

リンゴ果実内におけるモモシクイガ幼虫の生存と発育に及ぼす果実切り離しの影響

青森県農林総合研究センターりんご試験場 ^{いし}石 ^{ぐり}栗 ^{よう}陽 ^{いち}一
 果樹研究所りんご研究拠点 ^{とよ}豊 ^{しま}島 ^{しん}真 ^ご吾

はじめに

モモシクイガの幼虫はリンゴ、モモ、ナシ等、バラ科果樹の果実内部を食害して発育する。果実を直接加害するため、果樹害虫の中でも防除の必要性が特に高い。また、近年はリンゴを中心とした生果実の輸出、特にモモシクイガが生息しない台湾への輸出が急増しており、果実内の幼虫が検疫上の問題を引き起こす懸念があることから本種が注目を集めている。しかし、幼虫はふ化直後から老熟するまで果実の内部で発育するため、幼虫の発育過程を観察することは容易ではなく、古くからの害虫であるにもかかわらず、幼虫発育に関する知見はあまり多くない。本稿では、リンゴにおけるモモシクイガの幼虫発育に関して、我々が行った研究から得られたいくつかの新知見を紹介したい。

I リンゴの生育とモモシクイガの発生時期

青森県におけるリンゴの開花時期は5月上旬ごろで、品種による違いは比較的小さい。しかし、収穫期は品種によって大きく異なり、主要品種について言えば、早生種‘つがる’の9月上～中旬ごろから晩生種‘ふじ’の11月上～中旬ごろまで、約2か月もの違いがある。一方、モモシクイガの産卵は、リンゴの幼果が直径2～3 cmの大きさとなる6月中旬ごろから始まる。成虫の発生は9月上旬ごろまで切れ目なく続くので、その間、産卵も継続して行われる。このように産卵が長期にわたって行われるため、幼果の段階から早生種の収穫期まで、様々な生育段階のリンゴ果実が幼虫に利用される。

II リンゴ果実における幼虫発育

異なる時期に様々な生育段階のリンゴ果実を餌として発育するモモシクイガ幼虫の、果実内における生存率や発育期間について調査を行った (ISHIGURI and

TOYOSHIMA, 2006)。まず、野外のリンゴ果実 (品種: ‘ふじ’) に網の袋をかぶせて、その中に成虫を放飼し、様々な時期の果実に産卵させた。その後、ふ化幼虫の果実への食入数を数えた。果実内で発育を完了した老熟幼虫は果実を脱出するので、幼虫の脱出率を果実内における生存率と見なした。

調査は2001年と02年の2年間行ったが、6～8月のいずれの時期に産卵された場合でも、幼虫の果実内生存率は低く0～20.8%であった (表-1)。一部の幼虫は収穫期まで果実内に残っていたが、それらを加えても生存率は1.1～29.2%と低かった。リンゴ果実においてモモシクイガ幼虫の生存率が低いことは、韓国でも明らかにされており (KIM and LEE, 2002)、今回得られた低い生存率は、それとはほぼ一致した結果であった。

同じ実験で、もう一つの重要な知見として、野外のリンゴ果実におけるモモシクイガ幼虫の発育速度には、個体によって非常に大きなばらつきがあることが明らかになった (表-2)。各時期における産卵から老熟幼虫の果実脱出までの日数は、短いもので30日前後であったが、長いものでは100日を越える場合もあった。なかには6月28日の産卵から131日が経過し、晩生種‘ふじ’の収穫期である11月上旬に達しても果実を脱出していなかった幼虫も存在した。このように、晩生種の収穫期まで果実を脱出しない幼虫が存在することは、リンゴ園における自然発生のモモシクイガによる被害果でも確認されている (石栗・豊島, 2006 a)。

モモシクイガの幼虫発育 (果実食入～脱出) における発育零点および有効積算温度は、9.4℃および270.3日度 (KIM et al., 2001) または9.6℃および269.6日度 (川嶋, 2008) と推定されている。後者を青森県黒石市における野外の平均気温にあてはめると、幼虫が果実に食入してから果実を脱出するまでの推定所要日数は、盛夏に食入した個体で約19日、産卵開始時期に当たる6月中旬や産卵終息時期に当たる9月上旬に食入した個体で約30日となる (図-1)。これに卵期間 (発育零点11.2℃, 有効積算温度93.0日度; 川嶋, 2008) を加えて、表-2と同じく産卵から幼虫脱出までの期間で表すと26～44日程度になる。つまり、表-2において比較的短い日数で果実を脱出した個体は、有効積算温度の法則に従っ

Effects of Fruit Detachment from the Apple Tree on the Larval Survival and Development of the Peach Fruit Moth, *Carposina sasakii*. By Yoichi ISHIGURI and Singo TOYOSHIMA

(キーワード: リンゴ, 果実切り離し, モモシクイガ, 幼虫生存率, 幼虫期間)

表-1 着果実内におけるモモンクイガ幼虫の生存率 (ISHIGURI and TOYOSHIMA, 2006 を改変)

産卵日	調査果数	食入 幼虫数	脱出 幼虫数	果実内残存 幼虫数 ^{a)}	生存率 (%)	
					脱出幼虫のみ (残存幼虫含む)	
2001年	6月18日	8	118	2	0	1.7
	6月28日	11	93	0	1	0 (1.1)
	7月9日	9	49	3	1	6.1 (8.2)
	7月18日	6	53	5	0	9.4
	8月7日	7	18	2	0	11.1
2002年	6月5日	9	52	3	0	5.8
	7月4日	8	56	2	0	3.6
	7月23日	8	87	9	8	10.3 (19.5)
	8月9日	13	217	12	8	5.5 (9.2)
	8月31日	6	24	5	2	20.8 (29.2)

^{a)} 2001年は11月6日, 2002年は10月31日の収穫時果実内生幼虫数。

表-2 産卵から老熟幼虫果実脱出までの個体別日数 (ISHIGURI and TOYOSHIMA, 2006 を改変)

産卵日	産卵から脱出までの日数
2001年	6月18日 32, 47
	6月28日 (131) ^{a)}
	7月9日 52, 67, 86, (120)
	7月18日 56, 79, 83, 108, 110
	8月7日 60, 84
2002年	6月5日 34, 47, 47
	7月4日 33, 37
	7月23日 29, 37, 37, 52, 67, 69, 80, 80, 100, (100×8個体)
	8月9日 34, 34, 44, 52, 52, 53, 54, 54, 57, 71, 76, 83, (83×8個体)
	8月31日 36, 37, 37, 37, 37, (61×2個体)

^{a)} カッコ内は収穫時まで脱出しなかった生存幼虫 (産卵日から収穫日までの日数)。

て発育したと考えられるが, 一方で, 有効積算温度では説明できないほどの長い期間, 果実から脱出してこない幼虫が存在したということになる。

III 樹から切り離れたリンゴ果実における幼虫発育

筆者の一人が所属する青森県農林総合研究センターりんご試験場では, 室内で30年以上にわたってモモンクイガを飼育している。幼虫の餌には6月下旬~7月上旬に採取したリンゴの幼果を使用しているが, 室内飼育の場合は, 野外のリンゴで見られたような幼虫の低い生存率や発育速度のばらつきは観察されないことを経験的に知っていた。そこで, 野外実験と室内飼育に見られる生存率や発育速度の違いをもたらす要因を調べる実験を

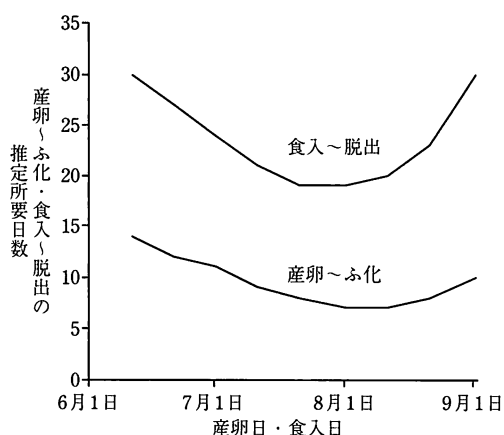


図-1 産卵～ふ化, および食入～脱出の時期別推定所要日数
発育零度および有効積算温度を9.6℃および269.6日度(幼虫), 11.2℃および93日度(卵)として計算。

行った (ISHIGURI and TOYOSHIMA, 2006)。

まず, あらかじめパラフィン紙に産ませた卵をふ化直前の状態で野外の果実に接種した。幼虫が果実に食入したのを確認した後, 果実に次のような処理を行った。一つ目は, 幼虫食入後も果実をそのまま樹に着果させておいた区 (無処理区), 二つ目は果実を樹から切り離し, 着果していた元の位置に糸でつるした区 (摘果区), 三つ目は果実を収穫し, 24℃, 16時間明期-8時間暗期の条件に設定した恒温器に保存した区 (収穫区) とした。これら三つの区で果実からの老熟幼虫脱出を観察し, 生存率および果実脱出までの日数を比較した。卵の接種は2004年7月8日に行い, 観察は接種から2か月後の9月9日まで続けた。その後, 果実を解体して中に幼虫が残っているか確認した。

表-3 異なる処理を行ったリンゴ果実におけるモモシクイガ幼虫の発育 (ISHIGURI and TOYOSHIMA, 2006 を改変)

	果実の処理区 a), b)		
	無処理区	摘果区	収穫区
ふ化卵数	66	66	67
食入幼虫数	63	61	67
脱出幼虫数	4	44	57
果実内残存幼虫数 ^{c)}	4	0	0
生存率 ^{d)} (カッコ内は残存幼虫含む)	6.3% b (12.7%)	72.1% a	85.1% a
幼虫期間 (平均±SD) ^{e)}	35.0 ± 17.3	18.5 ± 2.7	18.6 ± 3.5
有効積算温度 (平均±SD) ^{f)}	511.5 ± 229.1	269.3 ± 48.9	271.8 ± 51.5

a) 無処理区：果実を樹に着果させたままにした，摘果区：幼虫食入直後に果実を樹から切り離し，同じ位置に糸でぶら下げた，収穫区：幼虫食入直後に果実を収穫し，24℃に保存．b) 各区 10 果供試．c) 2004 年 9 月 9 日の調査終了時に果実に残っていた幼虫数．d) 同じアルファベットの付いた生存率は 5% 水準で有意差なし (Tukey-Kramer 検定)．e) ふ化幼虫の果実食入から老熟幼虫の脱出までの日数．f) 9.4℃以上の有効積算温度 (日度)．

その結果を表-3 に示した。無処理区における幼虫生存率は 6.3% と低く，2001 年および 02 年における野外試験の結果と同様であった。9 月 9 日の解体調査で一部の幼虫が果実内に残っていたが，それを合わせても生存率は 12.7% であった。これに対し，摘果区の果実における生存率は 72.1%，収穫区における生存率は 85.1% と高かった。両区とも 9 月 9 日の解体調査で果実内に残っている幼虫は存在しなかった。このように，果実内における幼虫生存率は，幼虫が発育している果実が樹に着果しているか否かに大きく影響されることが明らかになった。

果実の切り離しの影響は，同様に幼虫期間にも影響した。すなわち，無処理区ではふ化幼虫の食入から老熟幼虫が果実を脱出するまでの日数が平均 35.0 日で，個体によるばらつきが大きかったのに対し，摘果区および収穫区の幼虫は比較的そろって脱出し，脱出までの平均日数はそれぞれ 18.5 日および 18.6 日と短かった。幼虫が発育を完了するのに必要な有効積算温度は，無処理区で平均 511.5 日度であったのに対し，摘果区と収穫区ではいずれも 270 日度前後で，無処理区に比べ小さかった。摘果区および収穫区での有効積算温度は，これまで報告されている収穫果実を用いて飼育されたモモシクイガの幼虫発育に必要な有効積算温度 (Kim et al., 2001；川嶋，2008) と一致する。

IV 生存率や幼虫期間の違いをもたらす要因

前章に述べた実験から，室内飼育と野外の果実における幼虫の生存率や発育期間の違いは，室内と野外の気象条件の違いといった外的要因ではなく，リンゴ果実自体における何らかの条件の違いに起因することが証明され

た。そして，低い生存率や幼虫発育のばらつきをもたらす要因は，リンゴ果実を樹から切り離すことにより消失することが明らかになった。果実を樹から切り離したときに起こる変化には，様々なものが考えられる。例えば，果実肥大の停止や果実硬度の低下，また，樹体との経路を断たれることで果実内の代謝に変化が起り，果実の化学的組成にも影響が及ぶと考えられる。その中で，我々はまず果実肥大に着目した。野外試験に用いた‘ふじ’などのリンゴ栽培品種は人為的に育種されたものであり，元来モモシクイガが利用していたと考えられる山野に自生するリンゴ属野生種やナシ属野生種に比べて果実が格段に大きく，肥大特性も異なる (Harada et al., 2005)。そのため，栽培品種に特有の果実肥大に関連した要因が，モモシクイガ幼虫の発育に対して悪影響を及ぼしているのではないかと考えた。そこで，これまで報告のなかったリンゴ野生種の果実におけるモモシクイガの幼虫発育について調査を行った (石栗・豊島，2006 b)。

リンゴ野生種として，*Malus robusta*, *M. prunifolia*, *M. sieboldii* を用いた。これらリンゴ野生種 3 種の 2005 年 6 月 22 日および 9 月 1 日における果実横径は，*M. robusta* が 16.4 mm および 30.7 mm，*M. prunifolia* が 12.8 mm および 22.3 mm，*M. sieboldii* が 9.0 mm および 15.2 mm で，いずれも栽培品種に比較して小さい。そのため，上記期間中の 1 日当たり横径肥大量も *M. robusta* で 0.20 mm，*M. prunifolia* で 0.13 mm，*M. sieboldii* で 0.09 mm と，‘ふじ’に比較して 1/3 ～ 1/7 程度であった。モモシクイガ幼虫のリンゴ果実内における高い死亡率が，栽培品種に見られる急速な果実肥大に関係するとし

表-4 異なるリンゴ野生種 (*Malus* 属) の着果果実におけるモモシクイガ幼虫の生存率 (石栗・豊島, 2006 b を改変)

野生種	ふ化 幼虫数 ^{a)}	食入 幼虫数	脱出 幼虫数	生存率 (%)	果実内残存 幼虫数 ^{b)}
<i>M. robusta</i>	28	23	1	4	1
<i>M. prunifolia</i>	25	22	0	0	0
<i>M. sieboldii</i>	25	20	0	0	0

^{a)} 2005年6月21日および22日に1区14~15果に卵を接種した。^{b)} 9月1日果実解体調査時の生存幼虫。

表-5 異なるリンゴ野生種 (*Malus* 属) の収穫果実におけるモモシクイガ幼虫の生存率 (石栗・豊島, 2006 b を改変)

野生種	ふ化 幼虫数 ^{a)}	食入 幼虫数	脱出 幼虫数	生存率 (%)	果実内残存 幼虫数 ^{b)}
<i>M. robusta</i>	30	28	24	86	0
<i>M. prunifolia</i>	20	19	11	58	0
<i>M. sieboldii</i>	10	10	7	70	0

^{a)} 2005年7月29日に果実を1区10果収穫し、卵接種後、23℃に保存。^{b)} 9月15日果実解体調査時の生存幼虫。

たら、これら野生種の小さな果実では、樹に着果したままの果実であっても生存率が高いと予想される。また、その場合には、供試したリンゴ野生種3種間の肥大量の違いが影響するかもしれない。

2005年6月21日および22日にモモシクイガの卵を各野生種の果実に接種し、その後9月1日まで老熟幼虫の脱出を観察した(表-4)。その結果、予想に反して、野生種であっても、樹に着果している果実では幼虫の脱出がほとんど見られなかった。*M. robusta* でわずかに1個体(食入幼虫数のうち4%)が脱出し、9月1日の解体調査で果実内に1個体が残っていたが、その他の2種の果実に食入した幼虫は全く脱出せず、すべて死亡した。これに対し、リンゴ野生種でも、果実を樹から切り離した場合‘ふじ’での実験結果と同様に、生存率は58~86%まで上昇した(表-5)。着果果実と切り離した果実では卵を接種した日が異なるため、単純には比較できないが、果実肥大量の小さなリンゴ野生種でも着果果実における幼虫生存率が低いことから、‘ふじ’の着果果実で見られた低い生存率は果実肥大によってもたらされたものではないと考えられた。

我々と同様に、リンゴの果実におけるモモシクイガ幼虫の生存率が低いという調査結果を報告したKim and Lee (2002) は、やはりその原因について結論づけるところまで至っていないものの、植食者に対する防御物質としての役割をもつフェノール化合物が幼虫の死亡に関わっているのではないかと推測している。今後、果実を

樹から切り離した際に起こる果実内の化学的变化についても検討し、幼虫の生存や発育に影響を及ぼす要因を解明する必要がある。その結果によって、野生種を含むリンゴ属植物に共通して存在する耐虫防御機構が明らかになるかもしれない。

おわりに

モモシクイガの幼虫が食入した果実は、被害の様相から二つの異なるタイプに分類される(豊島, 1931)。一つは食入した幼虫がまっすぐ果実の中心に向かい、果心部を中心に食害するタイプ、もう一つは幼虫が果心部に向かわず、果皮直下の果肉を中心に食害するタイプである。果皮直下を食害した場合には、幼虫の潜行跡が果実表面に残るため、外観上、容易に被害果であることが判断できる。一方、果心部を中心に食害した場合には、幼虫が果実を脱出するまで被害果であることがわかりにくい。どちらのタイプでも、幼虫の発育が進むにつれて果肉の中心部に被害が拡大することも多いので、両者は明確に区別できるものではないが、被害果を見つけ出すうえで重要な違いとなる。

野外実験で明らかになったように、樹に着果している果実内では幼虫の発育期間にばらつきが大きく、晩生種である‘ふじ’の収穫期までに脱出してこない幼虫も見られた。早生種や中生種の収穫期には、さらに多くの幼虫が脱出しないまま果実内に残っていると考えられる。幼虫が果心部のみを加害し、脱出していない場合には、外観から被害果として識別することが容易ではなく、誤って健全果として収穫・出荷されることが懸念される。特に輸出向けの果実の場合には、生存幼虫が混入していると、輸出停止などの深刻な問題を引き起こす。果実内の幼虫死亡率が高いので、脱出前の幼虫が発育途中で死亡することも想定されるが、食入してまもなく死亡した場合を除いて果実の商品価値はほとんどなくなるので、消費者の生産物への信頼を失いかねない。このような外観上、被害果であることがわかりにくい果実を、識別・除去するための取り組みも行われており(Toyoshima et al., 2006)、今後の実用化に向けた技術開発が望まれる。

引用文献

- HARADA, T. et al. (2005): Scientia Hort. 105: 447 ~ 456.
- ISHIGURI, Y. and S. TOYOSHIMA (2006): Appl. Entomol. Zool. 41: 685 ~ 690.
- 石栗陽一・豊島真吾 (2006 a): 北日本病虫研報 57: 203 ~ 204.
- (2006 b): 同上 57: 205 ~ 207.
- 川嶋浩三 (2008): 青森農林総研りんご試研報 35 (印刷中).
- KIM, D.-S. et al. (2001): Environ. Entomol. 30: 298 ~ 305.
- and J.-H. LEE (2002): ibid. 31: 686 ~ 692.
- 豊島在寛 (1931): 青森農事試験成績 26: 1 ~ 28.
- TOYOSHIMA, S. et al. (2006): Bull. Natl. Inst. Fruit Tree Sci. 5: 87 ~ 94.