菌床シイタケ害虫ナガマドキノコバエの日周活動

北島 博*・所 雅彦

(独) 森林総合研究所

Diel Activity Pattern of *Neoempheria ferruginea* (Brunetti) (Diptera: Mycetophilidae), a Harmful Fungus Fly in *Lentinula edodes* Sawdust-Based Cultivation. Hiroshi KITAJIMA* and Masahiko TOKORO Forestry and Forest Products Research Institute; Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 56: 19-22 (2012)

Abstract: The diel activity pattern of *Neoempheria ferruginea*, a harmful fungus fly in the sawdust-based cultivation of shiitake, *Lentinula edodes*, was studied at 20°C under a photoperiodic regime consisting of a 16-h photophase and an 8-h scotophase. Adult eclosion occurred at photophase in 93% of males and 95% of females. Adult activities showed two peaks: one around when the light was turned off and the other soon after the light was turned on. Copulation occurred mainly around when the light was turned off (40%) or on (40%). These results suggest that the adults are active mainly at dusk and dawn under natural conditions. The duration of copulation was 16.6 ± 7.7 h (mean $\pm$ SD).

Key words: Adult emerging; circadian rhythm; copulation, *Lentinula edodes*; *Neoempheria ferruginea*

ナガマドキノコバエ *Neoempheria ferruginea* (Brunetti) (Diptera: Mycetophilidae) は、北海道から宮崎県にいたる日本各地の菌床シイタケ栽培施設で大発生している害虫である(岩澤, 1999; 坂田ら, 1999; 川島, 2009; 矢野, 2009)。本種の幼虫は、菌床や子実体を食害する他、子実体の傘裏に潜んで異物混入を引き起こす危険性が高い。このため、収穫後に子実体への虫体の付着の有無を確認する作業が、生産者の大きな負担となっている。

本種成虫を捕殺するために、光や乳酸菌飲料(岩澤, 1999)、ハエ用誘引剤(岩澤, 1999; 坂田ら, 1999)、および粘着テープ(矢野, 2009)を使用した捕殺技術が開発されている。ところが、捕虫器による成虫の捕殺だけで、栽培施設内での大発生を完全に抑制することは困難である。このため、新たな防除技術の開発が望まれている。

本種には、雄成虫を誘引する雌性フェロモンが存在する(所ら, 未発表)。菌床シイタケ栽培施設は比較的閉鎖された環境であり、栽培初期のナガマドキノコバエ成虫密度は低いことから(北島ら, 2011)、フェロモンを利用した密度制御の可能性が考えられる。フェロモンの生産には日周性があることが、複数のチョウ目昆虫で報告されている(たとえば, Kamimura and Tatsuki, 1993; Kawazu and Tatsuki, 2002)。このため、成虫の日周活動の把握が、配偶行動の解析や性フェロモンの同定を効率的に推進するために必要である。

一方、ナガマドキノコバエの被害を防ぐには、栽培施設内への成虫の侵入を防ぐことが重要だとされる(北島ら, 2011)。本種成虫が活動的な特定の時間帯があるとすれば、その時間帯には栽培施設への出入りに注意を払うなどして、被害発生を抑制できるかもしれない。これらのことから、本種の羽化、および成虫の活動や交尾行動の日周性の把握を目的とした。

本文に先立ち、供試虫の採集に協力いただいた、群馬県西部環境森林事務所の川島祐介氏(当時群馬県林業試験場)、および同県富岡市の菌床シイタケ生産者の皆様にお礼申し上げる。本研究は、農林水産省の新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業(No.1958)により行った。

材料と方法

1. 供試虫

群馬県富岡市の生産施設において、2008年9月に本種幼虫を採集した。森林総合研究所(茨城県つくば市)で新しいシイタケ菌床を用いて、23~25°C、2:00明転18:00暗転の16時間明8時間暗条件下で、最低6世代継代飼育したものを用いた。

2. 羽化および成虫の飛翔開始の日周性

菌床表面から採集した蛹1個を、蒸留水で湿らせたろ紙を入れた管瓶(直径21×高さ45 mm)に入れた。この管瓶を、スチロールケース(330×240×高さ50 mm)に重ならないように75本並べた。成虫の飛翔開始に与える人為影響を極力排除するため、夜間撮影が可能なビデオカメラ(Sony製, Handycam DCR-TRV30)を用い、このケースの上方から10分ごとに1秒間のインターバル撮影を5日間連続で行った。撮影時の日長は供試虫として用いられる前の飼育条件と同じ2:00明転18:00暗転とし、温度は菌床シイタケ栽培で用いられる20°Cとした(徳島県, 2011閲覧)。撮影後に、成虫の性を調べた。

本種は、羽化時に成虫が蛹殻から半身~全身を突出させた状態で数時間静止した後、暗転または明転時に飛翔を開始する(本文結果およびFig. 1参照)。そこで、本稿では、蛹殻を割って身体を突出した状態を羽化、蛹殻から抜け出して飛翔を開始した時を飛翔開始とした。撮影された映像から、各個体の羽化および飛翔開始の時刻を解析した。

3. 成虫活動の日周性

菌床表面から採集した蛹を、湿らせたJKワイパー(日本製紙クレシア(株)製)とともにポリカップ(直径65×高さ32 mm)に1個体ずつ入れて、継代飼育と同じ条件下で羽化させた。その際、12:00までに蛹殻から突出した成虫について、14:00にポリカップを軽くたたいて刺激を与え、飛翔開始した成虫を実験に用いた。

雌雄成虫1個体ずつを1ペアとし、透明プラスチックケース(株)大創産業製ディスプレイケース、165×89×高さ110 mm)に

Fig. 1. Hourly changes in adult eclosion and flight initiation of newly emerging adult *N. ferruginea*. The light was turned on at 2:00 (open arrows) and off at 18:00 (solid arrows).

Fig. 2. Interval from adult eclosion to flight initiation of newly emerging adult *N. ferruginea*.

入れた。成虫の足場を確保し、撮影された成虫を認識しやすくするために、プラスチックケース内壁の1面には、ろ紙(アドバンテック東洋株式会社製, No.1, 600×600 mmを150×80 mmに切ったもの)を両面テープで貼り付けた。また、プラスチックケース内には餌として、セルローススポンジ(約5×5×5 mm)にしみこませた5%砂糖水と、生シイタケの軸(幅5 mm, 長さ30~40 mm程度)を入れた。このケースを2段に重ね、20°C 2:00明転18:00暗転の条件下に置いた。活動に与える人為影響を極力排除するため、上記ビデオカメラを用い、このケースの側面から1分ごとに1秒間のインターバル撮影を3日間連続で行った。全部で12ペアの撮影を行った。1分ごとの映像で、成虫の場所や姿勢に変化があった場合に活動があったと見なし、変化が無い場合は静止していたと見なした。交尾中で、かつ静止していた場合、交尾は継続していたと見なした。

4. 統計処理

羽化後飛行開始までの時間の雌雄差の検定については、Mann-WhitneyのU検定を用いた。

結 果

1. 羽化および飛行開始の日周期性

観察した75個体のうち、66個体が羽化し、そのうち雄は28個体、雌は38個体であった。羽化は、雄の93%および雌の95%において、明期におこった(Fig. 1)。明期における羽化時刻には明瞭なピークは見られず、雄で明転後2~13時間目、雌で明転後4~16時間目とばらついた(Fig. 1)。明期に羽化した個体全体の50%が羽化したのは、雄で明転後10時間目、雌で明転後8時間目であった。一方、飛行開始は、雄の71%および雌の82%において、暗期におこった(Fig. 1)。飛行開始は雌雄ともに暗転前から見られ始めたが、暗転直後の1時間(18:00~19:00)が最も多かった(雄: 64%, 雌: 79%)。

全ての羽化個体は、羽化後24時間以内に飛行を開始した(Fig. 2)。特に、暗転直後の1時間に飛行を開始した個体は、全て直前の明期に羽化していた。羽化後飛行開始までの時間(平均値±標準誤差)は、雄および雌でそれぞれ 6.89 ± 0.57 , および 9.94 ± 0.59 時間となり、雄の方が有意に短かった(Mann-WhitneyのU検定, $U=253.5$, $p<0.01$)。

2. 成虫活動の日周期性

撮影中の死亡個体はいなかった。成虫の活動は、暗転前後および明転の直後に多かった(Fig. 3)。ただし、1日目の暗転時には、ほとんどの個体が暗転直後に活動を始めた(Fig. 3)。

供試12ペアのうち、11ペアにおいて、のべ25回の交尾が見られ、9ペアにおいて複数回の交尾が見られた(Fig. 3)。各ペアにおける初回の交尾は、羽化当日の暗転時に2ペア、2日目の明転および暗転時に7ペア、3日目の明転および暗転時に2ペア見られた。交尾開始時間は、暗転を挟んだ前後2時間(17:00~19:00)に10回(全体の40%)、明転を挟んだ前後2時間(1:00~3:00)に10回(40%)、その他の暗期に5回(20%)見られた。一方、交尾の終了はのべ16回見られ、暗転を挟んだ前後2時間(17:00~19:00)に14回、明転を挟んだ前後2時間(1:00~3:00)に1回、その他の明期に1回見られた。交尾終了が観察できたペアの交尾継続時間

Fig. 3. Diel pattern of adult activity and copulation for 3 days after the emergence of adult *N. ferruginea*. The light was turned on at 2:00 (open arrows) and off at 18:00 (solid arrows). The straight lines in the lower graph indicate that the adults continued copulating.

(平均値±標準偏差)は、16.6±7.7時間 ($n=16$) であった。

考 察

多くの動物は、その行動を24時間の明暗サイクルに合わせることができる(井深, 1990)。また、ヤマダシマカ *Aedes flavopictus flavopictus* Yamadaでは、実験室内における明暗サイクルに同調していた活動が、暗転時刻を5時間ずらしても2日後には新しい明暗サイクルに同調することが報告されている(Chiba, 1971)。すなわち、飼育条件下における活動は、時刻ではなく明暗サイクルに同調すると考えられる。したがって、本研究で用いた供試虫の活動も、2:00明転18:00暗転の明暗サイクルに同調していたと考えられる。

本研究では、ナガマドキノコバエ成虫の活動や交尾行動は、暗転前後と明転直後に多く見られた(Fig. 3)。このことは、本種成虫は暗転時および明転時に活発になる活動リズムを持つことを示す。このため、実験室内における配偶行動の解析、フェロモン抽出および生物検定などは、暗転や明転の前後に行う必要があることがわかった。さらに、この結果から、自然条件下では本種成虫は夕方と明け方に活発になることが予想される。したがって、夕方から明け方にかけて栽培施設の密閉度を高めることは、成虫の侵入を防ぐのに重要だと考えられた。暗転時および明転時に活発となる活動リズムは、アカイエカ *Culex pipiens pallens* Coquillett (Chiba, 1964) やカ的一种 *Anopheles gambiae* Giles (Jones et al., 1967) でも見られ、これら2種の活動リズムは明暗条件に同調する概日リズムであることが知られている。ナガマドキノコバエの活動は暗転前に始まることから(Fig. 3)、明暗刺激による活動開始ではない。このため、本種も明暗条件に同調する概日リズムをもつことが推察される。

多くの昆虫で、羽化は翅を伸展させるために、外気温が低く相

対湿度が高い早朝か夕方に見られる(普後, 1999)。ところが、ナガマドキノコバエの羽化は明期に見られた(Fig. 1)。本種の羽化時には、体色は乳白色であるが、翅は直ちに伸展するため、日中でも羽化が可能なのであろう。また、飛翔開始は羽化後24時間以内におこり(Fig. 2)、暗転後1時間に最も多かった(Fig. 1)。これらのことから、本種は日中に羽化し、成虫は日没とともに飛翔を開始するという日周性を持つ可能性が考えられる。

暗転前後の活動のうち、羽化当日の暗転時に交尾したのは2ペアだった(Fig. 3)。羽化後24時間以内の交尾率が低いことは、ニカメイガ *Chilo suppressalis* (Walker) でも報告され、日齢の若い雄の性フェロモンに対する活性が低いことが原因とされている(Kanno and Sato, 1978)。ナガマドキノコバエにおいても、雌雄成虫の日齢とフェロモン活性を明らかにする必要がある。一方、羽化後24時間以内の雌成虫に成熟卵を保持しない個体が存在したことから(北島・大谷, 2008)、卵巣の成熟度が交尾行動に関係している可能性が考えられる。

ナガマドキノコバエの平均交尾継続時間は、16時間以上に及んだ(Fig. 3)。ウリミバエ *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) の交尾も、夕方に始まり翌朝まで10時間以上に及ぶ(久場・添盛, 1988)。しかし、精子の受け渡しは交尾開始後4時間までに終了し、残りの交尾持続時間には再交尾阻害物質の受け渡しが行われていると推察されている(Yamagishi and Tsubaki, 1990)。長い交尾持続時間は物理的な交尾後ガードの可能性が考えられる。

引 用 文 献

- Chiba, Y. (1964) *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. IV* 30: 67–75.
 Chiba, Y. (1971) *Jpn. J. Entomol.* 21: 221–226.
 普後 一(1999) 環境昆虫学—行動・生理・化学生態(日高敏隆・松本義明 監修, 本田計一・本田 洋・田付貞洋 編)。

- 東京大学出版会, 東京, pp. 130–142. [Fugo, H. (1999) In *Environmental Entomology—Behavior, Physiology and Chemical Ecology* (T. Hidaka and Y. Matsumoto, supervisors, K. Honda, H. Honda and S. Tatsuki, eds.). University of Tokyo Press, Tokyo, pp. 130–142.]
- 井深信男 (1990) 行動の時間生物学. 朝倉書店, 東京. 181 pp. [Ibuka, N. (1990) *Chronobiology in Animal Behavior*. Asakura Book Co., Tokyo. 181 pp.]
- 岩澤勝巳 (1999) 日林関東支論 50: 167–168. [Iwasawa, M. (1999) *Trans. Kanto Br. Jpn. For. Soc.* 50: 167–168.]
- Jones, M. D. R., M. Hill and A. M. Hope (1967) *J. Exp. Biol.* 47: 503–511.
- Kamimura, M. and S. Tatsuki (1993) *J. Chem. Ecol.* 19: 2953–2963.
- Kanno, H. and A. Sato (1978) *Appl. Entomol. Zool.* 13: 215–221.
- 川島祐介 (2009) 関東森林研究 60: 273–274. [Kawashima, Y. (2009) *Kanto J. For. Res.* 60: 273–274.]
- Kawazu, K. and S. Tatsuki (2002) *Appl. Entomol. Zool.* 37: 219–224.
- 北島 博・大谷英児 (2008) 関東森林研究 59: 327–328. [Kitajima, H. and E. Ohya (2009) *Kanto J. For. Res.* 59: 327–328.]
- 北島 博ら (2011) 森林防疫 60: 19–27. [Kitajima, H. et al. (2011) *Forest Pests* 60: 19–27.]
- 久場洋之・添盛 浩 (1988) 応動昆 32: 321–324. [Kuba, H. and H. Soemori (1988) *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 32: 321–324.]
- 坂田 勉・瀧 謙治・荊尾ひとみ (1999) 森林応用研究 8: 225–226. [Sakata, T., K. Taki and H. Katarao (1990) *Appl. For. Sci.* 8: 225–226.]
- 徳島県 (2011) <http://www.pref.tokushima.jp/files/00/01/22/94/system/kinshoshitakesaibaigijyutushishin.pdf>
- Yamagishi, M. and Y. Tsubaki (1990) *Appl. Entomol. Zool.* 25: 517–519.
- 矢野幸一 (2009) 関東森林研究 60: 269–272. [Yano, K. (2009) *Kanto J. For. Res.* 60: 269–272.]
-