

저온처리에 의한 솔껍질각지벌레 여름휴면의 조절

이종희 · 위안진¹ · 박승찬^{2*}용산구청, ¹전라남도 산림자원연구소, ²전남대학교 산림자원학부Manipulation of Summer Diapause by Chilling in
Matsucoccus thunbergianae (Hemiptera: Coccoidea: Margarodidae)Jong-Hee Lee, An-Jin Wi¹ and Seung-Chan Park^{2*}

Yongsan-gu Office, Seoul City, Korea

¹Forest Resources Research Institute, Jeollanam-do, Korea²Department of Forest Resources, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

ABSTRACT: A set of experiments were conducted to determine the zero temperature and total effective temperature for the summer diapause and post-diapause development of *Matsucoccus thunbergianae* Miller et Park (Hemiptera: Margarodidae) which infests the Japanese black pine, *Pinus thunbergii*. The diapausing first instar nymphs were kept in cool storage during three separate times, each starting from May 4th, June 19th, and August 15th of 2002. Cool storage temperatures were 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5 and 15.0°C. The nymphs were chilled for 10, 20, 30 or 40 days in the first two sets of experiments. In the third experiment, nymphs were chilled for 3, 6, 9 or 12 days. Molting into the second instar nymphs was examined every 10 days, starting at 20 days after taken out from the cool storage. Optimum temperature range of the diapause development was between 7.5 and 10°C, where diapause development was completed in 40, 20, and 6 days by the insects chilled from May 4th, June 19th and August 15th, respectively. Comparing the three sets of experiments with different chilling periods, zero temperature for diapause development was calculated as 29°C. Effective temperature for diapause development was 964 degree days, and it was estimated that nymphs completed their diapause development by September 8th in nature. Under natural temperature conditions >50% eclosion into the second instar occurred on November 9th. Zero temperature for post-diapause development was 10°C, and total effective temperature for post-diapause development until the molt into the second instar was 391 degree days.

Key words: *Matsucoccus thunbergianae*, *Pinus thunbergii*, Summer diapause, Diapause development, Physiogenesis, Morphogenesis

초 록: 우리나라 해안지방 해송림에 피해를 주고 있는 솔껍질각지벌레의 여름휴면현상에 미치는 저온처리의 효과를 알아보기 위하여, 휴면진행시기에 따라 1차, 2차, 3차의 휴면종료실험에 있어 각각 5월 4일, 6월 19일, 8월 15일부터 공시충(1령 약충)을 온도별, 기간별로 저온저장한 후 자연온도조건에서 사육하며 발육을 관찰하였다. 1차와 2차 실험은 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0°C의 각 저온에서 10, 20, 30, 40일간 저장하였으며, 3차 실험은 자연 상태에서 휴면발육(physiogenesis)이 상당히 진행된 시기이므로 동일한 온도조건에서 3, 6, 9, 12일간 저장하였다. 저온기에서 꺼내고 20일이 지난 후부터 각 공시충의 2령 약충으로의 탈피여부를 조사하였으며, 이러한 조사결과를 통하여 본 해송의 여름휴면 중 휴면발육을 가장 촉진시킬 수 있는 온도와 그 완료에 필요한 기간을 규명하였다. 휴면발육을 가장 촉진시키는 온도는 7.5~10°C 이었으며, 이들 온도에서 휴면발육을 완료하기 위해서는 1차실험에서는 40일, 2차실험에서는 20일, 3차실험에서는 6일이 각각 소요되었다. 휴면발육을 위한 발육영점온도는 29°C로 추정되었으며 유효적산온도는 964일도이었다. 이를 근거로 자연온도조건에서의 유효발육온도의 합과 비교하여 추정한 결과 자연상태에서의 휴면발육 완료시기는 9월 8일이었다. 자연상태에서 약충의 50%이상이 2령충으로 탈피한 시기는 11월 9일이었으며, 휴면후 발육(morphogenesis)을 위한 발육영점온도는 10°C로서 유효적산온도는 391일도이었다.

검색어: 솔껍질각지벌레, 해송, 여름휴면, 휴면발육, 휴면후 발육

*Corresponding author: pscpine@hanmail.net

Received October 10 2013; Revised October 22 2013

Accepted October 23 2013

솔껍질각지벌레(*Matsucoccus thunbergianae* Miller et Park)는 1980년대 초부터 대발생하여 우리나라 해안의 주요 경제수종인 해송림에 많은 피해를 주고 있는 산림 해충이다. 솔껍질각지벌레는 1년 1세대를 거치고, 성충은 3-4월에 우화하여 알을 낳고 주로 4월에 부화하여 곧 1령 약충으로 장기간의 절대휴면(obligatory diapause)에 진입하므로 여름에는 별 피해를 주지 않지만, 휴면이 끝난 10월부터 생장이 재개된 후 2령약충으로 탈피하여 익년 2~4월까지 나무를 흡즙 가해한다(Park, 1991).

Park and Park (1985)의 실험에서 본 해충을 45일 동안 5°C와 25°C에서 저장한 결과 5°C에서는 휴면종료가 이루어진 반면 25°C에서는 휴면발육이 지연되었다. 이것을 바탕으로 본 실험에서는 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0°C의 각 저온에서 10, 20, 30, 40일간 저장 후 자연온도 조건에서의 발육상태를 조사하였다. 이로써 본 해충의 여름휴면 중 휴면발육을 가장 촉진시킬 수 있는 온도와 완료에 필요한 기간을 규명하고, 휴면발육(휴면중의 생리생장: diapause development; physiogenesis)과 휴면후 발육(휴면후의 형태생장: post-diapause development; morphogenesis)을 위한 발육영점온도와 유효적산온도를 산출하여 연간 공시충 확보에 기여하고 제방 방제법의 연구 개발에 필요한 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

공시충 채집 및 접종

공시충 채취: 2002년 3월 나주시 산포면과 함평군 대동면 일대에서 솔껍질각지벌레 2령약충의 서식이 확인되는 곰솔 치수(근원경 2 cm, 수고 1 m 내외) 100본을 굴취, 포트에 이식하였다.

알주머니 접종: 공시충당 최다의 공시충 서식조건을 마련하기 위하여, 2002년 4월 상순 나주시 산포면 일대의 솔껍질각지벌레 기주인 해송에서 알주머니가 많이 있는 가지를 채취하여 실내로 운반하였다. 채집한 알주머니를 공시충에 접종하기 위하여 100개의 젤라틴 캡(직경 5 mm, 길이 15mm)에 넣었다. 이 때 젤라틴 캡간의 유전적 형질의 변이를 최소화하기 위하여 각 캡당 1개씩의 알주머니를 넣는 작업을 총 17번 되풀이하였다. 즉, 한 개의 캡에 17개의 알주머니를 넣었다. 2002년 4월 12일 알주머니를 담은 캡을 0.5 mm 메쉬의 망사로 만든 주머니(1.2 × 3.0 cm)에 넣었다. 캡에 빗물이나 기타 이물질이 고이지 않도록 막아진 부분을 위쪽으로 하여 앞에서 부화한 약충이 잘 정착할 만한(인편의 일부가 수피로부터 분리된) 줄기에 핀으로 단단히 고정하였다. 이 때 주머니의 위치는 공시충에 물을 주었을 때 알주머니가 물에 잠기는 것을 방지하기 위하여 지면으로부터

터 5 cm이상의 높이에 고정하였다.

자연상태에서의 증태변화 조사

부화율조사: 2002년 4월 12일 알주머니를 접종한 공시충에서 임의로 다섯본의 공시충을 선정하고 4월 15일~4월 22일까지 젤라틴 캡에서 임의로 알주머니 1개씩을 선정하여 각 알주머니 안에서 미부화한 수 및 탈피각(난각) 수를 실체현미경으로 검경(20배율)하여 부화율을 조사하였다.

2령약충으로의 탈피율 조사: 자연온도조건에 보관한 5본의 공시충에서 2002년 10월 20일부터 5일간격으로 각 공시충당 공시충이 최소 20개체가 나올 때까지 수피를 약 0.5 × 2 cm의 크기로 반복 채취하며 검경하였다. 2령충으로의 탈피여부는 실체현미경을 이용하여 (20배율) 약충을 핀으로 탈피각과 분리하며 조사하였다.

휴면종료 실험

1차 휴면종료 실험: 2002년 5월 4일부터 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0°C의 항온조건에서 각 공시충을 10, 20, 30, 40일간 보관하였다

2차 휴면종료 실험: 2002년 6월 19일부터 1차 휴면종료실험과 같은 방법으로 수행하였다.

3차 휴면종료 실험: 2002년 8월 15일부터 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0°C의 항온조건에서 각 공시충을 3, 6, 9, 12일간 보관하였다.

탈피율 조사: 공시충의 휴면후 발육을 고려하여 저온항온기에서 꺼낸 후 상온에서 보관하여 20일이 지난 후 10일간격으로 공시충이 최소 20개체가 나올 때까지 수간부위의 수피를 약 0.5 × 2 cm의 크기로 반복 채취하며 검경, 2령충으로 탈피한 개체 수/총 조사 개체수를 조사하였다. 조사 개체수 중 2령충의 수가 50%이상일 때 검경을 완료하였다.

자연상태에서의 휴면발육 및 휴면후 발육을 위한 온도조건과 생장율과의 관계

곤충의 발육영점온도, 유효적산온도 등의 추정에 있어 일도(day degree)에 의한 계산은 일중온도가 동일한 조건에서 유효한 것일 뿐, 일중 온도차가 뚜렷하여 곤충의 생장이 일중 특정한 시간대에만 이루어지는 자연조건에서는 각 시간대별 온도에서의 발육(hour degree)개념이 도입되어야 한다. 본 실험에서는 공시충의 보관장소인 광주지방기상청의 일중 시간별 온

도기록에 의거, 각 stage에서의 온도 조건별 발육속도를 추정하였다.

결과 및 고찰

자연상태에서의 총태 변화

부화 시기: 난양접종 후 4월 15일~22일까지 누적 부화율을 조사한 결과 50%이상 부화한날은 4월 20일이였다(Fig. 1).

2령약충으로의 탈피시기: 10월 20일부터 5일간격으로 임의의 공시목에서 절편을 떼어내어 2령충으로 탈피한 개체수를 검정한 결과 11월 9일에 2령약충으로 50%이상 탈피하였다(Fig. 2).

약충의 온도별, 기간별 저온저장 후 탈피율

1차 휴면종료 실험: 저온항온기에서 5월 4일부터 10일간, 20일간 및 30일간 저장한 공시목은 모든 온도에서 시간이 경과하

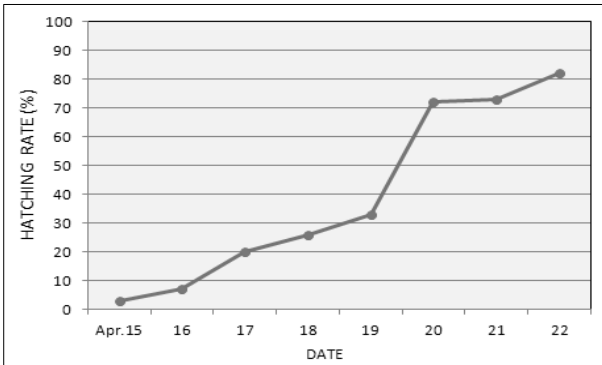


Fig. 1. Percentage of accumulated egg hatch of *Matuscoccus thunbergianae* at dates examined.

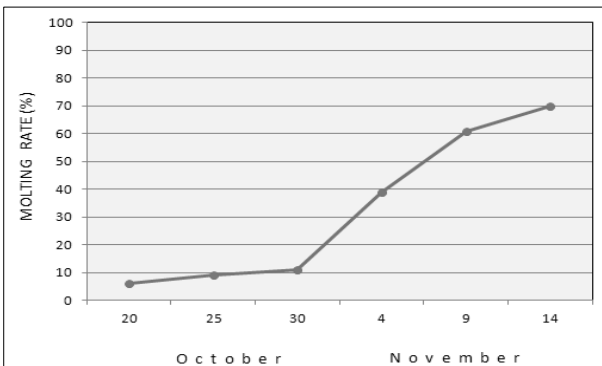


Fig. 2. Percentage of accumulated molt into the second instar of *Matuscoccus thunbergianae* at dates examined.

여도 50%이상 2령충으로 탈피한 처리구는 없었다. 그러나 저온항온기에서 40일 보관하여 6월 13일 꺼낸 공시목은 저온에서 꺼낸 후 30일만인 7월 13일 검경결과 7.5, 10.0, 12.5°C의 처리구에서 탈피율이 50%이상이었다. 저온에서 꺼낸 지 30일 경과 후 탈피율이 50%이상 되지 않는 처리구는 그 후 시일이 경과하여도 탈피율의 증가가 없었다. 이상의 1차 실험에서 볼 때 5월초부터 저온저장을 하여 50%이상의 휴면종료를 위해서는 저장기간은 40일이상, 온도는 7.5~12.5°C에서 가장 큰 효과를 볼 수 있었다(Table 1).

2차 휴면종료 실험: 각 저온에서 6월 19일부터 6월 29일까지 보관한 공시목을 저온기에서 꺼낸 후 7월 19일(상온에서 20일 경과), 7월 29일, 8월 8일, 8월 18일에 검정한 결과 각 온도에서 소수 탈피한 개체가 발견되었으나 탈피율은 10%미만이었다. 6월 19일부터 7월 9일까지 20일 저온저장한 공시목을 7월 29일(상온에서 20일 경과) 검경결과 7.5, 10.0, 12.5, 15.0°C에서

Table 1. Effect of cool temperature storage for different periods on the termination of summer diapause of *Matuscoccus thunbergianae* (First experiment)^a

Temperature (°C)	Chilling period (days)			
	10	20	30	40
2.5	0	3.9	10.0	9.5
5.0	0	15.4	3.1	0
7.5	5.0	7.1	10.2	76.1
10.0	0	9.5	12.5	75.0
12.5	0	0	2.2	55.0
15.0	0	0	4.1	2.8

^aChilling began on May 4, 2002. Percentage of molt into the second instar was examined at 30 days after taken out from each treatment.

Table 2. Effect of cool temperature storage for different periods on the termination of summer diapause of *Matuscoccus thunbergianae* (Second experiment)^a

Temperature (°C)	Chilling period (days)			
	10	20	30	40
2.5	0	4.8	17.4	0
5.0	0	4.8	60.0	57.1
7.5	8.3	75.4	61.8	52.3
10.0	0	68.5	75.2	61.9
12.5	0	85.4	61.9	63.6
15.0	0	71.3	54.9	70.0

^aChilling began on June 19, 2002. Percentage of molt into the second instar was examined at 30 days after taken out from each treatment.

50%이상이 2령충으로 탈피하였으며, 6월 19일부터 7월 19일 까지 30일 저온저장한 공시목을 8월 8일(상온에서 20일 경과) 검경결과 7.5, 10.0, 12.5, 15.0°C에서 50%이상 2령충으로 탈피 하였다. 8월 18일의 검경(상온에서 30일 경과)에서는 5.0°C 에 서도 탈피율이 60.0%였다. 2차 휴면타파실험에서 보는 바와 같이 20일간 저온저장한 공시목에서는 7.5~15.0°C, 30일과 40일 저온저장한 공시목에서는 5.0~15.0°C의 처리구에서 상 온보관 20일~30일 경과 후 2령 약충으로 탈피한 개체가 50% 이상인 것으로 나타났다(Table 2). 저온기에서 꺼낸 후 20일~ 30일이 경과하여도 50%이상의 탈피율이 없는 처리구는 그 후 시일이 경과하여도 탈피율의 증가는 없었다. 6월 중순에 50% 이상 2령약충으로 발육을 위한 저온저장은 최소 20일 이상, 7.5 ~ 15.0°C의 온도조건이 필요한 것으로 나타났다.

3차 휴면종료 실험: 3차실험이 시작된 8월 15일은 솔껍질작 지벌레의 휴면발육이 자연조건에서 상당히 진행된 상태이므로 짧은 저온처리에도 휴면이 종료될 수 있다고 추측되어 3, 6, 9, 12일 동안 저온저장하였다. 8월 15일부터 8월 18일까지 3일간 저온저장 하여 저온기에서 꺼낸 후 20일 경과하여 검경한 결과 50%이상 2령충으로 탈피한 온도조건은 없었다. 8월 15일부터 21일까지 6일간 저온저장한 공시목을 상온에서 20일 경과 후 검경한 결과 5.0, 7.5, 10.0°C에서 각각 66.6, 80.0, 62.5%의 탈 피율을 나타냈으며, 8월 15일부터 24일까지 9일간 저온저장한 공시목과 8월 15일부터 27일까지 12일간 저온저장한 공시목 은 저온기에서 꺼낸 지 20일이 경과한 후 모든 온도에서 60%이 상의 탈피율을 나타냈다(Table 3). 3차 휴면타파실험은 저온저 장 개시 이전에 이미 휴면발육이 상당히 진행되어 1차, 2차 휴 면타파실험에 비해 짧은 기간 저온처리에도 대부분이 휴면이 종료되었으며, 저온저장 기간과 온도는 최소 6일 이상 5~10°C 에서 가능한 것으로 조사되었다.

이상의 3차에 걸친 솔껍질작지벌레의 여름휴면실험에 있어 서 공통적으로 7.5 및 10°C에서 가장 휴면발육이 가장 잘 이루 어졌다(Table 4).

Park and Park (1985)의 연구에서 본 해충을 5°C와 25°C에 서 1984년 6월 25일부터 8월 8일까지 45일 동안 처리하였을 때 5°C에 처리한 공시목은 8월 31일 20%가 2령약충으로 탈피하 고 9월 13일 성충으로 우화가 시작되었으나, 25°C에서 처리한 공시목은 9월 25일이 경과하여도 2령약충으로 탈피한 개체가 없었다. 또한, 자연상태에서 12월 중순까지는 대부분 개체가 2 령충으로 탈피를 완료하였으나, 25°C에서 계속 보관한 공시충 은 탈피하지 않았으므로 휴면종료를 위하여는 저온에 일정시 간 노출되는 것이 필요하다고 하였다.

휴면발육의 최적온도는 솔껍질작지벌레류의 일종 *Matsacoccus*

Table 3. Effect of cool temperature storage for different periods on the termination of summer diapause of *Matsucoccus thunbergianae* (Third experiment)^a

Temperature (°C)	Chilling period (days)			
	3	6	9	12
2.5	0	0	72.7	65.8
5.0	0	66.6	70.0	86.4
7.5	23.8	80.0	71.4	75.4
10.0	0	62.5	85.7	75.0
12.5	0	4.8	87.5	74.1
15.0	0	4.8	72.0	85.7

^aChilling began on August 15, 2002. Percentage of molt into the second instar was examined at 30 days after taken out from each treatment.

Table 4. Summary of experiments for physiogenesis of *Matsucoccus thunbergianae*. Days of cool storage required for the completion of physiogenesis in more than 50% of test insects, at various temperatures and initiation dates of cool storage

Temperature (°C)	Dates of cool storage initiation											
	May 4, 2002				June 19, 2002				August 15, 2002			
	10 ^a	20	30	40	10	20	30	40	3	6	9	12
2.5	× ^b	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
5.0	×	×	×	×	×	○	○	×	○	○	○	○
7.5	×	×	×	○	×	○	○	×	○	○	○	○
10.0	×	×	×	○	×	○	○	×	○	○	○	○
12.5	×	×	×	○	×	○	○	×	×	○	○	○
15.0	×	×	×	×	○	○	○	×	×	○	○	○

^aChilling period (days). ^b×: physiogenesis not completed. ○: physiogenesis completed.

*feytaudi*에서는 10~15°C였으며(Riom and Fabre, 1977) 다른 곤충류에서의 휴면발육 최적온도는 각 종마다 다른데, 수중다 리좀벌레류(Schneiderman and Horwitz, 1958)와 과실파리류(Van Kirk and AliNiazec, 1982)의 경우 0~5°C, 박각시류(Shimoda and Kiuchi, 1997)의 10~15°C, 잎벌레류(Fisher et al., 1994), 꽃파리류(Ishikawa et al., 2000), 귀뚜라미류(Masaki et al., 1979)의 15°C 이상 등의 기록이 있다. 어떤 종에서는 두 개의 최 적온도가 존재하기도하여 붉은뺨검정파리(*Calliphora vicina*)는 4°C와 25°C(Vinogradova, 1974), 화랑곡나방(*Plodia interpunctella*)은 8~10°C와 30°C(Tsuji, 1958), *Ephestia elutella* (Lepidoptera: Phycitidae)는 10°C와 25~30°C(Bell, 1976)가 보고된 바있다.

휴면발육을 위한 발육영점온도와 유효적산온도

곤충의 발육영점온도 이상 혹은 이하의 온도 즉, 발육에 영향을 미치는 유효온도만을 계산하여 합한 유효적산온도의 추정을 위하여 1차, 2차, 3차 실험의 10, 20, 30, 40일 모든 처리구에서 솔껍질짜지벌레가 50%이상 2령충으로 탈피한 온도의 최적온도는 7.5내지 10°C로 추정되었으며, 10°C를 기준으로 하여 탈피하기까지 걸린 최소발육기간은 1차 휴면종료 실험에 있어 40일, 2차 휴면종료 실험은 20일, 3차 휴면종료 실험은 6일이 소요되었다. 휴면이 진행될수록 저온저장일수가 짧아지는 이유는 각 실험의 저온저장 개시시기가 다르며, 저온저장 개시시기 전의 자연상태에서 온도증감은 휴면발육을 위한 저온저장과 같은 효과를 나타내므로(Cranham, 1973), 각 실험의 저온저장 개시시기 이전의 누적된 저온의 영향으로 추측된다.

50%이상 부화한 날로부터 1차 휴면종료 실험 전(a: 4월 20일~5월 3일)까지의 휴면발육에 필요한 적산온도와 1차 휴면종료 실험의 10°C에서 40일간 사육한 공시충의 적산온도의 합과 50%이상 부화한 날로부터 2차 휴면종료 실험 전(b: 4월 20일~6월 18일)까지의 적산온도와 2차 휴면종료 실험의 10°C에서 20일간 사육한 공시충의 적산온도의 합은 같은 것으로 추정할 수 있다. 또한 50%이상 부화한 날로부터 3차 휴면종료 실험 전(c: 4월 20일~8월 14일)까지의 적산온도와 3차 휴면종료 실험의 10°C에서 6일간 사육한 공시충의 적산온도의 합도 같다.

즉 50%이상 부화한 날부터 1차실험 전(a: 4월20일부터 5월 3일)까지의 누적된 저온 + 10°C에서 40일 동안 누적된 저온 = 50%이상 부화한 날부터 2차실험 전(b: 4월20일부터 6월18일)까지의 누적된 저온 + 10°C에서 20일 동안 누적된 저온 = 50%이상 부화한 날부터 3차실험전(c: 4월20일부터 8월14일)까지의 누적된 저온 + 10°C에서 6일 동안 누적된 저온으로 요약된다.

이를 식으로 나타내면,

$$\begin{aligned} n_1 \cdot T_{p0} - \sum T_{ah} + (T_{p0} - 10) \times 40 \times 24 \\ = n_2 \cdot T_{p0} - \sum T_{bh} + (T_{p0} - 10) \times 20 \times 24 \\ = n_3 \cdot T_{p0} - \sum T_{ch} + (T_{p0} - 10) \times 6 \times 24 \end{aligned}$$

T_{p0} : 휴면발육의 발육영점온도

n_1, n_2, n_3 : 1, 2, 3차 각 저온저장 기간의 측정시간

T_{ah}, T_{bh}, T_{ch} : a, b, c기간 동안 추정 발육영점온도 이하의 매시간 온도

$(T_{p0}-T_{ah}), (T_{p0}-T_{bh}), (T_{p0}-T_{ch})$: 각 a, b, c기간의 매시간 유효 발육온도

위 식은 휴면 초기, 중기, 말기에서의 휴면발육을 촉진시키

Table 5. Effective temperature for the physiogenesis (K degree hours) of *Matsucoccus thunbergiana* calculated by substituting various temperatures as zero temperature for development (T_{p0}) in three terms of the equation

T_{p0} (°C)	Term of the equation ^a			Mean±S.D.	C.V. (%)
	First	Second	Third		
19	9844	7070	4203	7039.0±2820.6	40.1
22	13601	11230	7897	10909.3±2865.5	26.3
25	17444	15940	13275	15553.0±2111.2	13.6
26	18733	17824	15688	17415.0±1563.2	9.0
27	20026	19616	18145	19262.3±989.1	5.1
28	21321	21477	20434	21077.3±562.6	2.7
29	22617	22617	23468	23133.7±453.9	2.0
30	23913	23913	26273	25130.7±1181.8	4.7
31	25209	27105	29122	27145.3±1956.8	7.2
34	29097	32823	37870	33263.3±4403.0	13.2

^aFirst term: $n_1 \cdot T_{p0} - \sum T_{ah} + (T_{p0} - 10) \times 40 \times 24$ [Cool storage began on May 4.]

Second term: $n_2 \cdot T_{p0} - \sum T_{bh} + (T_{p0} - 10) \times 20 \times 24$ [Cool storage began on June 19.]

Third term: $n_3 \cdot T_{p0} - \sum T_{ch} + (T_{p0} - 10) \times 6 \times 24$ [Cool storage began on August 15.]

T_{p0} : threshold temperature for physiogenesis.

n_1, n_2, n_3 : hours for first, second, and third term, respectively.

T_{ah} : hourly temperature between egg hatch and May 3.

T_{bh} : hourly temperature between egg hatch and June 18.

T_{ch} : hourly temperature between egg hatch and August 14.

는 최적온도가 같고 휴면발육에 필요한 발육영점온도에서 최적온도까지의 발육속도는 온도에 비례하여 증감한다는 전제조건 성립 하에 가능하다. 위 식의 왼쪽 항부터 1항, 2항, 3항이라 할 때, 각 항의 적산온도의 차이가 작은 온도가 발육영점온도이고, 추정된 발육영점온도에서 적산온도의 산술평균이 유효적산온도이다. 위의 식에 발육영점 온도를 19, 22, 25, 28, 31, 34°C로 추정 했을 때의 적산온도를 계산하였다. 28°C 전후로 3항의 차이가 가장 작았으므로 이를 중심으로 발육 영점온도가 26, 27, 29, 30°C 일 때 각 항의 적산온도를 비교한 결과(Table 5) 29°C가 휴면후 발육의 발육영점온도로 추정되었다.

적산온도는 23134 degree hours, 즉 964 degree days 이었다. 곤충의 발육단계마다 발육영점온도가 다를 수 있는데, 이스라엘의 솔껍질까치벌레류 *M. josephi*에 있어 1령정착약충과 2령약충은 2.4°C, 그 외 충태는 8°C(Mendel et al., 1990)가 발육영점온도로서 그 온도 이상에서만 생장이 이루어 졌으며, 포식성 응애 *Bdellodes lapidaria*와 기주곤충인 *Halotydeus destructor* (Acari: Penthalidae)는 여름휴면 중 휴면생장을 위한 발육영점온도는 각각 30°C, 52°C(Wallace, 1971)로서 그 온도 이하에서만 생장이 이루어졌다.

자연상태에서의 휴면발육 완료시기

50%이상 부화한 날인 4월 20일부터 유효발육온도의 누적이 23134 degree hours와 같아지는 날을 자연상태에서 휴면발육을 완료하는 시기로 추정하였다. 발육영점온도인 29°C에서

외기온을 뺀 유효발육온도의 누적된 합이 23134 degree hours가 되는 날은 9월 8일이었다. 즉, 자연상태에서 생리생장이 완료되는 시기는 9월 8일로 추정되었다.

휴면후 발육을 위한 발육영점온도와 유효적산온도

곤충은 여름휴면 중 휴면발육에 필요한 온도범위와 휴면후 발육에 필요한 온도범위는 중첩되며(Dean and Hartley, 1977; Masaki, 1980), 휴면발육이 완료된 후 조건이 좋아지면 휴면후 발육이 이루어진다(Masaki, 1980; Tauber와 Tauber, 1976). 1차 휴면종료 실험 10°C에서 40일(5월 4일부터 6월 13일까지)간 저온저장한 공시목을 저온항온기에서 꺼낸 후 30일(6월 14일부터 7월 13일까지)만에 50%이상 2령충으로 탈피하였다. 자연상태에서는 9월 8일에 휴면발육이 완료된 후 50%이상의 개체가 2령 약충으로 탈피한 11월 9일까지 62일이 지난 후 휴면후 발육이 완료되었다. 10°C에서 40일간 저온저장한 공시목을 꺼낸 후 자연상태에서 30일 즉, 6월 14일부터 7월 13일까지 유효발육온도의 합과 휴면발육 완료 후인 9월 8일부터 50%이상 2령약충으로 탈피한 11월 9일까지 차의 절대값을 평균으로 나눈 백분율의 값이 가장 작은 온도를 발육영점온도로 추정하였다.

식으로 나타내면,

$$\sum(T_a - T_{m0}) = \sum(T_b - T_{m0})$$

T_{m0} : 휴면후 발육에 필요한 발육영점온도

Table 6. Effective temperatures for the morphogenesis (K degree hours) of *Matsucoccus thunbergiana* calculated by substituting various temperatures as zero temperature for development(T_{m0}) in two terms of the equation

T_{m0} (°C)	Terms of the equation ^a			Left term - Right term	Left term - Right term / mean × 100 (%)
	Left	Right	mean		
0	16934	22984	19959	6050	30.3
5	13214	15722	14468	2508	17.3
8	10982	11758	11370	776	6.8
9	10238	10545	10392	307	3.0
10	9494	9385	9440	108	1.1
11	8750	8243	8497	507	6.0
12	8006	7181	7954	825	10.9
15	5774	4729	5252	1044	19.9

^aLeft term : $\sum(T_{m0}-T_a)$.

Right term : $\sum(T_{m0}-T_b)$.

T_{m0} : threshold temperature for morphogenesis.

T_a : hourly temperature between the end of cool storage and the completion of morphogenesis.

T_b : hourly temperature between the diapause termination and the completion of morphogenesis in nature.

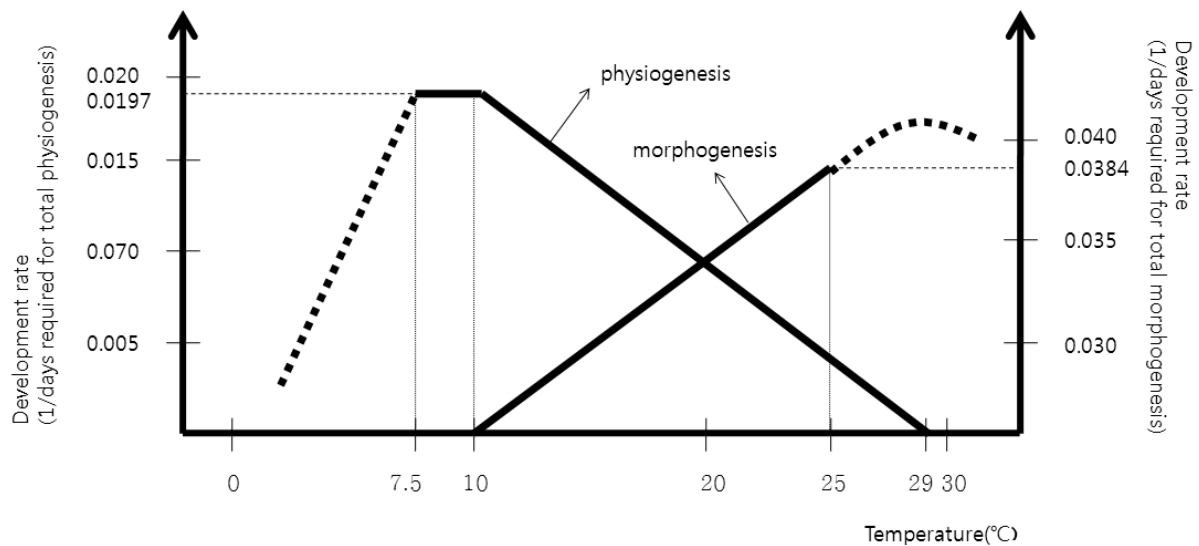


Fig. 3. Hypothetical relationships between temperature and the rates of physiogenesis and morphogenesis in *M. thunbergiana*. Dotted lines indicate rates of development by speculation, which were not calculated in this experiment.

T_a : 저온기에서 꺼낸 후 50%이상 휴면후 발육이 완료되기 까지 걸린(6.13~7.13) 매시간의 온도

T_b : 야외에서 휴면발육 완료 후부터 50%이상 2령약충으로 탈피한 날(9.9~11.9)까지의 매시간의 온도

단, T_a 및 T_b가 T_{m0}보다 높은 경우에만 적산에 적용함.

위 식에 추정발육영점온도 0°C, 5°C, 10°C, 15°C를 대입하여 왼쪽 항을 1항, 오른쪽을 항을 2항이라 할 때 각 항의 유효적산온도, 평균, 차, |1항-2항|/평균 × 100(%)를 계산하였다. Table 6에서 보는 바와 같이 추정발육영점온도가 10°C 일 때 양항간의 차가 가장 작았으므로 이를 중심으로 다시 추정발육영점온도가 8, 9, 11, 12°C 일 때 유효적산온도, 평균, 절대[항-2항|/평균 × 100(%)가 가장 적으므로 발육영점온도는 10°C로 추정되었다. 여름휴면을 하는 고자리파리(*Delia antiqua*)는 휴면 후 형태생장을 위한 발육영점온도가 5.7°C로 조사된 바 있다 (Ishikawa et al., 2000).

자연상태에서 휴면후 발육을 위한 유효적산온도: 휴면후 발육의 영점온도를 10°C로 하였을 때, 자연상태에서 휴면후 발육에 필요한 유효적산온도, 즉 Σ(T_b - T_{m0})는 9385 degree hours 즉, 391 degree days이었다.

이상의 결과는 Fig. 3과 같이 요약될 수 있다. 즉 휴면발육을 가장 촉진하는 온도는 7.5~10°C이며, 그 이상의 온도에서는 점차 휴면발육이 둔화되고 29°C 이상에서는 발육이 이루어지지 않는다. 휴면후 발육에 필요한 발육영점온도는 10°C로서 그 이상의 온도에서 점차 발육속도가 촉진된다.

사사

본 논문의 개선에 많은 도움을 주신 두 익명의 논문원고 심사자분께 감사드립니다.

Literature Cited

- Bell, C.H., 1976. Factors influencing the duration and termination of diapause in the warehouse moth, *Ephesia elutella*. *Physiol. Entomol.* 1, 169-178.
- Cranham, J.E., 1973. Variation in the intensity of diapause in winter eggs of fruit tree red spider mite, *Panonychus ulmi*. *Ann. Appl. Biol.* 75, 173-182.
- Dean, R.L., Hartley J.C., 1977. Egg diapause in *Ephippiger cruciger* (Orthoptera: Tettigoniidae). *J. Exp. Biol.* 66, 185-195.
- Fisher, J.R., Jackson, J.J., Lew, A.C., 1994. Temperature and diapause development in the egg of *Diabrotica barberi* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environ. Entomol.* 23, 464-471.
- Ishikawa, Y., Yamashita, T., Nomura, M., 2000. Characteristics of summer diapause in the onion maggot, *Delia antiqua* (Diptera: Anthomyiidae). *J. of Insect Physiol.* 46, 161-167.
- Masaki, S., 1980. Summer diapause. *Annual Review of Entomology* 25, 1-25.
- Masaki, S., Ando Y., Watanabe, A., 1979. High temperature and diapause termination in the eggs of *Teleogryllus commodus* (Orthoptera: Gryllidae). *Kontyu* 47, 493-504.
- Mendel, Z., Saphir N., Robinson D., 1990. Mass rearing of the Israeli pine bast scale, *Matsucoccus josephi* (Homoptera: Margarodidae) with notes on its biology and mating behavior. *Ann. Entomol.*

-
- Soc. Amer. 83, 532-537.
- Park, S.C., 1991. Geographic distribution, biology, and research for the control of *Matsucoccus* pine bast scales. J. Kor. For. Soc. 80, 326-349.
- Park, S.C., Park, N.C., 1985. Life cycle and summer diapause of *Matsucoccus thunbergiana*. Research Report: For. Res. Inst. of Korea 32:11-16.
- Riom, J., Fabre, J.P., 1977. Etude biologique et ecologique de la Cochenille du pin maritime, *Matsucoccus feytaudi* Ducasse. II. Regulation du cycle annuel. Comportement des Stades mobiles. Ann. Zool. Ecol. anim. 9, 181-209.
- Schneiderman, H.A., Horwitz, J., 1958. The induction and termination of facultative diapause in the chalcid wasps *Mormonierlla vitripennis* (Walker) and *Tritneptis klugii* (Ratzeburg). J. Exp. Biol. 35, 520-551.
- Shimoda, M., Kiuchi, M., 1997. Effect of chilling of diapause pupa on adult emergence in the sweet potato hornworm, *Agrius convolvuli* (Linne) (Lepidoptera: Sphingidae). Appl. Entomol. Zool. 32, 617-624.
- Tauber, M.J., Tauber, C.A., 1976. Insect seasonality: Diapause maintenance, termination, and postdiapause development. Ann. Rev. Entomol. 21, 81-107.
- Tsuji, H., 1958. Studies on the diapause of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* I. The influence of temperature on the diapause, and the type of diapause. Jap. J. Appl. Entomol. Zool. 2, 17-23.
- Van Kirk, J.R., Aliniazeq, M.T., 1982. Diapause development in the western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferences* Curran (Diptera: Tephritidae). Z. Ang. Entomol. 93, 440-445.
- Vinogradova, E.B., 1974. The pattern of reactivation of diapausing larvae in the blowfly, *Calliphora vicina*. J. Insect Physiol. 20, 2487-2496.
- Wallace, M.M.H., 1971. The influence of temperature and moisture on diapause development in the eggs of *Bdellodes lapidaria*. J. Aust. Entomol. Soc. 10, 276-280.