

モモシクイガの生態に関する基礎的研究

川 嶋 浩 三

(青森県農林総合研究センターりんご試験場)

Bionomics of the Peach Fruit Moth (*Carposina sasakii* MATSUMURA)

Kôzô Kawashima

Apple Experiment Station, Aomori Prefectural Agriculture and Forestry Research Center
Kuroishi Aomori, 036-0332 Japan

キーワード：モモシクイガ，各ステージの発育期間，幼虫の生態，成虫の生態，
幼虫の休眠

目 次

緒 言	4
I ステージ別の発育	5
1. 卵期	6
2. 果実内幼虫期	7
3. 果実脱出から羽化まで及び蛹期	8
4. 考察	10
1) 発育期間	10
2) 生存率	11
3) 性比及び雌雄の発育差	11
4) 休眠率	11
II 幼虫の生態	11
1. 果実内幼虫密度	11
2. 餌としての果実の品種及び熟度	12
3. 幼虫の齢数	13
4. 成熟幼虫の果実からの脱出時刻	14
5. 考察	16
1) 果実内幼虫密度の影響	16
2) 餌としての果実品質の影響	16
3) 幼虫の齢数	16
4) 成熟幼虫の果実からの脱出時刻	17
III 成虫の生態	17
1. 羽化時刻	17
2. コーリング及び交尾時刻	17
1) コーリング時刻	17
2) 交尾時刻	19
3. 交尾回数	20
1) 雄の交尾回数	20
2) 雄の日齢別交尾回数	20
3) 雌の交尾回数	22
4. 産卵時刻	22
5. 雌成虫の産卵消長, 産卵能力及び生存期間	22
6. 雌成虫の日齢とふ化率	24
7. 考察	25
1) 羽化時刻	25
2) コーリング及び交尾時刻	25
3) 交尾回数	25
4) 産卵時刻	25

5) 雌成虫の産卵消長及び生存期間	25
6) 雌成虫の日齢とふ化率	25
IV 休眠に関する試験	25
1. 果実からの幼虫脱出期と羽化時期との関係	25
2. 第1世代成虫の子世代における越冬後の羽化消長	28
3. 幼虫期の日長条件変更による繭の形成	31
4. 考 察	32
1) 果実からの脱出消長の解析	32
2) 非休眠個体に由来する子世代の脱出消長及び翌年の羽化消長	32
3) 休眠個体の果実からの脱出時期と翌年の羽化時期	32
4) 化性及び発生型を決める要因	34
5) 休眠と繭の形状	35
V 摘 要	35
引用文献	38
Summary	41

緒 言

モモシクイガ peach fruit moth (*Carposina sasakii* MATSUMURA) の青森県における被害の確認は1920年とされ、昭和初期には県内各地のりんご園で猛威を振るうようになった(青森県りんご試験場1981)。以降りんごやモモなどの重要害虫として、生態や防除に関する研究報告や技術書が数多く出されている(豊島1931, 福島1953a, 津川1972, 1984, 白崎ら1991)。しかし、本種は現在でも夏期におけるキーベストとしてその重要性を保ち続けている。

近年、さまざまな作物で新たな害虫が問題化しているが、それらの種の多くは、1) 薬剤に対する抵抗性が発達しやすい、2) 年間の世代数が多い、3) 微少である、4) ウイルスなどの伝搬能を有する、5) 単為生殖である、6) 産卵数が多い、などの特性を持っている(浜1992, 平井ら1996, 梅谷・岡田2003)。青森県でも花きなど多くの作物を加害するミカンキイロアザミウマ western flower thrips (*Frankliniella occidentalis* (PERGANDE) など、これらの条件の多くに該当する害虫が問題となっている(川嶋2001a, 2001b, 2001c, 2002a, 2002b)。しかし、モモシクイガはこれらの特性を備えていない。発生回数は青森県では年1~2化であり、他のりんご害虫に比較して格別多いとは言えない。薬剤抵抗性の発達も、他の害虫に比べればほとんどないに等しく、効力の低減によって普及から除外された薬剤はない。それにもかかわらず、依然として重要害虫となっている背景には、モモシクイガの特異な生態的特性がある。

落葉果樹の害虫ではコドリंगाが国際的に有名であるが(Putman 1963, Wearing 1979)、モモシクイガも同様に果実だけに食入し、収穫対象物を直接加害するため、要防除密度が極端に低い。また、果実内の幼虫に対して農業の殺虫効果を期待することはできない。農業の地表面散布(成田1987)、昆虫病原性線虫剤の利用(岡崎ら2002)や成虫に対する防除(青森県りんご試験場1985)も補助的な手段として利用できるものの、確実な効果を得るためには果実表面に産み付けられた卵を防除対象にするしかない。さらに、成虫の発生時期が非常に長く、産卵時期は6月中旬から3か月近くにも及ぶ。また、発生時期には地域的な違いがあることも知られている(津川1972, 佐藤・石谷1976a, 梶野・中尾1977, 成田1987)。これらのことから、発生予察や防除適期の把握が難しく、本種の防除は連続的で予防的な体系が主体となっている。現在、青森県の「りんご病害虫防除暦」におけるモモシクイガの防除に要する農業代は、年間の害虫防除に要する経費の少なくとも50%を占めると試算できる。

近年のりんご栽培は、生産コストの低減や労力の軽減、環境や隣接作物への配慮、消費ニーズへの対応など多様な問題を抱えており、病害虫防除においても手法や資材などの見直しが迫られている。青森県の「りんご病害虫防除暦」における年間散布回数は1981年の16回から段階的に削減され、2006年には10回となった(雪田2004, 青森県農業研究推進センター2003, 青森県農林水産技術会議2006)。また、交信攪乱剤や生物農薬などの新しい防除資材の導入を検討してきた(Sekitaら1984, 川嶋1993a, 1993b, 櫛田2002)。今後、より総合的な防除体系への移行が必要であるが、モモシクイガに対する連続的な薬剤散布は、他の害虫の薬剤抵抗性を発達させるばかりではなく、果樹園内の天敵類を減少させハダニ類などの発生を助長する要因となっており(奥1998, 木村・石栗2004)。新たな防除体系を模索する際の足かせとなっている。また、本種はりんご輸出における検疫対象として重要視されており(Kawakami *et al.* 1994, 深澤2006, 井畑・杉山2006)、国際的な視点による取り組みも求められている。

本種の生態学的研究の歴史は長く、相当の知見が蓄積されている。しかし、その特異な生活史から研究自体が難しかったり、データが少なく解析が不十分であるなど、解明されていない点は意外に多い。また、本種の防除体系の見直しや新たな発想を導き出すためにも、生態に係る研究の再評価が必要であり、基礎的な研究による情報の蓄積が不可欠である。

本研究は、1988~1992年にりんご果実の対米輸出を想定して実施した「輸出検疫特別対策事業」の中の一連の試験及び本種の各種防除試験の際に付随的に行った試験を取りまとめたものである。卵、幼虫、蛹の各ステージにおける発育期間を明らかにするとともに、幼虫の発育や成虫の行動に関するさまざまな生態的特徴を調査し、さらに休眠についてもできるだけ詳細な試験を行った。輸出検疫特別対策事業では、モモシクイガの低温あるいは燻蒸などによる検疫処理技術を確認することが目的の一つであった。そのためにモモシクイガ幼虫の大量確保が求められた。モモシクイガの累代飼育は比較的容易である(川嶋1991)が、大量の卵と幼虫を定期的に供給するためには、効率的な増殖システムの確立と新たな知識に基づいたシステムの迅速な改善が不可欠であった。この研究の過程で得られた基礎的データを逐次増殖システムにフィードバックすることにより、当初の目的を果たすことができた(青森県りんご試験場業務年報1989)。

本研究を遂行するにあたり、当時の瀬川一衛病虫部

長、白崎将瑛病虫部長をはじめ青森県りんご試験場病虫部の方々に多大なご協力をいただいた。本報告を取りまとめるにあたっては、元青森県りんご試験場関田徳雄博士から多くのご助言とご支援をいただいた。また、青森県農林総合研究センターりんご試験場石栗陽一主任研究員には、現在の内外における研究の状況などに関する情

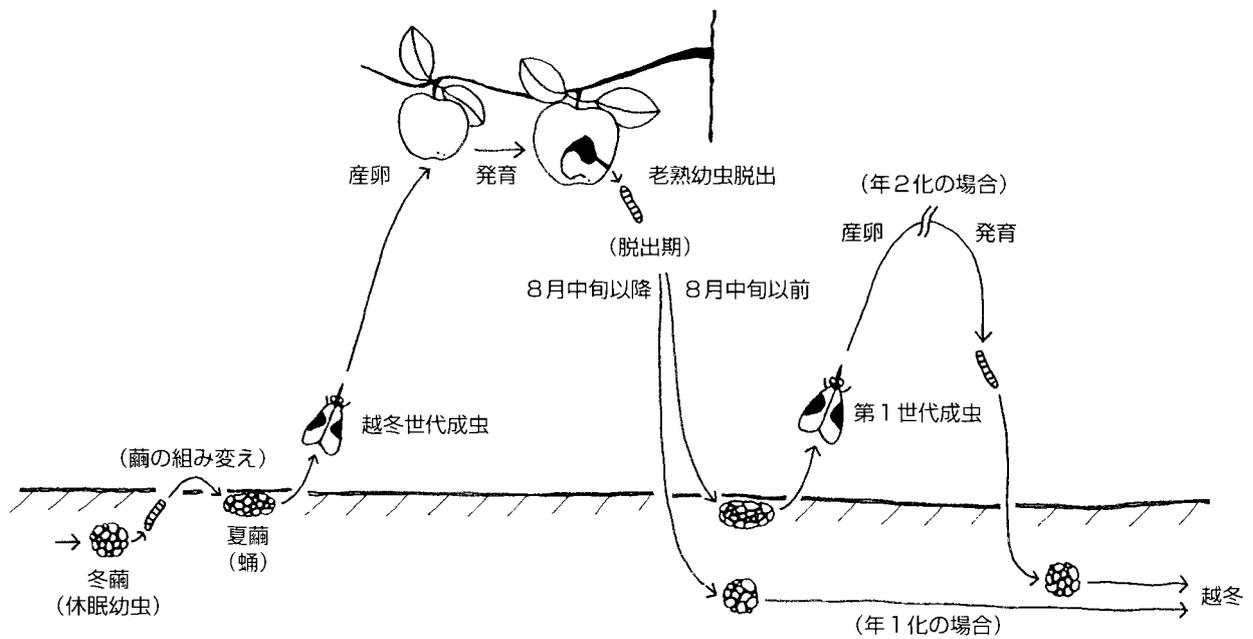
報をいただくとともに、同試験場の方々には本報告の出版に多大なご尽力をいただいた。さらに、ニュージーランドのIPM Research Co. Ltd.の David Steaven博士には英文サマリーの御校閲をいただいた。合わせてここに感謝し厚くお礼申し上げます。

I ステージ別の発育

モモシクイガの生活史を第1図に示した。モモシクイガの卵は果実表面に産み付けられる。ふ化した幼虫は果実に食入し、果肉を摂食して発育する。成熟した幼虫は果実から脱出して地上に落ち、土に潜って繭を形成する。果実から脱出した成熟幼虫が、①夏繭を形成するか、②冬繭を形成するかによって、その後、①休眠しないで年内に羽化するか、②幼虫のまま冬繭内で休眠するかが決まる。越冬した幼虫は冬繭から脱出し、夏繭に作り替えてから蛹化する。したがって、成熟幼虫が果実から脱出した段階では非休眠個体か休眠個体の判定はできず、繭を形成した段階で可能になる。なお、ふ化から果実脱出までを「幼虫期間」として記載している事例があるが、本報告では果実への食入から脱出までの期間を「果実内幼虫期間」と表現した。

卵、果実内幼虫期間及び果実から脱出後成虫までの各期間における発育環境、特に温度の影響を知ることは、発生子察や防除技術の開発の基礎となる。このため、ステージごとに温度を変えて飼育し、発育零点や有効積算温量を求めるとともに、生存率や幼虫の重さなどに与える温度の影響についても検討した。

供試した個体は室内でりんご幼果を餌にして長年累代飼育している個体群から得た。使用した恒温器は明期16時間暗期8時間（以下、16L 8Dと表記）に保った実験室に配置し、恒温器やタイマーは随時点検し、適正な温度条件と日長条件が維持されていることを確認した。また、試験に用いた幼虫の餌はすべてりんごの果実であり、試験方法には品種名のみを記載した。



第1図 モモシクイガの生活史（模式図）

1. 卵期

5段階の温度条件で卵を飼育し、ふ化までの所要期間とふ化率を調査した。次に、各温度における发育速度と温度との関係から发育零点と有効積算温量を推定した。

試験方法

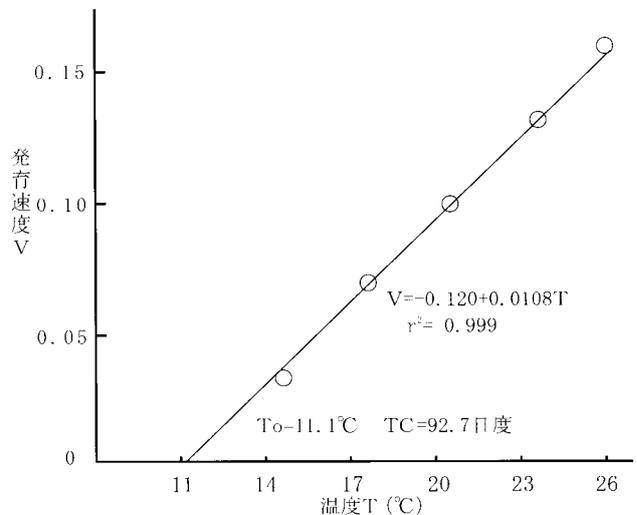
蛹期を23℃で飼育し、雌雄5対ずつを湿った濾紙が入ったプラスチック容器(15cm×26cm×7cm, 以下容器A)に収容し、14, 17, 20, 23, 26℃の温度条件で1日間自由に交尾させた。次に、川嶋・山田(1983)の方法により、1~2mm幅の蛇腹状に折ったパラフィン葉包紙(以下、採卵紙)を入れたガラス製小型シャーレ(直径4.3cm, 高さ1.5cm, 以下小型シャーレ)に雌成虫を1個体ずつ入れた。小型シャーレは湿度を保ったプラスチック容器(23cm×30cm×9cm, 以下容器B)にまとめて収納し、交尾条件と同じ温度に静置した。ただし、14℃区と17℃区では交尾率が低かったため、23℃で交尾させた個体をこれらの温度条件下に移し産卵させた。成虫が死亡するまで、新しい採卵紙を入れたシャーレに毎日入れ替えた。各雌ごとに1暗期中で最も多く産卵した卵(バッチ)を供試し、バッチの入ったシャーレを湿度を保った容器Bにまとめて収納し、14, 17, 20, 23及び26℃の恒温条件下に置いた。供試数は各温度10バッチとした。

毎日の暗期終了2~3時間後に、幼虫頭部の黒化が卵殻外から確認できる段階(black head stage: 以下bhs)に達した卵数とふ化数を調査した。

試験結果

各温度におけるbhsになった率、ふ化率、bhsになるまでの所要期間及び卵期間を第1表に示した。bhsになった率は14℃で79.5%, 17℃で93.9%, 20, 23及び26℃では95%以上であった。ふ化率は14℃で28.2%, 17℃で90.2%, 20, 23及び26℃では95%以上であり、bhsになっ

た率と同様の傾向を示した。しかし、14℃では極端に低く、bhsになったにもかかわらず2つのバッチでは全くふ化が見られなかった。bhsになるまでの平均所要期間は14℃で25.6日であり、温度が上がるにつれて短縮し、26℃では5.0日であった。14℃ではバッチごとにbhsになるまでに数日のばらつきが見られた。bhsが確認された時点からふ化するまでに、14℃では4~6日、17及び20℃では2~3日、23℃では2日、26℃では1日を要した。14, 17, 20, 23, 及び26℃における平均卵期間はそれぞれ31.0, 16.0, 10.7, 7.8及び6.2日であった。飼育温度(T)と各温度における卵期間の逆数(V, 以下: 发育速度)の関係は、 $V = -0.120 + 0.0108T$ であり、これから求めた发育零点(T_0)は11.1℃、有効積算温量(TC)は92.7日度であった(第2図)。



第2図 卵における温度と发育速度

第1表 各温度におけるbhsになった率、ふ化率、bhs^{z)}までの日数および卵期間

温度	調査 卵粒数	bhsになった率 (%)	ふ化率 (%)	bhsまでの日数 ^{y)}		卵期間(日)
				平均(最短-最長)	平均±標準偏差	
14℃	474	79.5	28.2	25.6 (24-27)	31.0±1.4	
17℃	488	93.9	90.2	12.8 (12-13)	16.0±0.6	
20℃	953	96.3	96.1	8.1 (8- 9)	10.7±0.5	
23℃	881	98.6	98.0	6.0 (6)	7.8±0.4	
26℃	1,149	99.6	97.5	5.0 (5)	6.2±0.4	

z) bhs: black head stage (卵殻の外側から頭部の黒化が確認できる段階)

y) バッチ内のほとんどの卵がbhsの状態に達するまでの日数

2. 果実内幼虫期

卵期と同様に異なる温度条件で幼虫を飼育し、各温度において果実内で成熟して脱出した幼虫の数、発育所要期間、幼虫の重さ、休眠性を調査した。

試験方法

ほ場から採取した100~130gの'ふじ'の幼果にふ化直前の卵を接種し、14、17、20、23及び26℃の恒温条件下に置いた。接種数は果実10g当たり1卵となるように調整し、各温度12反復とした。卵は採卵紙に産卵させたものであり、接種6時間後にふ化及び果実への食入を確認した。ふ化幼虫が食入した果実は、蓋に穴を開けたプラスチック容器（直径11cm、高さ6cm、以下容器D）に収納した。果実から脱出した成熟幼虫数を毎日調査し、脱出した幼虫はその重さを測定した後、湿った鋸屑を入れたプラスチックフィルムケース（直径3cm、高さ5cm、以下フィルムケース）に個体ごとに収容した。これを毎日観察し、冬繭を形成するかどうかによって休眠性を判定し、さらに、羽化した時点で雌雄を判定した。

試験結果

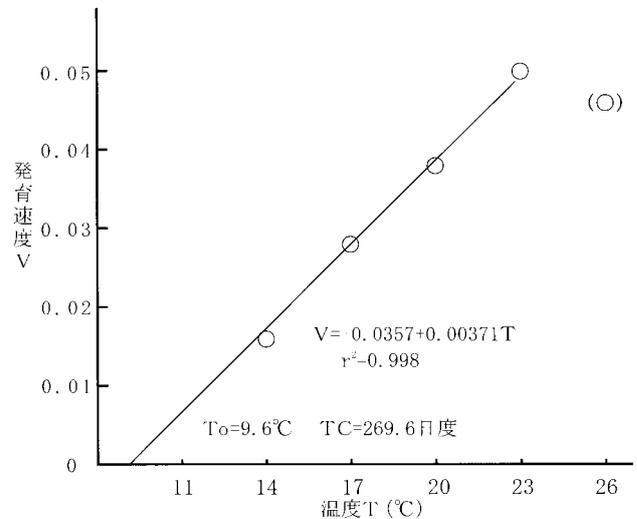
飼育温度の違いによる脱出数、脱出後の死亡個体数及び休眠個体数と雌雄別の非休眠個体数を第2表に示した。脱出数は温度が高いほど多かった。なお、脱出した幼虫の死亡要因は不明である。14℃で飼育した場合、脱出した32個体のうち3個体が死亡し、残り29個体のうち28個体が冬繭を形成して休眠に入り、1個体だけが夏繭を形成して雄成虫となって羽化した。17℃以上ではすべての個体が非休眠であった。いずれの温度でも雄が多く、温度が低いほどその傾向が顕著であった。

飼育温度の違いによる幼虫脱出率、果実内幼虫期間、脱出した幼虫の重さを第3表に示した。接種卵数（=食入幼虫数）に対する成熟幼虫の脱出率は14℃で24.2%と低く、温度が上がるに従って高くなったものの、26℃でも53.0%にとどまった。果実内幼虫期間は14、17、20、23、26℃でそれぞれ61.8、35.8、26.5、20.0、21.9日であ

り、23℃で最も短く、26℃では2日程度長くなった。26℃では個体ごとのばらつきもやや大きかった。

26℃を除く飼育温度（T）と各温度における発育速度（V）の関係は、 $V = -0.0357 + 0.00371T$ であり、これから求めた発育零点は9.6℃、有効積算温量は269.6日度であった（第3図）。なお、ほとんどの個体が休眠した14℃もこの直線で回帰できたので、ここでは区別しなかった。脱出幼虫の重さは23℃で最も重く、23℃を100とした場合、14℃で66.8、17℃で86.6、20℃で97.8、26℃で96.1であった。変異係数（=標準偏差/平均）は、17、20、23℃では14%程度であったが、14℃では31.3%、26℃では18.2%であり、他の温度よりも変異が大きかった。

雌雄別の果実内幼虫期間及び脱出幼虫重を第4表に示した。果実内幼虫期間には雌雄間の違いは見られなかった。しかし、脱出幼虫重にはいずれの温度でも有意な差が見られ、雄よりも雌が重かった。



第3図 幼虫の果実食入から脱出までの発育速度

第2表 飼育温度の違いによる幼虫の休眠性と雌雄割合

温度	接種卵数	脱出数	死亡個体数 ^{z)}	休眠個体数	非休眠個体数	
					雌	雄
14℃	132	32	3	28	0	1
17℃	132	38	5	0	10	23
20℃	132	46	1	0	17	28
23℃	132	63	2	0	27	34
26℃	132	70	0	0	32	38

z) 繭形成に至らず死亡した個体および繭形成後死亡した個体

第3表 各温度における幼虫の脱出率、果実内幼虫期間及び脱出幼虫の重さ

温度	接種卵数	幼虫	果実内幼虫期間	脱出幼虫重 (mg)
		脱出率 (%)	平均±標準偏差	平均±標準偏差
14℃	132	24.2	61.8±6.6	22.4±7.0
17℃	132	28.8	35.8±3.3	29.0±4.0
20℃	132	34.8	26.5±3.6	32.8±4.6
23℃	132	47.4	20.0±2.7	33.5±4.9
26℃	132	53.0	21.9±3.3	32.1±5.9

第4表 雌雄の違いによる果実内幼虫期間と脱出幼虫の重さ

温度	雌雄	個体数	果実内幼虫期間	脱出幼虫重 (mg)
			平均±標準偏差 ^{z)}	平均±標準偏差 ^{z)}
17℃	雌	10	36.1±2.3a	33.2±2.7a
	雄	23	35.5±3.8a	27.8±3.0b
20℃	雌	17	27.4±3.8a	36.7±4.1a
	雄	28	26.1±3.4a	30.4±3.2b
23℃	雌	27	20.2±2.4a	36.3±4.1a
	雄	34	20.0±3.1a	31.5±3.9b
26℃	雌	32	22.3±3.8a	36.1±4.6a
	雄	38	21.6±2.8a	28.8±4.8b

z) 各温度内雌雄間の t0.05 検定：同じ文字間では有意差なし，異なる文字間では有意差あり

第5表 非休眠個体における果実脱出から羽化までの期間 (日)

温度	雌		雄		雌+雄	
	n	生育期間 ^{z)}	n	生育期間	n	生育期間
14℃	101	45.3±2.0	146	46.0±1.9	247	45.7±1.9
17℃	272	27.5±2.3	337	27.2±1.8	609	27.3±2.1
20℃	478	19.1±1.5	501	19.3±1.3	979	19.2±1.4
23℃	583	14.5±1.0	591	14.7±1.0	1174	14.6±1.0
26℃	418	11.8±0.9	455	12.0±1.0	873	11.9±1.0

z) 平均±標準偏差

3. 果実脱出から羽化まで及び蛹期

果実から脱出した成熟幼虫が夏繭を形成し、年内に羽化した非休眠個体を対象として、羽化までの期間を温度を変えて飼育し、発育零点及び有効積算温量を推定した。また、蛹化から羽化までの日数と共に蛹の色彩の変化から繭の発育を追跡調査した。

試験方法 気温及び日長が自然条件に近い窓を開放した北向きの野外昆虫飼育室でりんご幼果を餌として幼虫を飼育し、果実から脱出してきた成熟幼虫を供試した。成熟幼虫は湿った鋳屑を入れた容器Aに収容し、14、

17、20、23及び26℃の恒温条件下に置いた。羽化した時点で雌雄を判定した。

また、各温度とも10個体について、繭の形成までの期間及び蛹の発育状況を調査した。夏繭形成後、実体顕微鏡下で繭の編目から虫体を観察し、蛹化後は繭の一部を切開いて蛹の色彩変化を観察した。

試験結果

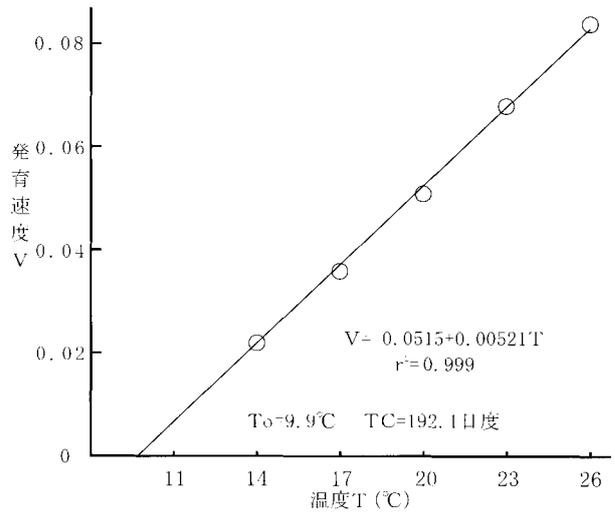
各温度における果実脱出から羽化までの期間を第5表に示した。供試した個体の性別の判定は羽化後でないといけない。したがって、各温度への雌雄の配分には特

別の配慮をしなかったことになる。しかし、結果的には14℃及び17℃で雌の比率が低かった。

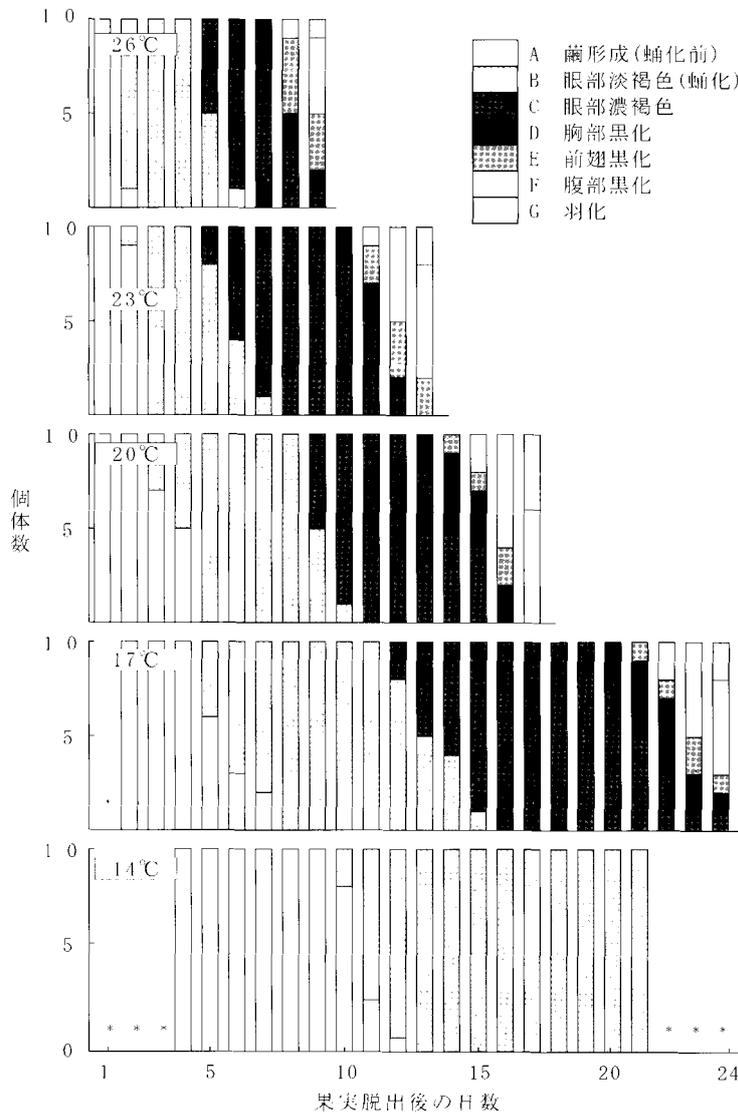
各温度とも雌雄間に発育の違いは認められず、雌雄を込みにした14、17、20、23、26℃における所要期間はそれぞれ45.7、27.3、19.2、14.6、11.9日であった。飼育温度(T)と各温度における発育速度(V)の関係は $V = -0.0515 + 0.0052T$ であり、これから求めた発育零点は9.9℃、有効積算温量は192.1日度であった(第4図)。

夏繭形成、蛹化及び蛹の発育を第5図に示した。14及び17℃では営繭に影響しないように初期の調査を控えた。20℃以上では脱出後すぐに繭の形成が見られた。蛹化までの期間は、26℃で2日、23℃で3日、20℃で3～4日、17℃で5～7日、14℃で10～12日であった。26℃では5日目に眼部が濃褐色になり、次いで胸部黒化、前翅黒化、腹部黒化と順次変化し、早い個体では9日目に羽化が見られた。蛹の胸部黒化が確認されたのは、26℃で7日目、23℃で10日目、20℃で13日目、17℃で20日目からであり、この段階から羽化までは26℃で2日、23℃

で3日、20℃及び17℃で4日であった。14℃は21日目で調査を打ち切った。



第4図 非休眠個体における果実から脱出した幼虫が羽化するまでの発育速度

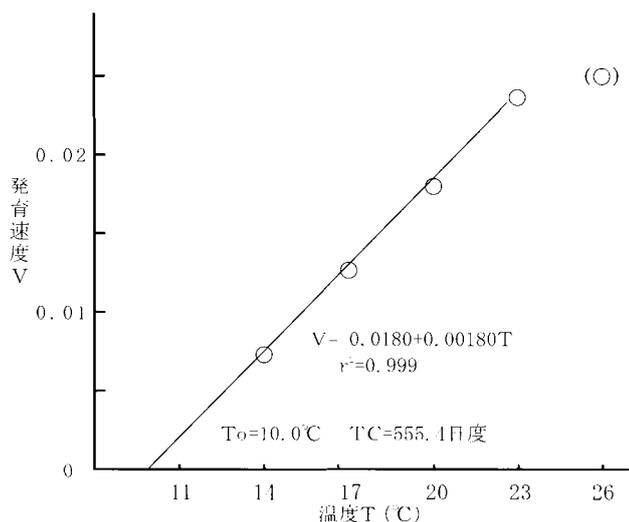


第5図 繭形成、蛹化及び蛹の発育
図中の*印：調査なし

4. 考察

1) 発育期間

各ステージにおける温度段階別の発育所要期間に関する試験結果から、卵から成虫羽化までに要した期間は、14、17、20、23、26℃でそれぞれ138.5、79.1、56.4、42.5、40.0日であった。飼育温度（T）と各温度における発育速度（V）との関係を第6図に示した。26℃における発育速度は、他の温度における発育速度の傾向よりも低かった。26℃を除いた場合、 $V = -0.0180 + 0.0018T$ となり、これから求められる発育零点は10.0℃、有効積算温量は555.4日度であった。



第6図 非休眠個体における卵から羽化までの期間の発育速度

Kimら（2001）は、韓国の個体群における温度（T）と発育速度（V）の関係を、卵： $V = -0.1054 + 0.0096T$ 、幼虫： $V = -0.0348 + 0.0037T$ 、蛹： $V = -0.0547 + 0.0053T$ としている。彼らは幼虫期間を、ふ化から成熟幼虫が繭を形成するまでの期間としている。これに基づいて卵、幼虫、蛹の発育零点をそれぞれ10.3℃、9.4℃、10.3℃、有効積算温量をそれぞれ104.2日度、270.3日度、188.7日度とし、羽化までの有効積算温量を564.9日度としている。これらの結果は本報告の結果と極めて近似している。また、卵では32℃、幼虫では28℃、蛹では30℃以上で発育の抑制があると報告している。このように、幼虫の発育抑制が他のステージより低い温度で見られることも、両個体群に共通している。

青森県りんご試験場では1961年に恒温条件で各ステージの発育期間を調査しており、その結果が青森県りんご試験場50年史（1981）にまとめられている。この試験における飼育温度条件と本報告の試験における飼育温度条件は異なっている。そこで、1961年のデータにおける各ステージの発育速度と温度との回帰を求め、これに基づ

いて本報告の飼育温度における発育日数を推定した。その結果、本報告の飼育条件である17、20、23及び26℃における卵期間は15.3、10.7、8.2及び6.7日と推定され、同様にそれぞれの温度における果実内幼虫期間は27.7、20.3、16.0及び13.2日、果実脱出から羽化までの期間は24.4、17.5、13.6及び11.2日と推定された。これらを本報告の結果と比較すると、卵期間はおおむね一致したが、果実内幼虫期間はすべての温度条件下でかなり短かった。また、果実脱出から羽化までの期間は26℃ではおおむね一致したが、温度の低下に従って短くなった。このように、二つの調査結果の相違には一定の傾向が無かったことから、両者の違いを飼育に用いた恒温器の違いに求めることは難しい。供試した個体群の特性が異なる可能性もあるが、1961年の試験では餌として「紅玉」が使われている（青森県りんご試験場業務年報1961）ことから、品種の違いも考慮する必要がある。先に述べた輸出検査事業で用いた大量増殖のシステムでは、本報告に示したデータを元にスケジュール調整をしたが、特に運用上の問題は生じなかった。

本報告も含め、幼虫を恒温条件下で飼育した場合には、餌として果実を使用しており、果実内の温度もおおむね設定温度に保たれている。しかし、野外における樹上の果実の場合には、果実内部の温度と気温の関係は非常に複雑であると思われる。季節、着果部位、果実の大きさ、果実内の位置などによって異なる可能性がある。Fergusonら（1998）は、夏期の晴天時、日があたる前までは気温と果実内温度はほとんど違いが見られないが、日中の気温が22.3℃の時、果実の陽光面における深さ5mmの果肉温度は36℃、深さ20mmでは35℃、陰光面における深さ5mmでは27℃であったと報告している。今回、26℃という比較的低い温度でも幼虫の発育抑制が見られている（第3図）が、野外の果実内では頻繁に高温による発育抑制が生じている可能性がある。これらは応用的には非常に重要であり、今後の課題として残された。

千葉・小林（1985）はフェロモン・トラップの誘引消長から、卵から羽化までに要する有効積算温量を610日度と推定しており、本報告の555.4日度と異なった。この違いは、気温と樹上の果実内温度との違いによって説明できる可能性もあり、この視点からの調査が必要である。Ishiguri and Toyoshima（2006）、石栗・豊島（2006）は樹に着果したままのりんご果実で発育するモモシクイガ幼虫では、食入から脱出までの期間に室内飼育で求めた有効積算温量で説明できないほどのばらつきがあり、晩生品種の収穫時期までに一部の幼虫が果実内にとどまっていることを示唆した。果実内の部位別の温度の違いなど、幼虫の発育にかかわる詳しい要因の解明が待たれる。

2) 生存率

卵のふ化率は20℃、23℃、26℃では95%以上、17℃で約90%、14℃では30%以下となり、低温が卵の生存に影響していると考えられた。14℃では79.5%がbhsになったにもかかわらず、ふ化率は28.2%と低く、供試した10のバッチのうち二つはふ化が見られなかった。このことから14℃の条件下では、卵期の後半に低温が強く影響すると思われた。

果実内幼虫の脱出率は26℃で53%であり、温度が低くなるに従って低下し、14℃では24%となった。段階的に変化していることから、各温度ごとの日当たり生存率と発育期間との関係が反映している可能性がある。Ishiguri and Toyoshima (2006) は、樹に着果している果実における生存率は樹から切り離れた果実より低いことを明らかにしている。また、豊島・石栗 (2006) は肥大成長期のリンゴ果実内で、発育途中に高い割合で死亡することを確認しており、発育に関与する要因を解明する中で、生存率への影響も検討する必要がある。

3) 性比及び雌雄の発育差

モモシクイガの性比については、豊島 (1931) が調査個体数は少ないものの、雌成虫の発生が雄成虫より若干多いと記載している。宮下ら (1965)、Narita and Ôtake (1979) は、成虫の雌雄を同数と仮定して発生子察を試みているが、根拠は明確でない。今回の果実内幼虫期間あるいは果実脱出から羽化までの期間を調べた試

験では、性比が雄に偏る傾向が見られた。また、本報告の他の試験でも同様の傾向が見られた。試験に供試した個体群の特性の可能性もあるが、①飼育温度が低いほど雌の比率が低い傾向が見られたこと (第2表、第5表)、②雌雄によって脱出幼虫重に有意な差が見られたこと (第4表) から、温度などの発育環境が雌雄の生存率に異なった影響を与えている可能性が示唆される。

果実内幼虫期間及び果実脱出から羽化までの期間に雌雄の差は見られなかったが、脱出幼虫の重さは雌が雄に比べて有意に重かった。雌が雄より大型である事例は多く、産卵に必要な栄養やエネルギーを確保するためと考えられる。一方、雌雄の発育速度を揃えることにより、生殖時期を同調させているものと推定できる。

4) 休眠率

Toshimaら (1961) は、21℃の条件下で幼虫が15~16時間の日長によってのみ非休眠となるとしている。今回の試験では14℃で幼虫を飼育した場合、16L 8Dの長日条件下でもほとんどの個体が休眠した。長日低温下での休眠誘起については、福島 (1957) が10~15℃では14時間日長 (14L 10D) で休眠率が最高になると報告しているが、詳細については検討されていない。野外では幼虫がこの様な低温長日の条件に遭遇する可能性は少ないが、大量増殖システムの中で果実脱出時期を調整するために低温飼育する場合には注意が必要である。

II 幼虫の生態

モモシクイガの幼虫はほとんどの期間を餌となる果実内で発育する。この間、他の果実に移動することはない。モモシクイガの成虫は室内では1果当たりの産卵数を制限することはない。野外では次々と果実に産卵していくが、1果に複数の卵を生み付けることは一般的であるし、放任園などでは複数の親によって多くの卵が1果に生み付けられている。そこで、果実内の幼虫密度及び餌の質的な違いが発育に与える影響を調査するとともに、幼虫の齢数、果実脱出時刻についても調査した。

供試した個体は室内でリンゴ幼果を餌として長年累代飼育している個体群から得た。すべての試験は16L 8Dの条件で行った。

1. 果実内幼虫密度

果実内の幼虫密度を変えて飼育し、果実内での生存率、幼虫期間、果実から脱出した成熟幼虫の重さを調査し、幼虫密度が発育に及ぼす影響を検討した。

試験方法

野外ほ場から採取した96~104gの'ふじ'幼果にふ化直

前の卵を数を変えて接種し、23℃の恒温条件下に置いた。1果当たりの接種卵数は10~100までの10刻みとして10区とし、各区1果3反復とした (以下、10卵接種区を10卵区と表す)。卵は採卵紙に産下させたものを用い、接種翌日にすべての卵がふ化し、果実に食入したことを確認した。ふ化幼虫が食入した果実を蓋に穴を開けた容器Dに収納し、幼虫を飼育した。成熟幼虫が果実から脱出するかどうかを毎日観察し、脱出が認められた日以降、脱出した成熟幼虫の数を毎日調査した。脱出した幼虫は重さを測定した後、同一日に同一果実から脱出した幼虫をまとめて湿った鋸屑を入れたフィルムケースに収容して蛹化させ、羽化時点で雌雄を判定した。卵接種25日目に果実の状態を肉眼で観察した。

試験結果

各密度区における幼虫の脱出率、脱出幼虫の重さ、果実内の幼虫期間、性比及び果実の状態を第6表に示した。卵接種25日後の果実は、10~60卵区では表面上緑色であったが、90及び100卵区では果皮が褐変し全体的に腐敗していた。

第6表 果実内の幼虫密度の違いによる幼虫の脱出率、幼虫重、果実内幼虫期間及び性比

接種卵数 (/ 1果)	果実の 状態 ^{z)}	幼虫 脱出率 (%)	脱出幼虫重 (mg)	果実内幼虫期間 (日)	雌 / (雌 + 雄) (調査个体数)
			平均 ± 標準偏差	平均 ± 標準偏差	
10	-	56.7	32.1 ± 5.6	20.4 ± 3.0	0.35 (20)
20	-	75.0	30.7 ± 5.7	21.5 ± 3.0	0.43 (46)
30	-	54.4	28.3 ± 4.8	23.1 ± 3.9	0.46 (46)
40	-	59.2	24.8 ± 5.8	25.6 ± 3.9	0.25 (69)
50	-	46.7	24.3 ± 7.3	27.6 ± 6.1	0.35 (68)
60	-	51.7	25.5 ± 6.4	26.5 ± 4.7	0.47 (85)
70	+	48.1	22.0 ± 7.5	27.7 ± 6.5	0.35 (91)
80	+	41.3	23.4 ± 5.8	27.1 ± 5.3	0.41 (88)
90	++	45.2	20.1 ± 8.4	30.5 ± 7.2	0.27 (114)
100	++	36.7	22.4 ± 6.4	30.7 ± 4.9	0.27 (100)
接種卵数との相関		-0.815** ^{y)}	-0.913**	0.952**	0.345

z) 卵接種 25 日後の状態: - 外見的に異常なく緑色, + 半分程度腐敗, ++ ほとんど腐敗

y) Arcsin√%変換

幼虫脱出率は20卵区が75.0%で最も高く、100卵区が36.7%で最も低く、果実内密度が高くなるに従い低下した ($r=-0.815^{**}$)。脱出幼虫重は密度が高くなるに従い軽くなり ($r=-0.913^{**}$)、最も軽い90卵区 (平均20.1mg) は最も重い10卵区 (32.1mg) の63%であった。個体間差が非常に大きく、最も軽い個体 (70卵区3.1mg) は最も重い個体 (80卵区49.1mg) の6.3%しかなく、40卵区以上で10mgを下回る超軽量の個体が少なからず確認された。10mgを下回る個体は羽化までに死亡するものが多かったが、脱出時の重さが5.2mgの個体でも成虫になった。各区における変異係数は、10~30卵区で18%前後、90卵区では41.8%であり、密度増加に伴って大きくなった ($r=0.767^{**}$)。

果実内幼虫期間は、果実内密度が高くなるに従って長くなり ($r=0.952^{**}$)、100卵区では平均で30.7日と10卵区の20.4日より10日程度長くなった。幼虫期間の変異係数は密度の増大に伴って大きくなる傾向が見られたが、相関は有意ではなかった ($r=0.556$)。

性比 (雌 / (雌+雄)) はいずれの区でも0.5以下であり、雌が少なく、最も低い40卵区で0.25、高い60卵区で0.47であった。密度との関係は認められなかった ($r=0.345$)。

2. 餌としての果実の品種及び熟度

餌となるリンゴ果実の品種及び採果時期を変えて幼虫を飼育し、餌質の違いが発育に与える影響を検討した。

試験方法

餌となるリンゴ果実の違いによる幼虫の成育状況を調査した。〔試験1〕では、'ふじ'の成熟果及び幼果、'紅玉'及び'スターキングデリシャス'の幼果を供試した。'ふ

じ'の成熟果は前年の収穫果をCA貯蔵したものであり、幼果は8月8日には場から採取したものである。採卵紙に産卵させたふ化直前の卵を果実10g当たり1卵になるように接種し、23℃の恒温条件下に置いた。'ふじ'の成熟果では別に1果当たり11卵接種区を設けた。いずれの区とも1区1果12反復とし、接種翌日にすべての個体が果実に食入したことを確認した。ふ化幼虫が食入した果実を蓋に穴を開けた容器Dに収納し、幼虫を飼育した。成熟幼虫の果実からの脱出を毎日調査し、脱出した幼虫の重さを測定した。

〔試験2〕は、〔試験1〕のほぼ1か月後にあたる9月7日には場から果実を採取し、1区5果、接種卵数を1果当たり20とし、〔試験1〕に準じて試験した。

試験結果

〔試験1〕及び〔試験2〕における各試験区の実験条件を第7表Aに示し、各試験区における幼虫脱出率、脱出幼虫重、果実内幼虫期間及び性比を第7表Bに示した。

〔試験1〕における幼虫脱出率は'ふじ'成熟果で60%台、'ふじ'及び'紅玉'の幼果で50%程度であったが、'スターキングデリシャス'では22.0%と低かった。

脱出幼虫の重さは'ふじ'幼果で平均33.5mg、'ふじ'成熟果で27mg前後、'紅玉'及び'スターキングデリシャス'で30mg程度であったが、個体差が大きかった。

果実内幼虫期間は'紅玉'の幼果で平均26.5日と極端に長く、'ふじ'幼果の発育期間に比較して有意に異なった。

性比 (雌 / (雌+雄)) はいずれの区でも0.5以下であり、雌が少ないものの、供試果実との関係は明確でなかった。

第7表A 幼虫の成育に対する果実の影響をみるために供試した果実と卵の接種数

試験区	番号	品種	供試果		接種卵数	
			ステージ	果重 (g)	接種数/単位	総数
[試験1]	1	'ふじ'	成熟果	236-298	11/果	132
	2	'ふじ'	成熟果	225-291	1/果実10g	304
	3	'ふじ'	幼果	101-128	1/果実10g	132
	4	'紅玉'	幼果	101-127	1/果実10g	132
	5	'スター ^{z)}	幼果	101-129	1/果実10g	132
[試験2]	6	'ふじ'	未熟果	-	20/果	100
	7	'紅玉'	未熟果	-	20/果	100

z) スターキングデリシャス

第7表B 果実の違いによる幼虫の脱出率、成熟幼虫の重さ及び果実内幼虫期間

試験区	番号	幼虫 脱出率 (%)	脱出幼虫重 (mg)	果実内幼虫期間 (日)	性比
			平均±標準偏差	平均±標準偏差	
[試験1]	1	69.7	27.2±5.4	20.3±2.5	0.42
	2	60.2	26.2±5.4	20.6±3.2	0.40
	3	47.7	33.5±4.9	20.0±2.7	0.49
	4	50.0	30.3±5.5	26.5±2.1	0.41
	5	22.0	30.4±5.8	21.5±3.7	0.35
[試験2]	6	33.0	26.1±4.9	20.7±4.1	0.30
	7	47.0	26.4±4.8	20.0±3.9	0.25

[試験2]における'ふじ'と'紅玉'の未熟果の試験では、脱出幼虫重、果実内幼虫期間とも差が見られず、両区とも、[試験1]の'ふじ'の成熟果における発育と類似した。

3. 幼虫の齢数

幼虫をリンゴ果実の切片で飼育して観察し、幼虫の脱皮によって齢数を記録した。脱皮後の頭蓋は個体ごとに保存して置き、蛹化後に頭幅を測定した。

試験方法

小型ガラスシャーレに厚さ2~3mm程度の'ふじ'成熟果の切片を入れ、ふ化幼虫を1個体接種し、紙をはさんで蓋をした。シャーレはまとめて容器Dに収容し、17、20、23、26℃の恒温条件下で飼育した。26℃の一部を除き、すべての区は同一雌が同じ日に産下した卵から一斉にふ化した幼虫を供試し、供試数は17、20、23℃では20個体、26℃では30個体とした。切片の変質を避けるため、26℃ではほぼ毎日、17℃では約3日ごとに、20℃と23℃では随時新しいものに移し替えた。幼虫は毎日観察し、脱皮した日を記録した。蛹化するために切片から離脱した個体は、湿った鋸屑を入れたプラスチック製の

フィルムケースに入れて蛹化させ、羽化した時点で雌雄の判定をした。脱皮後の頭蓋の幅を、実体顕微鏡に装着したマイクロメーターで測定した。

試験結果

各温度における個体別・齢数別の発育所要日数と頭幅を雌雄に分けて付表1に示した。

リンゴ切片による飼育では、新しいリンゴ切片に幼虫を移し替える際、特に若齢幼虫期に幼虫に傷をつけることが多く、羽化まで調査できた個体は、17℃で10個体、20℃で9個体、23℃で11個体、26℃で15個体であり、接種した幼虫の50%に過ぎなかった。しかし、この方法を採用することによって、実体顕微鏡による幼虫の直接観察が可能であった。

幼虫の齢数は温度、雌雄に関係なく、4齢を経過する個体と5齢を経過する個体があった。17、20、23℃の試験に供試した個体はすべて同一雌親に由来したにも関わらず、齢数は一定ではなく、同じ親から4齢と5齢の幼虫が生じた。雌雄を込みにすると、温度が高くなるに従って5齢を経過する個体が多くなる傾向が見られた。

脱出までの所要期間を第8表に示した。これは第3表に示した果実内所要期間とおおむね一致した。しかし、

第3表では26℃で発育の遅延があったのに対し、ここでは遅延が見られなかった。4齢経過個体では4齢期、5齢経過個体では5齢期が最も長かった。幼虫期間は5齢経過個体が4齢経過個体より長く、低温ほどその程度が顕著であった。

4齢及び5齢経過個体における頭幅を第9表に示した。1齢及び最終齢（4齢経過個体の4齢幼虫及び5齢経過個体の5齢幼虫）の頭幅には、4齢経過と5齢経過個体の間に大きな違いは認められなかった。しかし、4齢経過個体の3齢幼虫は5齢経過個体の3齢幼虫と4齢幼虫の中間に位置した。

脱出幼虫の重さを第10表に示した。第3表の結果と比べると、平均で1/3程度しかなく、前述した「果実内幼虫密度」の試験における高密度条件で見られたような極めて軽量の個体が多かった。脱出幼虫の重さは、雌の平均が13.6mg、雄の平均が11.3mgであり、有意な違いが見られた（t0.01検定）。また、5齢経過個体の平均は13.3mg、4齢経過個体の平均が10.9mgであり、これも有意な違いであった（t0.01検定）。

4. 成熟幼虫の果実からの脱出時刻

成熟幼虫が果実から脱出する時刻を知るため、室内で調査した。

試験方法

16L8D、23℃の恒温室において、底部に穴を空けた大型のプラスチック製バケツ（上部直径45cm、高さ50cm、以下バケツ）に幼虫が食入したリンゴ果実を入れて幼虫を飼育した。果実から脱出し、このバケツの下に置いたプラスチック製トレイ（上部直径40cm、高さ15cm、以下トレイ）に落下した成熟幼虫をビデオカメラで録画し、後にその数を計数した。暗期での録画には弱い赤色光を用い、脱出が確認された数日後から5日間連続録画した。

試験結果

連続した5日間における成熟幼虫の果実からの脱出時刻を第7図に示した。脱出個体数は5日間で899個体であった。脱出は1日を通して見られ、暗期より明期に多い傾向が見られた。また、果実内の日の経過とともに明期の中頃にピークが見られるようになった。

第8表 各温度における幼虫の齢別平均所用日数（日）

温度	幼虫期の齢数												
	4 齢						5 齢						
	n ^{z)}	1 齢	2 齢	3 齢	4 齢	計	n	1 齢	2 齢	3 齢	4 齢	5 齢	計
17℃	7	8.4	7.9	9.6	10.6	36.5	3	7.7	8.3	7.3	9.0	12.0	44.3
20℃	5	5.4	5.6	5.8	8.2	25.0	4	6.5	5.0	5.0	5.3	7.3	29.1
23℃	5	4.6	4.2	4.8	6.0	21.4	6	5.0	4.0	3.8	4.0	6.2	23.0
26℃	5	4.4	4.0	3.4	5.4	17.2	10	3.9	3.2	2.6	3.3	4.5	17.5

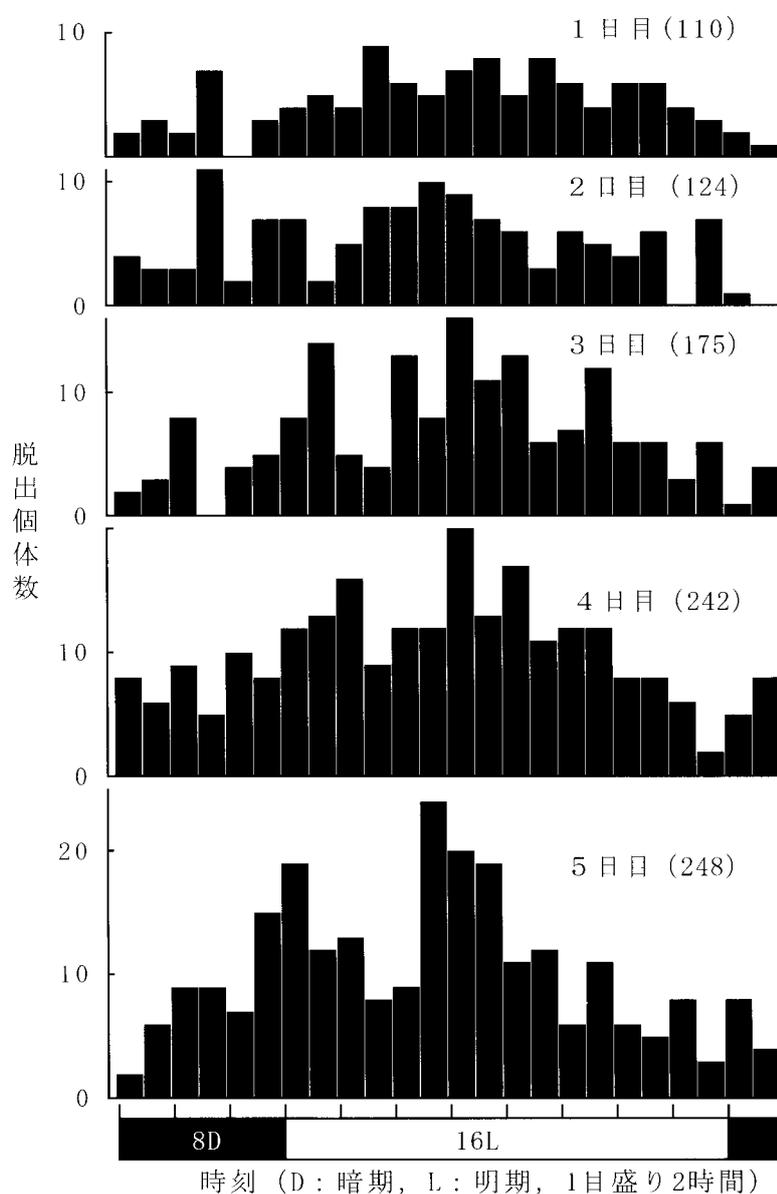
z) 調査個体数

第9表 幼虫期の齢数と齢別の頭幅（×10⁻²mm）

	幼虫期の齢数									
	4 齢					5 齢				
	1 齢	2 齢	3 齢	4 齢	計	1 齢	2 齢	3 齢	4 齢	5 齢
平均	17.0	30.4	50.2	110.1	16.7	28.0	42.2	61.1	113.3	
標準偏差	0.6	4.2	4.9	10.3	0.6	1.9	4.3	3.4	9.0	

第10表 果実切片による個体飼育から得られた成熟幼虫の雌雄別・幼虫タイプ別の重さ

温度	性別	幼虫期の齢数					
		4 齢			5 齢		
		個体数	平均重 (mg)	範囲	個体数	平均重 (mg)	範囲
17°C	雌	1	11.2	-	2	14.2	12.8-15.5
	雄	6	8.4	8.0-10.9	1	12.2	-
20°C	雌	2	13.7	13.1-14.2	1	13.4	-
	雄	3	11.1	10.7-11.5	3	11.2	11.0-11.5
23°C	雌	1	13.0	-	3	13.6	11.9-15.1
	雄	4	12.5	11.0-14.8	3	13.4	11.3-15.8
26°C	雌	1	11.4	-	3	15.2	14.7-15.6
	雄	4	10.6	6.6-14.5	7	13.1	9.3-16.1



第7図 成熟幼虫の果実からの時刻別の脱出数 (1目盛り2時間) () 内の数字は日別の脱出数

5. 考察

1) 果実内幼虫密度の影響

果実内の幼虫密度は、個体当たりの餌の量及び幼虫相互の干渉に反映される。餌の量が発育の制限要因である場合、一定の密度レベルまでは発育が確保されると思われる。しかし、今回の調査では果実から脱出した幼虫の重さは接種密度の増加に伴って波状に減少し、果実内での発育期間は接種密度の増加に伴って波状に増加した(第6表)。これは果実内で幼虫同士の干渉が作用している可能性が示唆された。また、幼虫の重さの変異係数は接種卵数が多くなるに従って大きくなる傾向が見られた。さらに、接種卵数が1果当たり40以上の場合は幼虫期間の変異係数と幼虫の重さの変異係数が並行的に変動し、両者には有意な相関が見られた($r=0.787^{**}$)。これらのことから、幼虫間に食物を巡るせめぎ合いがあることがうかがえる。

卵の接種密度に係わりなく、脱出幼虫の重さと果実内幼虫期間の個体間のばらつきが非常に大きかった。そのため、脱出幼虫には50mgを越すものがある一方で10mgに満たない矮小な個体もあり、また、成熟までに50日以上を要するものがある一方で20日も経たないうち成熟するものもあった。矮小な個体でも正常に蛹化し、成虫となる個体も見られた。脱出した幼虫すべての個体($n=744$)を対象とした幼虫の重さと幼虫期間には有意な負の相関が見られ($r=-0.696^{**}$)、重いほど早く成熟し、軽いほど遅く成熟する傾向が認められた。発育に関する要因が幼虫の重さと発育期間の両方に作用していることが示唆されたが、その関係は明らかでない。果実が小さいズミなどがある無防除園で時々非常に小さい成虫が見られることがあり、また、大平(1986)はフェロモン・トラップに誘引される雄成虫の前翅面積に約2倍の開きがあることを報告していることから、野外においても個体間の変異が大きいものと思われる。

世界的にリンゴの重要害虫として知られるコドリリングは、モモシクイガと同じように幼虫が果実に食入し内部を加害する。Putman(1963)はコドリリングの総説の中で、1個の果実に多くのふ化幼虫が侵入するもの、成熟する個体は1~2個体であるとし、果実内での個体数減少の理由として共食いを挙げている。モモシクイガも1個の果実に多くのふ化幼虫が侵入するもの、1果当たりの成熟幼虫数が10個体以上になることは稀ではなく、放任園ではむしろこの様な状況が常態であると言っても過言ではない。Nicholson(1954)は限られた餌資源を巡る種内競争を、①競争に勝ったものだけが生存に必要な資源を十分に得ることができる競争型と、②個体間で一様に資源を分配し、資源が賸えないほど密度が高くなると全滅する共倒れ型の2つのタイプに分けた。Putman(1963)の総説によるとコドリリングは明らかに競

り合い型であるのに対し、モモシクイガは共倒れ型の典型と見ることが出来る。Geier(1964)は、オーストラリアにおけるコドリリングの生態研究から、Nicholsonの理論が極めて妥当であるとした。

モモシクイガは1果当たり100個体の幼虫が侵入した場合でも30個体以上が脱出した。別の視点から見ると、100個体侵入してもまだ共倒れ型の限界に達していないことを意味し、さらに侵入個体が増えると壊滅的な死亡が起こることも示唆している。モモシクイガは発育遅延や小型化という負荷を負いながらも、個体の生存が危うくなる限界近くまで混み合いに耐える能力を持っていると見ることが出来る。本種は、栽培用のリンゴ、モモ、ナシなどが出現する以前には、年によって着果量が大きく変動する樹種や熟期の異なる樹種の果実を利用し、非常に不安定な環境条件で発育していたと考えられる。今回見られた発育の柔軟性は、この様な環境条件への潜在的な適応能力を反映しているのかも知れない。

2) 餌としての果実品質の影響

幼虫の脱出率は成熟果で高く、脱出幼虫の重さは幼果でやや大きい傾向が見られた。これらの違いが、果実の質的な違いによるか物理的な違いによるかは明らかにできなかった。果実内幼虫期間は‘紅玉’の幼果で極端に長かった。しかし、収穫前の未熟果では‘紅玉’と‘ふじ’の間に差異が認められなかった。成田(1987)は、リンゴ‘紅玉’、日本ナシ、モモの3種類の未熟果を餌として飼育し、幼虫期間に差は見られないと述べている。豊島・石栗(2006)は、野外で樹に付いている状態の‘ふじ’、‘ニュージョナゴールド’など5品種でモモシクイガの発育や被害状況を調査し、品種によって生存率や被害様相が異なることを示した。品種あるいは果実の成熟の程度が、モモシクイガの発育にどのように影響するかは、本種の生態解明はもとより、防除上でも重要であるが、今後の課題として残った。

3) 幼虫の齢数

Narita and Ôtake(1979)は、‘紅玉’の切片を餌として25℃で個体飼育した結果に基づいて、幼虫の齢数を5齢としている。また、各齢の発育所要日数の幅が大きい。平均で3.16, 3.02, 2.98, 2.96, 2.80日、頭幅は平均で0.17, 0.28, 0.45, 0.72, 1.07mmと報告しており、本報告の26℃における5齢経過個体の結果と近似している。津川・山田(1960)は、果実内幼虫の頭幅の頻度分布から、幼虫齢数を4齢と報告したが、考察において個体飼育による裏付けが必要と述べている。本報告で採用した飼育法では、得られた幼虫のサイズが小さかった。しかし、前述の「果実内幼虫密度」で考察したように、モモシクイガの幼虫は餌の条件に対して柔軟に対応しており、ここでの幼虫の小型化も餌の質に対する対応と見ることが出来る。幼虫サイズと幼虫の齢数は区別して考え

るべきであり、モモシクイガの幼虫に4齢経過を基本とする個体と5齢経過を基本とする個体があることが推測できる。4齢経過と5齢経過を決める遺伝的なメカニズムの解明が求められる。

4) 成熟幼虫の果実からの脱出時刻

今回の試験では脱出が明期に多い傾向にあり、また、同一の飼育環境で生育する期間が長くなるに従い脱出時刻にピークが見られるようになったことから、果実からの脱出に日周性があると推定される。豊島(1931)は、

成熟幼虫は脱出孔が完成しても2～3日は果実内に留まるが、果実に震動や加熱などを与えると脱出すると述べている。本試験では果実をバケツに何層にも入れ、また、温度や照度なども比較的安定しており、物理的な刺激も少ない。このことから、野外での脱出実態を必ずしも反映していない可能性が高い。野外での果実からの脱出時刻や脱出に關与する刺激などについては別に試験を行う必要がある。

III 成虫の生態

成虫の活動が主として夜間に行われるため、一般ほ場でモモシクイガの成虫を見かけることはほとんどない。羽化、交尾及び産卵時刻を調査するとともに、交尾回数や生存期間などについて調査した。性フェロモンを利用した交信攪乱法による防除は、モモシクイガでも実用化されている(青森県りんご生産指導要項編集委員会2006)が、効果を評価したり、技術を安定化させるためには、交尾行動や交尾回数など、成虫に関する基礎的なデータが必要となる。

供試した個体は室内でリンゴ幼果を餌にして長年累代飼育している個体群から得た。日長条件は16L8Dとし、暗期における調査やビデオ撮影は、弱い赤色光を照射して行った。

1. 羽化時刻

羽化した成虫は、配偶行動を経て、産卵行動へと進む。すべての諸行動を実験的に解明するための実験計画と実験遂行にとって、羽化習性の解明が不可欠である。ここでは羽化の日周変化を知るため、羽化時刻を異なる温度条件下で調査した。

試験方法

果実から脱出した成熟幼虫を湿った鋸屑を入れた容器Aにまとめて収容し、17、20、23、26℃の恒温条件下で蛹化させた。蛹は引き続きそれぞれの温度条件下に置き、羽化させた。最初に羽化が確認された数日後の明期開始6時間後から31時間30分の間、30分ごとに羽化数を数えた。繭から脱出した成虫はわずかに歩行して静止し、そこで翅を伸ばし始める。ここでは、繭から脱出した時点を羽化時刻とした。なお、17℃、20及び26℃では雌雄を区別しなかったが、23℃では雌雄を区別して調査した。

試験結果

各温度における時刻別の羽化数を第8図に示した。23℃では、雌雄とも明期後半から多くなり、暗期開始の2～3時間前に明確なピークが認められた。その後減少

し、暗期開始から2～3時間後に終息した。17℃では、羽化が明期前半に多く、23℃で見られたような暗期前のピークは見られなかった。20℃では明期に継続的な羽化が見られ、17℃と23℃を合わせたような消長となった。26℃は23℃に類似したが、ややピークが早くなる傾向が見られた。

2. コーリング及び交尾時刻

配偶行動が活発な時間帯を知るため、室内で個体ごとにコーリング及び交尾時刻を調査した。

1) コーリング時刻

試験方法

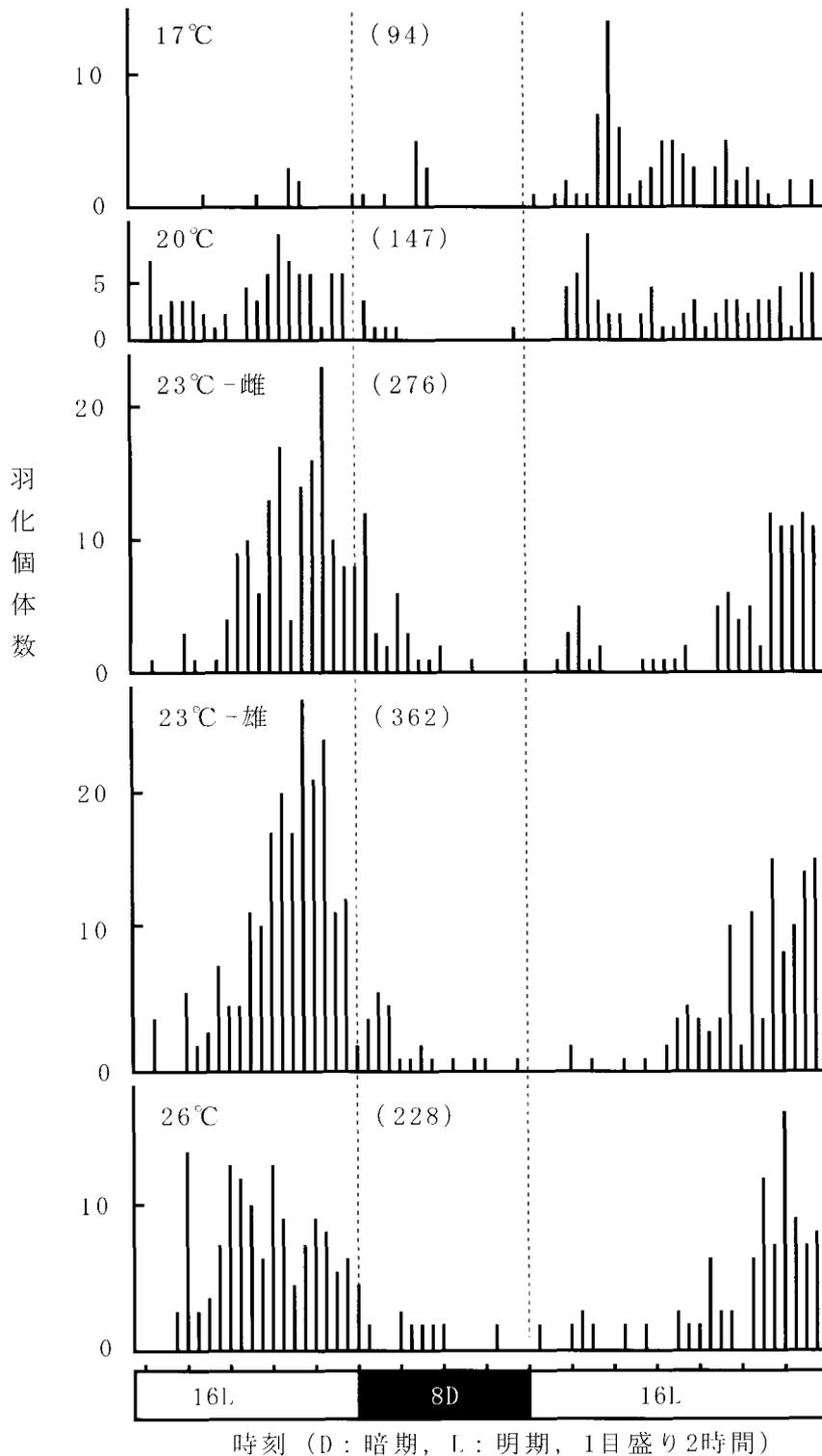
〔試験1〕：湿った濾紙を敷いた蓋付きのプラスチック容器(直径8cm、高さ6cm、以下容器E)に未交尾の雌成虫を1個体ずつ収容し、23℃の恒温条件に静置した。48個体を供試したが、そのうち30個体は当日羽化した個体、18個体は調査3日前に羽化した個体である。暗期開始直前から明期開始直後まで、15分間隔でコーリングしている個体数を数えた。

〔試験2〕：〔試験1〕と同じ条件で、1個体の羽化直後の未交尾雌を供試し、死亡するまでの10日間その行動を連続的にビデオカメラで録画した。

試験結果

〔試験1〕：コーリングしている個体数の経時的变化を第9図に示した。調査した1暗期の間に、当日羽化した個体では供試した30個体のうち28個体、3日前に羽化した個体では供試した18個体のうち16個体がコーリングした。

当日に羽化した個体では、暗期開始4時間後からコーリングが始まり、5時間半後に明確なピークとなった。その後、急激に減少し、暗期終了前に終息した。3日前に羽化した個体では、暗期開始3時間後から始まり、4～5時間後にピークとなった。その後の減少は緩やかであり、暗期終了時点でもコーリングしている個体があった。

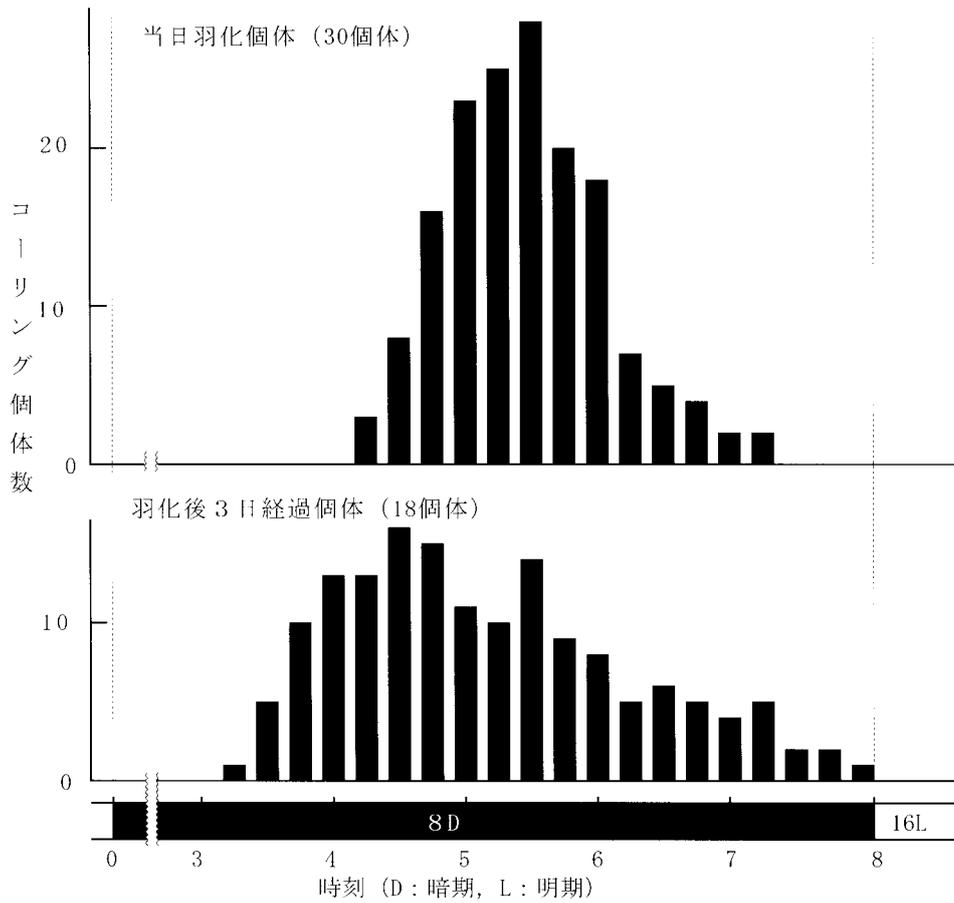


第8図 各温度における時刻別の羽化数(1日盛り2時間) ()内の数字は総羽化数

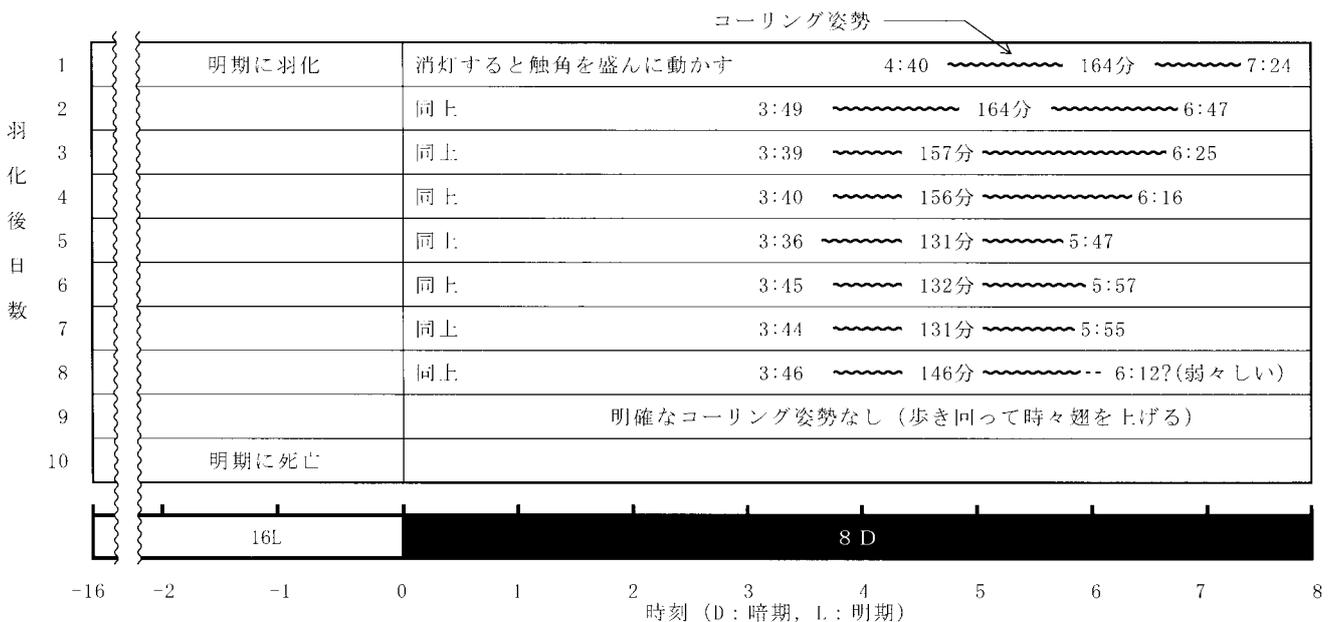
〔試験2〕：1個体の未交尾雌の羽化直後から死亡するまでのコーリング行動を第10図に示した。羽化当日の暗期開始直後から触角を盛んに動かし始め、暗期開始4時間40分後から7時間24分後までの164分間コーリングを継続した。2～8日目にも暗期開始直後から触角を盛んに動かし始め、コーリングは暗期開始3時間40分前後に始まった。コーリングの終了は日齢を経るに従ってやや早

まった。

コーリングの継続時間は4日目までは160分前後、5～7日目は約130分であった。8日目ではコーリングが弱々しく、終了時間は判然としなかった。9日目には歩き回って時々翅を上げる姿勢をとるものの、明確なコーリング姿勢はとらず、10日目の明期に死亡した。



第9図 暗期開始後の時間に対するコーリング個体数



第10図 1個体の雌成虫の羽化直後から死亡までのコーリングに関連した行動

2) 交尾時刻

試験方法

前項のコーリング時刻における [試験1] と同じ条件のもとで、一つの容器に交尾経験のない雌雄1対を収容

し、試験した。供試した成虫は当日羽化したもの20対、前日に羽化したもの20対とし、数分ごとに交尾の有無を観察した。

第11表 当日羽化と前日羽化した個体における交尾開始時間

暗期開始からの時間 (h)	交尾対数	
	当日羽化個体	前日羽化個体
3:20 ≤ h < 3:30	0	1
3:30 ≤ h < 3:40	0	0
3:40 ≤ h < 3:50	0	1
3:50 ≤ h < 4:00	0	2
4:00 ≤ h < 4:10	1	0
4:10 ≤ h < 4:20	0	2
4:20 ≤ h < 3:30	0	2
4:30 ≤ h < 4:40	1	1
4:40 ≤ h < 4:50	6	4
4:50 ≤ h < 5:00	4	1
5:00 ≤ h < 5:10	1	1
5:10 ≤ h < 5:20	0	0
5:20 ≤ h < 5:30	0	0
5:30 ≤ h < 5:40	0	1
計	13	16

第12表 当時羽化と前日羽化個体における交尾継続時間

交尾継続時間 (分:m)	交尾対数	
	当日羽化個体	前日羽化個体
45 ≤ m < 50	1	0
50 ≤ m < 55	0	0
55 ≤ m < 60	3	1
60 ≤ m < 65	2	1
65 ≤ m < 70	2	5
70 ≤ m < 75	4	5
75 ≤ m < 80	0	3
80 ≤ m < 85	0	1
85 ≤ m < 90	0	0
90 ≤ m < 95	1	0

試験結果

交尾を開始した時刻別の対の数を第11表に示した。当日に羽化した個体では20対中13対、前日に羽化した個体では20対中16対で交尾が確認された。交尾は暗期開始3時間28分後から始まり、3時間半後ころ～5時間後ころが多かった。最も遅く交尾を始めたのは5時間30分後からであった。当日羽化個体に比べ、前日羽化個体の方が早く交尾を開始する傾向があった。

交尾の継続時間別(分)の対の数を第12表に示した。交尾継続時間は、最短で49分、最長で93分であった。当日羽化個体では55～75分が多く、前日羽化個体では65～80分が多かった。

3. 交尾回数

雄及び雌成虫の交尾能力を検討するため、生存期間内における交尾回数を調査した。

1) 雄の交尾回数

試験方法

湿った濾紙を敷いたプラスチック容器(23cm×17cm×16cm, 以下容器C)に、羽化当日の未交尾の雄成虫を1個体、未交尾の雌成虫を10個体あるいは20個体収容し、17、20、23℃の恒温条件で飼育した。17℃では雌20個体で2反復、20℃では雌10個体で5反復及び雌20個体

で4反復、23℃では雌20個体で4反復した。雄の死亡後に、雌を解剖して交尾のう内の精包を数えた。

試験結果

雌の交尾のう内の精包数と雄成虫の生存日数を第13表に示した。交尾のう内に2個以上の精包が入っている雌もあったが、大部分は1個であった。精包数の平均は、17℃で8.0個、20℃で8.8個、23℃で5.5個であった。1回の交尾によって1個の精包を受け渡したとすると、最も多く交尾した雄は12回交尾したことになる。

雄の生存期間は温度が高くなるに従って短くなる傾向があったが、生存期間と交尾回数の関係は明らかでなかった。

2) 雌の日齢別交尾回数

試験方法

容器Cに羽化当日の未交尾の雄成虫1個体、未交尾の雌成虫5個体を収容し、14、17、20、23、26℃の恒温条件で飼育した。14℃及び20℃では2反復、それ以外では4反復とした。原則として、雌は毎日新しい未交尾の個体と入れ替えることとしたが、雌の供給が不十分であったため、雌を収容できない日があった。14℃及び17℃では9日目で試験を打ち切り、それ以外の温度では雄が死亡するまで継続した。取り出した雌は解剖し、交尾のう内の精包を数えた。

第13表 雄成虫の交尾回数

温度	雄個体 No.	供試雌数	交尾のう内の精包数					計	雄成虫の生存日数
			0	1	2	3			
17°C	1	20	11	9	0	0	9	17	
	2	20	13	7	0	0	7	17 (8) ^{z)}	
20°C	1	10	0	8	2	0	12	14	
	2	10	1	8	1	0	10	13	
	3	10	1	9	0	0	9	15	
	4	10	2	8	0	0	8	15	
	5	10	5	5	0	0	5	8	
	6	20	10	10	0	0	10	15	
	7	20	12	7	0	1	10	14	
	8	20	12	8	0	0	8	17	
	9	20	13	7	0	0	7	11	
23°C	1	20	13	7	0	0	7	10	
	2	20	15	5	0	0	5	14	
	3	20	15	5	0	0	5	14	
	4	20	16	4	0	0	4	11	

z) 8日目に交尾したが、離れることができず、その後17日目に死亡

第14表 雄成虫の日齢別交尾回数

温度	雄個体 No.	日齢別交尾回数																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18日
14°C	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	/ ^{z)}								
	2	0	1	0	1	1 ^{x)}	1*	1	0	1	/								
17°C	1	1	1	1	1	1	1	1	1*	1*	/								
	2	1	1	1	1	1	1	1*	-	- ^{x)}	/								
20°C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0						
	2	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0						
	3	1	1	1	1	-	1	1	-	-	-	1	0	1*	0	0	0	0	0
	4	1	1	1	-	-	1	1	-	-	-	0	-	0	0	0	0	0	0
23°C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0					
	2	1	1	1	-	-	1	1	-	-	-	0							
	3	1	1	-	1	1	1	-	-	-	0	-	0	0	0	0			
	4	1	1	-	-	-	1	1	1	1*	0	0	1*	0					
26°C	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0							
	2	1	1	1	-	-	-	-	0	0	0								
	3	1	1	-	-	1	1	-	-	-	-	0	0	0					
	4	0	0	-	-														

z) /: 中断 y) *: 極めて小さい精包 x) -: 雌をいれない

試験結果

雄の日齢別の交尾回数を第14表に示した。17°C以上では羽化当日の交尾が確認された。交尾した雌の精包数はいずれも1個であった。1回の交尾で1個の精包の受け渡しがあったとすると、羽化後7～8日までは毎日1回連続的に交尾したと推定される。雌の供給が一時的に途

絶えたために交尾が阻止された後、再度雌が供給されても、1日当たりの雄の交尾回数は増加しなかった。14°Cのような低温や、雄の日齢が進んだ時点における交尾では極めて小さい精包が見られた。8～9日目を降は精包が確認できず、交尾は行われなかったものと考えられる。

第15表 雌成虫の総交尾回数

温度	雌個体No.	供給雄数	交尾のうち内精包数	雌成虫の生存期間
17℃	1	10	1	26日
	2	10	1	22
	3	10	1	14
20℃	1	10	2	15
	2	10	2	14
	3	10	2	23
23℃	1	10	1	11
	2	10	2	12
	3	10	2	19
26℃	1	10	1	5
	2	10	2	10
	3	10	3	13

3) 雌の交尾回数

試験方法

容器Cに羽化当日の未交尾の雌成虫1個体、未交尾の雄成虫10個体を収容し、17、20、23、26℃の恒温条件で飼育した。いずれの温度も3反復とした。雌が死亡した時点で解剖し、交尾のうちの精包数を調査した。

試験結果

交尾のうちの精包数を第15表に示した。すべての個体で交尾のうちに精包が確認された。精包数は多くの場合1～2個であったが、26℃の1個体では精包が3個確認された。温度及び雌の生存期間との関係は明確でなかった。

4. 産卵時刻

産卵時間帯を明らかにするため、個体ごとの産卵時刻を室内で調査した。

試験方法

羽化した複数個体の雌及び雄成虫を容器Aに収容し、自由に交尾させた。翌日雌を取り出し、1枚の採卵紙を入れた小型ガラスシャーレに1個体ずつ移した。30個体を供試し、成虫を収容したシャーレは一纏めにし、湿った濾紙を入れた容器Bに収納した。1時間ごとに採卵紙を観察し、卵が確認された採卵紙は新しいものに入れ替えた。雌が死亡した後に解剖し、精包の有無を調査した。

試験結果

未交尾の個体や産卵数が少なかった個体を除いた20個体について、個体ごとに時刻別の産卵数を第11図に示した。多くの個体が暗期開始と同時に産卵した。暗期の前

半に産卵する個体が多いものの、後半に産卵する個体も見られた。また、短時間に集中して産卵する個体や長時間生み続ける個体もあったが、明期に産卵する個体は皆無であった。

5. 雌成虫の産卵消長、産卵能力及び生存期間

異なる温度条件下で産卵消長を調査し、産卵前期間、産卵能力及び成虫の生存期間を明らかにした。

試験方法

23℃で羽化させた成虫を供試し、雌雄5対ずつを湿った濾紙が入った容器Aに収容し、14、17、20、23、26℃の温度条件で1日間自由に交尾させた。産卵させるために、雌1個体ずつを採卵紙の入ったガラス製小型シャーレに収容し、さらに、これらの容器を湿度を保った容器Bにまとめて収納し、それぞれの温度に静置した。ただし、14℃区と17℃区では、交尾率が低い状況であったため、23℃で交尾させた後にそれぞれの温度に移し、産卵させた。各温度とも15個体の雌を供試し、死亡するまで毎日採卵紙を交換し、死亡した時点で解剖して交尾の有無と体内に残っている成熟卵数を調査した。採卵紙の交換と成虫の生死に関する調査は明期開始2～3時間後に行った。雄は交尾用の容器でそのまま継続して飼育し、生存期間を調査した。

試験結果

未交尾の個体や産卵数が少ないものを除き、各温度区から10個体を選び、個体ごとの産卵経過を付表2に示した。これに基づき、各温度における雌成虫の産卵前期間、総産卵数、死亡後に体内に残存している成熟卵数及び生存期間を第16表に示した。同時に飼育した雄成虫の生存期間を第17表に示した。

産卵前期間は14℃で9.0日であったが、温度が高くなるに従って短くなり、26℃では全個体が羽化2日後（産卵容器に移した当日）から産卵を開始した。

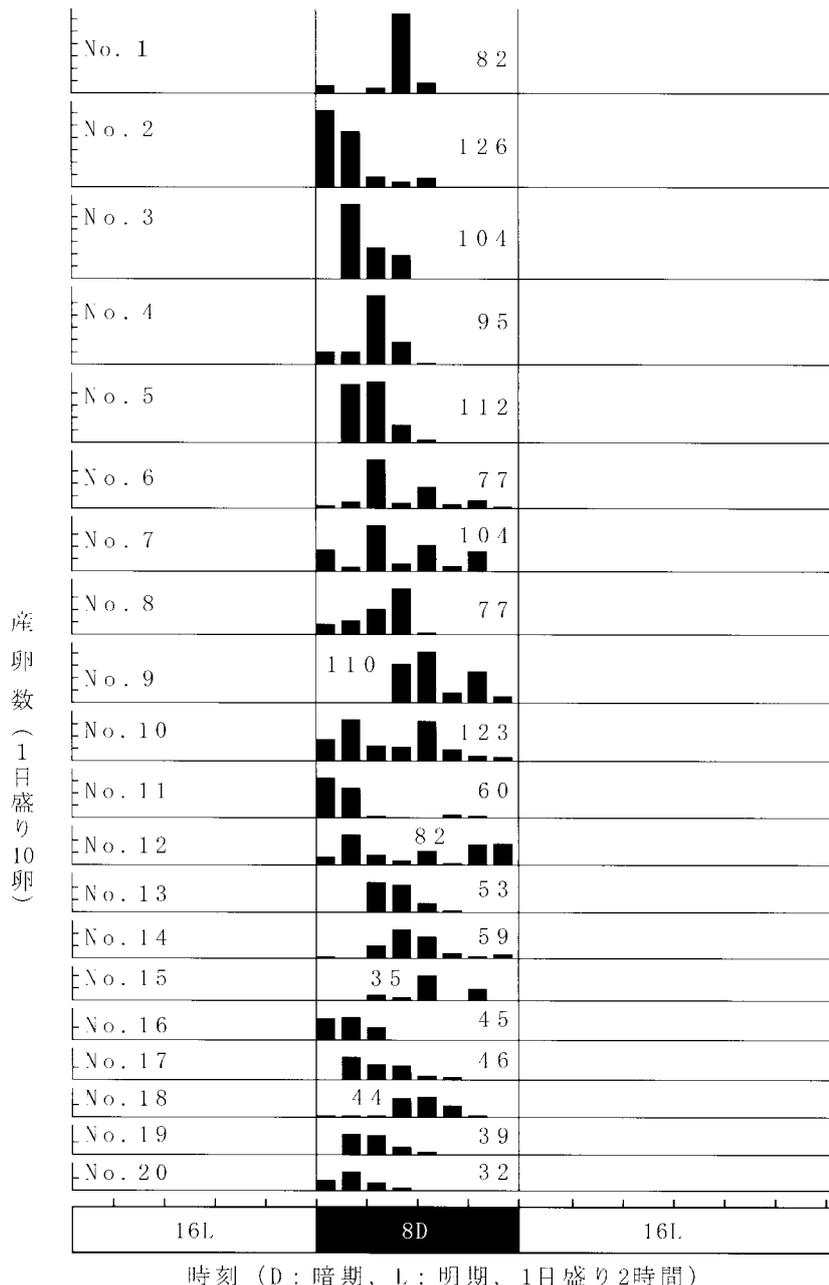
産卵経過を10個体合計で見ると、温度が低いほどピークが遅れ、産卵期間は長くなった。しかし、個体ごとに見ると低温（14, 17℃）では産卵消長が断続的であった

り、ピークが明確でない事例が多く、個体間の変異が大きかった。

1雌当たりの平均総産卵数は温度が高くなるに従って増加し、23℃で316.5卵となったが、26℃ではやや減少した。日別の最多産卵数は、23℃で飼育した個体による185卵であった。この個体は総産卵数も最も多く、478個の卵を産んだ。

産卵されずに体内に残った卵数は、個体によって大きく変動し、産卵数や生存期間との関係は明確でなかった。生存期間は14℃で平均30.7日であり、温度が高くなるに従って短くなり、26℃では8.4日であった。

雄の生存期間は、雌とほぼ同等と考えられた。



時刻 (D: 暗期, L: 明期, 1日盛り2時間)

第11図 各個体の産卵時刻別産卵数と合計産卵数（1日盛り10卵）（グラフ内の数字は8時間に産み付けられた卵数）

第16表 雌成虫の産卵前期間、総卵数、残成熟卵数^{z)}及び生存期間

温度	調査 個体数	産卵前期間 (日)	総産卵数/1雌	残成熟卵数/1雌	生存期間 (日)
		平均 (最短-最長)	平均 (最小-最多)	平均 (最小-最多)	平均 (最短-最長)
14℃	10	9.0 (7-15)	136.2 (31-233)	39.4 (3-183)	30.7 (20-41)
17℃	10	6.9 (3- 6)	195.9 (129-374)	17.6 (1- 57)	20.6 (17-25)
20℃	10	2.8 (2- 4)	242.5 (127-381)	23.8 (4- 99)	16.2 (12-20)
23℃	10	2.1 (2- 3)	316.9 (152-478)	7.8 (2- 30)	12.9 (10-16)
26℃	10	2.0 (2 ^{y)})	275.9 (201-410)	15.2 (7- 28)	8.4 (7-10)

z) 死亡後に体内に残存していた成熟卵数

y) 総ての個体が羽化2日後 (産卵容器に移した当日) から産卵を開始

第17表 雄成虫の生存期間

温度	調査 個体数	生存期間 (日)
		平均 (最短-最長)
14℃	15	30.7 (20-42)
17℃	15	19.7 (12-30)
20℃	15	14.7 (9-22)
23℃	15	11.3 (8-15)
26℃	15	7.0 (5-10)

第18表 個別の産卵数と産下した卵のふ化率

個体番号	雌成虫の日齢別ふ化率 (%)			合計	
	2～4日	5～7日	7日～死亡	産卵数	ふ化率 (%)
1	100.0	96.4	2)	267	99.0
2	99.3	86.0	5.9	237	88.7
3	99.2	100.0	100.0	224	99.5
4	99.3	100.0	53.8	287	92.9
5	100.0	100.0	100.0	388	100.0
6	97.8	98.4	94.6	372	97.7
7	96.3	78.1	7.3	478	80.4
8	86.0	67.3	56.7	152	71.9
9	98.0	99.0	85.1	365	96.9
10	99.6	98.6	93.4	399	98.7
平均	97.6	92.4	66.3	316.9	92.5
標準偏差	4.2	11.5	38.0	94.2	9.0

z) 産卵数：1

6. 雌成虫の日齢とふ化率

雌の日齢と卵のふ化率との関係を知るため、日齢別に産下卵のふ化率を調査した。

試験方法

前記「5. 雌成虫の産卵消長、産卵能力及び生存期間」の23℃の条件で日別に産み付けられた卵を一定の湿度に保ったプラスチック容器に収容し、23℃の温度下に

置き、ふ化が終了した時点でふ化率を調査した。

試験結果

個体別・日齢別の産下卵のふ化率を第18表に示した。日齢2～4日目に産卵された卵のふ化率は96%以上であり、個体による違いが大きいものの日齢が進むに従って低下した。

7. 考察

1) 羽化時刻

豊島(1931)は自然日長下で8時から20時まで羽化が見られ、17時をピークにして16時から18時に羽化数が最も多いと報告している。また、成田(1986)は、越冬世代と第1世代成虫の世代別雌雄別の羽化時刻に差は認められず、9時から11時に始まって18時にピークとなり、21時に終了すると報告している。本報告の結果は、これらの結果におおむね一致する。羽化消長は、はっきりしたピークを持つことから、内生的な概日リズムであり、これに温度も影響していると考えられる。

2) コーリング及び交尾時刻

コーリングは成虫の日齢によって暗期開始3～4時間に始まり、交尾は暗期開始3時間半後ころから5時間後ころに始まった。したがって、コーリングと交尾はほとんど同時に始まるとみなされる。佐藤ら(1977)によると、フェロモン・トラップに雄が誘引される時刻は22:00～23:00である。この時間は日没後3～4時間にあたることから、雄の性的活性も雌に同調していると思なされる。豊島(1931)は交尾継続時間を20分前後としているが、今回の調査では最も短い対でも49分間継続した。

3) 交尾回数

本報告から、雌成虫は複数回の交尾能力があると思なされた。大平(1989)は、野外のモモシクイガ多発園から採集した雌成虫23個体の調査により、個体当たり1～4個、平均2.3個の精包を確認している。また、石栗(未発表)は、農薬を散布していないリング園から採集した雌成虫9個体の調査で、同様に個体当たり1～4個の精包を確認している。これらのことから、園地内の成虫密度などにもよると思われるが、野外でも雌は複数回の交尾をしているものと思なされる。雄は生存している間長期にわたって交尾能力を維持していることから、条件によっては複数回の交尾を行っていると思なされる。

4) 産卵時刻

豊島(1931)は20時から22時に最も産卵が多いとし、

福島(1953b)は産卵は夜間に行われ、日中は活動が停止するとしている。佐藤ら(1981)は、産卵行動は全体では暗期開始30分後から6時間後まで認められるが、個体別には断続的で暗期開始1時間後から3時間後にかけて多いとしている。梶野・中尾(1975)は、産卵は暗期に行われ、日の入り3時間～4時間後に多いとしている。このように研究者によって産卵盛期の時刻にはずれがあるものの、暗期に産卵が行われることについては本報告の結果と一致した。また、梶野・中尾(1975)は明期の途中に暗黒にしても産卵が始まると述べており、暗期になることが産卵の引き金になっていると思なされる。

5) 雌成虫の産卵消長及び生存期間

梶野(1976)は、25℃の条件下で羽化当日の成熟卵は総卵数の8.9%であり、5日後に40.1%に達するとし、未成熟卵を逐次成熟して産出していくと報告している。温度によって卵の成熟速度が異なり、本報告のような産卵消長を示したものと思なされる。本報告では、14℃から23℃までは温度が高いほど総産卵数が増加したが、26℃では23℃よりも少なかった。この傾向は、幼虫の発育速度の温度反応と類似しており、卵の成熟と幼虫の発育に高温障害が生じていることが示唆される。

成田(1987)は、野外での活動が活発な時間帯の気温が18℃以上にならないと産卵しないと指摘している。本報告では、14、17℃でも産卵が継続的に行われたが、産卵を開始するまで時間を要し、14℃では羽化1週間後ころから産卵が見られた。このことから、18℃より低い温度でも卵の成熟は進むものの、産卵に至るまでに長い時間を要するものと思なされた。

6) 雌成虫の日齢とふ化率

成虫の日齢が進むに従って、その成虫が産んだ卵のふ化率は低下した。今回供試した雌成虫は交尾を1回しかしていない。このことにより日齢が進んだ場合効率的な受精ができなかった可能性もある。しかし、未ふ化卵の数は全体から見ると極めて少ないことから、雌は1回の交尾でも長期間受精卵を産卵できると思なされた。

IV 休眠に関する試験

モモシクイガは地表面近くの土中で丸く堅い冬繭を作り、成熟幼虫態で越冬する。越冬後、幼虫は冬繭から脱出して新たにラグビーボール状の柔らかい夏繭を作り、その中で蛹化する(第1図)。冬繭から夏繭への組み換え時期は個体によってかなりの早晚があり、津軽地方の個体群では早い個体で4月下旬、遅い個体では6月下旬になる(津川1972)。このため、第1世代成熟幼虫の果実からの脱出は、早い個体で7月中旬ころ、遅い個

体では9月以降になる。8月上旬ころまでに脱出した幼虫の多くは夏繭を作って蛹化し、年内に成虫が羽化するため年2化となる。しかし、8月中旬以降に脱出した幼虫の多くは冬繭を作って越冬に入るため、年1化で終わる(青森県りんご試験場1981)。

モモシクイガの羽化消長は地域によって異なることが知られている(Toshimaら1961, 福島ら1965, 津川1972, 佐藤・石谷1976a, 梶野・中尾1977, 千葉・

小林1985)。この地域差は①気象要因の関与(宮下ら1965)、②休眠の深さ(本間1965)や休眠消去時期(佐藤・石谷1976a)の違い、③冬繭形成時期の早晚(津川1972、佐藤・石谷1976a)、④1化型と2化型の個体の構成比の違い(千葉・小林1985)が要因としてあげられている。津川(1972)は、青森県内では羽化時期の異なる3つの地域性があると報告したが、生態型として区別するには成虫の交配試験などが残されているとしている。

それぞれの地域の個体群は、それを構成する個体の集積であることから、地域差の要因を解析するためには、個体の特性及び個体群内の変異を把握する必要がある。この視点から、年に羽化ピークが2つある個体群を対象とし、年1化あるいは2化を経過した個体を確保し、個体飼育により後代の特性を調査することとした。しかし、個体飼育では病気の発生や野外由来個体群の交尾率が低いことなどから計画どおりの試験ができなかった。特に、第1世代が冬繭を作成し、幼虫態のまま越冬に入った個体については、継続的な飼育ができず調査を断念した。

また、「3. 幼虫期の日長条件変更による繭の形」の導入部で説明するように、繭形成途中に興味深い事例が観察された。そこで、幼虫期の日長条件を途中で変更する試験も行った。

1. 果実からの幼虫脱出期と羽化時期との関係

個体飼育に先立ち、対象となる個体群の特性を知るため、津軽地域の2つの個体群について、成熟幼虫の果実から脱出時期、休眠の実態及び羽化時期などを調査した。刑部(1980)は、モモシクイガの羽化消長を調査する際は、供試果実の採取時期に注意するよう喚起している。そこで、個体群の特性をできるだけ正確に把握するため、被害果を定期的に採取するように努めた。

試験方法

1) 黒石市出石田個体群

モモシクイガが自然発生している黒石市出石田の放任りんご園から7月30日～9月20日まで、ほぼ10日間隔に毎回150個の被害果を採集した。採集した果実は、採集日別に野外昆虫飼育室に設置した底部に穴を空けたバケツに入れて幼虫を飼育し、バケツの下に置いたトレイに果実から脱出して落ちる成熟幼虫を半旬ごとに計数した。これらの半旬ごとに計数した幼虫はまとめて湿った鋸屑を入れた容器Eに入れてこの飼育室に保管し、成虫の羽化を調査した。

2) 鱒ヶ沢町湯舟個体群

西津軽郡鱒ヶ沢町湯舟の放任りんご園から7月中旬～9月中旬までの間10～15日ごとに毎回150個の被害果を採集した。採集した果実は「(1)黒石市出石田個体群」と同様の容器に収容し、同様の調査を行った。ただし、

果実は採集日別ではなく、まとめて容器に入れた。

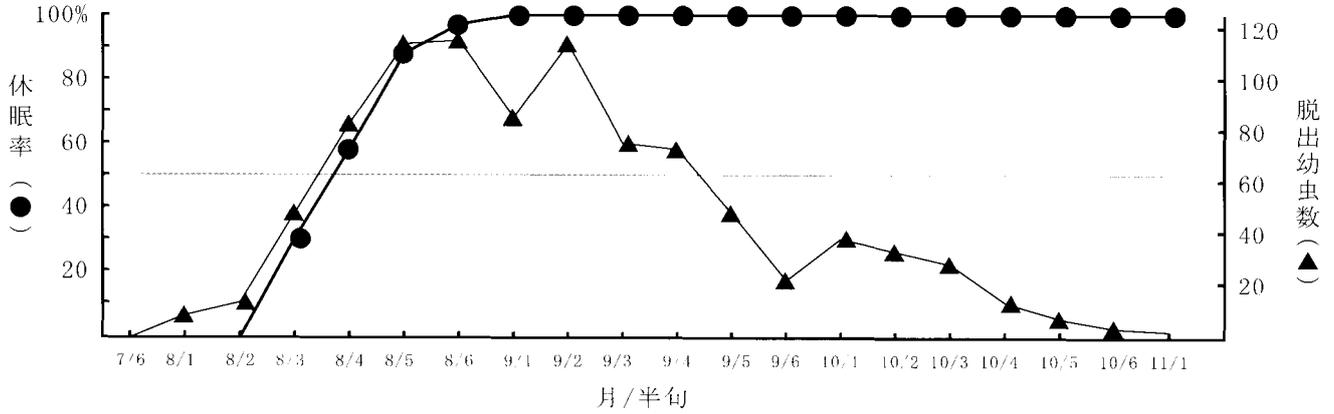
試験結果

果実の採集日ごとに果実からの幼虫脱出数の推移と休眠率の推移を、出石田個体群については第12図に、湯舟個体群については第13図に示した。被害果を最初に採集したのは、出石田個体群では7月30日、湯舟個体群では7月中旬であるが、その時点では被害果から幼虫が脱出した痕跡はなかった。このことから、出石田個体群では8月第1半旬、湯舟個体群では7月第6半旬に脱出した幼虫が各個体群の中で最も早く脱出した個体とみなされる。

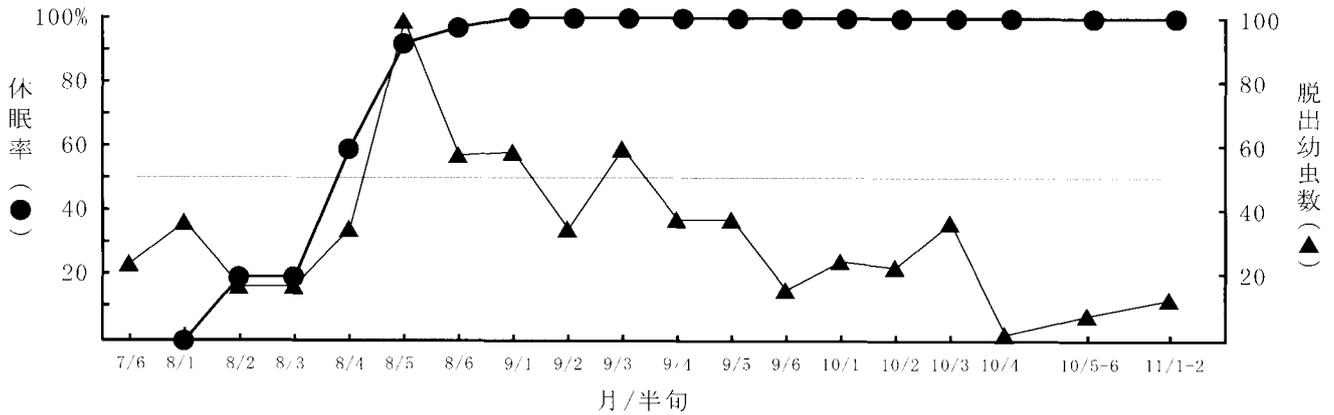
出石田個体群では8月第4半旬から9月第2半旬に脱出の山があり、10月初旬にも個体数は少ないものの山が見られ、11月第1半旬まで続いた。湯舟個体群では7月第6半旬から8月第1半旬の早い時期から脱出が見られ、8月第5半旬のピークの後徐々に少なくなり11月第2半旬まで続いた。湯舟個体群でも出石田個体群と同様に10月初旬に脱出数がやや多く見られた。

出石田個体群では8月第2半旬、湯舟個体群では8月第1半旬までに脱出した個体はすべて年内に羽化し、非休眠であった。その後、休眠率が徐々に高くなり8月第6半旬では両個体群とも95%以上に達し、9月第1半旬以降に脱出した幼虫はすべて休眠し、翌年羽化した。全脱出個体に占める非休眠個体と休眠個体の比は出石田個体群では11.8%：88.2%、湯舟個体群では17.5%：82.5%であった。非休眠個体の果実からの脱出時期及び脱出時期を込みにした羽化消長を第14図に示した。果実からの脱出は出石田個体群では8月第1半旬から8月第6半旬、湯舟個体群では7月第6半旬から8月第6半旬に見られた。羽化は、出石田個体群では当年の8月第3半旬から9月第2半旬まで、湯舟個体群では8月第2半旬から9月第2半旬まで見られた。果実からの脱出後、ほとんどの個体は2半旬後ごろに羽化したと見られるが、一部極端に遅い個体が存在し、このような個体では幼虫が脱出したために空になった繭が存在した。この点に関しては、「3. 幼虫期の日長条件変更による繭の形」でさらに詳しく言及する。性比(雌/(雌+雄))は出石田個体群及び湯舟個体群とも0.53であり、雌がやや多かった。

休眠個体の果実からの脱出時期及び脱出時期を込みにした翌年の羽化消長を、出石田個体群については第15図、湯舟個体群については第16図に示した。ここでの休眠個体には、前年1化で休眠に入った個体と、年2化を経過して休眠に入った個体の両方が含まれている。果実からの脱出は出石田個体群では8月第3半旬から10月第6半旬、湯舟個体群では8月第2半旬から11月第2半旬に見られた。翌年の羽化は、出石田個体群では5月第6半旬から8月第2半旬まで、湯舟個体群では5月第5半旬から8月第3半旬まで見られた。出石田個体群と湯舟



第12図 出石田個体群における脱出幼虫数と休眠率の推移



第13図 湯舟個体群における脱出幼虫数と休眠率の推移

個体群では、羽化時期のピークに違いが見られたが、羽化期間はいずれも2か月以上及んだ。性比（雌/（雌+雄））は出石田個体群で0.47と雄がやや多かったが、湯

舟個体群では0.50で雌雄ほぼ同数であった。出石田個体群で、雌の羽化時期がやや早い傾向が見られるが、顕著な差ではなかった。

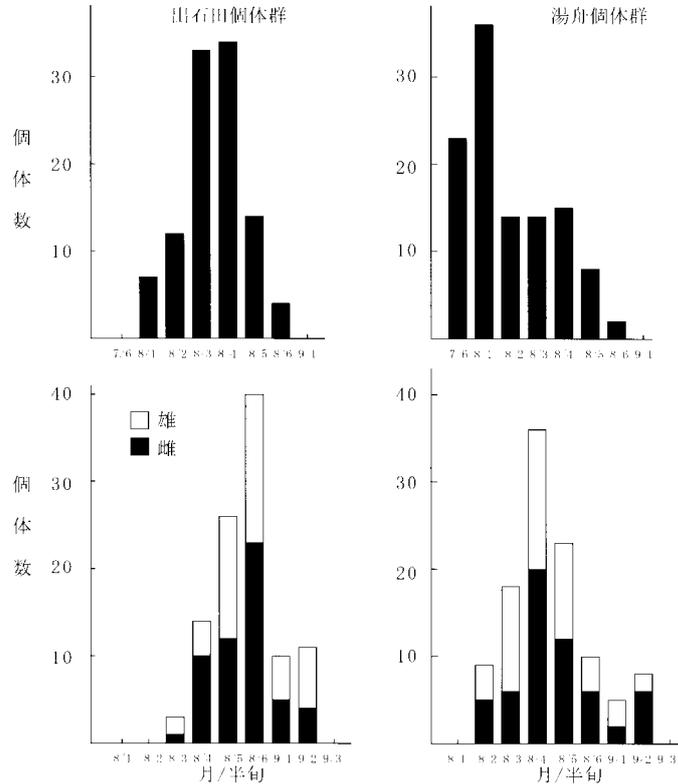
2. 第1世代成虫の子世代における越冬後の羽化消長

第1世代成虫（非休眠幼虫に由来する第2回目の成虫）の子世代における休眠特性と翌年の羽化時期を把握

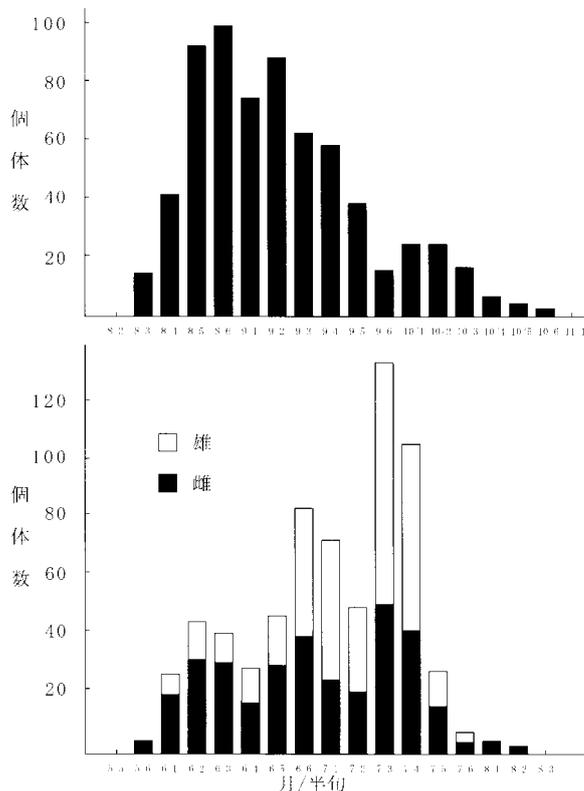
するため、個体単位で飼育実験を行った。

試験方法

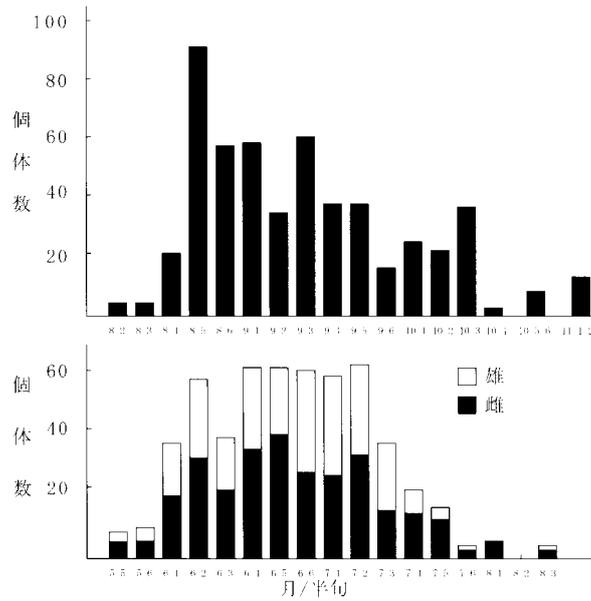
前述の湯舟個体群の中で、幼虫期に休眠しないで年内の8月第2半旬から第6半旬の間に羽化した12個体の雌



第14図 非休眠個体の果実からの脱出時期（上図）及び脱出時期を込みにした羽化消長（下図）



第15図 出石田個体群における休眠個体の果実からの脱出時期（上図）及び脱出時期を込みにした翌年の羽化消長（下図）



第 16 図 湯舟個体群における休眠個体の果実からの脱出時期（上図）及び脱出時期を込みにした翌年の羽化消長（下図）

成虫を供試し、以下の実験を行った。最初に、これら雌 1 個体と同じ時期に羽化した雄 1 個体を対とし、湿った濾紙の入った容器 A に入れ、23°C 16L 8 D の条件下で 1 暗期の間自由に交尾させた。次に、雌成虫をリンゴふじの幼果が 3 個入った容器 D に移し、野外昆虫飼育室で寿命が尽きるまで産卵させた。産卵された幼果は引き続きこの容器に入れたままで野外昆虫飼育室に置き、果実から脱出する幼虫の数を定期的に調査した。脱出した幼虫は湿った鋸屑を入れた容器 E に入れて越冬させ、翌年の羽化消長を調査した。

試験結果

産卵に供試した 12 個体の成虫の履歴、すなわち幼虫期における果実からの脱出時期と羽化時期及びその子世代における果実からの脱出時期を第 19 表に示した。8 月第 2 半月～第 4 半月に羽化した個体から生じた子世代幼虫は、9 月第 4 半月～10 月第 4 半月に果実から脱出した。8 月第 5～6 半月に羽化した個体の子世代は 10 月第 2 半月～11 月第 1 半月に脱出した。この様に子世代の脱出が長期に及んだのは、雌の寿命が尽きるまで長期にわたって産卵させたためである。

12 個体の成虫に由来する子世代の翌年の羽化消長を第 17 図に示した。羽化は 5 月第 6 半月から始まり、7 月第 4 半月まで続いた。1 山あるいは 2 山の羽化ピークを示すものや、だらだらと羽化が継続するものがあつた。また、ピークの時期には早晩があり、一定ではなかつた。

前述のように、雌の寿命が尽きるまで長期にわたって

産卵させたので、同じ親からの個体でも、果実からの脱出時期にかなりの早晩が見られた。そこで、同一の親に由来する子世代について、果実からの幼虫脱出の早晩によって羽化消長に違いがあるかを検討した。第 18 図には第 19 表の雌個体 No. 1、No. 7 及び No. 11 の 3 個体の子世代についての結果を例示した。同一の親に由来する子世代の間に脱出時期の違いがあつても、翌年の羽化消長には大きな違いはなかつた。

3. 幼虫期の日長条件変更による繭の形成

第 14 図との関連で述べたように、果実から脱出した幼虫が休眠しないで年内に羽化した場合、脱出時期が同じであるにもかかわらず、羽化時期が他の個体より極端に遅い個体が存在し、これらの個体では、幼虫が脱出したために空になった繭が観察された。また、他の調査の際にも、休眠が完了していないはずの時期に空の冬繭がたびたび見られた。これらの現象は、これまで考えられていなかった時期に繭の組み換えが行われている可能性を示唆する。そこで、幼虫の発育期に日長条件を変えて飼育し、その後の繭形成の推移を調査した。供試した個体は室内でリンゴ幼果を餌にして累代飼育している個体群から得た。

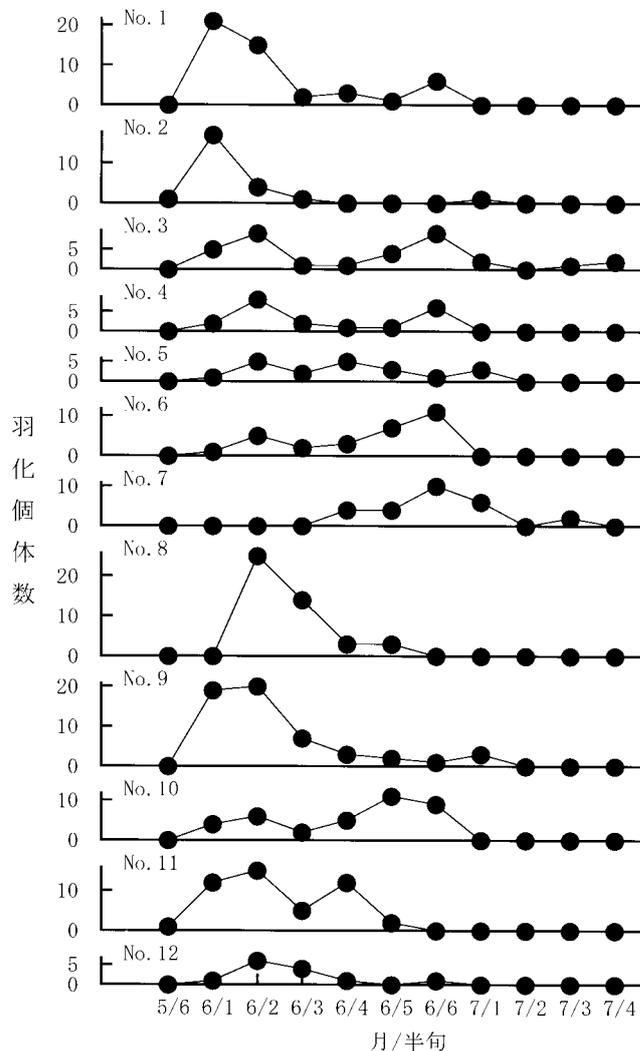
試験方法

‘ふじ’の幼果にふ化直前の卵を 10 卵接種し、幼虫期間の日長を途中で変えて飼育した。各区 10 反復で試験を始めたが、一部の区では幼虫の死亡により 2 あるいは 5 反復

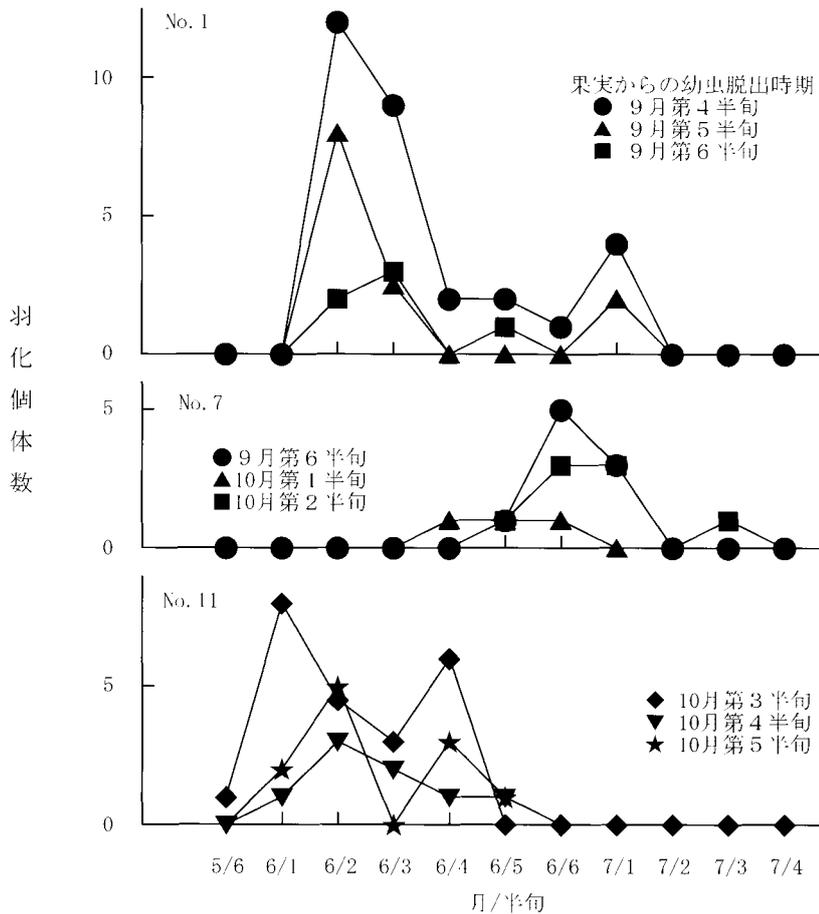
第19表 産卵に供試した12個体の非休眠成虫の履歴とその子世代幼虫の果実からの脱出時期

No.	雌 (= 親世代) の履歴		子世代 (越冬前)
	果実からの幼虫脱出	羽化	果実からの幼虫脱出
1	7/6 ^{z)}	8/2	9/4 ~ 9/6
2	7/6	8/2	9/4 ~ 9/5
3	7/6	8/2	9/4 ~ 10/1
4	8/1	8/3	9/5 ~ 10/2
5	8/1	8/4	9/6 ~ 10/3
6	8/2	8/4	9/6 ~ 10/4
7	8/2	8/4	9/6 ~ 10/4
8	8/3	8/5	10/2 ~ 10/6
9	8/3	8/5	10/2 ~ 10/4
10	8/3	8/5	10/2 ~ 11/1
11	8/3	8/5	10/2 ~ 11/1
12	8/4	8/6	10/3 ~ 10/6

z) 月/半旬



第17図 履歴の異なる非休眠成虫に由来する子世代の羽化消長 (各個体の履歴: 第19表)



第18図 同一の非休眠雌成虫が産出したクラッチにおける果実からの脱出時期別の羽化消長(雌個体No.は第22表と同じ)

となった。脱出してきた成熟幼虫を湿った鋸屑を入れたフィルムケースに個体ごとに入れて蛹化させた。幼虫飼育時の日長は、休眠条件の13L11D（以下、短日）及び非休眠条件の16L8D（以下、長日）とし、ふ化幼虫の食入から6、9、12及び15日後に短日から長日あるいは長日から短日に移し換えた。全期間23℃で飼育し、果実から脱出後1か月ころまでに形成された繭の形を調査した。なお、23℃における食入から果実脱出までの期間は個体間差があるものの20日程度であった。

試験結果

結果を第20表に示した。幼虫期間の途中で短日から長日に移し換えた場合、移し換えが早い（長日が高い）ほど夏繭の形成（非休眠）が多く、移し換えが遅いほど冬繭の形成（休眠）が多くなり、逆に長日から短日に移し換えた場合には、早く移し換えたほど冬繭の形成が多く

なった。多くの個体は調査期間内に1回繭を作るだけであったが、作成直後に脱出して再度あるいは再々繭を作り直す個体が見られた。前述したように、休眠個体が休眠覚醒後に冬繭から脱出して夏繭を作る時にも繭の組み換えは起こるが、ここで見られる組み換えは数日単位で起こった。このような組み換えは短日から長日に移し換えた場合、特に食入12日後や15日後のような幼虫期後半に移し換えた場合に多く見られた。幼虫期の12日後に日長を換えた場合は、夏繭→夏繭（SS）が1.8%、冬繭→夏繭（WS）が26.8%、冬繭→冬繭→夏繭（WWS）が5.4%見られ、全体で40%近い個体が繭の組み換えを行った。夏繭を形成した個体は休眠することなく羽化した。長日から短日に移し換えた場合にも組み換えが見られたが、冬繭から冬繭への組み換え（WW）が主体であった。

第20表 幼虫期間に日長条件を変えた場合に作成された繭の形

区 (飼育条件)	幼虫数	作成された繭の形 (%)								
		S ¹	SS	WS	WWS	WSS	W	WW	SW	
【短日→長日】										
短日飼育期間	6日	48	85.4	2.1	10.4	0	0	2.1	0	0
	9日	52	82.7	1.9	13.5	0	0	1.9	0	0
	12日	56	37.5	1.8	26.8	5.4	5.4	23.2	0	0
	15日	39	10.3	0	17.9	2.6	0	69.2	0	0
【全期間短日】	6	0	0	0	0	0	83.3	16.7	0	
【長日→短日】										
長日飼育期間	6日	30	3.3	0	0	0	0	86.7	6.6	3.3
	9日	56	0	0	0	0	0	91.1	8.9	0
	12日	51	35.3	0	0	0	0	56.9	7.8	0
	15日	17	64.7	0	0	0	0	23.5	11.8	0
【全期間長日】	26	88.5	0	7.7	0	0	3.8	0	0	

z) Sは夏繭, Wは冬繭を示し, SS, WSなどは繭の組み替え順序を示す。

4. 考察

1) 果実からの脱出消長の解析

果実から脱出した幼虫の中に休眠個体が現れる時期は、津軽地域では7月第5～6半旬が多く、8月第4～5半旬に半数に達し、8月第6半旬～9月第1半旬にはほぼ全個体が休眠に入る（青森県りんご試験場1981）。県南地域もほぼ同様の経緯をたどる（佐藤・石谷1976b）。今回調査した個体群では、初めて休眠個体が確認されたのが8月第2～3半旬と遅かったものの、第4半旬に50%に達し、9月第1半旬に100%となり、これまでの報告と大きな差異はなかった。

第14図から、非休眠個体の羽化時期は8月第2、3半旬から9月第2半旬ころまでであり、その子世代の果実からの脱出は、第19表に示すように9月第4半旬から11月初旬に見られる。第12図及び第13図では、10月初旬ころに果実からの脱出の山が見られるが、おおむねこの時期と一致する。このことから、両図の9月第4半旬以降に脱出した個体には、非休眠個体成虫に由来した年2化の個体が含まれると推定できる。この時期の脱出個体には、年1化の個体も含まれる可能性があるが、脱出消長に明確な山が見られることから、特に10月以降は大半が年2化の個体と思われる。一方、9月第3半旬までに果実から脱出し、休眠に入った個体は年1回の発生で終わったと見なされる。

2) 非休眠個体由来の子世代の脱出消長及び翌年の羽化消長

非休眠個体の子世代における果実からの脱出時期は、親成虫の羽化時期の早晚に従った。（第19表）羽化が遅かった成虫の子世代では果実から脱出までにやや期間

を要したが、低温によって発育が抑制されたものと考えられる。最も遅い個体の脱出は11月第1半旬であり、第12図及び第13図の果実からの脱出消長の終息時期と一致した。

子世代の越冬後の羽化は5月第6半旬から7月第4半旬まで見られ（第15図、第16図）、親の違いによって子世代の羽化消長は異なった（第17図）。しかし、同じ親に由来する子世代内では、果実からの脱出の早晚が翌年の羽化消長に影響を与えることはなかった（第18図）。子世代の羽化時期は対にした雌雄の遺伝的な要因によって決まると考えられるが、羽化時期が長期にわたり、また多様な羽化消長が見られることから、複数の遺伝的因子が関与しているものと推定される。

3) 休眠個体の果実からの脱出時期と翌年の羽化時期

休眠個体の羽化消長を第15図及び第16図に示したが、第19図に前年の果実からの脱出時期ごとに区分した羽化消長を示した。各脱出時期とも羽化時期が長期にわたり、関連が明確でないが、羽化時期の平均で見ると出石田個体群では脱出時期が早いと羽化時期が遅くなる傾向が見られ、湯舟個体群では2山のパターンが見られる。

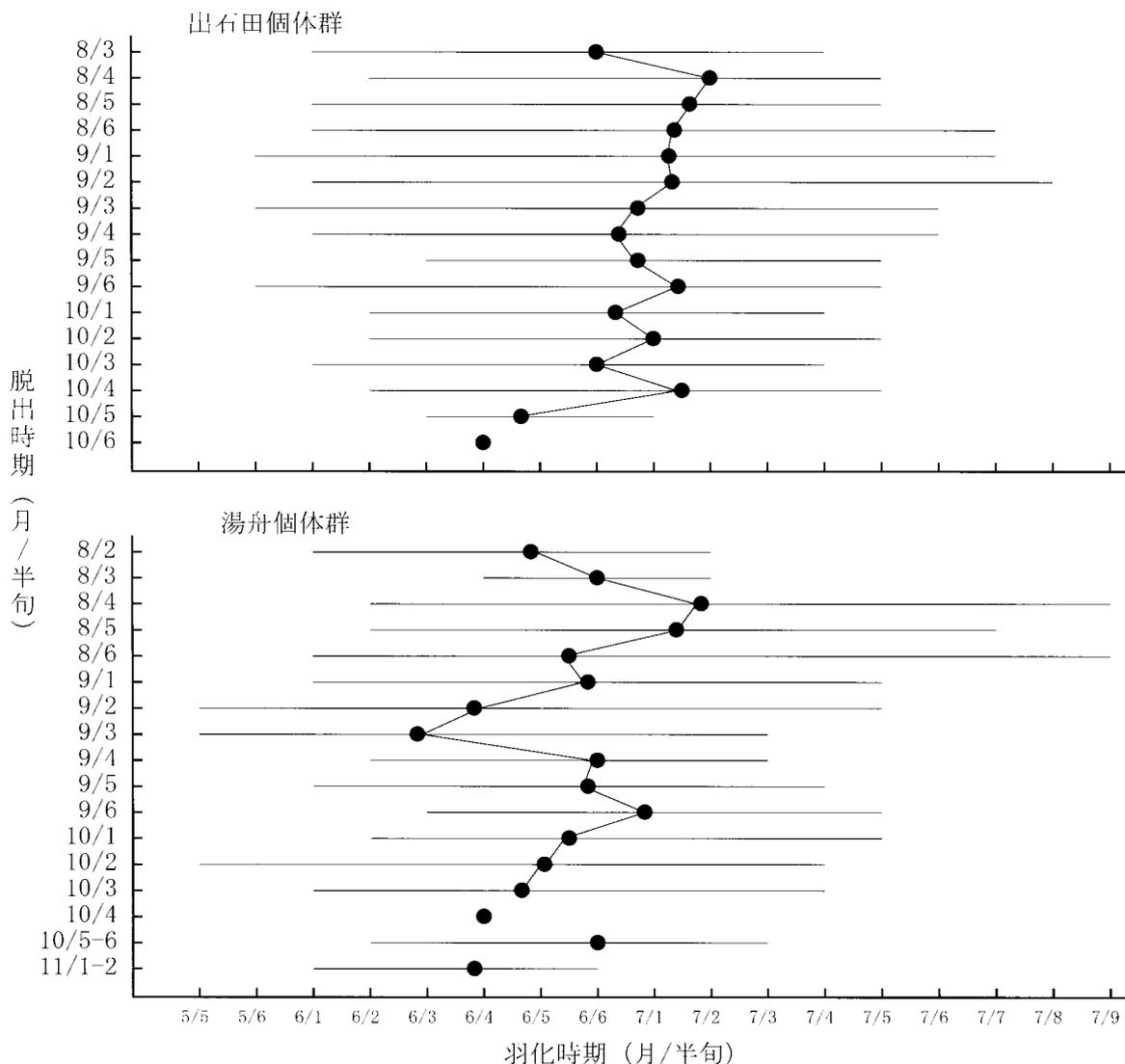
先に、9月第3半旬までに果実から脱出した休眠個体は年1化、9月第4半旬以降に脱出した個体は年2化を経過した個体が主体であると推定した。脱出時期をこの2つ（以下、早く脱出したグループ、遅く脱出したグループ）に分け、翌年の羽化消長を第20図（出石田個体群）及び第21図（湯舟個体群）に示した。出石田個体群では早く脱出したグループで3つの明確な山があり、遅く脱出したグループでもピークははっきりしないものの

同様の山が見られた。湯舟个体群の羽化時期は、出石田个体群とほぼ同様であり山も見られるが、ピークは明確でなくだらだらとした消長を示した。第17図で示すように、前年2化した個体の翌年の羽化は5月第6半旬から7月第4半旬まで続く。これを第20図及び第21図の遅く脱出したグループと比較すると、おおむね一致するものの7月の3つ目の山が大きい。第17図の調査が湯舟个体群の12個体だけのデータであることや、遅く脱出したグループの中にも前年1化の個体が含まれている可能性が考えられる。

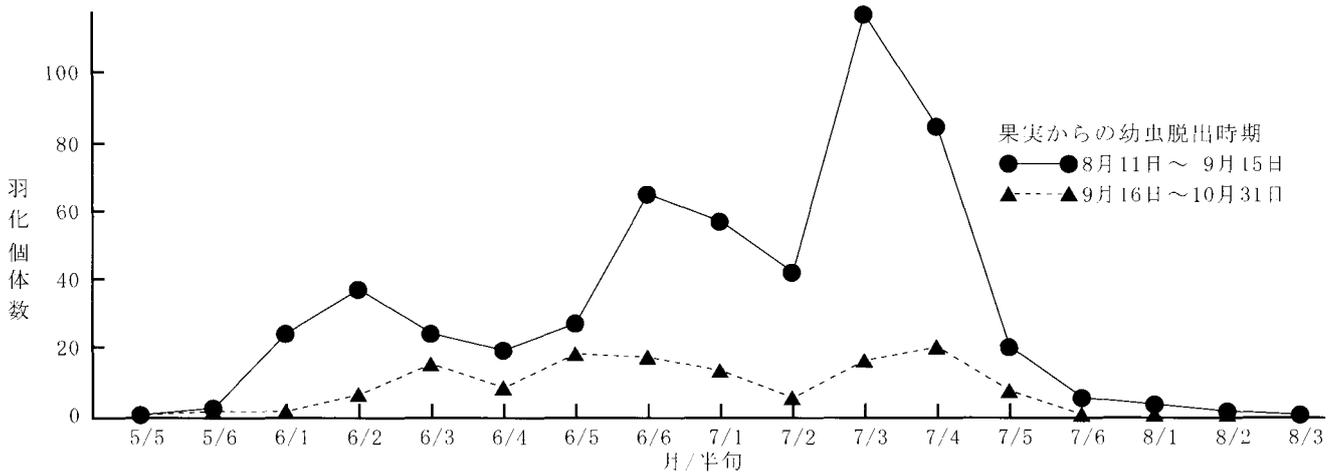
成田(1986)は、前年の越冬世代及び第1世代それぞれに由来する休眠个体群の越冬後の羽化時期はほぼ同じであったと報告している。また、前年の7、8、9月の各月に得られた脱出幼虫の越冬後の羽化にも違いがなかったと述べている。福島(1957)、Toshimaら(1961)は、本種の休眠は1~2月に完了し、休眠完了後の発育は低温によって抑制され、気温の上昇によって休眠後の発育が始まることから、前年の休眠時期の早晩

の違いは休眠後の発育に影響しないと考察している。また、宮下ら(1965)によると、北海道における越冬世代成虫は、前年の休眠時期と関係なくほぼ同じ時期に羽化する。津川(1972)は、津軽地域の个体群では、前年の8月上中旬に冬繭を形成した個体による越冬後の夏繭形成は緩慢に遅くまで続くが、8月下旬に冬繭を形成した個体による夏繭形成は揃っていると報告している。一方、佐藤・石谷(1976a)は、県南地域(青森県太平洋側)の个体群では、逆に前年の8月上中旬に冬繭が形成された個体では越冬後の夏繭形成が早く、短期間に終了したが、9月以降の遅い時期に冬繭が形成された個体では夏繭形成が緩慢で長期間にわたったと報告している。

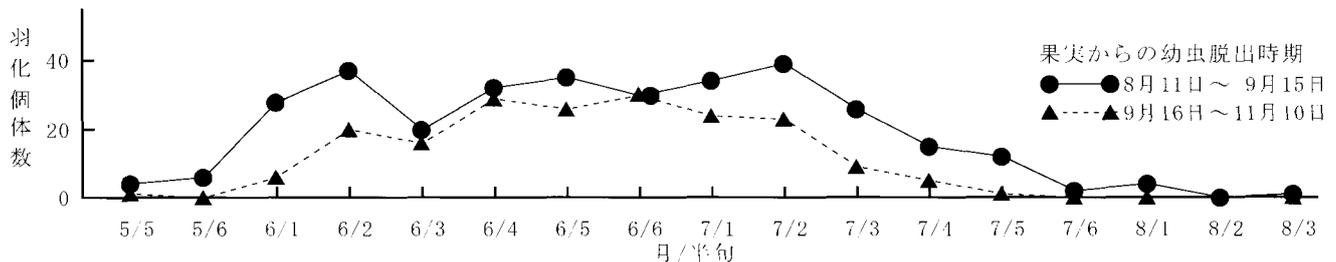
第20図の出石田个体群の羽化消長では、早く果実から脱出したグループでは遅く脱出したグループと比較して、第2あるいは第3のピークが大きい。このことから、早く脱出した個体は翌年遅く羽化する個体が多く、傾向としては津川の報告に類似する。しかし、遅く脱出したグループでも遅い時期に羽化する個体があり、逆



第19図 休眠個体の果実からの脱出時期と羽化時期(平均±範囲)の関係



第20図 出石田個体群における果実からの幼虫脱出時期別羽化消長



第21図 湯舟個体群における果実からの幼虫脱出時期別羽化消長

に、早く脱出したグループでも早い時期に羽化する個体が相当見られる。第21図の湯舟個体群では、この関係はさらに不明確であった。したがって、「果実から早い時期に脱出した幼虫は翌年の遅い時期に成虫となり、遅く脱出した幼虫は早く成虫になる」という単純な関係ではないことが示唆される。

4) 化性及び発生型を決める要因

越冬世代の羽化消長に3つの山が見られた出石田個体群で解析を行った。第20図で示されるように、山は6月第1～3半旬ころ、6月第5半旬～7月第1半旬ころ、7月第3～4半旬ころに見られる。この調査は野外昆虫飼育室で行ったが、飼育室が建物に併設されているため、春期の温度は野外気温より高い。飼育室の温度を測定していないため、その誤差を特定することはできないが、経験的に約2半旬早いものとし、先の3つの山の実際のピークを6月第4～5半旬、7月第2～3半旬、7月第5～6半旬と仮定した。これに、それぞれの発育期の気温に相当するおおよその産卵前期間（ピーク順に3, 2, 1日）、卵期間（同じく12, 8, 7日）、果実内幼虫期間（同じく22, 20, 20日）を加算し、産卵期間

も考慮に入れて次世代の果実からの脱出時期を推定すると7月下旬～8月上旬、8月中旬、8月下旬～9月上旬となる。非常に大まかな試算であるが、第12図に見られる前年の果実からの脱出消長とほぼ一致することから、推定に大きな違いはないと考えられる。

第12図で見るように、7月下旬から8月上旬に果実から脱出する個体はほとんどが休眠せず、一方、8月下旬以降に脱出した個体はほとんどが休眠に入る。このことから、第20図における一つ目の山に属する個体は年2化、3つ目の山に属する個体は年1化で経過する可能性が高い。二つ目の山に由来する子世代の脱出時期である8月中旬は、休眠に関して臨界時期にあたる。休眠誘起に対する日長反応の個体差も考慮する必要があるが、年1化となるか2化となるか非常に微妙な時期である。

前述したように、前年2化であった子孫の中には翌年1化で終わる個体がある一方、前年1化であった子孫でも翌年は2化となる個体も多い。また、先に示した2つ目の山のように1化となるか2化となるかが気温などの外的な要因によって左右される側面もある。このことから、1化型と2化型は必ずしも固定されていないことが

明らかになった。

青森県では津軽地域（日本海側）と県南地域（太平洋側）で発生型が異なることが知られ、津軽地域の個体群では羽化時期が5月下旬に始まり7月上旬まで緩やかな曲線を描き、県南地域の個体群では羽化時期が2週間遅れ7月下旬まで緩やかな曲線を描くことが報告されている（津川1972, 佐藤・石谷1976a）。千葉・小林（1985）は、津軽地域の発生型を1化型2化型混在、県南地域の発生型を1化型優占と表現している。本報告の発生型は津軽地域の発生型に類別される。青森県の津軽地域と県南地域では気候条件が異なり、やませ地帯である県南地域では夏期の気温が低い。佐藤・石谷（1976c）は、五戸町（県南地域）産と黒石市（津軽地域）産の個体による交配試験を試み、越冬後の羽化が黒石市の個体群の消長に類似することを報告している。しかし、多様な要因が関与していると想定される中で、気温などの淘汰圧がどのように作用し、各地域の発生型を形成しているかを検討するためには依然として知見が少ない。

リンゴの重要害虫の1種であるリンゴコカクモンハマキは、従来青森県の太平洋側では年2化、日本海側（津軽地域）では年3化の発生型であったが、1990年代前半以降日本海側でも年2回の発生型を示すようになった。

このダイナミックな個体群の質的変化の解析はまだ十分ではないが、大冷害となった1993年における異常気象が一つの要因としてあげられている（石栗2004）。モモシグイガの場合、リンゴコカクモンハマキのように年間発生回数が固定されているわけではない。先に、本種が不安定な餌の環境条件に柔軟性をもって適応していることを指摘したが、気象などの変動の大きい生育環境に対しても、年間の発生回数を固定することなく柔軟に対応していることが示唆される。

5) 休眠と繭の形状

幼虫期間に短日から長日に変えた場合、一時的に冬繭を作るものの、すぐに夏繭に組み換える個体が見られた。自然日長条件下で飼育した場合でも数例ではあるが同じ事例が観察されている。冬繭の形成は、休眠して越冬するための行動であり、非休眠個体が冬繭を作るメリットは考えにくい。また、長日から短日に移した場合では冬繭を作り直す行動も見られた。これらの組み換えの意義は不明であるが、休眠誘起と繭形成に関与する生理的な発現経路が必ずしも一致していない可能性がある。昆虫の休眠メカニズムの研究において興味深い事例である（川嶋1993c）。

V 摘 要

1. ステージ別の発育

1) 各ステージごとに、14, 17, 20, 23 及び 26℃（いずれも 16L 8D）の条件下で‘ふじ’の幼果を餌にして飼育したところ、果実内幼虫期の 26℃で発育遅延が見られた。

発育遅延が見られた区のデータを除いた飼育温度（T）と各温度における発育期間の逆数（V：発育速度）の関係及び発育零点などは下表のとおりであった。

ステージ	T と V の関係	発育零点 (℃)	有効積算温量 (日度)
卵期	$V = -0.120 + 0.0108T$	11.1	92.7
果実内幼虫期	$V = -0.0357 + 0.0037T$	9.6	269.6
果実脱出～羽化	$V = -0.0515 + 0.0052T$	9.9	192.1
卵～羽化	$V = -0.0180 + 0.0018T$	10.0	555.4

2) 卵期では、bhsが確認された時点からふ化するまで14℃では4～6H、17及び20℃では2～3日、23℃では2日、26℃では1日を要した。ふ化率は20℃、23℃、26℃では95%以上、17℃で約90%、14℃では30%以下となり、低温が卵の生存に影響していると考えられた。

3) 果実内幼虫期では、温度が上がるに従って成熟幼虫の脱出率が高くなったものの、26℃でも53.0%にとどまった。果実からの脱出幼虫重は23℃で最も重く、23℃を100とした場合、14℃で66.8、17℃で86.6、20℃で97.8、26℃で96.1であった。雌雄により果実内幼虫期間に違いは見られなかったが、脱出幼虫重はいずれの温度でも有意な差が見られ、雄よりも雌が重かった。

4) 果実から脱出後、蛹化までの期間は26℃で2日、23℃で3日、20℃で3～4日、17℃で5～7日、14℃で10～12日であった。蛹の胸部黒化が確認されたのは、26℃で果実脱出後7日目、23℃で10日目、20℃で13日目、17℃で20日目であり、この段階から羽化までは26℃で2日、23℃で3日、20℃及び17℃で4日であった。

5) 14℃で幼虫を飼育した場合、ほとんどの個体が冬繭を形成して休眠に入ったが、17℃以上ではすべての個体が非休眠であった。

6) 果実内幼虫期間あるいは果実脱出から羽化までの期間を調べた試験では、性比が雄に偏る傾向が見られ、温度などの発育環境が雌雄の生存率に異なった影響を与えている可能性が示唆された。

2. 幼虫の生態

1) 果実内の幼虫密度の影響を知るため、約100gの‘ふじ’幼果に10～100まで10刻みで卵を接種し、23℃の恒温条件下で飼育した結果、密度が高くなるに従い幼虫脱出率は低下し、脱出幼虫重は軽くなり、果実内幼虫期間は長くなった。このことから、果実内で幼虫同士の干渉があるものの、個体の生存が危うくなる限界近くまで混み合いに耐えうる‘共倒れ型’の発育をするものと考えられた。

2) ‘ふじ’の成熟果及び幼果、‘紅玉’及び‘スターキングデリシャス’の幼果を餌に幼虫を飼育した結果、幼虫脱出率は‘ふじ’成熟果で最も高く、‘スターキングデリシャス’の幼果で最も低かった。脱出幼虫の重さに大きな違いはなかったが、果実内幼虫期間は‘紅玉’の幼果で有意に長くなった。別に行った‘ふじ’と‘紅玉’の未熟果を用いた試験では、脱出幼虫重、果実内幼虫期間とも差が見られなかったが、品種や熟期によっては発育に影響する可

能性が示唆された。

3) 幼虫の齢数を知るため、リンゴ果実の切片を餌に飼育したところ、幼虫の齢数は飼育温度、雌雄に関係なく、4齢を経過する個体と5齢を経過する個体があった。

4) 成熟幼虫が果実から脱出する時刻を室内で調査したところ、脱出は1日を通して見られた。しかし、野外での脱出時刻を反映しているかは明らかでなかった。

3. 成虫の生態

1) 羽化時刻を室内の16L8Dの条件下で調査したところ、23℃では、雌雄とも明期後半から多くなり、暗期開始の2～3時間前に明確なピークが認められ、暗期開始から2～3時間後に終息した。17℃では、羽化が明期前半に多く、26℃は23℃に類似したが、ややピークが早くなる傾向が見られた。明確なピークを持つことから、内生的な概日リズムであり、これに温度も影響していると考えられた。

2) 雄成虫のコーリング時刻を室内の16L8D、23℃の条件下で調査したところ、成虫の日齢によって若干違いが見られたが、暗期開始3～4時間後に始まり、4～5時間半後にピークとなった。コーリングの継続時間は130～160分前後であった。

3) 交尾時刻は、2)と同様の条件下で暗期開始3時間28分後から始まり、3時間半～5時間後ころに多かった。交尾の継続時間は、最短で49分、最長で93分であった。

4) 雌雄の交尾回数等を雌の交尾のう内の精包数をもとに調査したところ、雄では羽化当日から交尾が可能であり、生存期間内に最大12回交尾したと推定された。雌では生存期間内に1～3回の交尾したと推定された。

5) 産卵時刻を個体ごとに、2)と同様の条件下で調査したところ、暗期開始と同時に産卵を開始した。暗期の前半に産卵する個体が多いが、暗期の後半に産卵する個体も見られた。しかし、明期に産卵する個体は無かった。

6) 個体ごとの産卵消長を14、17、20、23、26℃の条件下で調査したところ、産卵前期間は14℃で7日、26℃で2日であった。産卵は14℃及び17℃では断続的であったが、20℃以上では毎日継続的に見られた。1雌当たりの平均総産卵数は23℃で最高の316.5卵であり、日別の最多産卵数は185卵であった。

7) 上記6)の23℃で産卵された卵を調査した結果、日齢2

～4日目に産卵された卵のふ化率は96%以上であったが、日齢が進むに従って低下した。また、日齢とともに個体変異が増大した。

4. 休眠に関する試験

1) 果実からの幼虫脱出時期と羽化時期の関係を、津軽地域の二つの個体群で調査したところ、果実からの脱出は7月第6半句以降に見られた。初期に脱出した個体はすべて非休眠であったが、徐々に休眠率が高くなり8月第6半句では95%以上に達し、9月第1半句以降に脱出した幼虫はすべて休眠した。9月第4半句以降に脱出した個体には、非休眠個体成虫に由来した年2化の個体が含まれ、10月以降に脱出した個体は大半が年2化の個体と推定された。

2) 上記1)の非休眠個体は、当年の8月第2半句～9月第2半句に羽化した。休眠個体は翌年の5月第5半句から8月第3半句まで、長期にわたって羽化が見られた。

3) 上記2)で得られた非休眠個体の中から、年内の8月第2半句から第6半句の間に羽化した12個体を同時期に羽化した雄と交尾させ、非休眠個体に由来する子世代を得た。子世代の翌年の羽化は、5月第6半句から始まり、7月第4半句まで続いた。親の違いによって1山あるいは2山の羽化ピークを示すものや、だらだらと羽化が継続するものがあった。

4) 上記2)で得られた休眠個体から、果実からの脱出時期と翌年の羽化消長の関係を検討した。早い時期に果実から脱出したグループは翌年遅く羽化する傾向が見られたが、早く羽化する個体も相当数見られた。逆に、遅く脱出したグループでも遅い時期に羽化する個体があり、果実からの脱出時期と羽化時期の関係は単純でないことが示唆された。

5) 上記4)により、1化型と2化型は必ずしも固定されていないことが明らかになった。また、当年の気温によって翌年の化性が変化する可能性もあることから、気象などの変動の大きい生育環境に対し、年間の発生回数を固定することなく柔軟に対応していることが示唆された。

6) 幼虫の飼育時の途中で、休眠条件の日長（短日）と非休眠条件の日長（長日）を切り替える試験を行った。短日から長日に移し換えた場合、移し換えが早いほど非休眠個体が多く、長日から短日に移し換えた場合には、早く移し換えたほど休眠個体が多かった。

7) 上記6)の試験の中で、繭を作成直後に脱出し、再度あるいは再再度繭を作り直す個体が見られた。短日から長日に日長を換えた場合、夏繭→夏繭、冬繭→夏繭、冬繭→冬繭→夏繭の組み換えが確認された。

引用文献

- 青森県農業研究推進センター. 2003. 指導奨励事項「散布回数削減及び防除対策変更による新しいりんご病害虫防除体系」. 指導奨励事項・指導参考資料等 8-15.
- 青森県農林水産技術会議. 2006. 指導奨励事項「春期の散布回数を削減したりんご病害虫防除体系」. 指導奨励事項・指導参考資料等 11-16.
- 青森県りんご生産指導要項編集委員会. 2006. モモシクイガ. りんご生産指導要項 [平成18年度改訂版] 119-121.
- 青森県りんご試験場. 1961. モモシクイガの発育と温度の関係について. 昭和36年度業務年報 44-45.
- 青森県りんご試験場. 1981. シクイムシ類. 青森県りんご試験場五十年史 883-905.
- 青森県りんご試験場. 1985. モモシクイガ成虫の薬剤感受性. 昭和59年度虫害及び訪花昆虫に関する成績書 (昆虫科) 48-50.
- 青森県りんご試験場. 1989. 検疫対象病害虫特別対策. 平成元年業務年報 106-107.
- 千葉武勝・小林森巳. 1985. 岩手県のリンゴ園におけるモモシクイガ *Carposina niponensis* WALSHINGHAM の発生消長. 岩手園試研報 6:1-14.
- Ferguson, I.B., W. Snelgar, M. Lay-Yee, C.B. Walkins and J.H. Bower. 1998. Expression of heat shock genes in apple fruit in field. *Aust. J. Plant. Physiol.* 25:155-163.
- 深澤守. 2006. 「青森りんご」の台湾向け輸出が大ブレイク. 農林水産技術研究ジャーナル 29:23-24.
- Geier, P.W. 1964. Population dynamics of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Tortricidae) in the Australian capital territory. *A. J. Zool.* 12:381-416.
- 平井一男ら. 1996. 武田植物防疫叢書第9巻 近年話題の新害虫. pp217. 武田薬品工業株式会社 東京.
- 本間健平. 1965. 津軽, 南部産モモシクイガの休眠の深さについて. 東北農業 3:7-8.
- 福島正三. 1953a. モモシクイガに関する知見展望. 東北農業7 (2) :33-44.
- 福島正三. 1953b. モモシクイガに関する生態学的研究1 成虫の日周活動について. 応動18 (1・2) :55-60.
- 福島正三. 1957. モモシクイガに関する生態学的研究5 モモシクイガの休眠性について. 防虫科学 22 (4) :370-378.
- 福島正三・武田亨・松浦康明. 1965. モモシクイガに関する生態学的研究8 二, 三地方におけるモモシクイガ成虫の外部形態. 岐阜大学農学部研究報告 21:72-82.
- 浜弘司. 1992. 害虫はなぜ農薬に強くなるのか. pp189. 農産漁村文化協会. 東京.
- 井畑勝博・杉山智明. 2006. 飛躍する青森りんご輸出. りんご技術 79:33-38.
- 石栗陽一. 2004. 青森県のリンゴコカクモンハマキの発生消長の推移 (1980~2002年). 北日本病虫研報. 55:247-251.
- 石栗陽一・豊島真吾. 2006. リンゴ'ふじ'の収穫果実におけるモモシクイガ生存幼虫存在の可能性. 北日本病虫研報. 57:203-204.
- Ishiguri, Y and S. Toyoshima. 2006. Larval survival and development of the peach Fruit moth, *Carposina sasakii* (Lepidoptera:Caeposinidae) in picked and unpicked apple fruit. *Appl. Entomol. Zool.* 41 (4) :685-690
- Kawakami, F., S. Motoshima, K. Miyamoto, Y. Soma, M. Mizobuchi, M. Nakamura, T. Misumi, K. Sunagawa, M. Moku, T. Akagawa, T. Kato, H. Akiyama, T. Imamura, M. Tao, M. Kaneda, S. Sugimoto, M. Yoneda, H. Kadoi, H. Katsumata, H. Nagai, M. Sasaki, F. Ichinohe, K. Kawashima, T. Kudo, Y. Osanai and A. Saito. 1994. Plant quarantine treatment of 'Fuji' apple for export to the United States. *Res. Bull. Pl. Prot. Japan Supplement to No.30:1-80.*
- 川嶋浩三・山田雅輝. 1983. 第43回日本昆虫学会〈講演要旨〉46.
- 川嶋浩三. 1991. モモシクイガ. 「昆虫の飼育法」(湯嶋健ら編). 日本植物防疫協会. 118-121.
- 川嶋浩三. 1993a. 交信かく乱法によるリンゴの鱗翅目害虫の防除. 植物防疫 47 (11) :508-511.
- 川嶋浩三. 1993b. ミダレカクモンハマキに対する交信攪乱剤の広域処理による防除. 東北農業研究. 46:205-206.
- 川嶋浩三. 1993c. モモシクイガの休眠と繭形成. 「昆虫の季節適応と休眠」(竹田真木生・田中誠二編). 文一書房. 136-141.
- 川嶋浩三. 2001a. バラ花蕾におけるミカンキイロアザミウマの加害生態. 北日本病虫研報 52:207-209.
- 川嶋浩三. 2001b. キクおよびトルコギキョウのミカンキイロアザミウマによる莖葉被害の品種間差. 北日本病虫研報 52:210-213.

- 川嶋浩三. 2001c. 花きハウス周辺雑草におけるミカンキイロアザミウマの加害生態の季節的消長. 北日本病虫研報 52:214-217.
- 川嶋浩三. 2002a. キク圃場におけるミカンキイロアザミウマのトマト黄化えそウイルス (TSWV) の伝播能力 および保毒の実態. 北日本病虫研報 53:261-263.
- 川嶋浩三. 2002b. キク数品種におけるミカンキイロアザミウマの産卵数および幼虫の発育. 北日本病虫研報 53:264-267.
- 梶野洋一・中尾弘志. 1975. モモシクイガに関する試験 III 産卵に関する調査. 寒冷地果樹 29.
- 梶野洋一・中尾弘志. 1977. モモシクイガの生態に関する研究 I 第 I 回成虫の出現期. 道農試集報. 37:77-84.
- 梶野洋一. 1976. モモシクイガの生態に関する研究 IV 雌成虫の卵細胞の分化. 寒冷地果樹 5.
- 木村佳子・石栗陽一. 2004. 農薬散布体系の異なるリンゴ樹上におけるダニ類の発生消長. 北日本病虫研報 55:284
- Kim,Dong-Soon,Joon-Ho Lee & Myong-Soon Yien.2001. Temperature-dependent development of *Carposina sasakii* (Lepidoptera:Carposinidae) and its stage emergence models. Ent. Soc. Am. 30 (2) :300-305
- 櫛田俊明・木村佳子・石栗陽一. 2002. 交信かく剤剤「コンフューザーR」によるリンゴ害虫の防除. 東北農業 55:171-172
- 宮下揆一・池内茂・川村英五郎. 1965. モモシクイガの季節的発生消長ならびに防除薬剤に関する研究. 北海道農業試験場報告 68:1-92.
- 成田弘. 1986. モモシクイガ (*Carposina niponensis* WALSINGHAM) の生態と防除に関する研究. 秋田県果樹試験場研究報告 17:31-128.
- 成田弘. 1987. リンゴにおけるモモシクイガの防除を巡る諸問題. 植物防疫 41 (6) :23-28
- Narita, H. and A. Ôtake.1979. Peach fruit moth,*Carposina niponensis* WALSHINGHAM (Lepidoptera:Carposinidae) : bionomics and control measures. Rev. Plant Protec. Res. 12:40-63.
- Nicholson.1954. An outline of the dynamics of animal populations. Aust. J. Zool. 2:9-65
- 岡崎一博・荒川昭弘・山中聡・田辺博司. 2002. モモシクイガに対する昆虫病原性線虫 *Steinernema carpocapsae* の利用法. 第46回日本応用動物昆虫学会 (講演要旨) 165.
- 奥俊夫. 1998. リンゴ害虫の今昔－害虫防除と環境－. pp270. 日本植物防疫協会 東京.
- 大平喜男. 1986. モモシクイガ越冬世代成虫およびフェロモンとラップ誘引雌成虫の体サイズの変異. 北日本病虫研報. 37:165-169.
- 大平喜男. 1989. 野外発生のモモシクイガ雌成虫の保有精包数及び残存成熟卵数. 北日本病虫研報 40:165-166.
- 刑部勝. 1980. モモシクイガの羽化消長調査結果に及ぼす供試材料の影響. 北日本病虫研報 31:155-157.
- Putman,W.L.1963. The Codling moth *Carpocapsa pomonella* (L.) (Lepidoptera:Tortricidae) :A review with special reference to Ontario. Proc.Entomol. Soc. Ont.22-59.
- 白崎将瑛・福島千方男・関田徳雄・藤田孝二・川嶋浩三・増田幸保. 1999. 技術双書No.8「リンゴ農薬の知識とその使い方」. pp93. 青森県りんご協会 青森.
- 佐藤信雄・石谷正博. 1976a. モモシクイガの生活史. 青畑園試研報 1:1-16.
- 佐藤信雄・石谷正博. 1976b. モモシクイガに関する研究 第3報 五戸町産モモシクイガの時期別休眠率と休眠誘起に及ぼす光周期の影響. 北日本病虫研報 27:111.
- 佐藤信雄・石谷正博. 1976c. モモシクイガに関する研究 第4報 五戸町産と黒石市産モモシクイガの交配試験について. 北日本病虫研報 27:112.
- 佐藤力郎・柳沼薫・熊倉正昭. 1977. モモシクイガの生態に関する研究 羽化時刻およびフェロモントラップへの飛び込み時刻 寒冷地果樹 15.
- 佐藤力郎・菅野和彦・柳沼薫・熊倉正昭. 1981. モモシクイガの生態に関する研究 2モモシクイガの産卵時刻. 寒冷地果樹 9.
- Sekita, N., K. Kawashima, H. Aizu, S. Shirasaki and M. Yamada.1984.A short term control of *Adoxophyes orana fasciata* WALSINGHAM (Lepidoptera:Tortricidae) by a granulosis virus in apple orchards. Appl. Entomol. Zool. 19:498-508.
- 豊島在寛. 1931. モモシクイガの生活史に就いて. 青森農試成績 26:1-28.
- Toshima, A., K. Honma and S. Masaki.1961. Factors influencing the seasonal incidence and breaking of diapause in *Carposina niponensis* WALSHINGHAM. Japanese Jour. Appl. Zool. 5 (4) :260-269.

- 豊島真吾・石栗陽一. 2006. モモシクイガによる主要品種の被害様相. 北日本病虫研報. 57:200-202.
- 津川力. 1972. りんご園における主要害虫の発生予察. 青森りんご試報告16:73.
- 津川力. 1984. 津川力編 新編りんご栽培技術. pp450. 養賢堂 東京.
- 津川力・山田雅輝. 1960. りんご園における害虫類の発生予察2 モモシクイガの幼虫期における成長について. 応動昆 4(2):96-100.
- 梅谷献二・岡田利承. 2003. 日本農業害虫大事典. pp1203. 全国農村教育協会. 東京.
- Wearing, C. H.1979. Integrated control of apple pests in New Zealand. 10. Population dynamics of codling moth in Nelson. New Zealand Journal of Zoology Vol. 6, 165-199.
- 雪田金助. 2004. 青森県におけるりんご病害虫防除回数削減の取り組み. 植物防疫 58(12):515-519.

Bionomics of the peach fruit moth *Carposina sasakii* MATSUMURA (Lepidoptera: Carposinidae)

Kôzô Kawashima

Apple Experiment Station, Aomori Prefectural Agriculture and Forestry Research Center

Key word : Peach fruit moth, *Carposina sasakii* Matsumura, development period,
larval biology, adult biology, diapause

Summary

The peach fruit moth, *Carposina sasakii* MATSUMURA, is the most destructive insect pest of apples in Aomori prefecture despite the fact that it has only one or two generations a year. If an orchard were to be left untreated for a few years it would lose its total crop from attack by the peach fruit moth. Male confusion by pheromones has become part of the control strategy of the peach fruit moth. However, since its use should be restricted to orchards in flat areas, insecticides should be preventatively applied every ten days to two weeks from mid-June to late August in the majority of orchards to meet the quality standard required by the market. The cost of insecticide applications against this moth exceeds 50% of the total costs an average apple grower in the prefecture spends on controlling pests in a year. This cost excludes the expense of controlling outbreaks of European red mite and two-spotted spider mite attributable to the side-effects of insecticides used against peach fruit moth.

Although much literature on the biology of the peach fruit moth has been published, knowledge on the life history is still controversial. The main reason for this is due to the fact that sufficient numbers of insect have not been available for laboratory studies when they were required. The present author established a year round mass rearing system for peach fruit moth using cold-stored immature apples. This readily enabled the present studies to be undertaken with sufficient numbers of insects.

Effect of temperature on development

The developmental periods of various life stages were measured at constant temperatures of 14, 17, 20, 23 and 26 °C under a photoperiod of 16 hours light and 8 hours dark (L:D16:8). The rate of development was determined as the reciprocal of the development period in days.

Egg stage

Five females and 5 males, all of which had been reared at 23 °C, were kept in a plastic container (type A, 15×26×7cm) containing moist paper to let them copulate randomly for 24 hours at 14, 17, 20, 23 or 26 °C. Next, over 50 females so obtained were individually introduced into small covered glass dishes (4.3cm diameter by 1.5cm high) together with a folded piece of paraffin paper for oviposition and allowed to lay eggs at the same temperature for 8 hours in the dark phase. Since females kept at 14 and 17 °C did not produce eggs because of failure to mate, the eggs produced by females kept at 23 °C were used for these temperatures.

The pieces of paraffin paper, each of which carrying eggs laid by one female, were then individually transferred into

another small covered glass dishes containing moist paper. Ten of these dishes were collectively kept in a plastic container (type B, 23×30×9cm) containing moist paper and maintained at a constant temperature of 14, 17, 20, 23 or 26 °C . These eggs were observed 2-3 hours after the beginning of the light phase each day to count hatching larvae.

The number of eggs used varied from about 500 to 1200 depending on the temperatures tested. The proportion of eggs that hatched exceeded 90 % at temperatures of 17, 20, 23 and 26 °C , but was less than 30 % at 14 °C . The mean developmental periods were 31, 16, 11, 8 and 6 days at 14, 17, 20, 23 and 26 °C , respectively. The rate of development increased linearly with increasing temperature within the range of temperatures studied ($r^2=0.999$). The threshold for egg development was 11.1 °C , and development required 93 degree-days to complete.

Larval stage in fruit

Ten to 13 eggs laid on folded paraffin paper were inoculated onto immature apples weighing from 100 to 130 g using a rate of one egg per 10 g. Each apple was maintained individually in a plastic container (type D, 11cm diameter by 6 cm high) and placed at the constant temperature conditions to determine the survival rate and development period of larvae. The number of apples used was 10 for each temperature condition with the total eggs inoculated onto these apples being 132 irrespective of the temperature conditions.

The proportions of larvae that matured and left fruit were 24, 29, 25, 47 and 53 %, respectively at 14, 17, 20, 23 and 26°C. The developmental periods were 62, 36, 27, 20 and 22 days, respectively for these same temperatures. The larvae spun summer cocoons to pupate at all temperatures except those placed at 14 °C which spun winter cocoons and entered diapause. Between 14 and 23°C, the rate of development was approximated by a linear relationship ($r^2=0.998$). The development threshold for larvae was 9.6 °C with a thermal constant of 270 degree-days.

The mean larval weights increased with increasing temperature between 14 and 23 °C but not at 26 °C , being 22, 29, 33, 34 and 32 mg at 14, 17, 20, 23 and 26 °C respectively.

Period from fruit exit to adult eclosion

Mature larvae that left apples held under ambient conditions were collectively introduced into plastic containers (type A, 15×26×7cm) containing moist sawdust and were maintained under constant temperature conditions to determine the times of adult emergence from sawdust. The number of larvae used was not constant but varied from about 250 to 1150 depending on the temperatures.

Mean developmental periods were 46, 27, 19, 15 and 12 days respectively at 14, 17, 20, 23 and 26 °C . The rate of development was approximated by a linear relationship ($r^2=0.999$). The development threshold was 9.9°C with a thermal constant of 192 degree-days.

Total period from egg to adult

The rate of development from egg to adult emergence was adequately described by a linear relationship between 14 and 23 °C ($r^2=0.999$). The development threshold was 10.0 °C with a thermal constant of 555 degree-days.

Larval biology

Density-dependent survival and development

Immature apples of around 100 g weight were inoculated with eggs deposited on paraffin paper in a moistened condition. The rate of the inoculation varied from 10 to 100 eggs per fruit in 10-egg increments. These apples were maintained at 23 °C in a L:D regime of 16:8 to determine the larval survival rate and development periods.

The proportion of larvae that survived to leave fruit was negatively related to egg density ($r=-0.815^{**}$); the maximum and minimum survival were 75 and 37% respectively for 20 and 100 eggs per fruit. The average weight of mature larvae ranged from 20 to 32 mg, and was also negatively related to density ($r=-0.913^{**}$).

The mean development period ranged from 20 to 31 days at densities of 10 to 100 eggs per fruit respectively, and could be approximated by a linear relationship ($r^2=0.906$).

Effect of fruit quality on survival and development

This research comprised three series of tests. The first series used mature “Fuji” apples with two inoculation rates, 11 and 25 eggs per fruit. The second one used immature fruit of the cultivars “Fuji”, “Jonathon” and “Red Delicious” picked in early August, inoculated at a rate of 11 eggs per fruit. The third one used nearly mature fruit of the cultivars “Fuji” and “Jonathon”, picked in early September, and inoculated at a rate of 20 eggs per fruit. The inoculated apples were kept in plastic containers (type D, 11cm diameter by 6cm high) maintained at 23°C in a L:D of 16:8 to determine the survival rate and developmental periods. The number of replicates (= apples) was 12, 12, and 5 for the first, second and third series.

Over 60 % of larvae matured to leave the fruit in the first series. In the second and third series, the survival rates varied from fruit to fruit within each cultivar, so that no significant differences were found between the cultivars.

The mean larval weight ranged from 26 to 34 mg depending on the test fruit used but the differences were not significant. The developmental periods were almost identical in all series except that larvae reared in immature “Jonathon” apples in the second series took 7 days longer than the average for the remainder.

The number of larval instars

The larvae were individually reared with fresh apple flakes in small covered glass dishes (4.3cm diameter by 1.5cm high) at 17, 20, 23 and 26 °C in a L:D of 16:8. Twenty larvae were used for all temperatures excepting 26 °C for which 30 larvae were used. The number of molts was determined by the number of sclerotized head capsules cast.

Irrespective of the sex of the resultant moth, some individuals molted three times and others four times during their larval life. Furthermore, the same female moths produced both types of larvae. The width of the head capsule in the final instar was almost the same regardless of the number of molts undergone.

The time larvae leaving fruit

A large number of fruit infested with larvae were kept in a large bucket (45cm diameter by 50cm high), the bottom of which had been bored to create holes. The mature larvae leaving the fruit and dropping through the holes onto a plastic washbowl (40cm diameter by 15cm high) placed under the bucket were video-recorded for 5 consecutive days. The recording was carried out at 23 °C in a L:D of 16:8 using a dim red light during the dark phase.

Nearly 900 larvae were video-recorded dropping onto the washbowl during the 5 days period. The majority of them dropped in the light phase, but no distinct peaks were recorded.

Adult biology

The time of adult eclosion

Mature larvae that left apples were collectively maintained to rear pupae in plastic containers (type A, 15×26×7cm) at 17, 20, 23, or 26 °C in a L:D of 16:8. The pupae obtained were continuously kept under the same rearing conditions. A few days after the first moth appeared, emerging moths were counted every 30 minutes for 31.5 hours starting 6 hours after the beginning of the light phase.

The moths eventually emerged were 94, 147, 638 and 228 at 17, 20, 23 and 26°C respectively. The majority of these moths emerged during the light phase. Although the times when the eclosion peaked differed between the temperature conditions, it was not possible to obtain any further information since the observation extended for only one full light-dark cycle.

The time of female calling

The research was composed of two series using virgin female moths kept individually in plastic containers (type E, 8cm diameter by 6cm high) at 23 °C in a L:D of 16:8. In the first series, 48 females were observed every 15 minutes from the beginning of the dark phase to the beginning of the light phase and females in a calling posture counted. In the second series, a female was video-taped from her eclosion to death and the calling behavior analyzed.

In the first series, the females were first observed adopting a calling posture 3-4 hours after the beginning of the

dark phase and became most abundant an hour later. In the second series, the test female started calling 280 minutes after the beginning of the first dark phase and continued for 160 minutes. For every dark period from the second and seventh, she resumed calling 220 (range: 116-229) minutes after the beginning of the darkness and continued for 150 (range: 131-164) minutes. In the eighth and ninth darkness she did not spend time calling and died in the tenth light phase.

The time of copulation

Forty pairs of moths were observed every few minutes, each pair being kept in a plastic container (type E, 8cm diameter by 6cm high) at 23°C in a L:D regime of 16:8, and the times when copulation started and finished were recorded.

Copulation started 3.5 to 5 hours after the beginning of the dark phase. The pairs remained in joined for 50 to 100 minutes

Mating capacity of male moths

A fresh male moth was kept with 10 or 20 virgin females in a large plastic container (type C, 17×23×16cm) in 17, 20 or 20 °C . The number of male moths tested varied depending on both the temperature conditions and the number of females supplied, i.e., 1) at 17 °C , 2 males were tested, each supplied with 20 females, 2) at 20 °C , 5 males each with 10 females, and 4 males each with 20 females, and 3) at 23 °C , 4 males each with 20 females. Immediately after each males died, the females from that container were dissected to count the spermatophores in their copulatory bursae.

Under the assumption that the number of spermatophores represents the number of copulations, the average males during their lives copulated 8, 9 and 6 times at 17, 20 and 23 °C respectively.

Daily capacity for mating of male moths

The test was conducted in the same way as in the preceding section except that female moths were replaced daily by fresh unmated moths, and all temperatures from 14 to 23 °C were tested. The number of replicates was 2 at 14 and 17 °C and 4 for the other temperatures.

Male moths could only copulate once per day irrespective of the temperature conditions. Even in cases where the supply of fresh females was interrupted for a few days due to a shortage, the number of copulations achieved did not increase.

The mating capacity of female moths

A fresh virgin female moth was kept with 10 freshly emerged males in a large plastic container (type C, 17×23×16cm) at 17, 20 or 20°C . There were 3 replicates at each temperature. Immediately after each females died, she was dissected to count the spermatophores in her copulatory bursa.

Excepting one case where a female held at 26°C copulated 3 times, the number of copulations each female achieved in her life was 1 or 2.

The time of oviposition

Females that were allowed to mate randomly for a day in the large plastic container (type C, 17×23×16cm) were individually transferred to small covered glass dishes (4.3cm d. by 1.5cm h.), each containing a folded piece of paraffin paper for oviposition. The 30 small covered glass dishes each of which enclosed a female were placed together in a large plastic container (type B, 23×30×9cm) maintained at 23 °C in a L:D regime of 16:8. The paraffin paper was renewed every hour to count the number of eggs laid on it.

Most females started oviposition as soon as the dark phase started. The patterns of oviposition differed from female to female, i.e., some females continued oviposition through the dark phase, some concentrated it in earlier part and others in later part of the dark phase. However, no females laid eggs during the light phase.

Egg oviposition, fecundity and longevity in the female

Five females and five males, all of which had been reared in the plastic container (type A, 15×26×7cm) at 23 °C ,

were kept at either 20, 23 or 26 °C for a day to let them copulate randomly. Then the females were individually transferred to a small covered glass dish as used above containing a folded piece of paraffin paper for oviposition. Ten such glass dishes were placed together in a large plastic container (type B, 23×30×9cm) and maintained at the same temperatures at which mating had taken place. In addition two groups of 10 females that had copulated at 23 °C were kept at either 14 or 17°C. Until each female died, the paraffin paper in the dish was renewed every day and the eggs laid on it counted.

The pre-oviposition period became shorter as the temperatures increased; the females started ovipositing on day 7 at 14 °C and on day 2 at 26 °C. Oviposition peaked on days 12-15, 6-8, 3-5, 2-5 and 2-3 respectively at 14, 17, 20, 23 and 26 °C with the number of eggs laid in a peak day by each female being 10-20, 20-30, 30-40, 60-80 and 80-90 for these temperatures. During their lives the females produced 140, 200, 240, 320 and 280 eggs on average at 14, 17, 20, 23 and 26 °C respectively.

Egg hatching in relation to the mother's age

Eggs laid each day at 23 °C in the preceding section were maintained at the same temperature and those hatching were counted every day.

Of the total of 2935 eggs produced by 10 females during their lives, over 70 % were laid by day 5. Over 97 % of these eggs hatched. The hatching proportion lowered with increasing moth age; of 366 eggs produced by females aged 8 days old and over, the proportion that hatched was 66 %.

Diapause

Proportion of diapausing larvae in relation to the time when larvae left fruit

Two abandoned apple orchards were located at Izushita in Kuroishi and at Yufune in Ajigawasa, both in the western part of the prefecture. Every 10 days from July 30 to September 20 in the former orchard, and every 10 to 15 days from mid-July to mid-September in the latter orchard, 150 apples infested with peach fruit moth were collected. These apples were kept in a large bucket with holes drilled in the base so that larvae that left the apples dropped onto a plastic washbowl under the bucket and were counted every 5 days to record the time larvae left the fruit. Larvae so collected were collectively maintained in plastic containers (type E, 8cm diameter by 6cm high) and were divided into two groups according to whether they spun summer or winter cocoons. Larvae that spin summer cocoons continue their development to become moths the same season while those that spin winter cocoons enter diapause to become moths the following season. Therefore, the two groups were kept separately to determine the times of adult emergence. All of this research was conducted in a caged room exposed to the north.

In the Izushita population, of 169 larvae that emerged from fruit collected on July 30, 44 % spun summer cocoons and 56 % winter cocoons. The proportion of larvae that spun winter cocoons increased as the time of fruit collection progressed reaching 100 % on August 31 and later. Of the total of 916 larvae that left the fruit collected during the season, 12 % spun summer cocoons and 88 % winter cocoons. In the Yufune population, a similar trend was found with the proportion entering larval diapause increasing during the season. Of the total 618 larvae, 18 % spun summer cocoons and 82 % winter cocoons.

Larvae that spun summer cocoons turned into adults by the first 10th of September the same year, while from the larvae that spun winter cocoons, the first adult emerged at the end of May the following year and the last one during the second 10 days of August. The peak time of adult emergence was from the first 10 days of June to the second 10 days of July.

Development of offspring born to non-diapausing adults

Using non-diapausing moths from the Yufune population, 12 pairs were separately maintained in a plastic container (type A, 15×26×7cm) with a piece of moist paper at 23°C in a L:D of 16:8 for 24 hours. Next, each female moth was individually put in a plastic container (type D, 11cm diameter by 6 cm high) with 3 immature "Fuji" apples. She was allowed to lay eggs until her death. Hatched larvae were reared in the same containers. Those larvae exiting fruit

were counted every fifth day and were collectively kept in a type D plastic container with moist sawdust to observe adult emergence the following year. All this research was carried out in a caged room exposed to the north.

Larvae emerged from fruit from late September to mid-October and spun the winter cocoons to enter diapause. Adult eclosion began in late May the following year and continued until mid-July.

Effects of changing the L:D conditions on diapause

One hundred immature “Fuji” apples were each inoculated with 10 eggs, and were then divided into two lines. The first line was kept at 23°C in a L:D regime of 13:11 and the second one at 23°C in a L:D of 16:8. The former photoperiod is considered to be a diapause-inducing condition, while the latter was not. Six days after the first egg hatched, one fifth of the first line was transferred to the latter condition, and one fifth of the second line to the former condition. The same reciprocal exchanges were repeated on days 9, 12 and 15. The remaining one fifth of each line was not transferred at any time and used as the untreated control. The larvae that eventually left the fruit were followed to observe which type of cocoon they spun.

The earlier the larvae were transferred from the shorter to longer photoperiod, the higher the proportions that span the summer cocoons, and the earlier the larvae were transferred from the longer to shorter photoperiod, the higher the larval proportions that spun the winter cocoons.

付表1 幼虫の果実切片飼育における個体別、齢期別発育

[17°C]

個体 No.	所要期間 (日)					頭幅 ($\times 10^{-2}$ mm)				
	1齢	2	3	4	5	1齢	2	3	4	5
[雌] 1	9	8	10	9	*	16.6	30.2	51.6	107.5	*
2	7	8	7	9	11	16.6	30.2	46.8	63.3	122.6
3	7	9	8	10	12	16.6	26.3	36.0	53.6	105.7
[雄] 4	8	5	8	9	*	16.6	40.9	60.4	109.4	*
5	7	9	9	11	*	16.6	29.2	44.8	100.0	*
6	8	8	10	10	*	17.5	28.2	46.8	103.8	*
7	8	9	9	11	*	15.6	27.3	44.8	105.7	*
8	10	8	10	11	*	16.6	26.3	43.8	100.0	*
9	9	8	11	13	*	16.6	28.2	45.8	86.8	*
10	9	8	7	8	13	16.6	27.3	40.9	59.4	111.3

[20°C]

個体 No.	所要期間 (日)					頭幅 ($\times 10^{-2}$ mm)				
	1齢	2	3	4	5	1齢	2	3	4	5
[雌] 1	5	6	5	8	*	17.5	30.2	50.6	118.9	*
2	5	6	6	11	*	17.5	30.2	48.7	109.4	*
3	6	5	5	5	8	17.5	29.2	49.7	67.2	117.0
[雄] 4	5	5	6	7	*	17.5	32.1	52.6	94.3	*
5	6	5	6	7	*	17.5	29.2	50.6	113.9	*
6	6	6	6	8	*	16.6	26.3	47.7	98.1	*
7	5	6	5	5	7	15.6	29.2	42.9	61.4	120.8
8	7	5	5	5	7	17.5	29.2	42.9	61.4	115.1
9	8	4	5	6	7	16.6	26.3	40.9	53.6	103.8

[23℃]

No.	個体	所要期間 (日)					頭幅 ($\times 10^2$ mm)				
		1齢	2	3	4	5	1齢	2	3	4	5
1	[雌]	5	4	5	6	*	17.5	29.2	53.6	117.0	*
2		5	4	3	3	6	17.5	27.3	44.8	63.3	113.3
3		5	4	3	4	6	15.6	26.3	37.0	60.4	122.6
4		5	4	4	4	6	16.6	27.3	38.0	61.4	109.4
5	[雄]	4	4	5	5	*	17.5	31.2	56.5	126.4	*
6		4	5	4	6	*	17.5	31.2	50.6	113.2	*
7		5	4	5	6	*	16.6	29.2	47.7	105.7	*
8		5	4	5	7	*	15.6	26.3	49.7	113.2	*
9		5	4	3	4	6	16.6	26.3	39.0	59.4	113.3
10		6	4	4	4	6	15.6	25.3	37.0	60.4	109.4
11		4	4	6	5	7	16.6	30.2	48.7	65.3	111.3

[26℃]

No.	個体	所要期間 (日)					頭幅 ($\times 10^2$ mm)				
		1齢	2	3	4	5	1齢	2	3	4	5
1	[雌]	4	4	3	6	*	16.6	28.2	45.8	124.5	*
2		4	3	3	3	4	16.6	27.3	40.9	61.4	109.4
3		4	3	2	3	5	17.5	30.2	41.9	64.3	126.4
4		4	3	3	3	6	17.5	29.2	39.0	61.4	118.9
5	[雄]	4	3	4	5	*	16.6	29.2	45.8	113.3	*
6		3	3	3	3	4	16.6	27.3	40.9	60.4	111.3
7		3	5	3	6	*	17.5	32.1	52.6	126.4	*
8		6	5	3	3	*	17.5	43.8	62.3	117.0	*
9		4	3	2	4	4	15.6	26.3	41.9	59.4	115.1
10		4	3	2	4	4	16.6	30.2	48.7	64.3	84.9
11		3	4	2	4	4	17.5	32.1	44.8	62.3	130.2
12		4	3	3	3	4	16.6	29.2	50.6	66.2	107.5
13		4	3	4	7	*	17.5	30.2	51.6	117.0	*
14		4	4	3	3	4	16.6	26.3	38.0	57.5	115.1
15		5	3	3	3	6	16.6	24.4	39.0	57.5	117.0

付表2 恒温条件下における個体別の産卵消長

[14℃] -1

個体 No.	羽化後の日別産卵数														
	1 ^{z)}	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	26
2	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
3	-	0	0	0	0	0	0	0	1	12	14	95	28	21	21
4	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	57	23	38	10
5	-	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	13	17	83
6	-	0	0	0	0	0	3	18	21	0	11	29	19	2	6
7	-	0	0	0	0	0	0	0	1	2	60	0	0	5	9
8	-	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	8	41	9	34
9	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	-	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0	0	3	2	23

[14℃] -2

No.	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	25	5	3	2											
2	7	12	0	2	2	0	1								
3	4	19	1	1	1	4	0	0	0						
4	0	3	16	4	4	6	22	2	2	0					
5	2	19	26	6	7	10	9	6	8	17	8	0			
6	4	3	1	9	0	0	7	2	1	5	4	1	6	0	2
7	8	0	0	0	7	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8	13	17	12	24	5	6	14	14	8	1	4	0	2	1	1
9	4	0	0	0	0	1	9	1	0	1	0	7	2	0	0
10	11	0	4	2	3	3	0	5	3	3	6	0	4	4	6

[14℃] -3

No.	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	計	残卵数 ^{y)}
1											66	26
2											31	23
3											222	12
4											195	30
5											233	73
6	0	0									154	21
7	0	0	0								96	3
8	0	0	0	0							223	10
9	0	0	0	0	1	4					31	183
10	7	0	0	0	12	0	2	0	1	0	111	13

z) 羽化後1日目は産卵なし

y) 死亡後に体内に残存していた成熟卵数

[17℃] -1

No.	羽化後の日別産卵数														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
11	-	0	36	2	0	5	52	6	9	11	7	5	1	3	0
12	-	0	0	65	24	14	21	15	11	8	6	5	4	4	1
13	-	0	0	7	53	25	52	23	9	17	13	7	2	7	2
14	-	0	0	0	0	2	0	63	19	21	41	23	9	13	0
15	-	0	0	0	11	78	20	20	22	18	10	0	18	7	0
16	-	0	0	22	31	16	10	22	4	0	0	12	0	13	1
17	-	0	23	16	17	47	29	10	1	0	3	8	5	1	0
18	-	0	0	0	0	2	7	11	35	24	14	6	7	7	6
19	-	0	0	34	20	32	16	28	16	12	14	8	6	2	8
20	-	0	8	47	45	57	59	34	27	19	11	21	9	9	6

[17℃] -2

No.	16	17	18	19	20	21	22	23	24	計	残卵数
11	0									137	4
12	5	0								183	11
13	2	1								220	12
14	4	0	4	0						199	57
15	7	5	0	1	0					217	12
16	6	1	1	0	1					140	27
17	0	0	0	0	0					160	39
18	5	3	1	1	0					129	10
19	0	1	2	1	0	0	0	0		200	1
20	8	6	1	4	2	0	1	0	0	374	3

[20℃] -1

No.	羽化後の日別産卵数														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
21	-	0	66	39	33	34	17	15	4	4	0				
22	-	22	69	34	39	22	23	9	5	3	1				
23	-	0	16	72	19	28	17	15	13	7	9	4	2	0	
24	-	15	53	57	44	32	40	25	22	16	8	3	4	1	
25	-	0	3	28	29	18	24	9	30	17	22	27	11	5	1
26	-	8	35	68	32	23	24	29	22	20	24	17	11	5	0
27	-	0	23	57	22	10	3	43	1	16	5	12	4	5	1
28	-	0	44	51	52	71	39	24	10	31	27	14	7	6	4
29	-	0	0	3	8	0	4	3	5	4	2	12	3	7	9
30	-	0	36	31	31	22	16	19	10	2	15	4	0	3	4

[17℃] -2

No.	16	17	18	19	計	残卵数
11	0				137	4
21					212	4
22					227	7
23					202	10
24					320	13
25					224	20
26	19				337	56
27	0	0			202	12
28	0	1			381	11
29	15	19	33		127	99
30	0	0	0	0	193	6

[23℃]

No.	羽化後の日別産卵数															計	残卵数
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
31	-	71	73	59	33	18	10	2	1							267	8
32	-	58	61	37	28	22	10	11	7	2	1					237	4
33	-	50	41	41	23	24	11	9	13	8	4					224	2
34	-	33	90	45	31	28	20	14	16	10	0					287	6
35	-	85	58	56	48	56	22	29	14	12	8					388	5
36	-	0	84	103	52	37	33	25	8	15	2	13				372	3
37	-	39	185	60	54	49	24	25	21	9	5	7	0			478	7
38	-	11	0	41	21	21	19	14	10	4	9	2	0			152	6
39	-	77	83	47	47	36	22	13	20	5	5	6	4			365	30
40	-	147	75	62	31	23	18	10	14	3	7	9	2	4	0	399	7

[26℃]

No.	羽化後の日別産卵数									計	残卵数	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
41	-	44	81	31	37	8					201	18
42	-	103	88	54	22	0					267	28
43	-	174	108	73	34	22	0				410	13
44	-	13	69	29	27	43	21				202	13
45	-	115	64	55	33	12	1				280	17
46	-	106	79	48	25	7	0				265	14
47	-	70	79	67	29	17	2	0			264	11
48	-	112	91	74	41	22	2	0			342	13
49	-	100	50	17	19	20	13	5	2		226	7
50	-	93	91	60	49	28	12	5	0		338	18