



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

온도와 광주기에 따른 목화진딧물의
유성형 발생 예측모형

A Forecasting Model for the occurrence of sexual
morphs in cotton aphid in relation to temperature and
photoperiod

濟州大學校 大學院

農學科

權 順 和

2015年 8月

온도와 광주기에 따른 목화진딧물의 유성형 발생 예측모형

指導教授 金 桐 淳

權 順 和

이 論文을 農學 碩士學位 論文으로 提出함

2015年 6月

權順和의 農學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ (인)

委 員 _____ (인)

委 員 _____ (인)

濟州大學校 大學院

2015年 6月

목 차

List of Tables	i
List of Figures	ii
ABSTRACT	iii
I. 서 론	1
II. 연구사	3
1. 진딧물의 생활사	3
1-1. 기주전환종과 비기주전환종	3
1-2. 완전생활형과 불완전생활형	4
2. 진딧물의 유성형 유도관련 환경요소	6
III. 재료 및 방법	7
1. 목화진딧물 사육	7
2. 유성형 발생 임계광주기 및 온도효과 규명	8
2-1. G ₀ 세대 처리	8
2-2. G ₁ 세대 처리	8
2-3. G ₂ 세대의 형태별 분류	8
3. 버금양성모의 산자곡선 확인	10
4. 유성형 발생시기 예측모형 작성 및 포장적합	10
4-1. 모형작성	10
4-2. 모형 포장적합	11
IV. 결 과	13

1. 유성형 유도 임계광주기 및 온도효과	13
2. 버금양성모의 산자곡선 확인	16
3. 실험포장 자료	21
4. 유성형 발생시기 예측모형 시나리오와 적합성 검정	25
4-1. 유성형 발생시기 예측모형	25
4-2. 유성형 발생시기 예측모형의 포장적합	28
 V. 고 찰	 30
 VI. 적 요	 34
인용문헌	35
Appendix I	38

LIST OF TABLES

Table 1. The effect of temperature and photoperiod on the production of gynopara and male	15
Table 2. Period(days) until the first birth of male produced by subsexupara	20
Table 3. The number of male caught in the yellow water trap at 5 sites	23
Table 4. Monthly mean temperature(°C) from September 1 to December 31 at 5 experimental sites	25
Table 5. Julian dates for the occurrence of each aphid morph predicted by advance mode model	27
Table 6. Julian dates for the occurrence of each aphid morph predicted by 50% mode model	28
Table 7. Field validation statistic for the accuracy of model prediction between advance and 50% mode models	30

LIST OF FIGURES

Fig. 1. A generalized life cycles of aphids: (A) The holocyclic life cycle of heteroecious aphids. (B) The holocyclic life cycle of autoecious aphids	5
Fig. 2. <i>Hibiscus syriacus</i> , used as host plant of <i>Aphis gossypii</i>	7
Fig. 3. <i>Aphis gossypii</i> Glover. (A) vivipara, (B) male, (C) ovipara, (D) and (E) hind tibia of ovipara and vivipara	10
Fig. 4. Structure of a forecasting model for the occurrence of sexual morphs in relation to temperature and photoperiod	13
Fig. 5. Relationship between the percentage of gynopara and male produced and temperature	16
Fig. 6. Relationship between photoperiod and the production percentage of gynopara and male at 15°C and 18°C	17
Fig. 7. Relationship between the temperature and the critical photoperiod length at (A) advance mode and (B) 50% mode	18
Fig. 8. The incidence of males in the five successive batches collected from 10 subsexupara	21
Fig. 9. The number of male caught in the yellow water trap at 5 observation sites	24

ABSTRACT

This study was conducted to examine the environmental factors that induce the switch from parthenogenetic reproduction to sexual reproduction and to construct a forecasting model for the occurrence time of sexual morphs in holocyclic cotton aphid *Aphis gossypii*(Hemiptera: Aphididae).

The effects of photoperiod and temperature were unequivocally demonstrated to have a direct influence on the production of sexual morphs in holocyclic *A. gossypii*. Above 21°C, all the photoperiod treatments could not induce the production of sexuals. Under the photoperiod of 12.0~12.5h, lower temperature induced higher production ratio of gynopara and male. Also, under 15~18°C, shorter photoperiod induced higher production ratio of gynopara and male. In the treatment of 13 h of photoperiod, any sexuals were not induced regardless of temperature. It was demonstrated that the critical day length required to induce sexual morph production varies depending on temperature. In this study, a 3°C rise in temperature decreased by about 21 minutes in the critical day length. The production of male was occurred after the middle of the reproductive sequence of subsexupara.

Two forecasting models (Advance model and 50% model) for the occurrence time of sexual morphs were developed using the results of experiment in relation to photoperiod and temperature. The forecasting models were simulated to predict the occurrence time of sexual morphs, and then, for validation of the models, model outputs were compared to the actual male occurrence surveyed in 5 sites from Oct. 2014 to Dec. 2014. As a result of validation, the model of advance mode showed statistically better performance than that of 50% mode. Until more improved model is developed, the present model should be useful for understanding the population dynamic of holocyclic *A. gossypii* in late season.

I. 서론

목화진딧물(*Aphis gossypii* Glover)은 열대, 아열대, 온대에 걸쳐 세계적으로 널리 분포하며, 기주범위가 광범위하고 적응력과 번식력이 뛰어난 해충이다 (Leclant and Deguine, 1994.). 우리나라에서는 약 130종 이상의 기주식물이 기록되어 있으며(Kim, 2008) 약 50여종의 바이러스를 매개하는 것으로 알려져 경제적으로도 중요도가 매우 높은 종이다. 이러한 목화진딧물의 경제적 중요성에도 불구하고 가을개체군 관련 생물학적 특성에 관해서는 여름개체군 연구에 비해 상대적으로 소수의 연구만이 이루어진 실정(Gong and Zhang, 2001))이며, 우리나라의 경우 이 부분에 대한 연구가 전혀 이루어지지 않은 상황이다.

진딧물은 굉장히 복잡한 생활사를 가지고 있는 종으로, 생식방법에는 양성생식과 단위생식, 난생과 태생 그리고 환경에 따라 이런 생식법을 교대로 하며, 각 생활사의 생육단계에 따라 생태적, 형태적으로 다양한 변이를 보인다. 진딧물의 생활사는 생식방법을 기준으로 완전생활형과 불완전생활형으로 구분할 수 있다. 완전생활형은 생육에 불리한 조건에서는 유성형 세대를 갖는 생활형이고, 불완전생활형의 경우 생활사 내내 단위생식 세대만 존재하고 유성형세대를 갖지 않는 생활형을 말한다.

목화진딧물은 기주전환을 하는 완전생활형 진딧물이고, 일차기주로는 무궁화와 개오동나무 등이 있으며 이차기주인 각종 녹작물로 이주하여 큰 피해를 주는 종이다. 완전생활형 진딧물은 일차기주의 월동알에서 간모(fundatrix)가 태어나고 수 세대의 단위생식(parthenogenesis)과정 후 유시형(winged form) 진딧물이 발생하며, 이 유시형 진딧물은 이차기주로 이동하여 그해 가을까지 연속적인 단위생식 세대를 갖는다. 이후 단위생식형 진딧물은 특정한 환경조건에 반응하여 버금양성모(subsexupara)를 낳고, 이 버금양성모는 산란암컷모(gynopara)와 수컷(male)을 순서대로 낳게 되는데, 산란암컷모는 일차기주로 이동하여 산란암컷(Ovipara)을 낳고, 성충이 된 산란암컷은 수컷과 교미 후 일차기주에 월동알을 낳는다.

위와 같은 과정에서 단위생식형(asexual morph)에서 유성형(sexual morph)으로의 전환은 특정한 환경조건에서만 유도되는데 Aphidinae아과의 진딧물들은 주로 광주기와 온도에 의해서 유성형이 유도되는 것으로 보고되었다(Marcovitch, 1924; Lees, 1963).

본 연구의 목표는 첫째, 실내실험을 통해서 여러 환경조건에 따른 완전생활형 목화진딧물의 유성형 유도 임계광주기 추정하고, 둘째 유성형 유도임계광주기에 대한 온도효과를 규명하는 것이며, 셋째 버금양성모의 유성형 산자특성을 확인하는 것이다. 그리고 마지막으로 위의 실험을 통해서 얻은 결과를 종합하여 완전생활형 목화진딧물의 유성형 발생시기 예측모델을 개발하고, 그 후 모델이 산출한 결과를 포장자료와 비교를 통해서 적합도/예측력을 검증하는 것이다.

II. 연구사

1. 진딧물의 생활사

진딧물은 약 2억 8천만년전 석탄기(Carboniferous Era)때부터 출현한 것으로 알려져 있으며(Heie, 1967) 세계적으로 약 4,700여 종의 진딧물이 보고되어 있다(Remaudiere and Remaudiere, 1997). 진딧물의 생활사는 매우 복잡하여 여러 단계(stage)로 이루어져 있고 각 단계별로 하나 이상의 특정한 형태(morph)가 존재(Appendix I)하는 등 매우 복잡한 양상을 보이고 있다. 생활사의 각 단계별 형태들은 번식, 분산, 환경에 대한 적응, 생존, 휴면과 같이 특화된 기능을 가지고 있다.

1-1. 기주전환종과 비기주전환종

진딧물의 생활사는 기주식물의 활용방식에 따라 기주전환종(heteroecious)과 비기주전환종(autoecious)으로 구분할 수 있다(Blackman and Eastop, 2006). 기주전환종은 가을부터 다음 해 봄까지 일차기주(primary host)에서 월동 및 생활하며 여름에는 이차기주(secondary host)인 초본류로 이동하여 번식하고 가을에는 다시 일차기주로 돌아온다. 예를들어, 목화진딧물의 경우 주로 무궁화에서 월동한 후 봄에 부화하고 여름이되면 오이, 고추 등의 여러 초본식물로 이동하여 단위생식으로 번식하며 가을에는 다시 무궁화로 돌아온 후 유성형세대(sexual morphs)를 유도하여 월동을 준비한다(Shim *et al.*, 1979). 비기주전환종은 기주전환종과 달리 목본류와 초본류 간의 이동 없이 한 종의 기주에서만 생활한다(Fig. 1). 일반적으로 전체 진딧물종(species) 중 10%가 기주전환종으로 보고되었고 기주전환종 진딧물 중 63%가 5종 이상의 기주식물에서 생활하지만 기주식물 대부분이 같은 과(family)의 식물로 알려져 있다(Eastop, 1973; Hales *et al.*, 1997). 진딧물이 기주전환을 통하여 얻을 수 있는 이점으로 개체군 확산, 천적으로부터의 회피, 종내경쟁 방지, 단일기주의존성 탈피 등이 있지만(Mackenzie and

Dixon, 1992; Hales *et al.*, 1997), 기주전환 과정에서 사망률이 급격히 높아지는 위험성도 내재한다. 예를 들어 기주전환종인 기장테두리진딧물(*Rhopalosiphum padi*)의 경우 기주전환 과정에서 약 0.6%의 진딧물만 기주이동에 성공하는 것으로 알려져 있다(Ward *et al.*, 1998). 이러한 기주전환 과정에서 개체수의 막대한 손실에도 불구하고 이차기주로 기주전환에 성공한 개체군의 번식력 증대로 인하여 손실 이상으로 보상받는 것으로 보고되었다(Dixon and Ranajit, 1994).

1-2. 완전생활형과 불완전생활형

진딧물의 생활사는 생식방법을 기준으로 완전생활형(holocyclic)과 불완전생활형(anholocyclic)으로 구분할 수 있다(Dixon, 1987; Leather, 1992). 완전생활형은 생활사에서 연속적인 단위생식 후 가을에 유성형 세대를 갖는 생활형이고, 불완전생활형의 경우 생활사 내내 단위생식 세대만 존재하고 유성형세대를 갖지 않는 생활형을 말한다. 기주전환종 완전생활형 진딧물은 일차기주의 월동알에서 간모(fundatrix)가 부화하고 수 세대의 단위생식(parthenogenesis)과정 후 유시형(Winged form) 진딧물이 발생하며, 이 유시형 진딧물은 이차기주로 이동하여 그 해 가을까지 연속적인 단위생식 세대를 갖는다. 이후 단위생식형 진딧물은 특정한 환경조건에 반응하여 산란암컷모(gynopara)와 수컷(male)을 순서대로 낳게 되는데, 산란암컷모는 일차기주로 이동하여 산란암컷(ovipara)을 낳고, 성충이 된 산란암컷은 수컷과 교미 후 일차기주에 월동알을 낳는다. 위와 같은 과정에서 단위생식형(asexual morph)에서 유성형(sexual morph)으로의 전환은 특정한 환경조건에서만 유도되는데 Aphidinae아과의 진딧물들은 주로 광주기와 온도에 의해서 유성형이 유도되는 것으로 보고되었다(Marcovitch, 1924; Lees, 1963). 불완전생활형 진딧물의 경우 완전생활형 진딧물과 달리 겨울을 알로 월동하지 않고 성충이나 약충상태로 월동을 한다. 하지만 약충이나 성충으로 월동을 하는 진딧물은 -5°C 이하에서 대부분이 사망하는 것으로 보고되었고(Griffith and Wratten, 1979), 이로 인하여 불완전생활형 진딧물의 경우 겨울에 사망률이 급격히 높아지는 것으로 보고되었다(Harrington and Cheng, 1984; Leather, 1993).

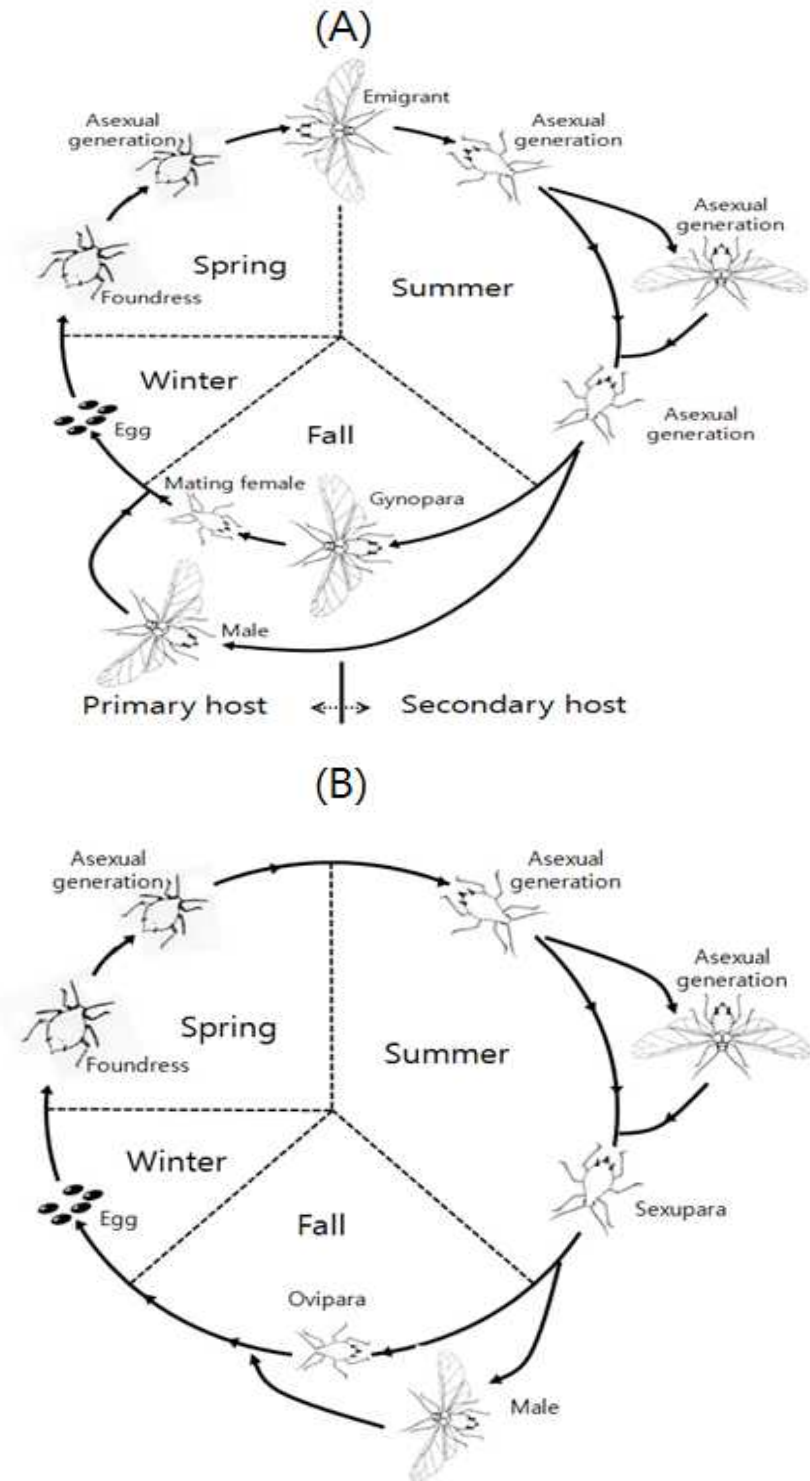


Fig. 1. A generalized life cycles of aphids: (A) The holocyclic life cycle of heteroecious aphids. (B) The holocyclic life cycle of autoecious aphids.

2. 진딧물의 유성형 유도관련 환경요소

완전생활형 진딧물은 봄에 알에서 부화 후 연속적인 단위생식세대를 이어가고 가을이 되면 유성형세대를 유도하여 월동란을 낳는다. 유성형세대가 발생하는 과정에서 유성형(sexual morphs) 중 산란암컷만 낳는 태생모를 산란암컷모라고 하며 산란암컷과 수컷을 낳는 태생모를 양성모라 한다(Lambers, 1966).

진딧물이 세대를 이어가는 생식방법으로는 단위생식(parthenogenesis)과 유성생식(sexual reproduction)이 있다. 완전생활형 진딧물의 생활사(life-cycle) 중 단위생식에서 유성생식으로의 전환(switch)은 광주기와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Marcovitch, 1924; Lees, 1963). 광주기가 유성형 출현과 관련이 있다는 사실은 Marcovitch(1924)에 의해서 처음 알려졌지만, 광주기가 진딧물에게 미치는 직접적인 영향은 Lees(1963)에 의해서 입증되었다. 또한 Lees(1963)는 진딧물의 유성형 출현을 유도하는 환경요소가 낮의 길이(day length)가 아닌 밤의 길이(night length)라는 사실도 입증하였다.

유성형 유도와 관련된 중요한 환경요소로는 광주기 외에도 온도가 있다. 유성형이 발생하는 과정에서 온도가 낮을수록 유성형유도 임계광주기는 더욱 길어지는 것으로 보고되었고, 이로 인하여 가을온도가 낮을 경우 유성형이 일찍 발생한다는 사실이 밝혀졌다(Dixon and Glen, 1971). 볼록진딧물(*Megoura viciae*)의 경우 온도 5°C의 상승이 유성형 유도에 필요한 임계암주기를 15분 증가시키는 것으로 보고되었고(Lees, 1963), *Pemphigus betae*(sugarbeet root aphid)는 광주기와 상관없이 저온에 직접적으로 반응하여 유성형이 유도되는 것으로 보고되었다(Moran *et al.*, 1993).

광주기와 온도 외에도 기주식물 또한 유성형 발생과 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 예를 들어 *Pemphigus bursarius*(lettuce root aphid)와 *Aphis farinosa* 그리고 *Dysaphis devectora*의 유성형은 광주기에 의해서 유도되지 않고 기주식물의 성장이 중단되었을 때 유성형이 유도되었다(Lambers, 1960; Forrest, 1970).

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 목화진딧물 사육

실험에 사용한 목화진딧물(*Aphis gossypii* Glover)은 2014년 8월 20일에 제주특별자치도 제주시 아라동에 있는 무궁화(*Hibiscus syriacus* (*Althaea frutex*))에서 채집하였다. 채집한 진딧물은 약 10cm의 길이로 양액에 삼목한 무궁화(Fig. 2)에 접종 후 플라스틱 사육상(가로 35 x 세로 25 x 높이 30cm)에 넣어 장일조건(25°C, LD 16:8)으로 사육실에서 누대사육하였다.



Fig. 2. *Hibiscus syriacus*, used as host plant of *Aphis gossypii*.

2. 유성형 발생 임계광주기 및 온도효과 규명

산란암컷을 낳는 산란암컷모의 발생을 유도하는 임계광주기를 확인하고 온도 효과에 따른 유성형 전환 임계광주기의 변화 양상을 확인하기 위해서 4처리 광 조건(LD 13:11, 12.5:11.5, 12.3:11.7, 12:12)과 4처리 온도조건(15°C, 18°C, 21°C, 24°C)을 조합하여 실험을 수행하였다.

2-1. G₀세대 처리

장일조건(25°C, LD 16:8)에서 사육한 목화진딧물 중에서 4령의 무시충 3마리(G₀)를 10cm 길이로 삼목한 무궁화(Fig. 2) 1본에 접종한 후 각각의 실험조건 하에서 성충이 될 때까지 사육하여 G₁ 개체군을 수립하였다.

2-2. G₁ 세대 처리

G₁ 개체군 확보 후 G₀를 제거하고, 각 실험구에서 10마리의 G₁ 무시충을 선발한 후, 새 기주에 1마리씩 접종하여 각각의 해당 실험조건에서 성충이 될 때까지 사육하였다. 그 후 성충이 된 버금양성모(G₁)가 산자한 자손(G₂)들의 형태를 조사한 후 산란암컷모와 수컷의 발생여부를 확인하였다.

2-3. G₂ 세대의 형태별 분류

각 형태별 분류는 유시형의 경우 3령의 약충시기에서 날개흔적(wing bud)의 확인으로 쉽게 분류할 수 있으며, 수컷의 경우 성충의 생식기 존재여부로 그 형태를 구분할 수 있다. 형태적으로 유사한 유시대생모(alate vivipara)와 산란암컷모의 분류는 3세대 자손까지 확인하여 산란암컷을 산자하는 경우 산란암컷모로 판단하였다. 산란암컷은 복부의 큐티클을 통해서 알을 확인할 수 있고, 뒷다리의 페로몬분비샘이 발달되어 무시대생모와 뚜렷한 형태적 차이를 보이기 때문에 쉽게 구분할 수 있다(Fig. 3).

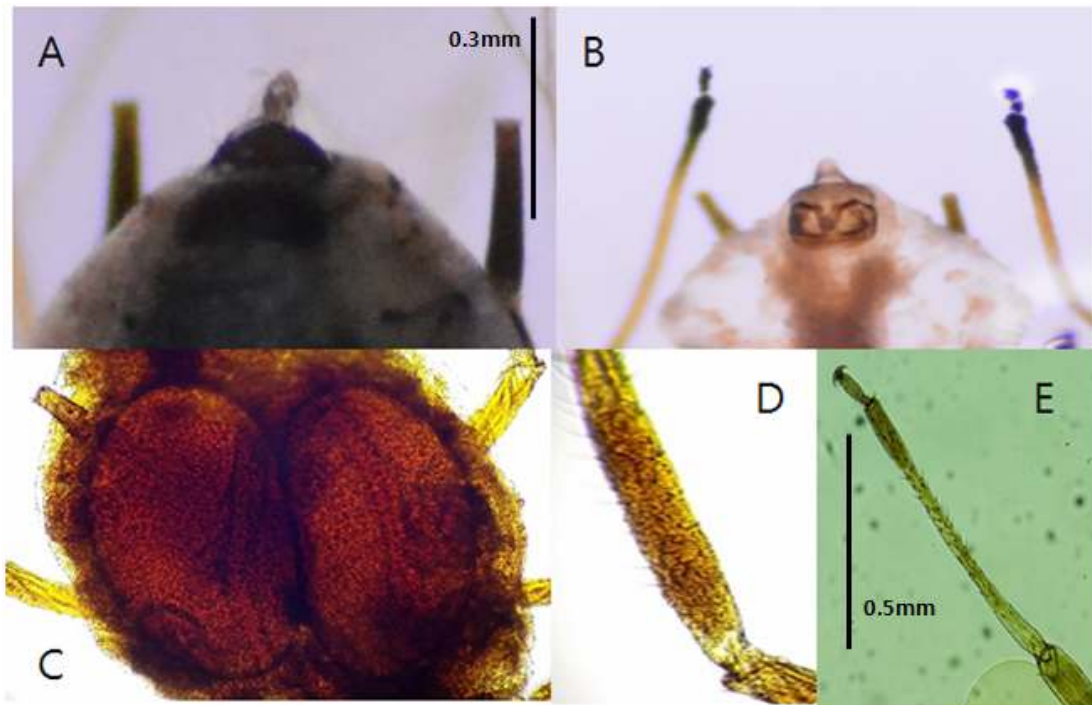


Fig. 3. *Aphis gossypii* Glover. (A) vivipara, (B: male, (C: ovipara, (D) and (E) hind tibia of ovipara and vivipara.

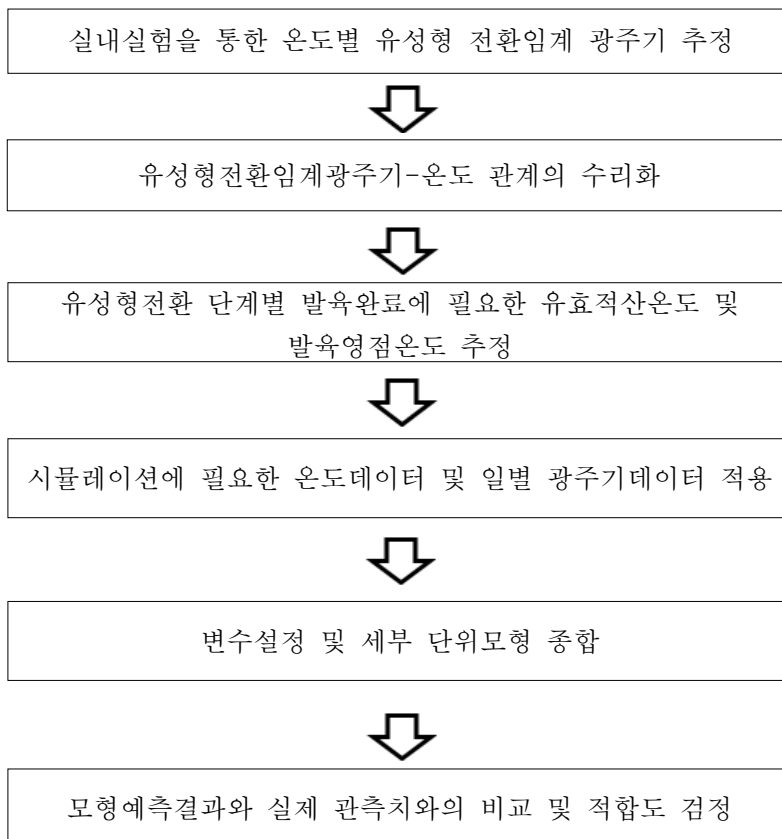
3. 버금양성모(G_1)의 산자곡선 확인

완전생활형 진딧물의 경우 버금양성모가 산란암컷모와 수컷을 생식기간 중 각각 다른 시기에 산자하는 것으로 알려져 있다. 버금양성모(G_1)의 산자 시퀀스를 확인하기 위해서 각 실험구에서 버금양성모 10마리를 선발하였다. 선발한 버금양성모를 1마리씩 무궁화에 접종한 후 각 실험조건 (LD 12:12, 12.3:11.7, 15°C, 18°C)으로 처리하였고, G_1 버금양성모가 성충발육완료 후에 산자된 자손(G_2)들의 형태를 산자기간을 균등하게 5개의 구간으로 나누어 기록하였다.

4. 유성형 발생시기 예측모형 작성

4-1. 모형작성

목화진딧물의 유성형발생시기 예측모형을 개발하기 위한 과정은 다음과 같았다.



목화진딧물의 유성형 발생시기 예측모형은 유성형 유도 임계광주기 모형과 버금양성모(G_1)의 형태별 산자곡선, 세대기간 유효적산온도로 구성하였다(Fig. 4). 우선 유성형 유도임계광주기 모형에 일별 평균온도와 일별광주기를 적용하여 단위생식세대에서 유성생식세대로 유도되는 시기를 추정하였다. 그 다음 각 세대의 성충완료 시기는 일별적산온도를 계산하여 구하였다. 모형에 적용되는 목화진딧물의 세대기간 유효적산온도는 111 DD, 발육영점온도는 6.8°C로 설정하였다(Kim *et al*, 2012). 마지막으로 산란암컷모와 수컷의 발생시기는 버금양성모의 형태별 산자시기를 적용하여 계산하였다. 유성형 발생시기 예측모형은 임계광주의 자극을 받은 이후의 세대 및 형태를 대상으로 하였으며 모델 시뮬레이션은 비상용 소프트웨어 POPMODEL 1.0(Choi and Kim, 2014)을 사용하였다.

4-2. 모형 포장적합

목화진딧물 유성형 발생시기 예측모형의 포장적합성을 검정하기 위하여 2014년 10월부터 2015년 1월까지 온난화대응농업연구센터 고도별 포장 5개소(고도: 50m, 200m, 350m, 500m, 700m)에 진딧물이 황색에 유인되는 특성을 이용하여 황색수반트랩을 설치하였다. 각 고도별 포장의 기후데이터를 수집하기 위하여 온습도 데이터로거(HOBO, Onset Computer)를 설치하였고, 일별 온도와 습도를 기록하였다. 채집한 목화진딧물을 형태별로 분류하였고, 각 고도별로 첫 번째 목화진딧물 수컷이 채집된 실측자료를 모형예측치와 비교하였다. 모형의 정확도를 검정하기 위하여 목화진딧물 수컷의 발생시기에 대하여 예측치와 실측치 간 피어슨 상관관계수(r), 카이스퀘어 검정, 잔차자승합(RSS)을 계산하여 모형의 포장적합성을 검정하였다.

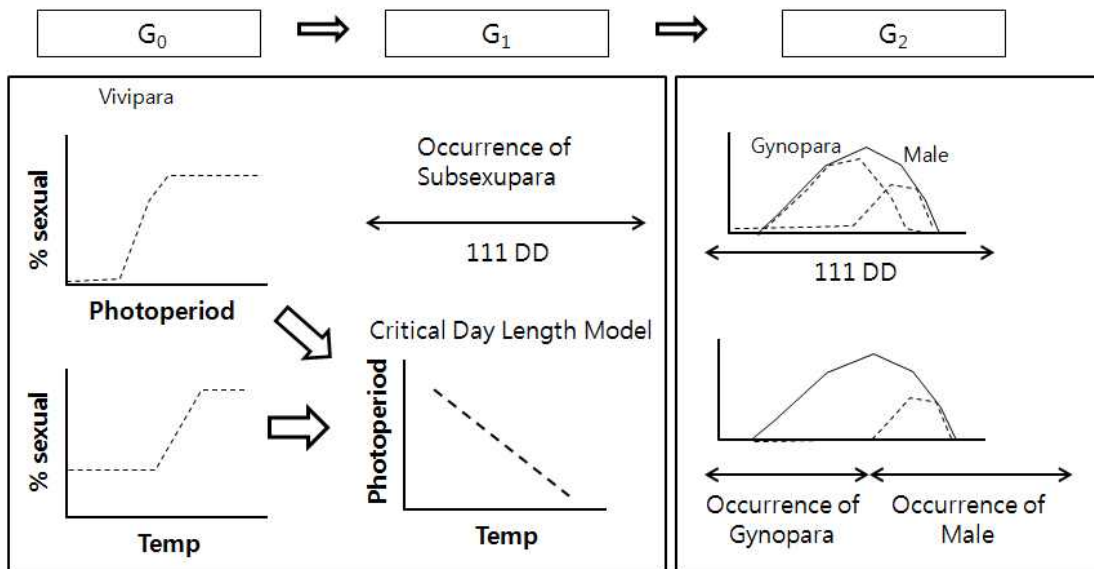


Fig. 4. Structure of a forecasting model for the occurrence of sexual morphs in *Aphis gossypii* in relation to temperature and photoperiod.

IV. 결 과

1. 유성형 유도 임계광주기 및 온도효과

목화진딧물의 유성형 발생 임계광주기를 확인하고 온도효과에 따른 임계광주기의 변화 양상을 확인하기 위해서 4처리 광조건(LD 13:11, 12.5:11.5, 12.3:11.7, 12:12)과 4처리 온도조건(15°C, 18°C, 21°C, 24°C)에서 실험을 수행하였고, 그 결과는 Table 1과 같다. 광주기 13h에서는 온도와 상관없이 어떠한 처리구에서도 산란암컷모(gynopara)와 수컷(male)이 발생하지 않았다. 광주기 12.5h의 처리구의 경우 21°C와 18°C에서는 산란암컷모와 수컷이 발생하지 않았고 15°C에서만 산란암컷모(21.1%)와 수컷(6.9%)이 발생하였다. 광주기 12.2h의 처리구에서는 18°C(24.3%)와 15°C(76.8%)에서 산란암컷모와 수컷이 발생하였고 21°C에서는 무태생모(apterous vivipara)만 발생하였으며, 광주기 12h의 처리구에서는 18°C와 15°C에서 각각 67.3%와 98.1%의 비율로 산란암컷모와 수컷이 발생하였다. 실험 결과 24°C와 21°C의 처리구에서는 어떠한 광주기 처리에서도 산란암컷모나 수컷이 발생하지 않았고, 18°C의 처리구에서는 12.2h 이하의 광주기 처리구에서만 산란암컷모와 수컷이 발생하였다(Fig. 5). 광주기 12.5h와 12.2h 그리고 12h의 처리구 결과를 살펴보면 온도가 낮은 처리구에서 유성형 발생비율이 높았고, 광주기가 짧아질수록 유성형 발생비율이 더 높아지는 경향을 보였다(Fig. 6). 위의 결과를 종합하여 각 온도에 따른 유성형 전환 임계광주기(CDL)를 추정하고 결과 전환초발기준(advance mode)의 경우 15°C와 18°C에서 각각 12.67h와 12.31h로 나타났고, 50% 전환기준(50% mode)의 경우 12.36h와 12.08h로 추정되었다. 여기서 전환초발기준은 유성형이 처음으로 발생하는 임계광주기를 기준으로 하였고 50%전환기준은 50%의 유성형전환이 나타났을 때의 임계광주기를 기준으로 하였다. 각각의 기준에서 온도에 따른 임계광주기를 추정하기 위하여 온도와 임계광주기 간의 선형방정식을 수립한 결과(Fig. 6) 전환초발기준은 $y=-11.92x+14.457$ 이고 50%전환기준은 $y=-0.0945x+13.78$ 로 나타났다.

Table 1. The effect of temperature and photoperiod on the production of gynopara and male.

Photoperiod (h)	Temp(°C)	No. of G ₂	Gynopara		Male		% of Gy ¹ + Male
			No. produced	%	No. produced	%	
13	21	504	0	0	0	0	0
	18	532	0	0	0	0	0
	15	421	0	0	0	0	0
12.5	21	510	0	0	0	0	0
	18	541	0	0	0	0	0
	15	289	61	21.1	20	6.9	28
12.2	21	377	0	0	0	0	0
	18	407	44	10.8	55	13.5	24.3
	15	297	150	50.5	78	26.3	76.8
12	21	393	0	0	0	0	0
	18	498	256	51.4	79	15.9	67.3
	15	312	196	62.8	110	35.3	98.1

¹ Gy = gynopara produced by G₁

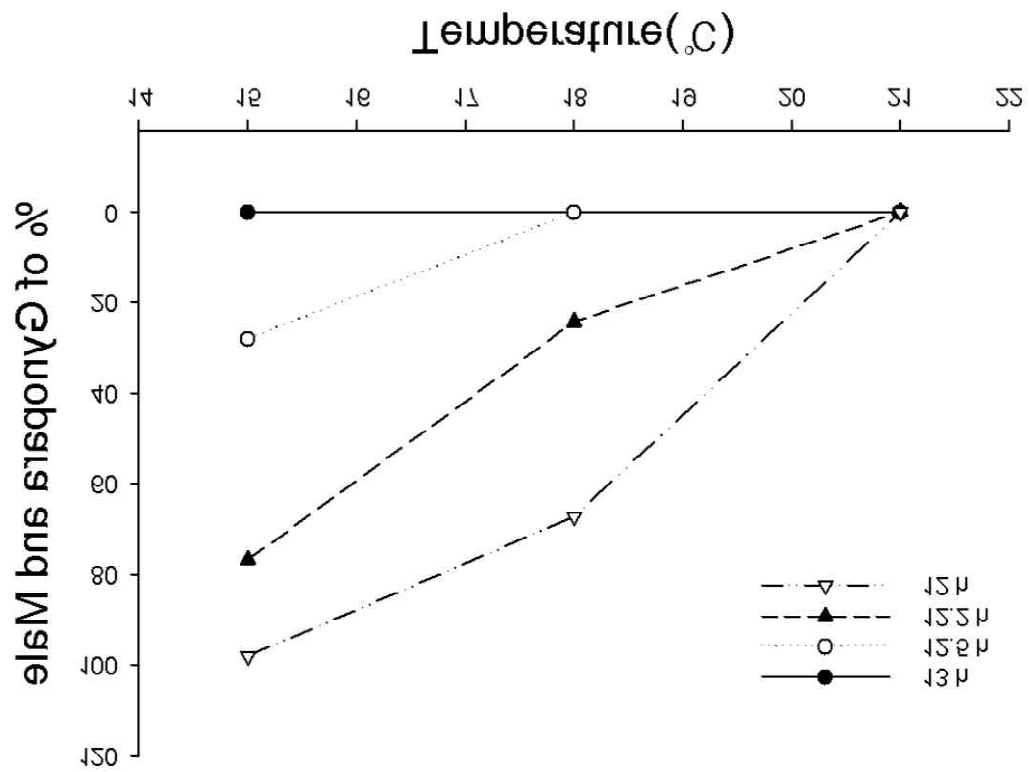


Fig. 5. Relationship between the percentage of gynopara and male produced and temperature.

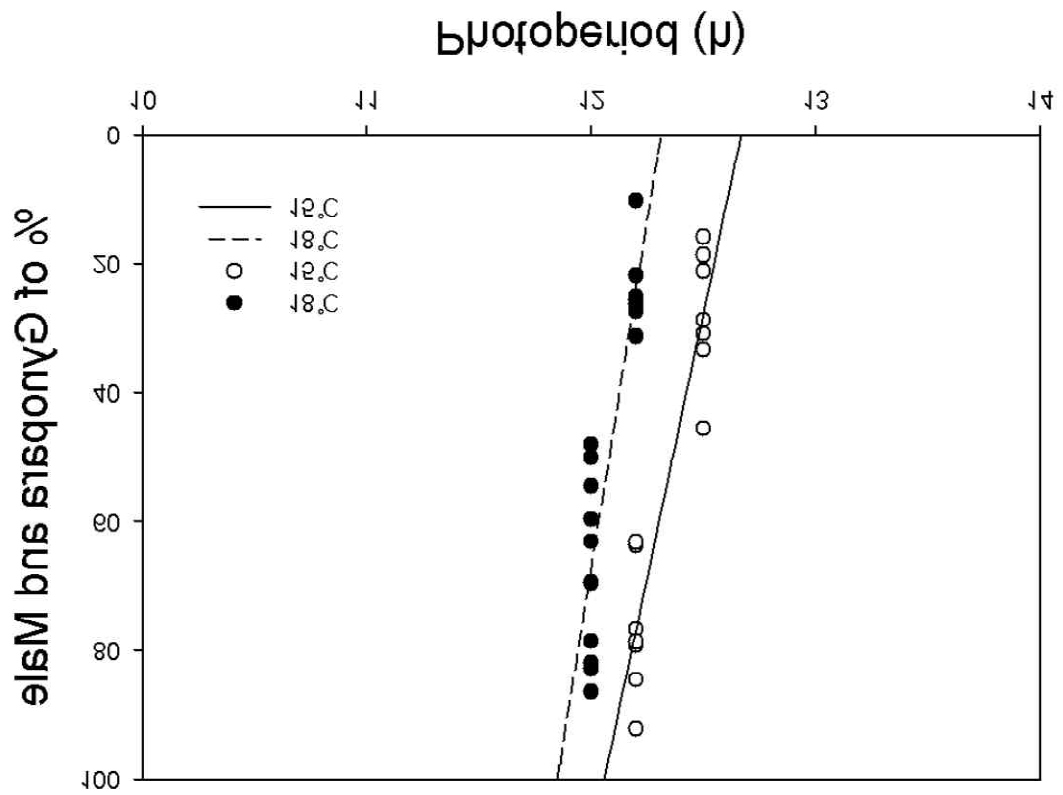


Fig. 6. Relationship between photoperiod and the production percentage of gynopara and male at 15°C and 18°C.

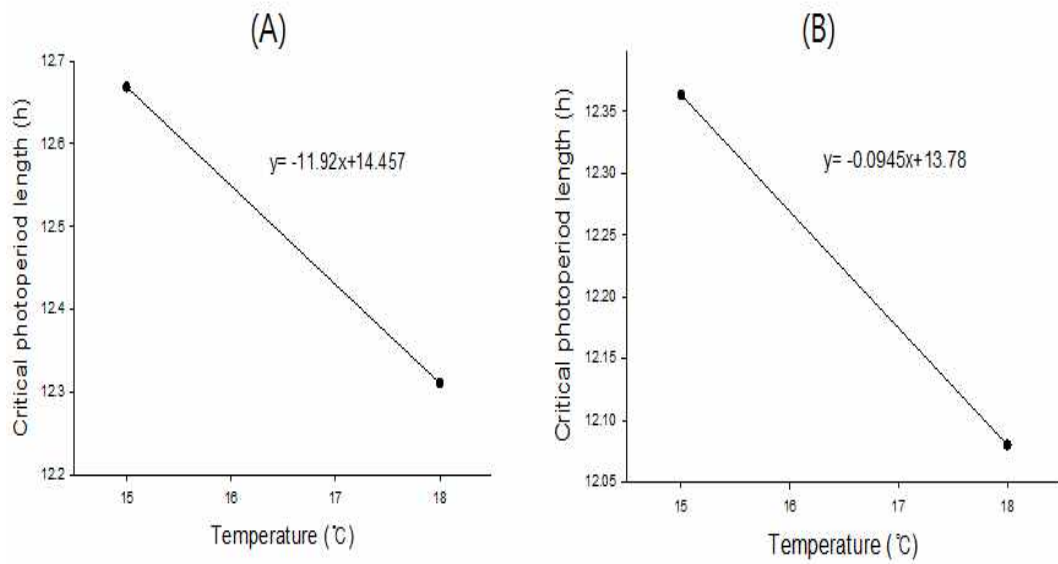


Fig. 7. Relationship between the temperature and the critical photoperiod length at (A) advance mode and (B) 50% mode.

2. 버금양성모(G_1)의 산자곡선 확인

버금양성모의 산자곡선을 확인하기 위하여 실내실험을 수행한 결과 완전생활형 목화진딧물의 수컷은 산자기간중 중기 이후부터 발생하는 것으로 나타났다 (Fig. 8). 수컷의 발생은 15°C와 18°C 처리구 산란곡선상에서 볼때 모두 비슷한 구간(batch)에서 나타났다. 버금양성모의 산자기간 중 수컷이 처음으로 발생하는 시기는 15°C와 18°C 처리구에서 각각 7.05일, 7.2일로 나타났다(Table 2).

Table 2. Period(days) until the first birth of male produced by subsexupara¹.

Subsexupara examined	Temperature (°C)	
	15°C	18°C
1	7	7
2	8	8
3	7	7
4	6	8
5	6	8
6	7	6
7	8	9
8	7	6
9	6	6
10	7	7
Mean	7.05	7.2

¹ Subsexupara: mother of gynopara and male.

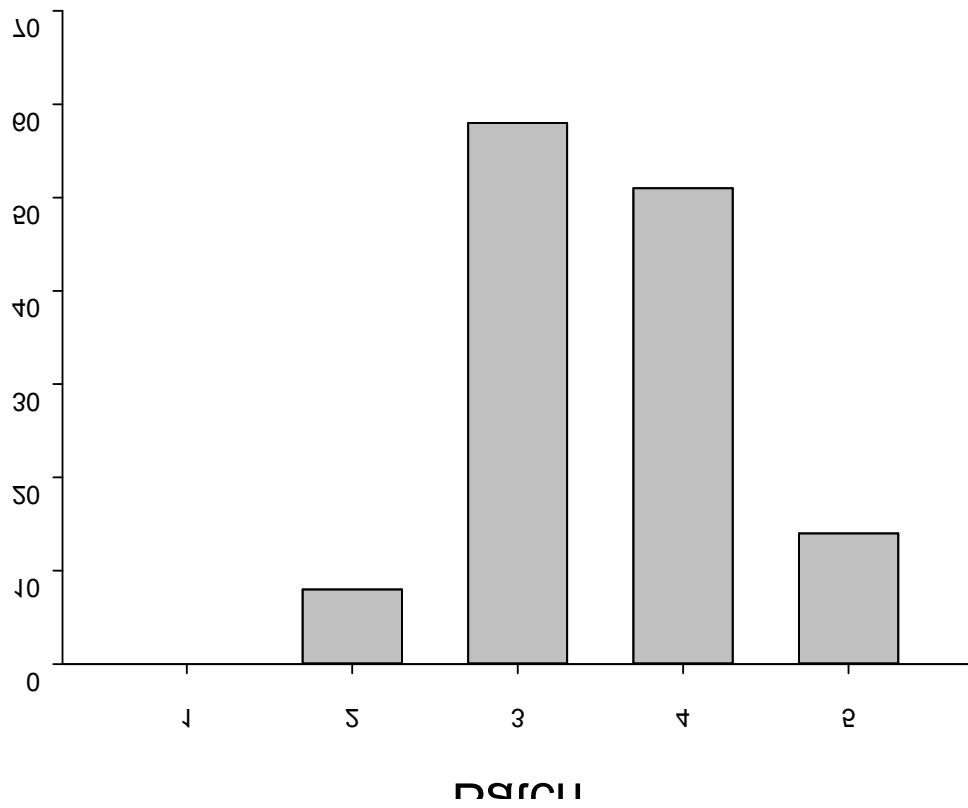


Fig. 8. The incidence of males in the five successive batches collected from 10 subsexupara.

3. 실험포장 자료

목화진딧물 유성형 발생시기 예측모형의 포장적합성을 검정하기 위하여 2014년 10월부터 2015년 1월까지 온난화대응농업연구센터 고도별 포장 5개소(고도: 50m, 200m, 350m, 500m, 700m)에서 채집된 목화진딧물 수컷수를 기록한 결과(Table 3, Fig. 9), 각 고도별 포장에서 목화진딧물 수컷의 최초발생일(Julian date)은 50m, 200m, 370m, 550m, 700m 고도포장에서 각각 296일, 289일, 289일, 289일, 289일로 나타났다. 고도별 실험포장 5개소의 온도는 고도가 높은 포장일수록 낮았으며 가장 고도가 낮은 포장(50m)과 높은 포장(700m)의 평균온도는 월별 약 4.5℃~6.1℃의 차이를 보였다(Table 4).

Table 3. The number of male caught in the yellow water trap at 5 sites.

Date	Julian date	Height (m)				
		50	200	370	550	700
2014. 10. 09	282	0	0	0	0	0
2014. 10. 16	289	0	1	1	1	2
2014. 10. 23	296	1	0	2	0	1
2014. 10. 30	303	1	0	1	2	0
2014. 11. 06	310	0	2	1	0	0
2014. 11. 13	317	4	2	2	0	0
2014. 11. 20	324	4	6	4	1	1
2014. 11. 27	331	2	3	7	18	0
2014. 12. 04	338	21	3	1	1	0
2014. 12. 11	345	10	0	0	1	0
2014. 12. 18	352	2	0	0	0	0
2014. 12. 25	359	0	0	0	0	0
2015. 01. 01	366	0	0	0	0	0

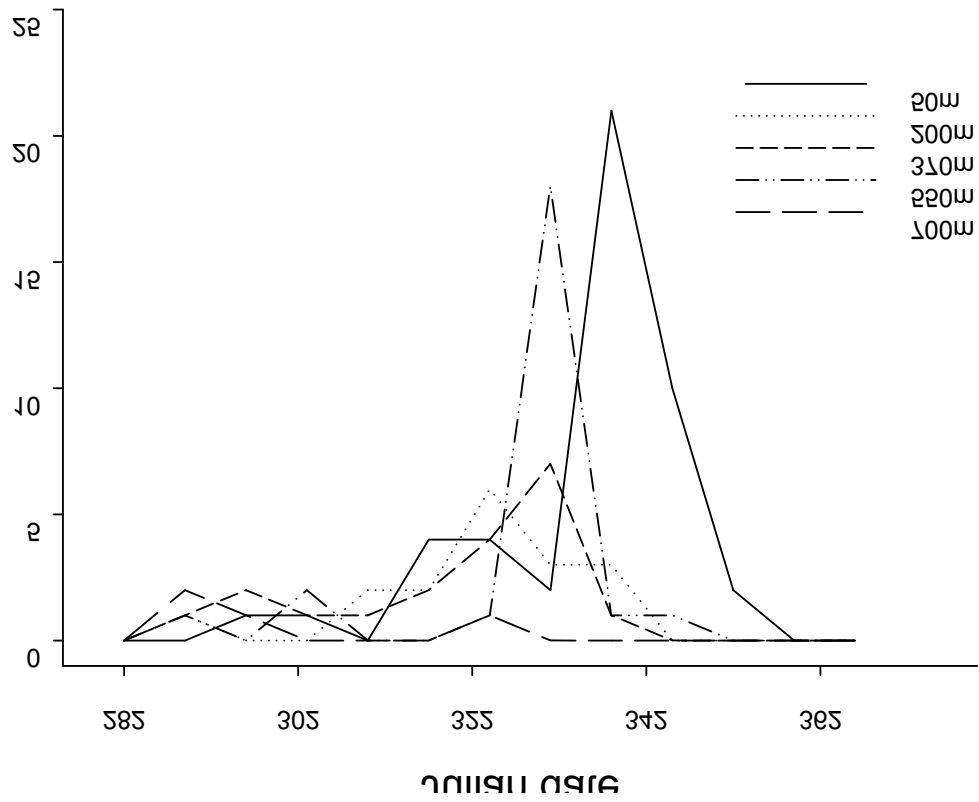


Fig. 9. The number of male caught in the yellow water trap at 5 observation sites.

Table 4. Monthly mean temperature (°C) from September 1 to December 31 at 5 experimental sites.

Month	Height (m)				
	50	200	370	550	700
9	22.6	21.8	20.4	19.1	18.1
10	18.1	17.0	15.4	14.1	13.1
11	12.8	11.4	9.8	8.5	7.6
12	6.1	4.4	2.6	1.1	0.0

4. 유성형 발생시기 예측모형 시나리오와 적합성 검증

4-1. 유성형 발생시기 예측모형

온도-광주기 관련 실내실험과 포장조사자료를 통해서 얻은 결과를 종합하여 유성형 전환초발기준과 50%전환기준으로 모형을 시뮬레이션하였다(Table 5, Table 6). 시뮬레이션 결과는 고도(50m, 200m, 370m, 550m, 700m)별 버금양성모, 산란암컷모, 수컷, 산란암컷의 발생일(birth)과 성충완료일(adult)을 줄리안데이트로 기록하였다. 전환초발기준(advance mode)으로 각 고도별 포장에서 버금양성모가 가장 먼저 발생할 것으로 예측되는 포장, 즉 유성형전환 조건에 가장 먼저 돌입할 것으로 예측되는 포장은 550m와 700m 포장(260일)으로 나타났고 가장 늦게 발생한 포장은 50m 포장(273일)으로 나타났다. 버금양성모 이후의 단계인 산란암컷모와 수컷 그리고 산란암컷의 모형 시뮬레이션 결과도 비슷한 경향이 나타났다, 50m포장에서 버금양성모의 발생에서부터 산란암컷 발생까지의 기간이 17일이 소요되는 반면 700m포장에서는 23일이 소요되었다.

Table 5. Julian dates for the occurrence of each aphid morph predicted by advance mode model.

Morph	State	Height (m)				
		50	200	370	550	700
Subsexupara	Birth	273	262	261	260	260
	Adult	281	269	269	269	270
Gynopara	Birth	281	269	269	269	270
	Adult	290	276	278	279	283
Male	Birth	288	276	276	276	277
	Adult	298	285	287	289	294
Ovipara	Birth	290	276	278	279	283

Table 6. Julian dates for the occurrence of each aphid morph predicted by 50% mode model.

Morph	State	Height (m)				
		50	200	370	550	700
Subsexupara	Birth	276	273	273	262	262
	Adult	284	282	283	271	272
Gynopara	Birth	284	282	283	271	272
	Adult	293	292	295	282	285
Male	Birth	291	289	290	278	279
	Adult	301	301	304	293	295
Ovipara	Birth	293	292	295	282	285

4-2. 유성형 발생시기 예측모형의 포장 적합

유성형 발생시기 예측모형을 이용하여 각 형태별 발생시기와 성충완료시기를 추정하고 형태적으로 구분이 가능한 수컷을 대상으로 실제 포장 관측값과 비교하였다(Table 7). 그 결과, Advance mode 모형의 수컷 발생시기는 실측치와 통계적으로 차이가 없었고($\chi^2=0.17$, $P<0.01$), 상관계수($r=0.78$) 또한 고도로 유의한 높은 정상관($r=0.78$, $P<0.01$)으로 나타나 모델로서 우수한 성능을 보인 반면, 50% mode 모형은 적합도($\chi^2=1.98$)에서 실측치와 차이는 없었지만 낮은 상관관계($r=0.27$)를 보였고, 잔차자승합(RSS)은 Advance mode 모형의 경우 49인 반면 50% mode의 모형에서는 446으로 월등히 높았다.

Table 7. Field validation statistic for the accuracy of model prediction between advance and 50% mode models.

Output	Height (m)					χ^2	RSS	r
	50	200	370	550	700			
Field	296	289	289	289	289	-	-	-
AD Modell	298	285	287	289	294	0.17 ^{ns}	49	0.78 ^{**}
50% Model	301	301	304	293	295	1.98 ^{ns}	446	0.27 ^{ns}

^{**} Significantly different at P = 0.01 by Chi-square test; ^{ns} not significant.

RSS : Residual sum of square.

r : Pearson correlation coefficient between model output and observed data.

V. 고 찰

목화진딧물은 기주전환종이고 완전생활형 진딧물로서 연속적인 단위생식 후 생활사 후기에 유성생식 세대를 갖는다. 본 연구에서는 완전생활형 목화진딧물이 유성형세대로 전환하는 기작을 규명하고 이를 종합하여 유성형발생시기 예측모델을 개발하였다.

유성형 발생 임계광주기 및 온도효과 실험을 통해서 목화진딧물의 유성형 발생은 온도와 광주기에 의하여 영향을 받는다는 사실을 제시하였다(Table 1). 실험결과 온도 21℃ 이상의 처리구에서는 광주기에 상관없이 유성형이 발생하지 않았고, 온도가 낮아질수록 유성형의 발생비율이 높아지는 것으로 나타났다(Fig 5). 이는 Gong and Zhang(2001)의 실험결과와 유사한 경향을 보였는데, 그는 14℃, 18℃, 22℃의 온도조건에서 목화진딧물 유성형 전환실험을 수행한 결과 22℃의 처리구에서는 광주기 조건에 상관없이 유성형이 유도되지 않았다고 보고하였다. 그리고 Gong and Zhang(2001)은 목화진딧물의 유성형세대가 발생하는 광주기를 18℃에서 12h라고 보고하였는데, 이는 본 실험의 결과와 거의 일치하는 결과이다(Table 1). 하지만 Gong and Zhang(2001)은 단순히 18℃이하의 온도와 8~12h의 광주기조건에서 유성세대가 발생한다고 보고하는데 그쳤고 온도에 따른 정확한 유성형 유도 임계광주기 추정을 위한 연구는 하지 않았다. 본 연구에서 광주기가 짧아질수록 유성형의 발생비율이 높아지고, 13h의 광주기에서는 온도와 상관없이 유성형이 발생하지 않았다. 이 결과로 장일조건이나 고온은 목화진딧물의 유성형 전환을 억제하는 요인이라고 판단된다. 이는 진딧물이 호의적인 환경조건에서는 개체군증식에 유리한 단위생식방법을 유지하고 불리한 환경조건에서는 휴면알을 낳을 수 있는 유성생식형으로 전환함으로써 종의 유지를 위한 매커니즘으로 보인다. 유성형이 발생하는 과정에서 온도가 낮을수록 유성형 유도임계광주기는 더욱 길어지는 것으로 보고되었고, 이로 인하여 가을온도가 낮을 경우 유성형이 일찍 발생한다는 사실이 밝혀졌다(Dixon and Glen, 1971). 이는 Dixon and Glen(1971)은 기장테두리진딧물(*Rhopalosiphum padi* L.)의 유성형 발생관련 실험을

통해서 온도에 따라 유성형 발생 임계광주기가 변화한다는 사실과 온도 4°C의 상승이 임계광주기를 1.75h 감소시킨다고 보고하였고 볼록진딧물(*Megoura viciae*)의 경우 온도 5°C의 상승이 유성형 유도에 필요한 임계암주기를 15분 증가시키는 것으로 보고되었다(Lees, 1963). 본 실험에서도 온도에 따라서 임계광주기가 변한다는 사실을 보여 주었고 온도 3°C의 상승이 목화진딧물의 임계광주기를 0.36h(약 21분) 감소시키는 것으로 나타났다(Fig. 6). 이는 온도조건만 충족된다면 가을이 아닌 여름에도 유성형진딧물이 발생할 수 있음을 의미하고, 향후 기후변화로 인한 겨울온도의 상승이 진딧물의 불완전생활사(단위생식)로의 돌입 가능성을 시사한다고 판단된다.

버금양성모의 산자곡선 실험을 통해서 버금양성모의 산자기간 중 수컷이 처음으로 발생하는 시기는 15°C와 18°C 처리구에서 각각 7.05일, 7.2일로 나왔으며, 수컷의 발생일은 온도에 의해서 영향을 받지 않는 것으로 보인다(Table 2). 또한 산란암컷모가 어미의 생식기간 중 초기에 산자되고 수컷은 중기 이후부터 산자된다는 사실을 확인하였다(Fig 8). 이 결과는 완전생활형 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)로 실험한 Matsuka and Mittler(1979)의 실험결과와 유사한 경향을 보였고, 이러한 특이적 산자시퀀스는 수컷이 자손세대인 산란암컷과의 시기적 공존을 가능케 하는 진딧물의 번식전략이라 판단된다. 실제로 본 연구에서 개발한 모델을 이용하여 유성형 전환 형태별 발생일과 성충완료일을 시뮬레이션 한 결과도 수컷과 산란암컷의 발생시기가 거의 일치하는 것으로 나타났다(Table 5).

실험포장은 고도에 따라 5개 지점을 설정하여 황색수반트랩과 기상측정용 데이터로거를 설치하여 조사하였고, 수컷발생시기 조사결과 동일한 광주기 조건에도 불구하고 고도차로 인하여 발생한 각 포장별 온도차이가 수컷의 발생시기에 영향을 주었다는 것을 확인하였다(Table 3, Table 4).

진딧물의 유성형 발생시기예측모형과 관련된 연구로는 Ward *et al.*(1984)의 연구가 있다. Ward *et al.*(1984)는 기장테두리진딧물의 유성형 발생시기를 예측하기 위한 모델을 제시하였는데, 그 모델은 진딧물 기주식물의 낙엽(leaf falling)시기를 광주기와 가을온도 추정을 통하여 제시하였다. 하지만 그가 제시한 모델에서 기주식물의 낙엽시기에 영향을 미치는 변수를 설정함에 있어서 온도를 배제하고 광주기만을 고려하였고 모형에 적용한 온도는 실제 온도가 아닌 7월과 8월

의 평균온도로부터 추정된 월평균온도를 적용하였다. 또한 Ward *et al.*(1984)의 모형은 유성형 전환 과정에서 필요한 각 형태의 정확한 발생시기 예측이 불가능할 뿐만 아니라 버금양성모의 수컷산자특성, 즉 수컷이 버금양성모의 산자기간 중 중기 이후부터 발생한다는 사실을 모형작성에 전혀 고려하지 않는 등 모형작성에 있어서 많은 문제점을 보였다. 본 연구에서 제시한 모형은 실제 광주기와 온도자료를 적용한 모형이며, 유성형 전환 임계광주기 추정을 통하여 목화진딧물의 유성형 전환과 관련된 각 단계별 형태를 대상으로 발생시기를 예측하였다. 온도-광주기 관련 실내실험과 포장조사자료를 통해서 얻은 결과를 종합하여 유성형 전환초발기준과 50%전환기준으로 모형을 시뮬레이션하였다(Table 5, Table 6). 전환초발기준(Advance mode)으로 각 고도별 포장에서 버금양성모가 가장 먼저 발생할 것으로 예측되는 포장, 즉 유성형전환 조건에 가장 먼저 돌입할 것으로 예측되는 포장은 550m와 700m 포장(260일)으로 나타났고 가장 늦게 발생한 포장은 50m 포장(273일)으로 나타났다. 이는 50m 고도포장이 다른 포장에 비해 상대적으로 높은 온도에 의하여 발생한 차이라고 판단된다. 버금양성모 이후의 단계인 산란암컷모와 수컷 그리고 산란암컷의 모형 시뮬레이션 결과도 비슷한 경향이 나타났으나, 50m 포장에서 버금양성모의 발생에서부터 산란암컷 발생까지의 기간이 17일이 소요되는 반면 700m 포장에서는 23일이 소요되었다(Table 5). 이는 700m 포장이 상대적으로 낮은 온도에 의해서 유성형으로의 전환이 50m 포장에 비해서 먼저 이루어지지만 저온으로 인한 발육기간의 증가로 나타난 결과라고 판단된다. 유성형 발생시기 예측모형을 이용하여 각 형태별 발생시기와 성충완료시기를 추정하고 형태적으로 구분이 가능한 수컷을 대상으로 실제 포장 관측값과 비교하였다(Table 7). 본 연구에서 제시한 Advance mode 모형은 포장 적합결과 실측치와 평균 2.6일의 차이를 보여주었고 통계적으로 우수한 적합력을 보였다. 향후 보다 많은 관측자료를 통한 포장검증이 필요하지만, 더 개선된 모형이 개발될 때까지 현 상태의 모형은 목화진딧물의 후기 개체군동태를 이해하는데 긴요하게 이용될 수 있다. 즉 당해 연도의 온도변화에 따른 월동알의 발생시기를 비교해 볼 수 있을 것이다. 더 나아가 지구온난화에 따른 유성세대의 발생시기를 추정해보고 불완전세대의 발생추이를 추정해 볼 수 있을 것이다. 또한 해충방제측면에서 진딧물의 생식방법전환과 관련하여 가장 중요한 환경요인 중

하나인 광주기의 “인위적 조절”을 통한 유성세대 전환 교란 유도에 관한 생태학적 방제법 연구도 향후 의미가 있을 것이라고 판단된다.

VI. 적 요

본 연구에서는 완전생활형 목화진딧물이 유성형 세대로 전환하는 기작을 구명하고 이를 종합하여 유성형 발생시기 예측모델을 개발하였다.

유성형 발생 임계광주기 및 온도효과 실험을 통해서 목화진딧물의 유성형 발생은 온도와 광주기에 의하여 영향을 받는다는 사실을 제시하였다. 실험결과 온도 21℃ 이상의 처리구에서는 광주기에 상관없이 유성형이 발생하지 않았고, 온도가 낮아질수록 유성형의 발생비율이 높아지는 것으로 나타났다. 또한 광주기가 짧아질수록 유성형의 발생비율이 높아지고, 13h의 광주기에서는 온도와 상관없이 유성형이 발생하지 않았다. 본 실험에서 온도에 따라서 임계광주기가 변한다는 사실을 보여 주었고, 온도 3℃의 상승이 목화진딧물의 임계광주기를 약 0.36h(약 21분) 감소시키는 것으로 나타났다.

버금양성모의 산자곡선 실험을 통해서 버금양성모의 산자기간 중 수컷이 처음으로 발생하는 시기는 15℃와 18℃ 처리구에서 각각 7.05일, 7.2일로 나타났다.

온도-광주기 관련 실내실험과 포장조사자료를 통해서 얻은 결과를 종합하여 유성형 전환초발기준과 50% 전환기준으로 모형을 시뮬레이션하였고, 이를 이용하여 각 형태별 발생시기와 성충완료시기를 추정하고 형태적으로 구분이 가능한 수컷을 대상으로 실제 포장 관측값과 비교하였다. 포장적합결과 Advance mode 모형이 통계적으로 우수한 적합력을 보였다.

향후 보다 많은 관측자료를 통한 포장검증이 필요하지만, 더 개선된 모형이 개발될 때까지 현 상태의 모형은 목화진딧물의 후기 개체군동태를 이해하는데 긴요하게 이용될 수 있을 것이라 생각된다.

인 용 문 헌

- Blackman, R.L. and V.F. Eastop., 2006. Aphids of the World's Herbaceous Plants and Shrubs—an identification and information guide. John Wiley, Inc.: New York, NY
- Choi, K.S. and D.S. Kim., 2014. POPMODEL1.0. Korea Copyright Commission.
- Dixon, A.F.G. 1987. Evolution and adaptive significance of cyclical parthenogenesis in aphids. Aphids, their Biology, Natural Enemies and Control, Vol. 2A (ed. by A. K. Minks and P. Harrewijn), pp. 289-297. Elsevier, Amsterdam.
- Dixon A.F.G. and Ranajit Kundu., 1994. Ecology of host alternation in aphids. Eur. J. Entomol. 91, 63-70
- Dixon, A.F.G and Glen, D.M., 1971. Morph determination in the bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi* L. Annals of Applied Biology 68, 11-21
- Eastop, V.F. 1973. Deductions from the present day host plants of aphids and related insects. In van Emden HF (ed.) Insect/Plant Relationships. Blackwell: Oxford, pp. 157-178.
- Ebert, T. and B. Cartwright., 1997. Biology and ecology of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae). Southwest Entomol 22, 116-153
- Forrest, J. M. S. 1970. The effects of maternal and larval experience on morph determination in *Dysaphis deecta*. J. Insect Physiol. 16, 2281-2282.
- Gong Peng and Zhang Xiaoxi., 2001. The inducement of temperature and photoperiod to produce sexuales of *Aphis gossypii* Glover. Acta Phytopylacica Sinica. 28(4), 318-324
- Griffith, E. and Wratten, S.D., 1979. Intra- and inter-specific differences in

- cereal aphid low-temperature tolerance. *Entomologia experimentalis et applicata*, 26, 161-167.
- Hales, D.F, Tomiuk J., Woehrmann K., Sunnucks P., 1997. Evolutionary and genetic aspects of aphid biology: a review. *Eur J Entomol* 94, 1-55
- Harrington, R. and Cheng, X.N., 1984. Winter mortality, development and reproduction of a field population of *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) in England. *Bulletin of Entomological Research* 74, 633-640
- Heie, O.E., 1967. Studies on fossil aphids(Homoptera: Aphidoidea), especially in the Copenhagen collection of fossils in Baltic amber. *Spolia Zoologica. Musei Hauniensis* 26, 1-274
- Kim, D.I., Ko, S.J., Choi, D.S., Kang, B.R., Kim, S.G., Park, J.D., Kim, S.S., 2012. Comparison of temperature-dependent development model of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) under constant temperature and fluctuating temperature. *Korean J. Appl. Entomol.* 51(4), 421-429
- Kim, H.J., 2008. A systematic of the tribe Aphidini(Hemiptera:Aphididae) in the Korean peninsula, with discussion of their phylogenetic relationships based on molecular markers and morphology. Seoul National University, Seoul, Korea, 319p
- Lambers, H.R.D., 1966. Polymorphism in Aphididae. *Annu. Rev. Entomol.* 11, 47-78
- Lambers, H.R.D., 1960. Some notes on morph determination in aphids. *Entomol. Ber.* 20, 110 - .113.
- Leather, S.R., 1992. Aspects of aphid overwintering (Homoptera: Aphidinea: Aphididae). *Entomologia Generalis*, 17, 101-113.
- Leather, S.R., 1993. Overwintering in six arable aphid pests: a review with particular reference to pest management. *Journal of Applied Entomology* 116, 217-233
- Leclant, F. and Deguine, J.P., 1994. Aphids (Hemiptera: Aphididae). In: "Insect

- Pests of Cotton" (G.A., Matthew, J.P. Tunstal, eds.). Wallingford, UK ab international. pp. 285-323.
- Lees, A.D., 1963. The role of photoperiod and temperature in the determination of parthenogenetic and sexual forms in the aphid *Megoura viciae* Buckton *Journal of Insect Physiology* 9, 153-164
- Mackenzie, A. and Dixon A.F.G., 1992. An ecological perspective of host alternation in aphid (Homoptera:Aphidinea:Aphididae). *Entomol Gen* 16, 265-284
- Marcovitch, S., 1924. The migration of the Aphididae and the appearance of the sexual forms as affected by the relative length of daily light exposure. *Journal of Agricultural Research* 27, 513-533
- Matsuka, M. and Mittler, T.E., 1979. Production of males and gynoparae by apterous viviparae of *Myzus persicae* continuously exposed to different scotoperiods. *Journal of Insect Physiology* 25, 587-593.
- MORAN, N. A., SEMINOFF, J., JOHNSTONE, L., 1993. Induction of winged sexuparae in root inhabiting colonies of the aphid *Pemphigus betae*. *Physiol. Entomol.* 18, 296-302.
- Remaudiere, G. and Remaudiere, M., 1997. *Catalogue des Aphididae du Monde*. INRA, Paris, 473 pp.
- Shim, J. Y., Park, J. S. Park, Paik, W. H., 1979. Studies on the life history of cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera) *Korean J. Pl. Prot.* 18(2), 85-83
- Ward. S.A. and Leather, S.R., Pickup J, Harrington R., 1998. Mortality during dispersal and the cost of host-specificity in parasites: how many aphids find hosts? *J Animal Ecol* 67, 763-773.
- Ward, S.A., Leather, S.R., Dixon A.F.G., 1984. Temperature prediction and the timing of sex in aphids. *Oecologia* 62, 230-33

Appendix I

진딧물의 생활사는 매우 복잡하고 생활사 전반에 걸쳐서 출현하는 형태 또한 다양하기 때문에 혼동하기 쉽다. 따라서 진딧물의 다형성과 관련된 용어에 관한 명확한 개념을 파악하는 것은 중요하다. 본 논문에서 올바른 이해를 돕기 위하여 진딧물의 다형성과 관련된 명확한 개념을 수정 및 정리하였다.

영명	현(2009) ¹	곤충용어집 ²	제안 국명	개념
Fundatrix	간모	간모	간모	알에서 부화한 개체
Vivipara	태생단위 생식자충	태생암컷	태생모	단위생식형 개체
Sexupara	산양성충	산성형충	양성모	산란암컷과 수컷을 낳는 개체
Gynopara	산성충	산자형	산란암컷모	산란암컷을 낳는 개체
Ovipara	산란자충	산란형 어미	산란암컷	알을 낳을 수 있는 암컷 개체
Andropara	산웅자충	산웅충	수컷모	수컷만 낳을 수 있는 개체
Male	웅성충	-	수컷	산란 암컷과 교미하는 수컷
Subsexupara³	-	-	버금양성모	산란암컷모와 수컷을 낳는 개체

¹ 현재선. 2009. 곤충의 진화와 생활사 전략. 298pp. 서울, 아카데미 서적

² 김동순 외 5인. 곤충학용어집. 서울, 아카데미 서적

³ 본 논문에서 제안하는 용어