

Studies on Sex Pheromones of Pyralidae. II. Mass Rearing of Virgin Females of the Almond Moth, *Cadra cautella* Walker (Phycitinae). Fumiki TAKAHASHI, Chikayoshi KITAMURA, Yasumasa KUWAHARA, and Hiroshi FUKAMI, (College of Agriculture, Kyoto University, Kyoto). Received October 1, 1968, *Botyu-Kagaku*, 33, 163, 1968 (with English Summary 168).

23. メイガ科の性誘引物質に関する研究(第2報) スジマグラメイガ未交尾雌成虫の大量生産*
高橋史樹・北村実彬・桑原保正・深海 浩(京都大学農学部) 43, 10, 1 受理

20°Cで飼育するとほとんど雌のみが羽化するというFT系統の性質を利用して、スジマグラメイガの未交尾雌成虫の大量生産方法を実験的に検討した。

卵200個を米ぬか20gで30°Cにおいて飼育すると羽化する雄と雌成虫から約7000個の卵が得られる。その卵を用いて米ぬかの深さを2cm以下にして20°Cにおいて飼育するとき、羽化する雌成虫の総重量を最大にするには米ぬか1gについて20~30卵の飼育密度が最適である。

飼育温度は全発育期間を通じて約20°Cに保つことで好結果が得られるが、5°C程度の変化が許容される。低温処理が性比に対してとくに著しい効果をおよぼす幼虫発育期はみられない。

1. 緒 言

性誘引物質は体内にきわめて微量にしか含まれないので、その化学的研究を進める場合には、大量の材料を集めることが必要である。筆者らはスジマグラメイガ *Cadra cautella* Walker の性誘引物質を抽出するための材料—雌成虫—を大量飼育によって得る方法の確立を企てた。

スジマグラメイガは比較的簡単に飼育できる。すでにニカメイチュウ *Chilo suppressalis* Walker の卵寄生蜂ズイムシアカタマゴバチ *Trichogramma japonicum* Asmead の代用寄生とするために、大豆粕を用いたスジマグラメイガの大量飼育法が工夫されている^{1,2)}。しかし、米ぬかを飼料とすれば飼育はより簡単である^{3,4)}。第1報⁵⁾で述べたようにスジマグラメイガは羽化後1~4時間で交尾することができる。成虫の性比は普通は雌:雄=1:1であるが、雄が少ないほど雌の交尾虫率が低い。また交尾すると雌の性誘引物質の含量は約4時間後には急激に減少する。したがって羽化後採集するまでの時間が長いと、その間に多くの雌が雄と交尾して雌には性誘引物質がほとんどなくなってしまう可能性がきわめて高い。このように羽化から数時間内に羽化虫を集める必要が生ずるが、羽化時刻は夕方の数時間にわたるので、大量飼育の場合にはこのような操作は実際にはほとんど不可能と考えられる⁶⁾。

一方、スジマグラメイガには30°Cにおいて飼育すると羽化虫の性比は正常であるが、20°Cで飼育すると雄の羽化がきわめて少ない系統(FT系統と呼ぶ)の

あることが知られている⁷⁾。この系統を20°Cで飼育すれば雄を除去する労力はほとんど要しないだけでなく、雌の交尾率がきわめて低いので、雌の性誘引物質は羽化後数日間にはわたって失われずに保たれるという非常に有利な性質をもっている⁸⁾。

米ぬかは高価なものではない。しかし、その中に種々の害虫が混入していると、それらによって大量飼育の継続が困難になることがしばしばあるので、前もって薬品による燻蒸や加熱などで飼料の消毒をする必要がある。飼育用の容器も数が多ければかなりの経費と広い場所および労力を費やすから、できるだけ少量の飼料で多くの雌成虫を生産することが望ましい。米ぬかで飼育したときの発育速度、羽化率、羽化虫の平均体重と総重量、および、それらによる総産卵数におよぼす飼育密度の影響が30°C, 70% R. H. の実験条件下においてしらべられていて、これらの値が最大になるような生息密度のあることが示されている^{4,5,7)}。ここではFT系統について20°Cでの飼育を中心として、雌成虫の大量生産に最も適当と考えられる生息密度、温度などの飼育条件を検討したので、その概要を報告する。

2. 実験の材料と方法

実験材料のスジマグラメイガは京都大学農学部昆虫学研究室において15年間にわたり30°C, 70% R. H. の条件下で、米ぬかを飼料として飼育し続けてきたFT系統である。

大量飼育計画の概要は、30°Cで継代的に雄と雌の成虫を生産して卵を集め、その卵の一部は30°Cでの継代飼育に用い、他の大部分の卵は20°Cでの雌成虫の生産に用いるようにすることである。

* 京都大学農学部昆虫学研究室業績第419号
この研究は文部省科学研究費の援助を受けた。

30°Cでの飼育方法はこれまでの報告^{4,7)}を参考にしたので詳しくは述べない。米ぬか20gで飼育したとき最大の産卵数が得られる飼育密度（以下飼育密度はすべて便宜的に容器にはじめに入れる卵数でもって示すことにする）は卵200個よりも高い密度であるが、羽化期間を短くするために200個の密度で飼育することにした。それから羽化した成虫は約7000個の卵を産出することができる⁹⁾。

実験用の卵を集めるために、ガラス製腰高シャーレ（内径11cm×深さ7cm）に雌雄数十対の成虫を入れて1昼夜放置し、容器の底にたまった卵をとり出す方法を用いた。この実験では厳密に卵数をかぞえたが、継代飼育や大量飼育の場合には卵数をかぞえるよりは卵の重量や容積をはかる簡便法³⁾を用いれば十分である。卵1万個の重量と容積は222mg、0.363mlである。

飼料の米ぬかはCS₂（容積1lについて1cc）で2日間燻蒸した。この実験での飼育容器は内径11cm、深さ4cmのガラスシャーレで、蓋には直径3cmの穴があり、紙をはって空気の流通をよくした。

実験は30°Cと20°Cでの場合はそれぞれの恒温室で行なった。5°Cの場合は冷蔵庫内で行なった。平均温度は20°Cであるが、毎日週期的に上下に5°C変化する条件下（それを20±5°Cと略して呼ぶ）でも実験を行なった。その変温条件での温度の変化の様子を第1図に示したが、その調節方法は次の通りである。

15°Cの恒温室に木箱を置き、その内部を長日照明（5.00am～21.00pm）と短日照明（9.00am～17.00pm）の回路に接続したタンクステン電球または蛍光灯で照明するとともに加温した。長日回路の電燈がつくと木箱内の温度は上昇しやがて室温より5°C高く（20°C）に安定するようにその電圧かワット数を調節し、4時間後に短日回路の電燈がつくとさらに5°C上昇して25°Cになるようにした。8時間の短日照明が終ると温度は

20°Cに下り、さらに4時間後に長日照明が終ると温度は室温の15°Cに戻るようになる。

照明時間はいずれの恒温室も長日（5.00am～21.00pm）の16時間である。湿度は30°Cの場合は70% R. H. に調節した。その他の温度の場合は調節はしなかったが、60%以下、および80%以上になることはなかった。

3. 飼育密度と雌成虫生産量

一つの容器でできるだけ多くの個体を飼育できることが望ましいが、容器に多量の米ぬかを入れると、米ぬかの層が厚くなり、高い密度のとき羽化率が低くなる⁹⁾ことが知られている。ここでは米ぬか40gに200卵から3200卵までの7段階の区（実験A）、米ぬか20gに100卵から1600卵までの7段階の区（実験B）、および米ぬか10gに100卵から1000卵までの5段階の区（実験C）をつくった。米ぬかの最初の深さはそれぞれ、ほぼ16, 8, 4mmであった。羽化虫を毎日容器から取出し、体の大きさを知るために体重や頭幅を測定した。飼育開始後80日以後の羽化個体は少ないので、そこで調査を打ち切った。

各飼育密度での雌と雄の羽化数を第1表に雌の羽化率、平均体重、頭幅平均値、米ぬか1g当りの雌の羽化数、総重量、およびシャーレ内の残渣量（食いのこしたぬか+排泄物+脱皮殻の重量）を第2図に示した。

飼育密度が高くなるとともに羽化率や平均的な体の大きさが小さくなることは30°Cでの飼育実験^{4,9)}の場合と同じ傾向であるが、平均的な体の大きさはどの密度においても30°Cにおける場合よりもはるかに大形である。羽化数や総重量が中間密度で最大値を示すことも30°Cでの場合と同様である。食物の残渣量は米ぬか1gに30卵の密度までは急激に減少するが、それ以上に密度が高くなっても減少はわずかである。その

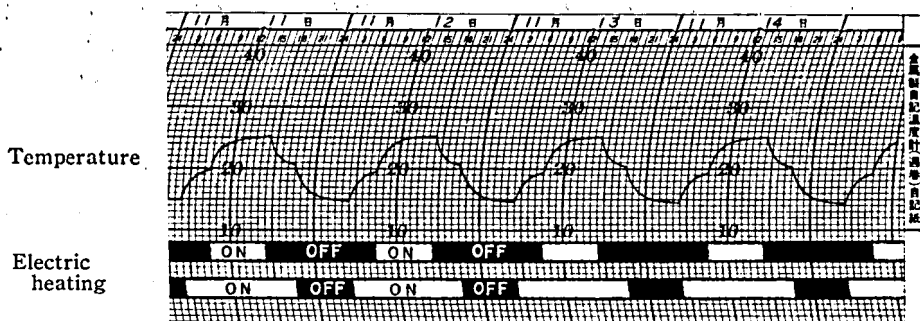


Fig. 1. Daily record of temperature fluctuation in the rearing box of 20±5°C. Rearing box was placed in a room controlled at 15°C. Electric lamps and heating coils were put in the box and operated in both short day and long day periods as indicated.

Table 1. Number of moths emerged in various rearing densities when reared at 20°C using a glass dish, 11 cm in diameter and 4 cm in depth (FT-S2 line).

Quantity of food, rice bran		Experiment A			Experiment B			Experiment C		
		40 g			20 g			10 g		
Sex of emerged moths*		♂	(♂)	♀	♂	(♂)	♀	♂	(♂)	♂
Rearing density (Number of eggs per g of rice bran)	5	3	18	64	0	8	35			
	10	2	45	138	1	25	63	0	1	36
	20	3	75	195	1	12	48			
	30	2	67	277	1	38	115	0	5	65
	40	6	40	313	2	15	82			
	50	2	25	400	5	47	101	0	6	55
	80	0	6	396	0	21	115			
	100				6	21	168	0	0	107
					1	12	143			
					2	17	137	0	0	62

* ♂ : Males having normal copulatory organ.

(♂) : Males having abnormal copulatory organ.

♀ : Females having normal copulatory organ.

密度で羽化虫の総重量がほぼ最大となっていて、ぬかはほとんど全部消費されていることが観察された。

高橋・六浦の実験⁹⁾では雄や交尾器に奇形のみられる雄(奇形雄と呼ぶ)の羽化はわずかであったが、実験A, Bではかなりの数の奇形雄が羽化している。このような結果の相異は実験に用いた系統間に後述するような性質の差があるためである。

奇形雄は多くの場合完全な羽化ができない、羽化できても翅形にもはっきりした変形がみられ、ほとんど2日以内に死亡するから、雄と雌を分けることは容易である。もちろん奇形雄は交尾できない。

実験Aでの雌の羽化曲線を第3図に示した。実験Bでの羽化曲線もほとんど同じ形になる。低密度区では曲線の立ち上がりはほぼ直線的であるのに反し、高密度区ではS字形の曲線を描き羽化期間の長いことを示している。これらの羽化曲線の傾向は30°Cでの実験⁹⁾の場合と同じである。

これらの資料から最も適当な飼育密度が考えられる。30°Cでの卵の生産は比較的容易であるから、低い飼育密度で羽化率を高くする必要はない。したがって、単位食物量または単位飼育空間あたりの羽化数と羽化虫の全重量のどちらを最大にしたらいかをきめなければならない。それは全羽化虫から抽出される性誘引物質の量によって決められるべきであるが、今のところ体の大きさによって性誘引物質の含有率にははつき

りした差がみとめられない。それで全重量の最大となる飼育密度のうちでも用いる卵数が比較的少なく、羽化が短期間に終る食物1gあたり20~30卵の密度を選ぶことが適当と思われる。ちょうどその密度で米ぬかは最後にはほとんど全部消費されている。大量飼育用の卵を得るときに産卵容器内の成虫密度、性比および雌成虫の年令によって卵の孵化率が変化し、幼虫生息密度が変動する可能性があるが、米ぬかの消費の程度でもって飼育密度の目安にすることもできる。実験の範囲内では米ぬかの深さは雌の生産量に大きい影響をおよぼさなかった。

4. 飼育温度の周期的変化の影響

飼育室の温度が正確に20°Cに保たれないで変動しても、この系統の雌のみが羽化するという特徴が保たれるならば、大量飼育の設備についての条件はゆるやかになる。FT系統は15°C以下で飼育すると雌雄とも1頭も羽化しなかった。また25°Cでは交尾器に異常のある個体を含めて雄が多数羽化した⁹⁾。そこで変温条件が羽化虫の性比におよぼす影響を20±5°Cにおいてしらべた。飼育密度は米ぬか30gに150卵であった。

雌と雄の羽化数を20°Cと30°Cで行なった実験の結果とあわせて第2表に示してあるが、20±5°Cの変温と20°Cの恒温とで結果にはあまり大きな差がみられない。羽化までに要する日数にもほとんど差がみられ

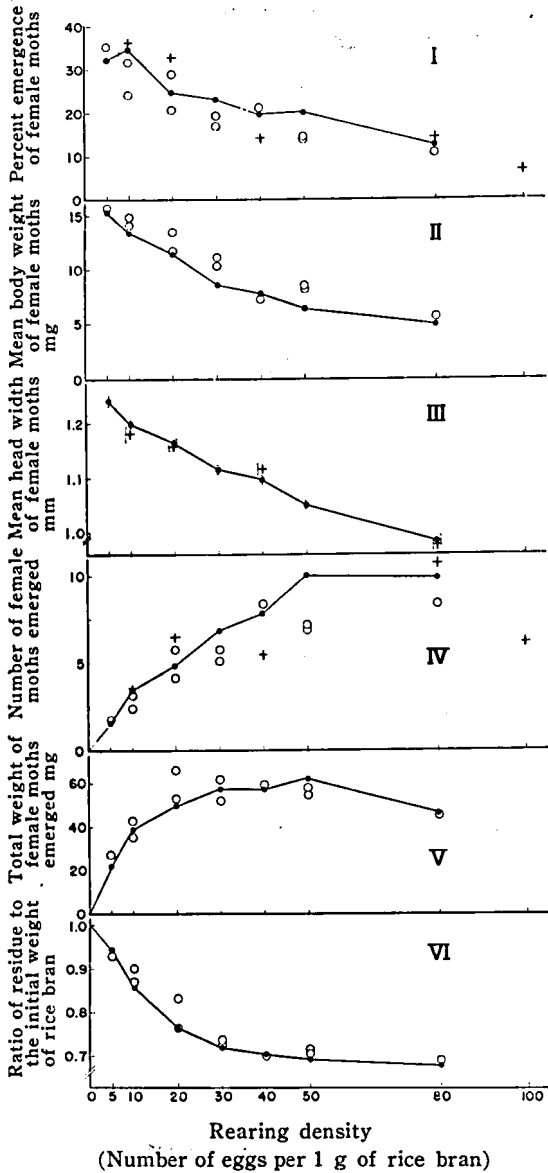


Fig. 2. Effects of rearing density on the percentage of female moths emerged to the initial number of eggs (I), the mean body weight of female moths (II), their mean head width with 95% fiducial limits (III), total number of female moths emerged per gm of rice bran (IV), total weight of females (V), and the relative weight of residues in a dish after the experiment (VI).
 —●—: Experiment A. ○: Experiment B.
 +: Experiment C.

なかったので±5°Cでいどの温度変化は考慮する必要がないといえる。

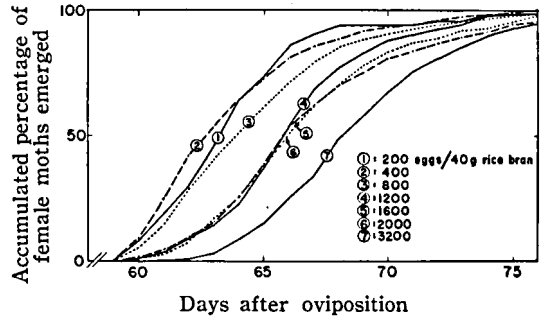


Fig. 3. Effects of rearing density on the period from oviposition to emergence at 20°C. (Experiment A).

Table 2. Number of moths emerged at various temperatures when 150 eggs were raised on 30g of rice bran (Experiment D).

Temperature	Number of emerged moths		
	♂	(♂)	♀
20°C	1	0	48
"	0	0	51
"	0	4	51
20±5°C*	1	2	48
"	1	11	24
"	2	0	44
30°C	44	0	66
"	56	0	55
"	55	0	42

* Daily record of temperature fluctuation is shown in Fig. 1.

5. いろいろの幼虫発育期における低温処理の効果

20°Cで飼育すると羽化までに60日以上を要する。もし30°Cで飼育し、発育途中に一定期間低温に保つことによって雌だけ羽化するという効果が保てるならば、飼育期間が短縮しうるかもしれない。高橋・六浦⁸⁾はいろいろの発育期に約5日間20°Cに保ったところ、多くの雄交尾器に変形がみられたけれども性比には影響がなかった。そこでさらに低い温度(15°Cと5°C)で処理したときの効果をしらべた。飼育密度は米ぬか40gに100卵であった。

結果を第3表に示した。15°Cに10日間保ったとき雌の割合が多くなる。また前の実験⁸⁾の場合と同じように若令期と終令期においてやや効果が多いけれども、雄や奇形雄の羽化はかなり多い。15°Cで卵期に処理したり、5°Cでの処理によって羽化率は著るしく低下する。したがってこれらの操作は実用的には期待すべ

Table 3. Effect of low temperature on the sex ratio of moths treated at various developmental stages (Experiment E). Insects were reared at 30°C but kept in 15°C or 5°C during the period indicated (FT-S3 line).

Temperature treated	Period of treatment in days	Starting date of treatment in days after oviposition	Approximate stage of development when treated	Replicates	Total number of emerged moths		
					♂	(♂)	♀
Control	0	—	—	4	146	2	176
15°C	10	0	Egg	3	2	0	15
	10	2	Larval	1st	3	26	103
	10	5	instar	2nd	3	49	81
	10	8		3rd	3	28	115
	10	11		4th	3	4	119
	10	14		5th	3	6	108
	11	17	Prepupa		3	1	92
	10	20	Pupa		3	31	69
5°C	5	0	Egg	2	12	2	19
	10	0	"	2	2	0	1
	15	0	"	2	0	0	0
	20	0	"	2	0	0	0
	25	0	"	1	0	0	0
	10	2	Larval	1st	2	10	5
	10	5	instar	2nd	2	4	11
	10	8		3rd	2	0	0
	10	11		4th	2	0	0
	10	14		5th	2	0	0
	11	17	Prepupa		2	2	0
	10	20	Pupa		2	11	0

き効果をあげることができなかった。

6. 飼育系統間における低温効果の差異

20°Cで飼育してもいくつかの実験の間には雄や奇形雄の出現頻度に変動がみられた。その原因は用いたFT系統にもいくつかの系統があることによるものと考えられる。それはFT系統の継代飼育のために採卵し飼育を始める操作を1週間~10日ごとにくり返してきたが、一つの飼育容器での羽化はほとんど3~4日で終わるので、2回の操作にわたり重なって羽化することはほとんどない。それで、系統の起源は同じであるが飼育操作間には長い期間にわたって不完全ながら性的な隔離が生じたと考えられる。このような各世代の飼育開始の日付のずれによる各系統をFT-S 1~4と呼ぶ。また系統の起源は同じであるが、他の目的で設けてある実験個体群²⁾から得られた系統をFT-P 1~4と呼ぶ。これらのスジマグラメイガの各系統を20°Cで飼育したときの羽化虫の性比をしらべた。飼育密度は米ぬか30gに150卵であった。

Table 4. Number of moths emerged in various rearing lines of the FT-strain when 150 eggs were raised on 30g of rice bran at 20°C (Experiment F).

Rearing lines	Number of emerged moths		
	♂	(♂)	♀
FT-S1	1	0	46
S2	0	14	68
S3	1	6	53
S4	2	13	60
FT-P1	0	0	38
P2	1	0	31
"	0	0	51
P3	1	0	44
"	0	0	21
P4	0	0	38

結果を第4表に示した。FT-S1とFT-Pの各系統では雄はほとんど羽化しないが、それにくらべ他の系

Table 5. Production of female moths and their mean head width in large scale mass-rearing at 20°C, using a large plastic box, 27×35×6 cm.

Example	Quantity of rice bran, gm	Number of eggs	Line	Number of moths emerged per g of rice bran			Head width of female moths, mm*	
				♂	(♂)	♀	\bar{x}	s
1	320	80×10 ²	FT-P	0.12	0.38	4.79	1.179	0.041
2	350	87×10 ²	FT-S3	0.14	2.25	8.81	1.159	0.034
3	400	100×10 ²	FT-S3	0.10	1.95	6.50	1.166	0.045
4	400	100×10 ²	FT-S3	0.11	1.97	6.26	1.167	0.034
5	400	100×10 ²	FT-S4	0.10	1.24	5.55	1.189	0.033

* Measurement of 60 females sampled.

統からは雄と奇形雄がやや多く羽化する。目的とする雌のみの大量生産には FT-S1 と FT-P の系統を主として用いることが有利と思われる。

7. 実験結果の大量生産方式への適用

以上に述べた実験に用いたガラスシャーレは小さく取り扱いがはん雑であるから、大量飼育のためには大きい容器を用いる方が便利である。しかし小規模な実験の結果はそのまま大量飼育の場合にあてはめうるか否かをしらべる必要がある。

用いたプラスチック容器(27×35×6cm)の表面積は945 cm²であり、先の実験に用いたガラスシャーレ(95cm²)の約10倍になる。それに米ぬか1gに約25卵の密度で、米ぬかの深さが約2cm以下になるようにして20°Cで飼育した。そのときの米ぬか1gあたりの羽化数と雌成虫の平均頭幅値を第5表に示した。これらの値は雄と奇形雄が若干多いことを除いて、先の実験A Bでの羽化数や全重量が最大になる密度での値に近い。しかし、羽化開始までの日数は約55日で、やや短くなっている。大量飼育を行なうとき、容器が大きく密度が高くと、幼虫の発熱によって容器内の温度が若干高くなることが観察された。とくに食物の深さを2cm以上にすると温度の上昇は著しい。この温度上昇が发育を若干促進し、奇形雄の出現率を高くしたものと思われる。しかし、先の実験の結果は大規模な大量飼育にもほぼ適用できることがわかった。

引用文献

- 1) 深谷昌次：応動雑 11：96-98 (1939).
- 2) 桑原保正・北村実彬・高橋史樹・深海 浩：防虫科学 33：158-162 (1968).
- 3) 菅原寛夫：昆虫実験法, 118-120, 日本植物防疫協会, 東京 858pp (1959).

- 4) 高橋史樹：応動雑 21：179-185 (1956).
- 5) 高橋史樹：個体群生態学の研究 3：27-35 (1956).
- 6) 高橋史樹：日生態会誌 9：169-172 (1959).
- 7) 高橋史樹：日生態会誌 11：239-245 (1961).
- 8) 高橋史樹・六浦 晃：応動昆 8：129-135 (1964).

Summary

It is known that in the FT-strain of the almond moth, *Cadra cautella* W., only female moths emerge when they are reared at 20°C. This character is very useful in collecting large numbers of virgin female moths for the chemical isolation of their sex pheromone. On the other hand, both sexes emerge in equal numbers when the temperature of rearing is 30°C.

About 7 thousand eggs can be obtained from 2 hundred eggs on 20 grams of rice bran at 30°C. Using these eggs, female moths were raised at 20°C, and the maximum biomass of female moths was obtained at a density of 20-30 eggs per gm of rice bran at a food depth of less than 2 cm. The rearing temperature can be allowed to fluctuate within a range of $\pm 5^\circ\text{C}$ around 20°C for obtaining a good result.

An attempt to determine precisely the developmental stage at which the sex-ratio was affected, by rearing the moths at low temperature, was inconclusive.

There were some differences in the sex-ratio of emerged moths among some rearing lines of the FT-strain reared at 20°C.