# 菌床シイタケ害虫ナガマドキノコバエ成虫の生存日数,産卵数,および孵化率に対する餌および温度の影響


| | |
|---|---|
| 誌名 | 日本森林学会誌 |
| ISSN | 13498509 |
| 著者名 | 北島,博<br>川島,祐介 |
| 発行元 | 日本森林学会 |
| 巻/号 | 94巻5号 |
| 掲載ページ | p. 209-213 |
| 発行年月 | 2012年10月 |



農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

日林誌（2012）94: 209–213

論　文

# 菌床シイタケ害虫ナガマドキノコバエ成虫の生存日数，産卵数，および孵化率に対する餌および温度の影響

北島　博[*,1]・川島祐介[2,3]

菌床シイタケ害虫ナガマドキノコバエ成虫の生存日数，産卵数，および産下卵の孵化率に対する，餌条件（重量比5%の砂糖水または蒸留水）および温度条件（15℃，20℃，または25℃）の影響を調べた。成虫の生存日数は，砂糖水を与えた区（7.0～31.4日）が，蒸留水を与えた区（3.0～6.9日）より長かった。産卵数も，砂糖水を与えた区（131.7～281.8卵）が，蒸留水を与えた区（63.7～152.2卵）より多かった。産卵は，いずれの処理でも羽化後1日目の成虫から行われた。累積相対産卵数が90%以上となったのは，砂糖水を与えた区では5～9日目であったが，蒸留水を与えた区では3～4日目であった。これらより，本種は糖分の摂取により生存日数が延び，産卵数が増えることがわかった。温度条件に着目すると，産卵数は20℃で最も多かった。各処理における産下卵の平均孵化率は29.2～65.4%であり，特に15℃では20℃および25℃に比べて有意に低かった。
キーワード：餌条件，温度条件，産卵能力，生存日数，ナガマドキノコバエ

**Hiroshi Kitajima,[*,1] Yusuke Kawashima[2,3] (2012) Effects of Food Supply and Temperature on Adult Longevity and Fecundity of *Neoempheria ferruginea*, a Harmful Mushroom Fly in *Lentinula edodes* Sawdust-based Cultivation. J Jpn For Soc 94: 209–213** *Neoempheria ferruginea* is a pest fly in sawdust-based cultivation of shiitake mushrooms, *Lentinula edodes*. We investigated the effect of food supply (5% sugar solution or distilled water) and temperature (15, 20, or 25°C) on adult longevity, number of eggs oviposited, and hatching success. Adults reared on sugar solution lived longer (7.0～31.4 days) than adults reared on water (3.0～6.9 days). Females reared on sugar solution oviposited more eggs (131.7～281.8) than did females reared on water (63.7～152.2). Females began ovipositing one day after eclosion under all rearing conditions, but the peak of oviposition (90% of eggs) was earlier for water-reared flies (3～4 days after eclosion) than for flies reared on sugar solution (5～9 days after eclosion). Thus, the presence of a sugar source increased adult longevity and egg number in *N. ferruginea*. Flies reared at 20°C laid significantly more eggs than did flies reared at either 15 or 25°C. The hatching success of eggs reared at 15°C was significantly lower than that of eggs reared at 20 or 25°C, with a range of 29.2～69.4%.
**Key words:** fecundity, food supply, longevity, *Neoempheria ferruginea*, temperature

## I. はじめに

わが国における2009年の栽培きのこ類の生産額は，2,499億円である（きのこ年鑑編集部 2011）。そのうち，品目別にみて最も多いのが生シイタケで，全体の約30%（755億円）を占めている（きのこ年鑑編集部 2011）。生シイタケは原木栽培と菌床栽培で生産されるが，2005年以降は菌床栽培が生産量の70%以上を占めている（きのこ年鑑編集部 2011）。したがって，菌床シイタケはわが国の重要な栽培きのこ品目だといえる。

ところが，近年，日本各地の菌床シイタケ栽培施設で，収益に悪影響を及ぼすほどナガマドキノコバエ（*Neoempheria ferruginea*，キノコバエ科）の個体数密度が増加する異常発生が顕在化している（岩澤 1999；坂田ら 1999；岩澤・石谷 2005b；岡部 2006；石谷 2009；川島 2009；矢野 2009；川島・國友 2010）。本種の幼虫は，菌床や子実体を摂食する他（坂田ら 1999；石谷 2009），幼虫が付着した子実体が流通して異物混入の問題を引き起こす危険性も高い。

本種の異常発生に至る経過を把握するため，施設内での栽培工程と成虫捕殺消長との関係が調べられた（川島 2009；川島・國友 2010；北島ら 2011）。一般的な菌床シイタケ栽培では，まず，培養袋に入った状態の菌床を栽培施設内へ搬入するが，この時点で施設内で成虫が捕殺されることはほとんどない（北島ら 2011）。その後，シイタケ子実体を発生させるために培養袋を取り去って菌床を露出すると，成虫が捕殺され始め，時間の経過とともに捕殺数は増加する（川島 2009；川島・國友 2010；北島ら 2011）。これらのことから，菌床の露出後に成虫が野外から施設内へ侵入し，菌床を餌に増殖を繰りかえすことで異常発生に至ると考えられている（川島・國友 2010；北島ら 2011）。

本種の発生時期と量を予測するために必要な知見とし

* 連絡先著者（Corresponding author）E-mail：kitajima@affrc.go.jp
[1] 独立行政法人森林総合研究所　〒305-8687　つくば市松の里1（Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba 305-8687, Japan）
[2] 群馬県林業試験場　〒370-3503　群馬県北群馬郡榛東村新井2935（Gunma Prefectural Forestry Experiment Station, 2935 Arai, Shinto, Kitagunma-gun, Gunma 370-3503, Japan）
[3] 現在：群馬県西部環境森林事務所　〒370-0805　高崎市台町4-3（Gunma Prefectural Seibu Forestry and Environmental Affairs Office, 4-3 Daimachi, Takasaki 370-0805, Japan）
（2012年2月29日受付；2012年6月28日受理）

て，菌床上での幼虫の生存率や羽化率，各発育ステージの発育零点や有効積算温量などが求められている（北島ら 2012）。しかし，成虫の生存期間や産卵数などは十分に解明されていない。北島・大谷（2008）は，1雌当たり100卵以上産下できる能力をもつことを示したが，産下卵が孵化しなかったことから，交尾が不完全だった個体の結果である可能性を示唆した。このため，交尾確認後の成虫を用いた実験が必要である。

本種が属するキノコバエ科の成虫の中には，蜜を求めて訪花する種がある（Goldblatt *et al.* 2004；Okuyama *et al.* 2004，2008）。本種成虫の訪花性は明らかではないが，野外における花蜜やアブラムシの甘露の摂取が寿命や繁殖に影響することは，寄生蜂などの天敵昆虫で知られている（例えば，Evans 1994）。また，糖分摂取の産卵数増加に対する影響を知ることは，実験室個体群の維持・増殖に役立つ知見となる。これまで，本種成虫では，5%砂糖水を与えると産卵数や生存期間が増加するという報告があるが（北島ら 2011），産卵数については体サイズとの関係が検討されていない。ショウジョウバエ科では，体サイズと産卵数との間に正の相関がみられているため（Berrigan 1991），本種でも体サイズを考慮して餌条件の影響を評価する必要がある。

また，菌床シイタケ栽培施設には，温度調節設備のある空調施設と，それがない簡易施設とがある。施設内の気温は，前者では10～20℃程度に調節し，後者では30℃を超えないように管理するのが好ましいとされる（大森 1993）。したがって，栽培施設によって温度条件は大きく異なっている。このため，様々な栽培施設における本種の増殖を予測するには，温度と産卵能力との関係を明らかにする必要がある。

これらのことから，餌条件と温度条件を変化させて本種成虫を飼育し，成虫の生存日数，産卵数，および産下卵の孵化率を調べた。

## II. 材料と方法

群馬県富岡市の生産者から，2007年6月に，本種幼虫が生息するシイタケ廃菌床を譲り受けた。森林総合研究所（茨城県つくば市）において，23～25℃で2：00明転18：00暗転の16時間明8時間暗条件下（以下，LD16：8と表記する）で，新しいシイタケ菌床を用いて，北島ら（2012）の方法により，少なくとも5世代継代飼育した。得られた蛹を，蒸留水で湿らせたJKワイパー（クレシア（株）製）とともにポリカップ（直径66×高さ35 mm）に入れて，同条件下で羽化させた。本種の個体のほとんどは明期に羽化し，蛹殻から半身または全身を飛び出させた状態で数時間静止した後，暗期開始とともに飛翔を開始する（北島・所 2012）。そこで，飛翔を開始した成虫を羽化後1日目として，実験に供試した。

羽化後1日目の複数の雌雄成虫を，木製枠（300×300×高さ450 mm）にナイロンゴース（東レ製，裏地＃9000）を張った網箱内に入れて，交尾させた。交尾中の雌雄成虫1ペアを，吸虫管を使ってポリ袋（140×200 mm）内に移した。ポリ袋は，五十嵐（1993）の方法で三角錐の形に膨らませ，開口部を2回折り曲げた後，クリップで留めた。ポリ袋内には，成虫の足場として蒸留水で湿らせたろ紙片（アドバンテック製，直径110 mmの1/4），および産卵場所としてシイタケ子実体の柄（約5×5×長さ30～40 mm）を入れた。

成虫の餌として，重量比5%の砂糖水（以下，砂糖区と表記する），または蒸留水（以下，水区と表記する）を与えた。砂糖水，蒸留水ともにセルローススポンジ（5×5×5 mm）に染みこませて，成虫が入ったポリ袋内に入れた。このポリ袋を，15℃，20℃，および25℃の温度条件下に置いた。日長は，全てLD16：8とした。餌条件と温度条件とを組み合わせた（以下，処理と表記する）6処理に，それぞれ10ペアずつ供試した。

卵は，シイタケ子実体の柄，ろ紙片，セルーススポンジ，およびポリ袋内壁上に産下された。このため，毎日，ポリ袋内の成虫を吸虫管を用いて，新しいシイタケ子実体の柄，ろ紙片，および餌の入ったポリ袋内へ移した後，卵を数えた。卵は実体顕微鏡下でピンセットを用いて採集し，蒸留水で湿らせたろ紙片（約10×30 mm）上へ移した。卵を置いたろ紙片を，蒸留水で湿らせたJKワイパーを入れたシャーレ（直径60×高さ17 mm）に移し，成虫の飼育と同じ条件下に置いて，孵化した卵を数えた。本種の15℃における卵期間は約8日間なので（北島ら 2012），孵化数の調査は産卵後14日目で打ち切った。体サイズと産卵数との関係を検討するために，死亡後に実体顕微鏡下で成虫の前胸幅を測定し，体サイズと産卵数との関係を検討し，産卵数を前胸幅（mm）で除した値を産卵指数とした。

成虫の平均生存日数については，餌条件，温度条件，および性を要因とした三元配置分散分析を行った後，Tukey-Kramer法を用いて多重比較を行った。産卵指数および産下卵の孵化率については，逆正弦変換してから餌条件と温度条件を要因とした二元配置分散分析を行った後，Tukey-Kramer法を用いて多重比較を行った。

## III. 結　　果

成虫の生存日数は，いずれの温度条件でも，雌雄ともに砂糖区の方が水区より長かった（表-1）。餌条件ごとに性による違いを比較すると，いずれの温度条件でも雄の方が雌より長かった（表-1）。餌条件，温度条件，および性を要因とした三元配置分散分析では，餌（$F=186.845$，$df=1,54$，$p<0.001$），温度（$F=33.983$，$df=1,54$，$p<0.001$），および性（$F=89.331$，$df=1,54$，$p<0.001$）の全ての要因間に有意差が認められ，餌と温度と性の交互作用（$F=20.147$，$df=2,54$，$p<0.001$）にも有意差が認められた（表-2）。そこで，すべての処理の間の多重比較を行った結果を表-3に示した。生存日数の長かった砂糖区の25℃雄および20℃雄は，他の処理区との有意差が認められた（Tukey-

Kramer法, $p<0.05$ または $p<0.01$)。水区の各処理の間では，いずれの組合せにも有意差は認められなかった（Tukey-Kramer法，$p>0.05$）。同じ温度条件で餌条件の違いを比較すると，雌雄とも25℃と20℃では有意差が認められたが（Tukey-Kramer法，$p<0.01$），15℃では有意差が認められなかった（同，$p>0.05$）。

産卵数を餌条件で比べると，砂糖区（131.7～281.8卵）は，水区（63.7～152.2卵）に比べて多かった（表-1）。また，砂糖区，水区ともに20℃が最も多かった（表-1）。各処理の成虫の前胸幅と産卵数との関係をみると，砂糖区の15℃（$r^2=0.497$, $p<0.05$），および水区の20℃（$r^2=0.561$, $p<0.01$）と25℃（$r^2=0.493$, $p<0.05$）は，危険率5%で正の相関関係がみられた（図-1）。また，砂糖区の20℃（$r^2=0.262$, $p<0.1$）および水区の15℃（$r^2=0.331$, $p<0.1$）は，危険率10%だと正の相関関係がみられた。砂糖区の25℃（$r^2=0.073$, $p<0.1$）は統計的に有意な相関関係はみられなかったが，前胸幅が広いほど産卵数が多くなる傾向はみられた（図-1）。これらのことから，体サイズが大きい個体ほど産卵数が大きくなる傾向があると考えられたため，各処理の産卵数の比較には，産卵指数（産卵数/前胸幅（mm））を用いた。

各処理の産卵指数は，いずれの温度条件でも砂糖区が水区より約2倍ほど大きかった（図-2）。餌条件と温度条件を要因とした二元配置分散分析では，餌条件間（$F=53.097$, $df=1, 54$, $p<0.0001$），温度条件間（$F=32.872$, $df=2, 54$, $p<0.001$）ともに有意差がみられたが，交互作用はみられなかった（$F=0.474$, $df=2,54$, $p=0.625$）。温度条件間では，20℃が15℃および25℃より有意に大きかった（Tukey-Kramer法，$p<0.05$）。

いずれの処理でも，羽化後1日目の成虫から産卵した（図-3）。累積相対産卵数の増加は水区の方が砂糖区より早

表-1. 異なる餌および温度条件下で飼育されたナガマドキノコバエ成虫の生存日数と産卵数

Adult longevity and number of eggs oviposited by *Neoempheria ferruginea* adults reared under different food and temperature conditions.

| Food | Temperature (℃) | No. of pairs tested | Male longevity (days)[a] | Female longevity (days)[a] | No. of eggs oviposited[a] |
|---|---|---|---|---|---|
| 5% (v/v) sugar solution | 15 | 10 | 9.5±1.1 | 7.8±0.4 | 131.7±20.9 |
| | 20 | 10 | 31.4±2.8 | 11.7±1.0 | 281.8±24.9 |
| | 25 | 10 | 17.4±1.9 | 7.0±0.4 | 134.2±10.9 |
| Distilled water | 15 | 10 | 6.9±0.3 | 5.4±0.3 | 67.9±12.1 |
| | 20 | 10 | 5.7±0.8 | 5.0±0.5 | 152.2±12.6 |
| | 25 | 10 | 3.3±0.2 | 3.0±0.3 | 63.7±11.6 |

[a] Mean±SE.

表-2. ナガマドキノコバエ成虫の生存日数における餌条件，温度条件，および性を要因とした三元配置分散分析結果

Results of three-factor ANOVA on effects of food, temperature, and sex on the longevity of *Neoempheria ferruginea* adults.

| Factors | *df* | Mean square | *F*-value | *p*-value |
|---|---|---|---|---|
| Food | 1 | 2566.875 | 186.845 | <0.001 |
| Temperature | 2 | 466.858 | 33.983 | <0.001 |
| Sex | 1 | 980.408 | 89.331 | <0.001 |
| Food×Temp. | 2 | 469.525 | 34.177 | <0.001 |
| Food×Sex | 1 | 715.408 | 65.185 | <0.001 |
| Temp.×Sex | 2 | 185.908 | 16.939 | <0.001 |
| Food×Temp.×Sex | 2 | 221.108 | 20.147 | <0.001 |
| Residuals | 54 | 10.975 | | |

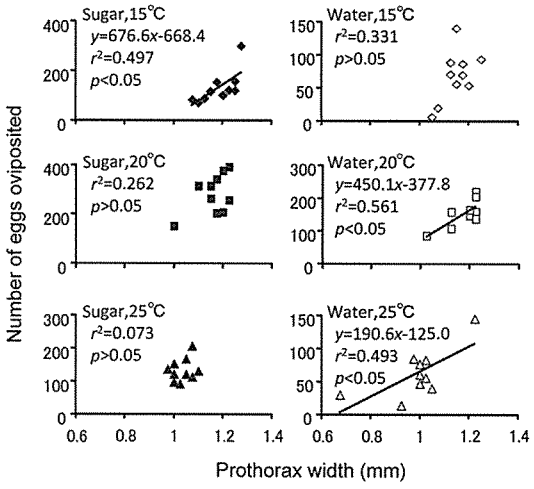


図-1. 異なる餌および温度条件下で飼育されたナガマドキノコバエ雌成虫の前胸幅と産卵数との関係

Relationship between female prothorax width and the number of eggs oviposited in *Neoempheria ferruginea* adults reared under different food and temperature conditions.

表-3. 異なる餌および温度条件で飼育されたナガマドキノコバエ成虫の生存日数におけるTukey-Kramer法による多重比較結果

Results of Tukey-Kramer test for the longevity of *Neoempheria ferruginea* adults reared under different food and temperature conditions.

| Rearing conditions[a] | S20M | S15M | S25F | S20F | S15F | W25M | W20M | W15M | W25F | W20F | W15F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S25M | **[b] | ** | * | * | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| S20M | | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| S15M | | | — | — | — | ** | — | — | ** | — | — |
| S25F | | | | — | — | ** | ** | ** | ** | — | ** |
| S20F | | | | | — | ** | ** | — | ** | ** | ** |
| S15F | | | | | | — | — | — | — | — | — |
| W25M | | | | | | | — | — | — | — | — |
| W20M | | | | | | | | — | — | — | — |
| W15M | | | | | | | | | — | — | — |
| W25F | | | | | | | | | | — | — |
| W20F | | | | | | | | | | | — |

[a] S, Sugar; W, Water; 25, 25℃; 20, 20℃; 15, 15℃; M, Male; F, Female. [b] **, $p<0.01$; *, $p<0.05$; —, n.s.

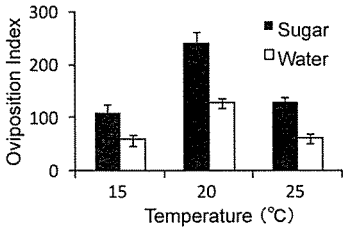


図-2. 異なる餌および温度条件下で飼育されたナガマドキノコバエ雌成虫の平均産卵指数

Means (±SE) of oviposition index (no. eggs oviposited/prothorax width) in *Neoempheria ferruginea* adults reared under different food and temperature conditions.

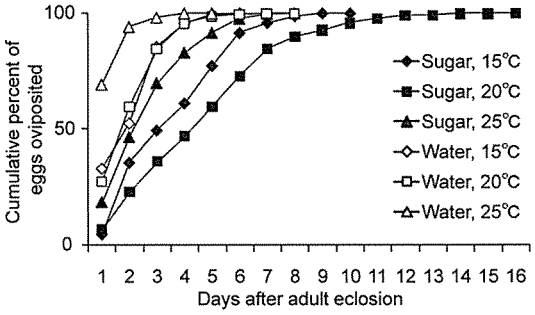


図-3. 異なる餌および温度条件下で飼育されたナガマドキノコバエ雌成虫の累積相対産卵数の推移

Cumulative percent of eggs oviposited by *Neoempheria ferruginea* adults reared under different food and temperature conditions.

く，砂糖区では産卵している期間が延長された（図-3）。累積相対産卵数が90%を超えたのは，水区の15℃，20℃，および25℃でそれぞれ3日目，4日目，および4日目であり，砂糖区のそれらでは，それぞれ6日目，9日目，および5日目であった（図-3）。

各処理の産下卵の平均孵化率は，29.2～65.4%であった（図-4）。餌条件と温度条件を要因とした二元配置分散分析では，温度条件間にだけ有意差が認められ（$F=6.707$, $df=2, 54$, $p<0.01$），15℃は20℃および25℃に比べて有意に低かった（Tukey-Kramer 法，$p<0.05$）。

## IV. 考　　察

北島・大谷（2008）は，本種成虫が羽化後4～5日後から産卵を開始し，1雌当たり100卵以上産下する能力をもつと報告したが，産下卵が孵化しなかったことから，交尾が不完全な個体の結果である可能性も示唆した。一方，今回の実験では交尾を確認後に供試した結果，北島・大谷（2008）の結果と大きく異なり，羽化後1日目から産卵を開始し（図-3），産下卵も孵化した（図-4）。したがって，北島・大谷（2008）は交尾が不完全な個体の結果であり，本種の産卵能力としては今回の結果を用いるべきだと考えられた。

今回の実験では，砂糖水の摂取は有意に成虫の生存日数と産卵指数を増加させた（表-1，図-2）。また，砂糖区では卵を産下している期間も延長された（図-3）。これらのことから，実験室個体群の維持や増殖には，成虫に糖分を摂取させることが有益であることがわかった。一方，菌床シイタケ栽培施設では，成虫は水分を摂取できるが糖分を得られる環境はない。一般に，ハエ目成虫は，機能しない口器をもつグループを除いては雑食性であり，動物や植物からの分泌物や有機物の腐敗物などの液体を摂取する（Colless and McAlpine 1991）。本種成虫は，栽培施設において菌床や子実体由来の物質を摂取可能であるが，栽培施設内でこれらをどの程度摂取しているか，これらを餌と認識して誘引されているかについては明らかでない。したがって，栽培施設内における成虫の生涯産卵数を議論するには，菌床や子実体に対する成虫の行動を解明してから，摂食による産卵数への影響を再検討する必要がある。

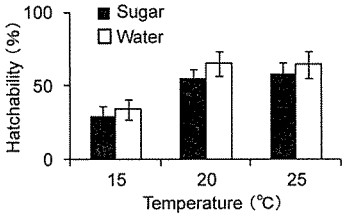


図-4. 異なる餌および温度条件下で飼育されたナガマドキノコバエ雌成虫産下卵の平均孵化率

Means (±SE) of hatching success in eggs laid by *Neoempheria ferruginea* adults reared under different food and temperature conditions.

また，温度条件により生存日数，産卵数，および孵化率が異なった（表-1，図-2，4）。このことは，施設により温度条件が極端に異なる菌床シイタケ栽培では（大森 1993），施設ごとの成虫発生予測が必要であることを示す。砂糖区では，生存日数および産卵指数は20℃で最大となり，水区では生存日数には温度条件による差はみられなかったが，産卵指数は20℃で最大となった（表-1，図-2）。生存日数と関係なく産卵数が最大になる温度条件が存在することは，アワヨトウ（*Pseudaletia separata*，ヤガ科）とクサシロヨトウ（*Acantholeucania loreyi*，ヤガ科）（平井・三田 1983）や，セボシクサカゲロウ（*Dichochrysa prasina*，クサカゲロウ科）（Pappas *et al.* 2008）でも報告されており，これらのことは，雌成虫の産卵能力の発揮に最適な温度があることを示唆する。したがって，今回の実験では20℃が本種の産卵に最も適した温度条件であると考えられた。

栽培きのこ類における本種以外のキノコバエ科の害虫に関しては，被害報告や防除法の研究はあるものの（野淵 1975；中村 1986；田中ら 2002；岩澤・石谷 2005a，b；岡部 2006；村上 2007；石谷・中川 2008；末吉 2010；杉本・末吉 2011），産卵数や生存日数などの基礎生態に関する知見はほとんどない。他方，マッシュルーム栽培施設で異常発生するクロバネキノコバエ科の害虫に関しては，基礎生態の解明が進んでいる。ツクリタケクロバネキノコバエ

(*Lycoriella ingenua*=*L. mali*) では，産卵数が温度条件で異なり 60〜160 卵とされている (Finley *et al.* 1984)。また，Fletcher and Gaze (2008) は 170 卵に至るとしている。本種の水区における産卵数は，クロバネキノコバエ類と同等であることがわかった (表-1)。一方，栽培施設内での生涯産卵数については，餌条件も考慮して比較する必要がある。

本種は羽化後 1 日目から卵を産下し，水区では羽化後 3〜4 日で 90% 以上の産卵を済ませた (図-3)。水区における羽化後 4 日目までの 1 雌当たり平均産卵数は，15℃，20℃，および 25℃ でそれぞれ 65, 146, および 64 卵であった。砂糖区でも羽化後 4 日目までの 1 雌当たり平均産卵数は，15, 20, および 25℃ でそれぞれ 77, 128 および 111 卵であった。栽培施設内での成虫の餌条件は不明だが，その有無にかかわらず，羽化後間もないうちに成虫を捕殺する必要があると考えられた。また，孵化率は 15℃ で低く (図-4)，北島ら (2012) と同様の結果となった。今回の実験では未孵化卵の死亡を確認してないが，それでも，15℃ 以下でシイタケ子実体を発生させることは本種の増殖を抑制することが示唆される。低温での発生は，良質なシイタケ子実体が得られる利点もある (大森 1993)。一方，栽培施設を低温で管理するには多くのコストを必要とする。このため，菌床シイタケ栽培施設について，コスト，高品質商品の生産，および害虫被害防除を総合的に検討し，施設園芸で導入されているヒートポンプによる冷房設備など (林 2003) も導入していく必要があると思われる。

供試虫の採集にご協力いただいた群馬県の菌床シイタケ生産者の皆様に感謝の意を表する。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) により行われた。

## 引用文献


Berrigan D (1991) The allometry of egg size and number in insects. Oikos 60: 313–321

Colless DH, McAlpine DK (1991) Diptera (Flies). In: The insects of Australia. second edition vol. II CSIRO (ed) Melbourne Univ. Press, 717–785

Evans EW (1994) Indirect interactions among phytophagous insects: Aphids, honeydew and natural enemies. In: Individuals, populations and natural enemies. Leather SR, Watt AL, Mills NJ, Walters KFA (eds) Intercept, 287–298

Finley RJ, Wuest PJ, Royse DJ, Snetsinger R, Tetrault R, Rinker DL (1984) Mushroom flies. A review of biology and a systems approach for integrated control. The Mushroom J 139: 240–247

Fletcher JT, Gaze RH (2008) Mushroom pest and disease control. Academic Press

Goldblatt P, Bernhardt P, Vogan P, Manning JC (2004) Pollination by fungus gnats (Diptera: Mycetophilidae) and self-recognition sites in *Tolmiea menziesii* (Saxifragaceae). Plant Syst Evol 244: 55–67

林真紀夫 (2003) 冷房．(施設園芸ハンドブック五訂．(社) 日本施設園芸協会)．116–142

平井一男・三田久男 (1983) アワヨトウとクサシロヨトウの個生態学的研究．中国農試報 E21: 55–101

五十嵐正俊 (1993) 穿孔性昆虫飼育法．林業と薬剤 123: 14–20

石谷栄次 (2009) 千葉県における菌床シイタケの栽培形態と確認されたきのこ害虫．関東森林研究 60: 231–232

石谷栄次・中川茂子 (2008) 千葉県におけるフタモントンボキノコバエの被害と防除法の検討．関東森林研究 59: 299–300

岩澤勝巳 (1999) 菌床シイタケ生産施設に発生したナガマドキノコバエとオオショウジョウバエの捕獲試験．日林関東支論 50: 167–168

岩澤勝巳・石谷栄次 (2005a) 露地栽培の原木シイタケ子実体に発生した *Exechia insularis* (フタモントンボキノコバエ) の被害．日林関東支論 56: 191–192

岩澤勝巳・石谷栄次 (2005b) 千葉県で発生したきのこ害虫と防除法の検討 (続)．森林防疫 54: 213–219

川島祐介 (2009) 群馬県における菌床シイタケ害虫ナガマドキノコバエの発生消長．関東森林研究 60: 273–274

川島祐介・國友幸夫 (2010) 菌床シイタケ害虫ナガマドキノコバエの生態と防除に関する研究．群馬県林試研報 15: 1–15

きのこ年鑑編集部 (2011) きのこ類の生産と流通動向．(2011 年度版きのこ年鑑．きのこ年鑑編集部)．17–37

北島　博・大谷英児・川島祐介 (2012) ナガマドキノコバエの発育に及ぼすシイタケ菌床，日長および温度の影響．応動昆 56: 1–7

北島　博・大谷英児 (2008) 菌床シイタケ害虫ナガマドキノコバエの産卵数．関東森林研究 59: 327–328

北島　博・所　雅彦 (2012) 菌床シイタケ害虫ナガマドキノコバエの日周活動．応動昆 56: 19–22

北島　博・阿部正範・杉本博之・川島祐介・石谷栄次・藤林範子・陶山　純・本荘絵美・岡本武光・蔦田邦晃・國友幸夫・西澤元・宮川治郎・大谷英児 (2011) 菌床シイタケ害虫ナガマドキノコバエの環境保全型防除技術の開発．森林防疫 60: 19–27

村上康明 (2007) 原木シイタケを加害するキノコバエについて．九州森林研究 60: 13–17

中村公義 (1986) 春から問題にしたい害虫，害菌，キノコバエ．信州のそ菜 369: 44–45

野淵　輝 (1975) シイタケの害虫．植物防疫 29: 11–16

岡部貴美子 (2006) 日本における食用きのこの害虫．森林総研研報 5: 119–133

Okuyama Y, Kato M, Murakami N (2004) Pollination by fungus gnats in four species of the genus *Mitella* (Saxifragaceae). Bot J Linn Soc 144: 449–460

Okuyama Y, Pellmyr O, Kato M (2008) Parallel floral adaptations to pollination by fungus gnats within the genus *Mitella* (Saxifragaceae). Mol Phylogener Phylogenet Evol 46: 560–575

大森　清 (編) (1993) 菌床シイタケのつくり方．(社) 農山漁村文化協会

Pappas ML, Broufas GD, Koveos DS (2008) Effect of temperature on survival, development and reproduction of predatory lacewing *Dichochysa prasina* (Neuroptera: Chrysopidae) reared on *Ephesita kuehniella* eggs (Lepidoptera: Pyralidae). Biol Cont 45: 396–403

坂田　勉・瀧　謙治・荊尾ひとみ (1999) ナガマドキノコバエによるシイタケ子実体食害とその防除の試み．森林応用研究 8: 225–226

末吉昌宏 (2010) ブナシメジ子実体を食害するキノコバエ．森林総研研報 9: 121–123

杉本博之・末吉昌宏 (2011) 菌床シイタケ栽培施設におけるヨコヤマクシバキノコバエ *Sciophila yokoyamai* Sasakawa et Kimura, 1976 (ハエ目キノコバエ科) による被害．森林防疫 60: 188–192

田中　寛・津田　格・山本耕三・磯和　巌・柴尾　学 (2002) 大阪府におけるヒラタケ白こぶ病の発生と防除．関西病虫研報 44: 47–48

矢野幸一 (2009) 粘着トラップを利用した菌床シイタケ害虫防除試験．関東森林研究 60: 269–272