

independent joint action with interaction $r=0$ (Table 4 and Fig. 1), and these obtained at the 5th week were fitted to the dependent joint action with interaction $r=1$. In the latter case, however, it was considered that the effectiveness of EDB was already completely gone, and only that

of γ -BHC had effect on *Cryphalus*. As a result, the mortality rate obtained by the mixture became equal to that of γ -BHC. This relation is the same as that of independent joint action with interaction $r=1$. From the present experiments, no synergistic phenomenon could be recognized.

Studies on Sex Pheromones of Pyralidae. I. Changes in the Quantity of the Sex Pheromone in the Female Almond Moth, *Cadra cautella* Walker (Phycitinae). Yasumasa KUWAHARA, Chikayoshi KITAMURA, Fumiki TAKAHASHI, and Hiroshi FUKAMI (College of Agriculture, Kyoto University, Kyoto) Received October 1, 1968. *Botyu-Kagaku*, 33, 158, 1968 (with English Summary 162).

22. メイガ科の性誘引物質に関する研究 (第1報) スジマダラメイガの性誘引物質含有量の変動* 桑原保正・北村実彬・高橋史樹・深海 浩 (京都大学農学部) 43. 10. 1 受理.

スジマダラメイガ雌の性誘引物質は羽化直前の蛹にすでに少量存在し、羽化後3時間程度で最高に達し、交尾のおこなわれないときにはそのまま死ぬまで持続される。交尾した場合には、その後数時間で急激に減少した。また、性誘引物質に対する雄の感受性は羽化後7日頃まで増大することが認められる。しかし、死亡率は羽化後5日目頃より急激に増加するので、性誘引物質の生物検定に供する雄は羽化後3日目のものを用いることが最適と結論される。

鱗翅目マダラメイガ亜科 Phycitinae に属する貯穀害虫のスジマダラメイガ *Cadra cautella* Walker, スジコナマダラメイガ *Anagasta kuhniella* Zeller, チャマダラメイガ *Ephesia elutella* Hübner, ノシマダラメイガ *Plodia interpunctella* Hübner, などの雌成虫は性誘引物質を分泌することが報告されている^{1-3, 5-8, 13}。この性誘引物質を単離するためには、大量の蛾を飼育して、その中から雌を集める方法を確立することとあわせて、雌の羽化前後における性誘引物質の消長を適確に知り、その抽出に関して最も能率のよい方法の確立に基礎となる生物学的な研究が必要である。本報では、スジマダラメイガの雌の性誘引物質の含有量について、主として羽化の前後および交尾後の経時変化を検討した結果を報告する。

材料および方法

実験には主として第2報¹³に述べる系統(FT系統)を用いたが、専売公社桑野タバコ試験場から分譲された系統も若干併用した。しかし性誘引物質に関する雄の反応、雌の変化には大差はみられないのでここでは区別しないで述べる。これらの系統の同定をしていたいた農林省農業技術研究所の服部伊楚子技官に御礼申し上げる。

性誘引物質の生物検定法

性誘引物質の生物検定は本質的には Karlson およ

* この研究は文部省科学研究費の援助を受けた。

び Butenandt⁴⁾の方法にしたがい、後に述べるような理由から、つぎのようにして行なった。ガラス製腰高シャーレ(直径11cm×高さ7cm)に、羽化後3日目の雄約50頭を入れ、ガラスの蓋をする。ほとんどの蛾が落ちて静止するのを待ち、ついで直径0.5cm、長さ25cmのガラス棒の先端1cmを供試溶液に漬け、しばらく空中に保って溶媒が揮散してから、シャーレの中へ静かに挿入する。供試した雄の5頭以上が30秒以内に翅を小刻みに激しく振動させながら、ガラス棒のまわりを歩くか、飛び廻るのを認めた場合に結果を+と判定した。供試溶液は低濃度から順次検定を行ない、正の反応を示すまで、高濃度の溶液へと繰返した。同一の供試昆虫で、20種ほどの試料の検定を繰返しても、大きな誤差は認められない。検定は $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、60~80% R. H. で行なった。

試料溶液の調製にはつぎの2つの方法を用いた。まず第1の方法は供試雌1~20頭を1頭あたり1mlの塩化メチレンに浸漬し、それを今度はヘキサンを用いて順次10倍に希釈し、それぞれを 10^{-1} ♀/ml, 10^{-2} ♀/ml, ……と表示した。第2の方法は雌虫体を塩化メチレンで抽出した後、溶媒を留去し、残った抽出物1mgにつき1mlの割合でヘキサンを加えて溶解し、これを同様に順次10倍希釈して、それぞれ、 10^{-1} mg/ml, 10^{-2} mg/ml, ……と表示した。

実験結果

1. 性誘引物質に対する雄の挙動：マダラメイガ亜

科に属する蛾の雌性誘引物質に対する雄の挙動に関しては、すでに2, 3報告されているが^{7, 13)}、スジマダラメイガについては詳細な観察がなされていなかった。スジマダラメイガ雄の性誘引物質に対する挙動を観察すると、(1)触角を立て、誘引源の方向を探し、(2)その方へ歩きはじめるか、または飛び出す、(3)翅を小刻みに激しく振動させながら、誘引源のまわりを歩きまわるか、あるいは飛びまわる、(4)尾端を上方に向け、交尾姿勢をとり、ときには雄同志が交尾行動をする場合も見られる。これら一連の行動のうち、最も顕著で判別しやすい挙動である(3)を示した時をもって、性誘引物質に対する反応の指標とし、生物検定の結果を判定することとした。

羽化したスジマダラメイガ成虫の寿命は飼育条件により変動する。一般に低温では高温におけるよりも寿命が長い。また、1個体もしくは雌雄1対ごとに隔離して飼育する場合は群として1つの容器にいれられている時よりも寿命の長いことが観察される。25±1°Cで約100頭を1群として保持された場合、もちろん生息密度も影響するけれども、一般に平均して、50%が死亡するのは未交尾雄で4.5日、処女雌で6.2日、交尾雄で5.6日、交尾雌で5.3日となる。一方、隔離されたときの50%死亡時は、未交尾雄6.2日、処女雌7.5日、交尾雄5.1日、交尾雌5.0日となった。雄が群として保たれたときの死亡率の1例が第1図の曲線として示してある。羽化後4～5日目頃より死亡率の急激な上昇

このような死亡率と性誘引物質感受性とを考慮に入れて、性誘引物質の生物検定に供試する雄は羽化後3日ものものを選ぶことにした。また、雄の感受性の時刻による日週変化は顕著には認められないので、生物検定を実施する時刻には注意を払う必要はないと考えられる。

Table 1. Effect of temperature on responsiveness of male moths to the sex pheromone.

Room temp.	Responsiveness*
15°C	10 ⁻³ mg/ml (37-45 sec.)
20°C	10 ⁻³ mg/ml (25)
25°C	10 ⁻³ mg/ml (20)
30°C	10 ⁻⁴ mg/ml (15)

* The numbers in parenthesis indicate the time required for initial excitement of male moths tested.

雄の感受性の温度による影響は第1表に示した通り、温度が高くなると感受性が增大することが認められる。性誘引物質の生物検定は一定の温度条件でおこなわれなければならないことが結論される。

2. 雌性誘引物質含有量の変動：スジマダラメイガ雌の発育過程につれて性誘引物質の含有量がどのように変化するかを追求した。幼虫期は問題の対象となり得ないのは当然とみられ、蛹期、成虫期、および交尾の後における変化をみた。

まず、幼虫が蛹になって羽化するまでには30°Cで約7日を要することが知られている¹⁴⁾。蛹の初期は淡褐色で、時間の経過につれて褐色となり、羽化48時間ほど前に複眼部が黒色を呈するに至る。この期間を便宜上、褐色蛹 brown pupa と呼ぶこととする。ついで、羽化24時間前には頭部と翅の部分が黒色となる(黒色蛹 black pupa)。羽化直前に蛹のクチクラ層が割れ、灰色を呈する(灰色蛹 gray pupa)。これら蛹の3つの段階と羽化した直後およびそれ以後の段階の性誘引物質の含有量の変化を調べた3連の実験結果を第2表にまとめた。この表から明らかなように、羽化直前の灰色蛹にすでに性誘引物質の存在が認められ、羽化後3時間までその含有量は増加し、以後ほとんどが死亡する8日目までそのまま維持されている。

雌性誘引物質が交尾後消失するもの¹⁰⁾やその含有量に変化のみられないもの⁹⁾が報告されているが、スジマダラメイガでは交尾後、性誘引物質が消失することを確認した。羽化直後未交尾の雌雄を集め、14時間別々に保った後、雌雄を合して交尾させる。交尾を始めてから1時間毎に1対ずつをとり、塩化メチレンに浸漬して抽出し、性誘引物質の生物検定に供試した。その結果は第3表に示したように、交尾開始後4～5時

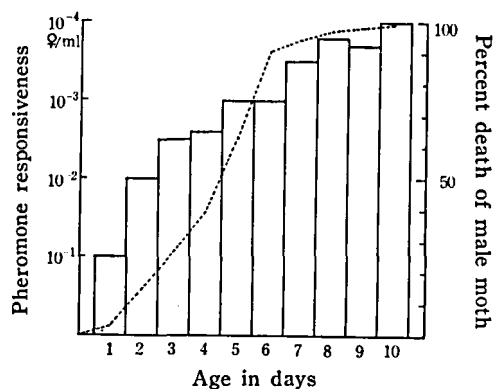


Fig. 1. The change in the pheromone responsiveness of male moth with their age after emergence. Accumulated percent death of male moths is shown by dotted line.

がみられ、6日目には90%以上に達する。

雄の羽化後の日数により性誘引物質に対する感受性が変化することは当然予想されるところであり、事実、第1図に示したように羽化後時間が経つにつれて感受性は高くなり、7日目頃からは1日目に比較して約1000倍も少ない量の性誘引物質に反応を示すに至る。

Table 2. Pheromone content in virgin females of different ages.

	Larva	Pupal stages			Hours after emergence				Days after emergence			
		Brown	Black**	Gray***	0	1	2	3	1	2	3	8
1	—*	—	—	10 ⁻¹	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻²
2	—	—	—	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻²
3	—	—	—	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³				

unit; one female-equivalent per ml.

* No activity was found at the highest concentration tested, namely one ♀ per ml.

** One day before emergence.

*** Just begins eclosion.

Table 3. Change in content of pheromone in mated females.

Exp. No.	Hours after mating								
	0	1	2	3	4	5	6	11	24
1	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁻¹	10 ⁻¹	—*
2	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁻¹	—	—
3	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻¹	10 ⁻¹		10 ⁰	—

unit; one female-equivalent per ml.

* No activity was found at the highest concentration tested, namely one ♀ per ml.

間から急激な減少がみられ、24時間後には性誘引物質は全く認められなくなる。

大量に飼育する条件で羽化してくる状態や交尾の行なわれる状況を観察した結果は次の通りである。午前8時点燈、午後10時消燈、25°±1°Cの条件下での羽化の最も多くみられる日に於ける羽化の経時ヒストグラムの1例は第2図のとおりである。消燈3時間前から消燈までの間に、その日に羽化する蛾の半数近くが

徐々に羽化し、消燈時から1時間のうちに残りの半数の大部分が一挙に羽化してしまう。スジマダラメイガでも一般の昆虫の場合と同様に生育、成熟に要する期間は雌より雄が短い。しかし、羽化する時刻については雌雄に差は認められなかった。したがって、第2図のヒストグラムは雌雄の合計で示されている。

上述のとおり、スジマダラメイガの雄の性誘引物質感受性は羽化後1日以内ではあまり高くないことや、

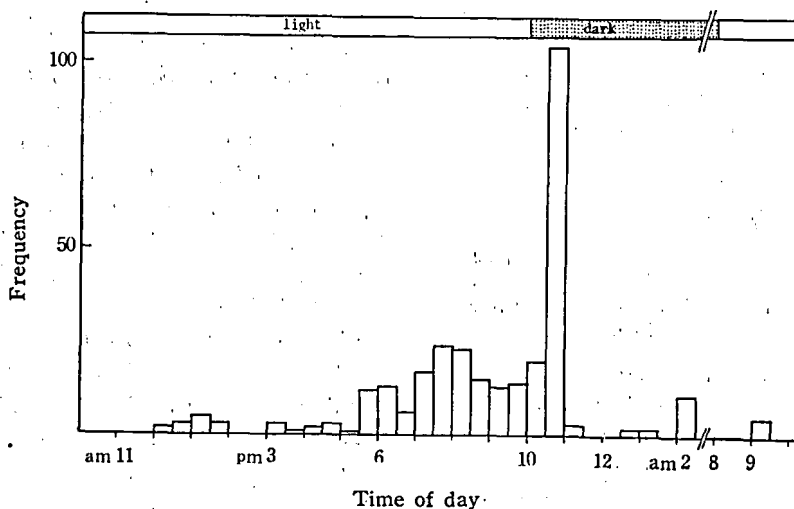


Fig. 2. Emergence time of moths.

雌の性誘引物質含有量も羽化後数時間に徐々に増加することが事実であるにも拘らず、実際には雌雄共存する場合には羽化後数時間以内にほとんどの蛾が交尾を終ることが観察される。雌雄の頭数比および生息密度によって変動するけれども、総数10~100頭で雌雄ほぼ同数に存在する場合には、1時間~3時間のうちに交尾を始めるものが見られ、4時間目にはほとんど全部の蛾が交尾していることがわかった。そして、交尾時間を68例で調べた結果のヒストグラムは第3図のとおりで、平均100分である。交尾した雌は羽化後2日を頂点として1頭あたり平均120個の産卵をみる。一

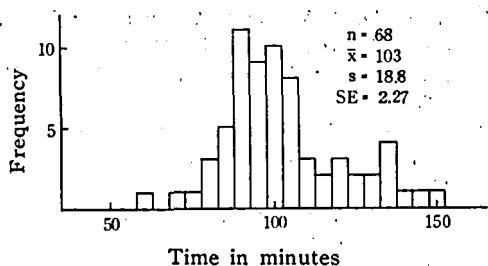


Fig. 3. Duration of copulation.

方、処女雌の場合でも羽化後5~6日を頂点として1頭あたり10~20個産卵するけれども孵化しない。

次に実際に雌雄がある比率で羽化してきたときに、交尾がどの程度行なわれ、そして雌の性誘引物質の含有量がどの様に変化したかを知る為に、次の様な実験を行なった。種々の性比でそれぞれ総計数十頭の羽化直後の蛾の群を2連ずつ14時間保持し、その1連のものは直ちに性誘引物質の生物検定に供し、他の1連は

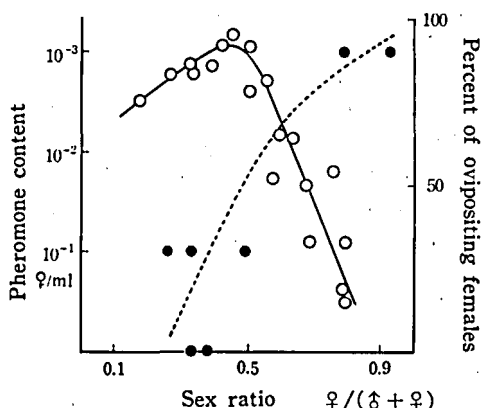


Fig. 4. Relationship between sex ratio, pheromone content, and percent of ovipositing females 14 hours after emergence. The line with open circles indicates the percent of ovipositing females, and the dotted line with solid circles shows the pheromone content.

雌のみを分け、その後の産卵虫率を調べた結果が第4図に示されている。産卵虫率と交尾率は一般に正の相関関係にあるものと考えられるので、雌雄同数に近い場合には、ほぼ100%交尾が成立し、それより雄の少ないときには、当然のことながら、交尾率が急減することが認められる。一方、性誘引物質の含有量は交尾率の急減につれて急増する傾向が明らかである。何れにしても、雌雄1:1近くで羽化してくるときには十数時間たった翌朝に蛾を集めて性誘引物質の抽出の材料とすることは意味のないことが結論される。

一方、抽出材料として集められた雌は処女雌であっても、死後室温に放置されたときには、第4表に示されるように1日以内に急激な性誘引物質の減少がみら

Table 4. Pheromone content after storage at 25° and -20°C.

Virgin females were killed in one day after emergence and kept in storage.

Condition of storage	Days after death					
	0	1/2	1	2	3	8
at 25°	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻¹	—
"	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻¹	—
at -20°	10 ⁻⁴			10 ⁻⁴		
"	10 ⁻³			10 ⁻³		

unit; one female-equivalent per ml.

れ、3日目には大部分が消失する。しかし、-20°Cに保存されるときには減少はみられない。

考 察

スジマグラメイガと同じマグラメイガ亜科に属するノシメマグラメイガやチャマグラメイガでは蛹から脱出後、前後翅がのびきってからすぐ交尾することが知られている⁷⁾。また最近 Brady ら⁸⁾はノシメマグラメイガが羽化後直ちに雌は“calling”をはじめ交尾が行なわれることを確認している。スジマグラメイガでは第1図に示したように雄の性誘引物質に対する反応は羽化後1日は比較的小さく、3日以後に急激な増大が認められるにも拘らず、また、雌の性誘引物質の含有量も第2表のとおり羽化後数時間で始めて頂点に達するにも拘らず、実際には羽化後早くて1時間、遅くとも数時間以内には交尾することが認められる。

雌性誘引物質の存在が明確に認められる時期については昆虫の種類によって種々の観察がなされている。例えば、ヤガ科の *Prodenia ornithogalli* Guenée や *Spodoptera exigua* Hübner では羽化前1日程度の蛹にすでに多量の性誘引物質のあることが認められている⁹⁾。また、ノシメマグラメイガでは羽化を境として

急に性誘引物質が現われることが報告されている²⁾。

スジマダラメイガでの観察では、第2表の結果のように、羽化直前の灰色蛹に弱いながらも性誘引物質の活性が現われ、羽化後3時間のうちに増大し、その後、交尾の行なわれない限りそのまま持続される。

交尾後性誘引物質の消失するもの¹⁰⁾としないもの⁹⁾が報告されている。スジマダラメイガの場合は、交尾を始めてから約3時間を経て急激な減少がみられ、24時間後には消失してしまう(第3表)。この結果はさきに Brady ら²⁾がノシメマダラメイガの雌の“calling”現象で認めた結果と同じであるが、彼等は交尾3日後の雌の性誘引物質の含有量は交尾前とあまり変わらないとしている。この結果は筆者らの同種での予備的な実験結果とは違っている。すなわち、ノシメマダラメイガ雌成虫の性誘引物質含有量の交尾後の経時変化を、未交尾雌成虫のそれとをあわせて示したのが第5表であり、スジマダラメイガの場合と同じように交尾し

Table 5. Pheromone content in mated and virgin female *Plodia interpunctella*.

	Days after emergence						
	0	1	2	3	4	6	7
♀ kept with ♂	10 ⁻²	10 ⁰	—	—	10 ⁻¹	—	—
♀ only	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁻¹	10 ⁻¹

unit; one female-equivalent per ml.

た雌の性誘引物質の含有量は24時間後には明らかに減少している。Brady らの結果とのこのような違いがどのような原因に依るものかは明らかでない。

スジマダラメイガは通常の場合には雌雄がほぼ同数に近い比率で羽化してくるから、羽化後10時間以上たった翌朝には、ほとんど全部の雌が交尾していて、性誘引物質も消失している(第4図)。したがって性誘引物質の抽出には、材料として羽化前に雌雄を分けて処女雌を集めるか、もしくは羽化後少なくとも3時間以上を経た未交尾あるいは交尾後おそくとも3時間以内の雌を集めなくてはならないことがわかる。このような操作は少量の材料を集める場合はともかくとして、大量の羽化をみる場合にはほとんど不可能であろうと考えられる。

それらの解決策として第2報¹²⁾に報告するように雌のみを羽化させる系統と条件を用いて、これらの難点を克服することに成功した。その方法によれば、大量飼育のための飼育箱から雌を数日ごとに集めたとしても、性誘引物質の損失はないことがこの報告で述べた事実によって示されている。

引用文献

- 1) Barth, R.: *Zool. Jahrb. Abt. Allg. Zool. Physiol. Tiere* 58, 297-329 (1937).
- 2) Brady, U. E. and E. B. Smithwick: *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 61, 1260-1265 (1968).
- 3) Dickins, G. R.: *Trans. Roy. Entomol. Soc. London* 85, 331-362 (1936).
- 4) Karlson, P. and A. Butenandt: *Ann. Rev. Entomol.* 4, 39-59 (1959).
- 5) Lehmensick, R. and R. Liebers: *Z. Angew. Entomol.* 24, 582-643 (1938).
- 6) Norris, M. J.: *Proc. Zool. Soc. London* 1933, 903-934 (1933).
- 7) Richards, O. W. and W. S. Thomson: *Trans. Entomol. Soc. London* 80, 169-250 (1932).
- 8) Schwinck, I.: *Z. Vergl. Physiol.* 35, 167-174 (1953).
- 9) Shorey, H. H., S. U. McFarland, and L. K. Gaston: *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 61, 372-376 (1968).
- 10) Steinbrecht, R. A.: *Z. Vergl. Physiol.* 48, 341-356 (1964).
- 11) 高橋史樹・応勳 5, 185-190 (1961).
- 12) 高橋史樹・北村実彬・桑原保正・深海 浩: 防虫科学 33, 163-168 (1968).
- 13) Traynier, R. M. M.: *Canad. Entomol.* 100, 5-10 (1968).

Summary

The female almond moth, *Cadra cautella* Walker emits a sex pheromone to which the males respond. The sensitivity of male moths to the sex pheromone and the pheromone content of the female body were examined with respect to their age under controlled condition at 25°C and 60-80 % R. H.

The sensitivity of the male moths to the sex pheromone increased gradually with their age up to the 7th day from the emergence. Their mortality increased greatly after about the 5th day. Males aged about three days seem to be the most suitable material for bioassay of the sex pheromone.

The sex pheromone is already detectable in female pupae of grayish color which have begun their eclosion. The pheromone content in a female increases up to a maximum after three hours from emergence and maintains this level until death if the moth does not mate. When female moths are mated, however, their pheromone activity disappears rapidly in four or five hours after the beginning of copulation.