

동절기 온도가 꽃매미 월동 알의 생존율에 미치는 영향

이영수* · 장명준 · 김진영 · 김준란¹

경기도농업기술원, ¹국립농업과학원

The Effect of Winter Temperature on the Survival of Lantern Fly, *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) Eggs

Young Su Lee*, Myoung Jun Jang, Jin Young Kim and Jun Ran Kim¹

Environmental Agricultural Research Division, Gyeonggi Agricultural Research and Extension Services, Hwaseong 445-784

¹Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju 565-851

ABSTRACT: Lantern fly (*Lycorma delicatula*) is a major invasive pest that causes withering symptom of agricultural crops by sucking tree sap and sooty mold symptom by producing honeydew. This study was conducted to investigate the occurrence pattern of lantern fly in grape orchards in Gyeonggi area and the effect of winter temperature on *L. delicatula* egg survival during 2010 to 2013. In Gyeonggi areas, overwintered *L. delicatula* eggs began to hatch from early May and nymphs peaked in mid May. Adults emerged from late July and laid eggs until early November. The survival of *L. delicatula* eggs during overwintering was largely affected by winter temperatures. The relationship between the number of days below a threshold temperature (x) in January and the survival rate of overwintering *L. delicatula* eggs (y) was using linear regression model. The best model selected by the lowest RSS (residual sum of square) between predicted and actual survival was $y = -1.0486x + 94.496$ ($R^2 = 0.7067$) with -11°C of threshold temperature. These results should be helpful to conduct *L. delicatula* management programs, since the results provided reliable prediction for the winter survival of *L. delicatula* eggs and the phenology of egg hatch in the spring.

Key words: *Lycorma delicatula*, Survival, Temperature, Over-wintering

조 록: 꽃매미는 약충과 성충이 무리지어 식물체 흡즙하거나 그 과정에서 감로를 배출하여 그을음병을 유발시킴으로써 포도 등에 피해를 주는 외래해충이다. 본 연구는 경기도내 주요 포도 재배지에서 꽃매미의 발생특성과 월동기 극저온이 꽃매미 월동난괴의 생존율에 미치는 영향을 분석하기 위해 2010년부터 2013년까지 수행하였다. 경기지역에서 꽃매미 월동난괴는 5월 상순부터 부화하기 시작하여 5월 중순에 가장 높은 약충 밀도를 보이고 있으며 7월 하순부터 출현한 성충은 11월 상순까지 산란하는 특성을 보였다. 동절기 온도가 꽃매미 월동난괴 생존율에 큰 영향을 미쳤으며, 1월 중 극저온 출현일수(x)와 생존율(y) 간 관계를 선형회귀모형으로 분석하였다. 그 결과 예측치와 실측치 간 잔차자승합(residual sum of square) 가장 낮은 모형은 -11°C 를 일계 극저온으로 취급한 $y = -1.0486x + 94.496$ ($R^2 = 0.7067$) 이었다. 본 연구 결과는 월동 중 꽃매미 알의 생존율 예측과 봄철 발생시기 정보를 제공함으로써 꽃매미 관리전략 수립에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

검색어: 꽃매미, 생존율, 온도, 월동

최근 지구온난화 등 기후변화로 인해 기존 해충의 분포나 발생밀도, 발생소장은 물론 형태학적 변화가 초래되고 있을 뿐만 아니라, 외래해충의 정착과 확산이 우려되고 있다(Ayres and Lombardero 2000; Volney and Fleming 2000; Logan et al.

2003). 꽃매미(*Lycorma delicatula*)는 꽃매미과(Fulgoridae)에 속하는 외래해충으로 우리나라에는 2000년대 중반 이후 중부지방을 중심으로 집단 발생하여 피해를 주고 있다(Kim, 2013). 꽃매미의 기주식물로는 선호도가 높은 가축나뭇(*Ailanthus altissima*)를 비롯해 목본과 초본 41종이 알려져 있다(Lee et al., 2009; Park et al., 2009). 꽃매미는 약충과 성충이 무리지어 식물체를 흡즙하거나 그 과정에서 감로를 배출하여 그을음병

*Corresponding author: yslee75@gg.go.kr

Received June 16 2014; Revised July 9 2014

Accepted August 5 2014

을 유발시킴으로써 우리나라 주요 과수 중의 하나인 포도(*Vitis vinifera*) 등에 피해를 주고 있다(Han et al., 2008; Lee et al., 2009; Park et al., 2009; Shin et al., 2010).

꽃매미는 중국의 Shandong 지방 등 한국의 중부지방과 위도 상 위치가 비슷한 지방에 분포기록이 있다(Liu, 1939). 꽃매미는 중국에서 국내로 유입하여 정착한 것으로 보고된 이래(Han et al., 2008), 최근에는 날개의 형태학적 특성비교나 유전자들의 계통학적인 분석 등을 통한 연구 결과 한국의 꽃매미가 중국 양쯔강 이북지역인 Beijing, Shanghai 개체와 동일한 유전자형으로 밝혀졌다(Kim, 2013).

농작물에 대한 꽃매미 피해를 줄이기 위해 지금까지 꽃매미 방제용 농약으로 포도나무 등 5종의 과수에 램다사이할로스린 +티아메톡삼입상수용제 등 30종이 등록되어 있다(KCPA, 2014). 친환경자재로는 꽃매미 약충 방제에는 제충국 추출물, 고삼 추출물, 데리스 추출물, 성충 방제에는 제충국 추출물, 고삼 추출물이 효과적이며, 황색 끈끈이트랩이 꽃매미 약충과 성충의 유인포살효과가 우수한 것으로 알려져 있다(Choi et al., 2012).

냉혈동물인 곤충에게 저온 스트레스는 중의 증식과 확산의 제한요인이 될 수밖에 없다(Denlinger and Lee 2010, Morey et al. 2012). 따라서 곤충은 저온에서 동결에 견디 내거나 회피하는 생존방식을 취하고 있으며(Bale, 1996), 노출된 온도나 노출된 시간에 따른 생존율에 대한 연구는 종에 대한 내한성(cold tolerance) 연구에 있어 매우 중요하다. 야외에서 월동하는 곤충의 경우, 월동기를 경과한 개체는 그렇지 않는 개체와 비교해 과냉각점이 낮기 때문에 야외 월동 개체군의 발생을 예측한다는 측면에서는 실험실 조건이 아닌 야외조건에서 월동기간 중 저온에 노출된 개체군의 생존율 조사는 필요하다. 우리나라에서 꽃매미는 년 1세대 발생하고 성충은 난괴로 산란을 하며 난괴표면을 왁스층으로 덮어놓는 습성이 있다. 가을에 산란된 난괴는 월동을 거쳐 이듬해 봄에 부화하는 생태적 특성을 갖고 있어(Park et al., 2009) 겨울철의 온도는 이듬해 꽃매미의 출현과 확산에 가장 큰 요인이 될 수밖에 없다(Lee et al., 2011). Choi et al.(2012)은 꽃매미 알에 대해 온도와 발육속도와의 관계식은 $Y = 0.0028 X - 0.0228$ ($R^2 = 0.9561$)로서 발육영점온도는 8.14°C, 유효적산온도는 355.4일도로 추정하고, 이를 바탕으로 꽃매미 알의 부화시기를 예측하기도 하였다.

꽃매미에 의한 피해를 최소화하기 위해서는 산란기에 집중적인 방제를 통해 산란수를 줄이거나, 산란된 난괴의 물리적 제거 등과 같은 방법뿐만 아니라 기상변화에 따른 월동난괴들의 정확한 부화율, 부화시기 예측 등 최적 방제모델이 개발이 시급하다. 본 연구는 경기지역 주요 포도원의 지역별 동절기 기상 차이에 따른 꽃매미 월동난괴의 부화율을 바탕으로 동절기 온

도가 꽃매미 월동 알의 생존율에 미치는 영향을 분석하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

꽃매미 발생특성 조사

신문제 포도 해충인 꽃매미의 발생특성 조사는 2010년부터 2013년까지 가평 등 경기도 주요 포도 재배지 7 지점을 선정해서 수행하였으며(Fig. 1), 포도밭 내에서는 인근 야산과 인접한 부분부터 3지점으로 나누어 지점 당 10주, 총 30주를 조사하였다. 꽃매미 월동난괴의 밀도는 지상부로부터 포도나무 성목의 1 m 이내 가지에 분포하는 난괴수를 조사하였으며, 약충과 성충의 밀도는 성목 전체에 분포하는 마리수를 조사하였다. 조사시기는 월동 알은 성충의 산란이 종료된 12월과 이듬해 월동 알이 부화하기 직전인 4월 중순에 실시하였고, 약충과 성충은 4월 상순부터 10월 하순까지 포도의 전생육시기에 걸쳐 조사하였다.

꽃매미 월동난괴 부화율 조사

동절기 평균기온이 가장 낮은 1월이 경과한 후 노지 포도원에서 2월 상순에 채집한 꽃매미 월동난괴에 대한 부화율을 조사하였다. 검정조건은 온도 25±2°C, 상대습도 60~70%, 광주 조건 L:D=16:8로 설정된 실험실 조건에서 수행하였다. 야외에서 채집한 난괴를 환기망이 있는 원형 플라스틱 용기(Ø 150 × H 73 mm)에 넣어 부화를 유도하였으며, 총 알 수 대비 누적 부화 약충수를 조사하여 부화율을 산출하였다. 이때 월동난괴가 건조로 인해 부화율이 감소하는 것을 방지하기 위해 용기 하단에 탈지면과 필터페이퍼를 깔고 매일 수분을 보충해 주었다.

경기북부지역에서 꽃매미 부화율이 극히 낮았던 2010년과 2011년의 저온조건과 꽃매미 월동 알 생존율과의 관계 분석은 7개 조사지점의 겨울철 기상자료와 해당년도 2월 상순에 채집하여 조사한 지역별 부화율을 바탕으로 Microsoft사의 Excel (Office 2010) 프로그램을 이용하여 분석하였다. 본 연구에서는 꽃매미 알의 임계온도 추정을 위해 Lee et al. (2011)이 제시했던 1월 최저온도의 평균온도 -12.72°C를 포함해 -10°C부터 -20°C까지 1°C 간격으로 1월 최저기온 이하의 기상조건에 노출된 누적일수와 꽃매미 알의 부화율과의 관계를 직선회귀를 이용해 분석하였다. 조사지역간에 임계온도별 누적일수가 다를 경우 부화율이 높았던 지역의 값을 선택하였으며, 경향에서 비정상적인 이상치는 제거하였다.

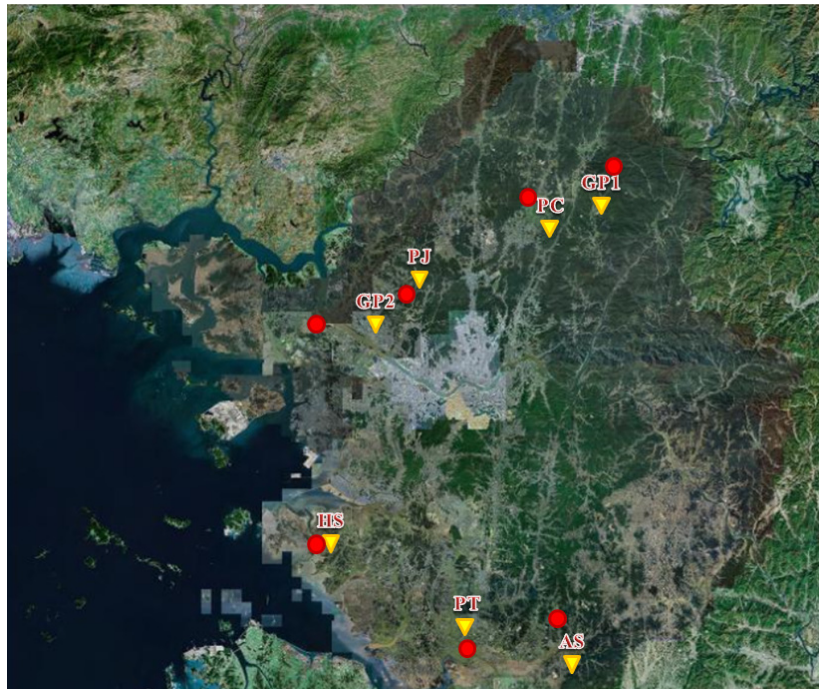


Fig. 1. Map showing sampling locations of *Lycorma delicatula* over-wintering eggs (▼) and the nearest AWS (Automatic Weathering System, ●) of Gyeonggi area. AS, An-seong; GP1, Ga-pyeong; GP2, Gim-po; HS, Hwa-seong, PJ, Pa-ju; PC, Po-cheon; PT, Pyeong-taek.

Stage	Dec.~Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
Egg	○○○	○○○	○○○				○	○○○	○○○
Nymph			◆◆◆	◆◆◆	◆◆◆	◆			
Adult					■	■■■	■■■	■■■	■

Fig. 2. Seasonal occurrence patterns of *Lycorma delicatula* in Gyeonggi area from 2010 to 2013.

기상자료 수집

경기도농업기술원에서 농업기상 변화에 따른 병해충 예측시스템 구축을 위해 논, 과수원 등 도심이 아닌 농경지에 설치하여 운영해 오고 있는 자동기상관측기 중, 꽃매미 조사지역 7 지점에서 가장 가까운 데이터로거(Model CR10X, Campbell Scientific, USA)의 기상관측자료를 일별로 수집하여 분석하였다. 이때 꽃매미 월동난괴 조사지점과 기상관측지점간의 거리는 1.2~28.0 km로 지역별로 다소 차이가 있었다(Fig. 1).

결과 및 고찰

꽃매미 월동난괴 부화율 조사

경기지역에서 꽃매미 알은 5월 상순부터 부화하며 7월 하순

에 출현한 성충은 9월 하순부터 11월 상순까지 산란하는 것으로 조사되었다(Fig. 2). 2010년부터 2013년까지 지역별 꽃매미 월동 알의 부화율을 조사한 결과, 지역별 월동기간 중 온도의 차이로 인해 경기남부 평택지역의 경우 69.8~89.5%로 매우 높았던 반면 경기북부 가평, 파주, 포천지역의 경우 16.8% 이하로 낮거나 전혀 부화하지 않았다(Table 1). 이와 같은 결과로 경기 지역 꽃매미는 2009년에 꽃매미 성충의 많은 산란이 이루어졌음에도 불구하고 2010년과 2011년 동절기 극저온의 영향으로 가평, 포천, 파주 등 경기북부 지역에서는 2012년부터 꽃매미가 거의 관찰되지 않았다(Table 2).

2010년과 2011년의 꽃매미 월동 알의 부화율과 동절기 최저 온도에 노출된 누적일수는 부의 상관관계를 보인 가운데, -18°C 이하의 온도에 노출된 경과일수가 증가할수록 부화율은 $y = -4.0234x + 91.751$ ($R^2 = 0.9447$)로 가장 높은 상관관계를 나타내었다(Table 3). 하지만 이모형을 이용해 2012년과 2013년 화

Table 1. Hatching rate of over-wintering *Lycorma delicatula* eggs collected at the different sites of Gyeonggi area from 2010 to 2013

Site	Hatching rate(%) ^a ± SD ^b			
	2010	2011	2012	2013
An-seong	75.4±19.71	60.6±12.30	65.3±26.24	68.9±15.42
Ga-pyeong	0	- ^c	-	-
Gim-po	50.8±13.52	46.3±6.22	75.2±13.25	61.4±18.61
Hwa-seong	80.2±17.21	63.3±10.37	68.6±10.96	65.6±16.30
Pa-ju	1.7±3.94	0	-	-
Po-cheon	16.8±5.16	0	-	-
Pyeong-taek	81.4±15.42	69.8±11.93	89.5±12.67	80.1±13.33

^aSample size; 271~524 eggs.^bStandard deviation.^cNot detected.**Table 2.** Density fluctuation over-wintering *Lycorma delicatula* eggs at the different sites of Gyeonggi area from 2010 to 2013

Site	Number of egg mass/tree			
	2010	2011	2012	2013
An-seong	2.4	0.3	0.7	0.3
Ga-pyeong	3.4	< 0.1	- ^a	-
Gim-po	0.9	0.2	0.3	0.2
Hwa-seong	0.6	0.4	0.5	0.3
Pa-ju	1.2	< 0.1	-	-
Po-cheon	0.5	< 0.1	-	-
Pyeong-taek	1.5	0.6	1.8	0.8

^aNot detected.**Table 3.** Estimated parameter values of linear models predicting the hatching rate of *Lycorma delicatula* eggs and their field validation with RSS values

Critical Temp. (°C)	Model parameter ^a			RSS ^b in 2012				RSS in 2013				Mean RSS
	a	b	r ²	Hwa-seong	An-seong	Pyeong-taek	Gim-po	Hwa-seong	An-seong	Pyeong-taek	Gim-po	
-10	-1.2285	99.959	0.8930	0.87	75.81	18.34	40.09	22.12	59.56	7.08	312.39	27.20
-11	-1.0486	94.496	0.7067	0.07	154.22	19.73	45.06	17.77	32.18	0.58	97.36	43.96
-12	-1.5126	98.324	0.7636	31.62	106.81	7.69	157.15	83.00	13.76	2.51	127.08	60.81
-13	-3.7421	127.38	0.8657	591.82	93.91	923.90	1120.21	327.65	5.52	184.99	443.48	546.14
-14	-4.1982	130.48	0.9313	834.57	750.55	1679.36	1481.26	649.87	7.87	440.69	566.26	949.33
-15	-3.6982	110.67	0.9343	904.20	1441.99	448.17	594.16	574.82	22.92	145.90	383.41	677.89
-16	-3.1050	96.972	0.8451	268.04	1003.12	55.83	474.02	145.37	0.02	1.81	157.43	360.37
-17	-3.4099	90.463	0.8833	97.28	633.18	0.93	232.96	21.47	5.32	10.74	62.78	193.05
-18	-4.0234	91.751	0.9447	124.34	699.66	135.75	273.94	65.68	1.66	0.18	116.23	246.93
-19	-4.9540	88.344	0.9159	59.97	531.03	67.96	172.76	8.04	28.37	2.77	90.94	166.53
-20	-6.2013	86.160	0.9317	30.91	435.14	36.72	120.12	19.00	122.29	0.02	122.29	124.76

^a $y = ax + b$, where y is the hatching rate of *L. delicatula* eggs and x is the number of days above each critical temperature in daily minimum temperatures during January. Data sets of 2010 and 2011 were used for model development, and independent data sets of 2012 and 2013 were used for model validation.^bResidual sum of square = (actual - predicted hatching rate)².

성, 안성, 평택, 김포지역 꽃매미 월동 알의 부화율의 예측값과 실측값을 비교해본 결과에서는 -11°C 이하의 온도에 노출된 경과일수가 증가할수록 부화율은 $y = -1.0486x + 94.496$ ($R^2 = 0.7067$)로 감소하는 가운데 오차(RSS; residual sum of square)가 가장 낮은 것으로 분석되었다(Table 3). 따라서 이모형을 사용하면 1월 중 -11°C 이하의 노출된 누적일수를 이용해 꽃매미 월동 알의 부화율 예측이 가능하리라 사료된다. Lee et al. (2011)의 모형에 따르며 1월 최저온도의 평균값을 이용해 월동 기간 중 꽃매미 살충률을 예측할 수 있다. 본 연구에서도 1월 기상자료를 분석한다는 것은 동일하지만, Lee et al. (2011)의 모형을 이용해 2010년 7개 지역별 1월 최저온도의 평균값을 이용해 부화율을 산출한 결과 평균값이 -15°C 이하인 가평, 파주, 포천지역의 경우 부화율이 0로 예측이 되었지만, 1월 최저온도 평균값이 $-12.3, -12.5, -11.6, -10.0^{\circ}\text{C}$ 이었던 안성, 김포, 화성, 평택지역의 경우 부화율이 각각 4.8, 2.5, 12.6, 30.6%로 나타나 실제 부화율과 큰 차이를 보였다. 따라서 본 연구의 결과는 1월 최저온도에 노출된 누적일수를 이용해 꽃매미 월동 알의 부화율을 예측할 수 있다는 새로운 방안으로 제시할 수 있다. 겨울철 온도가 꽃매미 알의 생존율에 미치는 영향을 조사함에 있어 월동 난괴의 채집시기나 처리방법 또는 채집한 기주의 종류에 따라 생존율의 차이가 발생할 수 있다. 또한 샘플지점과 가장 가까운 지점 농경지에서 수집된 기상자료를 확보하는 것 또한 매우 중요하다고 볼 수 있다. 본 연구를 통해 동절기 최저온도는 이듬해 꽃매미 발생밀도에 영향을 미치며, 특히 저온에 노출된 누적시간이 큰 요인이 될 수 있다고 할 수 있다. 특히 -11°C 이하의 온도에 노출된 누적일수 분석을 통하여 꽃매미 월동 알의 부화율을 예측하고 그 결과를 토대로 종합방제 대책을 수립하는데 이용이 가능하리라 사료된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업인 오이, 국화 등 15작물의 돌발해충 예찰방법 표준화 기술 개발 과제(PJ009194)의 지원을 받아 수행한 결과입니다.

Literature Cited

Bale, J.S., 1996. Insect cold hardiness: A matter of life and death. *Eur. J. Entomol.* 93, 369-382.

- Choi, D.S., Kim, D.I., Ko, S.J., Kang, B.R., Park, D.J., Kim S.G., Choi, K.J., 2012. Environmentally-friendly control methods and forecasting the hatching time *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) in Jeonnam province. *Korean J. Appl. Entomol.* 51, 371-376.
- Denlinger, D.L., Lee, R.E., 2010. *Low temperature biology of insects.* Cambridge university press. Cambridge, UK.
- Han, J.M., Kim, H., Lim, E.J., Lee, S., Kwon, Y.J., Cho, S., 2008. *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Fulgoridae: Aphaeninae), finally, but suddenly arrived in Korea. *Entomol. Res.* 38, 281-286.
- KCPA., 2013. *User's manual of pesticides.* Korean crop protection association. pp1439.
- Kim, H.J., 2013. Morphometric analysis of wing variation of lantern fly, *Lycorma delicatula* from northeast asia. *Korean J. Appl. Entomol.* 52, 265-271.
- Lee, J.E., Moon, S.R., Ahn, H.G., Cho, S.R., Yang, J.O., Yoon C.M., Kim, G.H., 2009. Feeding behavior of *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) and response on feeding stimulants of some plants. *Korean J. Appl. Entomol.* 48, 467-477.
- Lee, J.S., Kim, I.K., Koh, S.H., Cho, S.J., Jang, S.J., Pyo, S.H., Choi, W.I., 2011. Impact of minimum winter temperature on *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) egg mortality. *J. Asia-Pacific Entomol.* 14, 123-125.
- Liu, G., 1939. Some extracts from the history of entomology in China. *Psyche.* 46, 23-28.
- Logan J.A., Regniere, J., Powell, J.A., 2003. Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Front Ecol. Environ.* 1, 130-137.
- Morey, A.C., Hutchison, W.D., Venette, R.C., Burkness, E.C., 2012. Cold hardiness of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) pupae. *Environ. Entomol.* 41, 172-179.
- Park, J.D., Kim, M.Y., Lee, S.G., Shin, S.C., Kim, J.H., Park, I.K., 2009. Biological characteristics of *Lycorma delicatula* and the control effects of some insecticides. *Korean J. Appl. Entomol.* 48, 53-57.
- Shin, Y.H., Moon, S.R., Yoon, C.M., Ahn, K.S., Kim, G.H., 2010. Insecticidal activity of 26 insecticides against eggs and nymphs of *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae). *Korean J. Appl. Entomol.* 14, 157-163.
- Volney, W.J.A., Fleming, R.A., 2000. Climate change and impacts of boreal forest insects. *Agric. Ecosyst. Environ.* 82, 283-294.