

## &lt; 講 座 &gt;

## 貯穀（貯蔵食品）害虫の飼育法

### (2) 飼育の実際

井 村 治\*

Rearing and Handling Methods of Stored-product  
Insects (Part 2)

Osamu IMURA

はじめに 前報で貯穀害虫を飼育するのに必要な準備と一般的な注意事項について述べた。害虫の飼育を上手に行うためには、害虫の飼育技術だけでなく、その生態をよく知っておくことが大事である。ここでは、貯穀害虫の代表として、コクゾウ類、コクヌストモドキ類およびマグラメイカ類を取り上げ、その簡単な生態を述べるとともに、実際的な飼育方法を御紹介する。

#### 1. コクゾウ類

コクゾウ類は、鞘翅目ゾウムシ科の中でコクゾウムシ亜科（オサゾウムシ科とする場合もある）に属する *Sitophilus* 属の昆虫である。この中で貯蔵食品や穀物を加害する害虫としては、グラナリ

アコクゾウ (*Sitophilus granarius* (L.)), コクゾウ (*S. oryzae* (L.)) とコクゾウ (*S. zeamais* Motschulsky) (図1) の3種が知られており、いずれも第1級の重要な貯穀害虫に数えられている。

#### (1) 生 態

コクゾウ類はイネ科その他の乾燥した種子やイモ類およびその加工品などを食害し、コクゾウだけで70以上の寄主が数えられている（農林水産技術会議, 1970）。

コクゾウ類の生態はよく似ているが、その分布から見ると、グラナリアコクゾウは冷温帯、コクゾウは温帯、ココクゾウは亜熱帯から熱帯地域の優占種である。この内グラナリアコクゾウは日本国内での定着が認められていない(渡辺ら, 1981)。

コクゾウ類の雌成虫は口吻で穀物などに小さな穴をあけ、この穴に1個ずつ産卵し、分泌物で栓（エッグプラグ）をする。ふ化した幼虫は穀粒の中を食べて成長し、4齢幼虫は前蛹を経て、粒の中で蛹化する。羽化した成虫はクチクラが硬化するまで数日穀粒の中に留った後、粒を食い破って脱出してくる（図2）。米や小麦では通常1粒から1匹の成虫が羽化するが、大粒のトウモロコシやドングリを与えると、1粒から多数の成虫が羽化することができる。

未成熟期の死亡率や発育期間は、餌の種類、温度および湿度によって異なる。グラナリアコクゾウは小麦や大麦、ココクゾウは小麦、コクゾウは

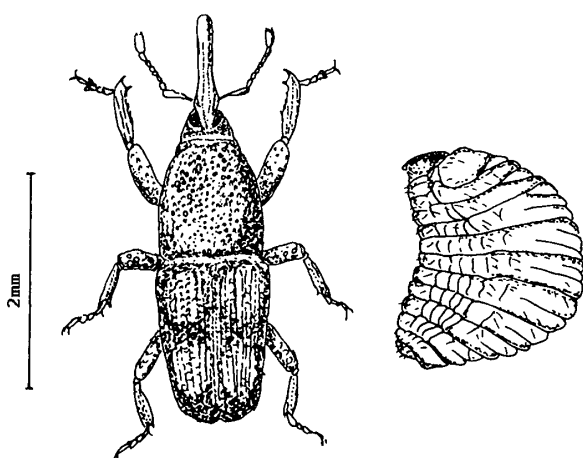


図1 コクゾウの成虫と幼虫

\*食品総合研究所 貯蔵害虫研究室

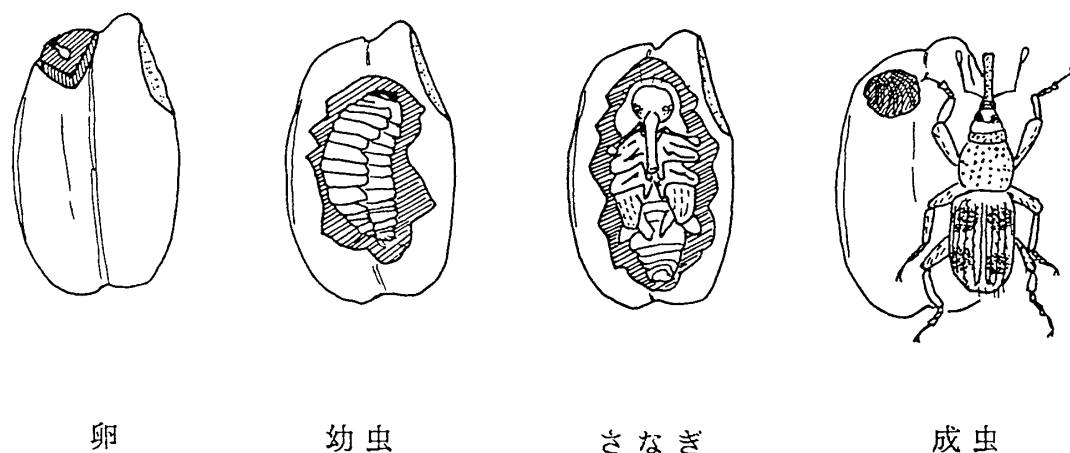


図2 コクゾウ類の生活史

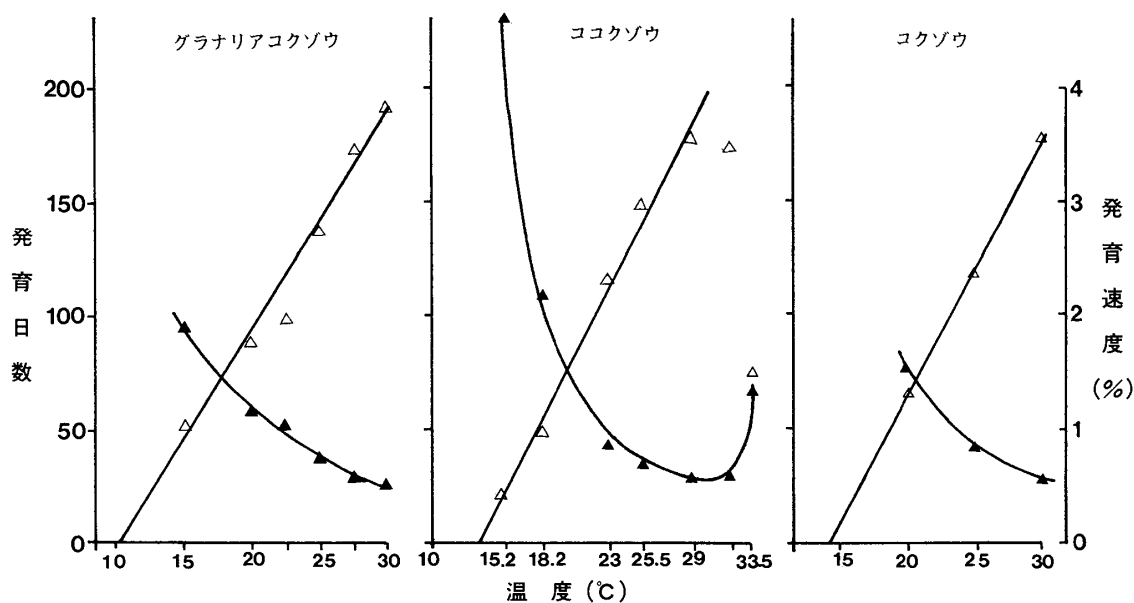


図3 グラナリアコクゾウ、ココクゾウ、コクゾウの卵から成虫羽化までの発育日数と温度の関係 (Eastham & Segrove, 1947; Birch, 1953; 尾原・安江, 1975より作成)

米やトウモロコシで生育がより良好である。図3に3種の卵から成虫までの発育日数と温度の関係を示し、表1に発育0点と有効積算温度を示した。また餌の水分含量が低くなると死亡率が高まる。図4にココクゾウの例を示した。30℃で小麦または玄米で飼育したグラナリアコクゾウとココクゾウの各発育ステージの推移を図5に示した。また30℃で小麦で飼育したココクゾウの各発育ステー

表1 コクゾウ類3種の有効積算温度と発育0点

種	有効積算温度 (日度)	発育0点 (°C)
グラナリアコクゾウ	517.6	10.5
ココクゾウ	422.1	13.6
コクゾウ	440.0	14.4

Estham & Segrove (1947), Birch (1953) と尾原・安江 (1975) より計算。

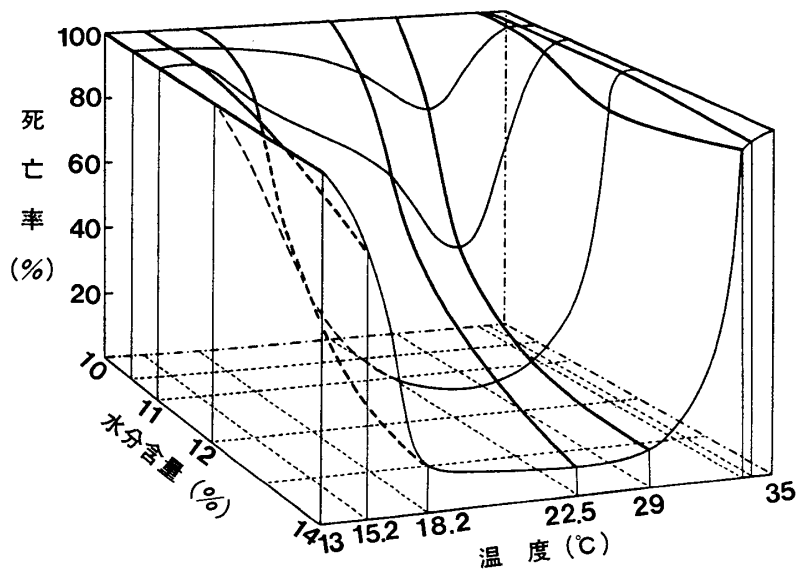


図4 コクゾウの発育期の死亡率と温度および小麦の水分含量の関係 (Birch, 1945)

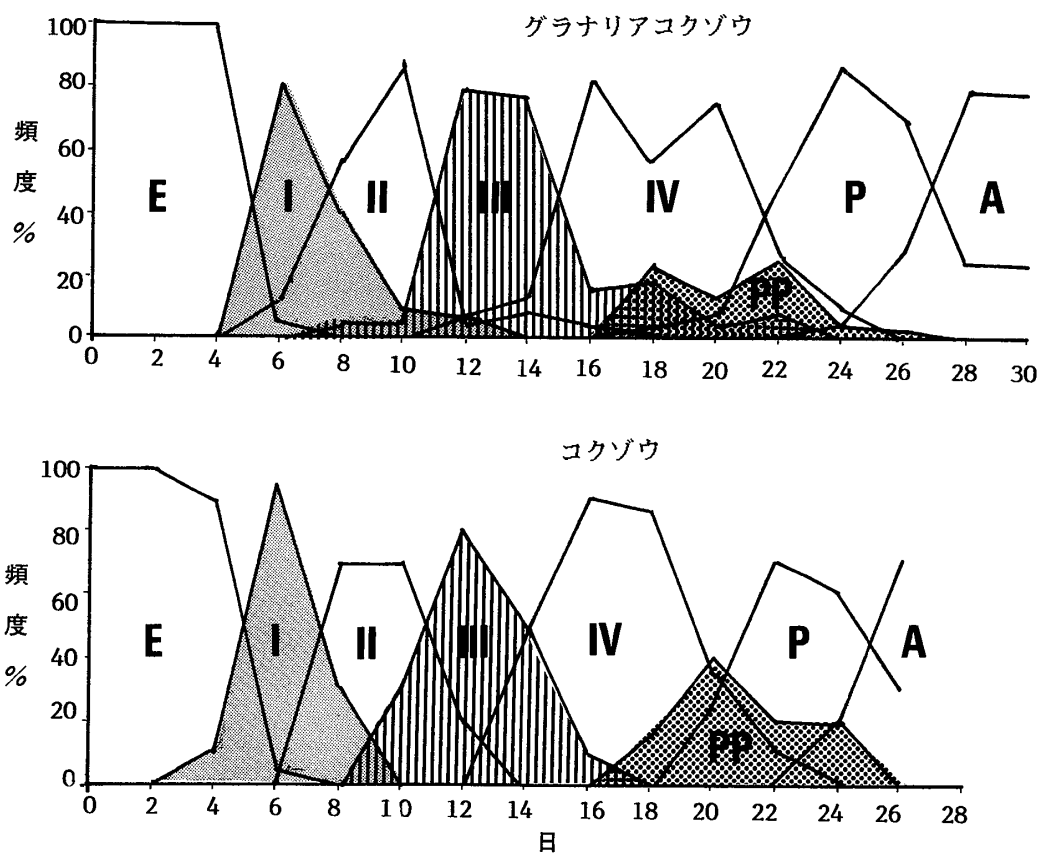


図5 30°Cにおけるグラナリアコクゾウ (70%r.h., 小麦) とコクゾウ (60~80%r.h., 玄米) の発育ステージの推移。Eは卵, I~IVは幼虫の齢, PPは前蛹, Pは蛹, Aは成虫 (Campbell et al., 1976と日本麦類研究会, 1970より作成)

ジの期間は、卵0～8日、1齢5～13日、2齢9～15日、3齢11～19日、4齢15～23日、前蛹19～24日、蛹20～28日、成虫23日～である。(Singh et al., 1976).

コクゾウとココクゾウの小麦での生存曲線を図6に示した。両種とも初期の死亡率は低く、その後一定の割合で死んでゆく。成虫の寿命は温湿度や餌の種類によって異なり、30℃では2～7ヶ月である(表2)。産卵前期間は30℃で3～4日で、20℃ではこれより遅れる(里見, 1955)。産卵はコクゾウや、ココクゾウともに羽化後5～6週目にピークとなり、以後徐々に減少する(図6)。産卵数も温度や湿度または餌の水分(表3)に大きく影響を受ける(Longstaff, 1981a)。また餌に対する成虫の密度が高くなると雌当りの産卵数が減少する(Segrove, 1951; Longstaff, 1981b)。ココクゾウとコクゾウの最適な飼育条件での個体群増殖のパラメーターを(表4)に示した。グラナリアアコクゾウの増殖率は前二者に比べて低い(Sinha & Watters, 1985)

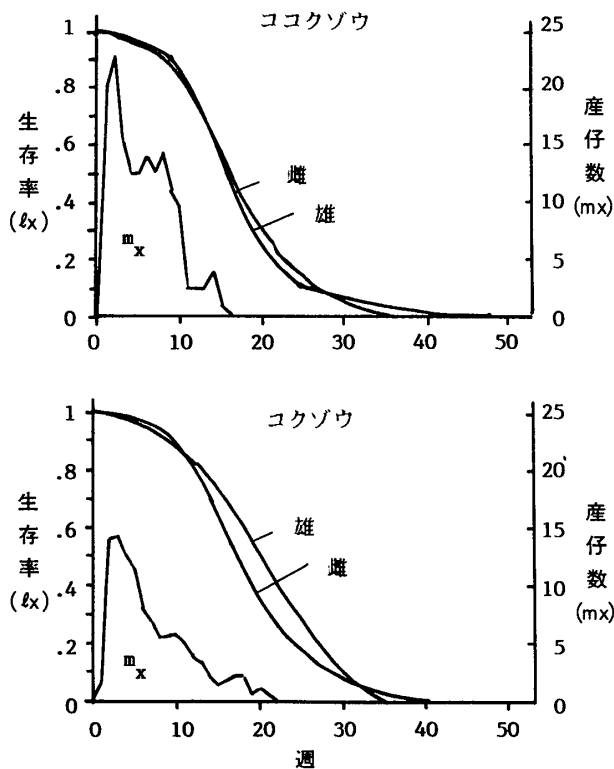


図6 ココクゾウとコクゾウの成虫の生存率曲線と年齢別産仔数(1雌当り1週間の産卵数÷2), 29℃, 小麦の水分14% (Birch, 1953)。

コクゾウは成虫ステージで休眠するが、他の2種は休眠が知られていない。またコクゾウは飛ぶことができるが、ココクゾウは飛翔能力のある系統とない系統があり、日本の系統は飛ばない。グラナリアコクゾウは後翅が退化し飛ばない。

コクゾウ類の詳しい生態については、桐谷(1971)やLongstaff (1981a)が参考になる。

表2 異なる餌で飼育したココクゾウとコクゾウ成虫の平均寿命

種	餌	平均寿命(日)			
		雄		雌	
		$\bar{X}$	s.d.	$\bar{X}$	s.d.
ココクゾウ	小麦 <sup>a</sup>	116.1±50.9		119.4±48.0	
	トウモロコシ <sup>b</sup>	202.7±78.0		162.3±55.0	
	玄米 <sup>b</sup>	129.0±55.8		91.9±28.6	
コクゾウ	小麦 <sup>a</sup>	137.4±54.1		126.9±50.6	
	トウモロコシ <sup>b</sup>	176.5±75.8		128.3±58.6	
	玄米 <sup>b</sup>	100.9±46.4		64.3±38.6	

a Birch (1953) 29.1℃, 70%r.h.

b 里見 (1955) 30℃, 50~60%r.h.

表3 小麦で飼育したココクゾウとコクゾウの雌当り総産卵数

種	水分含量・相対湿度	1雌当り総産卵数
ココクゾウ <sup>a</sup>	14%	384
	11%	72
コクゾウ <sup>b</sup>	70%r.h.	217±19.7
	50%r.h.	37±4.7

a 温度29.1% (Birch, 1953)

b 温度25% (Segrov, 1951)

表4 ココクゾウとコクゾウを小麦で、29.1℃, 70%r.h.の条件で飼育した時の個体群パラメーター

個体群パラメーター	ココクゾウ	コクゾウ
平均世代時間(T)日	44.8	56.0
純繁殖率(R <sub>0</sub> )	134.2	89.4
内的自然増加率(r <sub>m</sub> )/日	0.110	0.081
期間増加率(λ)/日	1.12	1.08

Birch (1953)

(2) 種の同定

グラナリアコクゾウは後翅が退化しており、上翅は、間室が条溝に較べて幅が広く、条溝の点刻も明瞭でないため、スベスベした感じで、絞も無い(図7)。

ココクゾウとコクゾウは高橋(1931)が別種とするまで、同種または同種内の系統としてしか区別されていなかった。一般にコクゾウはココクゾウより大きいが、体の大きさは餌や温湿度などの飼育条件により大きく影響されるため、目安としてはあてにならない。その他一般に言われている体型、体色、前胸背の点刻の形、斑紋、触角など

の外部形態で厳密に識別することは困難であり、雌雄の交尾器の形態による方法が最も信頼できる(Floyd & Newsom, 1959; Kuschel, 1961; Halstead, 1963a)。雄の交尾器は、ココクゾウでは上面が一様な凸型になっているが、コクゾウではやや偏平か2本のわずかなへこみがある(図7)。

(3) 外部形態による雌雄の判別

3種とも雄成虫の口吻は雌より短く太い。また雌の口吻の方が光沢がある(Halstead, 1963b)(図8)。慣れれば、実体顕微鏡を使って、かなり正確に区別できる。口吻だけで判定が困難な個体は、第6腹板の形態(Lum & Baker, 1975)を補助的に使うこともできる。実験に用いる時は、区別のつきにくい個体は除外すればよい。

(4) 飼育

飼育温度は25~30℃、湿度は60~70% r.h.、光条件は暗黒か長日。餌は玄米(コクゾウ、ココクゾウ)小麦(ココクゾウ、グラナリアコクゾウ)またはトウモロコシ(コクゾウ)。

最も入手しやすい玄米を餌として用いた例を中心に述べる。整一な大きさの個体を得たければ、9メッシュのふるい(小麦の場合は8メッシュ)で、予め充実の悪い粒や砕け米を取り除いておく。単にストックを維持するだけなら200gぐらいの餌に100匹ほどの成虫を入れておけば、一月ぐらいで新しい成虫が出てきて、そのまま2世代ぐらい飼育できる。最初に入れる成虫の個体数が多すぎると、幼虫の密度が高くなり、幼虫の出す熱と水分で、急速に飼育条件が悪化する。

実験に用いる場合は、齢の明らかな材料が必要なので、一定量の餌に一定数の成虫を1~2日放して産卵させ、ふるい(玄米の場合9メッシュ、小麦の場合8メッシュ)で全ての成虫を取り除く。表5に30日齢のコクゾウとココクゾウを、22g(約千粒)の玄米に48時間産卵させた場合の、親の密度と次世代の羽化虫数を示した。前述のように、幼虫密度をあまり高くすると、容器内の温湿度が異常に高くなることに注意を要する。餌に産み込まれた卵は、穀粒を0.1%のフクシン酸に漬けると、エッグプラグが赤く染まり、産卵の様子を知ることができる(玄米では不可)。玄米では、幼虫が発育している粒は白くなってくるので、この

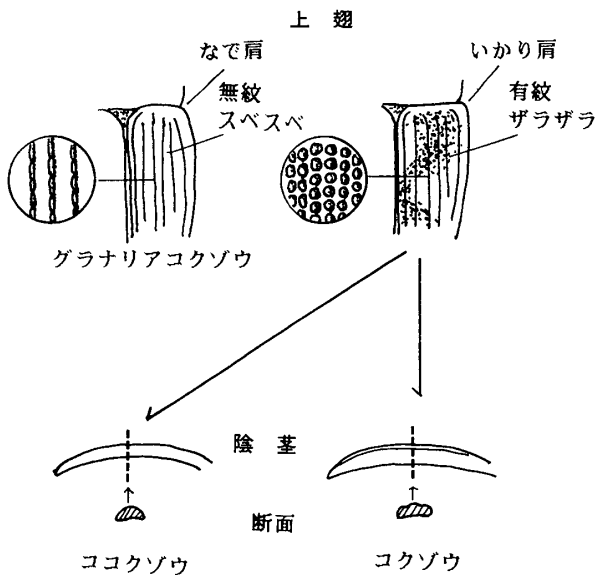


図7 穀物を加害するコクゾウ類3種の識別

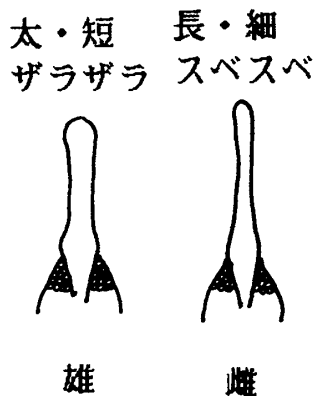


図8 コクゾウ類の成虫の口吻の形態による雌雄の判別

表5 コクゾウとココクゾウの産的に用いた親成虫の密度と次世代成虫数

親の数	次世代成虫数 <sup>a</sup>	
	ココクゾウ	コクゾウ
10	22.3	35.7
20	40.7	70.7
40	48.0	124.7
80	68.0	127.3
160	120.7	194.7
320	258.3	287.0

a 3 反復の平均。  
餌は玄米22g (約千粒), 25.8℃, 68%r.h.

表6 30%, 70%r.h. で飼育したココクゾウとコクゾウの幼虫各齢の頭幅 (mm)

幼虫の齢	平均	最小	最大
ココクゾウ <sup>a</sup>			
1 齢	0.17	0.09	0.21
2 齢	0.26	0.24	0.29
3 齢	0.36	0.31	0.41
4 齢	0.56	0.43	0.61
コクゾウ <sup>b</sup>			
1 齢	0.24	0.21	0.26
2 齢	0.36	0.33	0.38
3 齢	0.50	0.45	0.55
4 齢	0.70	0.65	0.75

a 餌は小麦 (Singh et al., 1976)

b 餌は玄米 (日本麦類研究会, 1970)

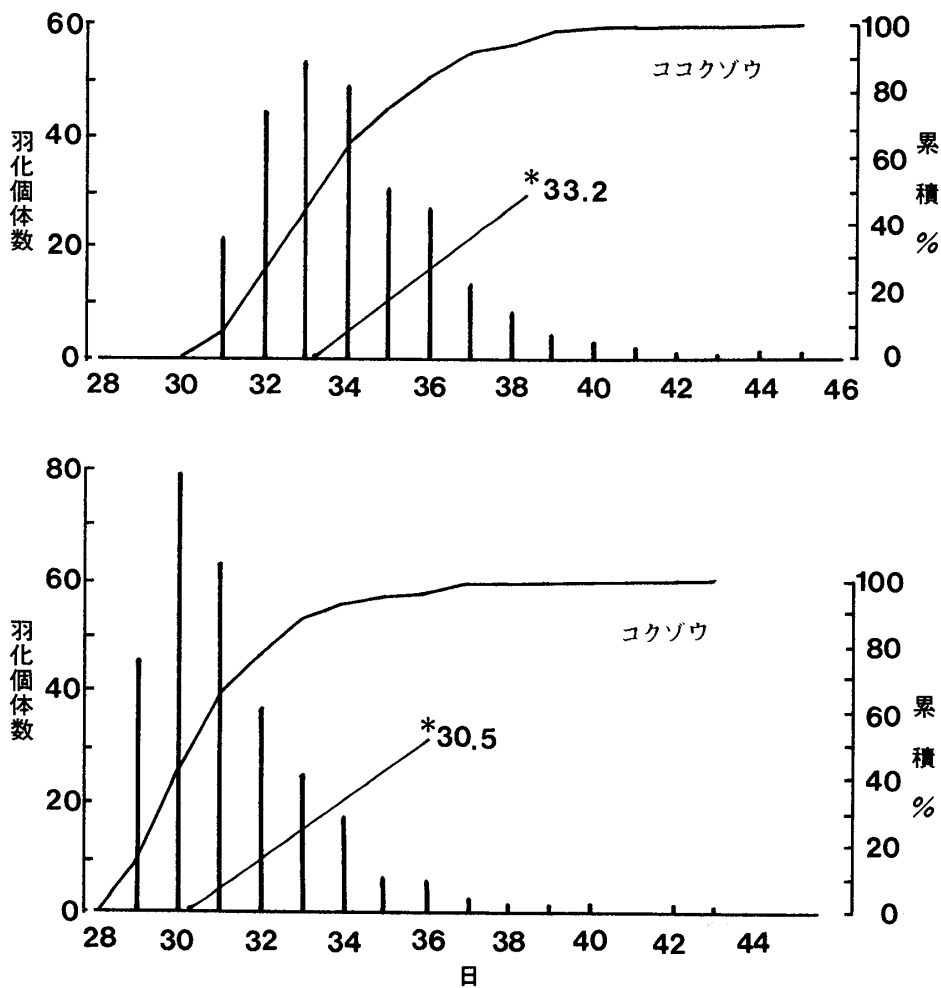


図9 玄米 (水分14.6%) で飼育したココクゾウとコクゾウの羽化曲線。\*印は50%羽化日 (25.8℃, 68%r.h.)

粒をいくつかサンプリングし、粒をこわして中の幼虫の頭幅を測れば、カルチャー中の幼虫の齢を知ることができる（表6、図5も参照）。

図9に、25.8℃、68%r.h.で、水分14.6%の玄米に48時間産卵させたコクゾウとコクゾウのカルチャーの次世代の成虫の羽化曲線を示した。羽化した成虫は飼育容器を少しゆすってふたを開ければ、成虫が容器の壁をはい上ってきて、容器外に出て来るので、これを集めればよい。また図10のようにふるいを組み合せて、カルチャーをふるえば、短時間で全ての成虫を取り出すことができる。コクゾウ類の成虫は、こうした作業中に飛ぶことはないので取り扱い易いが、コクゾウは容器やふるいにしがみついて、やや厄介なところもある。こうして得た成虫は次の新しいカルチャーに用いる。

## 2. コクヌストモドキ類

コクヌストモドキ類は、鞘翅目ゴミムシダマシ科の中で Triboliini 族に分類される *Tribolium* 属の昆虫で、この族には他にも、貯穀害虫として知られる *Palorus* 属が含まれる。*Tribolium* 属には現在まで、33種が記載されており、この内、最近当研究室で明らかにした *T. freemani* を含めて、8種が貯穀を加害することが知られている（表7）。この中でも特に、コクヌストモドキ (*T. castaneum* (Herbst))（図11）とヒラタコクヌスト

モドキ (*T. confusum* Jacquelin Du Val) の2種は、現在では世界各地に分布しており、最も重要な貯穀害虫に数えられている。またこの2種は、飼育が容易なことから、ショウジョウバエと並んで、遺伝、生理、生態などの実験昆虫として多くの人々に研究されて来た (Sokoloff, 1972, 1974, 1977)。ここでは、この2種について述べることにする。

### (1) 生態

コクヌストモドキ類は、屋外では朽木や樹皮の下あるいはハチの巣などで発見され、本来は、こうした場所での腐食者だろうとされている (Good, 1936; Linsley, 1944)。筆者は、おそらく彼らは腐食、食菌および捕食者を兼ねそなえた雑食者だと考えている。このため、食性が広く、植物質から動物質まで様々の、穀物や食品類を加害する。しかし、コクゾウ類とは異なり、穀物種子の完全な粒などはあまり加害せず、こうした種子がこわれたり、加工された場合に大きな被害を

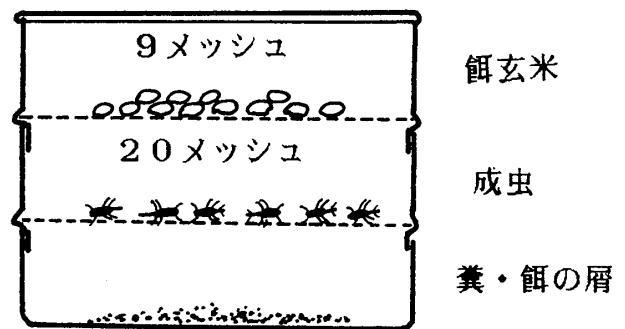


図10 ふるいを利用したコクゾウ類成虫のカルチャーからの分離

表7 貯穀を加害するコクヌストモドキ類とその地理的起源

種	地理的起源
(1) <i>brevicornis</i> グループ <i>T. brevicornis</i> Lec.	新 世 界
(2) <i>confusum</i> グループ <i>T. anaphe</i> Hinton <i>T. confusum</i> Duval <i>T. destructor</i> Uyttenb.	ア フ リ カ ア フ リ カ ア フ リ カ
(3) <i>castaneum</i> グループ <i>T. castaneum</i> (Herbst) <i>T. madens</i> (Charp.) <i>T. audax</i> Halstead <i>T. freemani</i> Hinton	イ ン ド (不 明) 新 世 界 イ ン ド

Hinton (1948) と Sokoloff (1972) から作成。

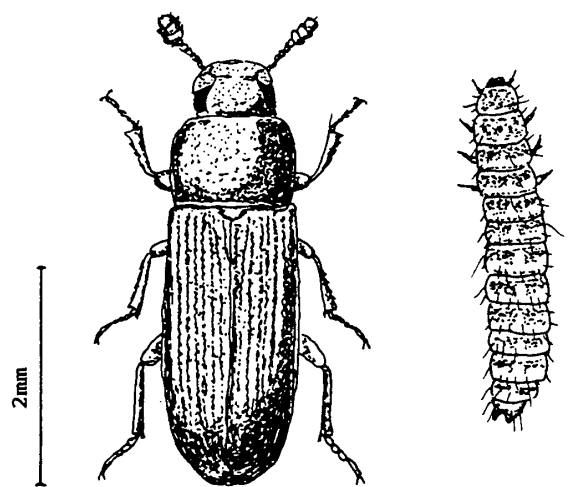


図11 コクヌストモドキの成虫と幼虫

与える。このため二次害虫（桐谷，1956）と呼ばれることもある。

コクヌストモドキとヒラタコクヌストモドキの地理的起源は異なるが（表7），前述のように，現在ではコスモポリタン種とされている。しかし，コクヌストモドキは，熱帯から温帯にかけての優占種であり，ヒラタコクヌストモドキは，これに比べて，より冷涼な地域に分布の中心がある。日本国内では，米を扱う精米工場ではコクヌストモドキ，麦類を扱う製粉・精麦工場などではヒラタコクヌストモドキと，その分布は取り扱う穀物の種類によって塗り分けられているが，沖縄ではコクヌストモドキがいずれの場所でも優占種となっている（井村，1987）。

両種の生活史はよく似ており，成虫は穀物の表

面や穀粉の中に，粘着物質で覆われた卵を産みつける。ふ化した幼虫は穀物の胚やぬか層を，また穀粉ではその中を動き回りながらこれを摂食し，脱皮をくり返しながらか成長する。脱皮回数は一定でなく，通常6～8齢を経て，餌の中や表面で蛹化する。蛹は徐々に複眼が黒化し，体全体に褐色が濃くなってくると，成虫の羽化が始まる。羽化したばかりの成虫の体は白色でやわらかいが，1日ほどで硬化し，赤褐色になる（図12）。

両種の卵から成虫羽化までの，様々な温湿条件での，発育日数を図13に示した。（Howe, 1956, 1960）。発育を完了できる温度範囲は，コクヌストモドキでは22.5～40.0℃，ヒラタコクヌストモドキでは20.0～37.5℃で，それぞれ，35℃および32.5℃で最も発育期間は短い。湿度は低くなるほ

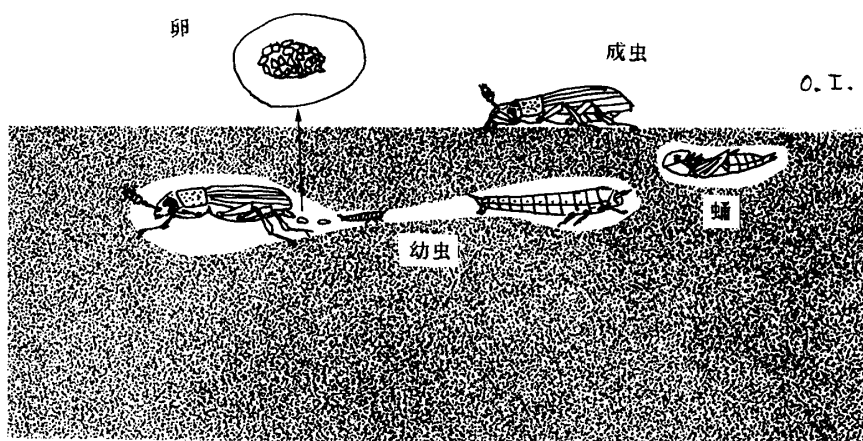


図12 コクヌストモドキ類の生活史

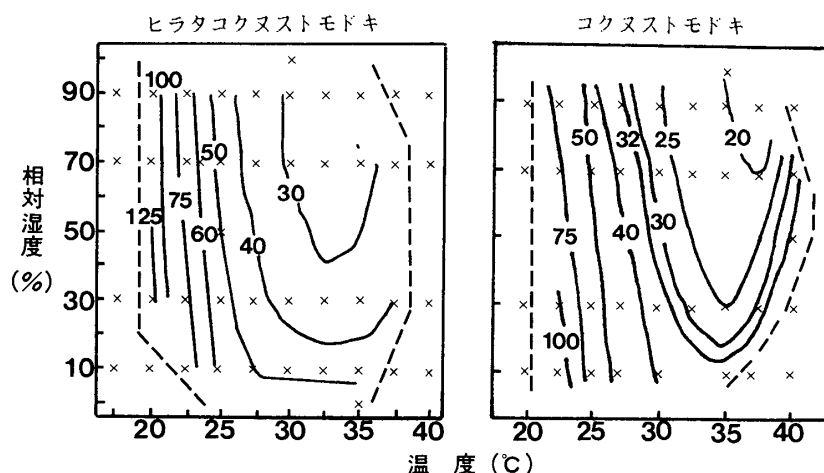


図13 ヒラタコクヌストモドキとコクヌストモドキを，様々な温湿度の組合せ（×印）で，小麦のふすまを餌として飼育した場合の，卵から成虫羽化までの発育日数。破線の外は生育不可（Howe, 1956, 1960）。



ど発育期間が長くなるが、死亡率への影響は少ない。また飼育する餌の種類によって、温湿度の影響は異なる。図14に2種を、70% r.h. で小麦のふ

すまを餌として飼育した場合の、温度と発育日数の関係を示し、表8に両種の有効積算温度と発育0点を示した。ヒラタコクヌストモドキの発育0

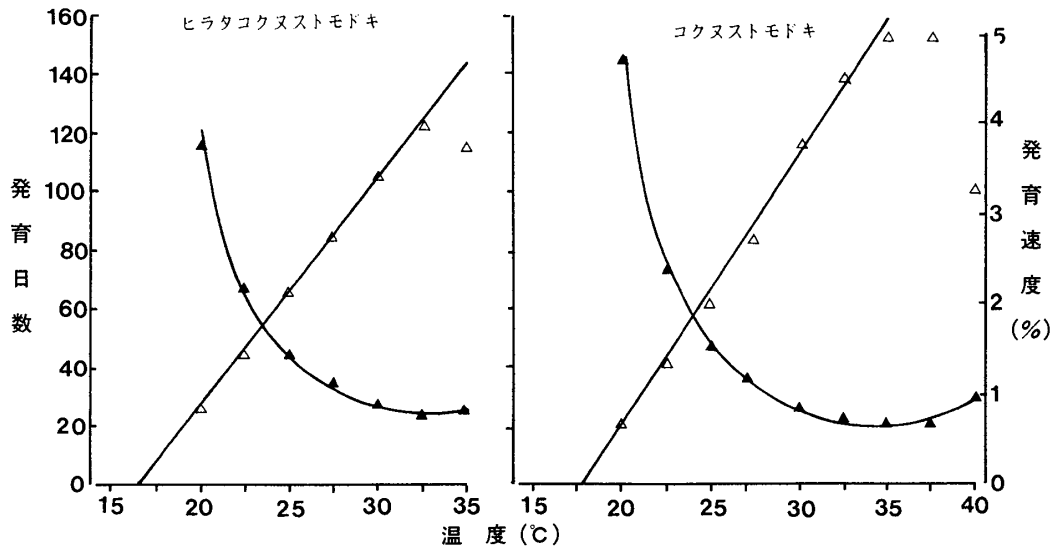


図14 ヒラタコクヌストモドキとコクヌストモドキの卵から成虫羽化までの発育日数と温度の関係（湿度は70% r.h., 餌は小麦のふすま）(Howe, 1956, 1960より作成)。

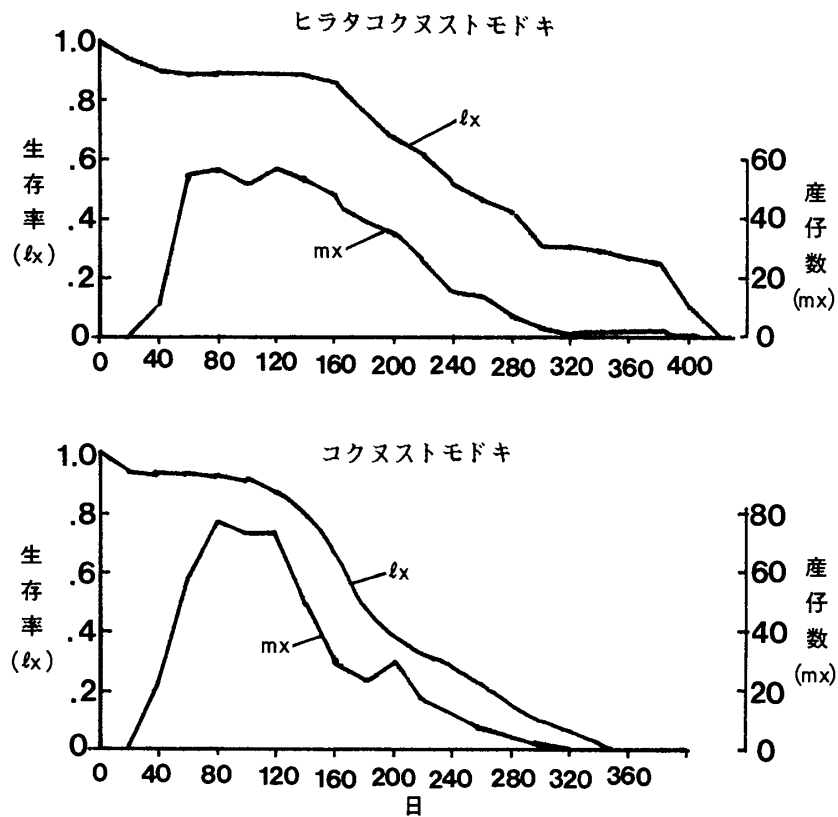


図15 ヒラタコクヌストモドキとコクヌストモドキの生存曲線と齢別産仔数（産卵数/雌/20日÷2）, 餌は小麦の全粒粉+イースト, 29°C, 62~76% r.h., Young (1970) より作成。

点はコクヌストモドキよりやや低く、積算温度が大きい。

羽化した成虫は、幼虫と同様に摂食しながら長期間にわたって産卵を行う (図15)。成虫寿命は、コクヌストモドキの雌で平均198日、雄はこれより長い (Howe, 1962), 3年以上生存した記録もある (Good, 1936)。また条件付けられた (古い) 餌で飼育した場合は、雌の寿命は長くなる (Sonleitner, 1978)。雄は羽化時にはほぼ性成熟に達しているが、雌の産卵前期間は29℃で、コクヌストモドキは約4日間、ヒラタコクヌストモドキは5日である (Dawson, 1964)。産卵数は両種とも羽化後60~100日ごろ最も多く、雌1日当りの産卵数は平均10卵程度であるが、その後徐々に減少する (図15)。雌の産卵数は、幼虫時代生育した餌によって異なる (井村, 準備中)。また温度や湿度が低くなると、産卵数は減少する (Dick, 1937; Park & Frank, 1948; Howe, 1962) (表9)。条件付けられた餌では1日当りの産卵数は減少するが、生涯の総産卵数は変らない (Sonleitner, 1978)。雌は一生の間に平均約1,400~1,600の卵を産む (Young, 1970; Sonleitner, 1978)。表10に両種の好適な飼育条件での、個体群増殖のパラメ

表8 コクヌストモドキとヒラタコクヌストモドキの有効積算温度と発育0点

種	有効積算温度 (日度)	発育0点 (℃)
コクヌストモドキ	334.0	17.8
ヒラタコクヌストモドキ	391.1	16.7

餌は小麦のふすま、湿度70%r.h. Howe (1956, 1970) から計算。

表9 異なる温度でのヒラタコクヌストモドキとコクヌストモドキの産卵数

温度 (℃)	産卵数/雌/日 (平均±s.d.)	
	<i>T. confusum</i>	<i>T. castaneum</i>
24	4.9±0.09	6.4±0.12
29	12.7±0.15	16.8±0.23
34	14.2±0.19	19.1±0.23

成虫はおよそ10~40日齢。

Park and Frank (1948) より作成。

ターの例を示した。成虫の性比は、両種とも、1 : 1 である (Howe, 1956, 1960)。またコクヌストモドキの成虫は飛翔できるが、ヒラタコクヌストモドキは飛べない。

コクヌストモドキ類のさらに詳しい生態については、Park (1934), 内田 (1971), King & Dawson (1972) や Sokoloff (1974) などを参照して欲しい。

(2) 種の同定

両種は雄の交尾器以外にも多数の外部形態の違いが報告されている (Sokoloff, 1972)。幼虫期でも両種の区別は可能であるが (Ho, 1967; 林, 1981), 蛹と成虫期に明確に区別できる。蛹では、腹部の体側に鰓状に出っ張った部分 (両側にノギリ状の歯があり、捕食者の脚などはさみつける) の毛の配列 (図16) を見る (Mertz, 1961; Ho, 1969)。成虫では、ヒラタコクヌストモドキは触角の各節が、先端に向って徐々に大きくなるが、コクヌストモドキは先端の三節が明確に大きい (図17)。また複眼の最も狭くなった部分の幅 (Hinton, 1948) でも区別でき (図17), 腹側か

表10 ヒラタコクヌストモドキとコクヌストモドキの個体群増殖パラメーター

個体群パラメーター	<i>T. confusum</i>	<i>T. castaneum</i>
内的自然増加率 ( $r_m$ )/日	0.086 <sup>a</sup>	0.096 <sup>a</sup> 0.128 <sup>b</sup>
純繁殖率 ( $R_0$ )	425	410 671
平均世代時間 (T)日	70.4	62.9 51.0
期間増加率 ( $\lambda$ )/日	1.09	1.10 1.14

a : Young (1970) と, b : Mertz (1969) より計算。29℃, 70%r.h., 餌は小麦の全粒粉+エビオス。

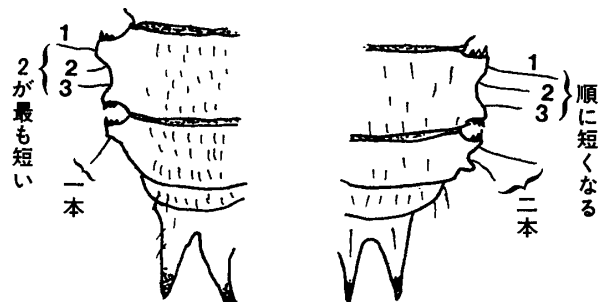


図16 蛹の腹側の毛の配列の違いによる、コクヌストモドキ (左) とヒラタコクヌストモドキ (右) の識別

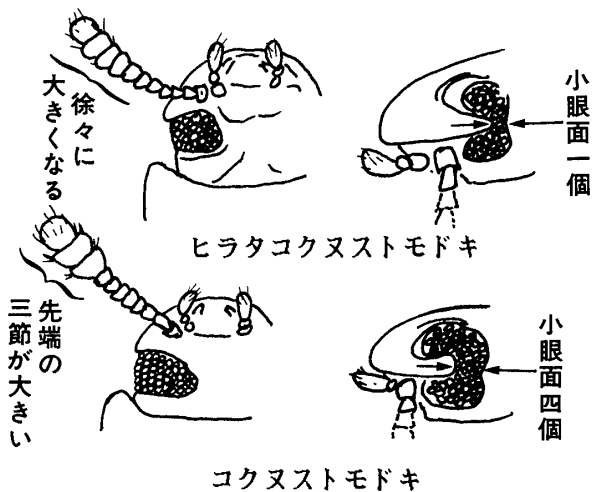


図17 成虫の触角の形態(左)と、複眼の最も狭くなった部分の幅(右)の違いによる、コクヌストモドキとヒラタコクヌストモドキの識別

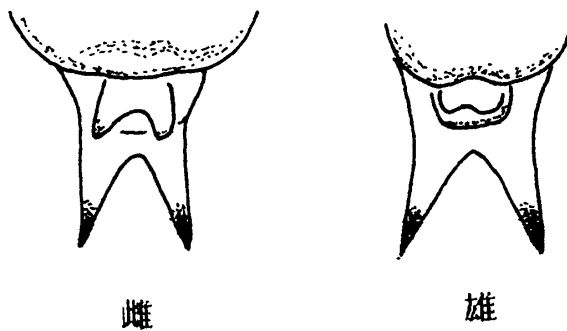


図18 蛹の腹面から見た腹部末端の形態の違いによるコクヌストモドキ類の雌雄の区別。

ら見た複眼間の距離もよい目じるしとなる。複眼の黒化してくる蛹の後期にも同じ Key が使える。

(3) 外部形態による雌雄の判別

蛹の腹面から見た腹部末端の形態の違いによって、雌雄を区別できる(図18)(Park, 1934; Ho, 1969)。成虫では、翅鞘の先端の間室と条溝のパターン(つながり具合)に雌雄の違いがあるが、コクヌストモドキではあまり明確でない(Hope, 1953参照)。

(4) 飼 育

飼育温度は25~32.5℃, 湿度は60~70% r.h., 光条件は暗黒でよい。餌は粉状のものがよく, ストックを維持するだけなら, 小麦のふすまや米ぬか(後者はヒラタコクヌストモドキでは不適)が利用しやすい。しかし, 卵やその他のステージを

餌から分離するには, 非常に細かくした小麦のふすま小麦粉(必ず強力粉=ハードタイプ)に粉末のエビオスを重量比で5%ぐらい加えたものを使うことをお勧めする。この餌は予め50メッシュのふるいを通させたものを用いる。

これらのコクヌストモドキ類の2種ほど, 人手をかけずにストックを維持できる飼育動物は少いであろう。前述の餌に成虫を放しておけば, 密度を自己調整する性質があるため, コクゾウ類やマダラメイガ類(後述)のように, 放っておくと餌を食い尽して絶滅することもなく, 数ヶ月から半年ぐらい放置しておいても平気である(特にヒラタコクヌストモドキ)。1度カルチャー中に充分個体数が増加すれば, ダニやカビが発生することも少い。時間が経つと, 餌の表面に脱皮殻がうず高く集積してきて, 全ての発育ステージがカルチャー中に見られる。

実験に用いるためには, 一定の密度で, 齢のそろったカルチャーを準備する必要がある。前述の小麦粉やふすまの餌に, 成虫を一定時間放し産卵させた後, 20メッシュのふるいで成虫をふるい取れば, 齢のそろったカルチャーが得られる。しかし成虫を用いた場合, 雌の産卵数は, 成虫の齢, 温湿度, 餌の種類, 系統の違い, 卵の捕食など, 様々な要因によって異なり, 密度を一定に保つ目的には不向である。

一定数の卵を一定量の餌に入れることにより(予めふ化率を調べておく), 密度を一定にできる。上述の様に小麦粉に産卵させた後に, 20メッシュと45メッシュのふるいを組み合わせて小麦

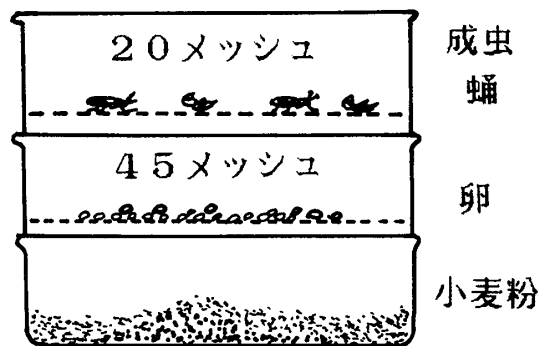


図19 ふるいによる成虫, 蛹, 卵の分離。20と45メッシュの間に適切なふるいを入れることにより, 様々な大きさの幼虫を分けることもできる。

粉をふるうと、成虫、卵および小麦粉を完全に分けることができる(図19)。できるだけ多くの卵を得るためには、毎回新しい十分な量の小麦粉を用いるとよい。得られた卵は、図20の様に紙をV字状に折り、谷になった所になるべく重ならない様に一列に並べ、実体顕微鏡の下で、数取り器を用いて数えれば、多数の卵を正確に短時間で数えられる。さらに大量になれば、卵の重さを測れば良い。コクヌストモドキとヒラタコクヌストモドキ(食総研系統)の100卵の重さ(周囲に小麦粉が付いた状態、図12)は、それぞれ $4.96 \pm 0.29$  (s.d.) mgおよび $5.70 \pm 0.19$  mgである。

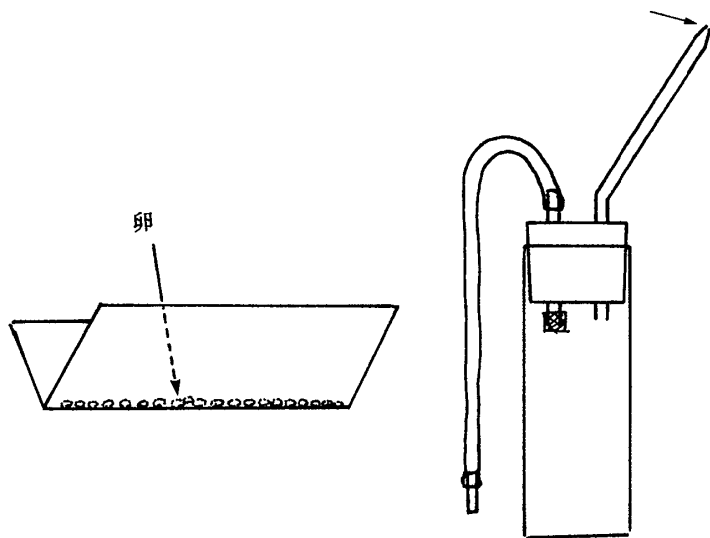


図20 卵を数えるためのV型に折った紙(左)。セクションペーパーが数えやすい。卵や幼虫を集めるための吸虫管(右)。矢印の口の大きさを定めることにより、卵や大きさの異なる幼虫を集めることができる。

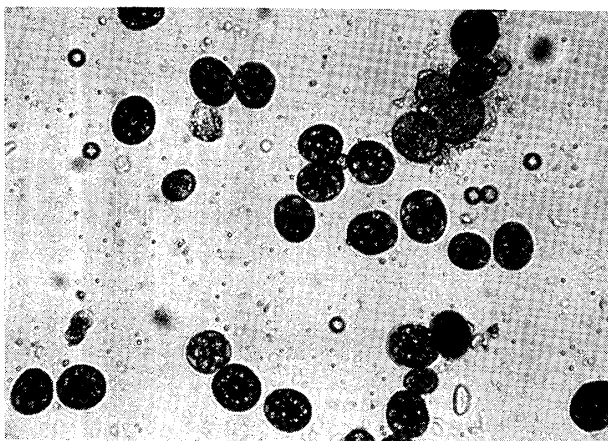


図21 コクヌストモドキ類に寄生する原生動物の1種 *Adalina*

さらに密度を厳密にするには、卵からふ化した幼虫を、餌に一定密度で放す。この時、先を細くした吸虫管(図20)を用いて、ふ化幼虫を吸い取りながら、数を数えれば、幼虫を傷つけることもない。

コクヌストモドキ類は、前報で述べた様に、*Adelina*(図21、老齢幼虫がひからびた様になって死ぬ)などの病原菌に寄生されると、実験結果に影響を与える。この疑いがある時は、卵を殺菌する。卵を図22の様にナイロンゴース(網、70~80メッシュ)に入れ、1%塩化ベルザルコニウム液(逆性石鹼)に漬ける。この時、網の箱を揺っ

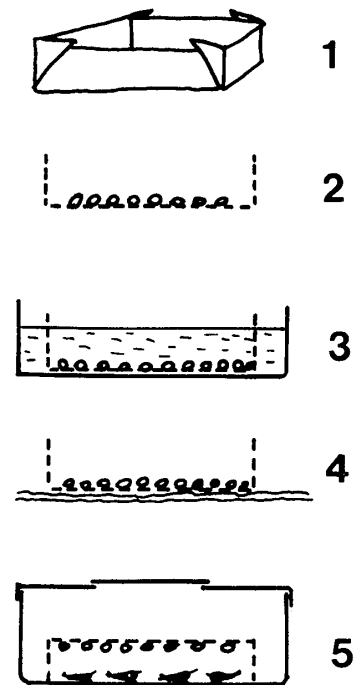


図22 コクヌストモドキ類の卵の殺菌。

1. ナイロンの網(80メッシュ)を箱型に折る。
2. 卵を入れる。
3. 1%逆性石鹼液に20分漬ける。
4. 取り出して、ティッシュペーパーの上に置いて水分を取る。
5. 容器に逆さにして伏せておくとふ化した幼虫が底に落下してくる。

て、卵が一様にナイロン網の底に沈む様にする。20分後に網ごと引き上げて、ティシューペーパーの上に置いて水分を取る。乾燥させるために、通気性のある空の容器に逆さにして置いておく。ふ化した幼虫が容器の底に落下してくるので、これを集めて、カルチャーや実験に用いる。

表11に幼虫の各齢の頭幅を示したが、齢毎の頭

表11 ヒラタコクヌストモドキとコクヌストモドキを29℃, 70%r.h.で、小麦の全粒粉+イーストの餌で飼育した場合の幼虫の頭幅

齢	<i>T. confusum</i>		<i>T. castaneum</i>	
	平均 (mm)	範 囲	平均 (mm)	範 囲
1	0.160	0.150-.175	0.156	0.150-.162
2	.196	.175-.225	.190	.175-.225
3	.261	.225-.300	.242	.200-.262
4	.353	.300-.375	.326	.275-.350
5	.470	.375-.525	.446	.350-.488
6	.608	.500-.650	.590	.475-.638
7	.661	.612-.688	.662	.575-.712

Ho (1961)

表12 ヒラタコクヌストモドキの幼虫密度と幼虫、蛹の死亡率および幼虫期間

幼虫密度/餌1g	死亡率(%)		幼虫期間(日)	
	幼虫	蛹	平均	s.d.
0.25	9.4 <sup>a</sup>	1.6	38.3±4.9 <sup>a</sup>	
1	7.8	6.2	38.7±4.9	
4	39.1	26.6	52.0±11.3	
8	75.0	46.9	92.1±30.1	
16	108.6	56.2	141.4±37.8	

a:密度を一定にするため、後から加えた幼虫も含めて計算している (Park, 1938)。

表13 ヒラタコクヌストモドキとコクヌストモドキの30℃, 70%r.h.での発育日数(日)

発育ステージ	<i>T. confusum</i>	<i>T. castaneum</i>
卵	4.9	3.6
幼虫	18.0	17.2
蛹	6.1	5.5
計	29.0	26.3

餌は小麦のふすま (Howe, 1956, 1960から作成)。

幅はオーバーラップするので注意を要する。幼虫の密度が高くなると発育期間が延長し、幼虫や蛹の死亡率も高まる(表12)。また高密度などにより、カルチャーの中の幼虫の発育が不揃いになると、蛹や新成虫が発育の遅い幼虫に共食いされる。蛹化した蛹をふるい取って幼虫と分ければ、共食いは避けられる。

表13に30℃, 70%r.h.での両種の各発育ステージの発育日数を示した。羽化した成虫は次のカルチャーを作るのに用いる。

### 3. マダラメイガ類

マダラメイガ類は鱗翅目メイガ科の中でマダラメイガ亜科(マダラメイガ科とする場合もある)に属する昆虫である。この亜科には多数の野外種が記載されているが (Richard & Thomson, 1932; Heinrich, 1956; Whalley, 1970), 少なくとも20種のマダラメイガ類が貯蔵食品を加害することが知られている (井村, 1985)。この内、スジマダラメイガ (*Ephestia cautella* (Walker), 以下スジ), チャマダラメイガ (*Ephestia elutella* (Hübner), 以下チャマダラ), スジコナマダラメイガ (*Ephestia kühniella* Zellar, 以下スジコナ) とノシメマダラメイガ (*Plodia interpunctella* (Hübner), 以下ノシメ) (図23)の4種は、特に重要な害虫で、日本国内にも分布している (表14)。

#### (1) 生態

これら4種のマダラメイガ類は、屋外では、落下した果実、腐植質、樹皮の下やミツバチの巣で発見され (Linsley, 1944), 本来は野生の果実や種子を食べていたと考えられる (井村, 1985)。いずれも穀物を加害するが、その食性は種ごとに異なっている。スジは、穀物、大豆、油用種子、ナッツ類、乾燥果実、豆類とその加工品を食害し、極めて広い食性を有する。ノシメも同様に広い食性を持ち、米や様々な加工食品に最も頻繁に被害を与える。スジコナの被害は、穀物とその加工品に限られ、製粉、精麦工場の大害虫である。チャマダラは、穀物ではスジコナほど頻繁に発見されないが、比較的広い食性を持つ。またタバコの害虫として知られる。

これらの種は世界各地から記録されているが、

表14 日本国内で貯蔵食品を加害するマダラメイガ類

和名	学名	英名
スジマダラメイガ(コナマダラメイガ)	<i>Ephestia cautella</i> (Walker) ( <i>Cadra cautella</i> (Walker))	tropical warehouse moth または almond moth
チャマダラメイガ	<i>E. elutella</i> (Hübner)	warehouse moth または tobacco moth
スジコナマダラメイガ	<i>E. kühniella</i> Zeller ( <i>Anagasta kuehniella</i> (Zeller))	Mediterranean flour moth
ノシマダラメイガ	<i>Plodia interpunctella</i> (Hübner)	Indianmeal moth

日本の学会ではスジは *cadra* を、アメリカ昆虫学会は学名、英名とも下段のものを使用する様に指定している。

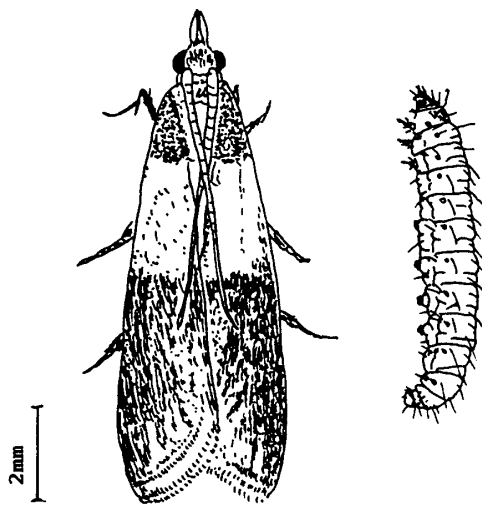


図23 ノシマダラメイガの成虫と幼虫

その分布の中心は種によって片寄りがある。図24に4種の北半球での分布を、その重要度に基づいて、模式的に示した。スジは熱帯地域では特に重要な害虫であるが、スジコナとチャマダラは、温帯から亜寒帯に分布の中心がある。ノシメは熱帯から温帯の北部まで広い分布を示すが、害虫としては、温帯地域で最も重要と考えられる。日本国内では、チャマダラとスジコナは北海道の旭川、ノシメは苫小牧、スジは函館で分布を確認している。本州には4種とも分布しているが、スジコナは本州より南では記録がない。チャマダラも九州では山間部に分布が限られている。沖縄ではスジが優占種である。

生活史は、4種とも大変良く似ている。成虫は卵を穀物や食品の表面や中に産み付け、ふ化した幼虫は、これらの餌を食べながら成長し、吐糸して餌をつづる。幼虫は通常5齢を経て、簡単なま

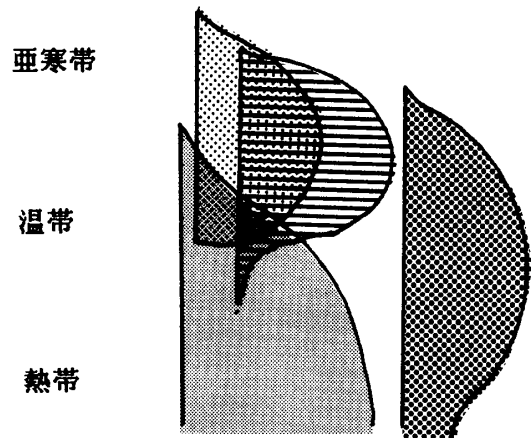


図24 マダラメイガ類4種の北半球での分布の模式図。

ゆを作って蛹化する。羽化した成虫は、1~2日の間に交尾し、寿命は2週間以内で短い。成虫は通常摂食しない。

スジコナとチャマダラは15℃から30℃までの温度範囲で発育できるが (Bell, 1975; Jacob & Cox, 1977; Imura, 1986), 低湿度条件では、スジコナはチャマダラより早く発育できる (図25)。スジとノシメの発育可能な範囲は17.5℃~35℃であるが (Burgess & Haskins, 1965; 田村, 1978), これらの2種は前2種ほど低い湿度条件では生育できない (図25)。またその種にとって発育できる温度の上限または下限に近い温度では、死亡率が高くなる (図26)。表15に4種の発育0点と有効積算温度を示した。スジコナの発育0点が最も低く、スジが最も高い。スジコナの中には積算温

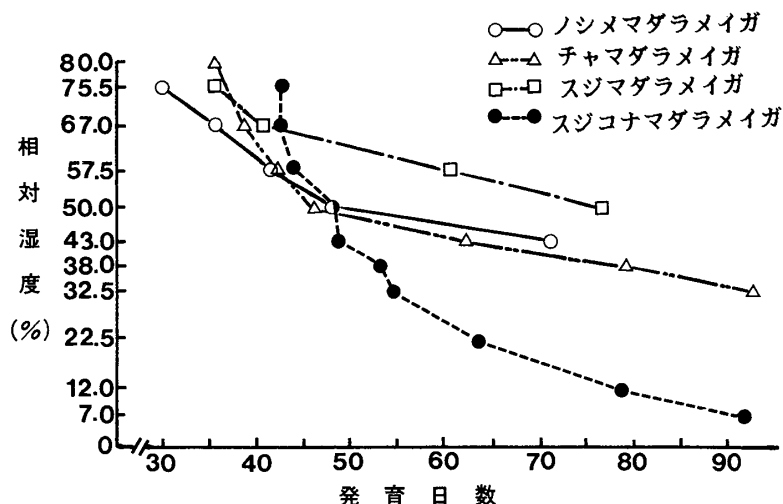


図25 4種のマダラメイガのふ化後の発育期間と湿度の関係。湿度は25℃ (井村, 1981)。

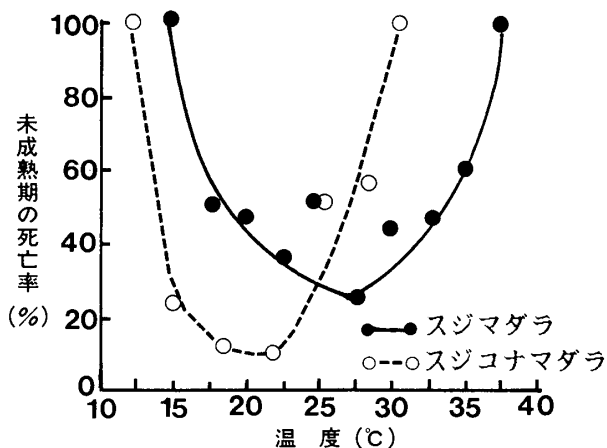


図26 スジマダラメイガとスジコナマダラメイガの未成熟期の死亡率と温度の関係 (Burges & Haskins, 1965と Imura 1986から作成)。

度が非常に大きい系統が見られる。

餌の種類によっても発育期間や羽化率が異なり、ノシメは米ぬかや玄米で最も発育が早く、小麦や小麦のふすまでは発育がやや遅れ、豆類ではさらに発育が悪く、死亡率も高まる (田村, 1978)。スジコナは、トウモロコシ粉や小麦のふすまで発育が早く、米ぬかや、精米では発育はやや遅れ、やはり死亡率も高い (向野瀬, 1961)。図27にノシメとスジコナの生育中の齢構成の変化の例を示した。幼虫密度が高くなると、発育期間が長くなり、羽化率と成虫サイズが減少する (Ulliyett & Merwe, 1946; Snyman, 1949; 高橋, 1956a,b)。

表15 マダラメイガ類の有効積算温度と発育0点

種	有効積算温度 (日度)	発育0点 (°C)
スジマダラメイガ	532.4	12.6 <sup>a</sup>
スジコナマダラメイガ	760.2	8.2 <sup>b</sup>
チャマダラメイガ	1392.3	7.5 <sup>c</sup>
ノシメマダラメイガ	660.6	10.8 <sup>d</sup>
	599.5	10.8 <sup>e</sup>

a : Burges & Haskins (1965), b : Imura (1986), c : Jacob & Cox (1977), d : Bell (1975), e : 田村 (1978) から作成。

図28に4種を小麦のふすまを餌として、25℃、67% r.h. で飼育した場合の羽化曲線を示した。通常雌の方が先に羽化してくる。羽化時刻は、種によって異なる。スジコナとスジは日没頃、ノシメとチャマダラは午後の明るい間に羽化のピークがある (Moriarty, 1959; Takahashi, 1973; 新井, 1979)。

羽化した雌成虫は腹部を上方に曲げ、コーリングを行ない、交尾するが、交尾も1日の内、特定の時刻がピークとなる (Takahashi, 1973; Nordlund & Brady, 1974; 新井, 1979)。雌の生涯の交尾回数は、ノシメ2.8回、スジコナ1.5回、スジ1.4回 (表16)であったが、雄の受精能力により異なる。

産卵時刻は、4種とも日没後に最も多くの卵を

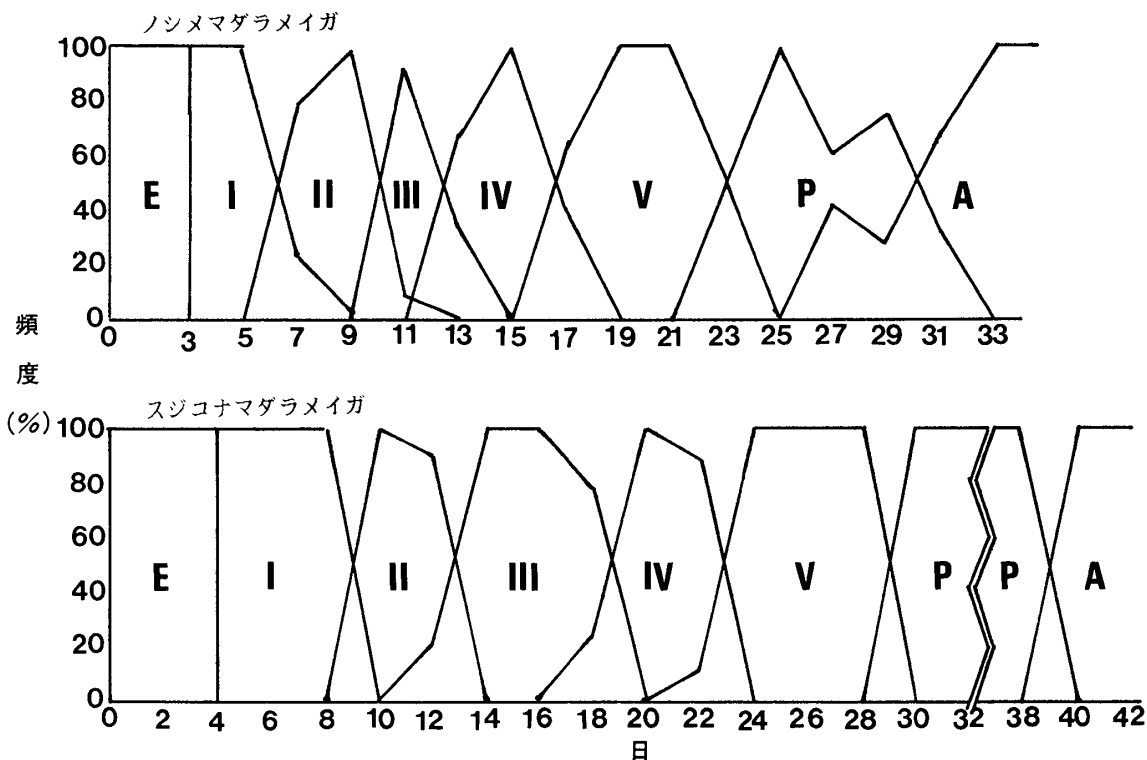


図27 ノシメマダラメイガ (28℃, 70% r.h., 餌: トウモロコシ) とスジコナマダラメイガ (25℃, 68% r.h., 餌: 小麦のふすま) の発育ステージの推移。Eは卵, I~Vは幼虫の齢, Pは蛹, Aは成虫 (Imura & Sinha, 1986と井村, 未発表から作成)。

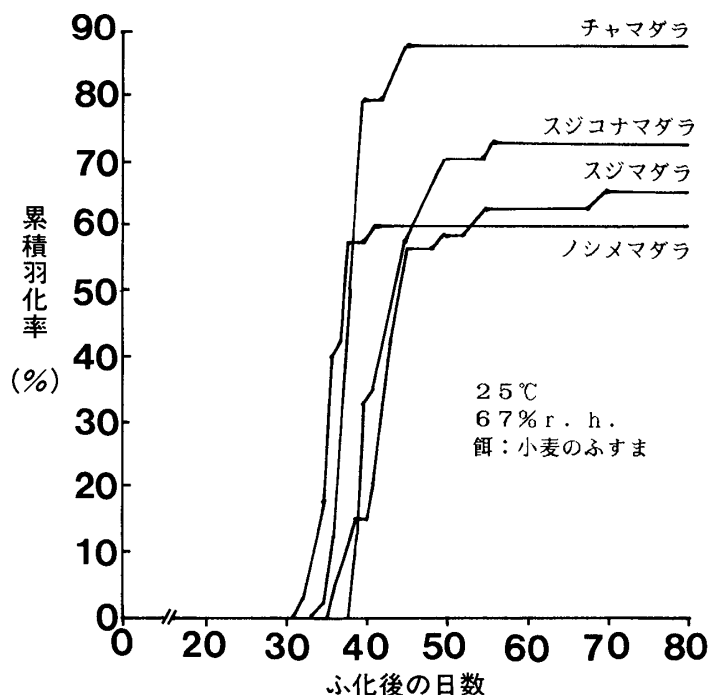


図28 マダラメイガ4種の羽化曲線 (井村, 1981より作成)。

産み, 日の出前にも小さなピークが見られるが, 日中はほとんど産卵しない (Hagstrum et al., 1973; 新井, 1979; Bell, 1981)。産卵は羽化後2日目頃にピークとなり, その後減少する (図29)。

表16に産卵数の例を示した。産卵数は, 成虫への給水 (Norris, 1934), 成虫密度 (Ullyett, 1945; Snyman, 1949; Benson, 1973a), 成虫のサイズ (Ullyett & Merwe, 1946; 高橋, 1956a;



Richards & Waloff, 1946; Snyman, 1949) によって異なる。さらに、飼育温度がスジコナとチャマダラでは28℃、ノシメとスジマダラでは35℃以上になると、産卵数が減少し、ふ化率が低下する (Bell, 1975; Lum, 1977; Imura, 1986)。また常明条件では産卵数が減少する (Lum & Flaherty, 1970)。

雌の成虫寿命を表16に示した。雄は通常これよ

表16 マダラメイガ類の雌の交尾回数、産卵数と成虫寿命

種	交尾回数	1 雌 当 り 産 卵 数		成虫寿命 平均(日)
	平均	平均	s.d.	
スジコナマダラメイガ	1.5	461.5 ± 32.0		6.8
スジマダラメイガ	1.4	191.8 ± 13.2		8.3
チャマダラメイガ	—	159.0		6.1
ノシメマダラメイガ	2.8	305.3 ± 27.9		11.7

25℃, 70%r.h. (井村, 1985)

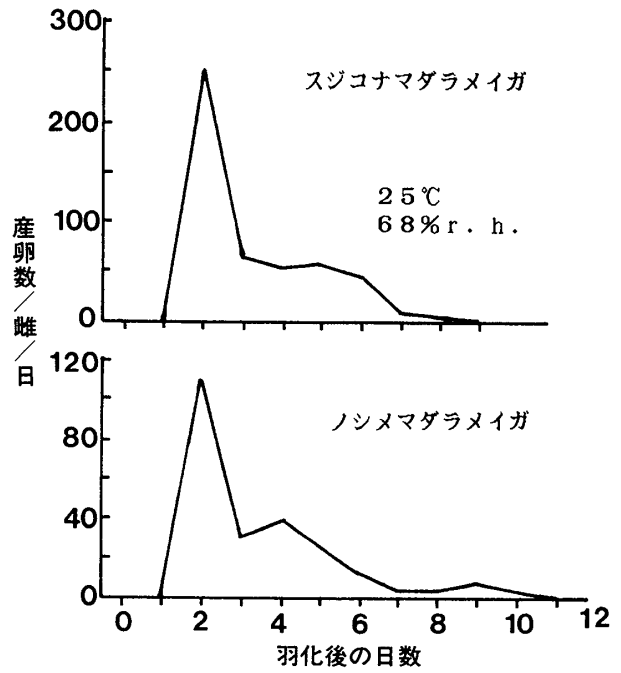


図29 スジコナマダラメイガとノシメマダラメイガの産卵曲線 (井村, 1985)。

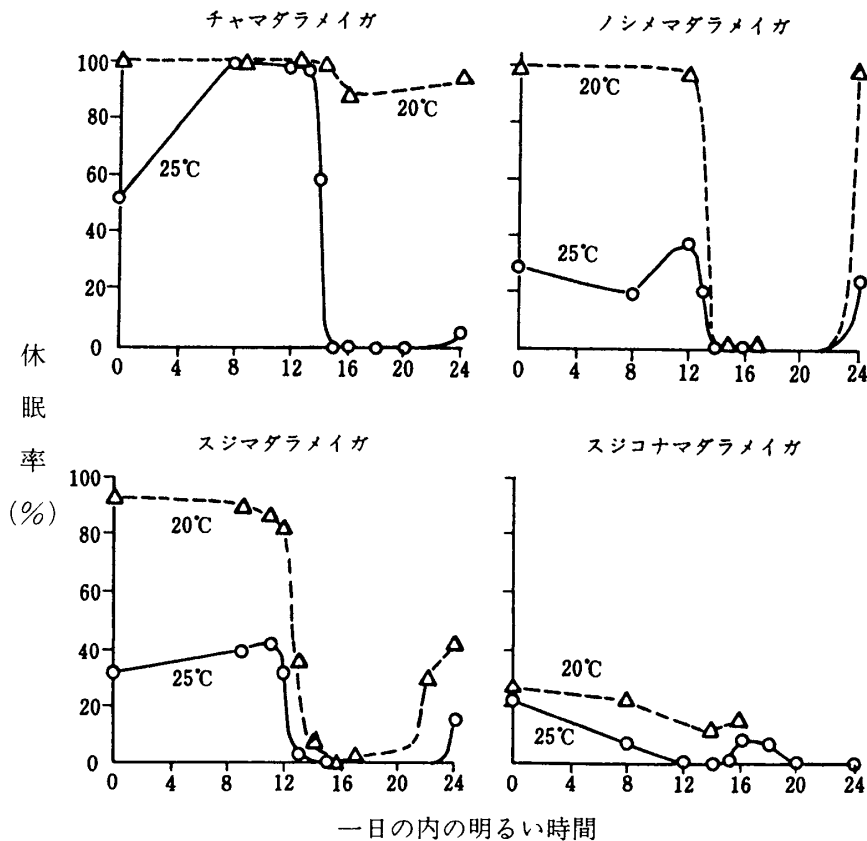


図30 マダラメイガ4種の幼虫の休眠率と日長、温度の関係 (Bell, 1976; Bell & Bowley, 1980; Cox et al., 1981から作成)。

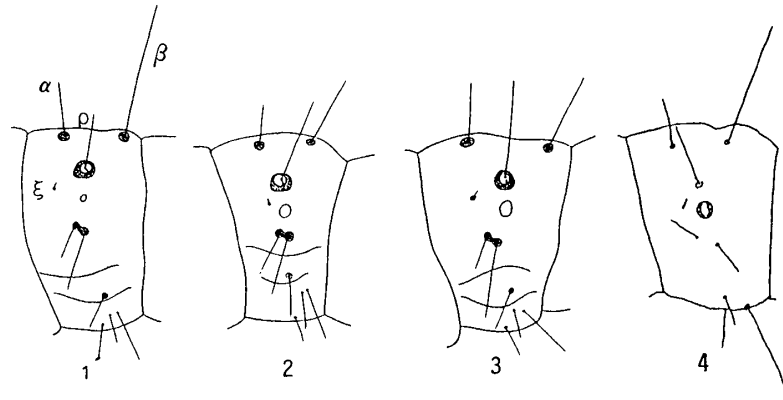


図31 マダラメイガ4種の幼虫の見分け方。1. チャマダラメイガ, 2. スジマダラメイガ, 3. スジコナマダラメイガ, 4. ノシメマダラメイガの腹部第8節の側面図 (1~3はFreeman, 1980)。

表17 マダラメイガ類の個体群増殖のパラメーター

種	$\gamma_m^{(1)}$	$\lambda^{(2)}$	$R_o^{(3)}$	$T^{(4)}$
ノシメマダラメイガ <sup>a</sup>	0.113	2.2	95.2	40.5
スジコナマダラメイガ <sup>b</sup>	0.113	2.2	114.6	42.2
チャマダラメイガ <sup>c</sup>	0.061	1.5	26.8	54.1
スジマダラメイガ <sup>d</sup>	0.62	1.5	51.2	63.7
〃 <sup>e</sup>	0.126	2.3	206.8	42.2

(1) 1日当り内的増加率, (2) 1週間当り期間増加率 (倍), (3) 純繁殖率, (4) 平均世代時間 (日), a~cは25℃, 70%r.h.で飼育, aは米ぬか, b~dは小麦ふすま, dは26℃, 85%r.h., eは32℃, 95%r.h., ピーナツ, dとeはNawrot (1979)。

り長い。給水することにより延長し (Norris, 1934), 低湿度では短縮する (井村, 1981)。

表17にマダラメイガ類の個体群増殖のパラメーターを示した。またいずれの種も, 12時間以下の短日条件では, 休眠する個体または系統がある (図30)。

詳しいマダラメイガ類の生態は, Benson (1973b), Cox (1979), 井村 (1985) などを参照して欲しい。

(2) 種の同定

幼虫では腹部第8節の刺毛の基部の着色, 気門の大きさ, 刺毛の位置により, 4種を識別できる (図31)。ノシメマダラメイガは, 腹部第1~8節の刺毛 $\alpha$ と $\beta$ の基部が黒く着色していない。 $\rho$ の基部の着色も弱い。他の3種はいずれも $\alpha$ と $\beta$ の基部が黒く着色しており,  $\rho$ の基部は黒いリングで囲まれる。この3種は第8節の気門の大きさ

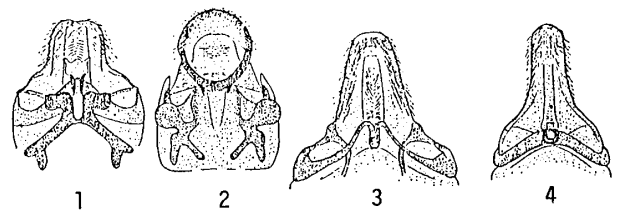
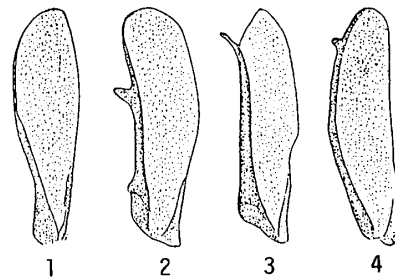


図32 雄成虫の把握弁 (上) と鉤状突器 (下) による, 1. チャマダラメイガ, 2. スジマダラメイガ, 3. スジコナマダラメイガ, 4. ノシメマダラメイガの識別 (Hinton & Corbet, 1975)。

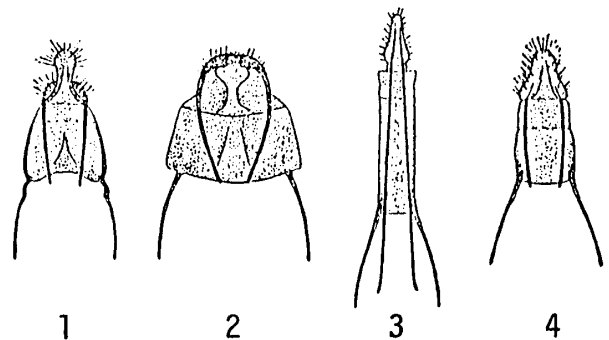


図33 雌成虫の産卵管による, 1. チャマダラメイガ, 2. スジマダラメイガ, 3. スジコナマダラメイガ, 4. ノシメマダラメイガの識別 (Hinton & Corbet, 1975)。

と $\xi$ の位置により識別する。雄成虫は把握弁と鈎状突器により(図32), また雌成虫は産卵管の形態により識別する(図33)。

(3) 外部形態による雌雄の判別

幼虫, 蛹および成虫の各ステージで区別できる(図34)。幼虫は, 中齢以後になると, 腹部第5節の背面に皮ふを通して, 雄では睾丸が透けて見える。体色の赤い幼虫は, 下から光をあてれば,

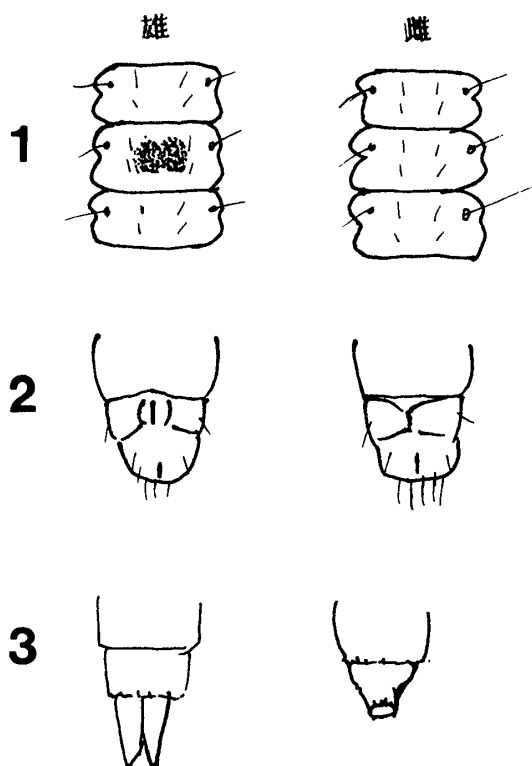


図34 1. 幼虫腹部第5節背面, 2. 腹面から見た蛹腹部末端, 3. 成虫腹部末端によるマダラメイガ類の雌雄の区別。

睾丸の有無が確認できる。蛹では, 腹部の末端の形態で区別できる。成虫は, 雄では把握弁があるので簡単に区別できる。

(4) 飼育

マダラメイガ類の飼育は, 前述の甲虫類と比較すると, その取り扱いや飼育はやや面倒であるが, その方法を確立すれば, それほど困難ではない。

飼育温度は, スジコナとチャマダラは25~26℃, ノシメとスジは25~30℃で飼育する。湿度は60~70% r.h., 光条件は14L以上の長日とする。餌は, スジは小麦のふすまか米ぬか, ノシメは米ぬかかトウモロコシ粉, スジコナは小麦のふすまかトウモロコシ粉, チャマダラはふすまが好適である。

羽化した成虫を新しい餌に放して, カルチャーをスタートさせることができる。しかし, マダラメイガ類は産卵数が多いので(表16, 図29), 少数の雌成虫を放しただけで, カルチャーが過密になり, また遺伝的にも単純になりやすい。

密度や発育齢期を一定にするには, 卵または幼虫を用いて, 新しいカルチャーを作る。数グラムの小麦粉(ハードタイプ, 70メッシュより細かい)をプラスチックの容器に入れ, 羽化した成虫を多数入れ, 1~2日産卵させる(図35)。成虫をアスピレーターで取り除き, 40メッシュと60メッシュ(スジとノシメは70メッシュ)のふるいを組み合せて, 成虫の死骸や脱落した肢, 卵と小麦粉を分ける(図35)。卵はコクヌストモドキ類の場合と同じ方法で数えることができるが(図20), 予め種ごとの卵のふ化率と重さを調べておけば, 以後は卵の重さから個体数を換算できる。筆者が

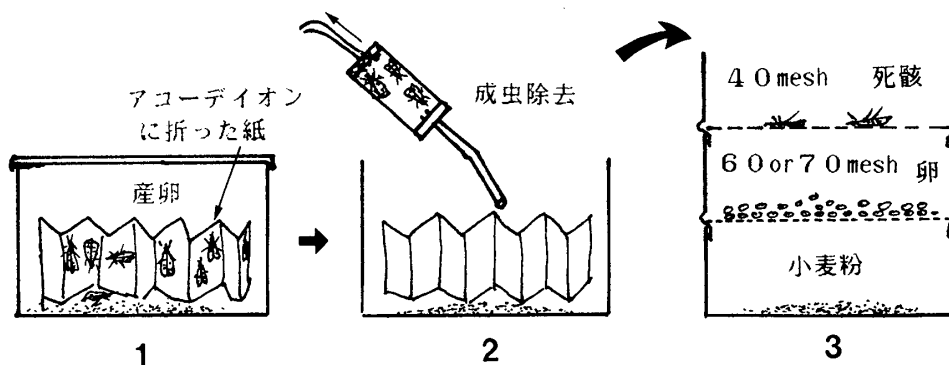


図35 マダラメイガ類の採卵。1. 小麦粉を入れた容器に成虫を放す, 2. アスピレーターで成虫を取り除く, 3. ふるいで卵を分ける。

測定した1,000卵の重さは、チャマダラ32.4 ± 0.6mg, スジコナ31.0 ± 0.6mg, ノシメ19.7 ± 0.4mg およびスジ17.1 ± 0.1mgである。必要なふ化幼虫の個体数を得るための、卵の重さは次の式で求める。

$$W_x = \frac{a}{1,000} \cdot W \cdot \frac{1}{F}$$

$W_x$  は餌に入れる卵の重さ、 $a$  は期待される幼虫数、 $W$  は1,000卵重、 $F$  はふ化率。

さらに密度を厳密に設定したい場合は、ふ化幼虫を用いる。卵は25℃で4～6日でふ化するので、ふ化幼虫を先の細い面相筆（必要な場合は、さらに毛を切って細くする）で1匹ずつ一定量の餌に移す。多少時間はかかるが、慣れれば、数千匹の

幼虫を数えることも困難ではない。

マダラメイガ類は、バクテリアや原生動物（図36）などの病原菌に感染すると、ストックの維持ができなくなるが、卵を殺菌することで防げる。殺菌はコクヌストモドキ類と同様の方法（図22）で行うが、マダラメイガ類では1%過酢酸を用い、界面活性剤（1% Tween 20）を1～2滴スポイドで添加する。20分後に取り出し、蒸留水で水洗し、乾燥させる（図37）。乾燥した卵は、ナイロン網の両端を数度引っばると、卵を痛めることなく網から取り剥せる。

カルチャーの餌は2cm以上深くしても、下層の餌はほとんど利用されないので、餌の深さは1.5cmぐらいにする。飼育中に幼虫の一部が餌の上へあふれて出て来るようなら、過密状態なので、幼虫の密度を下げる。図38に幼虫密度と羽化率の関係を示した。

幼虫をカルチャーから分離するには、ツルグレン装置を用いる（図39）。まずカルチャーを容器から10メッシュのふるいに移し、余分な餌をふるい落とす。この時幼虫は餌を糸でつづっているのでふるいに残る。このふるいを60メッシュぐらいのふるいの上に重ねて、図39の様に装置にかける。白熱灯による加熱は、急激に行くと幼虫が死ぬので、スライド式のトランスを用いて、低い電圧から、徐々に加熱する。幼虫が餌からはい出してき

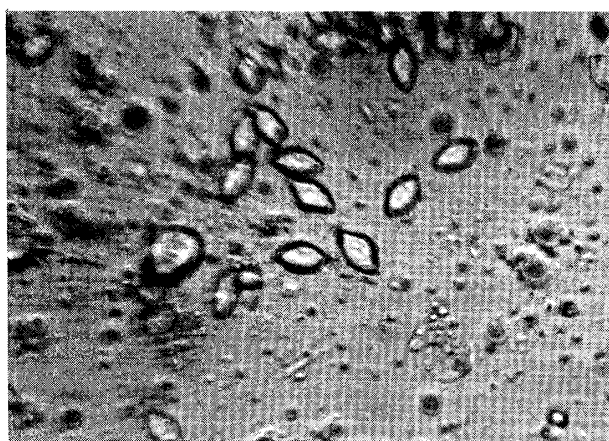


図36 マダラメイガ類に寄生する原生動物の1種 *Mattesia*

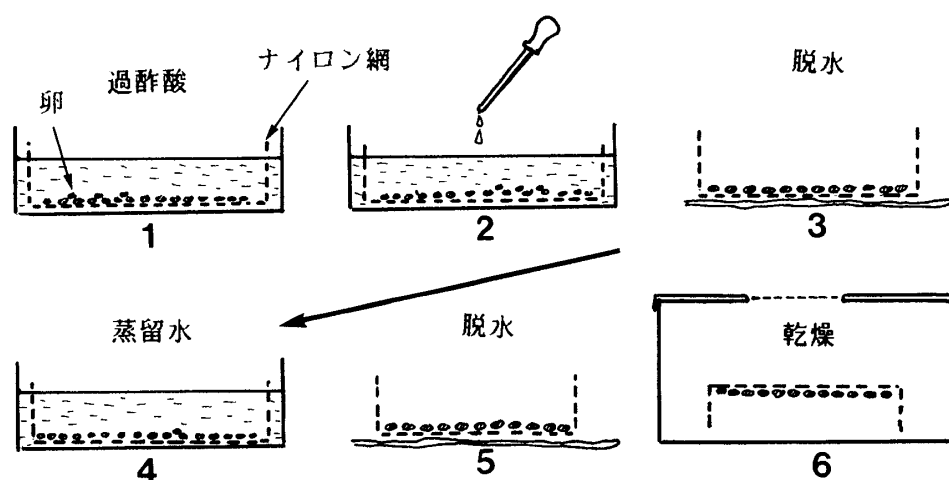


図37 マダラメイガ類の卵の殺菌。1. 1%過酢酸に漬ける、2. 1% Tween 20を数滴添加して、約20分放置する、3. ティシュペーパーの上で液を切る、4. 蒸留水で水洗する、5. 蒸留水を吸い取る、6. ナイロン網を逆さにして、卵を乾燥させる（図22も参照のこと）。

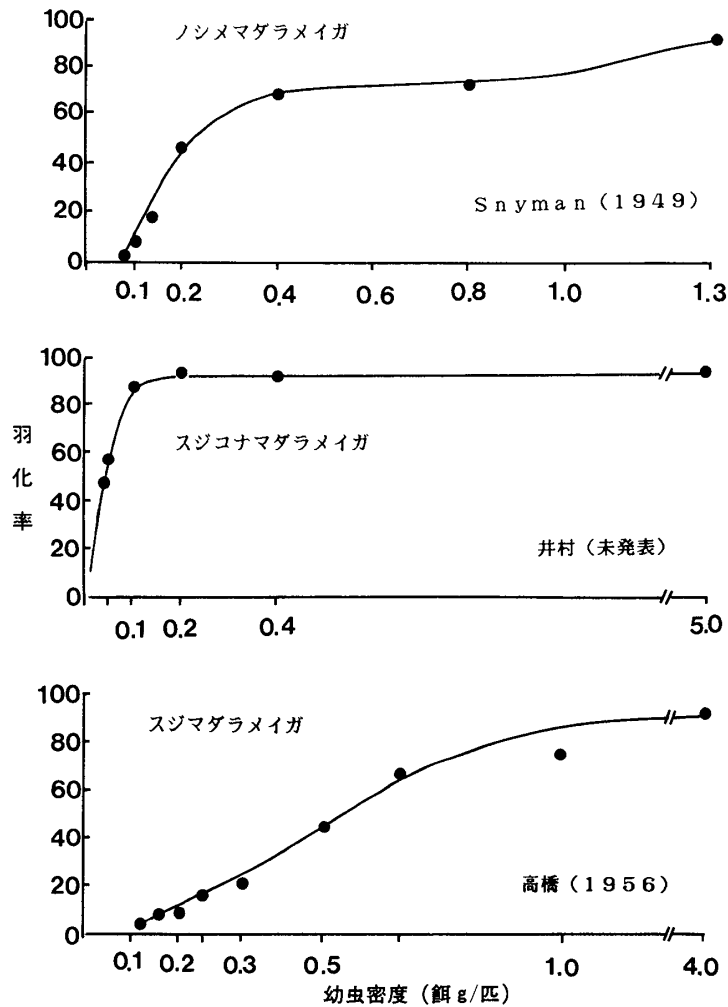


図38 幼虫の初期密度と羽化率の関係

表18 ノシメダラメイガとスジコナダラメイガの幼虫各齢の頭幅 (μm)

幼虫 齢	ノシメダラメイガ <sup>a</sup>			スジコナダラメイガ <sup>b</sup>		
	$\bar{X}$	min.	max.	$\bar{X}$	min.	max.
1	158	134	171	218	200	225
2	228	183	281	326	318	350
3	380	343	416	511	450	550
4	605	502	649	846	775	900
5	898	845	955	1,196	1,125	1,300

a 28°C, 70% r.h., 餌はトウモロコシ

b : 25°C, 68% r.h., 餌は小麦のふすま

たら、電圧を上げて、幼虫を下のふるいに追い出す。表18に、ノシメとスジコナの幼虫各齢の頭幅を示した。

蛹のステージを取り出したい時は次の方法を用

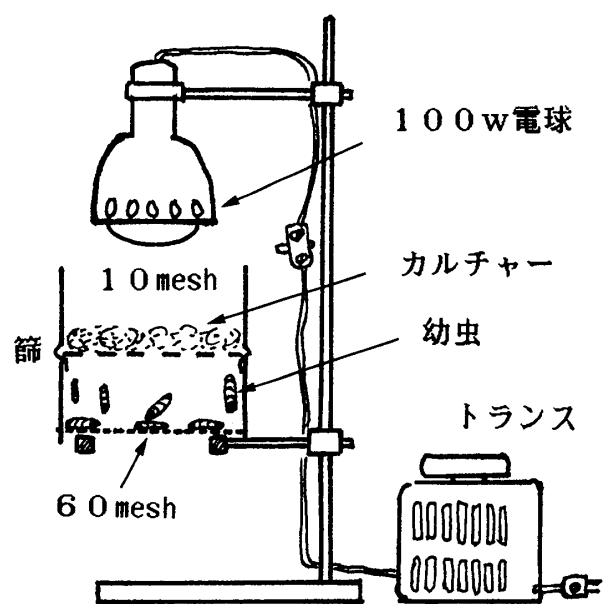


図39 幼虫をカルチャーから分離するためのツルグレン装置

いる。蛹化前に幼虫が餌からはい出してワンダリングを始めたら、餌をかきまぜると、さらにはい出す個体が増える。1 cmぐらいに切った、半透明のストローを餌の上に撒いておくと、幼虫は蛹化するためにこの中に入るの、これを集める。中で蛹化したら、ストローからピンセットで引っぱり出す。

羽化した成虫から卵を採って、次のカルチャーを作る。

### おわりに

ここに上げた3つの害虫グループ以外にも、多くの貯蔵食品害虫がいるが、少し工夫すれば同様の方法で飼育できる種が多い。最後に参考文献をいくつかあげておいた。

ここで述べた貯蔵食品害虫の飼育方法は、筆者が食品総合研究所貯蔵害虫研究室で、これらの昆虫を飼育してきた経験を基に、その飼育方法の1例として述べたに過ぎない。これらの害虫は、他の多くの場所で、多くの人々により飼育されており、そこではまた別の勝れた飼育技術が用いられているはずである。またこれらの技術は、さらに改善されるべきものである。それにもかかわらず、日本の害虫研究者が、害虫の飼育から解放され、より創造的な研究活動に没頭できる日が来ることを願って、筆をおきたい。

### 文 献

(コクゾウ類関係)

- Birch, L. C. (1945) The mortality of the immature stages of *Calandra oryzae* (L.) (small station) and *Rhyzopertha dominica* Fab. in wheat of different moisture contents. Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci., 23 : 141-145.
- Birch, L. C. (1953) Experimental background to the study of the distribution and abundance of insects. I. The influence of temperature, moisture and food on the innate capacity for increase of three grain beetles. Ecology 34 : 698-711.
- Campbell, A., Singh, N. B. and Sinha, R. N. (1976) Bioenergetics of the granary weevil, *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera : Curculionidae). Can. J. Zool. 54 : 786-798.
- Eastham, L. E. S. and Segrove, F. (1947) The influ-

ence of temperature and humidity on instar length in *Calandra granarius* Linn. J. exp. Biol. 24 : 79-94.

Floyd, E. H. and Newsom, L. D. (1959) Biological study of the rice weevil complex. Ann. Entomol. Soc. Amer. 52 : 687-695.

Longstaff, B. C. (1981a) Biology of the grain pest species of the genus *Sitophilus* (Coleoptera : Curculionidae) : a review. Prot. Ecol. 2 : 83-130.

Longstaff, B. C. (1981b) Density-dependent fecundity in *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera : Curculionidae). J. stored Prod. Res. 17 : 73-76.

Lum P. T. M. and Baker, J. E. (1974) Sexual dimorphism in the sixth abdominal sternite of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera : Curculionidae). J. stored Prod. Res. 11 : 57-59.

Halstead, D. G. H. (1963a) External sex differences in stored-products coleoptera. Bull. ent. Res. 54 : 119-134.

Halstead, D. G. H. (1963b) The separation of *Sitophilus oryzae* (L.) and *S. zeamais* Motschulsky (Col., Curculionidae), with a summary of their distribution. Ent. Mon. Mag. 99 : 72-74.

桐谷圭治 (1971) 鞘翅目オサゾウムシ科 熱帯等における貯蔵害虫に関する調査研究 農林水産技術会議 pp.1-21

Kuschel, G. (1961) On problems of synonymy in the *Sitophilus oryzae* complex (30th contribution, Col. Curculionidae). Ann. Mag. nat. Hist. ser. 13 4 : 241-244.

日本麦類研究会 (1970) 放射線による貯蔵害虫の防除 1 コクゾウ類. 50pp.

農林水産技術会議 (1970) 熱帯等における貯蔵害虫に関する調査研究—東南アジア地域における貯蔵害虫相, 食性および分布 48pp.

尾原和夫・安江安宣 (1975) コクゾウ類個体群の内的自然増加率 応動昆虫中国支会報 17 : 26-29.

里見紳生 (1955) 産地を異にするコクゾウ類の生理生態学的特性について. 防虫科学 20 : 55-61.

Segrove, F. (1951) Oviposition behaviour in the two strains of the rice weevil, *Calandra oryzae* Linn. (Coleop., Curculionidae). J. exp. Biol. 28 : 281-297.

Singh, N. B., Campbell, A. and Sinha, R. N. (1976) An energy budget of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera : Curculionidae). Ann. Entomol. Soc. Amer. 69 : 503-512.

Sinha, R. N. and Watters, F. L. (1985) Insect pests of flour mills, grain elevators, and feed mills and their control. Agriculture Canada, Ottawa, 290pp.

- 高橋 奨 (1931) 米穀害虫の駆除予防. 明文堂, 東京 201pp.
- 渡辺 直・時広五郎・尊田望之 (1981) 本邦における貯穀関連甲虫および蛾類について 植防研報 17 : 9-17.  
(コクヌストモドキ類関係)
- Dawson, P. S. (1964) Age at sexual maturity in female flour beetles, *Tribolium castaneum* and *T. confusum*. Ann. Entomol. Soc. Amer. 57 : 1-3.
- Dick, J. (1937) Oviposition in certain coleoptera. Ann. appl. Biol. 24 : 762-796.
- Good, N. E. (1936) The flour beetles of the genus *Tribolium*. USDA Tch. Bull. No. 498 : 1-57.
- 林 長閑 (1981) 食品類にみられる鞘翅目幼虫の同定手びき 1. ゴミムシダマシ科 家屋害虫 9・10 : 69-78.
- Hinton, H. E. (1948) A synopsis of the genus *Tribolium* Macleay, with some remarks on the evolution of its species-groups (Coleoptera, Tenebrionidae). Bull. ent. Res. 39 : 13-55.
- Ho, F. K. (1961) Optic organs of *Tribolium confusum* and *T. castaneum* and their usefulness in age determination (Coleoptera : Tenebrionidae). Ann. Ent. Soc. Amer. 54 : 921-925.
- Ho, F. K. (1967) Identification of *Tribolium* larvae by their setal characteristics (Coleoptera : Tenebrionidae). Ann. Ent. Soc. Amer. 60 : 729-732.
- Ho, F. K. (1969) Identification of pupae of six species of *Tribolium* (Coleoptera : Tenebrionidae). Ann. Ent. Soc. Amer. 620 : 1231-1237.
- Hope, J. A. (1953) A simple method for sexing the confused flour beetle. Nature 171 : 265-266.
- Howe, R. W. (1956) The effect of temperature and humidity on the rate of development and mortality of *Tribolium castaneum* (Herbst)(Coleoptera, Tenebrionidae). Ann. appl. Biol. 44 : 356-368.
- Howe, R. W. (1960) The effects of temperature and humidity on the rate of development and mortality of *Tribolium castaneum* Duval (Coleoptera, Tenebrionidae). Ann. appl. Biol. 48 : 363-376.
- Howe, R. W. (1962) The effects of temperature and humidity on the oviposition rate of *Tribolium castaneum* (Hbst.)(Coleoptera, Tenebrionidae). Bull. ent. Res. 53 : 301-310.
- 井村 治 (1987) 貯穀害虫群集の構造と多様性 日本の昆虫群集 (木元・武田編) 東海大学出版会 pp.116-123.
- King, C. E. and Dawson, P. S. (1972) Population biology and the *Tribolium* model. In *Evolutionary Biology*. Vol. 5. (eds. Th. Dobzhansky, M. K. Hecht and W. C. Steere), Plenum Press, New York, pp.133-227.
- 桐谷圭治 (1956) 貯穀害虫の種類構成の調査 (第1報) 一種類構成の地域性一. 応用昆虫 12 : 217-224.
- Linsley, E. G. (1944) Natural sources, habitats, and reservoirs of insects associated with stored food products. Hilgardia 16 : 187-224.
- Mertz, D. B. (1961) Identification of *Tribolium* species by pupal characteristics. Ecology 42 : 811.
- Mertz, D. B. (1969) Age-distribution and abundance in population of flour beetles. I. Experimental studies. Ecol. Monogr. 39 : 1-31.
- Park, T. (1934) Observation on the general biology of the flour beetle, *Tribolium confusum*. Q. Rev. Biol. 9 : 36-54.
- Park, T. (1938) Studies in population physiology. VIII. The effect of larval population density on the post-embryonic development of the flour beetle, *Tribolium confusum* Duval. J. exp. Zool. 79 : 51-70.
- Park, T. and Frank, M. B. (1948) The fecundity and development of the flour beetles, *Tribolium confusum* and *Tribolium castaneum*, at three constant temperatures. Ecology 29 : 368-374.
- Sokoloff, A. (1972) The biology of *Tribolium*. Vol. 1. Clarendon Press, Oxford, 300pp.
- Sokoloff, A. (1974) The biology of *Tribolium*. Vol. 2. Clarendon Press, Oxford, 610pp.
- Sokoloff, A. (1977) The biology of *Tribolium*. Vol. 3. Clarendon Press, Oxford, 612pp.
- Sonleitner, F. J. (1978) Longevity and oviposition rate in *Tribolium castaneum*; Runber's hypothesis and natural selection. Tribolium Inf. Bull. 21 : 150-154.
- 内田俊郎 (1971) 鞘翅目ゴミムシダマシ科コクヌストモドキ属 熱帯地における貯穀害虫に関する調査研究 農林水産技術会議 pp.31-74.
- Young, A. M. (1970) Predation and abundance in populations of flour beetles. Ecology 51 : 602-619.  
(マダラメイガ類関係)
- 新井哲夫 (1979) ノシメマダラメイガの諸行動の日周期性に対する光周期の影響 日生態会誌 29 : 273-279.
- Bell, C. H. (1975) Effects of temperature and humidity on development of four pyralid moth pests of stored products. J. stored Prod. Res. 11 : 167-175.
- Bell, C. H. (1976) Factors governing the induction of diapause in *Ephesia elutella* and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera). Physiol. Entomol. 1 : 83-91.

- Bell, C. H. (1981) The influence of light cycle and circadian rhythm on oviposition in five pyralid moth pests of stored products. *Physiol. Entomol.* 6 : 231-239.
- Bell, C. H. and Bowley, C. R. (1980) Effect of photoperiod and temperature on diapause in a Florida strain of the tropical warehouse moth *Ephestia cautella*. *J. Insect Physiol.* 26 : 533-538.
- Benson, J. F. (1973a) Population dynamics of *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera, Braconidae) and *Cadra cautella* (Walker)(Lepidoptera, Phycitidae) in a laboratory ecosystem. *J. Anim. Ecol.* 43 : 71-86.
- Benson, J. F. (1973b) The biology of lepidoptera infesting stored products, with special reference to population dynamics. *Biol. Rev.* 43 : 1-26.
- Burges, H. D. and Haskins, K. P. F. (1965) Life-cycle of the tropical warehouse moth, *Cadra cautella* (Walk.), at controlled temperature and humidities. *Bull. ent. Res.* 55 : 775-789.
- Cox, P. D. (1979) The importance of phycitines on imports to Britain in relation to their biology. *Proc. 2nd Int. work. Conf. Stored-Prod. Entomol.* 380-395.
- Cox, P. D., Mfon, M., Parkin, S. and Seaman, J. E. (1981) Diapause in a Glasgow strain of the moth, *Ephestia kühniella*. *Physiol. Entomol.* 6 : 349-356.
- Freeman, P. (1980) Common insect pests of stored food products - a guide to their identification. British Museum Natural History economic series No. 15, British Museum, London, 69pp.
- Hagstrum, D. W. and Tomblin, C. F. (1973) Oviposition by the almond moth, *Cadra cautella*, in response to falling temperature and onset of darkness. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 66 : 808-812.
- Heinrich, C. (1956) American moths of the subfamily Phycitinae. *Bull. U. S. Natn. Mus.* 207 : 1-581.
- Hinton, H. E. and Corbet, A. S. (1975) Common insect pests of stored food products - a guide to their identification. British Museum Natural History economic series No. 15, British Museum, London, 62pp.
- 井村 治 (1981) 4種のマダラメイガに及ぼす湿度の影響 食総研報 38 : 106-114.
- 井村 治 (1985) 貯蔵食品を加害するマダラメイガ類の生態 食糧 25 : 47-76.
- Imura, O. (1986) Studies on the color variation in larvae of *Ephestia kühniella* Zeller (Lepidoptera : Phycitidae) III. Fitness of different larval color strains. *Res. Popul. Ecol.* 28 : 281-293.
- Imura, O. and Sinha, R. N. (1986) Bioenergetics of the Indianmeal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera : Pyralidae). *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 79 : 96-103.
- Jacob, T. A. and Cox, P. D. (1977) The influence of temperature and humidity on the life-cycle of *Ephestia kühniella* Zeller (Lepidoptera : Pyralidae). *J. stored Prod. Res.* 13 : 107-118.
- Linsley, E. G. (1944) Natural sources, habitats and reservoirs of insects associated with stored food products. *Hilgardia* 16 : 187-224.
- Lum, P. T. M. (1977) High temperature inhibition of development of eupyrene sperm and of reproduction in *Plodia interpunctella* and *Ephestia cautella*. *J. Georgia Entomol. Soc.* 12 : 199-203.
- Lum, P. T. M. and Flaherty, B. R. (1970) Regulating oviposition by *Plodia interpunctella* in the laboratory by light and dark conditions. *J. Econ. Entomol.* 63 : 236-239.
- Moriarty, F. (1959) The 24-hr rhythm of emergence of *Ephestia kühniella* Zell. from the pupa. *J. Insect Physiol.* 3 : 357-366.
- 向野瀬健 (1961) スジコナマダラメイガ *Anagasta kühniella* (Zeller) に関する調査 1. 食餌の種類が发育に及ぼす影響 大阪植物防疫 85 : 1-6.
- Naurot, J. (1979) Population parameters for almond moth (*Cadra cautella* Wlk.)(Lepidoptera : Phycitidae) reared on natural products. *Prace Naukowe IOR Proznau* 21 : 53-60.
- Norris, M. J. (1934) Contributions towards the study of insect fertility. III. Adult nutrition, fecundity, and longevity in the genus *Ephestia* (Lepidoptera : Phycitidae). *Proc. Zool. Soc. Lond.* 2 : 333-360.
- Richards O. W. and Thomson, W. S. (1932) A contribution to the study of the genera *Ephestia*, gn. (including *Strymax*, Dyar), and *Plodia*, gn. (Lepidoptera : Phycitidae), with notes on parasites of the larvae. *Trans. R. Ent. Soc. Lond.* 80 : 169-250.
- Richards O. W. and Waloff, N. (1946) The study of a population of *Ephestia elutella* Hubner (Lepidoptera : Phycitidae) living on bulk grain. *Trans. R. Ent. Soc. Lond.* 97 : 253-298.
- Snyman, A. (1949) The influence of population densities on the development and oviposition of *Plodia interpunctella* Hub. (Lepidoptera). *J. Ent. Soc. S. Africa.* 12 : 137-171.
- 高橋史樹 (1956a) コナマダラメイガの増殖能力に及ぼす棲息密度の影響 i. 成虫の体の大きさと産卵数, 寿命の関係について. 応用動物学雑誌 21 :



78-82.

- 高橋史樹 (1956b) コナマダラメイガの増殖能力に及ぼす棲息密度の影響 Ⅱ. 幼虫期の棲息密度と発育速度, 羽化率および羽化成虫の大きさの関係について. 応用動物学雑誌 21 : 179-185.
- Takahashi, F. (1973) Sex pheromones; are they really species specific? Mem. Coll. Agric. Kyoto Univ. 104 : 13-21.
- 田村正人 (1978) ノシメマダラメイガ *Plodia interpunctella* Hubner の生態に関する実験的研究 122pp.
- Ullyett, G. C. (1945) Oviposition by *Ephestia kühniella* Zell. J. Ent. Soc. S. Africa 8 : 53-59.
- Ullyett, G. C. and Merwe, J. S. (1946) Some factors influencing growth of *Ephestia kühniella* Zell. (Lep., Phycitid.). J. Ent. Soc. S. Africa 10 : 46-63.
- Whalley, P. E. S. (1970) A synonymic catalogue of the genera of Phycitinae (Lepidoptera : Pyralidae) of the world. Bull. British Mus. Natl. Hist. Ent. 25 : 33-72.
- (その他関連の文献)
- Boles, H. P. and Marzke, F. O. (1966) Lepidoptera infesting stored products. In *Insect colonization and mass production*. Smith, C. N. ed. Academic Press, New York, pp.259-270.
- Bell, C. H. (1976) Effect of cultural factors on the development of four stored-product moths. J. stored Prod. Res. 12 : 185-193.
- Navarro, S. and Gonen, M. (1970) Some techniques for laboratory rearing and experimentation with *Ephestia cautella* (Wlk)(Lepidoptera, Phycitidae). J. stored Prod. Res. 6 : 187-189.
- 佐々 学 (1965) 飼育法 ダニ類 (内田・佐々編) 東京大学出版会 東京 pp.35-36.
- Strong, R. G., Sbur, D. E. and Partida, G. J. (1967) Rearing stored-product insects for laboratory studies : lesser grain borer, granary weevil, rice weevil, *Sitophilus zeamais*, and Angoumois grain moth. J. Econ. Entomol. 60 : 1078-1082.
- Strong, R. G., Partida, G. J. and Warner, D. N. (1968) Rearing stored product insects for laboratory studies : six species of moths. J. Econ. Entomol. 61 : 1237-1249.
- 菅原寛夫 (1968) 昆虫飼育法 昆虫実験法 (深谷・石井・山崎編) 日本植物防疫協会 pp.118-125.
- 安富和男・梅谷献二 (1983) 実験用供試虫とその飼育法 衛生害虫と衣食住の害虫 全国農村教育協会 pp.256-285.