



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

모션 트래킹 기술을 이용한 화살깍지벌레
부화 약충의 정착행동 연구

Studies on the Settling Behavior of Hatched Nymphs of *Unaspis yanonensis*
(Hemiptera: diaspididae) by Motion Tracking Technology

濟州大學校 大學院

農學科

金容權

2014 年 2 月

모션 트래킹 기술을 이용한 화살깎지벌레 부화 약충의 정착행동 연구

指導教授 金 桐 淳

金 容 權

이 論文을 農學 碩士學位 論文으로 提出함

2013年 12月

金容權의 農學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ (印)

委 員 _____ (印)

委 員 _____ (印)

濟州大學校 大學院

2013年 12月

목 차

List of Tables	v
List of Figures	vi
ABSTRACT	1
I. 서 론	3
II. 연 구 사	5
III. 재 료 및 방 법	9
1. 화살까지벌레 부화 약충의 감귤 잎에서의 정착행동 특성	9
1.1. 수컷 약충의 분포양식 특성	9
1.2. 부화 약충의 이동경로 및 정착행동	13
2. 암컷의 정착행동이 포식자로부터의 공격회피에 미치는 영향	16
2.1. 잎 표본채취	16
2.2. 정착 형태의 구분	16
2.3. 조사방법	18
2.4. 분석방법	18

IV. 결	과	19
1.	화살각지별레 부화약층의 감굴 앞에서 정착행동 특성	19
1.1.	정착한 수컷 약층의 분포형태 특징	19
1.2.	부화 약층의 정착이동경로 및 정착행동	24
1.2.1.	정착 이동경로 특성	24
1.2.2.	기정착 약층과의 접촉 및 90° 이상 회전 횟수	26
1.2.3.	암컷 성층 및 옆 경계면과 접촉횟수	28
1.2.4.	암수 약층의 정착시간	30
1.2.5.	수컷 부화 약층 정착각도 측정결과	30
2.	암컷의 정착행동이 포식자로부터의 공격회피에 미치는 영향	32
2.1.	자연 상태에서의 독립 및 중복 정착율	32
2.2.	옆 내 암수 밀도에 따른 중복정착율	34
2.3.	암컷 성층의 중복정착에 따른 포식자로부터의 피해 정도	37
2.4.	암컷 성층의 정착 위치에 따른 포식자로부터의 피해 정도	39
V. 고	찰	41
VI. 적	요	45
VII. 인	용 문 헌	47

List of Tables

Table 1. Frequency distribution of settlement angle (left or right direction) from randomly selected nymph of <i>Unaspis yanonensis</i> in a male cluster on citrus leaves.	20
Table 2. T-square index of spatial pattern (C) and distance index of dispersion (I) and their statistical test in the distribution pattern of the hatched nymphs of <i>Unaspis yanonensis</i> on citrus leaves.	23
Table 3. Frequency distribution of overlapped females of <i>Unaspis yanonensis</i> in the field.	33

List of Figures

- Fig. 1. The measurement method for the settlement angle of *Unaspis yanonensis* male nymphs; the biased angles from parallel line to a randomly selected nymph (head to body end) were measured. 10
- Fig. 2. T-square sampling distances used for the analysis of distribution pattern of *Unaspis yanonensis* male nymphs in the cluster; x = distance between point Q and the nearest individual P, and y = distance individual P and its nearest neighbor Q. Individuals that lie in the same "half-plane" as O (i.e. below the line perpendicular to OP) are excluded when selecting Q (Ludwig & Reynolds, 1988). 11
- Fig. 3. The variables measured to analysis the moving path of *Unaspis yanonensis* nymphs. 15
- Fig. 4. The category in the settling behavior of *Unaspis yanonensis* females. The division of overlapped settlement (A) and settlement position (B) of females. 17
- Fig. 5. Frequency distribution (%) of settlement angle (all data combined) from randomly selected nymph of *Unaspis yanonensis* in a male cluster on citrus leaves. 21
- Fig. 6. The x - and y -distance plot of T-square distance in the male cluster of *Unaspis yanonensis* on citrus leaves. 22

Fig. 7. Typical examples of moving path of *Unaspis yanonensis* hatched nymphs. 25

Fig. 8. Comparison of moving path in the number of encounters to the pre-settled nymphs (A) and turns ($> 90^\circ$) (B) between hatched females and males of *Unaspis yanonensis* on experimental arena. The vertical bars on the bars are standard error. ** significant at $p = 0.01$, * significant at $p = 0.05$ by two sample t-test. 27

Fig. 9. Comparison in the number of touches to the adult female (mother) (A) and the border of arena (B) between hatched females and males of *Unaspis yanonensis* on experimental arena. The vertical bars on the bars are standard error. ** significant at $p = 0.01$, ^{ns} not significant at $p = 0.05$ by two sample t-test. 29

Fig. 10. Times (hours) required for the settlement of *Unaspis yanonensis* nymphs after hatching according to the distinction of sex and pre-settled condition of males on experimental arena. Pre-settled condition: Less than 2 males in A and B, and more than 5 males in C (A: Settlement time of female nymphs, B & C: Settlement time of male nymphs). The vertical bars on the bars are standard error. The same letters on bars are not significantly different by tukey test at $p = 0.05$ 31

Fig. 11. The results of correlation analysis between the number of overlapped females and female density of *Unaspis yanonensis* per leaf. 35

Fig. 12. The results of correlation analysis between the number of overlapped females and male density of *Unaspis yanonensis* per leaf. 36

Fig. 13. Comparison of *Unaspis yanonensis* females attacked by predacious natural enemy *Chilocorus kuwanae* according to the overlapping state of females. The vertical bars on the bars are standard error. ** significant at $p = 0.01$ by two sample t-test. 38

Fig. 14. Comparison of *Unaspis yanonensis* females attacked by predacious natural enemy *Chilocorus kuwanae* according to the settled sites in/out of male clusters. The vertical bars on the bars are standard error. ** significant at $p = 0.01$ by two sample t-test. 40

ABSTRACT

The arrowhead scale, *Unaspis Yanonensis* (Kuwana) (Hemiptera: Diaspididae), is known as an important pest in citrus orchards. This study was carried out to investigate the settling behavior of *U. yanonensis* on citrus leaves and its ecological effects on the populations. The results obtained were as follows.

1. The individual male of *U. yanonensis* in a male cluster showed a regular directivity in settlement angle: a 86.1 % of male nymphs was located within the settlement angle of 30° deviation in right or left direction.

2. The distribution pattern of individual *U. yanonensis* males in male clusters was examined by using T-square sampling distance. Mean distance between two nearest males was a 0.45 mm. Index of spatial pattern (C-index) was estimated to be 0.58, resulting in clumped distribution since a null hypothesis $C = 0.5$ was rejected. While the distance index of dispersion (I-index) showed a random distribution, as estimated $I = 2.29$ was not statistically different with critical value 2.0.

3. A motion tracking technology was applied to analysis the movement path of *U. yanonensis* hatched nymphs. The movement path of males showed a tortuous curve with moving and turning around their mother female or pre-settled male nymphs within the border of experimental arena. While female nymphs showed a linear movement path touching frequently with the border of experimental arena.

4. Male nymphs showed much more numbers of turns more than 90° and encounters to pre-settled males during the movement than those of females. Also, the time to settlement was significantly longer when pre-settled males were less than 2 nymphs, compared with that of more than 5 nymphs.

5. Male nymphs which newly emerged from the mother female settled down keeping an average 11.4° from the head to body parallel line based on the last nymph encountered.

6. Females of *U. yanonensis* settled down in singleton 92.1 % and overlapping 7.9 % in the field. The overlapping rates were not correlated with the density of males or females per leaf.

7. *U. yanonensis* females attacked by predacious natural enemy *Chilocorus kuwanae* was averaged to 4.95 % in the field. The attacked rate was significantly higher on overlapped females (11.96 %) than singleton females.

8. Also, *U. yanonensis* females settled in male clusters were significantly escaped from the attack of *C. kuwanae* than that of females settled out of male clusters, showing the attacked rates of 0.7 and 4.3 %, respectively.

Judging from the integration of all results, it was considered that the settling behavior of *U. yanonensis* males in cluster would be related with an ecological mechanism for the preservation of the species by protecting their females from the predator in the nature.

I. 서 론

화살깍지벌레(*Unaspis Yanonensis* (Kuwana))는 노린재목 깍지벌레과(Diaspididae)에 속하는 곤충으로 감귤의 중요한 해충으로 알려져 있다(Blackburn & Miller, 1984). 이 해충은 중국이 원산지로 여겨지나 전 세계적으로 볼 때 대부분 일본을 통하여 전파되었고(Matsumoto *et al.*, 2003), 기타 다른 경로를 통하여 프랑스와 이탈리아로 전파되었다(EPPO, 1989). 우리나라에는 1930년대 일본으로부터 전파된 것으로 여겨진다(NPQS, 1999).

일본 및 중국에서 화살깍지벌레는 연간 2~4 세대 발생하는 것으로 알려져 있으며, 3세대와 4세대는 늦가을 온도가 24℃ 이상 유지될 때 발생할 수 있다(Kuwana, 1923; Murakami, 1970; Blackburn & Miller, 1984; Song *et al.*, 1990; Adachi & Korenaga, 1991).

화살깍지벌레는 보통 감귤류의 잎과 과실, 가는 줄기에 발생하여 가해한다(Ohkubo, 1980). 또한 즙액을 흡수하여 나무가 고사하게 된다. 과실에 기생하면 기생부위는 착색이 덜되고 방제를 소홀히 할 경우, 비대가 나빠져서 상품가치를 떨어뜨린다. 현재 감귤원에 발생하는 깍지벌레 중 화살깍지벌레가 가장 늦게 발생되기는 하지만, 일단 발생하게 되면 매우 급속하게 확산되며, 고밀도로 기생하여 나무를 말라죽게 하는 가장 큰 원인이 되고 있으며, 약제를 살포하지 않고 2~3년 정도 방치하게 되면 폐원에 가까울 정도로 피해가 심각하다(제주농업시험장 & 제주감귤협동조합, 2002).

화살깍지벌레 산란은 온도와 난태생(ovovivipary)에 의하여 조절된다. 알은 발육이 거의 완료될 때까지 산란관 내에서 머물러 있고, 일정 수의 알이 생성되면 알 생산이 일시적으로 중단되었다가 산란을 시작한 후에는 다시 알이 형성되기 시작한다(Takezawa & Aihara, 1962). 결과적으로 포장상태에서 세대별 두 시기의 뚜렷한 약충 발생기가 나타난다(Murakami, 1970; Adachi & Korenaga, 1991). 첫 번째 발생최성기는 산란 후 10~15일에 나타나며, 두 번째는 30일 경에 나타나는데 첫 번째 발생기가 우세하다(Murakami, 1970).

각지벌레과(Diaspididae) 곤충의 대부분은 부화 약충기에 만 이동능력이 있고, 정착후에는 다리가 퇴화되어 고착생활을 하기 때문에 초기 성공적인 정착이 일생의 생존여부를 좌우하게 된다.

생물의 분산 및 정착양식(양상)은 새로운 서식처로 분포확산과 개체군 구조를 형성하는데 중요한 요소로 해충개체군의 관리에 중요한 정보를 제공할 수 있다(Bullock *et al.*, 2002). 특히, 암수에 따른 분산행동의 차이는 새로운 서식처로 정착 속도와 개체군 구조에 변화를 유발할 수 있다(Washburn & Frankie, 1981; Washburn & Washburn, 1984).

화살각지벌레 부화 약충의 정착행동은 암수가 다르고, 특징적인 정착형태를 보이고 있지만(Branco *et al.*, 2006), 아직 상세히 연구되어 보고되어 있지 않다.

따라서, 본 연구는 크게 두 가지 실험을 진행하였다.

첫째, 화살각지벌레 부화 약충의 감귤 잎에서의 정착행동을 구명하였고 수컷 약충의 정착 군집 내에서 공간적 분포 특성을 분석하였다. 또한 암컷과 수컷 약충의 정착행동을 비교하기 위하여 모션 트래킹 기술(Motion Tracking Technology)을 이용하여 이동경로를 분석하였다.

둘째, 암컷과 수컷의 정착행동 및 상호작용이 포식자에게 미치는 영향을 평가하였다. 암수 성충의 밀도에 따른 암컷 성충의 중복정착 행동을 분석하였으며, 암컷의 정착행동 및 위치에 따라 포식성 천적으로부터 공격회피 정도를 평가하였다.

II. 연 구 사

각지벌레는 분류학상으로 절지동물문(Arthropoda) 곤충강(Insecta) 노린재목(Hemiptera) 각지벌레상과(Coccoidea)에 속하는 동물로서 식물에 달라붙어 기생 생활 할 수 있도록 잘 발달되어 있으며, 전 세계적으로 약 6,000~7,000종이 알려져 있다. 식물에 달라붙어 즙액을 빨아먹기 때문에 수세를 약화시키며 심하면 식물을 말라죽게 하고, 배설물에 의한 그을음 병의 발생이 매우 심하다.

제주도 감귤원에서는 10종이 발생하는 것으로 보고되어 있으며, 그 중 이세리아각지벌레(*Icerya purchasi*), 꿀애가루각지벌레(*Pseudococcus cryptus*) 그리고 화살각지벌레(*Unaspis yanonensis*)의 발생이 다소 많은 편이고, 그 외에는 발생 밀도가 매우 낮다. 이세리아각지벌레는 정상적으로 약제를 살포하는 농가에서도 종종 발생이 확인되고 있으며, 꿀애가루각지벌레는 노지에서는 발생이 매우 미미하여 문제가 되고 있지 않으나 시설 감귤원에서는 문제시 되고 있다. 그리고 화살각지벌레는 정상적으로 방제를 하는 농가에서는 발생이 거의 없으며, 무농약 재배원이나 유기농 재배원 또는 폐원 등에서 발생되어 문제가 되고 있다(제주농업시험장 & 제주감귤협동조합, 2002).

화살각지벌레는 감귤류 식물에 발생하며 잎, 줄기 그리고 과실 등 식물체의 모든 부분을 가해한다. 발생이 심한 경우 가지가 고사하거나 나무 전체가 말라 죽기도 한다(Kuwana, 1923; Blackburn & Miller, 1984; Kim *et al.*, 2000).

화살각지벌레 암컷성충의 몸길이는 약 3.5 mm 이며, 폭은 약 1.5 mm 정도이고, 암갈색이다. 그리고 외관상의 모양은 화살촉과 유사하게 생겼다. 수컷은 흰색의 납물질로 덮여 있고, 길이는 1 mm 정도로 가늘고 길며, 성충은 날개가 달려서 자유로이 날아다닌다. 알은 장타원형으로 등황색이며, 크기는 0.2 mm 정도이다.

화살각지벌레는 주로 수정된 암컷 상태로 월동하지만, 따듯한 지역에서는 일부 분이 2령충으로 월동할 수 있다(Kuwana, 1923; Murakami, 1970; Blackburn & Miller, 1984). 월동 중 사망률은 성충 34~90 %, 미성숙 성충 23~80 %, 2령충

2~30 %이다(Murakami, 1970).

화살각지벌레는 중국, 일본, 지중해 일대에서 일반적으로 일년에 2~4세대 경과한다(Murakami, 1970; Blackburn & Miller, 1984; Song *et al.*, 1990; Adachi & Korenaga, 1991; EPPO, 2004). 마지막 세대는 부분적인 세대로, 생육후기 가을철 기온이 24℃ 이상 지속되는 경우 나타날 수 있으며(Kuwana, 1923; Davis *et al.*, 2005), 제주지역에서는 일반적으로 2세대로 발생이 완료되나 간혹 3세대 약충이 나타나기도 한다(Kim *et al.*, 2007).

그 동안 제주 감귤원에서 화살각지벌레의 피해는 그리 크지 않았으며, 다만 미국으로 감귤 수출시 검역상 문제가 된 바 있었다(Kim *et al.*, 2000). 하지만 최근 유기농 재배 등 친환경 재배면적이 증가함에 따라 화살각지벌레의 발생이 증가하여 피해가 우려 되고 있다. 특히 제주에는 화살각지벌레에 효과적인 천적이 존재하지 않기 때문에(Kim *et al.*, 2007) 농약을 살포하지 않은 과원에서는 발생이 심화될 우려가 높다(Kim *et al.*, 2000).

약충 기간은 1령충은 8~16일이며 2령충 기간은 계절에 따라 달라지는데 여름철에는 암컷의 경우 15~28일, 수컷은 15~17일 이며, 가을철에는 약 30일이다(Kuwana, 1923). 어미 껍질 밑에서 부화한 약충은 잎, 줄기, 과실 등에 정착하기 위하여 약 3시간 내에 분산한다(Kuwana, 1923; Murakami, 1970). 부화 약충은 계절 초기에는 주로 잎, 줄기에 정착하지만 계절 후기에는 과실 부분에 더 많이 정착한다(Kuwana, 1923; Blackburn & Miller, 1984). 일단 정착하면 이 깍지벌레는 평생 동안 고착생활을 한다.

실험실 조건에서 부화에서 정착까지 시간은 수컷 15.7 시간, 암컷 17.6 시간으로 알려져 있다(Wang & Chen, 1989). 일본에서의 보행 및 정착시간을 실험한 결과 평균 보행시간은 1, 2세대 모두 80분으로 차이는 보이지 않으나 부화개시 시각으로 본다면 1세대는 80~120분 후에, 2세대는 40~60분 후에 정착이 확인되기 시작하였고, 암수간의 차이에 대해서는 보행중의 행동으로 암수 구분이 가능할 뿐 부화시의 암수 판정이 불가능하다고 밝혔다(Korenaga, 1983). 참고로 Willard(1973)는 *Aonidiella aurantii*가 감귤 품종에 따라 다르긴 하나 야외에서 평균 186분 걸리는 것으로 보고하고 있다.

화살각지벌레 부화 약충의 보행을 보면 이미 알려진 것과 같이 수컷 약충은

은 암컷 성충이 기생하고 있는 잎에서 다른 잎으로 이동하는 일이 없고, 반대로 암컷 약충은 암컷 성충이 기생하고 있는 잎에 머무는 경우가 적다. 따라서 한 나무 안에서 분산, 이동을 보자면 암컷 약충의 보행만을 보는 것이 좋다고 보고하고 있다(Korenaga, 1983).

본 논문에서는 위에서 설명된 것과 같이 부화 약충의 부화개시부터 정착까지의 시간을 구명하고, 모션 트래킹 기술(Motion Tracking Technology 이하 ‘모션 경로 추적 기술’이라 칭함)을 이용하여 부화 약충의 이동 경로 및 정착 전까지의 행동양상을 분석하고자 한다.

본 논문에서의 모션 경로 추적 기술(Motion Tracking Technology)이란, 실제 촬영한 영상에 그래픽을 합성 할 때 촬영한 피사체의 움직임을 추적하여 좌표점을 알아낸 뒤, 그 좌표점을 그래픽에 복사하여 화면속의 움직임과 같게 나타내는 것이라 설명할 수 있다.

모션 경로 추적 기술은 전기, 전자, 미디어(방송, 영화, 광고 등), 의학, 기계, 로봇분야 등 이미 전 산업분야에 다양한 방법으로 널리 사용되고 있는 기술이며, 단편적인 예로 가정에 설치된 현관의 센서등 역시 몸짓 및 동작을 감지해 자동으로 조명이 켜지고, 일정시간 동안 움직임이 없으면 조명기구에 내장된 타이머를 통해 자동으로 꺼지게 되는 원리로 큰 범주 안에서 위 기술을 이용한 조명기구라고 할 수 있다.

모션 경로 추적 기술을 이용하여 발표된 사례를 몇 가지 살펴보면, 움직이는 영상을 통해 여러 가지 다양한 환경에서 획득한 영상에 적용하여 실시간으로 추적이 가능하다(류성희 등, 2001; 박천주 등, 2002; 설성욱 등, 2004; 이규원, 2007). 의료분야에서 널리 사용되고 있는 Markerless Motion Capture 방법은 마커를 인체에 부착해서 관찰했던 방식과는 달리 인체에 마커를 부착하지 않고 단일 카메라를 이용하여 인체의 움직임을 캡처하여 동작분석하고 모션 경로를 추적하는 방법을 구현했다(유선준 등, 2007; 안세종 등, 2011). 움직임 각도의 주파수 분석을 통한 활동성 분석(김철기, 2007) 및 보안·감시망(CCTV 등)에도 컬러(Color)를 이용한 모션 경로 추적 기술이 사용되고 있다(이진형 등, 2007; 신수미 등, 2001). 거울 신경 세포의 발화 원리를 이용한 보이지 않는 부분에 대한 객체의 움직임을 추적하는 방법을 3차원 재구축 방법을 통해 카메라 시야 및 가려진 부분에

대한 객체의 원래의 모습 복원을 통한 움직임 추정했다(박준형 등, 2011).

위와 같이 모션 경로 추적 기술은 보안·방범·감시망·의료·전기·전자 분야 등 다양한 분야에서 이미 사용되고 있는 기술이다.

III. 재료 및 방법

1. 화살깍지벌레 부화 약충의 감굴 앞에서의 정착행동 특성

1.1. 수컷 약충의 분포양식 특성

수컷 약충의 감굴 앞에서 정착 양식특성을 알아보기 위하여 정착(편향)각도 및 정착군집 내에서 개체들의 분포양식을 분석하였다. 분석에 필요한 시료는 2013년 5월 2일부터 10월 2일까지 제주시 아라동과 오라동, 그리고 서귀포시 남원읍 각 1개 과원에서 각각 20엽씩 1주일 간격으로 총 30회 채취하였고, 제주시 온난화대응연구센터에서 70엽 등 총 1,870엽의 감굴 잎을 채취하여 확보하였다.

각 지역에서 잎을 채취하고 채취된 잎에 있는 수컷 약충의 군집을 총 42장을 촬영하여 분석에 이용하였다. 사진 촬영은 1,870엽 중 수컷 군집이 많이 발생된 잎을 선정하였다. 실체 현미경(SMZ-1500, Nikon, JAPAN), 디지털 카메라(Micropublisher 3.3 RTV, Q imaging, CANADA), 접안 마이크로미터(MBM 12100, Nikon, JAPAN)와 사진 분석 프로그램(ImagePro 5.1, MediaCybernetics, USA)을 이용하여 촬영하고, 촬영된 사진을 이용하여 수컷의 정착 각도를 측정하였고, T-square sampling distance(T-제공표본조사법)을 이용하여 정착군집 내 분포특성 양상을 분석하였다.

정착각도 측정은 임의의 개체를 기준으로 편향 각도를 측정하였는데(Fig. 1.), 총 121개 수컷 정착 군집에서 각 15 개체를 임의로 선정하여 편향각도를 측정하였다. 이렇게 얻은 모든 자료를 합하여 편향각도 범위(15° 간격)에 따른 개체들의 빈도수를 분석하였다.

T-제공표본조사법에 따른 거리측정 방법(Fig. 2.)은 우선 무작위로 'O' 지점을 선택하고 지점 'O'에서 가장 가까이 있는 개체 'P'까지 거리 x 를 측정하였다. 그 다음 선 OP에 직각인 선의 반대편에서 'P'와 가장 가까이 있는 개체 'Q'까지 거리 y 를 측정하였다. 앞에서 수집한 사진자료를 이용하여 총 220개의 측정값을 분석하였다.



Fig. 1. The measurement method for the settlement angle of *Unaspis yanonensis* male nymphs; the biased angles from parallel line to a randomly selected nymph (head to body end) were measured.



Fig. 2. T-square sampling distances used for the analysis of distribution pattern of *Unaspis yanonensis* male nymphs in the cluster; x = distance between point Q and the nearest individual P, and y = distance individual P and its nearest neighbor Q. Individuals that lie in the same "half-plane" as O (i.e. below the line perpendicular to OP) are excluded when selecting Q (Ludwig & Reynolds, 1988).

위 자료들을 활용하여 Ludwig & Reynolds(1988)가 제시하는 방법에 따라 공간분포양상(T-square index of spatial pattern)을 나타내는 C-지수값과 분산지수 I-값(The distance index of dispersion)을 구하였다.

C-지수값의 계산식은 아래와 같았다.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N \left[\frac{x_i^2}{x_i^2 + \frac{1}{2}(y_i^2)} \right]}{N} \quad (1)$$

C-값이 0.5(= 1/2)이면 임의분포이고, C-값이 0.5보다 크면 집중분포이며, C-값이 0.5보다 작으면 균일분포를 나타내는 값이다.

C-값의 검정통계량은 아래와 같은 식을 이용하여 계산하였다.

$$Z = \frac{C - 0.5}{\sqrt{1/12N}} \quad (2)$$

C-값은 정규분포를 하는 것으로 간주하였고, 5 % 유의수준에서 Z의 임계값은 1.96을 적용하였다.

분산지수 I-값은 아래와 같이 계산하였다.

$$I = (N+1) \frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2)^2}{\left[\sum_{i=1}^N (x_i^2) \right]^2} \quad (3)$$

I-값이 2와 같으면 임의분포이고, 2보다 크면 집중분포, 2보다 작으면 균일분포를 나타내는 지수이다.

I-값의 검정통계량은 아래와 같은 식을 이용하여 계산하였다. 표본의 크기가 100 부근에 있을 때 정규분포를 하는 것으로 간주하였다.

$$Z = \frac{I - 2}{\sqrt{4(N-1)/(N+2)(N+3)}} \quad (4)$$

1.2. 부화 약충의 이동경로 및 정착행동

정착행동 촬영 : 부화 약충의 정착경로와 행동을 알아보기 위하여 동영상으로 촬영하여 분석하였다. 촬영은 2013년 8월 5일부터 9월 6일까지 총 33일간 24시간 연속 촬영하였으며, 1일 2회 12시간마다 메모리 카드를 교체하면서 총 6개 반복구를 촬영하였다. 촬영은 실험실에서 진행하였으며 실내 온도는 24℃~25℃을 유지하였다. 광조건은 CleanBench안에서는 40w 형광등(F140-75) 2개를 24시간 켜 두었으며, 그 외 실험실의 광조건은 32w 형광등(FHF32SSEX-D) 7개를 오전 8시 30분부터 저녁 6시 30분까지 켜 두었다가 소등하였다. 촬영장비 제조회사는 SONY이며, HDR-PJ660(20.4 MEGA PIXELS) 모델의 캠코더를 사용하였다.

촬영대상 화살각지벌레는 암컷성충 한 마리가 포함되도록 감귤 잎을 2×2 cm 크기 절편으로 잘라내어 마련하였다. 그 다음 잎 절편을 물에 적신 스펀지 위에 놓았으며, 이 때 잎 절편의 부착을 쉽게 하기 위하여 절편과 스펀지 사이에 탈지면을 추가로 놓았다. 캠코더의 화면에 2×2 cm 잎 절편이 충분히 들어가도록 촬영거리를 조절하였으며, 대략 2 cm의 거리가 유지되었다.

분석방법 : 동영상은 EDIUS ver.5.10을 사용하여 기본편집을 하였다. 촬영된 영상은 파일용량이 크며, 부화 약충의 이동시간과 약충이 나오는 시간이 지연이 되므로 본 프로그램을 이용하여 영상속도를 × 9,000배 속도로 인코딩하여 영상속도는 높이고 파일용량도 줄였다. 프레임 수는 29.97 fps, 영상해상도(크기)는 1280×720가 적용되었다. 녹화자료를 약충 압수로 구분하여 개체 단위로 편집하여 사용하였다.

암수 약충의 정착까지 이동경로를 추적하기 위하여 Adobe After Effects CS 6 프로그램을 사용하였으며, 모션 경로 추적 기술(Motion Tracking Technology)을 이용하여 분석하였다. 분석 대상 변량은 90° 이상 회전횟수, 잎 경계면과의 접촉 횟수, 암컷 성충과의 접촉횟수 등 이었다(Fig. 3A.). 수컷의 경우는 정착의 방향성을 규명하기 위하여 최후 접촉된 약충과의 정착각도를 측정하여 분석하였다

(Fig. 3B.). 또한 정착시간의 길이를 측정하여 분석하였는데, 수컷 약충의 경우 이미 정착되어 있는 다른 약충(수컷)의 존재 조건에 따라 정착시간을 분석하였다 (1~2마리 정착 vs 5마리 이상 정착조건).

정착시간은 분산분석 및 Tukey 검정을 통하여 분석하였으며, t-검정(two sample)을 이용하여 회전횟수, 잎 경계면과의 접촉횟수, 암컷성충과의 접촉횟수 등을 검정하였다.

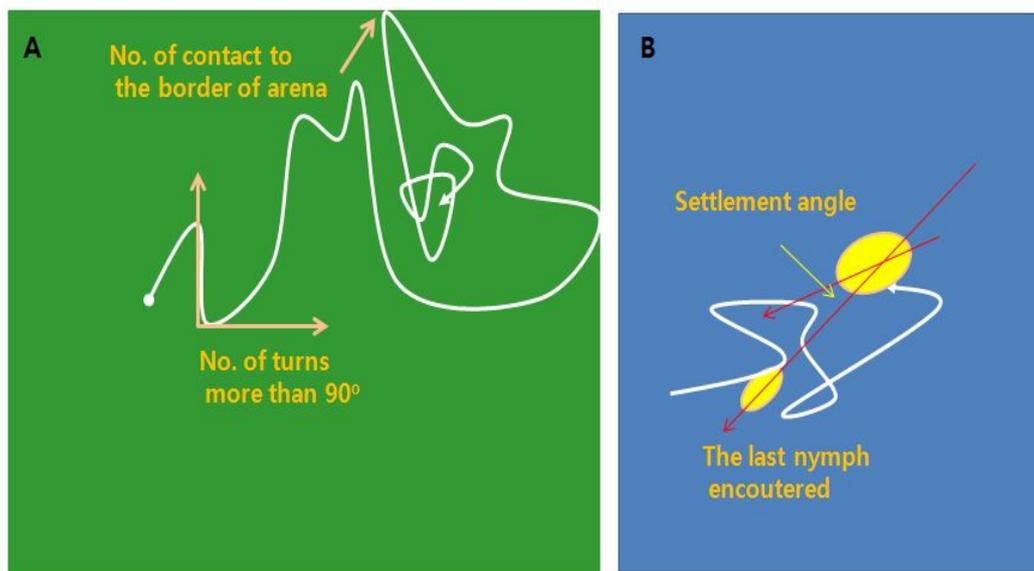


Fig. 3. The variables measured to analysis the moving path of *Unaspis yanonensis* nymphs.

2. 암컷의 정착행동이 포식자로부터의 공격회피에 미치는 영향

2.1. 앞 표본채취

2013년 7월 24일부터 8월 28일까지 제주시 아라동과 오라동 각 1개 과원 및 서귀포시 남원읍 소재 1개 과원에서 1주일 간격으로 총 6회, 시기별 각 지역에서 20엽 중 360엽을 채취하여 분석하였다.

2.2. 정착형태의 구분

암컷의 정착행동이 포식자로부터의 공격회피에 미치는 영향을 알아보기 위하여 두 가지 실험 및 분석을 하였다.

첫 번째 실험은 암컷의 중복정착 여부에 따라 포식자로부터의 영향을 알아보기 위하여 아래 그림과 같이 독립정착 성충과 중복정착 성충을 구분하였다(Fig. 4A). 중복정착은 겹치는 정도에 따라 50 %, 30 %, 10 %로 세 가지 범주로 구분하였다.

두 번째 실험은 암컷이 수컷군집 내부 또는 외부 등 정착위치에 따른 포식자로부터의 영향을 분석하였다(Fig. 4B). 그림과 같이 수컷이 정착하여 군집을 형성한 내부에 정착하는 경우와 수컷 군집 외부에 정착한 암컷으로 구분하였다.

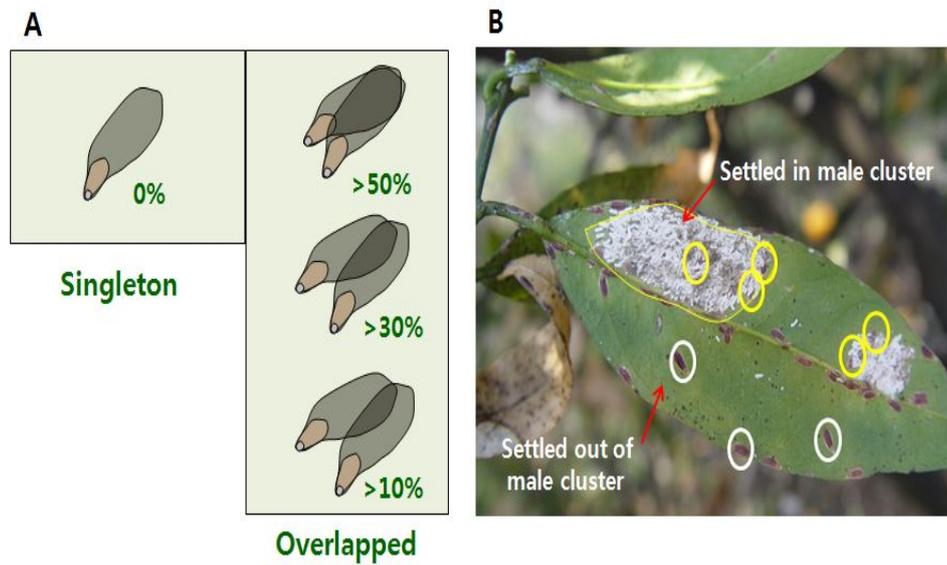


Fig. 4. The category in the settling behavior of *Unaspis yanonensis* females. The division of overlapped settlement (A) and settlement position (B) of females.

2.3. 조사방법

감귤 잎 앞면과 뒷면에서 암컷 및 수컷 성충수를 조사하였으며, 암컷 성충을 대상으로 중복정도에 따른 개체수를 조사하였다. 두 마리 이상의 암컷이 겹쳐진 경우는 편의상 모두 1마리로 간주하였다. 또한 수컷군집 내부와 외부로 구분하여 암컷수를 기록하였다.

대표적인 화살각지벌레 포식성 천적인 애홍점무당벌레로부터 포식당한 개체수를 조사하였는데, 등껍질에 상처를 입은 개체를 포식당한 개체로 취급하였다 (Kim *et al.*, 2007).

2.4. 분석방법

잎 내에 정착한 암컷 또는 수컷의 밀도에 따라 암컷의 중복정착 행동이 증가하는지를 분석하기 위하여 암컷 또는 수컷밀도와 중복정착 개체수 간의 상관관계를 분석하였다. 암컷의 중복정착 여부 및 정착위치에 따른 천적의 공격율은 t-검정을 이용하여 분석하였다.

IV. 결 과

1. 화살깍지벌레 부화약층의 감굴 앞에서 정착행동 특성

1.1. 정착한 수컷 약층의 분포양식 특징

화살깍지벌레 수컷 약층의 감굴 앞에서 정착행동 특성을 알아보기 위하여 정착각도를 측정한 결과 Table 1과 같은 결과를 얻었다. 기준 개체를 중심으로 좌측으로 0°에서 15°의 편향각도를 유지하는 개체수는 192마리였으며, 우측으로 0°에서 15°의 편향각도를 유지하는 개체수는 212마리였다. 좌우측 15° (즉 30° 범위) 범위에서 63 %의 개체가 포함되었고, 30° (즉 60° 범위) 범위에서는 86.1 %의 개체가 포함되었다(Fig. 5).

수컷 약층 정착군집의 분포양상을 분석하기 위하여 T-제공표본조사법을 이용하여 얻은 x와 y-거리의 관계는 Fig. 6과 같았다. 그림과 같이 x가 증가함에 따라 y 값도 증가하는 경향을 나타냈다. 이 자료를 이용하여 추정된 공간분포양상을 나타내는 C-지수와 분산거리지수 I-값은 Table 2와 같았다. 정착된 수컷 부화 약층 군집내에서 최인접 개체와의 평균거리는 0.45 mm 로 분석 되었다.

공간분포양상 C-지수값은 0.58을 보였고, 이 값이 0.5와 같은지 검정통계량을 계산하여 검정한 결과 통계적으로 유의하게 차이가 있어서 집중분포(clump)를 하는 것으로 나타났다.

분산지수 I-값은 2.29를 보였고, 2.0과 같은지 통계 검정한 결과 통계적으로 차이가 없었으며, 따라서 임의분포(random)를 하는 것으로 나타났다.

Table 1. Frequency distribution of settlement angle (left or right direction) from randomly selected nymph of *Unaspis yanonensis* in male clusters on citrus leaves.

Angle range (Left)	Frequency	Angle range (Left)	Frequency
0-15	192	0-15	212
15-30	48	15-30	100
30-45	30	30-45	31
45-60	4	45-60	11
60-75	4	60-75	0
75-90	1	75-90	1
90-105	1	90-105	0
105-120	1	105-120	1
120-135	0	120-135	0
135-150	0	135-150	0
150-165	2	150-165	0
165-180	2	165-180	0

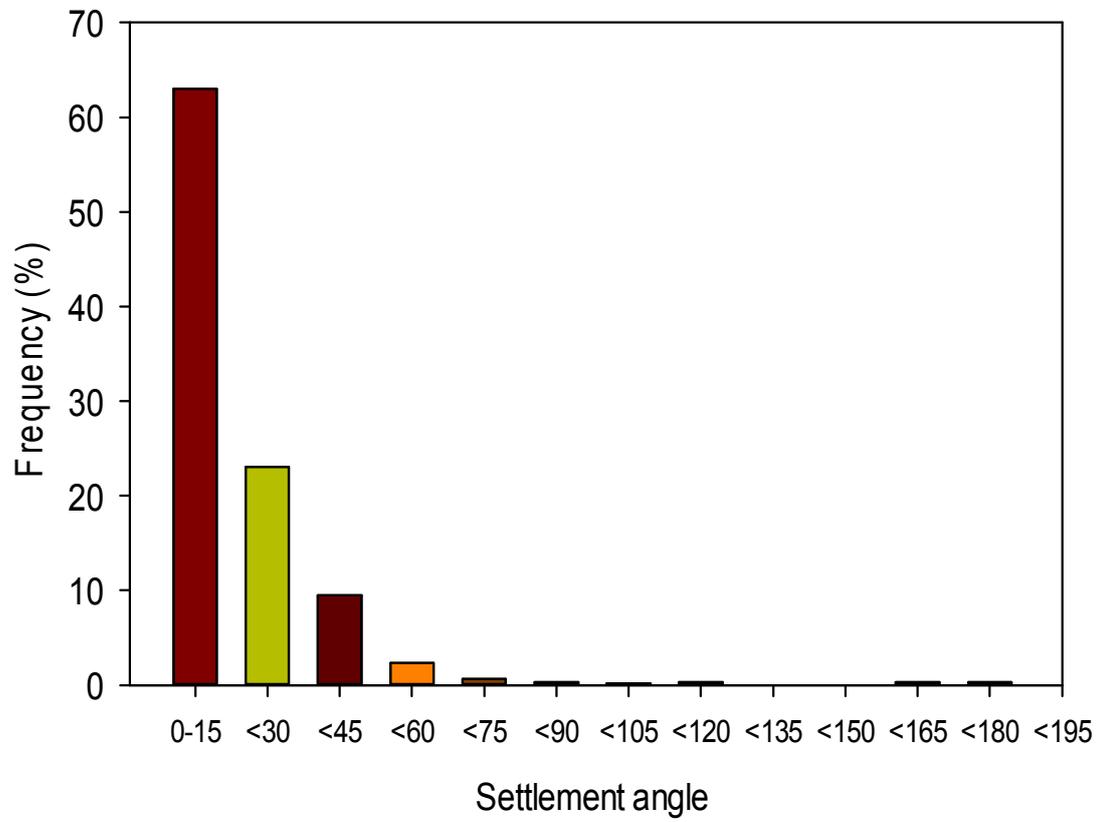


Fig. 5. Frequency distribution (%) of settlement angle (all data combined) from randomly selected nymph of *Unaspis yanonensis* in male clusters on citrus leaves.

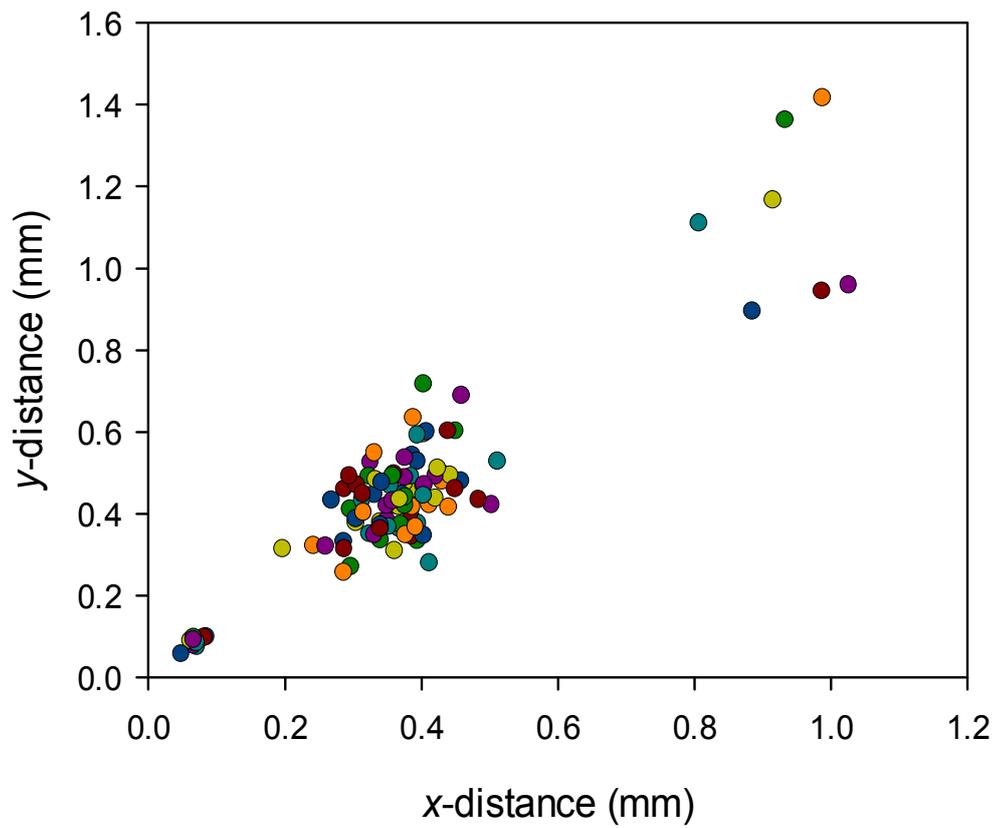


Fig. 6. The x - and y -distance plot of T-square distance in the male cluster of *Unaspis yanonensis* on citrus leaves.

Table 2. T-square index of spatial pattern (C) and distance index of dispersion (I) and their statistical test in the distribution pattern of the hatched nymphs of *Unaspis yanonensis* on citrus leaves.

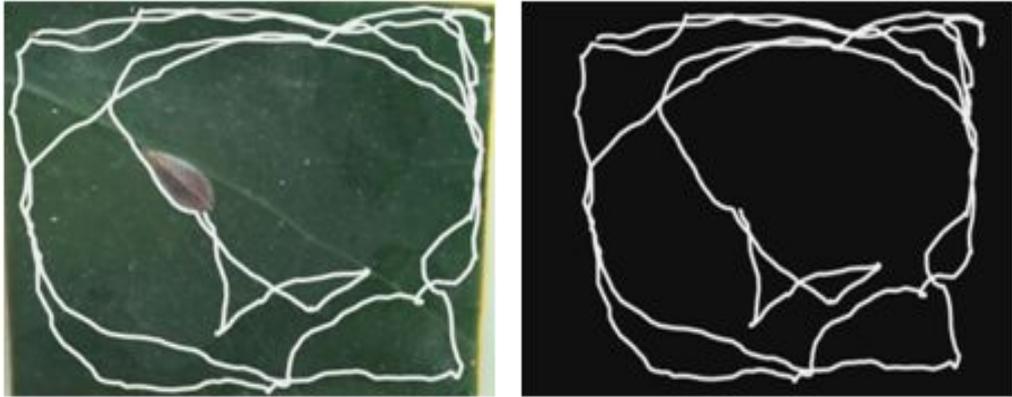
	Estimated	Ho-hypothesis	Z-statistics	Result
Mean distance \pm SE (mm)	0.45 \pm 0.022			
C-value	0.58	C = 0.5	3.05	Clumped
I-Value	2.29	I = 2.0	1.55	Random

1.2. 부화 약층의 정착이동경로 및 정착행동

1.2.1. 정착이동경로 특성

모션 경로 추적 기술(Motion Tracking Technology)을 이용하여 얻은 암컷 및 수컷 약층의 이동경로의 대표적인 형태는 Fig. 7과 같았다.

암컷의 부화 약층은 어미 깍지 밑에서 기어 나온 후 앞 절편의 경계면에 영향을 받으면서 크게 이동하는 모습을 보였다. 반면 수컷 약층은 암컷 약층과는 달리 앞 절편 경계면의 영향을 거의 받지 않으면서 좁은 범위 굴곡이 심한 이동경로를 보여주었다.



A : Moving path of female



B : Moving path of male

Fig. 7. Typical examples of moving path of *Unaspis yanonensis* hatched nymphs.

1.2.2. 기정착 약층과의 접촉 및 90° 이상 회전 횟수

암컷과 수컷의 정착때까지 이동경로 차이를 분석하기 위하여 이미 정착되어 있는 약층(수컷)과의 접촉횟수와 90° 이상 회전 횟수를 비교한 결과 Fig. 8과 같았다. 수컷 약층은 암컷 약층보다 기정착된 약층과의 접촉 횟수가 통계적으로 유의하게 많았음을 알 수 있었다. 암수 약층의 회전횟수를 비교해보면 수컷 약층이 암컷 약층보다 훨씬 더 많이 회전하는 경향을 보였다.

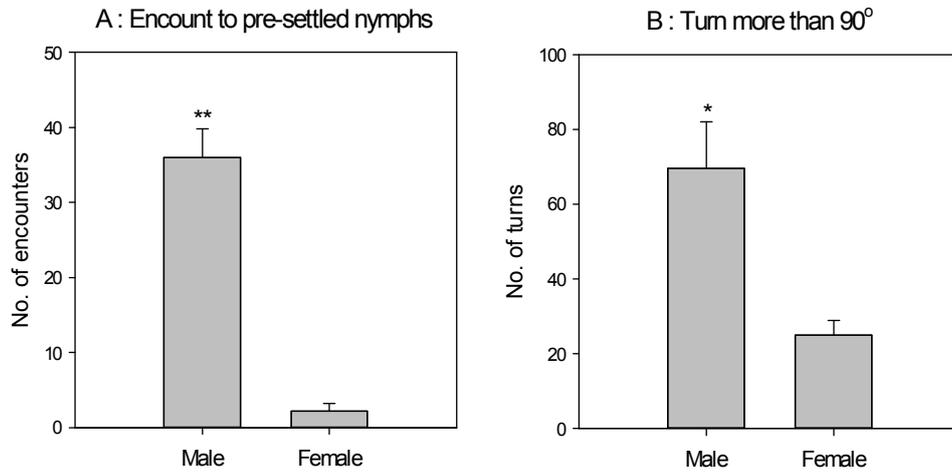


Fig. 8. Comparison of moving path in the number of encounters to the pre-settled nymphs (A) and turns ($> 90^\circ$) (B) between hatched females and males of *Unaspis yanonensis* on experimental arena. The vertical bars on the bars are standard error. ** significant at $p = 0.01$, * significant at $p = 0.05$ by two sample t-test.

1.2.3. 암컷 성충 및 잎 경계면과 접촉횟수

암수 약충들의 정착까지 이동경로에서 암컷 성충 및 잎 경계면과의 접촉횟수는 Fig. 9와 같았다. 암컷성충과 접촉 횟수는 암수 약충 간 유의한 차이가 없었다. 그러나 잎 경계면과 접촉한 횟수는 암컷이 수컷 약충 보다 유의하게 많았다.

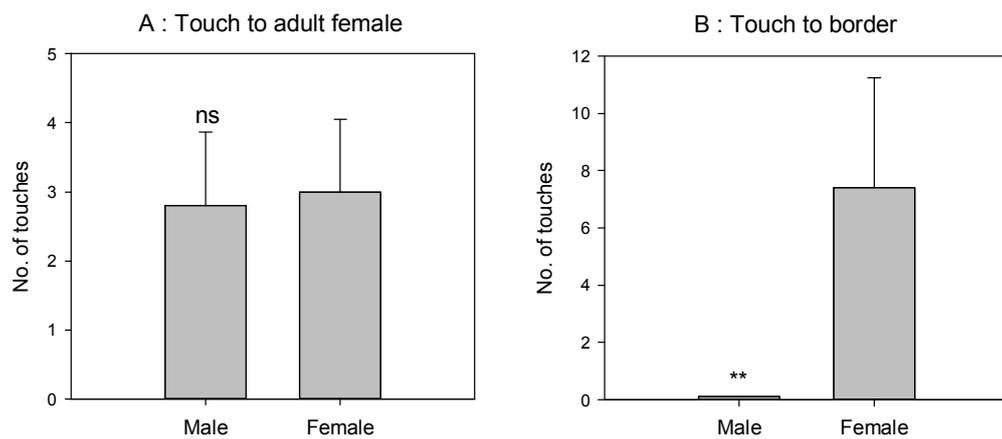


Fig. 9. Comparison in the number of touches to the adult female (mother) (A) and the border of arena (B) between hatched females and males of *Unaspis yanonensis* on experimental arena. The vertical bars on the bars are standard error. ** significant at $p = 0.01$, ^{ns} not significant at $p = 0.05$ by two sample t-test.

1.2.4. 암수 약충의 정착시간

화살각지벌레 약충의 정착시간은 암수에 따라 달랐으며, 또한 수컷 약충의 경우 이미 정착된 다른 수컷의 약충의 존재에 따라 달랐다(Fig. 10). 기정착된 수컷 약충들의 개체수가 2마리 이하 상태에서 새로 나온 수컷 약충의 정착시간은 기정착 수컷 약충이 5마리 이상 있었을 때 보다 유의하게 길었다. 기정착 수컷 약충 2마리 이하 조건에서 암컷 약충의 정착시간은 수컷 약충의 정착시간 보다 유의하게 짧았고, 5마리 이상 조건의 수컷 약충 정착시간 보다는 길었다.

1.2.5. 수컷 부화 약충 정착각도 측정결과

수컷 부화 약충이 정착이전 마지막으로 조우한 수컷 약충의 방향을 기준으로 했을 때 평균정착(편향)각도($n=5$, Mean \pm SE)는 11.4 ± 5.61 로 일치성을 보였다.

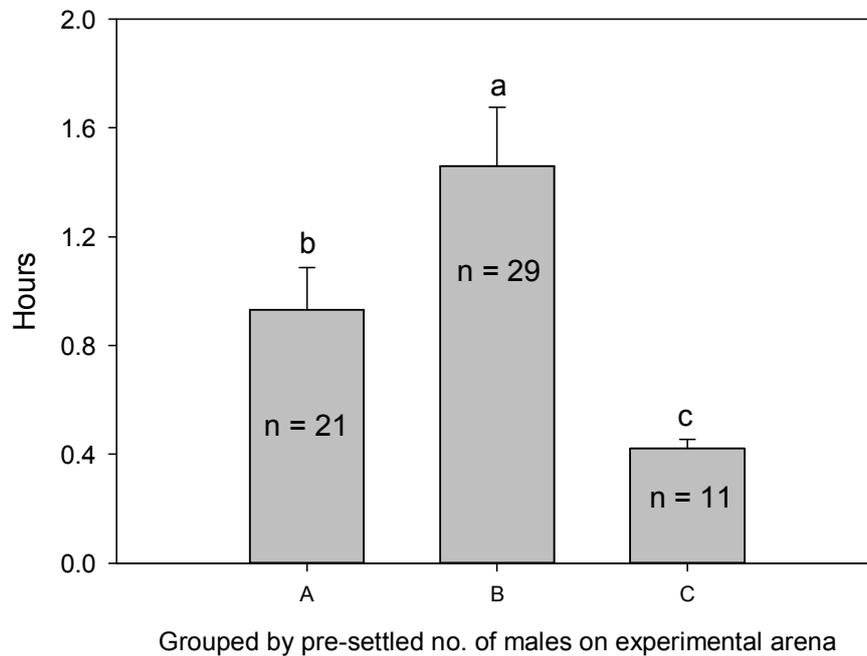


Fig. 10. Times (hours) required for the settlement of *Unaspis yanonensis* nymphs after hatching according to the distinction of sex and pre-settled condition of males on experimental arena. Pre-settled condition: Less than 2 males in A and B, and more than 5 males in C (A: Settlement time of female nymphs, B & C: Settlement time of male nymphs). The vertical bars on the bars are standard error. The same letters on bars are not significantly different by tukey test at $p = 0.05$.

2. 암컷의 정착행동이 포식자로부터의 공격회피에 미치는 영향

2.1. 자연상태에서의 독립 및 중복 정착율

자연포장 상태에서의 암컷성충의 중복정착 정도에 따른 분포빈도는 Table 3과 같았다. 평균 중복 정착율은 7.9 % 이었으며 92.1 % 개체는 단독으로 정착하는 것으로 나타났다. 중복정착 정도에 따라서는 50 % 이상 중복을 보이는 비율이 2.1 % 이었다.

Table 3. Frequency distribution of overlapped females of *Unaspis yanonensis* in the field.

Orchard field	n	singleton	Overlapped range			Total
			>50%	50 - 30%	>10%	
Jeju Ara-dong	2,115	1,967(93.0)	35(1.7)	35(1.7)	78(3.7)	148(7.0)
Jeju Ora-dong	1,502	1,426(94.9)	13(0.9)	14(0.9)	49(3.3)	76(5.1)
Seogwipo Namwon	2,813	2,526(89.8)	87(3.1)	70(2.5)	130(4.6)	287(10.2)
Mean ± SE		1973.0 ± 317.56 (92.1)	45.0 ± 21.94 (2.1)	39.7 ± 16.33 (1.9)	85.7 ± 23.69 (4.0)	170.3 ± 61.93 (7.9)

2.2. 잎 내 암수 밀도에 따른 중복정착율

자연 상태에서의 감귤 잎에 암컷 성충의 발생밀도(밀집정도)에 따라 암컷 성충의 중복정착 상관관계를 분석한 결과 Fig. 11과 같았다. 대부분의 경우에 상관관계가 없었으며, 다만, 제주시 아라동 지역 자료에서 중복 정착율이 10 % 이상인 경우에 $r = 0.43$ ($p < 0.05$)로 낮은 정상관 관계가 있었다.

감귤 잎에 수컷의 밀도에 따른 암컷 성충의 중복 정착율은 통계적으로 유의한 상관관계가 나타나지 않았다(Fig. 12).

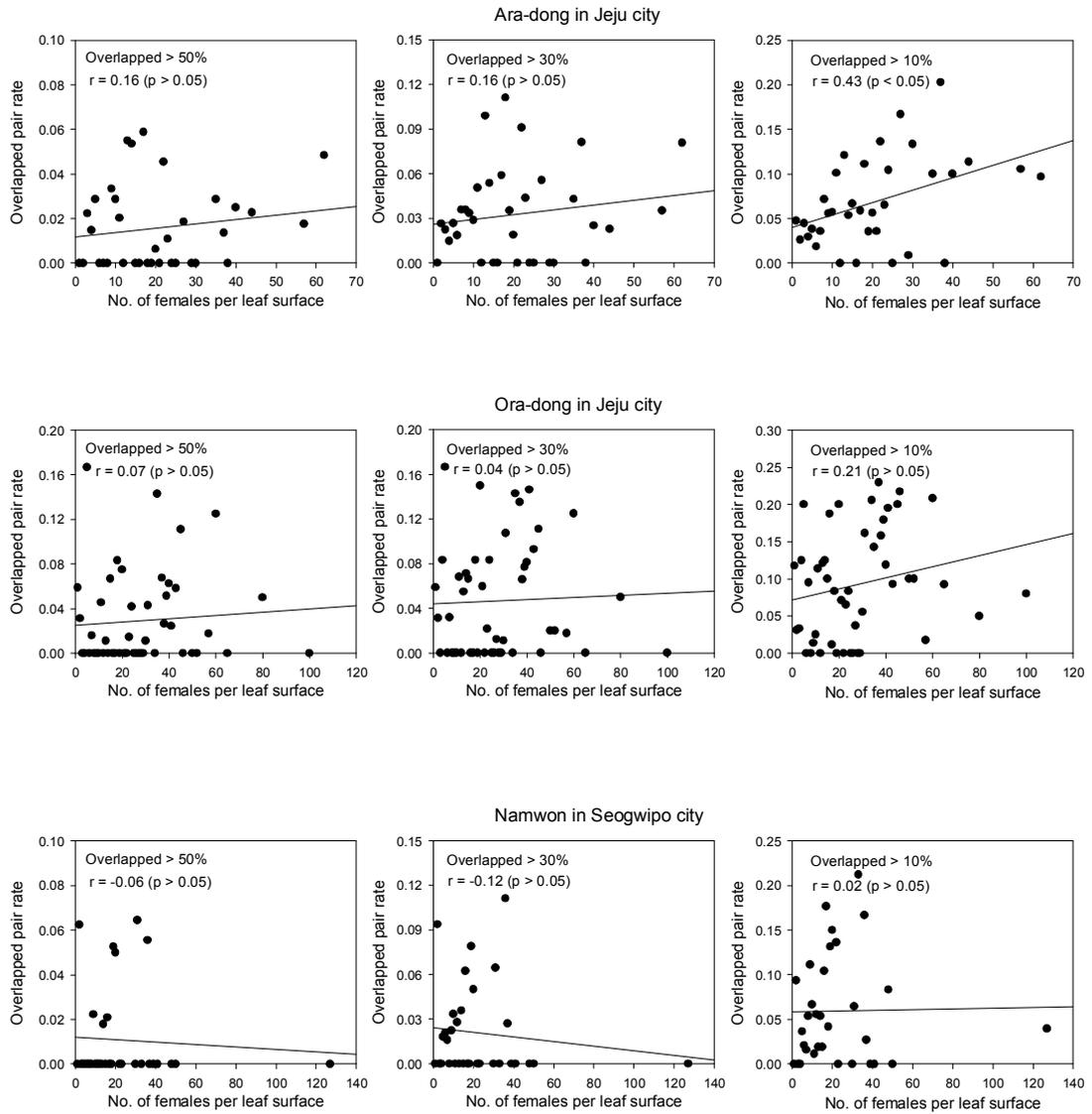


Fig. 11. The results of correlation analysis between the number of overlapped females and female density of *Unaspis yanonensis* per leaf.

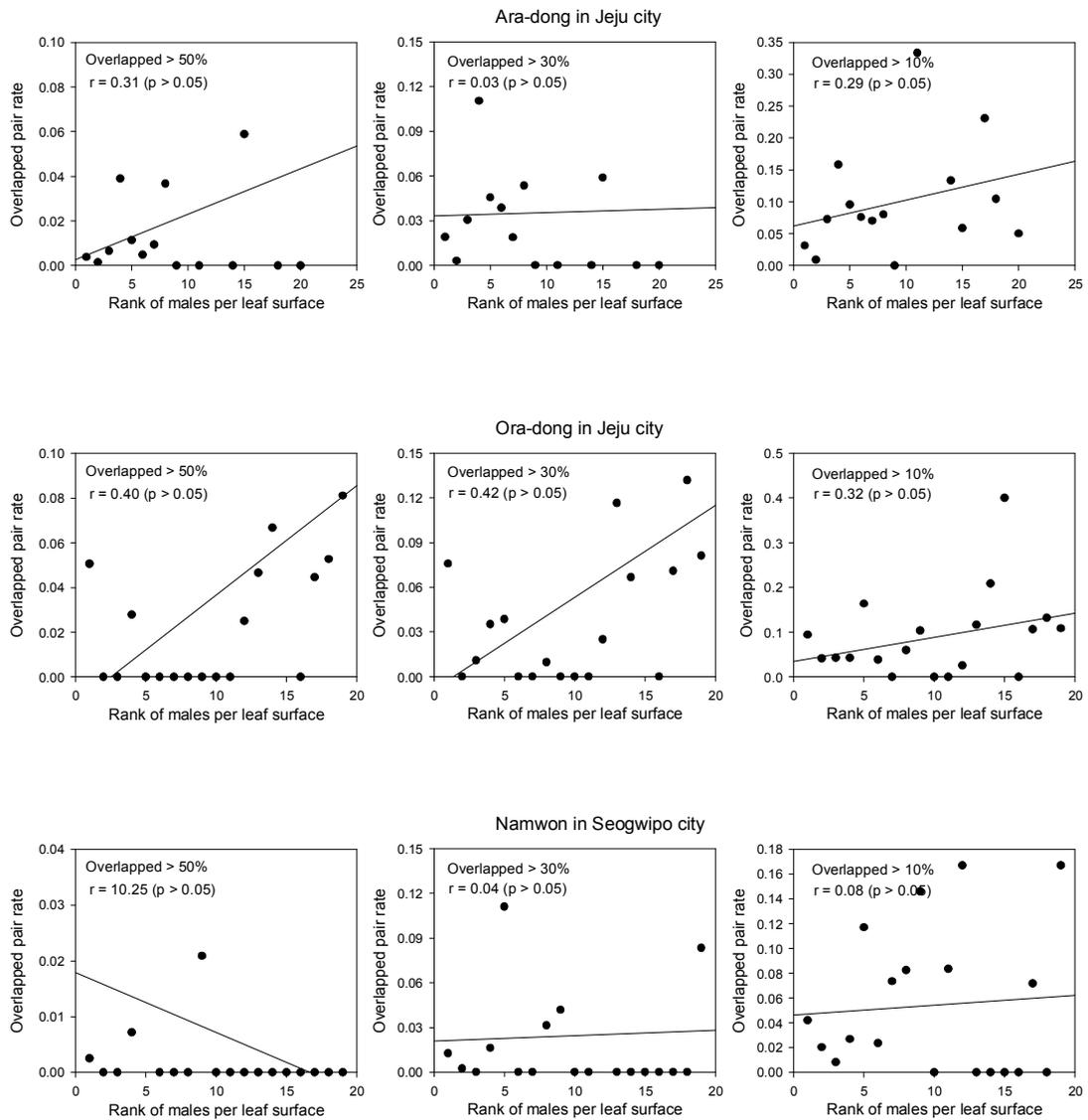


Fig. 12. The results of correlation analysis between the number of overlapped females and male density of *Unaspis yanonensis* per leaf.

2.3. 암컷 성충의 중복정착에 따른 포식자로부터의 피해 정도

자연 상태에서의 감귤 잎에 정착된 암컷 성충의 정착형태에 따른 포식자로부터의 피해 양상을 분석하였다. 중복 정착된 암컷 성충은 독립적으로 존재하는 암컷 성충에 비해 포식자로부터 많은 포식을 당했다(Fig. 13.).

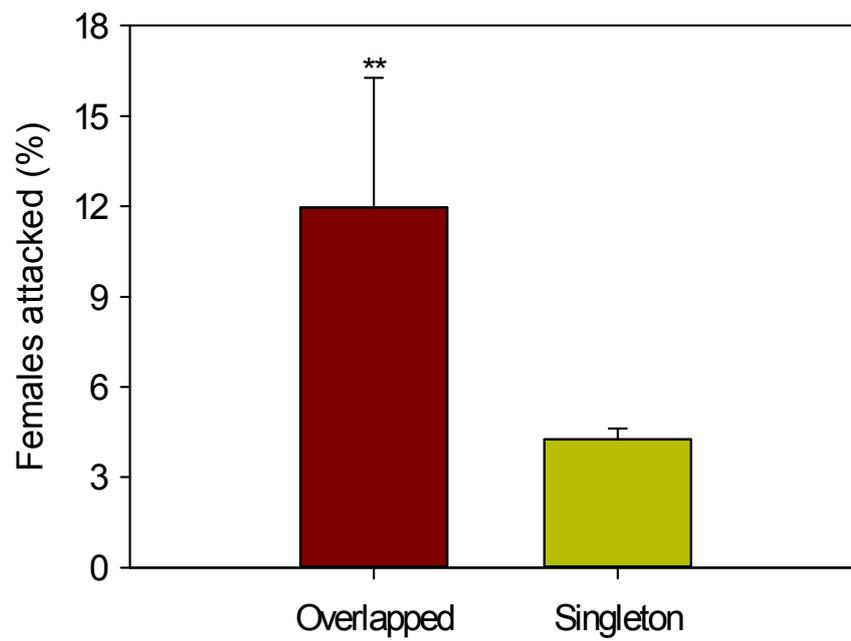


Fig. 13. Comparison of *Unaspis yanonensis* females attacked by predacious natural enemy *Chilocorus kuwanae* according to the overlapping state of females. The vertical bars on the bars are standard error. ** significant at $p = 0.01$ by two sample t-test.

2.4. 암컷 성충의 정착 위치에 따른 포식자로부터의 피해 정도

자연 상태에서의 감귤 잎에 정착된 암컷 성충이 수컷 군집내부 및 외부에 정착 형태에 따른 피해를 분석하였다. 수컷 군집 외부에 있는 암컷 성충은 포식자로부터 포식을 많이 당했다. 하지만, 수컷 군집내부에 정착되어 있는 암컷 성충은 수컷 군집외부에 정착되어 있는 것과 비교해보면 포식자로부터 포식을 당하는 비율이 감소하였다(Fig. 14).

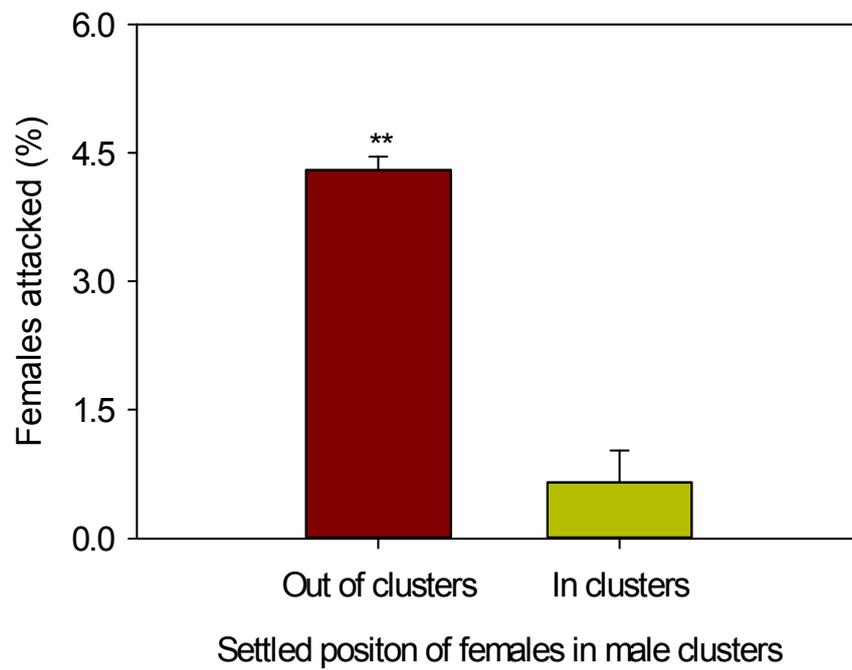


Fig. 14. Comparison of *Unaspis yanonensis* females attacked by predacious natural enemy *Chilocorus kuwanae* according to the settled sites in/out of male clusters. The vertical bars on the bars are standard error. ** significant at $p = 0.01$ by two sample t-test.

V. 고찰

다른 깍지벌레과 해충의 경우와 같이 화살깍지벌레도 부화 약충기에 한하여 분산활동이 일어난다(Ohkubo, 1978; Korenaga, 1983). 부화 약충이 정착하여 2령으로 탈피할 때 다리가 퇴화되기 때문에 다른 발육단계에서는 이동할 수 없다. 다만, 수컷의 경우는 약충기간 동안 고착생활 후 성충기에는 날개가 있기 때문에 암컷과 교미하기 위하여 이동할 수 있다(Kuwana, 1923; Seo *et al.*, 2008).

화살깍지벌레 암수는 정착형태가 다른데 수컷 약충은 수십에서 수백마리까지 무리를 지어 군집을 이루며 정착한다(Seo *et al.*, 2008). 본 연구결과 수컷 군집내에서 수컷 개체들의 분포양식은 집중 또는 임의분포를 하는 것으로 나타났다. 분포양식을 판정하는 통계량인 C-지수는 0.58로 유의성 검정결과 집중분포를 나타내는 0.5보다 크다는 것이 인정되었다. 반면 I-지수는 2.29로 2보다 유의하지 크지 않다고 판정하여 임의분포를 나타냈다. 종합적으로 판단하면, 분포양식을 나타내는 지수값이 집중분포를 나타내는 기준값 보다 훨씬 더 큰 값이 아니기 때문에 화살깍지벌레 수컷 약충의 분포양식은 기본적으로 임의분포를 하고, 약한 집중경향을 보이는 것으로 판단된다.

같은 수컷 군집 내 정착한 화살깍지벌레 개체들은 일정한 방향성을 유지하며 정착하는 것으로 나타났다. 즉 수컷 약충의 86.1 %가 좌우 30° 범위에서 일치성을 보여 주었다. 따라서 화살깍지벌레 수컷 약충이 무리를 지어 정착하는 행동은 어떤 생물학적인 기작에 의하여 조절되는 것으로 보인다. 이러한 기작은 수컷 약충이 정착이전 접촉한 약충의 방향과 거리 등과 관련이 있을 것으로 판단되며, 향후 추가적인 연구가 필요하다.

화살깍지벌레 암수 약충의 정착까지 이동경로를 비교한 결과 유의하게 차이가 있는 것으로 나타났다. 첫째, 수컷 약충은 기존 정착해 있는 약충(수컷)에 접촉횟수가 유의하게 많았다. 둘째, 수컷 약충은 90° 이상 방향전환 횟수가 유의하게 많았다. 셋째, 수컷 약충은 잎의 경계면에 영향을 훨씬 적게 받았다. 이러한 행동을 종합하면 수컷 약충은 기존 정착된 약충과 접촉을 통하여 자신

의 정착장소를 결정하는 것으로 판단할 수 있다. 그러한 요인 때문에 기존 정착한 약충이 적을 때(2마리 이하)는 정착위치를 쉽게 결정하지 못하여 정착시간이 훨씬 증가했다고 이해할 수 있다. 뿐만 아니라 수컷의 증가된 방향전환 횟수는 기존 정착한 다른 약충과의 조우율을 높일 수 있는 행동이라 할 수 있다. 이러한 수컷의 정착행동 특징으로 볼 때 수컷 약충은 좁은 일정 범위 내에서 굴곡이 심한 이동경로를 유지 하면서(Fig. 7B: Male) 자신들이 태어난 어미성충 주변에서 정착하게 되는 것으로 보인다.

반면, 암컷 약충은 옆 경계면의 영향을 크게 받으면서 직선적인 이동경로를 보이고 있다(Fig. 7A: Female). 암컷은 무리를 지어 정착하지 않으므로 기존 정착한 약충과는 무관한 독립적인 행동을 보인다고 할 수 있다. 또한 옆의 경계면에 접촉회수가 많고 직선적인 이동행동은 포식성 이리응애의 이출행동에서 나타나는 대표적인 행동이다(Kim & Lee, 1994). 즉 옆에 먹이가 부족할 때 그 옆을 탈출하기 위하여 나타나는 탐색행동으로 알려져 있다. 기존 보고에 따르면 화살깍지벌레 암컷 약충이 새로운 옆으로 이동하는 것으로 알려져 있다(Seo *et al.*, 2008). 따라서 본 연구에서 제시한 암컷 약충의 이동경로는 암컷의 새로운 서식처로 이동하기 위한 분산행동으로 이해된다.

암컷과 수컷 깍지벌레는 몇 가지 측면에서 중요한 차이를 보인다(Ross *et al.*, 2010). 첫째, 수컷은 2령 약충이 된 다음부터 고착생활을 한다. 이러한 생태특성 때문에 수컷은 적은 양의 먹이자원을 필요로 하고, 일생 중 짧은 기간 동안 만 먹이자원을 이용한다. 따라서 수컷은 암컷보다 먹이자원에 대한 경쟁과 고갈에 대하여 잠재적으로 덜 민감한 반응을 보이고, 분산에 따른 위험에 적게 노출될 수 있다. 둘째, 암컷은 완전히 고착성인 반면에 수컷 성충은 기능적인 날개를 가지고 있다. 특히 수컷은 아주 민감한 페로몬 수용기를 가지고 있어서 비교적 먼 거리에서 암컷을 발견할 수 있다(Branco *et al.*, 2006). 이런 능력은 어린 수컷이 교미를 위하여 미리 분산할 필요가 없다는 것을 말해준다. 이 두 가지 요소에 기반하여 암컷 약충이 수컷 약충보다 보다 더 분산적일 것이라고 예측할 수 있으며, 화살깍지벌레 약충도 암컷이 더 분산적임을 보여주었다.

일반적으로 분산은 생존의 위험을 감수해야 하기 때문에 1령의 어린 약충은

그들이 태어난 장소에서 가까운 곳에 정착하는 것이 쉽다(Beardsley & Gonzalez, 1975; Nestel *et al.*, 1995; Gullan & Kosztarab, 1997). 이는 약충이 먹이자원에 대한 경쟁에서 덜 민감한 수컷에 적용될 수 있다. 하지만, 암컷은 먹이자원의 이용측면에서 태어난 장소보다는 새로운 장소로 이동하는 것이 더 유리할 수 있다. 즉 태어난 장소(잎)는 이미 전세대의 개체들이 점유하고 있어서 극심한 먹이자원의 경쟁을 피할 수 없을 것이다. 따라서 화살깍지벌레의 암컷은 종족보존을 위한 생존율을 높이기 위하여 분산을 발달시킨 것으로 보인다. 실제 감굴원에서 당해 연도 새로 출현한 신선한 봄 잎에는 이동성이 있는 암컷만이 발견되는 것으로 보고되었다(Seo *et al.*, 2008). 이렇게 화살깍지벌레의 암수에 따른 분산행동의 차이는 감굴나무 잎의 발생 시기에 따라 암수 개체군의 분포가 달라지게 할 수 있다. 또한 방제적 측면에서 봄순에 대하여 집중적으로 방제를 실시하는 경우 암컷의 밀도를 억제하여 다음세대 발생을 감소시킬 수 있을 것이다.

수컷의 군집형 정착행동은 생태적으로 중요한 의미가 있을 수 있다. 보통 동물의 집단행동 또는 무리형성은 천적에 대한 방어행동으로 알려져 있다(Matthews & Matthews, 1978). 화살깍지벌레의 경우는 암컷을 천적으로부터 보호하기 위한 일종의 방어행동으로 해석할 수도 있겠다. 즉 수컷 군집에 정착한 암컷이 천적으로부터 공격을 당하는 비율이 훨씬 낮았다. 또한 일반적으로 천적은 피식자의 밀도에 수반응(functional response)을 보이므로(Kim & Lee, 1994) 수컷 군집은 천적을 유인하여 수컷이 없는 새로운 잎에 정착한 암컷을 간접적으로 보호할 수도 있을 것이다. 보다 더 정확한 결론을 도출하기 위해서는 향후 수컷 군집과 천적과의 상호작용에 관한 연구의 보충이 필요하다.

본 연구에서 암컷의 중복정착은 오히려 포식성 천적인 애홍점무당벌레의 공격을 더 많이 받는 것으로 나타났다. 하지만, 화살깍지벌레의 중복정착 행동은 일본에서 기생봉 천적에 대한 진화적인 방어전략으로 보고된 바 있다(Matsumoto *et al.*, 2003). 일본에서 기생봉 도입 후 중복정착 비율이 증가하였다고 하였는데, 이는 밑에 덮힌 암컷 성충은 기생성 천적으로부터 보호를 받기 때문이 원인이라고 하였다. 본 연구에서 중복 정착된 암컷 성충이 포식

자료부터 피해를 더 많이 받은 이유는 정량적 자료를 얻지는 못했지만, 중복 정착한 개체들이 천적에게 노출되기 쉽고(크기 증가), 맨 아래 정착되어 있는 성충은 감귤 잎 등에 완전히 밀착되고 고착되어 있으나 바로 위에 중복 정착된 암컷 성충은 완전한 고착이 되지 않고 약간의 틈이 발생하여 그 틈으로 천적의 침입이 쉽기 때문인 것으로 보인다. 실제 각 지역별로 채취된 감귤 잎을 조사 및 분석하는 과정에서 중복 정착이 된 경우 아래쪽에 있는 암컷 성충 보다 위쪽에 있는 암컷 성충이 포식자로부터 피해가 많았다. 따라서 천적의 종류에 따라 중복정착 행동의 생태적 결과는 달라지는 것으로 보이며, 향후 추가적인 연구가 필요하다.

VI. 적 요

화살깍지벌레(*Unaspis Yanonensis* (Kuwana))는 노린재목 깍지벌레과(Diaspididae)에 속하는 곤충으로 감귤의 중요한 해충으로 알려져 있다. 본 연구는 화살깍지벌레 부화 약충의 감귤 잎에서 정착행동의 구멍 및 이의 생태적 효과를 구명하기 위하여 실시하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 화살깍지벌레 수컷 약충은 정착 군집내에서 일정한 방향성을 보였는데 좌우 30° 범위 내에서 86.1 %의 약충이 정착하였다.

2. T-제곱표본조사법을 이용하여 수컷 정착군집분 내 개체들의 분포양식을 분석하였다. 수컷 약충의 최인접 개체와의 평균거리는 0.45 mm 이었다. 공간 분포양상을 나타내는 C-지수값(Index of spatial pattern)은 0.58을 보였고, C=0.5와 같다는 귀무가설의 통계검정 결과 유의성이 인정되어 집중분포로 나타났다. 분산지수 I-지수값(Distance index of dispersion)은 2.29를 보였고, 2.0 과 같은지 통계 검정한 결과 임의분포(random)로 나타났다.

3. 모션 경로 추적 기술(Motion tracking technology)을 이용한 약충의 이동 경로를 분석하였다. 수컷 약충의 이동경로는 암컷 성충과 기존 정착 약충 근처에서 좁게 움직이며 회전하는 특성을 보였고, 암컷 약충은 잎 경계면의 영향을 받으며 직선적인 이동경로를 나타냈다.

4. 수컷은 암컷보다 90° 이상 회전각도 및 기정착된 부화 약충과의 접촉횟수가 훨씬 많았으며, 이미 정착된 수컷 약충이 2마리 이하일 때 새로 나온 부화 약충의 정착까지의 시간이 유의하게 증가하였다.

5. 암컷 어미성충에서 새로 나온 수컷 부화 약충이 정착 직전 최후로 접촉한 약충개체를 기준으로 했을 때 새로 정착한 약충의 정착각도는 평균 11.4°로 정착각도의 방향성이 일치했다.

6. 자연 포장상태에서의 암컷 성충의 중복정착 정도를 조사한 결과 독립정착율은 92.1 %, 중복 정착율은 7.9 %를 나타냈으며, 중복정착의 형성은 잎 내 암수의 밀도와 큰 관계가 없었다.

7. 자연 포장상태에서 애홍점무당벌레의 공격을 당한 화살깍지벌레 암컷 성

충은 평균 4.95 % 이었으며, 중복정착 암컷 성충이 단독 정착한 암컷 성충들보다 포식을 당하는 비율이 평균 11.96 %로 유의하게 높았다.

8. 또한, 화살깍지벌레 수컷의 군집내부에 정착한 암컷 성충은 애홍점무당벌레로부터 공격을 받은 비율이 0.7 %로 수컷 군집외부에 정착한 암컷 성충의 4.3 % 보다 유의하게 낮았다.

종합하여 판단할 때 화살깍지벌레 수컷의 군집형성 정착행동은 천적으로부터 암컷 성충을 보호하여 종족보존을 위한 생태적 기작과 관련된 것으로 판단되었다.

VII. 인 용 문 헌

- Adachi, I., Korenaga, R., 1991. Fertility schedules of *Unaspis Yanonensis* (Hemiptera: Diaspididae) in relation to daily temperature. Res. Popul. Ecol. 33: 57-68.
- Beardsley, J.W., Gonzalez, R.H., 1975. Biology and Ecology of Armored Scales. Annu. Rev. Entomol. 20: 47-73.
- Blackburn, V.L., Miller, D.R., 1984. Pests not known to occur in the United States or of limited distribution, No. 45: Arrowhead scale. 14pp. US Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, Beltsville, MD.
- Branco, M., Jactel, H., Franco, J.C., Mende, Z., 2006. Modelling response of insect trap captures to pheromone dose. Ecol. Model. 197: 247-257.
- Bullock, J.M., Kenward, R.E., Hails, R.S., 2002. Dispersal Ecology: 42nd Symposium of the British Ecological Society, Cambridge, Cambridge University Press.
- Davis, E.E., French, S., Venette, R.C., 2005. Arrowhead scale, *Unaspis yanonensis* (Kuwana) (Hemiptera: Diaspididae). CAPS PRA: Mini-risk assessment, United States. 30 pp.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). 1989. EPPO data sheets on quarantine organisms: No.176 *Unaspis Yanonensis* (Kuwana). Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 19: 721-724.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). 2004. Citrus: Good plant protection practice. EPPO Bulletin 34: 43-56.
- Gullan, P.J., Kosztarab, M., 1997. Adaptations in scale insects. Annu. Rev. Entomol. 42: 23-50.
- 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: 276-274.
- Kim, D.S., Lee, J.H., 1994. Foraging behavior of *Amblyseius longispinosus* (Acarina: Tetranychidae) for *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae) Eggs. Korean J. Appl. Entomol. 33(1): 33-38.
- Kim, D.S., Seo, Y.D., Choi, K.S., 2007. Seasonal development and population fluctuations of arrowhead scale, *Unaspis yanonensis* (Homoptera: Diaspididae) in citrus orchards in Jeju, Korea. J. Asia-Pacific Entomol. 10: 363-367.
- Korenaga, R. 1983. The time of hatching and crawling speed of *U. yanonensis* (Homoptera: Coccidae) Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 27: 308-310. (in Japanese with English abstract)
- Kuwana, I. 1923. Descriptions and biology of new or little-known coccids from Japan. Imperial Plant Quarantine Station Bulletin (Japan) 3: 1-67. (in Japanese with English summary)
- Ludwig, J.A., Reynolds, J.F., 1988. Statistical ecology: a primer on methods and computing. John Wiley & Sons, New York, 337pp.
- Matsumoto, T., Itioka, T., Nishida, T., Inoue, T., 2003. Introduction of parasitoids has maintained a stable population of arrowhead scales at extremely low levels. Entomol. Exp. Appl. 106: 115-125.
- Matthews, R.W., Matthews, J.R., 1978. Insect behavior. John Wiley & Sons, Inc. New York. 507pp.
- Murakami, Y. 1970. A review of biology and ecology of Diaspine scales in Japan (Homoptera: Coccoidea). Mushi 43: 65-114. (in Japanese with English summary)
- Nestel, D., Cohen, H., Saphir, N., Klein, M., Mendel, Z., 1995. Spatial distribution of scale insects: comparative study using Taylor's power law. Environ. Entomol. 24: 506-512.
- NPQS (The National Plant Quarantine Service). 1999. An illustrated book of foreign pests on plants (in Korea). 190pp. NPQS, Anyang.

- Ohkubo, N. 1978. Dispersal of the first instar nymphs of arrowhead scale, *Unaspis Yanonensis* Kuwana in young citrus tree. Ho.(Chikugo City) 24: 151-153. (in Japanese with English summary)
- Ohkubo, N. 1980. Ecology and control of arrowhead scale, *Unaspis Yanonensis* Kuwana. Rev. Plant Prot. Res. 13: 1-11. (in Japanese with English summary)
- Ross, L., Pen, I., Shuker, D.M., 2010. Sex-specific dispersal behaviour of crawlers in the mealybug *Planococcus citri*. Entomologia Hellenica 19: 54-65.
- Seo, Y.D., Kim, S.C., Park, S.L., Choi, K.S., Kim, D.S., 2008. Morphological and behavioral comparison between male males of arrowhead scale, *Unaspis yanonensis* (Homoptera: Diaspididae) on citrus leaves. J. Subtropical Agri. Biotech. 24: 43-47.
- Song, S., Huang, B., Huang, M., 1990. On the population dynamics and integrated control of arrowhead scale. Acta Phytophylactica Sinica 17: 233-236. (in Chinese with English abstract)
- Takezawa, H., Aihara, J., 1962. On the type of appearance of the arrowhead scale larva in the first generation, with special reference to reason why two peaks appear. Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 6: 208-215. (in Japanese with English summary)
- Wang, D., Chen, B., 1989. Observations on the behavior of arrowhead scale, *Unaspis yanonensis* Kuwana [Hom.: Diaspididae] crawlers. Chinese Journal of Biological Control 5: 76-78.
- Washburn, J.O., Frankie, G.W., 1981. Dispersal of a Scale Insect, *Pulviniella mesembryanthemi* (Homoptera, Coccoidea) on Iceplant in California. Envi-ron. Entomol. 10: 724-727.
- Washburn, J.O., Washburn, L., 1984. Active aerial dispersal of minute wingless arthropods: exploitation of boundary-layer velocity gradients. Science 223: 1088-1089.

- Willard, J.R. 1973. Wandering time of the crawlers of California red scale, *Aonidiella aurantii* (Mask.) (Homoptera: Diaspididae), on citrus. *Australian Journal of Zoology* 21: 217-229.
- 김철기, 2007. 움직임 각도의 주파수 분석을 통한 활동성 분석. 부산대학교.
- 농촌진흥청 제주농업시험장, 제주감귤농업협동조합., 2002. 감귤 병해충의 진단과 방제. *농촌진흥청*. 226: 112-115.
- 류성희, 김진율., 2001. 움직임 에너지를 이용한 동적 물체 추적 시스템의 실시간 구현. *대한전기학회/대한전자공학회 시스템 및 제어분야 합동 추계학술대회 논문집*. pp. 365-368.
- 박준형, 박승민, 심귀보., 2011. 3차원 재구성과 추정된 옵티컬 플로우 기반 가려진 객체 움직임 추적방법. *한국지능시스템학회 논문지* 21(5): 537-542.
- 박천주, 박희정, 이재협, 전병민., 2002. 움직임 검출의 캡 제어에 의한 웹기반 이동 객체 추적. *한국콘텐츠학회논문지* 2(2): 17-25.
- 설성욱, 송진기, 장지혜, 이철현, 남기곤., 2004. BBME와 DD를 통합한 움직임은 카메라로부터의 이동물체 추적 시스템. *정보과학회논문지* 31(2): 173-181.
- 신수미, 이철우., 2001. 컬러 마커를 이용한 3차원 모션 정보의 검출 및 추적. *한국멀티미디어학회 추계학술발표논문집*. pp. 596-601.
- 이규원. 2007. 움직임분석 및 색상정보를 이용한 실시간 얼굴 추적. *한국해양정보통신학회논문지* 11(5): 977-983.
- 이진형, 김헌기, 김재민, 조성원, 강지운, 정선태, 장용석., 2007. 컬러 정보와 모션 템플리트를 이용한 객체 추적. *KFIS 춘계학술연구발표 논문집* 17(1): 353-356.
- 안세종, 임창주, 송장섭, 정성택., 2011. 환자의 동작 분석을 위한 마커리스 트래킹 시스템. *한국재활복지공학회 정기학술대회*. pp. 146-147.
- 유선준, 김민성, 김성동., 2007. Markerless Motion Capture 방법을 이용한 모션 경로 추적. *한국멀티미디어학회 춘계학술발표대회논문집*. pp. 737-740.

감사의 글

2년 동안의 대학원 생활은 저에게 참으로 많은 것을 주었고, 많은 사람들을 만났으며, 많은 것을 배울 수 있었던 소중한 시간이었습니다. 이제와 돌이켜 생각해보면 지난 시절 저는 다양한 학문을 배웠고, 다양한 삶의 길을 걸어왔다는 생각을 해봅니다. 고교시절에는 전기를 배웠고, 대학 학부시절엔 철학을 배웠으며, 시간이 흘러 농학을 배웠으며 지금은 농학과 대학원 졸업을 앞두고 있습니다. 개인적으로 생각해도 참 대단하다고 생각을 합니다. 잘 다니던 직장을 그만두고, 제가 대학원에 다닌다고 했을 때 주변의 많은 분들이 의아해하셨고 걱정스런 눈빛으로 격려와 응원을 많이 해주셨습니다.

이제 그 걱정스러움을 덜어 드릴 시간이 다가왔다고 생각을 해봅니다. 졸업은 끝이 아니라 새로운 것에 대한 도전이자, 출발점이라 생각합니다. 많은 분들의 도움과 응원의 힘이 있었기에 오늘의 제가 있지 않았나 생각해보며, 도와주신 모든 분들께 지면으로나마 감사의 말씀을 전합니다.

먼저 이 모든 과정을 지켜주신 하느님께 감사드립니다.

이 논문이 완성되기까지 많은 관심과 격려로 늘 따뜻하게 지도해 주시고, 이끌어 주신 김동순 지도교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 항상 새로움과 진취적인 자세로 연구하시는 모습과 학생들에게 항상 따뜻한 모습으로 교육에 열의를 다하시는 교수님께 존경의 말씀을 전합니다. 또한, 바쁘신 와중에도 저의 부족한 논문을 심사해주시고, 정성껏 검토해주신 전용철 교수님, 김주성 교수님께도 깊이 감사드립니다. 그리고 대학원 수학 과정에 많은 가르침을 주신 강영길 명예교수님, 송창길 교수님, 현해남 교수님께도 진심으로 머리 숙여 감사의 말씀을 전합니다.

많은 관심과 조언으로 이 논문을 완성하는데 도와주신 김찬우 박사님과 농진청 온난화대응농업연구센터 최경산 박사님, 농진청 국립원예특작과학원 감귤시험장 황록연 연구사님, 한라산 연구소 김경범 연구사님, 이영돈 연구사님, 학과 조교 송진영·하영삼 선생님, 학문의 길로 이끌어주고 실험도중 좋은 아이템을 제시해준 오랜 친구이자 실험실장인 장용석 선생님께도 감사의 말씀을 전합니다.

이번 연구에 밤늦게까지 실험을 도와주고 가장 많이 고생해준 권순화, 성영훈, 김태욱, 오민창, 오성오, 현진아, 김상희 그리고 김순국 선생님, 현승용 선

생님을 포함한 곤충생태학실험실 식구들과 학과 실험실 선생님들께도 감사의 말씀을 전합니다. 또한 바쁜 시간을 쪼개어 현미경 사진 촬영 및 분석프로그램 사용법과 데이터 추출방법을 항상 옆에서 도와준 김수빈 석사님과 본 연구에서 중요한 동영상 분석 중 모션트래킹 작업과 관련기술을 전수해주시고, 운용프로그램까지 제공해주신 텔미디어 소속 정금식 조연출 감독님께도 특별한 감사의 말씀을 전합니다.

제가 힘들 때마다 항상 멘토가 되어주시는 이시우 안드레아 신부님, 현요안 요한 신부님, 홍석윤 베드로 신부님들께도 감사의 말씀을 전합니다.

제가 의지할 수 있는 든든한 버팀목이 되어 주시는 사랑하는 우리 가족; 고모 내외분과 작은 아버지 내외분, 큰누나 내외분과 작은누나, 성철 형님 내외분께도 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 즐거움과 고민을 함께 공유하는 사랑하는 동생들과 조카들; 소현 누나, 강호 내외, 철호 내외, 은영 내외, 은정 내외, 소정 내외, 현진, 미영, 용범, 성훈, 진주에게도 고마움을 전합니다.

항상 저희를 위하여 기도해 주시는 장인어른과 장모님께도 감사의 말씀을 전합니다. 늘 바쁘다는 핑계로 자주 찾아뵙지 못해 송구스럽고, 부족한 저에게 귀한 따님과와의 결혼을 허락해 주심에 감사드립니다. 테레사 처형과 안젤라 처제에게도 미안함과 고마움을 전합니다.

또한, 이미 세상을 떠나셨지만 하늘에서 보시기에 대견스럽고, 자랑스러워하실 아버님과 어머님께도 감사와 사랑의 마음을 전하며 기도합니다.

마지막으로 남편으로서 잘해주지 못하고 있지만, 그래도 항상 저를 믿고 옆에서 늘 응원해주는 세상에서 제일 사랑하는 아내 마리아와 엄마 배속에서 무럭무럭 자라고 있는 우리 도담이(태명)에게도 미안함과 고마움을 전합니다. 앞으로 가족을 위해서 더 잘하겠다는 다짐과 함께 사랑한다고 전하고 싶습니다.

본 지면에 거론하지 못한 수많은 은인분들과 지인분들께도 감사를 드립니다. 제가 사랑하는 모든 분들께 감사와 존경의 마음을 담아 고개 숙여 인사드리며, 모든 분들께 이 논문을 바칩니다.

감사드리며, 사랑합니다.