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

北島 博^{1,*}・大谷 英児¹・川島 祐介^{2,†}

¹(独) 森林総合研究所

²群馬県林業試験場

Effects of Shiitake Mycelial Block Conditions, Day-Length, and Temperature on the Development of *Neoempheria ferruginea* (Brunetti) (Diptera: Mycetophilidae). Hiroshi KITAJIMA,^{1,*} Eiji OHYA¹ and Yusuke KAWASHIMA^{2,††} ¹Forestry and Forest Products Research Institute; Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan. ²Gunma Prefectural Forestry Experiment Station; Arai 2935, Shintou, Kitagunma-gun, Gunma 370-3503, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 56: 1-7 (2012)

Abstract: A technique for rearing the harmful mushroom fly *Neoempheria ferruginea*, in the sawdust-based cultivation of shiitake, *Lentinula edodes*, using shiitake mycelial blocks was developed. One male and one female fly were placed in a polyethylene bag with a stalk of shiitake mushroom and a sheet of filter paper moistened with distilled water for the female to deposit eggs. The eggs were picked up, placed on another filter paper using forceps, and the filter paper was placed on an unwrapped mycelial block. The larvae grew by eating the surface of the mycelial blocks and fruit bodies protruding from the mycelial blocks. They then pupated on the surfaces of the mycelial blocks. When a mycelial block was used immediately after unwrapping, or when the fruit bodies were left as larval food, the emergence rate from inoculated larvae was high, the developmental time from egg to adult decreased, and large pupae were obtained. The flies were reared from egg to adult at combinations of five temperatures (12, 15, 20, 23, and 25°C) and two photoperiodic regimes (LD16:8 and LD10:14). The developmental zero (T_0) and thermal constant (K) from egg to adult of males and females reared under LD16:8 were 7.2°C and 293.6 degree-days and 7.3°C and 304.3 degree-days, respectively. By contrast, those of males and females reared under LD10:14 were 7.0°C and 280.5 degree-days and 7.1°C and 293.6 degree-days, respectively.

Key words: Developmental zero; *Lentinula edodes*; *Neoempheria ferruginea*; sawdust-based cultivation; thermal constant

緒 言

我が国の生シイタケ生産量に占める菌床シイタケ栽培の割合は、菌床シイタケの生産量が集計され始めた1994年には25.6%であったが(林野庁, 1995), 2009年には78.8%まで増加し(林野庁, 2009), 菌床シイタケ栽培が急速に普及したことが伺える。菌床シイタケ栽培の普及に伴い、栽培施設内でのナガマドキノコバエ *Neoempheria ferruginea* (Brunetti) の大発生が報告されるようになってきた(岩澤, 1999; 坂田ら, 1999; 石谷, 2009; 川島, 2009; 矢野, 2009)。本種幼虫は、菌床や子実体を摂食するだけでなく(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となる危険性も高い。

本種の防除法としては、これまでハエ用誘引液(坂田ら, 1999), 乳酸発酵液(岩澤, 1999), および粘着シート(矢野, 2009)を利用した成虫捕殺法が考案されてきた。しかし、本種の大発生を完全に抑制できないため、更に効果的な防除法の開発が望まれている。ところが、本種の生態には未解明な点が多く、防除技術を確立するには実験供試虫を生産できる飼育方法の開発が必要である。そこで、本種に適した飼育方法を開発するため、菌床の状態や、日長、温度が発育に及ぼす影響を調べた。

菌床シイタケ栽培では、培地を培養袋に詰めて殺菌し、それに種菌を接種して完熟させた後、培養袋を取り除いて

* E-mail: kitajima@affrc.go.jp

† 現在 群馬県西部環境森林事務所

†† Present address: Gunma Prefectural Seibu Forestry and Environmental Affairs Office, Daimachi 4-3, Takasaki, Gunma 370-0805, Japan.

2010年 8月20日受領 (Received 20 August 2010)

2011年 10月25日登載決定 (Accepted 25 October 2011)

DOI: 10.1303/jjaez.2012.1

(以下、除袋と表記する) シイタケ子実体を発生させる。栽培施設内では、本種の幼虫は除袋後の菌床の表面だけでなく、菌床上に発生した子実体を食べて发育する。そこで、まずシイタケ菌床を餌として用いた幼虫の飼育を試みた。次に、菌床上の子実体の有無が幼虫发育に与える影響を調べた。また、除袋後しばらくすると、菌床の表面に木質樹皮化した菌糸層(以下、皮膜と表記する)が形成される。このような菌床は、除袋直後の菌床に比べて害虫の誘引が少ないとされている(馬場, 2008)。このため、菌床表面の状態が幼虫发育に与える影響も調べた。さらに、供試虫の計画的な生産を行うために、飼育温度と发育期間との関係を調べた。

本文に先立ち、本研究の推進にあたって有益な助言や指導をいただいた、(独)森林総合研究所国際連携拠点長の後藤忠男博士、筑波大学大学院生命環境科学研究科の本田洋教授、原稿の校閲を賜った森林総合研究所研究コーディネータの牧野俊一博士、および、供試虫をいただいた群馬県富岡市の菌床シイタケ栽培者の皆様に厚くお礼申し上げます。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によって行われた。

材料および方法

供 試 虫

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、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、後述する有茸区の方法により、20~25°C16時間明8時間暗条件下(以下、LD16:8のように表記する)で継代飼育した。継代飼育において虫質が劣化しないように、循環交配方法(湯嶋ら, 1991)を用いた。得られた雌雄成虫1ペアを、シイタケの柄、5%砂糖水で湿らせたセルローススポンジ(5×5×5mm)、および蒸留水で湿らせたろ紙片(直径110mmの1/4)とともにポリ袋(150×250mm)に入れて、25°C LD16:8で産卵させた。卵は、シイタケの柄およびろ紙片に産下された。産下後24時間以内の卵をピンセットを用いて採集し、実験に供試した。

シイタケ子実体が幼虫发育に与える影響

完熟シイタケ菌床(北研600号, 12×18×高さ13cm, 以下同じ)を除袋直後に半分に切断して、それぞれを別のプラスチックケース(19×29×高さ20cm)に入れた。1つのケースでは菌床から発生してくる子実体をそのまま放置し(以下、有茸区と表記する)、もう1つのケースでは柄の長さが1cmになる前に子実体を取り除いた(以下、無茸区と表記する)。雌雄5ペアから得られた卵を、2つの湿らせたろ紙片(直径110mmの1/8)に100個ずつ無作為に分けて乗せ、そのろ紙片を各菌床上に置いた。シイタケの発生は10~20°Cで行うため(徳島県, 2011; http://www.pref.tokushima.jp/files/00/01/22/94/system/kinshoshitakesaibaigijyu_tushishin.pdf), プラスチックケースを20°C LD16:8に置いた。卵接種後7日目にプラスチックケースからろ紙片を取り出して、孵化した卵の数を調べた。その後、毎日蛹化の有無を記録した。菌床表面で蛹化した蛹を取り出し、背面から見た時の最大幅を実体顕微鏡下で測定後、湿らせたティッシュペーパーを入れたポリカップ(直径6.5×高さ3.2cm)に収めて、同条件下に置いて毎日観察し、羽化日を記録した。本種は、羽化時に蛹殻から体の前半を出したまま数時間経過した後、完全に脱出して飛翔を開始する(北島・所, 2012)。本報では、完全に脱出し、飛翔を開始した時を羽化と定義し、羽化後に性を記録した。

菌床皮膜が幼虫发育に与える影響

完熟シイタケ菌床3個を、2008年9月18日に除袋後、同年11月28日まで森林総合研究所構内の野外網室内の棚に置いた。自動灌水器(ナショナルEY4100DX2H)の噴霧ノズル1個を棚面の60cm上に設置した。午前6時および午後6時からそれぞれ20分間、毎分約5Lずつ、全ての菌床に水がかかるように散水して、菌床表面に皮膜を形成させた。皮膜が形成した菌床3個を、プラスチックケース(26×41×高さ29cm)に1個ずつ入れた。一方、除袋直後の菌床3個も同様にプラスチックケースに入れた。雌雄15ペアから得られた卵を、6枚のろ紙片に100個ずつ無作為に分けて乗せ、そのろ紙片を各菌床上に置いた。これらのプラスチックケースを25°C LD16:8に置いて、無茸区と同じ方法で幼虫を飼育した。ただし、皮膜形成後の菌床では、その表面の乾燥が激しかったので、1週間に2回霧吹きで約10mlの蒸留水を菌床に散水した。除袋直後の菌床も、同様に散水した。孵化数、蛹化数、蛹幅、羽化数、および成虫の性は上記と同じ方法で調査した。

日長・温度と发育期間との関係

温度条件を、12, 15, 20, 23, 25°Cの5段階、日長条件をLD16:8とLD10:14の2段階とし、これらを組合せた10環境条件下で、有茸区と同じ方法で幼虫を飼育した。飼育にはインキュベータ(SANYO, MIR-153およびMIR-253)を用いた。雌雄17ペアから得られた卵を、無作為に100~360卵ずつに分けてろ紙片に乗せ、そのろ紙片を各環境条件下の菌床上に置いた。孵化の有無を、毎日記録した。孵化が見られたろ紙片は、その都度菌床から取り除き、孵化した卵の数を調べた後、それまでと同じ条件に置いた新しい菌床に移し替えるか、もしくはシャーレ(直径9cm)に入れて新たな孵化した卵の数を毎日記録した。これにより、菌床上の幼虫の孵化日を揃えとともに、菌床上の孵化幼虫数を決めた。孵化数の調査は、最初の孵化を確認後4週目で打ち切った。さらに、蛹化した個体の数を毎日記録し、蛹化個体は湿らせたろ紙片(約2×3cm)を入れた管瓶(9ml)に移し、それまでと同じ条件下で羽化するまで

飼育し、羽化日を記録した。

日長条件別に各温度条件下における卵、幼虫、蛹、および卵から羽化までの発育期間 (D) を用いて、温度 (T) と発育速度 ($1/D$) の関係を表す回帰直線式 $1/D=aT+b$ を最小二乗法によって推定した。

統計解析

有茸区と無茸区における孵化率、蛹化率、羽化率の比較には、 χ^2 検定を用いた。除袋直後と皮膜形成後の菌床における孵化率、蛹化率、羽化率の比較には、比率を逆正弦変換してから一元配置分散分析を行った。有茸区と無茸区、および除袋直後と皮膜形成後の菌床における、卵から羽化までの日数と蛹の最大幅の比較には、菌床の違いと性を変動要因とした二元配置分散分析を用いた。異なる日長・温度で飼育した時のデータのうち、孵化率、蛹化率、および羽化率については、日長と温度を要因とした二元配置分散分析を行った後、有意差の見られた要因についてはTukeyのHSD検定により多重比較を行った。また、卵期間については、日長と温度を変動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。幼虫、蛹、および卵から成虫までの期間は、羽化個体を対象として日長、温度、および性を変動要因とした三元配置分散分析を行った。三元配置分散分析については、ANOVA4 on the web (<http://www.hju.ac.jp/~kiriki/anova4/>) を用いた。さらに、積算温度法則の式 $D(T-T_0)=K$ から導かれる発育速度 ($1/D$) と温度 (T) との関係式 $1/D=T/K-T_0/K$ を利用して、有効積算温量 (K) を $K=1/a$ 、発育零点 (T_0) を $T_0=b \times K$ として算出した。発育段階毎の発育速度と温度との関係式の日長および性による違いについては、共分散分析を行った。

結 果

シイタケ子実体が幼虫発育に与える影響

有茸区と無茸区との間に有意な孵化率の差は見られなかった (χ^2 検定, $p=0.194$) (Table 1)。幼虫は、菌床や子実体を食べて発育し、糸で菌床表面に体を固定して蛹化した。有茸区では、幼虫は子実体を摂食した他、蛹化場所としても利用していた。

孵化数に対する蛹化率と羽化率は、有茸区でそれぞれ82.5%と74.2%であり、無茸区に比べていずれも有意に高かった (Table 1)。卵から羽化までの発育期間は、有茸区が無茸区に比べて有意に短かったが、雌雄間には有意差は見られず、交互作用も見られなかった (二元配置分散分析, 子実体: $F=63.33$, $p<0.0001$; 性: $F=3.83$, $p=0.053$; 交互作用: $F=0.58$, $p=0.561$)。蛹の体幅は有茸区で有意に大きかったが、雌雄の間に有意差は見られず、交互作用も見られなかった (二元配置分散分析, 子実体: $F=93.02$, $p<0.0001$; 性: $F=2.43$, $p=0.123$; 交互作用: $F=3.01$,

Table 1. Effects of shiitake mushroom fruit bodies on life history of *Neoempheria ferruginea*

	Fruit bodies	
	Present	Absent
No. of eggs used	100	100
Hatchability (%) ^a	97.0 a	97.5 a
% of hatched larvae pupating ^a	82.5 a	35.5 b
% of hatched larvae developing into adults ^a	74.2 a	33.3 b
No. of adults emerged		
Males	39	17
Females	33	14
Developmental time from egg to adult emergence (days) ^b		
Males	19.7±0.2	25.6±1.3
Females	21.4±0.4	26.6±1.4
Maximal body width of pupae (mm) ^b		
Males	1.9±0.01	1.6±0.04
Females	1.8±0.03	1.6±0.03

The larvae were reared on mycelial blocks with or without fruit bodies. Rearing was performed under constant conditions of 20°C and a photoperiodic regime of LD16:8.

^a Percentages followed by the same letter in each row were not significantly different at the 5% level (χ^2 test).

^b Mean±SE.

$p=0.052$).

菌床皮膜が幼虫発育に与える影響

平均孵化率は除袋直後の菌床で低かったが、皮膜形成後の菌床との間に有意な差は見られなかった (一元配置分散分析, $F=4.89$, $p=0.091$) (Table 2)。除袋直後の菌床における平均蛹化率 (73.3%) と平均羽化率 (71.5%) は、皮膜形成後の菌床のそれら (13.0%と12.6%) に比べて有意に高かった (一元配置分散分析, 平均蛹化率: $F=72.95$, $p<0.01$; 平均羽化率: $F=79.77$, $p<0.001$) (Table 2)。

卵から羽化までの発育期間は、除袋直後の菌床で有意に短く、雄 (16.3日間) は雌 (17.4日間) より有意に短かった (二元配置分散分析, 皮膜: $F=141.89$, $p<0.0001$; 性: $F=11.32$, $p<0.001$; 交互作用, $F=1.14$, $p=0.287$)。蛹の体幅は、除袋直後の菌床で有意に大きく (二元配置分散分析, $F=509.89$, $p<0.0001$)、雌雄の間 ($F=26.14$, $p<0.0001$) にも有意な差が見られたが、交互作用は見られなかった ($F=0.51$, $p=0.477$)。

日長・温度と発育期間との関係

孵化率には日長の違いによる有意な差は見られなかったが、温度の間には有意な差が見られた (二元配置分散分析, 日長: $F=2.12$, $p=0.219$; 温度: $F=11.13$, $p=0.019$) (Table 3)。多重比較によって孵化率は、12°Cと20, 23, および25°Cとの間に有意な差が見られた (TukeyのHSD検定, $p<0.05$)。蛹化率は、日長の間、温度の間ともに有意な差は見られなかった (二元配置分散分析, 日長: $F=0.68$, $p=0.457$; 温度: $F=1.74$, $p=0.303$) (Table 3)。羽

Table 2. Effects of shiitake mycelial block condition on development of immatures of *Neoempheria ferruginea*

	Mycelial block condition	
	Immediately after unwrapping bag	2 months after unwrapping bag
No. of mycelial blocks	3	3
No. of eggs per mycelial block	100	100
Hatchability (%) ^a	67.3±10.3 a	90.7±1.3 a
% of hatched larvae pupating ^a	73.3±0.04 a	13.0±0.04 b
% of hatched larvae developing into adults ^a	71.5±0.04 a	12.6±0.04 b
Total no. of adults		
Males	76	19
Females	67	15
Developmental time from egg to adult emergence (days) ^a		
Males	16.3±0.2	21.2±0.9
Females	17.4±0.2	23.2±0.7
Maximal body width of pupae (mm) ^a		
Males	1.9±0.01	1.6±0.03
Females	2.0±0.01	1.7±0.04

The larvae were reared on mycelial blocks immediately after unwrapping the cultivation bag and for 2 months after unwrapping the bag with fruit bodies removed. Rearing was performed under constant conditions of 25°C and a photoperiodic regime of LD16:8.

^aMean±SE. Means followed by the same letter in each row were not significantly different at the 5% level (one-way ANOVA with arcsine transformation).

Table 3. Effects of day-length and temperature on hatchability, pupation, and adult emergence of *Neoempheria ferruginea*

Day-length (L:D)	Temperature (°C)	Hatchability ^a (%)	% of larvae pupating ^a	% of larvae developing into adults ^a
16:8	12	18.3 (360)	84.0 (50)	68.0 (50)
	15	74.7 (190)	49.1 (112)	39.3 (112)
	20	91.9 (135)	79.4 (102)	74.5 (102)
	23	87.1 (140)	57.1 (119)	55.5 (119)
	25	87.0 (100)	69.4 (85)	67.1 (85)
10:14	12	18.8 (360)	91.7 (48)	79.2 (48)
	15	27.4 (175)	83.3 (48)	83.3 (48)
	20	85.2 (135)	83.2 (101)	68.3 (101)
	23	85.0 (140)	70.2 (114)	64.2 (114)
	25	84.6 (253)	44.0 (182)	42.3 (182)
<i>p</i> values by two-way ANOVA				
Day-length		0.219	0.457	0.575
Temperature		0.019	0.303	0.808

The larvae were reared on shiitake mycelial blocks with fruit bodies.

^aNumbers in parentheses represent sample size.

化率は、日長の間、温度の間ともに有意な差は見られなかった (二元配置分散分析, 日長: $F=0.37$, $p=0.575$; 温度: $F=0.39$, $p=0.808$) (Table 3).

卵期間は、日長の間、温度の間、および交互作用のいずれにも有意な差が見られた (二元配置分散分析, 日長: $F=25.48$, $p<0.0001$; 温度: $F=17743.82$, $p<0.0001$; 交互作用: $F=28.28$, $p<0.0001$) (Table 4). 温度が12°Cの場合だけ、同一温度条件下で日長の間有意な差が見られた (Tukey-Kramer法, $p<0.05$).

三元配置分散分析によって幼虫期間は、日長の間 ($F=49.94$, $p<0.0001$), 温度の間 ($F=2625.01$, $p<0.0001$), 性

の間 ($F=35.17$, $p<0.0001$), および交互作用の日長と温度 ($F=3.45$, $p=0.009$) には有意な差が見られたが、日長と性 ($F=0.05$, $p=0.832$), 温度と性 ($F=1.77$, $p=0.134$), および日長と温度と性の交互作用 ($F=1.11$, $p=0.352$) には有意な差は見られなかった (Table 4).

三元配置分散分析によって蛹期間は、日長の間 ($F=34.79$, $p<0.0001$), 温度の間 ($F=2624.31$, $p<0.0001$), 性の間 ($F=42.07$, $p<0.0001$), 日長と温度の交互作用 ($F=14.32$, $p<0.0001$), および温度と性の交互作用 ($F=13.01$, $p<0.0001$) に有意な差が見られたが、日長と性の交互作用 ($F=0.08$, $p=0.777$) と日長と温度と性の交互作

Table 4. Effects of day-length and temperature on developmental time (days) of *Neoempheria ferruginea*

Day-length (L:D)	Temperature (°C)	Mean developmental time in days±SE (sample size) at different developmental stages						
		Egg ^a	Larva		Pupa		Egg to adult	
			♂	♀	♂	♀	♂	♀
16:8	12	14.3±0.2 (66) a	37.7±0.8 (24)	39.1±0.8 (10)	11.1±0.2 (24)	12.2±0.3 (10)	62.9±0.6 (24)	65.2±0.7 (10)
	15	8.2±0.1 (142) b	23.4±0.3 (25)	25.8±0.6 (19)	5.5±0.4 (25)	6.1±0.5 (19)	36.9±0.4 (25)	39.9±0.6 (19)
	20	4.2±0.2 (124) c	14.3±0.4 (35)	15.4±0.4 (41)	4.1±0.4 (35)	4.2±0.4 (41)	22.4±0.3 (35)	23.6±0.3 (41)
	23	3.8±0.3 (122) d	12.5±0.7 (32)	15.6±0.5 (34)	2.9±0.1 (32)	3.1±0.2 (34)	19.0±0.6 (32)	19.2±0.5 (34)
	25	3.0±0.1 (87) e	10.7±0.5 (32)	11.7±0.5 (25)	2.7±0.3 (32)	2.7±0.3 (25)	16.4±0.4 (32)	17.4±0.4 (25)
10:14	12	15.1±0.3 (68) f	36.3±0.5 (25)	38.1±0.4 (13)	10.0±0.4 (25)	11.3±0.5 (13)	61.0±0.5 (25)	64.0±0.5 (13)
	15	8.0±0.0 (48) b	22.0±0.3 (23)	22.9±0.4 (17)	4.8±0.2 (23)	5.4±0.4 (17)	34.9±0.2 (23)	36.2±0.4 (17)
	20	4.1±0.2 (115) cg	12.9±0.4 (41)	14.8±0.5 (29)	3.8±0.3 (41)	3.8±0.2 (29)	20.7±0.3 (41)	22.6±0.4 (29)
	23	3.9±0.2 (119) dg	10.1±0.8 (39)	10.5±0.7 (34)	2.9±0.2 (39)	3.1±0.3 (34)	16.8±0.6 (39)	17.6±0.6 (34)
	25	3.1±0.2 (214) e	10.6±0.4 (50)	11.2±0.3 (38)	3.0±0.2 (50)	3.0±0.3 (38)	16.5±0.3 (59)	17.2±0.3 (38)
<i>p</i> values by two-way or three-way ANOVA								
Day-length (A)		<0.0001	<0.0001		<0.0001		<0.0001	
Temperature (B)		<0.0001	<0.0001		<0.0001		<0.0001	
Sex (C)		—	<0.0001		<0.0001		<0.0001	
A×B		<0.0001	0.009		<0.0001		0.002	
A×C		—	0.832		0.777		0.984	
B×C		—	0.134		<0.0001		0.008	
A×B×C		—	0.352		0.945		0.353	

The larvae were reared on shiitake mycelial blocks with fruit bodies.

^a Means followed by the different letters were significantly different at the 5% level (Tukey-Kramer's test).

Table 5. Developmental zero and thermal constant in different developmental stages of *Neoempheria ferruginea*

Developmental stages	Sex	Day-length (L:D)	Linear regression equations ^a				Developmental zero (<i>T</i> ₀) (°C)	Thermal constant (<i>K</i>) (degree-day)	Results of ANCOVA
			Slope±SE	y-intercept±SE	<i>p</i> value	<i>R</i> ²			
Egg		16:8	0.0195±0.0014	−0.1659±0.0269	<0.01	0.9855	8.5	51.3	<i>F</i> =0.24
		10:14	0.0187±0.0017	−0.1532±0.0333	<0.01	0.9757	8.2	53.5	<i>p</i> >0.05
Larva	♂	16:8	0.0050±0.0002	−0.0332±0.0038	<0.01	0.9957	6.6	198.6	<i>F</i> =3.74
		10:14	0.0057±0.0006	−0.0387±0.0123	<0.01	0.9645	6.8	176.5	<i>p</i> <0.05
	♀	16:8	0.0047±0.0002	−0.0313±0.0031	<0.01	0.9967	6.6	210.9	
		10:14	0.0053±0.0006	−0.0363±0.0127	<0.01	0.9571	6.8	188.8	
Pupa	♂	16:8	0.0212±0.0019	−0.1569±0.0373	<0.01	0.9764	7.4	47.1	<i>F</i> =0.49
		10:14	0.0183±0.0027	−0.0961±0.0525	<0.01	0.9397	5.3	56.7	<i>p</i> >0.05
	♀	16:8	0.0216±0.0015	−0.1736±0.0285	<0.01	0.9866	8.0	46.3	
		10:14	0.0188±0.0018	−0.1170±0.0349	<0.01	0.9738	6.2	53.2	
Egg to Adult	♂	16:8	0.0034±0.0001	−0.0245±0.0018	<0.01	0.9978	7.2	293.6	<i>F</i> =4.49
		10:14	0.0036±0.0003	−0.0250±0.0053	<0.01	0.9828	7.0	280.5	<i>p</i> <0.05
	♀	16:8	0.0033±0.0001	−0.0240±0.0011	<0.01	0.9991	7.3	304.3	
		10:14	0.0034±0.0002	−0.0242±0.0043	<0.01	0.9879	7.1	293.6	

^a Linear regression equation is expressed as $1/D = [\text{slope}]T + [\text{y-intercept}]$, where *D* and *T* indicate developmental time in days and centigrade temperature, respectively.

用 ($F=0.19$, $p=0.945$) に有意な差は見られなかった (Table 4).

三元配置分散分析によって卵から羽化までの発育期間は、日長の間 ($F=51.35$, $p<0.0001$), 温度の間 ($F=6466.09$, $p<0.0001$), 性の間 ($F=51.01$, $p<0.0001$), 日長と温度の交互作用 ($F=4.41$, $p=0.002$) と温度と性の交互作用 ($F=3.46$, $p=0.008$) に有意な差が見られたが、日長と性の交互作用 ($F=0.00$, $p=0.984$) と日長と温度と性の交互作用 ($F=1.11$, $p=0.353$) には有意な差は見られなかった (Table 4).

すべての発育段階で、温度と発育速度との間に有意な直線関係が見られた (Table 5). 卵から羽化までの期間の発育零点は、性や日長による大きな違いは見られず、7.0～7.3°Cの範囲内であった (Table 5). 卵から羽化までの期間の有効積算温度は、LD16:8の雄と雌でそれぞれ293.6と304.3日度、LD10:14の雄と雌でそれぞれ280.5と293.6日度となり、雌雄ともに短日で小さかった (Table 5). 共分散分析から、幼虫期 ($F=3.74$, $p<0.05$) と卵から羽化までの期間 ($F=4.49$, $p<0.05$) において、温度に対する発育速度の直線回帰式の傾きの間に有意な差が認められた。これ

らについて、Bonferroni法で危険率を調整した多重比較を行ったが、いずれの組合せでも有意な差は見られなかった。

考 察

本種は、菌床シイタケ栽培の普及とともに新たに発生した害虫であり、生態の解明や防除法に関する研究を効率的に推進するには、実験供試虫を生産できる飼育方法の確立が必要である。今回の実験により、シイタケ菌床を用いて本種を卵から成虫まで人工条件下で飼育できることが明らかになった。その際、菌床上に発生した子実体を残したまま飼育することで、幼虫の生存率の向上、発育期間の短縮、および得られる蛹の体サイズを向上させられることがわかった (Table 1)。大きい雌成虫ほど羽化当日の蔵卵数が多い (北島, 未発表)、大量飼育には体サイズが大きい方が望ましい。さらに、除袋後一定期間が経過して皮膜が形成された菌床では、幼虫の生存や発育に悪影響が及ぶこともわかった (Table 2)。一般に、完熟菌床を除袋すると、直ちに子実体が発生する。したがって、接種卵数に対してより多くの、かつより大きい成虫を得るためには、完熟菌床を除袋後直ちに使用すればよいと考えられた。

今回の実験では、発育に対する日長と温度の影響や (Table 3)、温度毎の発育期間が明らかになった (Table 4)。今後、これらのデータを利用して温度を制御した供試虫の計画的な生産を行うことができるようになった。特に、大量の実験供試虫生産という点からは、12°CおよびLD10:14の15°Cで孵化率が低くなったことから、これらの飼育条件は避ける必要があると考えられた。また、温度と発育速度との間に高い相関が得られ (Table 5)、卵から羽化までの期間の発育零点 (7.0~7.3°C) と有効積算温量 (280.5~304.3日度) は、桐谷 (1997) のハエ目の発育零点 (7.8°C) と有効積算温量 (290.8日度) と大きな違いはなかった。原木栽培でシイタケ子実体を食害するフタモントンボキノコバエ *Exechia insularis* (Diptera: Mycetophilidae) の発育零点は、雄で1.85°C、雌で2.15°Cと報告され (岩澤・石谷, 2005)、ナガマドキノコバエに比べてかなり低い。これは、フタモントンボキノコバエの成虫が冬期に発生して繁殖するためと考えられる。ナガマドキノコバエは簡易栽培施設では冬期の発生はほとんど見られないが (川島, 2009)、これにはフタモントンボキノコバエに比べて本種の高い発育零点が影響している可能性が考えられる。

一般に、昆虫は日長や温度を感受して、生活史を調節する (Tauber et al., 1986)。今回の実験では、12°CおよびLD10:14の15°Cで孵化率が低下した (Table 4)。このことは、低温や短日低温条件での卵の発育休止の可能性を示唆する。しかし、今回の実験では未孵化卵の発育状態等を調べていないため、今後短日低温条件下における発育の詳細

な検討が必要である。また、卵から羽化までの期間はLD10:14で短く (Table 4)、有意差は見られなかったものの、有効積算温量はLD10:14でLD16:8よりも小さくなった (Table 5)。このことは、短日条件での発育促進を示唆する。短日での発育促進はムラサキツバメ *Narathura bazalus* (Lepidoptera: Lycaenidae) で報告されている (井上・小山, 2003)。ムラサキツバメは成虫越冬なので、晩秋に早く羽化するための適応であると考えられている (井上・小山, 2003)。ナガマドキノコバエでは、野外での生活史、特に越冬時の発育段階は不明であるため、このような日長や温度に対する反応の意義については、今後の生活史の解明とともに議論する必要がある。

幼虫期間、蛹期間、および卵から羽化までの期間は、有茸区と無茸区との実験 (Table 1) 以外では、雄が雌より有意に短く (Table 4)、卵から羽化までの有効積算温量も有意差は見られなかったが、雄の方が小さかった (Table 5)。これらのことは、雌より雄が早く羽化することを示唆する。マッシュルーム栽培の害虫であるツクリタケクロバネキノコバエ *Lycoriella ingenua* (= *L. mali*) (Diptera: Sciaridae) でも、卵から羽化までの発育期間は雌より雄が短い (後藤・伊藤, 1995)。これは、雄が培土上を徘徊しながら羽化してくる雌を探して交尾するためと考えられている (後藤, 未発表)。ナガマドキノコバエでは配偶行動は明らかになっていないが、防除法の開発上重要な点である。このため、今回開発された人工飼育技術を活用して、配偶行動の解明やフェロモンの同定など防除法の開発につながる研究を進展させる必要がある。

摘 要

菌床シイタケ栽培の害虫であるナガマドキノコバエの幼虫の、シイタケ菌床を用いた効率的な飼育方法を開発した。雌雄成虫1ペアをシイタケの柄と蒸留水で湿らせたろ紙片とともにポリ袋に入れた。シイタケの柄やろ紙片に産下された卵をピンセットを用いて別のろ紙片に乗せてから、培養袋から取り出した菌床の上に置いた。幼虫は、菌床および子実体を食べて発育し、菌床表面で蛹化した。除袋直後の菌床を用いたり、菌床上に発生した子実体を残しておくと、羽化率が高く、発育期間が短く、大きな蛹が得られた。日長をLD16:8またはLD10:14、温度を12, 15, 20, 23または25°Cにして、卵から成虫として羽化するまで飼育した。卵から羽化までの期間の発育零点と有効積算温量は、LD16:8で飼育した雄と雌では、それぞれ7.2°Cと293.6日、7.3°Cと304.3日度であり、LD10:14で飼育した雄と雌では、それぞれ7.0°Cと280.5日度、7.1°Cと293.6日度であった。

引用文献

- 馬場隆彦 (2008) 菌床栽培③ (ジャパンアグリテック方式). 2008 年度版きのこ年鑑 (きのこ年鑑編集部 編). プランツワールド, 東京, pp. 159–165. [Baba, T. (2008) Production of shiitake mushroom on sawdust medium beds ③ (Japan agritech method). In *Kinoko Nenkan* (Kinoko Nenkan Hensyu-bu, ed.). Plants world Co. Ltd., Tokyo, pp. 159–165.]
- 後藤忠男・伊藤雅道 (1995) 菌床栽培における主要害虫の簡易同定法とクロバネキノコバエ類の防除法. きのこ菌床栽培の病原菌と害虫 (農林水産技術会議事務局・森林総合研究所編). 農林水産技術会議事務局・森林総合研究所, 茨城, pp. 41–54. [Goto, T. and M. Ito (1995) Simple identification methods for major insect pests of sawdust-based mushroom cultivation and control methods of mushroom sciarids. In *Diseases and Pests in Sawdust-Based Mushroom Cultivation* (Agriculture, Forestry and Fisheries Res. Council Secretariat, Forestry and Forest Products Res. Inst., eds.). Agriculture, Forestry and Fisheries Res. Council Secretariat, Forestry and Forest Products Res. Inst., Ibaraki, pp. 41–54.]
- 井上大成・小山達雄 (2003) 茨城県産ムラサキツバメの幼虫・蛹の發育における温度・日長反応および蛹越冬の可能性の検討. 蝶と蛾 54: 163–176. [Inoue, T. and T. Koyama (2003) Effects of photoperiod and temperature on development of immature stages and potentiality of pupal overwintering in the Ibaraki population of *Narathura bazalus* (hewitson) (Lepidoptera, Lycaenidae). *Trans. lepid. Soc. Japan* 54: 163–176.]
- 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. [Ishitani, E. (2009) Cultivation style and pest of Shiitake (*Lentinula edodes*) saw-dust cultivation in Chiba Prefecture. *Kanto J. For. Res.* 60: 231–232.]
- 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. [Iwasawa, K. (1999) Trapping test of *Neoempheria ferruginea* and *Drosophila immigrans* infesting in the *Lentinula edodes* cultivating house. *Trans. Kanto Br. Jpn. For. Soc.* 50: 167–168.]
- 岩澤勝巳・石谷栄次 (2005) 露地発生の原木シイタケに発生した *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. [Iwasawa, K. and E. Ishitani (2005) Damage by *Exechia insularis* in *Lentinus edodes* fruit bodies grown outdoors of wood-log cultivation. *Trans. Kanto Br. Jpn. For. Soc.* 56: 191–192.]
- 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. [Kawashima, Y. (2009) Seasonal fluctuations of *Neoempheria ferruginea* a pest of *Lentinula edodes* mycelia block cultivation in Gunma Prefecture. *Kanto J. For. Res.* 60: 273–274.]
- 桐谷圭治 (1997) 日本産昆虫, ダニ, 線虫の發育零点と有効積算温度. 農環技研資 21: 1–72. [Kiritani, K. (1997) The low development threshold temperature and the thermal constant in insects, mites and nematodes in Japan. *Misc. Publ. Natl. Inst. Agro-Environ. Sci.* 21: 1–72.]
- 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. [Kitajima, H. and M. Tokoro (2012) Diel activity pattern of *Neoempheria ferruginea* (Brunetti) (Diptera: Mycetophilidae), a harmful fungus fly in *Lentinula edodes* sawdust-based cultivation. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 56: 19–22.]
- 林野庁 (1995) 平成6年特用林産関係資料. 林野庁, 東京. 35 pp. [Forestry Agency (1995) *Heisei 6 nen Tokuyou-rinsan Kankei Shiryō*. Forestry Agency, Tokyo. 35 pp.]
- 林野庁 (2009) 平成20年特用林産基礎資料. 林野庁, 東京. 113 pp. [Forestry Agency (2009) *Heisei 20 nen Tokuyou-rinsan Kiso Shiryō in 2008*. Forestry Agency, Tokyo. 113 pp.]
- 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. [Sakata, T., K. Taki and H. Katarao (1990) Occurrence and control of Shiitake mushroom pest, Nagamadokinokobae (*Neoempheria ferruginea*). *Appl. For. Sci.* 8: 225–226.]
- Tauber, M. J., C. A. Tauber and S. Masaki (1986) *Seasonal Adaptations of Insects*. Oxford Univ. Press, New York. 411 pp.
- 徳島県 (2011) 菌床シイタケ栽培技術指針. <http://www.pref.tokushima.jp/files/00/01/22/94/system/kinshoshitakesaibaigijyutushishin.pdf> (2011年8月4日閲覧)
- 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. [Yano, K. (2009) Control of insect pests of *Lentinus edodes* mycelia block cultivation by adhesive trap. *Kanto J. For. Res.* 60: 269–272.]
- 湯嶋 健・釜野静也・玉木佳男 (編) (1991) 昆虫の飼育法. (社) 日本植物防疫協会, 東京. 392 pp. [Yushima, K., S. Kamano and Y. Tamaki (eds.) (1991) *Rearing Methods of Insects*. Japan Plant Protection Association, Tokyo, 392 pp.]