

제주 감귤원에서 귤나방 알의 신초 잎 위치별 분포와 유충의 생존률

현승용¹ · 김수빈¹ · 김동순^{1,2*}

¹제주대학교 생명자원과학대학 식물환경전공, SARI, ²제주대학교 아열대농업생명과학연구소

The Distribution Pattern of Eggs and Larval Survival Rate of *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) on the Leaves of Shoots in a Citrus Orchard in Jeju

Seung Young Hyun¹, Su Bin Kim¹ and Dong-Soon Kim^{1,2*}

¹Majors in Plant Resource Sciences & Environment, College of Applied Life Science, SARI, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

²The Research Institute for Subtropical Agriculture and Biotechnology, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

ABSTRACT: The citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae), is an important pest that decreases the productivity of citrus trees by attacking citrus leaves, and especially it causes a severe damage during the young growth stage. In this study, we investigated the distribution of eggs on the leaves of shoots according to the position and the survival rate of this pest in the field condition. The occurrence patterns of *P. citrella* eggs in citrus orchards were largely affected by the occurrence of shoots. Even if the adults were still being attracted in the pheromone traps, the eggs were not observed on leaves when the growth of shoots was stopped. The density of *P. citrella* eggs in the citrus shoots peaked at the fifth or sixth leaf from the terminal leaf, and over 90% of the eggs were found in the first to eighth leaves as a whole. In 2015 and 2016, the average survival rate of larvae surviving to pupa was 1.4%, and the rate of survival to adults was 0.2%, indicating that most of them died. Furthermore, we have discussed the management strategy of *P. citrella* considering the distribution of eggs and the larval survival rate in the citrus shoots.

Key words: Citrus leafminer, Seasonal abundance, Egg occurrence, Survival rate, Shoot growth

조 록: 귤나방은 감귤의 잎을 가해하여 나무의 생산력을 떨어뜨리는 해충으로 특히 유목기 피해가 큰 해충이다. 본 연구에서는 신초 잎의 위치에 따른 알의 분포 특성과 포장상태에서 유충의 생존률을 구명하였다. 감귤원에서 귤나방 알의 발생 양상은 신초의 발생시기에 크게 영향을 받았다. 성충이 페로몬 트랩에 계속 유살되고 있음에도 신초의 성장이 중단된 경우에는 알 발생도 중단되었다. 감귤신초 잎에서 귤나방 알의 밀도는 끝에서 5번째 또는 6번째 잎에서 피크를 보였고, 전체적으로 첫 번째에서 8번째 잎 범위에서 90% 이상의 알이 발견되었다. 2015년과 2016년 유충이 번데기까지 생존한 평균 비율은 1.4%이었고, 성충 우화까지 생존한 비율은 0.2%로 대부분이 사망한 것으로 나타났다. 기타 감귤 신초 잎에서 알의 분포 및 유충 생존율에 따른 귤나방 관리전략에 대하여 고찰하였다.

검색어: 귤나방, 발생소장, 알발생 분포, 생존률, 신초생장

귤나방(*Phyllocnistis citrella* Stainton, 1986)은 동남아시아 원산으로 감귤류(*Citrus* spp.)에 대한 중요한 해충으로 알려져 있다. 이 해충은 1993년과 1998년 사이에 미국과 지중해 지역에 침입하여 감귤산업에 많은 피해를 주고 있다(Garcia-Mari

et al., 2004). 특히 유목기 잎에 피해를 받는 경우 줄기의 생장을 저해하여 묘목을 품질을 떨어뜨리므로 피해가 크다(Knapp et al., 1995). 성목에서는 직접적 피해는 크기 않지만 귤나방의 피해 성체가 궤양병의 감염통로가 되기 때문에 방제를 무시할 수 없다(Hill, 1918).

노지재배 감귤 유목이나 성목과는 달리 만감류(한라봉, 레드향 등)에서는 과실의 정상적인 생장을 위하여 신초의 잎이 중요

*Corresponding author: dongsoonkim@jejunu.ac.kr

Received January 17 2019; Revised May 29 2019

Accepted July 21 2019

하기 때문에 건전한 충분한 잎을 확보하는 것이 중요한 재배 기술 중의 하나라 할 수 있다. 굴굴나방은 신초의 잎을 가해하는 해충으로 제주 감귤재배에서 만감류(한라봉, 레드향 등)를 중심으로 한 비가림 재배(비닐하우스 시설 재배)가 확대됨에 따라 굴굴나방 방제는 더욱 중요해졌다. 현재 농가에서는 주기적인 약제방제에 의존하고 있는 상태이다. 국내에서는 아직 굴굴나방의 약제저항성 발달이 잘 알려져 있지 않으나, 외국에서는 약제저항성 사례가 보고되고 있고(Gyoutoku et al., 1996), 실제 국내에서도 여러 종의 해충에서 그 동안 사용해오던 네오니코티노이드계 약제의 방제효과가 크게 감소되는 현상이 관찰되고 있다(Jeong et al., 2017).

외국에서는 굴굴나방은 기생봉 천적을 이용한 생물적 방제가 폭 넓게 적용되고 있는데(Foelkel et al., 2009; Xiao and Fadamiro, 2010), 이것은 새로 침입한 지역의 고전적 생물적 방제의 일환이기도 하지만 저항성 발달에 따른 약제방제의 한계 때문으로도 보인다(Gyoutoku et al., 1996). 굴굴나방을 효과적으로 관리하기 위해서는 포장에서의 발생생태의 세밀한 이해가 필요하며, 특히 방제실행과 직접적으로 관련된 산란부위의 분포와 자연 생존률 등은 방제전략을 마련하는데 중요한 정보가 될 것이다. 외국에서는 굴굴나방의 방제에 활용할 수 있는 산란분포 특성과 포장 생태가 보고되어 있으나(Badaway, 1967; Knapp et al., 1995; Vercher et al., 2008), 국내 재배환경에서는 아직 연구된 자료가 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 감귤 신초 잎의 위치에 따른 굴굴나방의 알, 유충, 번데기 등의 분포와 생존률을 구명하여 방제의 기초자료로 활용하고자 실시하였다.

재료 및 방법

조사 감귤원

제주특별자치도 서귀포시 남원읍 위미리 2940-1번지(위도 33°16'13.33", 경도126°39'29.16" Google Earth)에 위치한 감귤원에서 실험을 실시하였다. 과원 면적은 약 0.1 ha이고 약 40년생인 '온주밀감(*Citrus unshiu* Marcov.)'이 4.5 m × 4.5 m로 재식되어 있었다. 과원 관리는 무농약 인증을 받아 친환경적으로 관리되었다.

2015년에는 잡초관리는 손제초(2015년 3월 15일, 7월 19일, 8월 12일, 9월 30일)로 하고 병해충관리는 실험을 위하여 최대한 억제하였다. 2015년 5월 28과 6월 19일에 보르도액(중앙프라자 153, 5-5식) + 기계유(70배, 삼공)를 혼용하여 500 L를 살포하였다.

2016년에도 2015년과 같이 손제초를 4회(2016년 3월 20일,

5월 17일, 7월 20일, 10월 3일) 실시하였고, 병해충관리는 2016년 보르도액(중앙프라자 153, 5-5식)을 5월 2일 살포하였으며, 6월 19일 보르도액 + 님오일(푸른꿈, 경농), 7월 15일 보르도액 + 님오일 + 기계유(120배, 삼공)를 혼용하여 총 500 L 살포하였다.

굴굴나방 알과 성충 발생조사

2015년 조사: 굴굴나방이 알을 낳을 신초를 계속 제공하기 위하여 3월 5일 겨울전정 후 5월 5일부터 20일 간격으로 직경이 0.5 cm 이상 되는 가지를 절반 전정하여 새로운 순이 계속 나오도록 유도하였다. 조사는 2015년 4월 24일부터 10월 19일까지 실시하였는데, 매 주 1회 무작위로 선택한 감귤나무 10주에서 1주 당 10개의 신초를 무작위로 채취하였다. 채취한 시료를 신문지에 싸서 비닐 지퍼백(30 × 35 cm)에 담아 발육 일어나지 않는 것으로 확인된 4°C 냉장상태(Hyun et al., 2017)로 조사일까지 보관하였으며, 최소 1주일 이내에 조사를 완료하였다.

실체 현미경(Nicon, SMZ645)을 이용하여 20~40x에서 관찰하면서 신초 당 감귤 잎의 수, 그리고 신초 끝 잎을 1번으로 시작하여 잎의 순서에 따라 굴굴나방의 알, 유충, 번데기, 우화된 탈피각, 기생봉 천적(종 미동정)을 조사하여 기록하였다.

성충조사는 상업적으로 판매하는 굴굴나방의 성페로몬 미끼(7Z,11Z-16:Al; Song and Kang, 2006)를 델타형 트랩(그린아그로텍 Co., 경산시 대한민국)에 내장하여 실시하였다. 기습 높이(약 150 cm)의 나뭇가지에 트랩(1개)을 설치하였으며 미끼는 약 2개월 마다 교체하였고, 델타트랩의 끈끈이 밀판은 매 조사시기 마다 교체하였다. 트랩조사는 주 1회 실시하였다(2015 및 2016년).

2016년 조사: 2016년에는 인위적으로 신초발생을 유도시키지 않고 자연발생되는 신초를 채취하여 굴굴나방의 알, 유충, 번데기(용), 우화된 탈피각, 기생봉 천적(종 미동정)을 조사하여 기록하였다. 조사는 2016년 4월 7일부터 10월 27일까지 실시하였는데 매 주 1회 감귤나무 5주에서 1주 당 2개의 순을 무작위로 채취하여 조사하였다. 채취한 시료의 보관방법과 조사 방법은 2015년과 동일하게 하였다. 성충발생조사 방법도 2015년과 동일하게 실시하였다.

분석

신초의 잎 위치별 산란선호도를 각 조사일별 알 밀도가 높은 잎부터 낮은 잎까지 순위를 배정하여 분석하였다. 동일한 순위가 발생되는 경우는 동일 값이 없을 때 할당되었을 순위의 평균으로 결정하였다(Ludwig and Reynolds, 1988). 조사일(6월 19

일~10월 18일, 총 18회)을 반복으로 취급하여 정규성이 만족되도록(PROC univariate 분석: SAS Institute, 1999) 제곱근 변환 후 분산분석을 실시하였고, 평균간 비교는 변환된 값을 바탕으로 Tukey-검정을 적용하였다(SAS Institute, 1999).

결과

성충과 알의 발생양상

2015년 귤굴나방 성충의 페로몬 트랩 유살수는 Fig. 1A와 같이 4월 상순 월동성충으로 보이는 소수의 개체가 관측되었고, 5월 중순부터 유살수가 급격히 증가하였다. 반면 알은 5월 21일 10개 신초 당 0.1개가 발견되고 이후 6월 중순까지는 발견되지 않았으며, 6월 중순 이후부터 발생이 증가하였다. 여름철 7, 8월과 가을철 9, 10월에는 성충 유살수와 알 발생밀도가 같은 경향을 보였다.

인위적으로 신초의 발생을 조장하고 알 밀도를 조사한 2015년과 달리, 자연상태의 과원에서 조사한 2016년의 알 발생양상은 성충 발생양상과는 다소 달랐다(Fig. 1B). 특히 성충의 유살수는 지속되었음에도 불구하고, 알 밀도는 신초발생 시기에 따라서 단절되었다. 봄순(신초) 발생기에는 5월 하순 단지 한 차례 알이 발견되었고, 그 후 중단되었다가 여름순이 발생되는 7월 중순부터 알 밀도가 급격히 증가하고 다시 중단되었다. 그 후 가을순이 발생되는 9월 중순부터 10월 중순까지 알 밀도가 형성되었다.

신초 잎의 위치별 발생양상

감귤신초 잎의 위치에 따른 귤굴나방 알, 유충, 번데기, 기생봉 천적의 발견빈도수(연간 전체 발생량)는 Fig. 2 (2015년)와 Fig. 3 (2016년)과 같았다. 2015년에 알 발생 최정기는 신초 끝으로부터 5번째 잎에서 나타났고, 2016년에는 6번째 어린잎

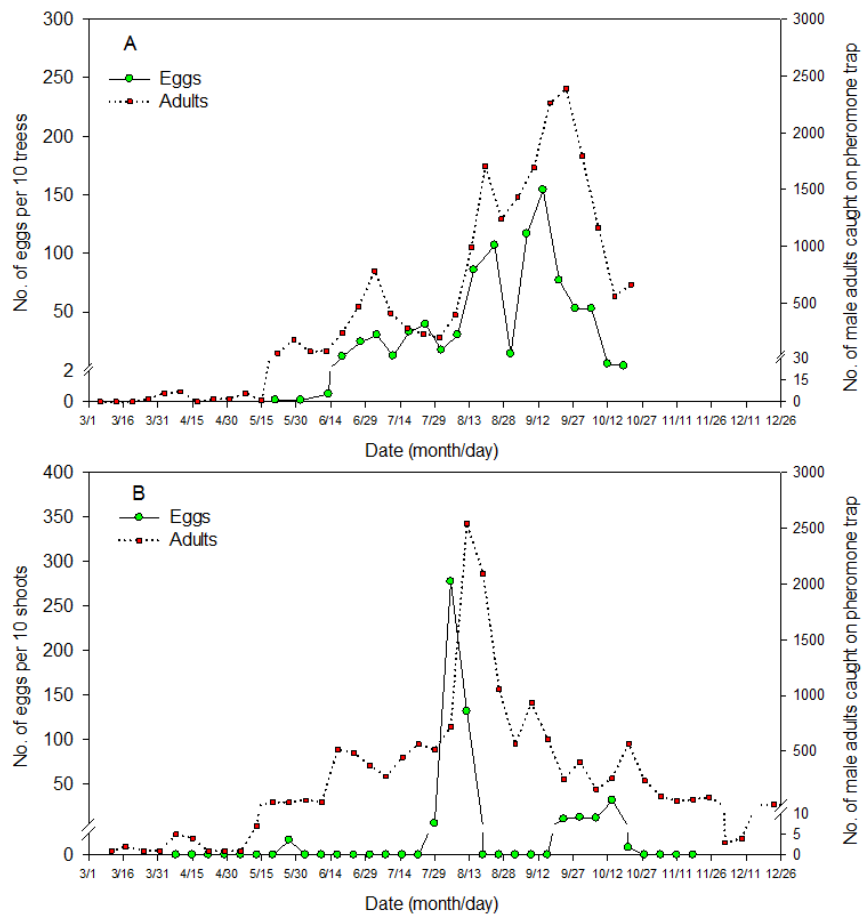


Fig. 1. Seasonal abundance of egg and adult populations of *Phyllocnistis citrella* in a citrus orchard in Jeju. A: Upper graph investigated in 2015, where the growth of citrus shoots was promoted by a strong pruning. B: Lower graph investigated in 2016, where the growth of citrus shoots was allowed in free without an artificial disruption.

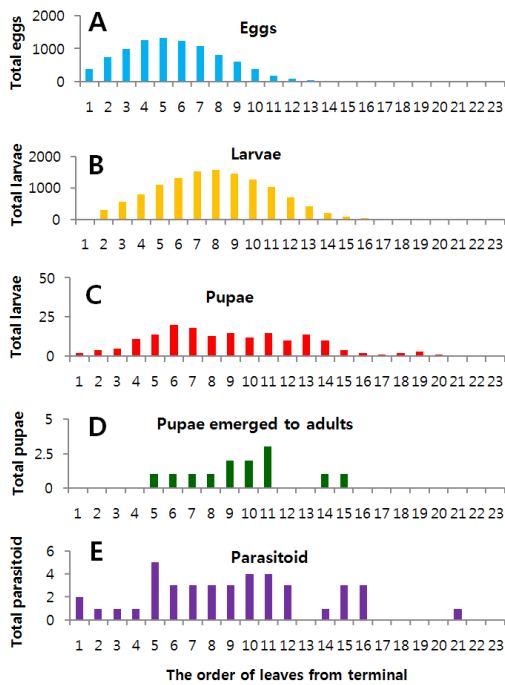


Fig. 2. Abundances of each stage of *Phyllocnistis citrella* and parasitoids by the leaf's order from shoot terminal, which are based on total populations found in 100 shoots from 10 trees sampled 26 times weekly between late April and mid October in 2015.

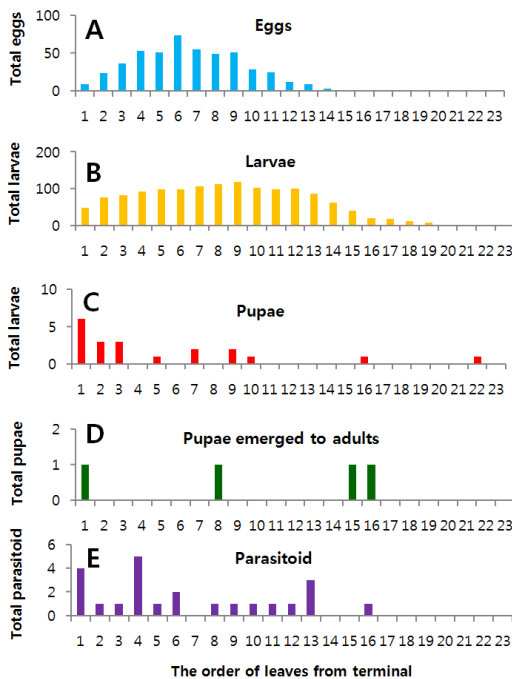


Fig. 3. Abundances of each stage of *Phyllocnistis citrella* and parasitoids by the leaf's order from shoot terminal, which are based on total populations found in 10 shoots from 5 trees sampled 29 times weekly between late April and late October in 2016.

에서 알 발생이 최고에 도달하였다. 알의 발생 양상에 따라서 유충의 발생위치는 더 성숙한 잎 쪽으로 평행 이동한 형태를 보였는데 8번째(2015년) 또는 9번째(2016년) 앞에서 피크가 나타났다. 신초의 발생을 조장한 2015년에는 신초에서 잎의 위치에 따른 알과 유충의 발생빈도분포가 뚜렷한 종 모양의 분포를 나타냈다. 번데기, 우화성충(즉 번데기 탈피각), 기생봉 천적이 발견된 잎의 위치는 2015년과 2016년 모두 뚜렷한 일관성 없이 다양하게 나타났다. 다만, 2016년에 번데기가 발견된 잎이 1~3 번째 앞에서 집중된 반면 2015년에는 4~14번째 잎의 넓은 범위에서 나타났다.

잎 위치별 산란순위의 분포와 변화

연간 신초발생을 조장한 2015년 신초 잎의 위치별 알 발생량 순위에 대한 평균은 Fig. 4A and B와 같았다. 잎의 위치에 따른 알 발생량 순위는 통계적으로 유의성이 있었다($df = 19, 340; F = 91.02; P = <.0001$). 전체적으로 3~6번 잎이 연간 높은 순위를 계속 유지하였으며 10번째 이후의 잎은 12에서 15위 범위에서 변동하였고, 계절(조사일)에 따라 큰 변화가 없었다(Fig. 4A). 연간 평균 순위는 5번(2.33위) > 4번(2.28위) > 6번(3.78위) > 3번(4.33위) > 7번(5.00위) > 2번(5.89위) > 8번(6.22위) > 9번(7.56위) > 1번째(7.89위) 잎 등으로 배열되었으며, 전체적으로 보았을 때 4-5번 잎에서 산란수의 최대순위가 나타났다(Fig. 4A). 전체적으로 첫 번째에서 8번째 잎 범위에서 90% 이상의 알이 발견되었다.

잎에서 꿀굴나방의 상대적 발생량

2015년 연간 신초 잎에서 조사된 총 꿀굴나방 발육단계별 발생수는 Table 1과 같았다. 발견된 알 개체군은 유충 대비 74.3%로 적었으며, 번데기는 유충의 1.4% 수준으로 매우 적었다. 성충으로 우화한 번데기 탈피각의 비율은 유충의 수 대비 0.11%로 더욱 낮았다. 기생봉은 총 41개체가 발견되었으며, 유충 대비 0.33%가 되었다. 신초의 발생시기별 유충 대비 발견된 번데기의 비율은 봄순, 여름순, 가을순 각각 16.23%, 2.30%, 0.02%로 봄순에서 상대적으로 비율이 높았다.

2016년 계절별 자연 발생된 신초 잎에서 조사된 총 꿀굴나방 발육단계별 발생수는 Table 2와 같았다. 발견된 알 개체군은 유충 대비 34.6%를 나타냈으며, 번데기 수는 유충 수의 1.4%, 성충으로 우화한 번데기 탈피각의 비율은 0.29%로 매우 낮았다. 전체 조사기간 동안 기생봉 천적은 23개체가 발견되었는데, 발견된 비율은 유충 대비 1.66%가 되었다. 신초의 발생시기별

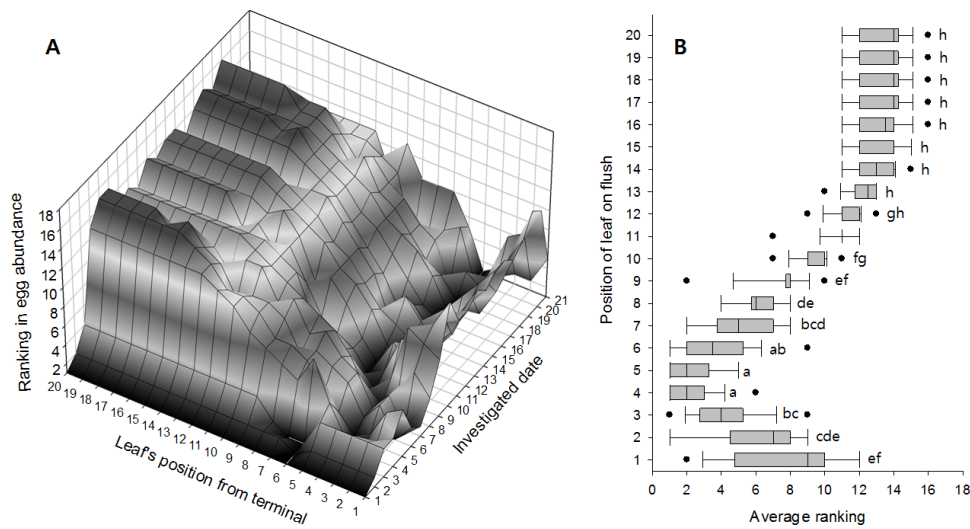


Fig. 4. Ranking profiles of leaves in the ranked abundance of *Phyllocnistis citrella* eggs in 2015. A: Changes in ranking of each leaf by seasons (investigated date 1 = 5/21, 2 = 6/6, 3 = 6/13, 4 = 6/19, 5 = 6/27, 6 = 7/4, 7 = 7/11, 8 = 7/18, 9 = 7/25, 10 = 8/1, 11 = 8/8, 12 = 8/15, 13 = 8/24, 14 = 8/31, 15 = 9/7, 16 = 9/14, 17 = 9/21, 18 = 9/28, 19 = 10/5, 20 = 10/12, 21 = 10/19). B: Average ranking during whole seasons. Bars with same letters are not significantly different by Tukey test at $P = 0.05$. The box plots indicate the median, 10th, 25th, 75th and 90th percentiles.

Table 1. Total number of eggs, larvae, pupae and pupae of *Phyllocnistis citrella* including dead individuals in citrus shoots in a citrus orchard, Jeju; the data sets are based on the total populations found in 100 shoots from 10 trees sampled 26 times weekly between late April and mid October in 2015

Division of variables	Type of shoot			Total
	Spring	Summer	Autumn	
Eggs	390	3,902	4,902	9,194
Larvae	154	6,531	5,689	12,374
Pupae	25	150	1	176
Pupae emerged to adults ^a	3	10	0	13
Parasitoids	0	41	0	41

^aThis variable is based on the exuviae of pupae found in a pupal cell at the leaf margin.

Table 2. Total number of eggs, larvae, pupae and pupae of *Phyllocnistis citrella* including dead individuals in citrus shoots in a citrus orchard, Jeju; the data sets are based on the total populations found in 10 shoots from 5 trees sampled 29 times weekly between late April and late October in 2016

Division of variables	Type of shoot			Total
	Spring	Summer	Autumn	
Eggs	2	413	65	480
Larvae	23	1,250	116	1,389
Pupae	0	2	18	20
Pupae emerged to adults ^a	0	3	1	4
Mortality: Dead larvae				
During larvae by unknown factors	17	367	51	435
During pupae by unknown factors	0	0	1	1
Parasitoids	0	16	7	23

^aThis variable is based on the exuviae of pupae found in a pupal cell at the leaf margin.

유충 대비 발견된 번데기의 비율은 봄순, 여름순, 가을순 각각 0.00%, 0.16%, 15.52%로 가을순에서 상대적으로 비율이 높았다. 2016년에는 갯도에서 사망한 유충 개체수를 조사하였는데, 유충기에 대부분의 사망이 일어났다.

고찰

본 연구는 감귤원에서 굴굴나방 성충과 알의 연간 발생소장과 더불어 신초 앞에서 알의 분포 특성을 구명하였다. 더 나아가 알, 유충, 번데기의 상대적 발생량을 바탕으로 포장상태에서 자연사망률을 제시하였다.

인위적으로 신초의 발생을 조장한 2015년과 자연 상태의 과원에서 조사한 2016년의 알 발생양상과 성충 발생양상과는 다소 달랐다. 2016년 알 밀도는 신초발생 시기에 따라서 크게 영향을 받았다. 반면, 성충의 페로몬 유살수는 알 발생밀도의 단절에 영향을 받지 않고 지속적으로 나타났다. 아마도 페로몬 트랩의 유인거리가 상당히 길고, 굴굴나방이 번식할 수 있는 신초의 발생은 과원이나 나무에 따라 변이가 커서 서로 중첩되기 때문에 이러한 결과가 나타난 것 보인다.

굴굴나방 알은 부화 후 바로 잎의 큐티클을 뚫고 들어가 표피세포(epidermal cell)를 섭식하면서 큐티클과 바깥 세포벽으로 형성된 특유의 얇은 갯도를 만드는데, 유조직(parenchyma tissue)까지는 피해가 도달되지 않는다(Sohi and Verma, 1966; Achor et al., 1996). 이 때 굴굴나방 유충은 어린잎에서 만 생존이 가능하고, 잎이 굳어지면 사망률이 증가하는 것으로 알려져 있으며, 따라서 성충은 부드럽고 연한 잎에 산란하는 습성을 보인다(Badaway, 1967; Knapp et al., 1995). Faeth (1985)는 굴나방류 성충은 기주식물의 적합성, 다른 해충의 존재유무 및 천적의 존재 등에 따라서 산란여부를 결정한다고 하였다. 굴굴나방 성충의 경우는 산란할 때 잎의 앞 또는 뒷면에서 위 아래로 반복적으로 걷는 행동을 통하여 감귤 잎에 대한 산란 적합성을 판단하는 것으로 보이며, 10~25 mm 길이의 어린잎에 주로 산란하는 것으로 알려져 있다(Vercher et al., 2008). 본 연구에서는 감귤나무 신초 끝 잎으로부터 3~7번째 어린 잎이 굴굴나방의 알 발생 5순위에 들었으며, 5 또는 6잎에 집중도가 높았다. 또한 알은 8번째 잎까지 90% 이상이 발견되었고, 유충의 경우도 12번째 잎 이내에서 대부분 발견되었다. 이러한 결과는 감귤 신초가 굳어지기 전 유충의 발육이 완료되었는지 또는 사망했다는 것을 나타내며, 앞선 연구자들의 결과와 같이 굴굴나방이 생존을 위하여 어린잎을 이용한다는 것과 일치한다. 또한, Vercher et al. (2008)은 굴굴나방 알 밀도 추정을 위하여 10~25 mm 길이의 잎 표본을 채취하는 것이 효과적이라 하였는데, 신초 끝에

서 잎의 위치에 따른 표본 채취도 활용 가능한 전략으로 보인다.

Tables 1, 2와 같이 유충 수에 비하여 조사된 알의 수가 적은 이유는 알과 유충의 발육기간의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 즉, 여름철 7~8월 평균온도가 되는 25°C 조건에서 굴굴나방 알 발육기간은 3.0일이고, 유충의 발육기간은 대략 5일 이상(Elekcioglu and Uygun, 2004; Hyun et al., 2017)이 되기 때문에 상대적으로 유충기간이 길어서 개체수가 누적된 현상으로 보인다. 하지만, 알의 크기가 작고 구분하기 어려워서 조사과정에서 누락된 경우가 다소 발생할 수 있으므로(Legaspi et al., 1999; Vercher et al., 2008) 조사과정의 오류가 적은 유충, 번데기 및 성충 우화수(번데기 탈피각)를 기준으로 발육단계별 생존률을 추정하는 것이 합리적일 수 있다. 2015년과 2016년 평균 유충이 번데기까지 생존한 비율은 1.4%이었고, 성충 우화까지 생존한 비율은 0.2%로 99.8%는 사망한 것으로 나타났다.

다른 나라에서도 굴굴나방의 포장 사망률은 높은 것으로 보고되었다. Wilson (1991)은 포장상태에서 단지 5.2%의 유충만이 번데기로 성공하였다고 보고하였다. 또한, Mari et al. (1996)은 유충의 60~80%가 사망한다고 하였다. 기타 굴굴나방 알의 생존율은 19%이었으며(Radke and Kandalkar, 1987), 대체로 고온기에 사망률이 높았다고 보고하였다(Ba-Angood, 1977).

이러한 큰 사망률은 다양한 요인에 의하여 나타날 수 있다고 추측된다. 우선 굴굴나방 유충의 행동특성에 기인하여 자연사망률이 높을 수 있다. 즉 각 개체별 갯도가 서로 교차하는 상황에 드르는데, 갯도의 교차가 있는 경우 사망하게 되고(Siu-King and Ren-Guang, 1980; Heppner, 1993; Stansly and Rouse, 1993), 따라서 만약 한 잎에 다수의 알이 있다면 부화한 유충들의 갯도가 교차할 가능성이 높아지므로 성공적으로 번데기까지 생존하기 어려울 수 있다.

다른 요인으로 기생성 천적 비롯한 다양한 천적을 고려할 수 있다(Schauff et al., 1998). 본 연구에서 기생성 천적의 발생 정도는 유충 수 대비 1.0% (2015~2016년 평균)로 기생성이 성충으로 우화하여 나가서 발견하지 못한 개체를 감안하더라도 매우 낮은 수준이었다. 다만, 기생성 성충이 굴굴나방 유충의 체액을 흡즙하여 포식하는 종(Foelkel et al., 2009)이 있기 때문에 기생성에 의한 사망률이 더 높을 수는 있다. 본 조사가 이루어진 감귤과원에는 유기합성 약제를 살포하지 않았고, 굴굴나방 주발생기 동안에 님오일과 기계유유제 등이 집중적으로 살포된 것이 아니기 때문에 약제살포를 주요한 사망요인으로 보기 어렵다. 2016년 조사에서 유충기간 동안 사망한 개체수가 많았다는 점은 기생성 천적 외에 다른 효과적인 천적의 존재 가능성이 있는 것으로 추정된다. 즉, 침노린재나 췌기노린재 등 야생의 다양한 천적이 존재할 수 있으며(Lioni and Cividanes, 2004;

Sahayaraj and Balasubramanian, 2016), 향후 이에 대한 자세한 연구가 필요하고, 이러한 야생 포식성 천적이 굴굴나방의 밀도 억제에 중요한 역할을 하고 있을지도 모른다.

본 연구에서 제시된 감귤 신초의 잎 위치에 따른 알과 유충의 분포정보는 굴굴나방 방제전략에 유용하게 활용될 수 있다. 방제대상인 알과 유충은 대부분 신초의 중간 윗부분에 존재하므로 응애류나 각지벌레의 방제처럼 약제를 수관 내부 깊숙이 도달시킬 필요가 없다. 즉 과원에 고정식으로 설치된 스프링클러 형태의 분무로 충분히 약제의 접촉이 가능하므로 약제살포 노력을 크게 줄일 수 있다. 또한 감귤신초의 발생주기에 따른 방제체계를 접목시킬 수 있다. 알이 주로 3~7번째 잎에 많이 분포하고 유충은 12번째 이상 되는 잎에서 생존이 어려우므로 첫 방제는 알의 부화와 부화유충의 초기피해를 감안할 때 5엽기 전후가 될 것이다. 첫 방제 후 두 번째 방제는 신초의 성장과 성숙 정도에 따라 결정될 수 있을 것이다. 재배관리를 잘하여 일찍 신초를 굳게 하는 경우는 추가 약제 살포가 불필요하고, 신초관리 실패로 어린잎이 계속 발생하는 경우는 추가 살포가 필요할 것이다. 이와 같은 전략이 굴굴나방 개체군 밀도 관리에 효과적인지는 향후 포장시험을 통하여 확인되어야 하겠지만, 더 나은 결과가 도출될 때 까지 본 연구의 결과는 포장에서 굴굴나방 방제에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

Acknowledgements

This study was carried out with the partial support of the Agenda Project (PJ1010851), RDA, Republic of Korea. We are grateful to Sustainable Agriculture Research Institute (SARI) in Jeju National University for providing the experimental facilities.

Literature Cited

Achor, D.S., Browning, H., Albrigo, L.G., 1996. Anatomical and histochemical modifications in citrus leaves caused by larval feeding of citrus leafminer (*Phyllocnistis citrella* Stainton), in: Hoy, M.A. (Ed.), Managing the Citrus Leafminer. Proceedings from an International Conference, Orlando, Florida, 23-25 April, 1996.

Ba-Angood, S.A.S., 1977. A contribution to the biology and occurrence of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) in the Sudan. *Z. Angew. Entomol.* 83, 106-111.

Badaway, A., 1967. The morphology and biology of *P. hyalocnistis citrella* Staint., a citrus leaf miner in the Sudan. *Bull. Soc. Entomol. Egypt* 51, 95-103.

Elekcioglu, Z., Uygun, N., 2004. The effect of temperature on development and fecundity of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae). *Turk. Entomol. Derg.* 28, 83-93.

Faeth, S., 1985. Host leaf selection by leafminers: interaction among three trophic levels. *Ecology* 66, 870-875.

Foelkel, E., Redaelli, L.R., Jahnke, S.M., Losekann, P.B., 2009. Predation and parasitism of *Cirrospilus neotropicus* (Hymenoptera: Eulophidae) on *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in laboratory. *Rev. Colomb. Entomol.* 35, 156-162.

Garcia-Marí, F., Vercher, R., Costa-Comelles, J., Marzal, C., Villalba, M., 2004. Establishment of *Citrostichus phyllocnistoides* (Hymenoptera: Eulophidae) as a biological control agent for the citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae), in Spain. *Biol. Con.* 29, 215-226.

Gyoutoku, Y., Murai, K., Miyata, T., Isoda, T., 1996. The resistance of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton, to insecticides and laboratory bioassay method. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 40, 238-241.

Heppner, J.B., 1993. Citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella*, in Florida. *Trop. Lep.* 4, 49-64.

Hill, G. F., 1918. History of citrus canker in the Northern Territory (with notes of its occurrence elsewhere). *Bull. North. Territ. Aust. (Darwin)* 18, 1-8.

Hyun, S.Y., Elekcioglu, N.Z., Kim, S.B., Kwon, S.H., Kim, D.-S., 2017. Parameter estimation for temperature-driven immature development and oviposition models of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) in the laboratory. *J. Asia-Pac. Entomol.* 20, 802-808.

Jeong, I.-H., Jeon, S.-W., Lee, S.-K., Park, B., Park, S.-K., Lee, S.-B., Choi, N. J., Lee, S.-W., Lee, S. H., Kwon, D. H., 2017. Insecticide cross-resistance and developmental characteristics on the two rice varieties, 'Chinnong' and 'Chuchung', of the imidacloprid-resistant brown planthopper. *Korean J. Pestic. Sci.* 21, 381-388.

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, University of Florida, Gainesville, Florida.

Legaspi, J.C., French, J.V., Schauff, M.E., Woolley, J.B., 1999. The citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in South Texas: incidence and parasitism. *Fla. Entomol.* 82, 305-316.

Lioni, A.S.R., Cividanes, F.J., 2004. Ecological life table of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae). *Neotrop. Entomol.* 33, 407-415.

Ludwig, A.J., Reynolds, J.F., 1988. Statistical ecology: a primer on methods and computing, John Wiley & Sons, Inc, New York, 337 pp.

Mari, F.G., Costa-Comelles, J., Vercher, R., Verdu, M.J., Aliaga, J.L., 1996. Population trends and native parasitoids of the citrus

-
- leafminer in Valencia (Spain), in: Hoy, M.A. (Ed.), Managing the Citrus Leafminer. Proceedings from an International Conference, Orlando, Florida, 23-25 April, 1996.
- Radke, K., Kandalkar, M., 1987. Bionomics of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae). PKV Res. J. (Akola) 11, 91-92.
- Sahayaraj, K., Balasubramanian, R., 2016. Artificial rearing of reduviid predators for pest management. Springer, Singapore, 180 pp.
- SAS Institute, 1999. SAS System for Window, Release 8.02. SAS Institute, Cary, NC.
- Schauff, M.E., LaSalle, J., Wijesekara, G.A., 1998. The genera of chalcid parasitoids (Hymenoptera: Chalcidoidea) of citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae), J. Nat. Hist. 32, 1001-1056.
- Siu-King, L., Ren-Guang, Z., 1980. The morphology of the citrus leafminer (*Phyllocnistis citrella* Stainton) and its food plants in Kwangtung Province. J. South China, Agric. Coll. 1, 113-120.
- Sohi, G.S., Verma, G.S., 1966. Feeding habits of *Phyllocnistis citrella* Stainton in relation to the anatomical structure of the leaf. Indian J. Entomol. 55, 238.
- Song, J.H., Kang, S.-H., 2006. Responses of citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) for a sex pheromone component, (Z,Z)-7, 11-hexadecadienal on Jeju Island. Korean J. Appl. Entomol. 45, 161-167.
- Stainton, H.T., 1856. Descriptions of three species of Indian micro-Lepidoptera. Trans. Entomol. Soc. London (n.s.) 3, 301-304.
- Stansly, P., Rouse, R.E., 1993. Reduce winter flush, reduce citrus leafminer damage next spring. Citrus Ind. 7, 40-41.
- Vercher, R., Farias, A., Marzal, C., Soto, A., Tena, A., Garcia-Marí, F., 2008. Factors influencing adult female oviposition in the citrus leafminer *Phyllocnistis citrella*. Agric. For. Entomol. 10, 45-51.
- Wilson, C.G., 1991. Notes on *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Phyllocnististidae) attacking four citrus varieties in Darwin. Rev. Appl. Ent. (A) 80, 1345.
- Xiao, Y., Fadamiro, H.Y., 2010. Exclusion experiments reveal relative contributions of natural enemies to mortality of citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in Alabama satsuma orchards. Biol. Control 54, 189-196.