(Hasanvand et al., 2019a), 차(Gotoh and Gomi, 2003), 수국(Gotoh and Gomi, 2003), 배(Jo, 2000; Gotoh and Gomi, 2003) 등이 알려져 있는데 생활사에 미치는 기주로서의 가치는 차이가 있다는 것을 알 수 있었다. 결과적으로 발육과 산란에 차이가 발생하기는 하지만 모두 생활사를 완료할 수 있는 차응애의 주요 기주식물로 볼 수 있으며, 본 연구에서 실험재료로서 대표 잡초로 선정된 왜제비꽃도 주요 기주로 판단할 수 있다. 그러나 한라봉(감귤)의 경우는 뒤에서 다시 고찰하겠지만 성숙한 잎에서 생존이 불가능하므로 주요기주라고 보기 어렵다.

기주식물에 따른 발육기간에서 전혀 섭식을 할 수 없는 알 발육단계의 기간에 차이가 있는 것은 특이한 현상으로 보인다. 20°C의 왜제비꽃과 25°C의 한라봉 구엽에서 알기간은 다른 기주식물들에 비해 길었다. 다른 연구에서도 이러한 경향이 보이는데, Jo (2000)의 실험에서 15°C의 배나무에서 알기간이 16.2일로 다른 기주식물보다 길었고, 20°C에서도 비슷한 경향이 나타났다. 굴응애의 경우도 감귤의 품종에 따라 알기간이 유의하게 차이가 나는 것으로 보고된 바 있다(Yang, 2011). 알의 발육은 직접적으로 식물의 영양가치와 관련이 없으므로 이런 현상을 설명하기 어렵다. 다만, 해당 식물을 섭식한 성충의 난소소관에서 알이 생성될 때 영향을 미쳤거나, 식물의 휘발성 물질이 알 발육에 영향으로 주었을 것으로 추정해볼 수 있다. 다만, 아직 이러한 기작에 대하여 보고된 사례는 없는 상황으로 향후 구명되어야 할 것이다.

기존 보고된 차응애의 생명표 통계량(Supp. Table S2 available online)과 같이 기주식물과 온도에 따라 큰 차이를 보였다. 강남콩에서 Ullah et al. (2011)이 보고한 내적자연증가율은 20°C, 25°C, 30°C에서 각각 0.181, 0.282, 0.399로 본 연구의 0.1542, 0.2563, 0.3251보다 다소 컸다. 생명표 통계량 값은 지역계통, 기주상태, 실험환경 등에 따라 차이가 크므로 직접 비교하기는 어려우나, 이를 감안 하더라도 한라봉 어린잎에서 모든 생명표 통계량 값이 크게 떨어지고 왜제비꽃에서도 다소 감소하였다. 예를 들어 25°C의 경우 왜제비꽃과 한라봉에서의 내적자연증가율은 각각 0.2007, 0.1002로 한라봉 어린잎에서 가장 작았고, 왜제비꽃의 내적자연증가율은 차 잎(Gotoh and Gomi, 2003) 보다는 컸다(Supp. Table S2 available online). 본 실험의 경우 왜제비꽃에서 산란수는 강남콩 잎과 큰 차이가 없었으나 내적자연증가율은 유의하게 작게 나타났는데, 이는 성충의 수명이 연장되어서 내적자연증가율에 반영되었기 때문으로 해석된다.

기주 식물체의 영양을 비롯한 품질 가치는 초식성 곤충(해충)의 개체군 발달에 결정적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Scriber and Slansky, 1981; Onstad et al., 1986; Hunter et al., 1992). 초식곤충과 기주식물과의 상호작용은 식물의 내충성과 관련하여 항객성(antixenosis), 항생성(antibiosis) 및 내성(tolerance)으로 크게 구분하여 나타낼 수 있다(Painter, 1951; Smith, 2005). 이 중 항생성은 기주식물(작물)이 곤충의 생존(사망률)이나 발육 또는 생식(산란력)에 부정적인 영향을 미치는 경우를 말한다(Smith, 2005).

앞의 결과와 같이 차응애의 성충 전까지 생존율은 기주식물 별로 다양하였으며(Table 2), 한라봉 구엽에서는 제2약충까지 생존한 개체가 없었고 유충단계에서 대부분 사망하였다. 또한, 한라봉 어린잎에서도 발육지연과 더불어 생존율이 평균 60%로 강남콩이나 왜제비꽃보다 낮게 나타났으며, 암컷 산란수도 감소하였다. 이러한 결과는 한라봉 잎이 내충성 범주 중에서 항생성에 해당하는 것으로 판단할 수 있다.

감귤류 잎이나 과실에는 살충 또는 항균작용을 하는 물질이 함유되어 있는 것으로 보고되어 있다. 감귤류인 카라만시(*Citrus mitis*), 라임(*C. aurantifolia*), 포멜로(*C. maxima*) 등의 잎추출물은 이집트숲모기(*Aedes aegypti*) 유충에 유의한 살충 효과를 갖고 있는 것으로 알려졌고(Hamidah and Adrianto, 2017), 감귤 과실 껍질 유포의 정유에는 살충물질로 linalool이 들어 있어서 과실파리류의 산란을 억제하였다(Greany et al., 1983). 레몬(*C. limon*) 잎 추출물에서 27개 화학성분이 확인되었고 주요 성분은 linalool (30.62%), geraniol (15.91%), α -terpineol (14.52%), linalyl acetate(13.76%)로 항균활성을 나타낸다고 하였다(Hojjati and Barzegar, 2017).

한라봉 잎에 있는 차응애에 대한 항생성 물질은 어린잎에는 함량이 낮고 잎이 성숙하면서 증가하는 것으로 보이며, 성숙한 잎(구엽)에는 물리적 또는 화학적 요인이든 생존이 불가능한 것으로 판단된다. 기주식물의 발육단계에 따른 살충물질 함량의 변화는 다른 식물에서 많이 알려져 있다. 식물이 성숙할수록 저항성을 보이는 경우와 반대로 어릴 때 저항성이 높은 등 다양한 양상을 보인다. 예를 들면, 벼 IR36 품종은 다자란 묘에서 두점골동매미충(*Niephotettix virescens*)에 내충성을 보인다(Rapusas and Heinrichs, 1987). 또한 토마토 저항성 품종도 성숙한 잎에서 콜로라도잎벌레(*Leptinotarsa decemlineata*)에 저항성을 보이는 것으로 알려졌다(Sinden et al., 1978). 반면, 수수(*Sorghum bicolor*)의 어린조직에는 시안화물(Woodhead and Bernays, 1977)과 hydroxybenzaldehyde(Woodhead, 1982)의 함량이 높아서 옥수수테두리진딧물(*Rhopalosiphum maidis*)

과 풀무치(*Locusta migratoria*)에 내충성을 보인다(Woodhead and Bernays, 1977; Fisk, 1978).

또한 기주식물 가용성의 시간적 분포는 초식성 곤충의 개체군 동태를 근본적으로 변화시키는 역할을 하기도 한다(Kim and Lee, 2002). 겨울나방(*Operophtera brumata*)은 참나무(*Quercus robur*)에서 잎이 성숙되면서 타닌 함량이 증가하면 생존하지 못하므로 타닌성분이 낮은 어린 잎 발생기에 유충이 발생하도록 생활사가 적응되었다(Feeny, 1970). 하지만, 차응애의 경우는 한라봉 어린잎(즉 신초 발생기)의 발생주기에 맞추어 생활사가 적응되었다고 말하기 어렵다. 지면 잡초상에서 번식한 차응애 개체군이 제초제 살포나 노화로 인한 잡초의 자연고사(하고현상)에 따라 감귤나무 잎으로 이동하여 어린잎에 피해를 유발할 수는 있을 것이다. 그러나 잡초에서 번식하고 인과류의 수상으로 이동하여 피해를 주는 점박이응애(*Tetranychus urticae* Koch)(Lee, 1990)와는 근본적으로 다른 점이 있다. 점박이응애는 잡초에서 나무 위로 이동하여 인과류에 지속적으로 피해를 주고 겨울 전에 월동에 들어가서 생활사가 완성된다(Lee, 1990). 하지만, 차응애의 경우는 본 연구의 결과에서 보듯이 신초의 잎이 성숙하면서 생존이 불가능해진다는 것을 예상할 수 있고, 따라서 기주식물로서 감귤나무는 유인작물(trap crop)과 같은 일종의 막다른 골목으로 작용하고(Shelton and Nault, 2004) 생활사가 중단될 것이다. 귤나무는 감귤나무에서 신초의 잎 발아 후 30일이 되면 잎이 굳어져서 유충 생존이 불가능해지기 때문에 연한 잎을 선택하여 산란하는 생활사 전략을 갖고 있다(Badaway, 1967; Knapp et al., 1995). 감귤나무에서 차응애가 미리 감귤 잎의 성숙에 반응하여 다시 잡초상으로 이주행동을 하는 생활사 전략을 갖고 있는지 아직 알려진 바 없으며, 이는 향후 검토가 필요할 것이다.

본 결과를 종합하여 감귤원(한라봉)의 차응애 관리에 적용한다면 시기적인 잡초관리가 중요한 요소로 판단된다. 누리장나무(*Clerodendron trichotomum* Thunb.), 물오리나무(*Alnus hirsuta* (spach) Rupr.), 고구마(*Ipomoea batatas* Lam.), 분꽃(*Mirabilis jalapa* for. *plena* Schneid.) 등은 차응애가 선호하는 기주식물로 알려져 있으나(Lee, 1999), 이외에도 과원에 발생하는 다양한 잡초에서 번식한다. 한라봉 어린잎 발생기에 제초제 살포로 나무 위로 이동을 촉진하는 경우 피해를 받을 수 있으므로 주의가 필요할 것이다. 따라서 잡초상의 차응애를 모니터링 하여 제초제 살포 시 기계유유제 혼용 등 동시방제 대책이 필요하고, 나무 위에서 문제되는 경우는 신초 위주로 방제함으로써 방제노력과 비용을 절감할 수 있을 것이다.

Acknowledgements

This study was carried out with the partial support of the Agenda Project (PJ013390: PJ013390012019), RDA, Republic of Korea. We are grateful to Sustainable Agriculture Research Institute (SARI) in Jeju National University for providing the experimental facilities.

Supplementary Information

Supplementary data are available at Korean Journal of Applied Entomology online (<http://www.entomology2.or.kr>).

저자 직책 & 역할

현희정: 제주대, 석과과정; 실험수행 및 분석, 원고작성
김수빈: 제주대, 박사연구원; 자료분석
김동순: 제주대, 교수; 실험설계, 자료분석, 원고작성

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

- Badaway, A., 1967. The morphology and biology of *Phyllocnistis citrella* Staint., a citrus leaf miner in the Sudan. Bull. Entomol. Soc. Egypt 51, 95-103.
- Beyzavi, G., Ueckermann, E.A., Faraji, F., Ostovan, H., 2013. A catalog of Iranian prostigmatic mites of superfamilies Raphignathoidea & Tetranychoida (Acari). Persian J. Acarology 2, 389-474.
- Birch, L.C., 1948. The intrinsic rate of natural increase in an insect population. J. Anim. Ecol. 17, 15-26.
- Ehara, S., 1956. Tetranychoid mites of mulberry in Japan. J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. 6. Zool. 12, 499-510.
- Feeny, P., 1970. Seasonal changes in oak leaf tannins and nutrients as a cause of spring feeding by winter moth caterpillars. Ecology 51, 565-581.
- Fisk, J., 1978. Resistance of *Sorghum bicolor* to *Rhopalosiphum maidis* and *Peregrinus maidis* as affected by differences in the growth stage of the host. Entomol. Expl. Appl. 23, 227-236.
- Gotoh, T., Gomi, K., 2003. Life-history traits of the Kanzawa spider mite *Tetranychus kanzawai* (Acari: Tetranychidae). Appl. Entomol. Zool. 38, 7-14.
- Greany, P.D., Styer, S.C., Davis, P.L., Shaw, P.E., Chambers, D.L., 1983. Biochemical resistance of citrus to fruit flies.

- Demonstration and elucidation of resistance to the Caribbean fruit fly, *Anastrepha suspensa*. Entomol. Expl. Appl. 34, 40-50.
- Hamidah, H., Adrianto, H., 2017. Toxicity of *Citrus mitis*, *Citrus aurantifolia*, and *Citrus maxima* leaf extract toward mortality of *Aedes aegypti* larvae (Diptera: Culicidae). VMIC (The Veterinary Medicine International Conference) 2017, 41-47.
- Hasanvand, I., Jafari, S., Khanjani, M., 2019a. Effect of temperature on development and reproduction of *Tetranychus kanzawai* (Tetranychidae), fed on apple leaves. International J. Acarology 46, 31-40.
- Hasanvand, I., Jafari, S., Khanjani, M., 2019b. Life table parameters of Iranian population, *Tetranychus kanzawai* (Acari: Tetranychidae) fed on soybean leaves. Systematic Appl. Acarology 24, 231-250.
- Hojjati, M., Barzegar, H., 2017. Chemical composition and biological activities of lemon (*Citrus limon*) leaf essential oil. Nutr. Food Sci. Res. 4, 15-24.
- Hunter, M.D., Ohgushi, T., Price, P.W., 1992. Effects of resource distribution on animal-plant interactions. Academic, San Diego, CA.
- Jo, Y.S., 2000. Population dynamics of spider mites and their natural enemies in pear orchard. Ph. D. Dissertation, Chonnam National University, Korea.
- Kang, B.S., Yang, W.S., Go, Y.J., 2017. Diagnosis and control of citrus pests. Research Institute of Jeju Special-Governing Province, Jeju. (The title was translated by the authors)
- Kim, D.H., Kwon, H.M., Kim, K.S., 2000. Current status of the occurrence of the insect pests in the citrus orchard in Cheju Island. Korean J. Appl. Entomol. 39, 267-274.
- Kim, D.S., Lee, J.H., 2002. Egg and larval survivorship of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) in apple and peach and their effects on adult population dynamics in orchards. Environ. Entomol. 31, 686-692.
- Knapp, J.L., Albrigo, L.G., Browning, H.W., 1995. Citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* stainton: Current status in Florida. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, Univ. Florida, Gainesville, Florida.
- Kondo, A., Takafuji, A., 1985. Resource utilization pattern of two species of Tetranychid mites (Acarina: Tetranychidae). Res. Popul. Ecol. 27, 145-157.
- Krebs, C.J., 1972. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance, 2nd ed. Harper and Row, NY.
- Lee, S.H., Kim, H.S., Cho, S.W., Lee, J.S., 2006. Quality properties of Hallabong Tangor (*Citrus kiyomi* × ponkan) cultivated with heating. Korean J. Food Preserv. 13, 538-542.
- Lee, S.W., 1990. Studies on the pest status and integrated mite management in apple orchards. Ph. D. Dissertation, Seoul National University, Korea.
- Lee, S.Y., 1999. Host-preference of the two spider mite, *Tetranychus urticae* and *Tetranychus kanzawai*. Ph. D. Dissertation, Jeonbuk National University, Korea.
- Maia, A.H.N., Alfredo, J.B.L., Campanhola, C., 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspects. J. Econ. Entomol. 93, 511-518.
- Meyer, J.S., Igersoll, C.G., MacDonald, L.L., Boyce, M.S., 1986. Estimating uncertainty in population growth rates: jackknife vs. bootstrap techniques. Ecology 67, 1156-1166.
- Mollema, C., Cole, R.A., 1996. Low aromatic amino acid concentrations in leaf proteins determine resistance to *Frankliniella occidentalis* in four vegetable crops. Entomol. Exp. Appl. 78, 325-333.
- Onstad, D.W., Reissig, W.H., Shoemaker, C.A., 1986. Influence of apple cultivar, tree phenology, and leaf quality on the development and mortality of *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae). Can. Entomol. 118, 123-132.
- Painter, R.H., 1951. Insect resistance in crop plants. Univ. Kansas Press, Lawrence. p. 520.
- Rapusas, H.R., Heinrichs, E.A., 1987. Plant age effect on resistance of rice 'IR36' to the green leafhopper, *Nephotettix virescens* (Distant) and rice tungro virus. Environ. Entomol. 16, 106-110.
- RIJP (Research Institute of Jeju Special-Governing Province), 2011. Weed plants of Jeju citrus orchards in colors. Publication No. 79-6600073-000044-01. Research Institute of Jeju Special-Governing Province, Jeju (The title was translated by the authors)
- Roy, M., Brodeur J., Cloutier C., 2003. Temperature and sex allocation in a spider mite. Oecologia. Berlin. 135, 322-326.
- SAS Institute., 2013. SAS OnlineDoc[®], Version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Scriber, J.M., Slansky, F., 1981. The nutritional ecology of immature insects. Annu. Rev. Entomol. 26, 183-211.
- Shelton, A.M., Nault, B.A., 2004. Dead-end trap cropping: A technique to improve management of the diamondback moth. Crop Prot. 23, 497-503.
- Sinden, S.L., Schalk, J.M., Stoner, A.K., 1978. Effects of day length and maturity of tomato plants on tomatine content and resistance to the Colorado potato beetle. J. Am. Soc. Hort. Sci. 103, 596-599.
- Smith, C.M., 2005. Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches. Springer, The Netherlands. p. 423.
- Ullah, M.S., Moriya, D., Badii., M.H., Nachman, G., Gotoh, T., 2011. A comparative study of development and demographic parameters of *Tetranychus merganser* and *Tetranychus kanzawai* (Acari: Tetranychidae) at different temperatures. Exp. Appl. Acarol. 54, 1-19.
- Weibull, J., 1994. Glutamic acid content of phloem sap is not a good predictor of plant resistance to *Rhopalosiphum padi*. Phytochemistry 35, 601-602.
- Woodhead, S., 1982. P-hydroxybenzaldehyde in the surface wax of sorghum: Its importance in seedling resistance to acridids. Entomol. Exp. Appl. 31, 296-302.

Woodhead, S., Bernays, E.A., 1977. Changes in release rates of cyanide in relation to palatability of sorghum to insects. *Nature* 270, 235-236.

Yang, J.Y., 2011. Life table parameters of *Panonychus citri* (Acari:

Tetranychidae) on citrus leaves and a matrix model for the population projection. Ms. Thesis, Jeju National University, Korea.