

국내 양송이버섯 재배 중 발생하는 버섯파리류 분자생물학적 종 동정

윤정범 · 김형환* · 정충렬¹ · 강민구² · 권선정 · 김동환 · 양창열 · 서미혜
국립원예특작과학원 원예특작환경과, ¹국립산림과학원 산림약용자원연구소, ²경상북도농업기술원 농업환경과

Molecular Identification of the Dominant Species of Dark-winged Fungus Gnat (Diptera: Sciaridae) from Button Mushroom (*Agaricus bisporus*) in Korea

Jung-Beom Yoon, Hyeong-Hwan Kim*, Chung-Ryul Jung¹, Min-Gu Kang², Sun-Jung Kwon, Dong-Hwan Kim, Chang-Yeol Yang and Mi-Hye Seo
Horticultural and herbal crop environment division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, 100, Nongsaengmyeong-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do 55365, Korea

¹Forest medical resources research center, National Institute of Forest Science, 2009, Sobaek-ro, Punggi-eup, Yeongju-si, Gyeongsangbuk-do 36040, Korea

²Gyeongbuk-do Agricultural Research and extension Services, 47, Chilgokjungang-daero 136-gil, Buk-gu, Daegu 41404, Korea

ABSTRACT: The dark-winged fungus gnats are one of the most serious fly pests attacking the mushroom cultivation in Korea. They cause severe damage to the artificial sawdust beds used to cultivate mushroom, and reduce the production of button mushroom, *Agaricus bisporus*, in greenhouses. In this study, we collected nine species of the mushroom flies in order to identify the dominant species of the dark-winged fungus gnat attacking the *A. bisporus* plantation using the yellow sticky trap in Buyeo-gun, Boryeong-gun, Yongin-si and Chilgok-gun from April to June 2015. The collected samples were used to determine the DNA sequence of the cytochrome *c* oxidase subunit I (COI) of the nine different species by DNA barcoding. The sequencing results showed that *Lycoriella ingenua* was the dominant dark-winged fungus gnat species destroying *A. bisporus* cultivated on the artificial sawdust beds in Korea.

Key words: *Agaricus bisporus*, Sciaridae, *Lycoriella ingenua*, DAN barcoding

초 록: 버섯파리는 국내 양송이 균상 재배지에서 발생하여 버섯 균사와 자실체를 가해하고 간접적으로는 병을 매개하여 피해를 해마다 증가하고 있다. 부여군 세도면, 보령시 성주면, 용인시 남사면, 칠곡군 약목면 등 총 4개 지역의 버섯 재배사에서 끈끈이트랩을 이용하여 채집한 버섯파리 성충을 DNA barcoding 방법으로 Cytochrome Oxidase I (CO I)의 염기서열 분석을 통해 종 동정을 실시하였다. 그 결과 4개 조사지역의 양송이에서 발생하는 버섯파리는 모두 긴수염버섯파리(*Lycoriella ingenua*)로 동정되었다.

검색어: 양송이, 검정날개버섯과, 긴수염버섯파리, DNA 바코딩

국내 양송이 생산량은 2000년 21,813 M/T로부터 점차적으로 감소하여 최근 2013년에는 6,678 M/T까지 줄어들었다 (MAFRA, 2013). 이와 같은 생산량 감소는 배지재료의 가격, 인건비의 상승 등에 의한 낮은 수익성뿐만 아니라 병해충에 의한 기형버섯 발생과 품질저하도 직접적인 원인이다.

버섯을 가해하는 주요 해충으로는 크게 버섯파리류, 응애류, 선충류로 나눌 수 있으며 이러한 해충들은 일단 재배 중에 발생

하면 버섯과 배지 모두 피해를 준다. 이 중 버섯파리류는 유기물과 균사 등이 먹이원이기 때문에 기주 범위가 넓어 여러 버섯의 주요 해충으로 알려져 있다. 버섯파리류의 유충은 식균성 (mycophagous maggots)으로 배지에서 성장하는 버섯 균사와 자실체를 갉아먹어 상하게 하고, 간접적으로는 병을 매개하여 복합피해를 유발시킨다(Menzel et al., 2003; Kwon et al., 2013). 성충 또한 병균, 선충, 응애 등 각종 오염원의 매개체로 간접적인 피해를 일으킨다(Shamshad, 2012; Lee et al., 2015). 특히 양송이버섯 균상재배는 발효퇴비, 볏짚 등 유기물이 풍부한 영양원인 배지를 사용하여 연중 재배하기 때문에 버섯파리 서식에 최적의 환경조건과 함께 재배사의 집단화 등으로 해마

*Corresponding author: hhkim8753@korea.kr

Received August 29 2016; Revised October 31 2016

Accepted November 8 2016

다 버섯파리류에 의한 피해가 증가하고 있다. 게다가 버섯파리 방제용으로 등록된 약제는 diflubenzuron (양송이, 느타리), teflubenzuron (버섯) 2종류 뿐이며, 양송이버섯의 경우 등록된 약제마저도 복토 전 2회 처리하는 것이 일반적이며, 복토 후에는 농약잔류문제로 약제사용에 제약이 많아 방제가 어려운 실정이다.

한편 국내 표고버섯에서 발생하는 버섯파리류로는 긴수염 버섯파리 (*Lycoriella ingenua*, syn. *L. solani*, *L. mali*) (Frank, 1999; Gotoh et al., 1999; White and Smith, 2000; Mariusz et al., 2004; Gyeonggi-do, 2008; Fletcher and Gaze, 2008; Kitajima and Kawashima, 2013)를 비롯하여 작은뿌리파리 (*Bradysia difformis*), *Bradysia alpicola* (가칭, 큰검정버섯파리), *Camptomyia corticalis* (가칭, 표고버섯혹파리), *Camptomyia heterobia*, *Bradysia longimentula*, *Bradysia trispinifera*, *Bradysia chorocornea*, *Bradysia protohilaris*, *Leptosciarella (Leptospina) subdentata*, *Scatopsiara camptospina*, 털파리붙이과 (Scatopsidae sp), *Xylosciara inornata* 종이 보고되었으며(Kim et al., 2012; Shin et al., 2012; Kwon et al., 2013), 국내 느타리에 발생하는 종은 긴수염버섯파리, 털파리붙이(*Coboldia fuscipes*), 버섯혹파리 (*Mycophila speyeri*), *Mycetophila* sp., *Bradysia* sp., 버섯벼룩파리(*Megaselia tamiladuensis*) 종이 보고되었으나(Kim and Hwang 1996; Kim et al., 1999, 2012; Lee, 1999; Lee et al., 1999; Lee and Kim 2003; Kim et al, 2004; Yi et al., 2008; Shin et al., 2012), 국내 양송이버섯에 발생하는 버섯파리류는 아직까지 보고된 바가 없다.

본 논문에서는 국내 주요 양송이버섯을 재배하는 지역에서 발생하는 버섯파리의 정확한 종 분석을 위해 Kwon (2013) 등을 참고하여 DNA barcoding 방법으로 버섯파리의 종을 동정하였다.

재료 및 방법

버섯파리 성충 채집

양송이 재배지에서 발생하는 버섯파리 성충 채집은 2015년 4월부터 6월까지 부여군 세도면, 보령시 성주면, 용인시 남사면, 칠곡군 약목면 등 총 4개 지역의 버섯 재배사에서 채집하였다(Fig. 1). 채집 당시 모든 재배사에서 버섯이 건전하게 생육 중이었고, 버섯파리의 발생도 많았다.

버섯파리의 성충을 채집하기 위해 황색 끈끈이트랩(끈끈이트랩, 황색 150 × 250 mm, 그린아그로텍)을 재배 베드 마다 2 m의 간격으로 1장씩, 총 10장을 재배사 바닥에서부터 약 150

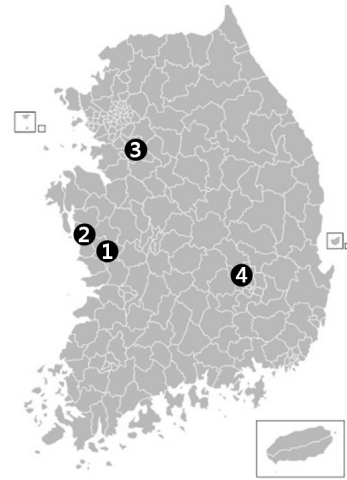


Fig. 1. Sampling locations of the dark-winged fungus gnats in Korea. (1) Buyeo-gun, Chungcheongnam-do; (2) Boryeong-gun, Chungcheongnam-do; (3) Yongin-si, Gyeonggi-do; and (4) Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do.

cm 높이에 설치하였고 2주에 한번 새것으로 교체하면서 위치를 바꾸어 재설치 하였다. 각 지역에서 발생하는 버섯파리의 정확한 종 동정을 위해 황색 끈끈이트랩에 유살된 성충 50개체 이상을 1.5 ml 튜브에 한 개체씩 옮긴 후 실험실로 가져와 1개체 별로 genomic DNA 추출에 이용하였다. 채집한 버섯파리 성충의 개체명은 지역의 영문 머리글자와 채집날짜를 이용하여 표시하였다.

DNA 추출 및 염기서열 분석

지역별로 채집된 버섯파리 성충의 genomic DNA 추출은 DNeasy Blood and Tissue kit (QIAGEN, Inc)를 사용하였다. 버섯파리는 액체질소를 이용하여 마쇄 후 lysis buffer와 protease K 용액을 제품 사용설명서에 따라 각각 60°C에서 2시간 용해시켰다. 이후 column을 이용하여 순화한 후 elution buffer에 녹여서 PCR에 이용하였다. PCR은 Bioneer Taq DNA Polymerase를 사용하고 LCO1490 (5'-GGTCAACAAATCA-TAAAGATATTGG-3')와 HCO12198 (5'-TAAACTTCAGG-GTGACCAAAAAATCA-3') primer set을 이용하여 COI 유전자를 증폭하였다(Folmer et al., 1994). PCR은 BIO-RAD thermo cycler (C1000 Touch™)을 이용하였고 조건은 다음과 같다.

PCR 조건은 초기 94°C에서 2분간 불활성화 단계를 거친 후, 35반복으로 증폭단계를 거쳤다. 증폭과정은 94°C에서 1분간 변성단계를 거쳤고 프라이머 결합반응은 50°C 1분이었고 72°C에서 30초의 사슬연장 단계로 구성되었다. 이후 최종 사슬연장 단계가 추가로 72°C에서 10분간 이루어졌다. PCR 생성물

은 ethidium bromide로 염색하여 2%의 agarose gel을 사용하여 전기영동을 통해 확인하였다. 이후 QIAquick PCR purification kit (QIAGEN, Inc)을 사용하여 정제한 후 바이오니아(Bioneer Corporation, 대전)에 염기서열 분석을 의뢰하였다.

계통도 작성

분석된 Cytochrome Oxidase I (CO I) 서열은 NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>)의 nucleotide blast를 이용하여 등록된 염기서열과 유사도를 비교하였다. 분석된 CO I 염기서열은 BioEdit (Ver. 7.2.5, <http://www.mbio.ncsu.edu/bioedit/bioedit.html>) (Hall, 1998)의 Clustal X multiple alignment method를 이용하여 염기서열의 길이를 정리하였다. 계통도는 MEGA 6 (Ver. 6.06, <http://www.megasoftware.net>)의 neighbor-joining (NJ) method 방법과 1,500번의 bootstrap 회전수 그리고 Kimura 2-parameter model을 사용하여 작성하였다(Tamura et al., 2007; Tamura et al., 2011).

결과 및 고찰

국내 4개 지역 균상재배 양송이에서 발생하는 버섯파리의 종 동정을 위해 염기서열 분석을 실시한 결과, 모든 조사지역의 버섯파리는 검정날개버섯파리(Sciaridae) 긴수염버섯파리(*Lycoriella ingenua*)로 동정되었으며(Fig. 2), 트랩에 채집되진 않았지만 재배사 출입문에서 1% 미만의 밀도로 털파리붙이류(Scatopsids)가 관찰되었다. 털파리붙이류의 유충은 균사가 없는 배지를 주로 가해하고 버섯에는 큰 피해를 주지 않으며(Gyeonggido, 2008), 주로 오래된 배지에서 많이 발생한다. 본 실험에서는 성충만을 대상으로 짧은 기간에 조사하여 털파리붙이류가 관찰되지 못했을 가능성도 배제할 수 없다. 일부 부여 양송이 재배 농가에서 배지 위에 서식하는 황백색 유충이 때때로 발견되는 것이 이를 뒷받침한다.

Kim (2012) 등과 Shin (2012) 등은 유기물이 많은 톱밥으로 재배하는 표고버섯에서 발생하는 버섯파리류로는 긴수염버섯파리와 작은뿌리파리가 우점종이었으며, Kwon (2013)은 원목을 이용하는 표고버섯 재배지에서는 작은뿌리파리와 *Bradysia alpicola*가 우점종이며 톱밥배지로 표고버섯을 재배하는 농가의 경우, 작은뿌리파리와 털파리붙이류(*Scatopsidae* sp.) 외에 긴수염버섯파리가 동정되었다고 보고하였다.

이러한 보고들과 본 연구의 결과들을 종합하면 긴수염버섯파리와 작은뿌리파리는 발효퇴비, 볏짚 등 유기물이 풍부하고 습한 환경을 선호하는 것을 알 수 있었다.

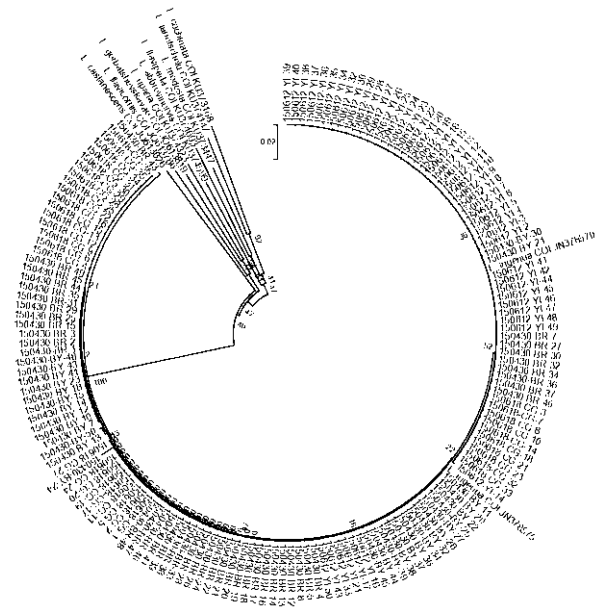


Fig. 2. Phylogenetic tree of *Lycoriella ingenua* captured from the *Agaricus bisporus* growth cabinets of Buyeo-gun, Boryeong-gun, Yongin-si, and Chilgok-gun in 2015. The sequence information of the cytochrome *c* oxidase subunit I (COI) of the nine species belonging to the genus *Lycoriella* registered at the National Center for Biotechnology Information (NCBI) were used for analysis (*L. gerbatshevskayae*, *L. flavicornis*, *L. flavipeda*, *L. riparia*, *L. janetscheki*, *L. modesta*, *L. castanescens*, *L. abbrevinervis*, and *L. cochleata*).

국의 양송이에 발생하는 버섯파리는 검정날개버섯파리과(Sciaridae)에 속하는 *Lycoriella castanescens* (syn. *L. auripila*), 긴수염버섯파리 외에 *Bradysia* spp., 벼룩파리과(Phoridae)에 속하는 버섯벼룩파리(*Megaselia halterata*), *M. nigra*, 유생생식 흑파리과(Cecidomyiidae)에 속하는 버섯흑파리(*Mycophila speyeri*), *Heteropeza pygmaea*, 비유생생식 흑파리과에 속하는 *Lestremia cinerea*, *L. leucophaea*, 애기똥파리과(Sphaeroceridae)에 속하는 *Pullimosina heteroneura*, 초파리과(Drosophilidae:fruit flies) 외에 털파리붙이과(Scatopsidae), Anisopodidae (Wood gnat), 나방파리과(Psychodidae)가 있다(Fletcher and Gaze, 2008).

이렇듯 국외 양송이뿐만 아니라 서론에서 언급했듯이 국내 표고, 느타리버섯 재배지에서 발생하는 버섯파리는 다양한 종들이 보고되었으나, 국내 4개 지역의 양송이버섯 재배지에서 채집한 버섯파리의 모든 개체수가 긴수염버섯파리 단일종인 결과는 매우 흥미롭다. 이와 같이 양송이 재배사에서 버섯파리 단일종이 조사된 결과는 다양한 원인에 의해서 나타날 수 있을 것으로 생각된다.

양송이 퇴비배지의 탄소원으로 국외에서는 주로 마분과 밀짚이 사용되고 있으나 국내에서는 볏짚을 이용한 배지를 개발하여 사용하고 있다(Kim et al., 2010; Lee et al., 2014). 과거에

는 선별된 절단뿔 등의 재료를 인력으로 퇴적하여 퇴비질이 양호했으나, 최근에는 뿔 수급이 어려워 20-25% 사용량이 감소되었으며, 당해 연도에 수확한 선별되지 않은 통뿔질을 사용하여 충분한 연화가 이루어지지 않아 가스가 많이 발생하는 문제점(Chang, 2003; Jhune et al., 2010)과 포크레인을 활용한 간이생력화 방법으로 퇴비를 혼합, 제조하고 있어 불균일한 배지덩이가 나오는 등 여러 가지 부작용이 발생하고 있다(You, 2003; Jhune et al., 2010).

또한 요소와 계분 위주의 첨가재 사용으로 중균 접종 후 양송이가 이용할 수 있는 질소원의 고갈, 세균성갈반병 예방을 위한 수확기 관수횟수의 감소, 복토두께의 증가 등으로 인한 복토층의 균사활력 부진(Jhune et al., 2010), 복토재료로 채취된 소독, 살균과정 없이 사용된 강, 전답의 흙에서 발생하는 각종 병해충의 피해로 생산량이 감소하는 경우가 많다(Lee et al., 2014). Jhune (2010) 등은 모든 재배 농가에는 폐상퇴비 및 버섯 잔재물이 재배사 주변에 그대로 방치되어 있으며 이것이 지금 재배사내의 병해충 발생의 원인 중 하나인 것으로 판단하였다.

본 연구에서 모든 조사지역의 Sciarids 버섯파리가 긴수염버섯파리로 동정된 결과는 양송이버섯의 배지재료, 배지제조과정, 버섯재배와 관리방법 등의 변화에 의한 서식환경의 변화로 추정하지만, 버섯 품종에 따른 발생종의 차이 등은 더 많은 연구가 필요할 것이다.

Lee (1999) 등이 국내 느타리 재배사에 발생하는 버섯파리 *Lycoriella mali* 의 형태적 동정에 관해 보고하였고 Bae (2001) 등이 CO I sequence 분석으로 국내 느타리버섯 재배사에 발생하는 버섯파리 *Lycoriella mali*, 털파리붙이 2종을 보고하였다. Kim (2001) 등은 표고 톱밥재배지의 *Lycoriella mali*의 방제약제에 관해 보고하였으며 그 후 최근까지 표고, 느타리버섯의 가해 종으로 *Lycoriella mali* 에 관해 다수 보고되었다.

그러나 Frank (1999)는 *Lycoriella ingenua* (DUFOR)와 *Lycoriella mali* (FITCH)를 동일종이라 하였으며 Gotoh (1999) 등, White and Smith (2000), Mariusz (2004) 등, Gyeonggido (2008), Fletcher and Gaze (2008), Kitajima and Kawashima (2013) 등도 *Lycoriella ingenua* (DUFOR), *Lycoriella mali* (FITCH), *Lycoriella solani* (WINNERTZ) 모두 동종이명(동일종)이라고 보고하였다.

한편 최근 국내에서는 버섯에 발생하는 *Lycoriella ingenua* 와 *Lycoriella mali*를 검정날개버섯파리(Kim et al., 2012), 큰검정버섯파리(Kim et al., 2014), 긴수염버섯파리(Lee et al., 2015) 등 동일종을 칭하는 국명이 혼용되어 사용되어지고 있다. *Lycoriella ingenua*는 *Lycoriella mali*와 동일종이므로 검정날개버섯파리(Sciaridae)에 속하는 *Lycoriella ingenua* (= *Lycoriella*

mali)를 긴수염버섯파리로 통일시키는 것이 바람직하다.

사 사

이 연구는 2016년도 농촌진흥청 국립원예특작과학원의 공동연구비(PJ011125022016)로 수행된 연구결과입니다. 본 논문이 완성되기까지 버섯파리의 조사 및 분석을 위해 아낌없이 헌신해 주신 김소영님, 권해경님, 박은영님, 서미경님, 유종완님, 이미선님, 이정화님, 임정희님, 임유리님, 원성민님, 전은정님, 최성훈님, 한정환님께 진심으로 감사의 말씀을 전합니다.

Literature Cited

- Bae, J.S., Kim, I.S., Kim, S.R., Jin, B.R., Sohn, H.D., 2001. Mitochondrial DNA sequence variation of the mushroom pest flies, *Lycoriella mali* (Diptera: Sciaridae) and *Coboldia fuscipes* (Diptera: Scatopsidae), in Korea. Appl. Entomol. Zool. 36(4), 451-457.
- Chang, H.Y., 2003. <http://m.blog.daum.net/kenny7978/136> (accessed on 16 Aug, 2016).
- Fletcher, J.T., Gaze, R.H., 2008. Mushroom pest and disease control, A colour handbook. Manson publishing, UK, pp. 145-165.
- Folmer O., Black, M., Hoef, W., Lutz, R., Vrijenhoek, R., 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. Molecular Marine Biology and Biotechnology. 3, 294-299.
- Frank, M., 1999. Revision der paläarktischen Trauermücken (Diptera, Sciaridae) unter besonderer Berücksichtigung der deutschen Fauna. Inauguraldissertation, 355.
- Gotoh, T., Nakamuta, K., Tokoro, M., Nakashima, T., 1999. Copulatory behavior and sex pheromones in sciarid fly, *Lycoriella mali* (Fitch) (Sciaridae: Diptera). Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 43, 181-184.
- Gyeonggido Agricultural Research & Extension Services Mushroom research station, 2008. The right to know mushroom. Nature-human, Gyeonggido, 172.
- Jhune, C.S., Jang, K.Y., Jeong, J.C., Lee, C.J., Kong, W.S., Yoo, Y.B., 2010. Field research of cultivation technique for stable production of common mushroom (*Agaricus bisporus*). J Mushroom. 8(3), 122-130.
- Kim, G.H., Yoo, J.S., Koo, C.D., Lee, S.G., Park, J.D., 2001. Selection of insecticides for controlling *Lycoriella mali* in *Letinula edodes* sawdust cultivation. The Korean Society Of Pesticide Science. 5, 62-66.
- Kim, H.H., Cho, M.R., Kang, T.J., Ahn, S.J., Lee, C.J., Cheong, J.C., 2012. Damage and biological control of dark winged fungus gnats, *Lycoriella ingenua* (Diptera: Sciaridae) in a shiitake

- cultivation. *J Mushrooms*. 10(4), 184-190.
- Kim, H.H., Choo, H.Y., Lee, D.H., Lee, H.S., Jeon, H.Y., Ha, P.J., 2004. Biological control of *Mycophila speyeri* Barnes (Diptera: Cecidomyiidae) using Korean *Steinernema* and *Heterorhabditis* isolates in *Pleurotus ostreatus* cultivation house. *Kor. J. Appl. Entomol.* 43(3), 233-239.
- Kim, H.H., Kim, D.H., Jung, Y.H., Yang, C.Y., Kang, T.K., Jeon, S.W., 2014. Attract effect of mushroom flies with different wavelength of light emitting diode (LED). *J Mushrooms*. 12(4), 375-378.
- Kim, H.K., Lee, B.J., Kim, Y.G., Yun, Y.U., Yang, E.S., Kim, H.G., 2010. Study of the composting method using wheat straw on *Agaricus bisporus* cultivation. *J Mushrooms*. 8(1), 33-36.
- Kim, K.C., Hwang, C.Y., 1996. An investigation of insect pest on the mushroom (*Lentinus edode*, *Pleurotus ostreatus*) in south region of Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 35, 45-51.
- Kim, S.R., Choi, K.H., Cho, E.S., Yang, W.J., Jin, B.R., Sohn, H.D., 1999. An investigation of the major dipteran pests on the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 38, 41-46.
- Kitajima, H., Kawashima, Y., 2013. Artificial diet for larvae of the mushroom fly *Neoempheria ferruginea* and determination of larval instars by head capsule widths. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 57(2), 79-84.
- Kwon, S.J., Kim, H.H., Song, J.S., Kim, D.W., Cho, M.R., Yang, C.Y., Kang, T.J., Ahn, S.J., Jeon, S.W., 2013. Molecular identification of fungus gnats from shiitake mushroom in Korea. *J Mushrooms*. 11(4), 201-207.
- Lee, B.E., Yoon, M.H., 2014. Effects of microorganism density and mushroom yields according to the sterilization of casing soils at the cultivation of button mushrooms. *Journal of Mushrooms*. 12(3), 220-225.
- Lee, B.J., Lee, M.A., Kim, Y.G., Lee, K.W., Lee, B.E., Seo, G.S., 2015. Damages and developmental characteristics of fungus gnat, *Lycoriella ingenua* (Diptera: Sciaridae) in button mushroom cultivation. *J Mushrooms*. 13(2), 145-150.
- Lee, C.J., Yoo, Y.M., Jhune, C.S., Cheong, J.C., Moon, J.W., Kong, W.S., Suh, J.S., Kim, Y.G., Lee, H.S., 1999. The control of oyster mushrooms. *Journal of Mushrooms*. 3(2), 141-149.
- Lee, H.S., Kim, K.C., Park, C.G., Shin, W.K., 1999. Description of fungus gnat, *Lycoriella mali* Fitch (Diptera: Sciaridae) from Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 38, 209-212.
- Lee, H.S., Kim, K.J., 2003. Report on *Mycophila speyeri* Barnes (Diptera: Cecidomyiidae) as a Pest of Mushroom Cultivation in Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 42(1), 71-75.
- MAFRA, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2000~2013. Major statistics of Agriculture, Food and Rural Affairs.
- Mariusz, L., Agnieszka, S., Andrzej, B., 2004. Biology and morphometry of *Lycoriella ingenua* (Diptera: Sciaridae). *BIOL. LETT.* 2004, 41(1), 41-50.
- Menzel, F., Smith, J.E., Colauto, N.B., 2003. *Bradysia difformis* Frey and *Bradysia ocellaris* (Comstock): two additional neotropical species of black fungus gnats (Diptera: Sciaridae) of economic importance: a redescription and review. *Ann. Entomol.* 96, 448-457.
- Shamshad, A., 2012. The development of intergrated pest management for the control of mushroom sciarid flies, *Lycoriella ingenua* (Dufor) and *Bradysia ocellaris* (Comstock), in cultivated mushrooms. *Pest Manag Sci.* 66, 1063-1074.
- Shin, S.G., Lee, H.S., Lee, S.H., 2012. Dark winged fungus gnats (Diptera: Sciaridae) collected from shiitake mushroom in Korea. *J Asia-Pacific Entomol.* 15, 174-181.
- Tamura, K., Dudley, J., Nei, M., Kumar, S., 2007. Mega4: Molecular evolutionary genetics analysis (MEGA) software version 4.0. *Mol. Biol. Evol.* 24, 1596-1599.
- Tamura, K., Peterson, D., Peterson, N., Stecher, G., Nei, M., Kumar, S., 2011. Mega5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Mol. Biol Evol.* 28, 2731-2739.
- White, P.F., Smith, J.E., 2000. Population development of mushroom pests on species and strains of *Agaricus*. *Science and Cultivation of Edible Fungi*, van Griensven(ed.), 707-712.
- Yi, J.H., Park, I.K., Choi, K.S., Shin, S.C., Ahn, Y.J., 2008. Toxicity of medicinal plant extracts to *Lycoriella ingenua* (Diptera: Sciaridae) and *Coboldia fuscipes* (Diptera: Scatopsidae). *J. Asia Pac. Entomol.* 11, 221-223.
- You, C.H., 2003. History of mushroom industry in Korea. *J Mushrooms*. 1(1), 1-8.