

제주도 노지재배 감귤원 내 굴굴나방 월동태 구명

권순화, 신기혜, 문영일, 김동순^{1,2,*}

국립원예특작과학원 감귤연구소, ¹제주대학교 생명자원과학대학 식물환경전공, SARI

²제주대학교 아열대농업생명과학연구소

Study on the over-wintering stage of citrus leaf miner *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) in Jeju, Korea

Soon Hwa Kwon, Kihye Shin, Young Eel Moon and Doog-Soon Kim^{1,2,*}

Citrus Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Jeju 63607, Republic of Korea

¹Major of Plant Resources Science and Environment, College of Agriculture & Life Sciences, SARI, Jeju National University, Jeju 63243, Republic of Korea

²The Research Institute for Subtropical Agriculture and Biotechnology, Jeju National University, Jeju 63607, Republic of Korea

*Corresponding author

Doog-Soon Kim

Tel. 064-754-3312

E-mail. dongsoonkim@jejunu.ac.kr

Received: 10 December 2021

Revision accepted: 14 December 2021

Abstract: Citrus leafminer (*Phyllocnistis citrella*) is an economically important pest in citrus orchards. This study was conducted to elucidate the over-wintering stage of *P. citrella* through experiments on the survival rate of *P. citrella* at low temperatures and field investigations during the winter season. There was a significant difference in the survival period depending upon the over-wintering stage of *P. citrella* at low temperatures, and the adults survived longer than the pupae. Evaluation of the survival period after inoculating citrus orchards with *P. citrella* adults and pupae showed that only the adults survived until mid-March of the following year, but all pupae died in January. This suggests that considering the fact that the germination of spring shoots in Jeju generally begins in mid-March, over-wintering adults are likely to form an early population the next year. However, pupae may not contribute to the formation of the initial population in the early season after wintering in fall shoots that are prone to freezing damage in winter because *P. citrella* could only survive in pupal chambers formed in fall shoots. Therefore, these results suggest that *P. citrella* adults that emerge in late autumn can over-winter in citrus orchards in Jeju, Korea.

Keywords: *Phyllocnistis citrella*, overwintering stage, late fall-shoot, citrus

서 론

굴굴나방 (*Phyllocnistis citrella* Stainton, citrus leafminer)은 세계적으로 감귤재배 지역에서 널리 분포하는 경제적인

로 중요한 해충이다(Liande *et al.* 1999; Peña *et al.* 2000). 굴굴나방 유충은 감귤 새순을 터널 형태로 가해하고 잎의 가장자리를 말아 그 속에서 번데기가 된다. 이 과정에서 새순의 해면조직 손상, 위조 및 기형으로 인하여 잎의 정상

적인 생장이 불가능할 뿐만 아니라 피해를 받은 새순의 상처를 통하여 궤양병 감염에 취약해진다 (Peña *et al.* 2000; Hall *et al.* 2010). 굴굴나방 피해는 봄순에서도 발생하지만 주로 여름순과 가을순에서 피해가 심하며, 감귤 성목(>7년)보다는 건전한 새순 확보가 중요한 유묘에서 피해가 심각하다.

굴굴나방은 제주도에서 연간 5~7세대 발생하는 것으로 알려져 있다 (Kim *et al.* 2002). 암컷 성충은 주로 밤에 산란 활동을 하는데 약 10~20 mm의 초기 신초를 선호하며 생존기간 동안 약 50개의 알을 낳는 것으로 알려져 있다 (Elekcioglu and Uygun 2004; Vercher *et al.* 2008). 알 부화부터 성충 우화까지 발육기간은 25°C 기준 약 15일 정도 소요되며, 성충 생존기간은 25°C에서 약 7일이지만 월동기에는 약 164일까지 생존할 수 있다고 알려져 있다 (Hamamura 1980; Elekcioglu and Uygun 2004).

굴굴나방 생태와 관련하여 감귤 주요 영농기(봄~가을)와 관련된 연구는 많이 알려져 있지만 월동생태와 관련된 연구는 상대적으로 부족하다. 인도와 미국 플로리다에서 굴굴나방이 성충으로 월동하는 것으로 알려져 있다 (Pandey and Pandey 1964; Lim and Hoy 2006). 우리나라와 인접한 일본의 경우, Yamamoto (1968)와 Hamamura (1980)가 굴굴나방이 성충으로 월동한다고 보고한 반면 Masayoshi and Takeo (1967)는 번데기로 월동한다고 보고하였다. 우리나라의 경우 굴굴나방이 번데기와 성충으로 월동한다는 기록이 있지만, 실제 조사나 실험으로부터 구명된 것이 아니므로 아직까지 국내 굴굴나방 월동생태는 불분명한 실정이다 (Lee *et al.* 1990).

따라서 본 연구에서는 월동기 굴굴나방의 발육단계 포장조사, 발육단계별 저온 실내실험 및 월동기 야외 실험을 통하여 노지 감귤원에서 굴굴나방 월동 개체군이 어떻게 발생하는지 구명함으로써 이 해충의 생태연구와 방제전략 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 굴굴나방 발육단계별 저온 생존율 실내실험

1) 월동기 공시충 채집

월동기 저온실험에 필요한 굴굴나방 성충과 번데기를 확보하기 위하여 2019년 11월 중순 서귀포시 남원읍 소

재 감귤과원의 후기 가을순에서 번데기를 채집하였다. 성충의 경우 번데기 채집 후 18°C로 설정된 항온실에서 성충으로 우화시킨 후 실험에 투입할 때까지 15°C로 설정된 항온실에서 7일 동안 적응 후 실험에 사용하였다. 굴굴나방 성충은 야외에서 깍지벌레의 감로를 섭식하는 것으로 알려져 있기 때문에 실험 전 성충의 최적 상태를 유지하기 위하여 목화진딧물과 이세리아깍지벌레를 접종한 포트묘와 2%의 설탕물을 공급하였다 (Hamamura 1980). 번데기의 경우 용방이 형성된 후기 가을순을 채취 후 용방 내 번데기의 움직임이 확인된 개체만 선별하여 실험에 사용하였다. 유충의 경우 사전 예비실험에서 생존 개체가 없었기 때문에 본 실험에서는 제외하였다.

2) 발육단계별 저온실험

굴굴나방 발육단계별 월동기 저온에 대한 내성을 평가하기 위하여 실내실험을 실시하였다. 저온처리는 항온·항습 인큐베이터 (DA-58G; Dasol, Korea)를 이용하였고 온도는 -5, -2, 2, 4°C로 설정하였다. 각 설정 온도에서 굴굴나방 성충과 번데기를 저온에 노출된 기간에 따른 생존율을 조사하였다. 처리기간 중 상대습도는 60%로 설정하였고 인큐베이터 내의 온습도는 1시간마다 기록하였다. 굴굴나방 번데기는 신초 용방 내부에 존재하기 때문에 월동기 서식환경과 비슷한 환경을 조성하기 위하여 용방이 형성된 후기 가을순을 그대로 실험에 사용하였다. 곤충사육용기 (지름: 9 cm, 높이: 4 cm)에 필터페이퍼를 넣어준 후 굴굴나방 성충과 번데기를 각각 처리하였다. 각 온도 처리구에 성충과 번데기를 저온 기간별 (days) 15마리씩 처리 후 매일 생존 여부를 확인하였다. 실험과정에서 급격한 생존기간 단축이 확인된 2°C 처리구의 경우, 보다 면밀한 관찰을 위하여 번데기 12마리를 추가로 투입하였다. 생사확인본 실험 전에 예비실험을 통하여 기준을 설정하였고 25°C에서 30분 처리 후 움직임 여부를 기준으로 결정하였다. 확인을 마친 생존 개체는 상온 생존 여부 확인과정에서 회복으로 인한 오류를 제어하기 위하여 실험에 재투입하지 않고 폐기하였다.

3) 통계분석

온도별 수명 자료의 유의성 검정을 위하여 일반선형모형을 이용한 분산분석 (GLM)을 실시하였으며, Tukey's Studentized Range Test (HSD)를 이용하여 평균 간 비교

Table 1. Adult longevity of *Phyllocnistis citrella* at constant temperatures (mean days ± SE)

Temperature (°C)	Developmental stage						t	P-value
	Pupa			Adult				
	n ^a	Longevity	Max	n	Longevity	Max		
-5	15	0.67 ± 0.05 ^b	1	15	0.91 ± 0.12 ^d	2	2.47	.018*
-2	15	4.17 ± 0.21 ^a	7	15	4.20 ± 1.37 ^c	7	0.05	.096 ^{ns}
2	27	0.75 ± 0.08 ^b	2	27	6.78 ± 0.53 ^b	16	6.79	.000***
4	-	- ^c	-	21	10.57 ± 1.09 ^a	20	-	-

^aNumber of *P. citrella* examined.

^bThe means with same low case letters in row are not significantly different by Tukey test at $P=0.05$: Pupa ($df=3, 74, F=29.80, P<0.0001$); Adult ($df=2, 82, F=78.12, P<0.0001$).

^cMissing data by experimental mistakes.

NS indicates not significant by independent t -test ($P=0.05$).

($P=0.05$)를 실시하였다 (SAS Institute 1999). 또한, 동일 온도처리구에서 굴굴나방 성충과 번데기의 평균 생존기간에 대한 유의성 검정을 위하여 독립표본 t -검정 (independent t -test, $P=0.05$)을 실시하였다.

2. 월동기 노지 감귤원 내 발육단계별 야외실험

1) 굴굴나방 번데기 야외 생존기간 실험

노지 감귤원에서 어떤 발육단계로 굴굴나방이 월동하여 다음 해 초기개체군을 형성하는지 평가하기 위하여 발육단계별 야외 접종 후 생존기간을 조사하였다. 실험에 사용할 발육단계별 공시충을 확보하기 위하여 성충 330마리를 25°C 항온실에 방사한 후 새순이 있는 5년생 온주밀감 포트묘를 항온실에 넣어주었다. 성충 접종 10일 후 포트묘 새순에서 번데기 300마리를 확보할 수 있었고, 15°C 항온실에서 7일 동안 적응 후 실험에 사용하였다. 야외실험은 굴굴나방 성충이 연중 마지막으로 발견되는 2019년 12월 24일에 제주특별자치도 서귀포시 하례리와 제주도 오라동에 소재한 노지감귤원 2개소에서 번데기 150마리씩 접종된 포트묘를 각각 과원 중심부에 배치하였고 2020년 3월 20일까지 7일 간격으로 번데기 생존 개체 수를 기록하였다. 또한, 각 조사과원에 데이터로거 (HOBO-U23; Onset comp, Bourne, MA)를 설치하여 온도데이터를 수집하였다.

2) 굴굴나방 성충 야외 생존기간 실험

노지감귤원에 굴굴나방 성충의 생존기간을 평가하기 위하여 야외 실험을 진행하였다. 실험에 사용할 성충을 확

보하기 위하여 2019년 11월 중순 서귀포시 남원을 소재 감귤과원의 후기 가을순에서 번데기를 채집 후 성충으로 우화시켰다. 우화한 성충은 곤충사육용기 (지름: 9 cm, 높이: 4 cm)에 필터페이퍼와 2%의 설탕물을 먹이로 넣어주었고, 사육용기 내 과밀도로 인하여 발생할 수 있는 문제를 제어하기 위하여 30개의 용기에 성충을 10마리씩 나누어 총 300마리를 처리하였다. 성충을 접종한 사육용기는 직사광 노출에 의한 용기 내부 온도상승을 방지하기 위해 그늘이 형성되는 감귤나무 수관 하부에 배치하였다. 야외 실험은 번데기를 처리한 과원과 동일한 곳에서 진행하였으며 2020년 3월 20일까지 7일 간격으로 생존 개체 수를 기록하였다.

3. 월동기 노지 감귤원 내 굴굴나방 발육단계별 발생양상 조사

1) 조사과원

본 조사는 제주특별자치도 서귀포시 10개 과원과 제주도 시 8개 과원 총 15개 과원에서 진행되었다 (Table 2). 조사과원이 특정 지역으로 편중되지 않도록 제주도 내 주요 권역별 2개 과원 이내로 제한하여 조사과원을 설정하였고 데이터로거 (HOBO-U23, Onset comp)를 설치하여 각 과원별 온도데이터를 수집하였다.

2) 굴굴나방 성충 발생밀도 조사

겨울철 굴굴나방이 어떤 발육단계가 우점하는지 확인하기 위하여 2019년 3월 그리고 2020년 3월에 제주도 내 노지 감귤원 15개소에서 발육단계별 굴굴나방 발생밀도

Table 2. Number of overwintering stages of *P. citrella* (CLM) found in different citrus orchards in the early season

Region surveyed	Coordinate		Winter temperature (°C) ^a		CLM stage found			
	Latitude	Longitude	2019	2020	2019		2020	
					Pupa	Adult	Pupa	Adult
North	33.511173	126.702735						
Seonheul	33.456742	126.455954	6.2	7.9	0	3	0	22
Haean	33.443985	126.356647	6.7	7.8	0	9	0	34
Sangga	33.451559	126.384645	6.2	7.5	0	6	0	4
Jangjeon	33.451559	126.384645	7.0	7.8	0	78	0	6
Ora			6.3	7.6	0	6	0	2
West								
Myeongwol	33.379319	126.285274	6.7	8.2	0	52	0	124
Wollim	33.341852	126.252586	6.9	8.1	0	29	0	69
Mureung	33.291394	126.255185	6.9	8.0	0	58	0	38
East								
Gasi	33.342115	126.770774	7.1	7.7	0	28	0	81
Samdal	33.379335	126.843976	6.6	7.6	0	3	0	67
Susan	33.437287	126.881397	6.4	7.4	0	8	0	36
Nansan	33.437287	126.881397	6.6	8.0	0	1	0	127
South								
Harye	33.286709	126.615846	7.9	8.7	0	24	0	128
Wimi	33.277040	126.658387	7.9	9.0	0	17	1	324
Uigwi	33.312020	126.704726	8.1	8.7	0	35	0	91

^aindicates the temperature from January to February
This survey was conducted between Feb. 5 and Mar. 30 in 2019, 2020.

를 조사하였다. 성충 발생 여부 확인을 위하여 굴굴나방 페로몬((Z,Z)-7,11-hexadecadienal)을 흡착한 루어를 델타 트랩(T12; Green agro Tec, Korea)에 부착한 후 과원 중심 부에 1.5m 높이로 1개 설치하였고 7일 간격으로 성충 발생 밀도를 기록하였다.

3) 굴굴나방 번데기 발생밀도 조사

굴굴나방 번데기 발생 밀도를 확인하기 위하여 2019년 2월과 2020년 2월에 성충밀도 조사지역과 동일한 감귤원에서 번데기 발생 밀도를 조사하였다. 굴굴나방 유충과 번데기는 후기에 발생하는 가을순(Fall shoot)에서만 존재할 수 있기 때문에 조사과원 내 미경화 가을순을 전량 수거 후 감귤연구소 실험실에서 번데기 발생 및 생존 여부를 확인하였다. 번데기의 경우 25°C 향온실에서 용방이 형성된 가을순을 선별한 후 용방을 절개하여 내부의 번데기를

채집하였고, 번데기 부패로 인한 변색 및 미세분을 이용한 번데기의 움직임 기준을 생존 여부를 결정하였다.

결 과

1. 굴굴나방 발육단계별 저온 생존 양상

1) 온도에 따른 발육단계별 생존기간

굴굴나방 발육단계별 월동기 저온에 대한 생존율을 평가하기 위하여 실내실험을 진행하였다. 온도는 굴굴나방의 발육단계별 생존기간에 통계적으로 유의한 영향을 주었다(Table 1: Pupa $df=3, 74, F=29.80, P<0.0001$; Adult $df=2, 82, F=78.12, P<0.0001$). 저온 $-5, -2, 2^{\circ}\text{C}$ 처리구에서 번데기의 평균 생존기간은 0.67, 4.17, 0.75일이고 성충은 저온 $-5, -2, 2, 4^{\circ}\text{C}$ 에서 0.91, 4.2, 6.78, 10.57일로 온

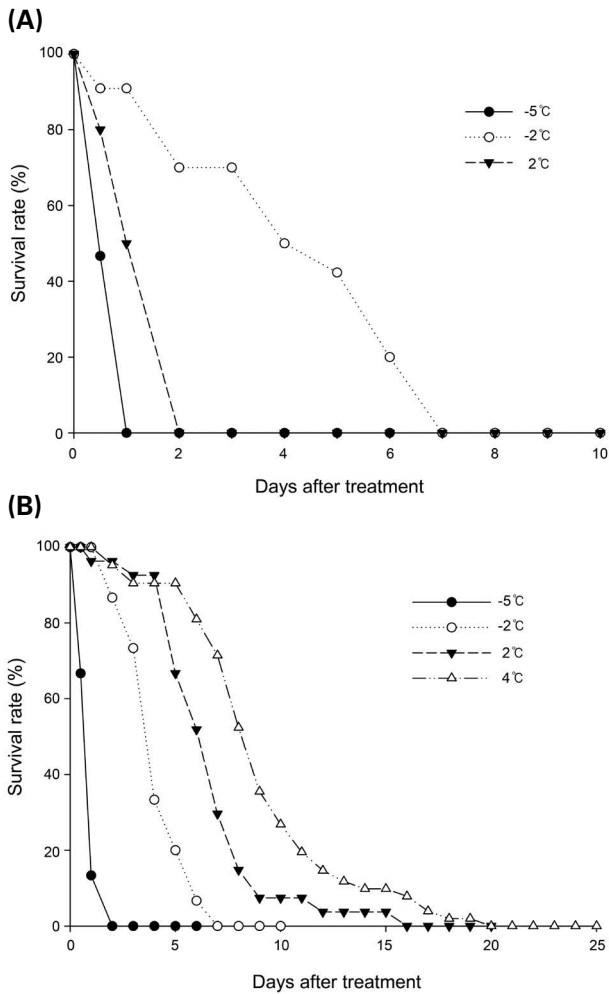


Fig. 1. Changes in the survival rate of *Phyllocnistis citrella* at constant low temperatures. A: pupae, B: adults.

도가 감소함에 따라 각 발육단계별 생존기간 또한 감소하였다. 번데기 4°C 처리구의 경우 실험과정에서 실수로 인하여 모두 사망하였으므로 본 결과에서는 제외하였다.

동일한 저온 조건에서 굴굴나방의 발육단계에 따라 생존기간의 유의한 차이가 있었으며 -5°C와 2°C 처리구에서 유의한 차이가 있었다(-5°C: $P < 0.05$; 2°C: $P < 0.0001$).

각 온도별(-5, -2, 2°C) 100% 사망 소요일은 번데기의 경우 1, 7, 2일이고 성충은 2, 7, 16일로 저온에서 성충이 번데기보다 오래 생존하는 것으로 나타났다(Fig. 1). -5°C에서 1일 동안 노출됐을때 성충은 13.3%가 생존하는 것으로 나타난 반면 번데기는 생존 개체가 없는 것으로 나타났다. 영상 구간의 저온(2~4°C)에서도 성충은 4일 동안 90%이

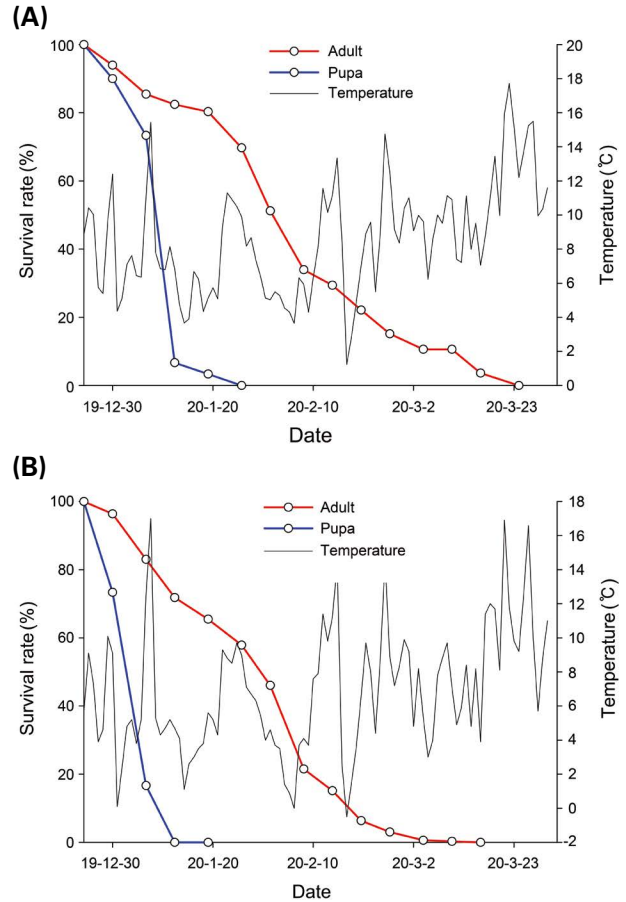


Fig. 2. Changes in the survival rate of *Phyllocnistis citrella* in a Mandarin citrus orchard during the winter season. A: Seogwipo-si, B: Jeju-si.

상의 생존율을 보인 반면 번데기는 2일 이내(2°C) 모두 사망하였다.

2) 월동기 감귤원에서 발육단계별 야외 생존율

제주시와 서귀포시에 소재한 노지 감귤원 2개소에 굴굴나방 성충 300마리와 번데기 150마리를 각각 접종 후 월동기 야외 생존 양상을 조사하였고 그 결과는 Fig. 2와 같다. 서귀포 포장에서 굴굴나방 성충은 2020년 3월 24일까지 생존한 반면 번데기는 1월 26일에 모두 사망하였다. 제주시 포장에서도 성충과 번데기의 100% 사망일은 각각 3월 16일과 1월 12일로, 성충이 번데기보다 약 2개월 더 생존하는 것으로 나타났다. 조사과정에서 동해 및 냉해로 인하여 용방이 존재하는 신초가 다수 탈락하였으며 굴굴나방 유충피해가 심한 신초일수록 잎 탈락률은 증가하였다(약 82%). 탈락된 신초 내 번데기는 신초가 건조되면서 모

두 사망하였다.

노지 감귤원에서 최저기온이 영하로 감소하는 시기(12월 말~1월 초, 2월 초)에 굴굴나방의 생존율은 급격히 감소하였다. 번데기의 경우 제주시와 서귀포시 포장 모두 2월 이후 생존한 번데기가 없었던 반면 성충은 60% 이상 생존하였다. 성충의 90% 이상 사망일은 제주시와 서귀포시에서 각각 2월 20일 3월 10일로 지역 간 약 19일의 차이가 있었다.

2. 월동기 노지 재배 감귤원 내 굴굴나방 발육단계별 발생양상

2019년과 2020년 겨울에 제주도 지역별 노지 감귤원(15개소)에서 굴굴나방 성충과 번데기 밀도 조사를 진행하였고 그 결과는 Table 2와 같다. 2019년 조사에서 노지 감귤원에서 발견된 번데기는 없었던 반면 성충은 모든 과원에서 지속적으로 트랩에 포획되었다. 2020년 조사에서는 서귀포시 위미과원의 후기 가을순에서 생존한 번데기를 1마리 발견하였지만 성충으로 우화하지는 못했고 나머지 14개 과원에서는 번데기가 발견되지 않았다.

고 찰

본 연구에서는 굴굴나방이 월동과 관련하여 다음 해 초기개체군 발생과 어떻게 연결되는지 발육단계별 저온 실내실험과 야외 실험 및 노지 감귤원 포장조사를 통하여 구명하였다.

본 연구에서는 동일한 저온 조건에서 굴굴나방의 발육단계에 따라 생존기간의 유의한 차이가 있었으며 성충이 번데기보다 더 오래 생존하는 것으로 나타났다(Table 1, Fig. 2). 또한, 동일기간 동안 영하 구간의 저온에서 굴굴나방 성충이 번데기보다 생존율이 높은 것으로 나타났으며 이는 영상 구간의 저온에서도 동일하였다. 또한, 2°C 번데기 처리구의 경우 성충에 비해 생존일이 급격히 감소하는데, 이는 얇은 막으로 이루어진 용방 내부의 과습에 의한 질식 때문인 것으로 판단된다. 실제로 2°C의 번데기 처리구를 확인하는 과정에서 용방 내·외부의 온도 차에 의해 물방울이 맺히는 현상이 확인되었다. 이러한 현상은 겨울철 야외 포장조사 과정에서도 온도 차에 의하여 후기 가을순 용방 내부에 물방울이 맺혀 있는 것을 다수 확인할 수

있었다(Unpublished data). 본 연구의 실내 저온실험에서 설정한 저온(-5, -2, 2, 4°C)은 제주도 겨울철 최저온도 분포 범위를 고려하여 설정하였기 때문에 본 실험의 결과를 토대로 실제 노지 감귤원에서 굴굴나방의 월동양상을 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

굴굴나방 성충과 번데기를 야외 감귤원에 접종한 후 생존기간을 평가한 결과 서귀포지역에서 성충은 다음 해 3월 24일까지 생존하였다(Fig. 2). 이는 일반적으로 서귀포지역의 봄순 발아가 3월 중순에 시작된다는 사실(국립원예특작과학원 과수생육·품질관리 시스템 자료)을 고려했을 때 성충태로 월동한 굴굴나방이 다음 해 초기개체군을 형성할 가능성이 높다는 것을 의미한다. 반면에 번데기의 경우 제주시와 서귀포에서 1월을 넘기지 못하고 모두 사망하였다. 제주도 노지 감귤원에서 일 최저기온이 영하로 감소하는 시기(12월 말~1월 초, 2월 초)에 번데기의 생존율은 급격히 감소하였지만 성충은 60% 이상 생존하였다(Fig. 2). 성충의 90% 이상 사망일은 제주시와 서귀포시에서 각각 2월 20일 3월 10일로 지역 간 약 19일의 차이가 있었는데 이는 서귀포지역이 제주시보다 상대적으로 겨울철 온도가 높기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

우리나라와 감귤류 재배환경이 비슷한 일본 히로시마 지역에서 월동기 굴굴나방 성충이 164일까지 생존할 수 있는 반면, 번데기는 다음 해 봄까지 생존 개체가 없는 것으로 보고되었다(Hamamura 1980). 본 연구의 노지 감귤원 내 굴굴나방 발육단계별 밀도조사에서 다음 해 봄까지 노지 감귤원에서 생존한 번데기는 없었던 반면 성충은 모든 과원에서 지속적으로 발견되었고 Hamamura (1980)의 연구 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있었다(Table 2). 2020년 과원 조사에서는 평년과 다르게 굴굴나방의 월동 성충 밀도가 급격히 증가하였는데, 이는 최근 제주도 겨울철 기온상승으로 인하여 개체군 생존에 불리한 시기가 단축되고 월동에 호의적인 환경이 조성됨으로써 나타나는 현상인 것으로 판단된다.

결과를 종합하여 판단해 볼 때 제주도에서 노지 감귤원에서 굴굴나방은 성충태로 월동하는 것으로 판단된다. 번데기의 경우 신초에 형성된 용방에서만 생존할 수 있다는 제약이 있기 때문에 겨울철 동해 피해를 받기 쉬운 신초에서 월동하는 것은 쉽지 않을 것으로 판단된다. 제주도에 겨울철 감귤 신초는 대부분 동해 피해를 받아서 탈락되거나 부패하는 경우가 많으며 굴굴나방 피해를 받은 신초

는 동해 피해에 더 취약하기 때문에, 현재 제주도 환경에서 번데기로 월동하여 다음 해 초기개체군 형성에 기여하는 것은 불가능하다고 판단된다. 하지만 본 연구에서 제주도에서 가장 따뜻한 지역인 위미감귤원에서 생존한 번데기가 1마리 발견되었다는 점을 고려했을 때 향후 기후변화에 따라 제주도 겨울철 온도가 증가할 경우 번데기로 월동할 가능성도 있을 것으로 판단된다.

미국 플로리다에서는 굴굴나방이 월동기에 휴지상태의 성충으로 월동하는 것으로 알려졌다(Lim and Hoy 2006). 우리나라와 인접한 일본에서는 굴굴나방이 성충으로 월동하는 것으로 알려져 있다(Yamamoto 1968; Hamamura 1980; Ujiye 2000). Yamamoto (1968)는 노지 감귤원 조사를 통하여 일본 큐슈지역에서 굴굴나방 성충이 감귤 수관 부에서 월동한다고 보고하였다. Ujiye (2000)는 큐슈, 와카야마 등 온난한 지역에서 월동 성충이 발견되었지만 상대적으로 추운 지역에서는 월동 성충이 발견되지 않았다고 보고하였다. 이는 본 연구와 유사한 결과로 일본의 주요 감귤 생산지역과 재배환경이 비슷한 제주도 감귤원에서도 겨울철 월동 성충만 발견되었으며, 남쪽 지역에 비하여 상대적으로 추운 북쪽 지역에서는 월동 성충 발생밀도가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다(Table 2). Masayoshi and Takeo (1967)는 일본에서 굴굴나방이 번데기로 월동한다고 주장하였지만 유충과 번데기만을 대상으로 수행한 연구로 성충의 월동 가능성을 배제한 채 번데기로 월동한다는 결론을 내리는 것은 보다 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 우리나라의 경우 굴굴나방이 번데기와 성충으로 월동한다는 기록이 있지만 실제 조사된 바가 없으며 근거가 불분명하다(Lee *et al.* 1990). Clausen (1931)은 굴굴나방이 성충으로만 월동을 하며 이는 *Phyllocnistis*속(genus) 나방들에게서 나타나는 공통적인 습성이라고 보고하였다.

Hamamura (1980)는 암컷 성충의 알 수축과 난소 성숙 증단을 통한 생식적 휴면 가능성을 언급하였으나 플로리다 개체군으로 휴면유도 실험 결과 암컷의 생식적 휴면 증상은 발견되지 않았다(Lim and Hoy 2006). Pandey and Pandey (1964)의 연구에서도 인도에서 굴굴나방의 겨울과 여름철 휴면과 관련된 증상이 발견되지 않았다고 보고하였다. 본 연구의 실험과정에서 저온 및 단일조건에서 장기간 노출된 암컷성충의 생식기관을 해부하였을 때 알이 수축되는 현상은 발견할 수 없었다.

해충의 월동은 불리한 환경을 극복하고 다음 세대의 개체군 성장을 결정하는 생존전략으로 해충의 초기개체군 발생 동태에 대한 이해를 도울 뿐만 아니라 성공적인 개체군 관리방안 수립 시 유용하게 활용될 수 있다(Beres *et al.* 2011). 미국 캘리포니아에서는 굴굴나방의 월동태 구명 후 월동 성충을 개체군 성장 기점(biofix)으로 설정하여 유효적산온도 기반 페놀로지 모형을 구축하였고, 이를 굴굴나방 개체군 초기밀도 관리를 위한 도구로 활용하였다(Cardwell *et al.* 2008). 우리나라의 경우 개체군모형 시뮬레이션을 통하여 제주도에서 굴굴나방이 번데기로 월동 가능성을 언급하였지만 외국자료(터키 개체군)를 기반으로 단위모형을 작성하였기 때문에 국내 개체군에 적용하기에는 불확실한 부분이 있다(Hyun 2018).

해충의 성공적인 개체군 관리를 위해서는 대상 해충의 생태적 특성 이해가 필수적이다. 본 연구 이전에는 굴굴나방의 월동생태와 관련된 국내연구가 전무하여 월동 개체군 및 다음 해 초기개체군 방제전략을 수립하는 데 한계가 있었다. 본 연구의 국내 굴굴나방의 월동태 구명을 통하여 성충을 월동기 방제대상으로 결정할 수 있으므로, 향후 굴굴나방 월동 개체군이 우화하는 후기 가을순을 조기에 제거함으로써 다음 해 봄철 발생 밀도를 억제하는 데 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 본 연구에는 포함되지 않았지만 실제로 감귤 후기 가을순 제거를 통하여 굴굴나방 월동 개체군 발생을 조기에 차단함으로써 다음 해 초기개체군 발생 밀도를 현저히 낮출 수 있었다(농촌진흥청 영농기술정보, 자료번호: 202011000802).

현재 국내 노지 감귤원에서 굴굴나방 월동생태와 관련된 연구가 부족한 실정이기 때문에 본 연구는 굴굴나방 월동 및 초기개체군 생태를 이해하는 데 도움이 될 뿐만 아니라 감귤원에서 굴굴나방의 방제전략 수립 시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

적 요

굴굴나방은 제주도 감귤원에서 경제적으로 중요한 해충이지만, 상대적으로 월동생태와 관련된 연구는 부족하다. 본 연구에서는 굴굴나방이 월동과 관련하여 다음 해 초기개체군 발생과 어떻게 연결되는지 발육단계별 저온 실내실험과 야외실험 및 노지 감귤원 포장조사를 통하여

구명하였다. 연구 결과, 동일한 저온 조건에서 굴굴나방의 발육단계에 따라 생존기간의 유의한 차이가 있었으며 성충이 번데기보다 더 오래 생존하는 것으로 나타났다. 굴굴나방 성충과 번데기를 야외 감귤원에 접종한 후 생존기간을 평가한 결과, 서귀포지역에서 성충은 다음 해 3월 24일까지 생존하였다. 이는 일반적으로 서귀포지역의 봄순 발아가 3월 중순에 시작된다는 사실을 고려했을 때 성충태로 월동한 굴굴나방이 다음 해 초기개체군을 형성할 가능성이 높다는 것을 의미한다. 반면에 번데기의 경우 제주도와 서귀포에서 1월을 넘기지 못하고 모두 사망하였다. 또한, 노지 감귤원 내 굴굴나방 발육단계별 밀도조사에서 다음 해 봄까지 노지 감귤원에서 생존한 번데기는 없었던 반면 성충은 모든 과원에서 지속적으로 발견되었다. 따라서 결과를 종합하여 판단해 볼 때, 제주도의 노지 감귤원에서 굴굴나방은 성충태로 월동하는 것으로 판단되며, 번데기의 경우 신초에 형성된 용방에서만 생존할 수 있다는 제약이 있기 때문에 겨울철 동해 피해를 받기 쉬운 신초에서 월동 후 다음 해 초기개체군 형성에 기여하는 것은 쉽지 않을 것으로 판단된다.

사 사

This study was carried out with the partial support of National Institute of Horticultural & Herbal Science (NIHHS) and the Agenda Project (PJ01440103), RDA, Republic of Korea.

REFERENCES

- Beres BL, HA Carcamo, DK Weaver, LM Dossdall, ML Evenden, BD Hill, RH McKenzie, RC Yang and DM Spaner. 2011. Integrating the building blocks of agronomy and biocontrol into an IPM strategy for wheat stem sawfly. *Prairie Soil. Crop.* 4:54-65.
- Cardwell G, KE Godfrey, DH Headrick, PA Mank and JE Pena. 2008. Citrus Leafminer and Citrus Peelminer. ANR Publication, University of California. Oakland, CA. pp. 1-12.
- Clausen CP. 1931. Two citrus leafminers of the far east. Washington: USDA, (USDA. Technical Bulletin, 252). *Rev. Appl. Entomol.* 19:649.
- Elekcioglu NZ and N Uygun. 2004. The effect of temperature on development and fecundity of *Phyllocnistis citrella* Stainton. *Turk. Entomol. Derg.* 28:83-93.
- Hamamura T. 1980. Studies on the overwintering of the citrus leaf miner, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Bull. Fruit Tree Res. Stn.* E3:99-122.
- Hall DG, TR Gottwald and CH Bock. 2010. Exacerbation of citrus canker by citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* in Florida. *Fla. Entomol.* 93:558-566.
- Hyun SY. 2018. Studies on the Population Dynamics of *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in Citrus Orchards: Environmental-friendly Control and Population Models. Jeju University. Jeju, Korea. p. 95.
- Kim KS, DH Kim, SC Lee and JW Hyun. 2002. Diagnostic and Control of Citrus Pests. National Jeju Agricultural Experiment Station, RDA. Moonhwasu, Seoul. p. 226.
- Lee SC, SS Kim and DI Kim. 1990. Ecological characteristics and control of *Phyllocnistis citrella* and *Panonychus citri* at the citron plantation. *Res. Rept. RDA (Agri. Institutional Cooperation)* 33:37-48.
- Lim UT and MA Hoy. 2006. Overwintering the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae), without diapause in Florida. *Fla. Entomol.* 89:361-366.
- Masayoshi Y and Y Takeo. 1967. The hibernation of citrus leaf miner, *Phyllocnistis citrella* Stainton. *Annu. Rep. Kansai Plant Protect. Soc.* 9:35-41.
- Pena JE, A Hunsberger and B Schaffer. 2000. Citrus leafminer (Lepidoptera: Gracillariidae) density: Effect on yield of 'Tahiti' lime. *J. Econ. Entomol.* 93:374-379.
- Ujiye T. 2000. Biology and control of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in Japan. *Jpn. Agric. Res. Q.* 34:167-173.
- Vercher R, A Farias, C Marzal, A Soto, A Tena and F Garcia-Mari. 2008. Factors influencing adult female oviposition in the citrus leafminer *Phyllocnistis citrella*. *Agric. For. Entomol.* 10:45-51.
- Wang L, Y Minsheng and W Qing. 1999. Damage of citrus leaf miner to citrus and its economic threshold. *J. Appl. Ecol.* 10:457-460.
- Yamamoto E. 1968. Studies on the biology and control of the citrus leaf miner, *Phyllocnistis citrella* Stainton. *Kyushu Assoc. Plant Protect Proc. Proc.* 14:7-50.