

실내에서 작은뿌리파리(*Bradysia difformis*, Sciaridae, Diptera)의 대량사육시스템

장현주 · 윤 현 · 권혜리 · 유용만 · 윤영남*

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과

Mass-rearing Method of the Fungus Gnat, *Bradysia difformis* (Sciaridae, Diptera) in Laboratory

Hyun Ju Jang, Heon Yoon, Hey Ri Kwon, Yong Man Yu and Young Nam Youn*

Department of Agricultural Biology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

ABSTRACT: The fungus gnat, *Bradysia difformis*, has been recognized as an important pest of greenhouse crops. There is a need for research on the control of the fungus gnat. However, it is difficult to obtain many generations of the fungus gnat for several kinds of research. Indoor propagation is a very useful method for obtaining enough individuals in cases where the need is for larvae in soil. This study was conducted to determine the optimum growing media and temperature conditions for rearing the fungus gnat in the laboratory. Under experimental temperature conditions, hatching, pupation, and eclosion rates were the highest at 20°C. The developmental period of the fungus gnat was shortened with higher temperatures. The greatest number of eggs was an average of 144 at 20°C. Using different types of larvae growth media, the highest hatching rates were 84.7 and 84.4% in water agar and potato disks, respectively. The larval period was the shortest, at 14.7 days, when grown on potato disks. The highest pupation and eclosion rates were 85.2 and 82.6% on potato disks, respectively. The highest number of eggs was an average of 125.6 on potato disks. Regarding the effects of different growth media on the eclosion rate of *B. difformis*, the highest eclosion rate was 88.4% on the soil mix, and was 50% on oatmeal, 25% on shredded potato. The results of four different inoculation levels of larvae on eclosion rate of *B. difformis* showed that the highest eclosion rate was 84.7% for 1,000 larvae. The eclosion rate was shortened with a higher number of larvae inoculated/cage. In the growth medium used, 3,000 eggs were better for the initial level of inoculation, showing a relatively high emergence rate and short developmental period. Mass rearing procedures were explained in detail.

Key words: Fungus gnat, *Bradysia difformis*, Growing media, Mass-rearing

초록: 작은뿌리파리는 넓은 기주 범위를 가지며 시설하우스에서 피해를 주는 주요 해충이다. 이를 해결하기 위한 방제 방법을 연구하기 위해 재현성 있는 사육방법을 개발보급시켜야 할 필요가 있다. 본 연구는 실내에서 작은뿌리파리에 대한 대량사육시스템을 구축하고 생태적 특성을 연구하였다. 작은뿌리파리의 온도별 발육을 조사한 결과, 20°C에서 부화율, 용화율, 우화율이 가장 높았으며, 성충을 제외한 발육기간이 20.8일로 가장 짧았다. 성충수명은 온도가 높아질수록 수명이 짧아졌으며, 20°C에서 평균 144개로 가장 많이 산란하였다. 작은뿌리파리 유충 사육배지 조성이 유충 발육에 미치는 영향을 알아본 결과, 물한천배지와 감자디스크배지가 부화율 84.7, 84.4%로 높았으며, 유충기간은 감자디스크배지가 14.7일로 가장 짧았다. 용화율, 우화율은 감자디스크배지가 85.2, 82.6%로 가장 높았고 산란수도 125.6개로 가장 높았다. 우화케이지에서 생육배지를 선발한 결과, 우화율은 원예용 상토 50% + 톱밥 25% + 잘게 간 감자 25% 배지가 접종 14일차의 우화율이 88.4%로 가장 높았다. 우화케이지의 생육배지 적정 접종밀도는 유충 1,000개 접종 시 84.7%로 가장 높았고, 유충 3,000, 5,000, 7,000개 접종시 81.4, 58.8, 38.7%로 유충 접종량이 많을수록 우화율이 낮았다. 위 실험 결과에 따라 작은뿌리파리의 대량사육시스템의 사육단계별 자세한 사항을 정리하였다.

검색어: 작은뿌리파리, 사육배지, 대량사육

*Corresponding author: youngnam@cnu.ac.kr

Received October 17 2017; Revised January 31 2018

Accepted March 2 2018

작은뿌리파리(*Bradysia difformis*, fungus gnat)는 파리목(Diptera) 검정날개버섯파리과(Sciaridae)에 속하는 해충으로 시설하우스에서 화훼류, 채소류, 목초류, 버섯류, 관상식물 등에 이르는 넓은 기주 범위를 가지며, 이러한 기주들에 많은 손실을 주는 해충이다(Harris et al., 1995; Lee et al., 2001; Kim et al., 2009). 이 해충은 유충 단계에서 보통 난균류(Oomycetes), 담자균류(Basidiomycetes), 자낭균류(Ascomycetes) 등 균류를 취하거나 토양의 유기물 및 식물 잔재물을 섭식한다(Kennedy, 1974; Gardiner et al., 1990; Michael et al., 1998). 또한 버섯파리 유충은 식물 뿌리를 섭식하여 직접적인 식물 상처의 원인이 된다. 이는 유묘의 뿌리 발달에 위협적이며 수분과 영양분을 흡수하는 기능을 감퇴시켜 왜소생장의 결과를 가져오며 심하면 고사에 이르게 한다(Binns, 1981; Springer and Carlton, 1993; Jagdale et al., 2004). 뿐만 아니라 유충과 성충은 *Botrytis* spp., *Fusarium* spp., *Pythium* spp., *Verticillium* spp. 등 병원균을 매개하여 간접적인 피해를 입힌다. 성충의 경우, 몸통에 병원균 포자를 묻혀 다른 식물체에 옮길 뿐만 아니라 작물에 대발생하여 사람들에게 불쾌감을 유발할 수 있다(Dennis, 1978; Jarvis et al., 1993).

우리나라에서 작은뿌리파리는 1999년 경남 진주의 육묘장 내 수박육묘에 발생하여 처음으로 보고되었다(Park et al., 1999). Lee et al. (2001)는 *Bradysia* spp.의 기주에 대해 보고하였는데 고추, 국화, 멜론, 수박, 토마토, 파프리카 등 21종에서 발생을 확인하였다. 특히 암면재배하는 작물인 토마토, 파프리카 등에서 발생할 때에 피해가 심한 것으로 나타났다. 그리고 구근류 등과 같은 뿌리를 이용하는 작물인 백합, 글리디올러스, 생강 등에서도 피해가 확인되었다. 이처럼 온실의 과습한 환경이나 토양 중의 풍부한 유기물, 지제부에 대한 접근 용이성에 따라 버섯파리 밀도가 크게 늘어나 피해가 심해질 수 있다(Lindquist et al., 1985; Robert, 1992). 따라서 다른 많은 작물에서 작은뿌리파리 생육에 알맞은 환경이 조성되었을 경우에 대발생하여 심각한 해충으로 작용할 수 있다.

이러한 경제적 손실을 야기하는 해충을 방제하기 위한 연구를 하기에 앞서, 이 곤충의 기초적인 생리, 생태에 대한 연구가 필요하며, 뿐만 아니라 가장 먼저 공시충의 안정적인 공급이 뒷받침되어야만 한다. 꾸준하게 양질의 실험곤충을 공급하기 위해서 재현성이 있는 사육방법을 표준화하여 보급시킬 필요가 있다.

이전에 연구들에서는 검정날개버섯파리와 사육에 대해 다루었는데, Helen (1936)은 *Bradysia coprophila*을 사육하는데 처음으로 수분 공급과 산란, 교미 장소로 한천배지를 이용하였다. 이후에 Steffan (1966)과 Kennedy (1973)는 옥수수가루 한천사면배지에 유충먹이로 짚과 퇴비, 맥주효모를 공급하였다. Kennedy (1974)는 유충 먹이로 *Alternaria tenuis*를 이용하였

는데, 이후에 *Pythium* spp. (Gardiner et al., 1990) 등 여러 균이 유충 먹이로써 공급되었다. 그리고 Gillespie (1986)은 곱게 간 강낭콩을 원예용 피트모스와 혼합하여 개체군 유지를 하였고, Cabrera et al. (2003)는 감자, 오토밀을 섞어 영양분을 높여준 상토를 이용하여 세대를 이어나갔다. 현재 대부분의 작은뿌리파리 사육에 있어서 한천배지에 균을 더해 유충의 먹이로 공급하는 방법이 가장 많이 사용되고 있다. 하지만 이 방법은 균사가 과도하게 성장될 경우 육안으로 곤충의 식별이 어렵고 개체를 실험에 사용하기 위해 옮기기 어려울 뿐만 아니라 균체가 트랩작용을 하여 유충이 고사하는 경우가 발생한다. 따라서 작은뿌리파리 대량사육을 위한 간편하고 새로운 작은뿌리파리 유충의 대체 먹이자원과 사육시스템이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 작은뿌리파리의 기초연구에 필요한 실험곤충을 확보하기 위하여 실내대량사육시스템을 구축하고자 수행하였으며, 선발된 생육배지와 곤충 밀도를 기본으로 작은뿌리파리의 발육과 산란에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 그리고 작은뿌리파리의 생장적온을 알아보기 위해 실내에서 온도별 발육상태를 알아보았다.

재료 및 방법

작은뿌리파리의 대량사육

작은뿌리파리 유충 사육배지 선발

시험 배지는 물한천배지, 감자디스크배지{감자조각(15 × 15 × 10 mm) + 물한천배지}, PDA배지, 원형느타리버섯배지(*Pleurotus ostreatus*), *Penicillium* sp. 배지 등 5가지 조건을 두고 시험하였다. 처리는 각 5가지 조건의 페트리디쉬에 작은뿌리파리 암수 1쌍을 접종하여 교미를 유도한 뒤 알을 받는다. 산란하면 현미경 하에서 알수를 조사한 뒤 부화율을 측정하였다. 유충이 부화하면 유충을 1마리씩 각 5가지 조건의 페트리디쉬에 접종하여 매일 현미경 하에서 조사하여 유충기간, 용화율, 우화율을 기록하였다. 또한 각 조건에서 자란 개체들의 산란수를 측정하기 위해 성충으로 우화한 암수 1쌍을 물한천배지에 접종하여 교미를 유도한 뒤 산란수를 측정하였다. 각 처리는 20 반복으로 실시하였다.

우화케이지의 생육배지 선발

시험 배지는 원예용 상토(Wonjo mix, 좋은상토), 원예용 상토 50% + 톱밥 50%, 원예용 상토 50% + 오토밀 50%, 원예용 상토 50% + 톱밥 25% + 잘게 간 감자 25%, 원예용 상토 50% +

오트밀 25% + 잘게 간 감자 25% 등 5가지 조건을 두었다. 처리는 감자디스크배지에서 자란 유충을 4령 시기에 각 5가지 조건의 생육배지(22 × 16 × 4.5 cm)에 약 500마리씩 접종하고, 각 처리는 3반복으로 실행하였다. 그리고 사육상자(30 × 30 × 30 cm)에 각 생육배지를 두고 yellow sticky trap (10 × 10 cm)를 설치하였다. 설치 후 7일, 14일차에 yellow sticky trap을 수거하여 우화한 성충 수를 조사하였다. 끈끈이 트랩에 포획되기 전에 살아있는 성충의 먹이원으로써 어린 고추 포트를 공급해 주었으며, 보관은 온도 25 ± 1°C, 광주기 16L:8D, 상대습도 50~60%의 조건에서 하였다.

생육배지의 유충 적정 접종밀도

원예용 상토 50% + 오트밀 25% + 잘게 간 감자 25%로 혼합하여 약 500 g을 충전한 사각트레이(22 × 16 × 4.5 cm)에 작은 뿌리파리 4령 유충 1,000, 3,000, 5,000, 7,000마리를 각각 접종하여 사육상자(30 × 30 × 30 cm)에 넣었다. 사육상자에는 yellow sticky trap (10 × 10 cm)을 설치하여 처리 후 7일과 14일이 지난 후 우화한 성충 수를 조사하였다. 각 처리는 3반복으로 실시하였으며, 온도 25 ± 1°C, 광주기 16L:8D, 상대습도 50~60%의 조건의 사육실에서 관리하였다.

작은뿌리파리의 생태적 특성

작은뿌리파리는 2015년 5월에 충남 공주시 계룡면 월곡리, 논산시 노성면 가곡리의 딸기하우스에서 감자 절편과 흡충기를 이용해 채집하여 실내 항온실에서 누대사육하며 실험에 사용하였다.

알 기간과 부화

알 기간과 부화율을 조사하기 위해 흡충기를 이용해 작은뿌리파리 성충 암수 1쌍을 잡아 이산화탄소를 이용해 움직임을 경미하게 하고 물한천배지(35 × 10 mm)에 접종하여 교미를 유도한 뒤 알을 받는다. 처리한 배지는 온도 10, 15, 20, 25, 30 ± 1°C, 광주기 16L:8D, 상대습도 50~60% 조건의 항온기에서 관리하였다. 산란하면 현미경 하에서 알 수를 조사한 뒤 매일 부화한 개체를 현미경 하에서 확인하였다.

유충 및 번데기 기간

유충기간을 알아보기 위해 알이 부화하면 새로운 본 실험에

서 표준화 된 물한천배지에 감자조각(1 × 1 × 0.5 cm)을 더하여 갓 부화한 유충을 1마리씩 접종하여 개체사육을 하였다. 접종한 후 매일 현미경 하에서 조사하여 유충기간을 기록하였다. 그 후 번데기가 된 개체의 수를 기록하여 용화율을 구하였다. 번데기기간을 알아보기 위해 매일 우화 유무를 관찰하고 우화된 개체 수를 기록하여 우화율을 구하였다. 보관 시에는 어두운 그늘을 선호하는 작은뿌리파리의 습성을 고려하여 천으로 덮어 어두운 환경을 조성해주었으며, 알과 같은 조건의 항온기에서 관리하였고 유충 및 번데기 기간은 20반복을 수행하여 평균값을 구하였다.

성충 수명과 산란

성충 수명을 알아보기 위해 갓 우화한 성충 암수 1쌍을 고추 모종을 이식한 곤충사육통(6.3 × 6.3 × 19.5 cm)에 접종하여 암컷과 수컷의 수명을 매일 육안으로 조사하였다. 조사는 20반복으로 수행하여 암컷과 수컷의 평균 수명을 기록하였다. 그리고 산란수를 알아보기 위해 갓 우화한 성충 암수 1쌍을 새로운 물한천배지에 접종하여 산란을 유도한 뒤 알의 수를 조사하였다. 산란수 조사 또한 20 반복으로 수행하였다.

결과

작은뿌리파리의 대량사육

작은뿌리파리 유충 사육배지 선발

사육배지 조성이 작은뿌리파리 유충 발육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 물한천배지, 감자디스크배지, PDA배지, 원형느타리버섯배지, *Penicillium* sp.배지 등 5가지 조건에서 부화율, 유충기간, 용화율, 우화율, 산란수를 조사한 결과는 Table 1과 같다. 부화율은 PDA배지가 86.1%로 가장 높았으며, 물한천배지(84.7%)와 감자디스크배지(84.4%)가 PDA배지와 근소한 차이로 높은 비율을 보였다. 알에서 번데기가 되기까지의 유충기간을 조사한 결과, 감자디스크배지가 14.7일로 가장 짧았으며 원형느타리버섯배지, PDA배지, *Penicillium* sp.배지에서 각각 18.1, 20.6, 21.4일이었고, 물한천배지가 24.4일로 가장 길었다. 그리고 용화율은 감자디스크배지에서 85.2%로 가장 높았고 원형느타리버섯배지, PDA배지, *Penicillium* sp.배지에서 75.9, 72.6, 58.1%이었으며, 물한천배지에서 19.7%로 현저하게 낮은 비율을 나타냈다. 성충으로의 우화율은 감자디스크배지에서 82.6%로 가장 높았으며, 뒤이어 원형느타리버섯배지,

Table 1. Larval period, egg production and hatching, pupation, and eclosion rate of *Bradysia difformis*

	Larval period (Mean ± SD)	Total number of eggs/female	Hatching rate (%)	Pupation rate (%)	Eclosion rate (%)
Water agar	24.4 ± 4.2	25.3	84.7	19.7	75.0
Potato disk	14.7 ± 2.2	125.6	84.4	85.2	82.6
PDA (Potato dextrose agar)	20.6 ± 4.8	49.5	86.1	72.6	53.3
<i>Pleurotus ostreatus</i>	18.1 ± 3.8	95.2	66.7	75.9	75.6
<i>Penicillium</i> sp.	21.4 ± 4.9	93.3	58.9	58.1	72.0

물한천배지, *Penicillium* sp. 배지가 75.6, 75.0, 72.0%이었으며, PDA 배지에서 53.3%로 가장 낮았다. 각 조건에서 자란 개체들의 교미 후 산란수는 감자디스크배지에서 125.6개로 가장 많았고, 원형느타리버섯배지, *Penicillium* sp. 배지, PDA 배지가 95.2, 93.3, 49.5개이고, 물한천배지에서 25.3개로 가장 적었다.

우화케이지의 생육배지 선발

작은뿌리파리의 대량사육을 위한 우화케이지의 생육배지 선발은 Fig. 1과 같다. 4령 유충을 접종한지 7일차의 우화율은 원예용 상토 50% + 톱밥 25% + 잘게 간 감자 25% 배지에서 55.4%로 가장 높았고 원예용 상토 배지에서 40.8%로 가장 낮았다. 하지만 나머지 조건의 생육배지에서의 우화율이 50% 초 중반대로 가장 높았던 원예용 상토 50% + 톱밥 25% + 잘게 간 감자 25%와 큰 차이를 보이지 않았다. 4령 유충을 접종한지 14일차의 누적우화율은 각 생육배지에 따라 차이가 나타났는데 7일차와 마찬가지로 원예용 상토 50% + 톱밥 25% + 잘게 간 감자 25%가 88.4%로 가장 높았으며, 뒤를 이어 원예용 상토 50% + 오토밀 25% + 잘게 간 감자 25%, 원예용 상토 50% + 톱밥 50%, 원예용 상토 50% + 오토밀 50% 생육배지가 우화율 83.2, 79.6, 71.2이었고, 원예용 상토 배지가 62.4%로 가장 낮았다.

생육배지의 유충 적정 접종밀도

작은뿌리파리의 대량사육을 위한 생육배지의 유충 접종밀도별 우화율을 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 4령 유충을 접종한지 7일차의 성충 우화율은 알 1,000개 접종 시 49.1%로 가장 높았고, 알 7,000개 접종 시 26.3%로 가장 낮았으며, 알 접종량이 많을수록 우화율이 낮았다. 4령 유충을 접종한지 14일차의 누적우화율도 같은 양상을 띠었는데, 알 1,000개 접종 시 84.7%로 가장 높았고, 뒤이어 알 3,000, 5,000개 접종 시 81.4, 58.8%이었으며, 알 7,000개 접종 시 38.7%로 크게 우화율이 떨어졌다.

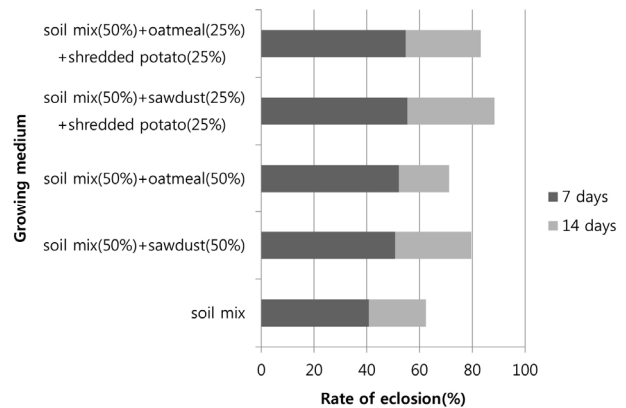


Fig. 1. Effects of different growing media on eclosion rate of *Bradysia difformis*.

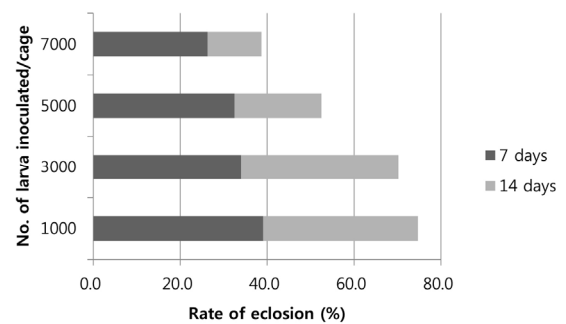


Fig. 2. Effects of four different inoculation levels of larvae on eclosion rate of *Bradysia difformis*.

작은뿌리파리의 생태적 특성

알 부화율

모든 실험 온도에서 알의 부화가 진행되었으나, 부화율은 20°C에서 가장 높았고(88.3%), 25°C에서 두 번째로 높았다(84.4%). 그리고 15°C (61.1%)와 30°C (55.7%)는 위의 온도조건에 비하여 상대적으로 낮았으며, 10°C에서 51.0%의 가장 낮은 부화율을 나타냈다(Fig. 3).

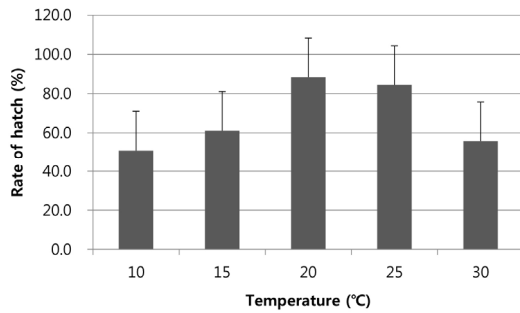


Fig. 3. Hatching rate of *Bradysia difformis* eggs under experimental temperature conditions. The vertical lines indicate the standard deviation of the observed mean.

알, 유충, 번데기 기간과 용화율, 부화율

작은뿌리파리의 알, 유충, 번데기의 발육기간을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 처리온도 10, 15, 20, 25, 30°C에서 알 기간은 각각 13.1, 7.7, 3.5, 3.8, 4.1일이고, 유충기간은 각각 34.3, 25.6, 13.2, 14.7, 15.5일이며, 번데기 기간은 2.0, 6.9, 4.2, 4.3, 3.9일이었다. 온도별로 알부터 번데기까지의 발육기간을 비교해 보면 10°C와 20°C에서는 49.4일과 20.8일로 28.6일의 큰 차이를 보였으나 20°C와 30°C에서는 20.8일과 23.5일로 약간의 차이를 보였으며, 20°C에서 가장 짧은 발육기간을 나타냈다.

Table 2. Developmental period for each of the developmental stages of *Bradysia difformis* at different temperatures

Temperature	Developmental period			
	Egg	Larva	Pupa	Total
10°C	13.1 ± 3.7	34.3 ± 3.3	2.0 ± 4.8	49.4 ± 7.1
15°C	7.7 ± 1.9	25.6 ± 2.3	6.9 ± 2.0	40.2 ± 3.5
20°C	3.5 ± 1.1	13.2 ± 2.0	4.2 ± 1.3	20.8 ± 2.6
25°C	3.8 ± 1.3	14.7 ± 2.2	4.3 ± 1.3	22.7 ± 3.0
30°C	4.1 ± 1.3	15.5 ± 2.5	3.9 ± 1.7	23.5 ± 2.5

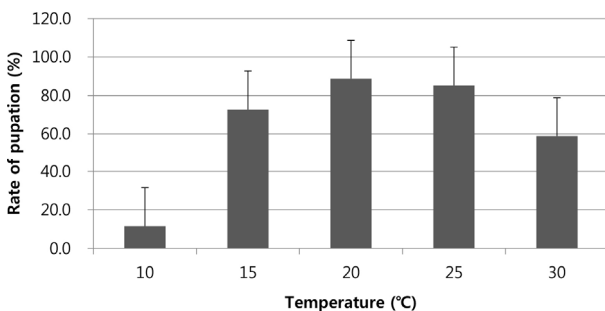


Fig. 4. Pupation rate of *Bradysia difformis* eggs under experimental temperature conditions. The vertical lines indicate the standard deviation of the observed mean.

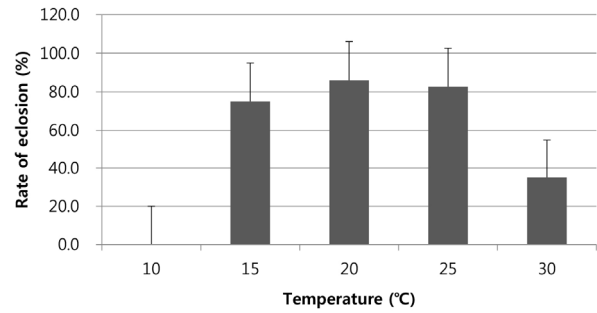


Fig. 5. Eclosion rate of *Bradysia difformis* eggs under experimental temperature conditions. The vertical lines indicate the standard deviation of the observed mean.

모든 실험온도에서 번데기까지의 발육이 진행되었으나, 용화율은 20°C에서 가장 높았고(88.7%), 나머지 온도조건 25°C(85.2%), 15°C(72.7%), 30°C(58.8%) 순서로 상대적으로 용화율이 낮았으며, 10°C에서 11.5%로 현저하게 낮은 용화율을 나타냈다(Fig. 4).

번데기에서 성충으로의 우화는 10°C를 제외한 온도에서 진행되었다. 우화율은 20°C에서 가장 높았고(86.0%), 그에 비해 25°C(82.6%), 15°C(75.0%)는 상대적으로 낮았다. 그리고 30°C에서는 35.0%로 현저하게 낮은 우화율을 나타냈으며, 10°C에서는 성충으로 우화하지 못하였다(Fig. 5).

성충 수명과 산란수

작은뿌리파리의 성충수명과 산란기간, 산란수를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 암컷 성충의 수명은 10, 15, 20, 25, 30°C에서 각각 10.1, 8.2, 5.2, 3.2, 3.0일로 온도가 높아질수록 수명이 짧아졌으며, 수컷 또한 같은 형태이지만 암컷에 비하여 1~2일 정도 긴 것으로 나타났다. 산란기간은 2~3일로 짧고 온도에 따라 큰 차이는 없었다. 총 산란수는 111.3, 125.0, 144.1, 126.4, 101.2개로 20°C에서 가장 많이 산란하였다.

고찰

시설재배지에서 발생하는 작은뿌리파리는 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 다양한 작물에 발생하여 피해를 입힌다는 연구 결과가 보고되어 있다. Harris et al. (1996)는 베고니아, 카네이션, 오이 등 54 종류에 이르는 작은뿌리파리의 기주를 정리하였다. 이외에도 작은뿌리파리에 의한 실제 피해가 확인된 작물 외에 많은 식물을 가해할 것으로 예상되며 온실재배작물에서 연중 내내 발생해 특히 큰 해충으로 인식되고 있다. 이처럼 작은뿌리파리는 광범위한 기주를 가지고 있어 환경조건이 맞을 경

Table 3. Adult longevity, oviposition period, and egg production of *Bradysia difformis*

		Mean ± SD				
		10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
Adult longevity (day)	♀	10.1 ± 2.5	8.2 ± 1.7	5.2 ± 2.3	3.2 ± 1.8	3.0 ± 1.3
	♂	12.1 ± 2.4	9.7 ± 3.3	6.7 ± 2.5	3.9 ± 1.8	3.2 ± 1.3
Oviposition period (day)		2.6 ± 1.4	2.9 ± 1.5	3.1 ± 1.5	2.7 ± 1.5	2.7 ± 1.2
Total number of eggs/female		111.3 ± 33.0	125.0 ± 25.4	144.1 ± 39.8	126.4 ± 37.2	101.2 ± 32.0

우 어느 작물에서든 발생해 피해를 입힐 가능성이 크기 때문에 이에 따른 연구가 필요한 실정이다.

곤충의 발생시기나 발생밀도, 분포 등 작은뿌리파리의 개체군 발생에 영향을 미치는 가장 중요한 물리적 요인 중 하나가 온도이며, 곤충의 밀도 변동을 예측하기 위한 기본적 요소로서 곤충발육과 온도와의 관계를 해석하고자 많은 노력이 있어 왔다(Campbell et al., 1974; Logan et al., 1976; Schoolfield et al., 1981; Lactin et al., 1995; Briere and Pracros, 1998; Briere et al., 1999; Kim et al., 2001). 따라서 본 연구에서는 온도에 따른 작은뿌리파리의 생태적 특성을 살펴보기 위해 5구간의 온도범위(10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C)에서 부화율, 용화율, 우화율과 각 단계별 발육기간을 조사하였다. 그 결과 20°C에서 부화율, 용화율, 우화율이 가장 높았으며, 성충을 제외한 발육기간이 가장 짧았다. 그리고 가장 낮은 온도인 10°C에서 활력이 가장 떨어졌을 뿐만 아니라 우화가 일어나지 않았고, 가장 높은 온도인 30°C에서 다소 부화율, 용화율, 우화율이 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Lee (2002)의 연구에서 15°C 이하의 저온에서 20~25°C에 비해 두 배 이상 발육기간이 길고 30°C 이상에서 발육이 저해되는 양상을 보인 긴수염버섯파리(*Lycoriella mali*)와 같았다. 이 연구에 따르면 실제로 농가에서의 발생양상을 보아도 봄, 가을 재배시(2~6월, 9~11월)에 버섯파리의 발생이 많고 피해가 크지만 여름철 고온재배(6~10월) 시기에는 발생밀도가 낮은 것을 확인할 수 있었다.

사육온도에 따른 암수 성충의 수명과 산란수를 조사한 결과는 온도가 낮을수록 성충의 수명이 길어지는 경향이 있고 수컷이 암컷보다 1~2일 정도 수명이 길었으며, 산란수는 온도에 따른 차이가 있었으나 20°C에서 가장 산란수가 많았다. Sciarid 발육에 대한 Brar and Sandhu (1989)의 연구에서 각 온도에서의 성충 수명이나 단계별 발육기간이 유사하였으며, Snetsinger (1972)는 *Lycoriella* sp.가 7.2, 12.8, 18.3, 23.9, 29.4°C에서 12~40개를 산란하며 18.3°C와 23.9°C에서 산란수가 가장 많아 본 실험과 같은 경향이였다. 따라서 부화율, 용화율, 우화율 및 단계별 발육기간과 성충수명, 산란수를 살펴보았을 때, 20°C의 온도조건이 작은뿌리파리의 발육최적온도로 생각된다.

Sciaridae에 속하는 유충은 잡식성으로 균식성, 부식성 등의 성질을 가지고 있어 썩은 야채더미, 죽은 나무, 부숙퇴비, 낙엽더미, 유기물이 많은 토양이나 토양 중 균류 외에 작물이 자라는 배지나 부식된 식물잔재물을 먹는 토양 서식성 곤충으로서, peat moss와 같은 유기물이 많고 식물잔재물을 포함한 토양 중에서 높은 밀도로 발견된다(Michael et al., 1998; Scheepmaker et al., 1996). 이는 Sciaridae 사육에도 영향을 미쳐 배지영양원에 따라 단계별 발육기간 및 산란수에 차이가 많다고 하였다(Chung and Snetsinger, 1968; Clift and Terras, 1995).

따라서 본 연구에서는 작은뿌리파리를 대량 사육하는데 사용되는 유충 사육배지와 우화케이지의 생육배지 조성을 각기 달리하여 가장 작은뿌리파리 사육에 알맞는 배지를 선발하였다. 작은뿌리파리 유충 사육배지 선발 결과는 부화율, 용화율, 우화율, 산란수가 감자디스크배지에서 가장 높았고 유충기간이 14.7일로 가장 짧았다. 그리고 영양원이 부족했던 물한천배지와 PDA배지에서는 유충기간이 길고 산란수가 적었으며, 대체로 작은뿌리파리 사육에 이용되는 *Penicillium* sp.배지와 원형느타리버섯배지에서 유충기간이 18~21일, 산란수가 90여개로 나타나 감자디스크배지가 유충 사육배지로 가장 적합한 것으로 보인다. 우화케이지의 생육배지 선발 결과는 원예용 상토 50% + 톱밥 25% + 잘게 간 감자 25% 배지가 우화율 55.4%로 가장 높아 생육배지로 선발하였다. Yusima et al. (1991)에 따르면 지중해가루명나방은 사료의 종류에 따라 발육기간과 우화율이 다르다고 하였으며, 온도 28°C와 습도 70% 조건에서 싹겨와 밀기울을 각각 사료로 주었을 때 유충발육기간은 각각 44.5일과 31.5일이었고, 성충 우화율은 각각 88.0%와 83.0%이었다. 직접적인 비교를 할 수 있는 연구는 이전에 이루어지지 않았지만 대부분 곤충이 먹이 조건에 따라 우화율이 다른 것으로 나타나기 때문에 향후 생육배지와 작은뿌리파리 발육과의 관계에 대한 보다 구체적인 조사가 이루어져야 할 것이다.

생육배지의 유충 적정 접종밀도 실험에서는 알 접종량이 많아질수록 우화율은 줄어들었으며 가장 유리한 유충 접종밀도는 우화율과 유충 접종시간, 사육케이지 보관 공간 등 시간과 공간 절감 기준으로 보았을 때, 3,000마리의 유충을 접종하는

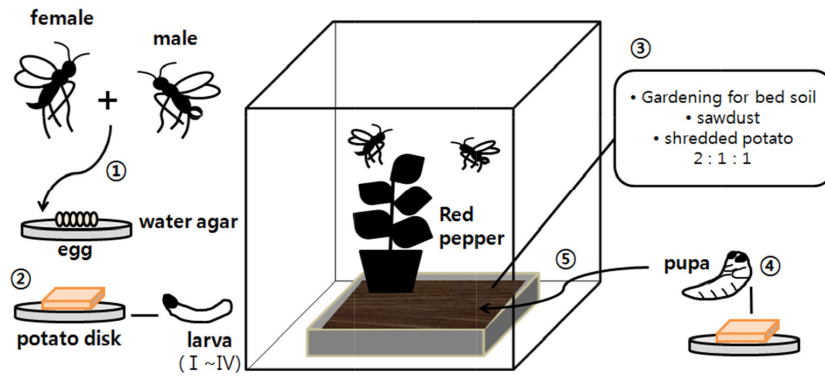


Fig. 6. Mass rearing system for *Bradysia difformis*. ① oviposition (one pair of adult inoculation), ② rearing of larvae (providing potato flasks for food resources), ③ preparation of the emergence cage, ④ transferring potato disks with pupae, and ⑤ adult emergence and oviposition.

것이 가장 효율적인 것으로 조사되었다. Qiu et al. (1980)은 사료 1,000 g에 쌀명나방 알을 각각 1,000개와 2,000개, 3,000개를 접종하였을 때, 성충 우화율이 63.5, 59.0, 32.7%로 본 실험과 유사하게 나왔다. 알 접종밀도와 우화율이 비례하지 않는 이유는 일정한 생육배지 내에 과밀도로 접종할 경우, 먹이가 부족하여 발육에 필요한 충분한 영양을 섭취하지 못하기 때문에, 유충기에 사망하는 개체가 증가하고, 충이 너무 작아 성충 우화율이 낮은 것으로 판단된다(Kim et al., 2003).

작은뿌리파리의 대량사육 시스템은 Fig. 6에서와 같은 ①~⑤단계의 과정으로 구성하였다. 사육단계별 자세한 사항은 다음과 같다.

- ① **알 수확:** 초기 사육상자의 성충 암수 쌍을 물한천배지에 접종하여 교미를 유도하고 산란된 난을 보관한다. 물한천배지는 물 1 L에 한천 20 g을 넣고 끓여 만들며, 실험에 이용할 경우에는 페트리디쉬에 암수 1쌍을 접종하고, 누대사육을 위해서는 페트리디쉬에 암수 5쌍을 접종한다.
- ② **유충 사육:** 3~5일 후, 알이 부화하면 감자조각을 유충의 먹이원으로 공급한다. 감자조각 공급이 완료된 작은뿌리파리 유충 사육 디쉬는 온도 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 광주기 16L:8D, 상대습도 50~60%의 조건의 사육실에서 보관한다. 보관 시에는 수분이 생겨 오염이 되는 것을 방지하기 위하여 배지를 뒤집어 둔다. 그리고 어두운 그늘을 선호하는 작은뿌리파리의 습성을 고려하여 천으로 덮어 어두운 환경을 조성해준다.
- ③ **우화 케이지 준비:** 사육배지 조성은 상토, 톱밥, 잘게 간 감자를 2:1:1로 혼합한다. 혼합한 사육배지로 충전한 사각트레이를 투명아크릴상자에 넣는다. 투명아크릴상자의 3 옆면은 통풍을 위해 철망을 설치하고, 1 옆면은 출입문을 만든다. 성충의 먹이원으로써 어린 고추 묘목을 제공한다.
- ④ & ⑤ **유충 접종 & 성충 우화:** 준비한 우화 케이지의 사육배

지에 4령 유충 시기가 된 사육디쉬의 내용물을 이동시켜준다. 암수 5쌍을 접종한 디쉬의 경우, 500~750마리의 성충이 우화할 것으로 예상되므로 6디쉬를 이동시켜 한 사육상자당 3000마리 정도의 성충이 우화하도록 한다. 성충이 우화하면 다시 ①단계로 돌아가 알 수확을 한다.

기주나 기주상태에 따라 Sciarid 개체의 발육이나 생존율에 영향을 주고, 발생밀도에 영향이 있다는 보고가 잇따르고 있는 만큼(Anas and Reeleder, 1988; Kennedy, 1974; Lindquist et al., 1985) 작은뿌리파리의 방제전략을 세우기 위해서는 대량으로 생산할 수 있는 사육기술이 필요하며, 이에는 먹이자원 선발이 가장 중요하다. 본 실험에서는 작은뿌리파리의 생물적 특성과 사육조건 면에서 선발된 유충 사육배지인 감자디스크배지와 우화케이지의 생육배지 조성이 먹이자원으로서의 역할이 충분하다고 생각한다.

Literature Cited

- Anas, O., Reeleder, R.D., 1988. Consumption of sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* by larvae of *Bradysia coprophila*: Influence of soil factors and interactions between larvae and *Trichoderma viride*. Soil Biol. Biochem. 20, 619-624.
- Binns, E.S., 1981. Fungus gnats (Diptera: Mycetophilidae, Sciaridae) and the role of mycophagy in soil: A review. Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol. 18, 77-90.
- Brar, D.S., Sandhu, G.S., 1989. Biology of sciarid fly, *Bradysia tritici* (COQ), (Diptera: Sciaridae) on temperate mushroom in the Punjab (India). Mush. Sci. 12(2), 831-842.
- Briere, J.F., Pracros, P., 1998. Comparison of temperature-dependent growth models with the development of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Environ. Entomol. 27, 94-101.
- Briere, J.F., Pracros, P., Le Roux, A.Y., Pierre, J.S., 1999. A novel

- rate model of temperature-dependent development for arthropods. *Environ. Entomol.* 28, 22-29.
- Cabrera, A.R., Cloyd, R.A., Zaborski, E.R., 2003. Effect of monitoring technique in determining the presence of fungus gnat, *Bradysia* spp. (Diptera: Sciaridae), larvae in growing medium. *J. Agric. Urban Entomol.* 20, 41-47.
- Campbell, A., Frazer, B.D., Gilbert, N., Gutierrez, A.P., 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *J. Appl. Ecol.* 11, 431-438.
- Chung, S.L., Snetsinger, R., 1968. Comparative effects of certain environmental factors upon the life cycles of two species of mushroom infesting cecid flies. *Mush. Sci.* 7, 247-256.
- Clift, A.D., Terras, M.A., 1995. Interactions between three species of mushroom Cecids (Diptera: Cecidomyiidae) and three hybrid strains of the cultivated mushroom *Agaricus bisporus*. *Aus. J. Agric. Res.* 46(3), 627-632.
- Dennis, D.J., 1978. Observations of fungus gnat damage to glasshouse cucurbits. *N. Z. J. Experi. Agric.* 6, 83-84.
- Gardiner, R.B., Jarvis, W.R., Shipp, J.L., 1990. Ingestion of *Pythium* spp. by larvae of the fungus gnat *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Ann. Appl. Biol.* 116, 205-212.
- Gillespie, D.R., 1986. A simple rearing method for fungus gnats *Corynoptera* sp. (Diptera: Sciaridae) with notes on life history. *J. Entomol. Soc. British Columbia.* 83, 45-48.
- Harris, M.A., Oetting, R.D., Gardner, W.A., 1995. Use of entomopathogenic nematodes and a new monitoring technique to control fungus gnats, *Bradysia coprophila* (Diptera: Sciaridae), in floriculture. *Biol. Con.* 5, 412-418.
- Harris, M.A., Gardner, W.A., Oetting, R.D., 1996. A review of the scientific literature on fungus gnats (Diptera: Sciaridae) in the Genus *Bradysia*. *J. Entomol. Sci.* 31(3), 252-276.
- Helen, S.S., 1936. Genetic studies on selective segregation of chromosomes in *Sciara coprophila* Linter. *Genetics.* 21, 421-436.
- Jagdale, G.B., Casey, M.L., Grewal, P.S., Lindquist, R. K., 2004. Application rate and timing, potting medium, and host plant effects on the efficacy of *Steinernema feltiae* against the fungus gnat, *Bradysia coprophila*, in floriculture. *Biol. Con.* 29, 296-305.
- Jarvis, W.R., Shipp, J.L., Gardiner, R.B., 1993. Transmission of *Pythium aphanidermatum* to greenhouse cucumber by the fungus gnat *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Ann. Appl. Biol.* 122, 23-29.
- Kennedy, M.K., 1973. A culture method for *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 66, 1163-1164.
- Kennedy, M.K., 1974. Survival and development of *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae) on fungal and non-fungal food sources. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 67, 745-749.
- Kim, D.S., Lee, J.H., Yiem, M.S., 2001. Temperature-dependent development of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) and its emergence models. *Environ. Entomol.* 30, 298-305.
- Kim, H.H., Jeon, H.Y., Yang, C.Y., Kang, T.J., Han, Y.K., 2009. Transmission of *Fusarium oxysporum* by the fungus gnat, *Bradysia difformis* (Diptera: Sciaridae). *Res. Plant Dis.* 15(3), 262-265.
- Kim, J.H., Kim, Y.H., Gho, H.G., Han, M.W., Lee, G.S., 2003. Biological characteristics and mass rearing system for *Cadra cautella* (Walker) as a substitute diet for natural enemies. *Korean J. Appl. Entomol.* 42(3), 203-209.
- Lactin, D.J., Holliday, N.J., Johnson, D.I., Craigen, R., 1995. Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. *Environ. Entomol.* 24, 68-75.
- Lee, S.H., Lim, E.K., Choi, K.H., Lee, J.P., Lee, H.O., Kim, I.S., Moon, B.J., 2002. Isolation and identification of entomopathogenic bacteria for biological control of the mushroom fly, *Lycoriella mali*. *Korean J. Mycol.* 30, 44-49.
- Lee, H.S., Kim, T.S., Shin, H.Y., Kim, H.H., Kim, K.J., 2001. Host plant and damage symptom of fungus gnats, *Bradysia* spp. (Diptera: Sciaridae) in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 40, 149-153.
- Lindquist, R.K., Faber, W.R., Casey, M.L., 1985. Effect of various soilless root media and insecticides on fungus gnats. *HortSci.* 20, 358-360.
- Logan, J.A., Wolkind, D.J., Hoyt, S.C., Tanigoshi, L.K., 1976. An analytical model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. *Environ. Entomol.* 5, 1113-1140.
- Michael, R.E., Smith, J.N., Raymond, A.C., 1998. Fungus gnat population development in coconut coir and Sphagnum peat-based substrates. *HortTechnol.* 8, 406-409.
- Park, C.G., Yoo, J., Sasakawa, M., Choo, H.Y., Kim, H.H., Lee, H.S., 1999. Notes on newly recorded insect pest, *Bradysia agrestis* (Diptera: Sciaridae). *Korean J. Appl. Entomol.* 38, 59-62.
- Qiu, S.B., Tien, Y.Q., Zuou, W.R., Weiru, J.J., Wang, C.X., Wang, Z.G., 1980. Improved technique for mass rearing rice moth. *J. Plant Protec.* 7, 153-158.
- Roberts, D.R., 1992. Insect-, disease-suppressive mixes help growers minimize crop losses. *Greenhouse Manag.* 11, 68-71.
- Scheepmaker, J.W.A., Geels, F.P., van Griensven, L.J.L.D., Smits, P.H., 1996. Substrate dependent larval development and emergence of the mushroom pests *Lycoriella auripila* and *Megaselia halterata*. *Entomol. Exp. Appl.* 79, 329-334.
- Schoolfield, R.M., Sharpe, P.J.H., Mugnison, C.E., 1981. Nonlinear regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction-rate theory. *J. Theoret. Biol.* 66, 21-38.
- Snetsinger, R., 1972. Laboratory studies of mushroom-infesting arthropods. *Mush. Sci.* 8, 199-208.
- Springer, T.L., Carlton, C.E., 1993. Oviposition preference of dark winged fungus gnats (Diptera: Sciaridae) among *Trifolium* species. *J. Econ. Entomol.* 86, 1420-1423.
- Steffan, W.A., 1966. A generic revision of the family Sciaridae (Diptera) of America north of Mexico. University of California Publications in Entomology. 44, 77 pp.
- Yusima, S., Kamano, S.N., Tamaki, Y.O., 1991. Rearing methods of insects. *Japan Crop Prot. Assoc.* 392 pp.