

チバクロバネキノコバエ(Bradysia paupera)の配偶行動とその制御要因

誌名	日本応用動物昆虫学会誌
ISSN	00214914
著者名	本田,洋 河野,義明 劉,益寧
発行元	日本応用動物昆虫学会
巻/号	46巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 23-30
発行年月	2002年2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



チバクロバネキノコバエ (*Bradysia paupera*) の配偶行動とその制御要因

劉 益寧・本田 洋・河野義明

筑波大学農林学系

Mating Behavior and Its Regulatory Factors in the Black Fungus Gnat, *Bradysia paupera* (Diptera: Sciaridae). Yining Liu, Hiroshi Honda and Yoshiaki Kohno (Institute of Agriculture and Forestry, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 46: 23-30 (2002)

Abstract: In order to develop a new strategy for control of *B. paupera*, a serious pest insect in production of mushroom, *Agaricus bisporus* the mating behavior and related regulatory factors were elucidated in laboratory experiments. Mating behavior was analyzed by observation of 75 pairs of cultured flies. The typical mating sequence was: 1) beginning of male intermittent wing fanning (WF), 2) walking in a zigzag approach (ZA) while continuing WF, 3) abdominal curling (AC) forward beneath the thorax while opening claspers to grab female abdomen when near the female, 4) pivoting 180 degrees around body axis (P180), 5) mating occurrence (MO). This sequence was very stereotypical whereas the females exhibited no characteristic synchronous actions. Mated females refused copulation with subsequent male copulation attempts by kicking the male off with the hind legs or escaping the males mating attempts. Bioassay results demonstrated that a female produced volatile sex pheromone evokes typical male copulating behavior. The threshold activity of the crude female extract eliciting WF and ZA in males was shown to be 2×10^{-3} female equivalents (FE) in the tube assay. Attractive activity of female extract was corroborated in wind tunnel assays. Male flies showed WF, ZA, and AC responses to all parts of the female body. Effects of female age on male responsiveness to pheromones seemed non-critical, because males demonstrated all responses (WF, ZA, AC) whenever exposed to females from the teneral period to 3 days after emergence. Males responded to melanized pupae with WF and ZA. In male flies, sexual responses began 30 min after adult eclosion, and increased to a maximum 2 h after emergence.

Key words: Sciaridae, fungus gnat, *Bradysia paupera*, mating behavior, sex pheromone

緒 言

近年、食用キノコ類栽培舎において、キノコバエ類が恒常的に発生し、幼虫による子実体の食害や成虫による病原菌の媒介など大きな被害がしばしば発生している(笹川, 1993; 石谷ら, 1993, 1997; 後藤ら, 1999)。マッシュルーム *Agaricus bisporus* (ツクリタケ) などの施設栽培ではツクリタケクロバネキノコバエ, *Lycoriella mali* とチバクロバネキノコバエ, *Bradysia paupera* が特に問題となり、防除が必要である。

キノコバエ類の防除には、これまでに燻煙剤 (Cantelo, 1989) や発育制御剤 (IGR) (King, 1991) などの各種殺虫剤、さらにBT剤 *Bacillus thuringiensis* (Osborne et al., 1985)、捕食性ダニ *Hypoaspis miles* (Wright and Chambers, 1994; Ydergaard et al., 1997)、寄生性線虫 *Steinernema feltiae* (Gouge and Hague, 1994) および寄生バチ *Synacra* sp. (Hellqvist, 1994) が用いられてきた。しかし、それらは必ずしも十分な防除効果を示してしない。また、キノコ類は薬剤が高度に蓄積する性質があり、食材としての農薬が残留することは好ましくない(佐藤・浅輪, 1995; 佐藤ら, 1995)。

さらに、多くのキノコバエ類の世代期間は短く、キノコ類の周年栽培においては短時間に多くの世代が繰り返されるため、薬剤抵抗性の発達は極めて容易であると考えられる。実際に、欧米では既に *L. mali* の殺虫剤抵抗性の発達が報告されている (Brewer, 1990; Bartlett and Keil, 1997)。日本の一部キノコ施設栽培地では防除と発生予察のために蛍光灯やブラックライトが使用されているが、ブラックライトでは主に雌成虫が誘殺されるので効果に性差があり(石谷ら, 1997)、防除手段としては十分な効果が期待できない。このような問題を考慮すると、キノコバエ類のように、その発生が外界から隔離された閉鎖環境である施設栽培である場合には、フェロモンあるいはカイロモンは有効な防除手段としての利用が期待できる。

これまでに、双翅目昆虫ではイエバエ科やミバエ科で誘引物質や性フェロモンが同定されているが (Mayer and McLaughlin, 1991)、キノコバエ類の性フェロモンについての報告はごく僅かである (Kostelc et al., 1979, 1980; Alberts et al., 1981; 後藤ら, 1999)。*n*-Heptadecane はツクリタケクロバネキノコバエの性フェロモンとして Kostelc et al. (1980) により同定されたが、後藤ら (1999) は日本に分布する同

種に対して、この物質に性フェロモン活性を確認できなかった。本研究では性フェロモンを用いたチバクロバネキノコバエの防除体系の確立の一環として、本種の配偶行動の行動連鎖を解析するとともに、配偶行動の解発要因としての性フェロモンの機能と性質を雌の性成熟との関係や性フェロモンに対する雄の反応性という視点から明らかにした。

本研究のきっかけを与えて頂いた独立行政法人森林総合研究所森林昆虫研究領域の中島忠一博士、所雅彦博士および中牟田博士に深厚なる謝意を表する。またキノコバエの採集に便宜を計って頂いた千葉県林業試験場の岩澤勝巳氏に謝意を表する。

材料および方法

1. 供試昆虫

供試昆虫は千葉県海上町のマッシュルーム（ツクリタケ）栽培舎内で採集した雄雌成虫を次の2つの方法で累代飼育したものである。大量飼育は、後藤ら（1999）によるツクリタケクロバネキノコバエ、*L. mali* の飼育方法に幾つかの変更を加えて以下のように行った。蓋付きプラスチック容器（33 cm×46 cm×高さ23 cm）の底にテトロンゴース（33 cm×44 cm, T-900 ポリエステル、東レ）を敷き、さらに適当に水分を加えた実験動物用の木片床敷（ホワイトフレーク、日本チャールスリーバ）を約2 cmの厚さに敷いた。この上に市販のシイタケ菌床（11 cm×18 cm×13 cm、青山菌茸センター）を1個置き、成虫の産卵基質と幼虫の餌とした。この菌床を恒温器内で約20°Cで約10日間保持し、キノコ子実体の発育をさせるとともに木片層全体へ菌糸展開させた。子実体を取り除いた後、適当な数の雌雄成虫を同容器内に放飼し、全暗条件下20~22°Cで飼育した。容器から取り出した子実体は5°C下に保持し、幼虫の発育程度に応じて飼料として適宜補充した。通常、この方法によって3~4世代を連続して飼育可能であった。

一方、本種の既交尾雌がいずれかの性の子だけを産む（unisexual offspring）性質（Harris et al., 1996）を利用して、日齢の揃った未交尾の雄雌成虫を別個に得るための性別飼育法を以下のように行った。ガラスシャーレ（直径5 cm×深さ1 cm）の底に湿った濾紙（Advantec, No. 101）を敷き、その上にキノコ子実体の傘部小片（約1 cm³）を裏面を上に向けて置き、それから上述の大量飼育法で得た既交尾雌を1頭ずつシャーレ中に放飼して産卵させた。幼虫が孵化した後、過剰な水分を除去した子実体片と湿った木片をシャーレ内に加えて、22~25°Cの全暗条件下で飼育した。この方法による飼育では、各シャーレ内で最初に羽化した次世代個体の性を判別すれば他の個体の性別を知ることができる。

2. 配偶行動連鎖の観察

性別飼育によって得た羽化後1~2日齢の処女雌と1~3日齢の未交尾雄成虫からなる75組を用いた。湿らせた脱脂綿小塊を入れて両側をテトロンゴースで閉じたガラス管（長さ12.5 cm×直径3 cm）に吸虫管で雄を入れ、2分間放置した後に雌と遭遇させた。行動連鎖の観察は予備試験の結果に基づき、雄の行動を羽ばたき（WF）、ジグザグ歩行による接近（ZA）、腹曲げ（AC）、把握器で雌の腹末端を捕捉しながら体軸の180°回転（P180）、交尾（MO）の5項目に分けて、各項目の有無と継続時間を、ガラス管に雌雄を入れてから10分間観察し記録した。また同時に雌の行動についても逐次観察記録するとともに、1回目の交尾終了後の5分間の雌雄の行動も観察した。

3. 雌性フェロモンの抽出と生物検定

1) 雌性フェロモンの抽出

上述の性別飼育法で得た羽化後2日齢以内の雌成虫100頭を3 mlのヘキサンに室温下で2時間浸漬して抽出し、抽出物をガラスウールで濾過した後、N₂気流下で4雌当量/μlに濃縮した（以下、特に断らない限り、これを粗抽出物とする）。粗抽出物は使用するまで-20°C下に保存した。

2) 集団試験（Cage assay）

底面にテトロンゴースを張った換気窓（縦3 cm×横4 cm）と試料の出し入れのための小窓を設けたプラスチック容器（直径15 cm×高さ9 cm）を用いた。この容器を湿潤濾紙（20 cm×20 cm, Advantec, No. 101）上に底面を上にして伏せた。小窓から一回に4頭の羽化後2日齢以内の雄成虫を同容器内へ吸虫管で入れ、10分間放置した後に以下の検定試料を入れてから3分間の雄の行動反応を“WF”、“ZA”、“刺激源への飛翔定位（OF）”、“刺激源へ着地（LO）”と“AC”に分けて記録した。検定試料としては、2日齢以内の未交尾の雌成虫4頭、それぞれ1雌当量の粗抽出物を塗布した4雌分の虫体抽出残渣、および無処理の4頭分の雌虫体抽出残渣を用いた。各試料はプラスチックバスケット（直径7 mm×深さ10 mm）内に入れ、バスケットを観察容器内に吊り下げた。このバスケットは医薬錠剤の封入に用いられているプラスチックカプセルの表面に通気小孔をあけて作製した。検定はすべて25±2°C、照度2,000 lx（蛍光灯）の条件下で、集団飼育法で得た雄成虫を用いて少なくとも7回以上繰り返した。

3) 個別試験（Tube assay）

一端の口をテトロンゴース、他端を脱脂綿で閉じたプラスチック円筒管（長さ4.5 cm×直径1 cm）中に、集団飼育で得た雄成虫を脱脂綿側の口から1頭ずつ収容した。検定に先立ち、この円筒管のゴース蓋を取り外し、口を下にして湿潤濾紙上に立てて、5分以上順応させるとともに水分を与えた。濾紙片上に置いた検定試料を雄成虫を収容した円筒管の口内に入るように立て、その後2分間の雄の行動

を観察し、それを WF, ZA, AC に分けて記録した。検定試料としての雌粗抽出物は 1 μ l あたり 2, 0.2, 0.02, 0.002 FE にヘキサンで希釈し、これらの 1 μ l を三角形の濾紙片（高さ 1 cm $\times$ 底辺 5 mm, Advantec, No. 101）に塗布して使用した。検定は集団試験法の場合と同じ環境条件下で、新たな雄成虫を用いて少なくとも 15 回以上繰り返した。

4) 風洞試験

風洞誘引試験にはアクリル製風洞（長さ 200 cm $\times$ 直径 30 cm）を用いて、風速 25 cm/s, 25 $\pm$ 2°C, 照度 500 lx の照明（蛍光灯）下で行った。試料としては風洞内の風上に 5 FE の雌粗抽出物を塗布した濾紙片を粘着トラップ（幅 10 cm $\times$ 奥行き 5 cm $\times$ 高さ 4 cm）の中に設置した。集団飼育法で得た 20 頭の 1~2 日齢の雄成虫を風洞内の 180 cm 風下から放し、3 分後および 8 分後の雄成虫の反応行動と風洞内での分布を 50 cm の区画毎に調べた。試験は 3 回以上反復し、対照区には同量のヘキサンだけを塗布した濾紙片を使った。各区画内の平均雄成虫数を対照実験での平均雄成虫数と比較し、*t*-検定で有意差の有無を調べた。

4. 雌雄の性成熟度

性別飼育により得られた雌個体を発育段階の違いにより以下の 7 段階; 1) 未成熟蛹期（白色蛹）、2) 成熟蛹期（黒化蛹）、3) 羽化直後（0~5 分）、4) 羽化後 30 分、5) 羽化後 2 時間、6) 羽化後 1 日、7) 羽化後 3 日に区別した。これらをそれぞれ両面テープで濾紙上に軽く固定した後に 1 日齢の 20 頭の雄成虫を用いて個別試験法により WF, ZA, および AC の各反応率を調べた。また、雄の性成熟と反応性については、1 日齢の雌に対する羽化直後（10 頭）、羽化後 30 分（14 頭）、羽化後 2 時間（10 頭）、羽化後 1 日（10 頭）、羽化後 3 日（20 頭）の雄の反応率も同様に調べた。

5. 性フェロモン活性の安定性

フェロモン活性の持続性を調べるために、羽化後 1~2 日齢の 30 頭の雌成虫を 5 頭ずつ 6 区に分けて、期間を変えて -10°C で保存した。最初の 4 区は 5 分、2 時間、3 日および 30 日間冷凍保存し、その後室温に戻してから実験に用いた。また他の 2 区は、1 時間冷凍してから室温下で 3 日および 6 日間風乾した後に検定試料として用いた。これらの試料のフェロモン活性の程度は個別試験法で調べた。なお、-10°C で 5 分間の冷凍では雌成虫は麻痺するだけで死亡することはない。

6. 雌性フェロモンの存在部位

集団飼育した 1 日齢の未交尾雌成虫を -10°C で 5 日間冷凍麻酔した後に、体を実体顕微鏡下で眼科用尖刀を用いて頭部、胸部と脚、翅、腹部の 4 つに分けた。各部位は 4 頭分を 1 つの試料とした。また、同様に分別した 1, 2 日齢雌成虫の同じ 4 部位を前法に従ってヘキサンで 30 分間抽出し、各部位の 4FE を濾紙片に塗布したものを試料とし

た。これらの試料に対する 1~2 日齢の雌成虫 25 頭の反応を個別試験法で調べた。

結 果

1. 配偶行動の行動連鎖

観察した 75 組のうち観察時間内に交尾した組は 43 組であった。Fig. 1 に示したように、配偶行動は以下の行動連鎖で構成されていた。まず、雄が雌の存在を感知したことは WF を開始したことによって判定できた（57 頭）。つぎに雄は ZA しながら雌に接近した（46 頭）、さらに雌に接近すると腹部の先端を腹側に曲げて前脚の間から前方に突き出す（AC, 45 頭）行動を示した。このうち、23 頭は明らかに触角あるいは前脚により雌の体と接触した後に AC 腹曲げ行動を行ったが、他の 22 頭は雌の体と接触する以前に至近距離で AC 行動を示した。続いて雄は雌の腹部末端を把握器で捕捉しながら体を 180° 回転させて交尾した（43 頭）。このように、雄は雌に対して定型行動を示したのに対して、雌には特徴的な行動が観察されなかった。交尾継続時間は最短で 2 分 18 秒、最長で 6 分 19 秒であり、平均は約 3.08 分であった。交尾した雄のうち 31 頭は分離後休息か歩行の後に、既交尾雌に対して再度交尾を試みたが、大部分の雌はほぼ 3 秒以内に逃げたり、後脚で雄を蹴るなどの行動により再交尾を拒絶した。なお、この観察例中では雌に向っての雄の飛翔は確認できなかったが、以下に述べる広い空間を用いた集団試験法や風洞試験では雌に対する OF が観察された。

2. 雌性フェロモンの存在

集団試験法で調べた結果、バスケット中に収容した処女雌に対して、供試した 28 頭の雄においては WF や ZA に加えて、OF と刺激源（雌を入れたバスケット）への LO が観察され（Fig. 2）、それらの発現割合は、それぞれ 57.1%, 28.6%, 67.9%, 64.3% であった。

雌虫体のヘキサン抽出残渣の活性は著しく低下した（WF, 0%; ZA, 0%; OF, 13%; LO, 5.6%）が、雌抽出物を残渣虫体に再処理すると、それぞれ 31.3%; 34.4%; 50%; 34.4% にまで回復した（Fig. 2）。なお、雌を収容したバスケットに飛来した雄は腹曲げ行動（AC）を全く示さず、また雌抽出物を再処理した残渣虫体に対しても AC はほとんど観察されなかった。

3. 性フェロモンの活性と誘引効果

個別試験法により雌抽出物に対する雄の反応性を検討した結果を Fig. 3 に示した。雄には 2×10^{-3} FE の抽出物に対しても WF や ZA 反応が見られ、これらの反応は薬量依存的に増加し、2 FE で 100% に達した。しかし、供試した薬量の範囲内では AC は見られなかった。

風洞による誘引試験では（Table 1）、誘引源に雌抽出物を用いた場合、試験開始 3 分後に放虫点を含む第 1 区画内

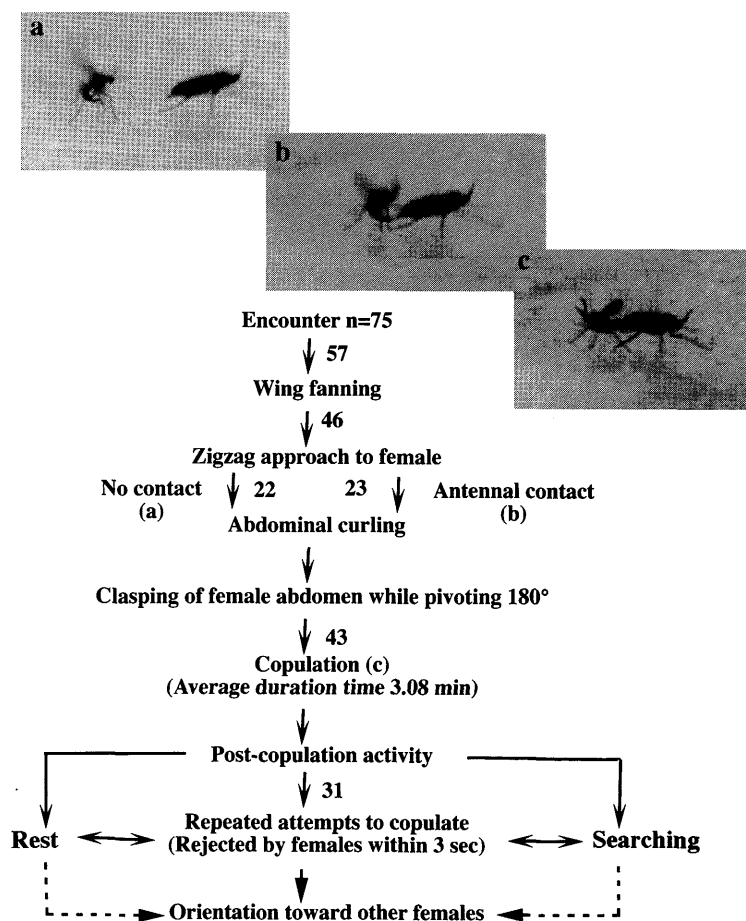


Fig. 1. Behavioral sequence in the mating of *B. paupera*. Arrows show steps of the sequence, Arabic numerals give the number of males that elicited each descriptive behavior; dashed lines with arrows indicate the possibility of males to mate with other females. Three photographs show behaviors corresponding to parenthesized a, b, and c.

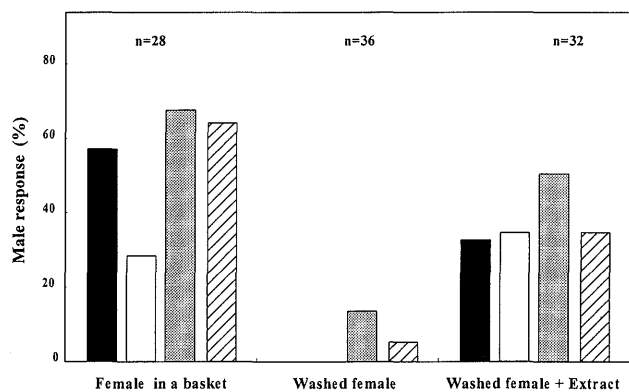


Fig. 2. Behavioral response of *B. paupera* male to live females, washed female bodies, and washed female bodies laden with crude female extract in the cage assay. ■ Wing fanning, □ Zigzag approach, ■ orientation flight, ▨ landing on stimulus source.

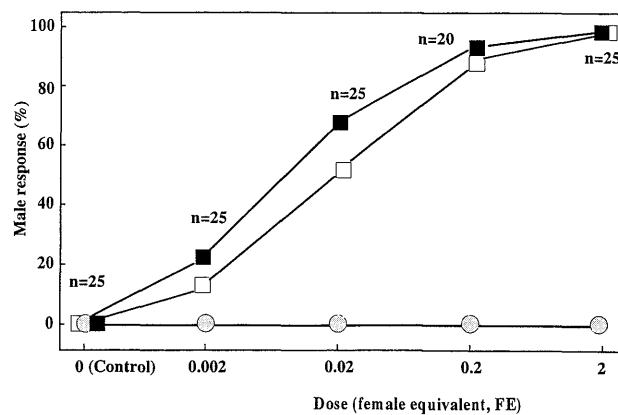


Fig. 3. Behavioral response of *B. paupera* male flies to female extracts in the tube assay. ■ Wing fanning, □ Zigzag approach, ● Abdominal curling.

Table 1. Long distance attractability of female extracts to male flies of *B. paupera* in the wind tunnel test

Time after males release	Treatment	Male flies (%)				
		Section-1	Section-2	Section-3	Section-4	Trap ^a
3 min	Test	10.0 *	6.7 n.s	8.3 n.s	21.7 n.s	53.3 *
	Control	59.0	13.5	8.0	13.6	5.3
8 min	Test	11.7 n.s	5.0 n.s	1.7 *	15.0 n.s	66.7 *
	Control	35.0	7.5	12.5	35.0	10.0

n=20, 3 replicates for test, 2 replicates for control.

^a Sticky trap lured with crude extract of 5 female equivalent (FE).

* Significantly different from control at *p*<0.05 by *t*-test.

n.s: not significantly different.

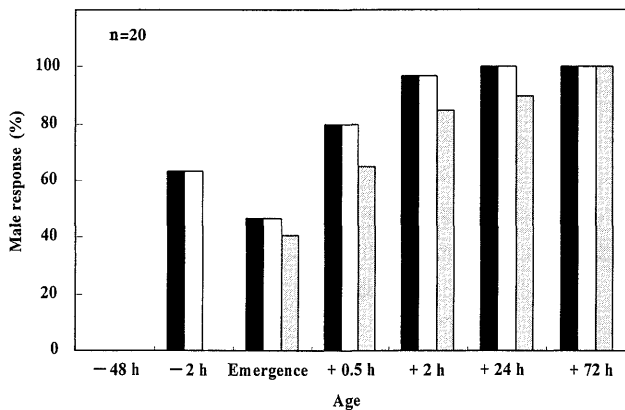


Fig. 4. *B. paupera* male responses to females of different ages in the tube assay. Before 48 h of emergence, pupae were immature and colored in white, and before 2 h were mature and black. ■ Wing fanning, □ Zigzag approach, ▒ Abdominal curling.

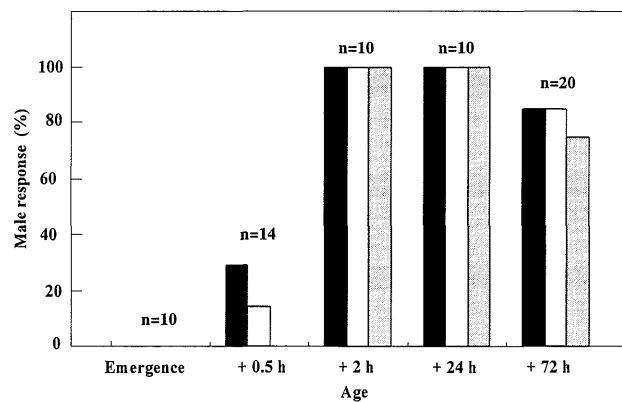


Fig. 5. Behavioral response of different age males to *B. paupera* virgin females in the tube assay. ■ Wing fanning, □ Zigzag approach, ▒ Abdominal curling.

には10.0%の雄個体が残存したが、対照試験では59.6%であった。風上の粘着トラップには3分後に53.3%の雄が捕獲され、さらに8分後には捕獲率は66.7%に達した。一方、対照試験でトラップに捕獲された割合はそれぞれ5.3%と10.0%であり、明らかに雌抽出物には雄を誘引する活性が認められた。

4. 性成熟度と反応性

蛹から羽化後の日齢進行に伴う雌の雄に対する配偶行動誘起活性（フェロモン活性）の消長をFig. 4に示した。未成熟な白色雌蛹は雄成虫に対してはいかなる配偶行動も引き起こさなかったが、黒化した成熟雌蛹は63%の雄にWFとZAを引き起こし、活性はその後の雌の日齢経過に伴って増加し、羽化後1日で最大になった。しかしながら、雌の蛹にはその成熟段階でも、雄の交尾行動の1つであるACを引き起こす活性は認められなかった。しかし、羽化

直後の雌にはやや弱いながらAC反応を引き起こす活性が存在した。この活性は、羽化後24時間で100%に達した。

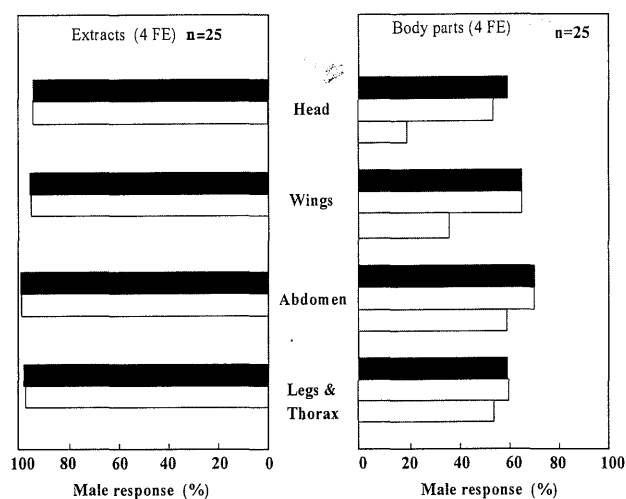
一方、雄においては羽化直後には雌に対して全く反応を示さず、羽化後30分でもWF反応率は29%で、ACは全く観察されなかった。しかし、羽化後2~3時間を経過した雄ではいずれの行動反応もほぼ80%以上に達した（Fig. 5）。

5. 雌性フェロモン活性の安定性

異なる時間冷凍保存した雌虫体あるいは乾燥状態で保存した雌虫体のフェロモン活性の消長をTable 2に示した。-10℃で5分間冷凍処理した雌は十分な性フェロモン活性が見られた。さらに冷凍保存時間を2時間あるいは3日に延長しても雌死体のフェロモン活性は高く、30%の雄がWF反応を、また65~80%の雄がZAやACを示した。しかし30日後ではいずれの反応も著しく低下し、特にACはWFやZAよりも著しく失われた。さらに、乾燥状態で3日経過した雌虫体の活性は同じ期間冷凍保存されたものの

Table 2. Behavioral responses of *B. paupera* males to female body with different treatments in the tube assay

Treatments (5 females)	No. of males	Response (%)		
		Wing fanning	Zigzag approach	Abdominal curling
Immobilized (5 min at -10°C)	13	100	100	100
Frozen for 2 h	25	80	80	68
Frozen for 3 d	20	80	70	65
Frozen for 30 d	20	10	10	0
Dried for 3 d	25	60	60	20
Dried for 6 d	25	40	40	12

Fig. 6. Comparison of pheromonal activity of *B. paupera* female body parts in the tube assay. ■ Wing fanning, □ Zigzag approach, ▨ Abdominal curling.

活性よりもさらに低くなり、この場合も AC 活性の低下で顕著であった。

6. 雌性フェロモンの存在部位

雌の虫体各部位のフェロモン活性を個別試験法で調べた結果を Fig. 6 に示した。抽出物においては雌の体のいずれの部位にも高い WF と ZA 反応を誘起する活性が認められたが、AC 反応は全く観察されなかった。一方、切り離した雌の虫体各部位の活性レベルは抽出物に比べるとやや低かったが、雄の AC 反応を引き起こす活性が認められた。また虫体では WF と ZA 活性にはほとんど差がなかったが、AC 活性では腹部や胸部が他の部位に比べて高かった。

考 察

本研究で用いた集団飼育は全暗条件下で行われ、この際に飼育容器中の雄は交尾が可能であった。また実際のキノコ栽培舎内も通常は暗環境であることから、本種の配偶行動の解発要因として雌成虫からの視覚刺激は必須ではない

と思われる。本研究で観察されたチバクロバネキノコバエの交尾行動の流れはほぼ定型行動の連鎖であり、これは同属の *B. impatiense* の交尾行動連鎖 (Alberts et al., 1981) や笹川 (1985) による *Bradysia* 属の配偶行動に関する記述と基本的に一致する。また、一部の雄は雌と接触しなくても一連の行動を起こしたことは、雄の行動発現には雌の物理的要因と触角や前脚のふ節で受容する接触化学刺激は関与していない可能性がある。さらに、雌成虫の粗抽出物が雄成虫の WF と ZA 行動を引き起こし、また誘引活性を持つことから、本種では、雄の雌認知や配偶行動には雌由来の揮発性フェロモンが関与すると考えられる。

クロバネキノコバエ類の雄は地表を歩き回り雌を探索し、また近傍の雄や死体に対しても交尾を試みようとする (笹川, 1985)。本種でも同様の雄の行動が大量飼育容器中でも観察されていた。チバクロバネキノコバエの雌性フェロモンが、他の多くの昆虫のように交尾終了とともにその生産や分泌が終了するような時間的局在性はなかった。この事実は雌には交尾終了に伴ってフェロモンの生産や分泌を停止させる自律的制御が存在しないことを示唆している。この点はツクリタケクロバネキノコバエ, *L. mali* とは異なっている (後藤ら, 1999)。また、Fig. 4 と 5 に示したように本種の雌は成熟蛹期に既にフェロモンを持っており、また雄も羽化後 30 分で雌フェロモンに反応できる。このように早い日齢で雌雄の交尾が可能なのは、実際に受精が可能であるか否かは不明であるが、成虫の寿命が短いキノコバエ類の適応の一つであろう。

個別試験において雄が雌に接触できる場合に雄は雌に対して、また集団試験において複数の雄が雌に反応し、その場で雄同士の接触が可能な場合に雄同士の AC が観察された。しかし Fig. 6 に示したように個別試験で雌抽出物を濾紙片に処理した場合、あるいはフェロモン源としての雌がバスケット内に収容されていて雄が直接雌に接触できない場合には、濾紙片やバスケットに対しても雄は AC 反応を示さなかった。このような AC 行動の発現に見られる矛盾の原因は不明であるが、AC を解発する要因が化学成分であり、その抽出が難しいと仮定するなら、WF や ZA を引き起こす成分と AC を引き起こす成分は極性とその機能が異なる成分であるとも考えられる。これまで複数の化合物が性フェロモン成分として同定され、それらの成分の一部が他の成分に対して相乗作用を示す例が知られているが (Mayer and McLaughlin, 1991)、鱗翅目の性フェロモンでは誘引成分以外に交接行動を誘起させる揮発性の低い炭化水素などの成分が配偶行動に関わっている例もある (Ono, 1981; Grant et al., 1987)。さらに、成熟蛹にも WF や ZA 反応を引き起こす活性が存在するが、雄の AC 反応を発現させる活性は羽化後の雌にのみに存在した事実も、WF や ZA のための活性成分は蛹の表面にも存在するが AC を引き起

こす成分が蛹表面には欠如しているとすれば、両成分に違いがあるという仮説に符合する。一方、雌抽出物では十分に雄の AC を引き出せない原因として物理的要因も考えられるが、これまでの予備試験の結果からはその可能性は低い。

性フェロモンの害虫防除への応用を考える場合、活性の種特異性に加えて強い誘引活性があることが望まれる。これまでに同定された双翅目の性フェロモンの多くは接触性フェロモンであり、遠距離からの誘引性が明らかにされた種は僅かである。キノコバエ類では *L. mali* と *B. impatiense* で雌性フェロモンに雄に対する誘引性があることが示されている (Kostelc et al., 1980; Alberts et al., 1981)。本研究でも風洞を使用した誘引試験から、チバクロバネキノコバエの雌性フェロモンには雄に対する強い誘引活性があることを明らかにした。今後フェロモンの活性成分の同定とその誘引効果を実際のキノコ栽培舎内において確認することが必要であるが、多くの鱗翅目や鞘翅目害虫で実施されているような発生予察、大量誘殺あるいは交信攪乱への応用が本種においても可能であると思われる。

石谷ら (1997) によれば、クロバネキノコバエ類に対するライトトラップの誘引効果に性差があり、雌は雄よりも走光性が強く、同トラップによる雄成虫の誘殺率はキノコ栽培舎内で発生している雄個体群の 3~7% に過ぎない。したがって、雌性フェロモンとライトトラップとの併用により防除効果が上げられる可能性がある。さらに、クロバネキノコバエ類はキノコ類だけでなく、花卉類や各種の蔬菜類 (Finley et al., 1984; Harris et al., 1996) も加害するので、このような植物の栽培環境でのフェロモン利用も期待できる。Finley et al. (1984) はキノコバエ類の防除管理にはさまざまな手段を有機的に統合した総合的害虫管理 (IPM) が不可欠であると述べている。したがって、本種のフェロモンによる防除管理もこの IPM の中に組み込むことによって、その目的が達成されるものと考えられる。

摘 要

マッシュルームなどの食用キノコ類の施設栽培で問題とされるチバクロバネキノコバエの新たな防除・管理方法の開発に資するために、室内実験によって成虫の配偶行動の行動連鎖解析とその制御要因について検討した。75 組の成虫で観察された雄の一連の配偶行動は、1) 断続的な羽ばたき、2) ジグザグ歩行による探索、3) 腹端を腹側に曲げ、交尾器による雌の捕捉、4) 体軸の 180° 反転、5) 交接から構成されていた。雌成虫は雄の行動に同期した特徴的な行動は示さなかった。既交尾雌は雄のアプローチに対して後脚での蹴や逃避により受け入れを拒絶した。雌抽出物による生物試験により本種雌が雄の交尾行動を誘起する揮発性フェロモンを生産することを示した。雄の配偶行動

の解発のための抽出物の閾値は 2×10^{-3} 雌当量であり、性フェロモン活性は雌の体全体に存在した。雌は羽化直前から性フェロモン活性を示し、雄は羽化後 30 分からフェロモンに反応でき 2 時間後には反応が最大となった。

引 用 文 献

- Alberts, S. A., M. K. Kennedy and R. T. Cardé (1981) Pheromone mediated anemotactic flight and mating behavior of the sciarid fly *Bradysia impatiense*. *Environ. Entomol.* 10: 10-15.
- Bartlett, G. R. and C. B. O. Keil (1997) Identification and characterization of a permethrin resistance mechanism in populations of the fungus gnat *Lycoriella mali* (Fitch) (Diptera: Sciaridae). *Pestic. Biochem. Physiol.* 58: 173-181.
- Brewer, K. K. (1990) Stability of adaptation to permethrin in a laboratory study with the mushroom sciarid *Lycoriella mali* (Fitch) (Diptera: Sciaridae). *Mushroom News* 27: 230-238.
- Cantelo, W. W. (1989) Advances in control of the sciarid fly *Lycoriella mali* (Fitch). *Mushroom Sci.* 11: 255-264.
- Finley, R. J., P. J. Wuest, D. J. Royse, R. Snetsinger, R. Tetrault and D. L. Rinker (1984) Mushroom flies—A review of biology and a systems approach for integrated control. *Mushroom J.* 139: 240-247.
- 後藤忠男・中牟田潔・所 雅彦・中島忠一 (1999) ツクリタケクロバネキノコバエの交尾行動と性フェロモンの存在。応動昆 43: 181-184. [Gotoh, T., K. Nakamura, M. Tokoro and T. Nakashima (1999) Copulatory behavior and sex pheromone in sciarid fly, *Lycoriella mali* (Fitch) (Sciaridae: Diptera). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 43: 181-184.]
- Gouge, D. H. and N. G. M. Hague (1994) Glasshouse control of fungus gnats, *Bradysia paupera* on fuchsias by *Steinernema feltiae*. *Fund. Appl. Nematol.* 18: 77-80.
- Grant, G. G., D. Frech, L. MacDonald, K. N. Slessor and G. G. S. King (1987) Copulation releaser pheromone in body scales of female whitemarked tussock moth, *Orgyia leucostigma* (Lepidoptera: Lymantridae): Identification and behavioral role. *J. Chem. Ecol.* 13: 345-356.
- Harris, M. A., W. A. Gardner and R. D. Oetting (1996) A review of the scientific literature on fungus gnats (Diptera: Sciaridae) in the genus *Bradysia*. *J. Entomol. Sci.* 31: 252-276.
- Hellqvist, S. (1994) Biology of *Synacra* sp. (Hym., Diapriidae) a parasitoid of *Bradysia paupera* (Dipt., Sciaridae) in Swedish greenhouses. *J. Appl. Entomol.* 117: 491-497.
- 石谷栄治・後藤忠男・川崎高志 (1997) ツクリタケを加害するクロバネキノコバエ成虫に対する光誘引粘着トラップの考案とその誘引性。応動昆 41: 141-146. [Ishitani, E., T. Gotoh and T. Kawasaki (1997) Development of sticky light trap and attractiveness to mushroom infesting sciarids, *Lycoriella mali* (Fitch) and *Bradysia paupera* Tuomikoski (Diptera: Sciaridae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 41: 141-146.]
- 石谷栄次・新島淳子・伊藤雅道 (1993) 千葉県のカクリタケ生産施設におけるクロバネキノコバエ類の 1 種 *Lycoriella mali* の被害。日林関東支論 44: 175-176. [Ishitani, E., K. Nijima and M. Ito (1993) Damage of mushrooms (*Agaricus bisporus* Olat) attacked by *Lycoriella mali* (Fitch) (Sciaridae, Diptera) in Chiba prefecture. *J. Jpn. For. Soc. Kanto* 44: 175-176.]

- King, A. I. (1991) Efficacy of insect growth regulators for fungus gnat larvae control in potted foliage plants. *Hortscience* 26: 708–713.
- Kostelc, J. G., B. J. Garcia, G. W. Gokel and L. B. Hendry (1979) Macrocyclic polyethers as probes into pheromone receptor mechanisms of a sciarid fly *Lycoriella mali* Fitch. *J. Chem. Ecol.* 5: 179–185.
- Kostelc, J. G., J. E. Girard and L. B. Hendry (1980) Isolation and identification of a sex attractant of a mushroom infesting sciarid fly. *J. Chem. Ecol.* 6: 1–11.
- Mayer, M. S. and J. R. McLaughlin (1991) *Handbook of Insect Pheromones and Sex Attractants*. CRC Press, Boca Raton. 1083 pp.
- Ono, T. (1981) Factors releasing the copulatory attempt in three species of Phycitidae (Lepidoptera: Phycitidae). *Appl. Entomol. Zool.* 16: 24–28.
- Osborne, L. S., D. G. Boucias and R. K. Lindquist (1985) Activity of *Bacillus thuringiensis* var. *Israelensis* on *Bradysia coprophila* (Diptera: Sciaridae). *J. Econ. Entomol.* 78: 922–925.
- 笹川満廣 (1985) 農作物加害するクロバネキノコバエ. 今月の農薬 29: 56–60. [Sasakawa, M. (1985) Agricultural crops infested sciarid flies. *J. Jpn. Crop Prot.* 29: 56–60.]
- 笹川満廣 (1993) マッシュルームを加害するクロバネキノコバエ類. 環動昆 5: 1–5. [Sasakawa, M. (1993) Japanese mushroom gnats (Diptera: Sciaridae). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 5: 1–5.]
- 佐藤桃子・浅輪和孝 (1995) ほだ木に施用した殺菌剤フェニトロチオンのシイタケ子実体による取り込み. 日林誌 77: 220–223. [Sato, Y. and K. Asawa (1995) Uptake of the insecticide, fenitrothion, by fruit bodies of shiitake (*Lentinus edodes*) from treated bed logs. *J. Jpn. For. Soc.* 77: 220–223.]
- 佐藤桃子・関谷 敦・浅輪和孝 (1995) ヒラタケの菌床培地に施用した殺菌剤シアベンダゾールの子実体による吸収. 日林論 77: 353–357. [Sato, Y., A. Sekiya and K. Asawa (1995) The uptake of the fungicide, thiabendazole by the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivated on a sawdust medium. *J. Jpn. For. Soc.* 77: 353–357.]
- Wright, E. M. and R. J. Chambers (1994) The biology of the predatory mite *Hypoaspis miles* (Acari: Laelapidae) a potential biological control agent of *Bradysia paupera* (Diptera: Sciaredae). *Entomophaga* 39: 225–235.
- Ydergaard, S., A. Enkegaard and H. F. Brodsgaard (1997) The predatory mite *Hypoaspis miles*: Temperature dependent life table characteristics on a diet of sciarid larvae *Bradysia paupera* and *B. tritici*. *Ent. Exp. Appl.* 85: 177–187.
-