

コナガの発育零点と発育有効積算温量,およびその地理的差異

誌名	日本応用動物昆虫学会誌
ISSN	00214914
著者	梅谷, 献二 山田, 偉雄
巻/号	17巻1号
掲載ページ	p. 19-24
発行年月	1973年3月

コナガの発育零点と発育有効積算温量, およびその地理的差異

梅谷 猷二・山田 偉雄

農林省果樹試験場

(1972年10月31日受領)

Threshold Temperature and Thermal Constants for Development of the Diamond-Back Moth, *Plutella xylostella* L., with Reference to Their Local Differences. Kenji UMEYA and Hideo YAMADA (Fruit Tree Research Station, Hiratsuka, Kanagawa Prefecture 254). *Jap. J. appl. Ent. Zool.* **17**: 19~24 (1973)

The thermal relations of development of the diamond-back moth, *Plutella xylostella*, were compared for three different local stocks in Japan (Sapporo, Hiratsuka and Kagoshima) and one from Djawa (Batu, Malang). The threshold temperature and thermal constants for development of one generation were calculated from the regression of the velocity of development from the egg to adult emergence on temperature. The Hiratsuka stock had the highest threshold temperature of 9.5°C, and this was followed by the Malang stock with the threshold of 8.6°C, while the Sapporo and Kagoshima stocks showed comparatively lower values, 7.5°C and 7.4°C, respectively. Variation in the thermal constants showed the reversed tendency; the Sapporo stock had the maximum value of 313 degree-days, the Kagoshima (294 degree-days) and the Malang (250 degree-days) stocks followed this, and the Hiratsuka stock took the minimum of 229 degree-days. There was a negative correlation between the threshold temperature and thermal constant. The local difference in the regression of the velocity of development on temperature was tested by means of covariance analysis, which revealed that the regression coefficient (b) was significantly different between the Hiratsuka and the Sapporo stocks, and between the Hiratsuka and the Kagoshima stocks. Furthermore, there was a significant difference in the regression intersect (a) between the Sapporo and the Malang stocks; however, no significant differences existed among any other combinations of the stocks. These results seem to imply that there is a slight local differentiation in the developmental characteristics. The differentiation, however, is not related to the geographical location, nor to the climatic gradient.

はじめに

コナガ *Plutella xylostella* (L.) は、ヨーロッパにおいては渡洋昆虫としてよく知られている。FRENCH and WHITE (1960) は、1958 年の英国におけるコナガの大発生時に、採集記録および風速・風向を傍証として、その発生源をソビエトのエストニア、ラトビア、リトアニア共和国付近と推定している¹。また、この大発生時には、英国とアイスランドの中間海上の定点観測船上にも数千個体の成虫飛来があったと報告され、これらの記録から、JOHNSON (1969) はその移動距離を約 3,200km と推

定している。同様の例は北アメリカ大陸でも報告され、越冬不能なオタワにおける発生は、春期に南部地方からの成虫飛来によってもたらされるという (HARCOURT, 1957)。

日本においてコナガの越冬が確認されているのは関東以西の各地のみで、東北以北の各地については夏期の被害は知られているが、越冬の有無については調査されていない。しかし、前述の 3,200km に及ぶ本種の移動距離は、日本においても北部地方の夏期の被害が、成虫の大量移動によってもたらされている可能性を残している。また、朝比奈・鶴岡 (1970) は潮の岬南方 400km

1 この発生源の推定については、同地帯がコナガの越冬に不適な北緯 55~60° にわたる寒冷地である点から、筆者らは疑問を持っている。

の海上定点観測船 (29°N, 135°E) に 1968 年 6 月および 8 月に飛来したそれぞれ 1 個体のコナガを記録しているが、この事実は、本種の国外からの飛来の可能性をも示唆する。

筆者らは、これらの問題と関連して、産地を異にするコナガ個体群についてその発育零点と有効発育積算温量を調査し、このような生理的特性における地理的分化の有無を検討したのでここに発表する。

本文に入るにさきだち、材料の採集について御協力いただいた北海道農業試験場木村宏氏、農業技術研究所岩田俊一氏、鹿児島県農業試験場馬場口勝男氏、ならびに気象データについて御教示いただいた海外技術協力事業団東部ジャワ州派遣専門家広瀬昌平氏に厚く御礼申し上げる次第である。

材料と方法

材料のコナガは札幌・平塚・鹿児島各市、および熱帯圏のインドネシア国東部ジャワ州 Malang 地方の Batu 村² より採集したものである。また、採集地の緯度・採集年月・採集時の寄主については第 1 表に示したとおりである。

第 1 表 材料の採集地、採集時の寄主、採集年月

採集地	緯度	寄主	採集年月
日本 札幌	43°03' N	タイナ	1971, 6
平塚	35°19' N	カンラン	1971, 10
鹿児島	31°34' N	カンラン	1972, 4
インドネシア (ジャワ島) Malang	7°56' S	カンラン	1972, 3

すべての材料は採集後 2～3 世代にわたって、25°C・暗黒条件下で累代飼育ののち、実験に使用した。また、実験時を含めて飼料は、野外網室またはガラス室で育成した早生カンランの結球前の緑葉を使用した。

採卵方法：採集地別に羽化成虫を雌雄 2～3 対ずつカンランの葉片とともに試験管 (直径 2 cm, 長さ 16 cm) に入れ、25°C・暗黒条件下で交尾産卵させた。採卵用の試験管は 24 時間ごとに更新し、産卵盛期 (羽化後 2～3 日目) の卵を供試した。

飼育試験：比較的多数の産卵が認められた試験管に新しいカンラン葉片を加えて、産地別に 12, 15, 17.5, 20, 25, 27, 30, 35°C (各±0.5°C) に調節した恒温槽に置き、湿度 90% 以上・暗黒条件下で飼育した。供試

卵数は 1 産地、1 温度条件について 100～200 卵になるように留意した。

本種の幼虫は 1 令期のみ潜葉性を有し、ふ化した幼虫はただちに試験管内の産卵葉または追加した新葉内に食入した。幼虫が 2 令に達する前にこれらのカンラン葉を腰高シャー (直径 9 cm, 高さ 5 cm) に移し、2 令期以降はひんぱんに餌をかえた。また、終令 (4 令) 幼虫は、1 容器について 10～15 個体になるように容器数を増やした。

蛹は蛹化日ごとに別の容器に移し、幼虫時と同一温度条件下に保管し、蛹化日、成虫の羽化日をそれぞれ記録した。

結 果

いずれの産地のものも 35°C では生育を完了できず、2 令期までにすべて死亡した³。しかし、その他の温度範囲においては、病気の発生などによる一部 (札幌 20°C 区の幼虫期、鹿児島 12°C 区の蛹期) を除いて、1 世代を完了した。

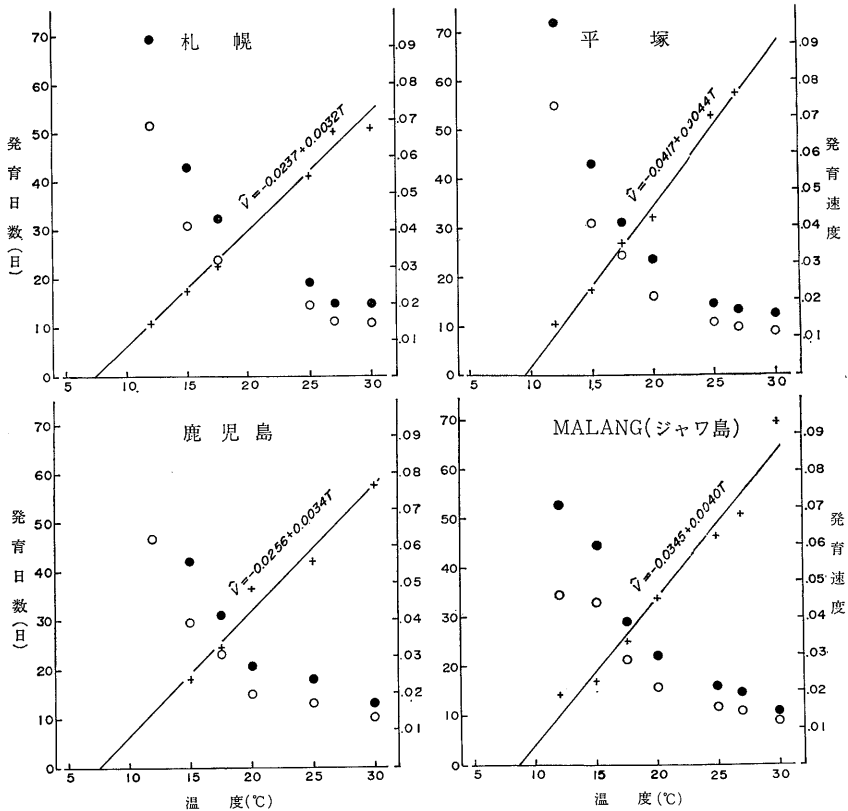
第 1 図は産地別に、各温度における幼虫期間、卵から羽化にいたる全生育期間、および後者についての発育速度を示したものである。第 2 表は同様にそれぞれの発育速度の直線回帰式およびそれによって計算された発育零点、有効積算温量を示したものである。第 1 図に示したように、平塚区の蛹期間のみ 27°C より 30°C においてかえって延長するという高温障害的な傾向を示した (27°C で 3.6 日 < 30°C で 3.7 日)。また、日本国内の 3 地方産のものではいずれも 30°C における生存率が低く、羽化数は 5 個体内外 (供試卵数に対して約 2～4%) にとどまった。これに対し、Malang (ジャワ) 個体群では 30°C 下において 104 個体 (約 50%) の成虫が得られた。

つぎにステージ別の発育零点を比較すると最も低かったのは Malang 個体群における卵+幼虫期の 6.4°C で、最も高かったのは鹿児島個体群における蛹期の 9.8°C であったか、卵+幼虫期と蛹期の比較では一定の傾向が認められず、平塚個体群では蛹期の発育零点が卵+幼虫期よりも低いのに対し、他はすべて卵+幼虫期のほうが高い値を示した。

卵から羽化に至る全成育期間の発育零点が最も高かったのは平塚個体群の 9.5°C で、Malang 個体群の 8.6°C がこれに次ぎ、札幌および鹿児島個体群はそれぞれ 7.4

2 Batu 村は標高 800m の位置にあり、熱帯圏としては高冷地に属する。筆者のひとり梅谷は、ジャワ島の低地ではコナガを認めていない。なお本個体群の輸入と飼育は農林省指令 47 横植第 339 号の許可による。

3 HARDY (1938) は英国産コナガを 35°C で卵から成虫まで飼育している。



第1図 産地別コナガの温度と発育の関係。○：卵+幼虫期間，
●：卵～羽化期間，+：発育速度（卵～羽化）。

第2表 コナガの産地・ステージ別の温度—発育速度の回帰，および発育零点，1世代有効積算温量

個体群	ステージ	区数 (N)	回帰式	発育零点 (°C)	有効積算温量 (日度)
札幌	卵+幼虫	6	$V = -0.0306 + 0.0042T$	7.3	238
	蛹	6	$V = -0.1032 + 0.0126T$	8.2	79
	卵～羽化	6	$V = -0.0237 + 0.0032T$	7.4	313
平塚	卵+幼虫	7	$V = -0.0530 + 0.0057T$	9.2	174
	蛹	6	$V = -0.1349 + 0.0155T$	8.7	65
	卵～羽化	6	$V = -0.0417 + 0.0044T$	9.5	229
鹿児島	卵+幼虫	6	$V = -0.0286 + 0.0043T$	6.7	233
	蛹	5	$V = -0.1614 + 0.0165T$	9.8	61
	卵～羽化	5	$V = -0.0256 + 0.0034T$	7.5	294
Malang (ジャワ島)	卵+幼虫	7	$V = -0.0293 + 0.0046T$	6.4	217
	蛹	7	$V = -0.1318 + 0.0147T$	8.9	68
	卵～羽化	7	$V = -0.0345 + 0.0040T$	8.6	250

°C, 7.5°C と低い値を示した。しかし、有効発育積算温量ではこの順位が全く逆になり、平塚個体群が 229 日度と最も少なく、札幌個体群が 313 日度と最も高い値を示した。

第2図は、上記の発育零点と有効積算温量の関係を図

示したもので、両者の間には負の相関 ($r = -0.9784^{**}$) が認められ、また、図示したような直線回帰が得られた。

第3表は温度—発育速度の回帰について、2地域間の差を共分散分析法を用いて検定した結果を示したもので、これを要約すると次のようになる。

回帰係数 (b) に有意差があった個体群：札幌と平塚個体群，平塚と鹿児島個体群。

回帰は平行であるが，その高さ (a) において有意差のあった個体群：札幌と Malang (ジャワ) 個体群。

回帰に有意差のなかった個体群：札幌と鹿児島個体群，鹿児島と Malang 個体群，Malang と平塚個体群。

考 察

一般に昆虫の発育と温度の関係から算出される発育零点や，有効積算温量は“目やす値”であり，野外条件下で厳密に適用するには問題が多いが，内田 (1957) も指

摘したように，種や品種間の生理的特性を比較する上では代表値として意味あるものと考えられる。

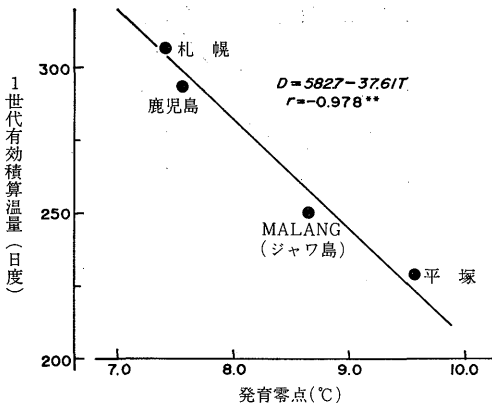
昆虫類の発育零点は大部分の種が 10°C 前後に位置し，これを中心とした正規曲線に近い分布を示す (内田, 1957)。また，BODENHEIMER (1927) は，多数の昆虫について発育零点および有効発育温量を算出し，害虫の発生予察上での積算温度法則の重要性を指摘している。この論文中，コナガの発育零点として GUNN (1917) および MARCH (1917) の飼育データをもととして，それぞれ 5.4°C および 5.3°C が算出提示されている。しかし，この算出方法はわずか 2 温度下での測定結果にもとづくもので採用しがたい。また，その後今日までコナガの発育零点については追試が行なわれていない。

筆者らの調査において，コナガの発育零点はステージによって差を示したが，これは他の昆虫においても認められる一般的現象といえる。しかし，卵+幼虫期および蛹期の発育零点の差は採集地によって高低傾向が異なり，一定の傾向が認められなかった。ここでは卵から羽化に至る全発育期間について以下若干の考察を加えることとした。

まず，発育零点は札幌個体群の 7.4°C から平塚個体群の 9.5°C までの範囲内にあり，平均値 8.3°C をコナガの平均的な発育零点と考えれば，この温度そのものは，他の昆虫に比較して一般的な値といえる。

深谷・中塚 (1951) はニカメイチュウ *Chilo suppressalis* の日本における地理的品種間で有効積算温量が異なることを指摘しているが，従来，同一種の昆虫についての，発育零点や有効積算温量の地理的な差異については，予測されていたにもかかわらずあまり研究されていない。この点に関して，本報告における前述の一連の結果 (第 1, 2 図と第 2, 3 表) は，本種のこのような生理的特性に地理的な分化がありそうなことを示唆している。

第 4 表は供試コナガの各産地における月別平均温度を示したものであるが，両端に当たる札幌 (43°03' N) とジャワ島の Malang 地方 Batu 村 (7°56' S) では，後者



第 2 図 産地別コナガの発育零点 (T) と 1 世代有効積算温量 (D) の関係。

第 3 表 温度—発育速度の回帰の各産地相互間の比較 (第 1 図, 第 2 表参照)

比較区	回帰直線の差の検定	
	回帰係数 (b)	回帰の高さ (a)
札幌—平塚	F=17.00** (f=1; 8)	—
札幌—鹿児島	F= 0.46 (f=1; 7)	F=2.31 (f=1; 8)
札幌—Malang	F= 4.23 (f=1; 9)	F=4.97* (f=1; 10)
平塚—鹿児島	F= 7.40* (f=1; 7)	—
平塚—Malang	F= 0.75 (f=1; 9)	F=0.00 (f=1; 10)
鹿児島—Malang	F= 1.27 (f=1; 8)	F=1.39 (f=1; 9)

第 4 表 供試コナガの各産地の月別平均気温

地 域	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	年平均
札幌*1	-5.5	-4.7	-1.0	5.7	11.3	15.5	20.0	21.7	16.8	10.4	3.6	-2.6	7.6°C
平塚*2	4.0	5.1	8.2	13.3	17.1	20.8	24.8	26.0	23.1	16.9	11.4	6.7	14.8°C
鹿児島*1	6.6	7.7	10.8	15.1	19.0	22.6	26.8	27.1	24.4	18.9	14.0	9.0	16.8°C
Malang *3	21.8	21.9	21.9	21.9	21.9	21.2	20.4	20.5	21.6	23.2	22.3	21.7	21.7°C

*1 理科年表 (1971) による。

*2 農業土木試験場資料 (10年間平均) による。

*3 Malang 地方 Batu 村 (採集地, 標高約 800m) 所在の Central Institute of Horticulture, Branch of Malang における 5 年間測定資料による。

が熱帯圏としては高冷地（第4表参照）に属するものの年平均気温で15°Cに近い大差が認められる。しかし、第2表からも明らかなように、コナガの発育零点および有効積算温度は、このような産地の生息環境の差に対応した変異は認められない。たとえば中間地点にある平塚産の個体群の発育零点が最も高く、その南に位置する鹿児島や Malang 産、北に位置する札幌産ではともにより低い値を示している。

筆者らは平塚産の野外のコナガ成虫の産卵能力や成虫の大きさに、季節的な差異のあることを発表した（山田・梅谷, 1972）が、このような材料の採集時期や、前世代の生育環境の影響を考慮して、供試個体群はいずれも同一条件下で2~3世代にわたって飼育してから用いたし、飼料もなるべく同質のカンラン葉（結球前の緑葉）を与えるように留意した。一方において、実験の都合上、供試コナガはその産地によって実験時期が異なったため、使用した恒温槽の±0.5°Cの精度が、結果に微妙な影響を与えた可能性がないとはいえない。

また、第3表に示した各地域の個体群相互間の温度-発育速度の回帰の検定結果では、札幌と鹿児島間では有意な差が認められなかったが、両地域とも平塚と比較した場合には回帰係数（b）において差が認められた。このことは温度の変化にともなう発育期間の変化の様相が平塚と札幌または平塚と鹿児島の個体群では違っていることを意味し、前述の実験誤差の可能性を考慮しても、生理的な特性の違いとみなした方が妥当のように思われる。

Malang 個体群の回帰は、鹿児島および平塚のそれとの間に差がないこと、札幌と Malang では、回帰の高さ（a）について有意差が認められたことなどから、これらの回帰の類似性によって4個体群の関係を配列して見ると、札幌←→鹿児島←→Malang←→平塚のようになる。

しかし、前述のようにこの順位は地理的位置とは無関係である。結局、コナガの温度-発育速度の関係には、地理的分化がある可能性は推定されるものの、その差は南方から北方地域にかけての勾配変異ではなく、その成立要因について現状では推定できない。

昆虫の発育限界温度はその種の分布の拡大と重大な関連を持つが、個々の種にそのような特性を与えた要因についてはわかっていない。内田（1957）は多くの昆虫について、北方系の種は発育零点が低く、南方系の種では高いという一般的傾向があることを指摘しているが、これは、発育零点の決定には気温環境が関与していること

を示唆するものといえよう。しかし、コナガの種内変異についてはこのような傾向が認められないことは前述のとおりである。

また、以上の結果から、本種の越冬が確認されていない北海道地域における、外部からの移動の有無について手がかりを得ることはできない。しかし前述のように定点観測船（29°N, 135°E）におけるコナガの飛来例もあり、日本のコナガ個体群中に、国外からの長距離移動個体が混入している可能性は残る。これらについてはなお今後の調査が必要であろう。

内田（1957）は、昆虫の発育零点の低い種ほど一般に1世代の有効発育温度が多く、それが高い種は逆に温度が少なくなる傾向のあることを指摘した。わずかに4例にすぎないが、コナガの場合も第2表および第2図に示したように、種内においてその傾向は明瞭であった。この発育零点と温度の負の相関関係は、結果的に、ある地方におけるコナガの年間世代数を規定することになる。

第5表は、供試した4地域の個体群で計算された発育零点と1世代の有効積算温度から、それぞれの地域にお

第5表 供試個体群の地域別年間有効積算温度および年間推定世代数

個体群	地 域				
	札幌	平塚	鹿児島	Malang	
札幌	{ 日 度	1572	2906	3487	5216
	{ (世代数)	(5.0)	(9.3)	(11.1)	(16.7)
平塚	{ 日 度	1186	2351	2851	4449
	{ (世代数)	(5.2)	(10.3)	(12.5)	(19.4)
鹿児島	{ 日 度	1554	2879	3453	5179
	{ (世代数)	(5.3)	(9.8)	(11.7)	(17.6)
Malang (ジャワ島)	{ 日 度	1352	3588	3421	4778
	{ (世代数)	(5.4)	(10.4)	(13.4)	(19.1)

ける年間発生回数の推定値を示したものである。表中における1世代有効積算温度には成虫期の温度は加算されていない。成虫は生存全期間を通じて産卵を行なうが、大部分の産卵は初期に集中する（山田・梅谷, 1972）ので、成虫期の温度を除外しても結果にはほとんど影響しないと解したためである。ただ、平塚産のコナガで計算上有効発育温度がゼロになる冬期間においても、野外では1~2世代の経過が認められている（山田・梅谷, 1972）点から、実際には寄主植物の葉面温度が問題になり、また逆に日中30°Cを越えた場合の高温暖害の問題もあり、第5表の推定値の野外への直接の適用には問題が多い。しかし、一応比較上の数値としては利用できるであろう。第5表のうち太数字は、各供試個体群の原産地における有効積算温度と推定年間世代数である。この表によって、ある地域に他地域のコナガの個体群が侵入

した場合、侵入者の原産地のいかに問わず年間世代数はほぼ一定してることがわかる。すなわち、札幌においては、供試したいずれの産地の個体群でも、年間の経過はほぼ5世代、同様に平塚では約10世代、鹿児島では約12世代、ジャワ島の Malang では18世代内外となる。しかし、コナガのこのような特性の成因については不明である。

摘 要

コナガ *Plutella xylostella* (L.) は日本全国に分布しているが、北日本における越冬の可否については確かめられていない。一方、本種は欧米においては長距離移動昆虫としてよく知られ、日本においても太平洋上の定点観測船上で採集された例がある。このことから、日本の個体群にも移動による他国との交流や、本州から北海道に及ぶような移動が行なわれている可能性を残す。これを確かめるひとつの手段として、札幌、平塚、鹿児島各地およびインドネシア・ジャワ島 Malang 地方 (Batu 村) 産の個体群を用い、温度と発育期間の関係について実験し、地理的な分化があるかどうかを調査した。

温度と卵から羽化に至る発育速度の回帰から、発育零点を算出した結果、最も高かったのは平塚個体群の 9.5°C で、ジャワ島 Malang (8.6°C) がこれにつき、鹿児島と札幌の個体群はそれぞれ 7.5°C、7.4°C と低い値を示した。しかし、1世代の有効積算温量ではこれと全く逆に札幌個体群が 313 日度と最も多く、鹿児島 (294 日度)、ジャワ島 Malang (250 日度) がこれにつき、平塚個体群の 229 日度が最も低い値であった。このような発育零点と有効積算温量の間には負の相関関係 ($r = -0.978^{**}$) が認められた。

温度—発育速度の回帰について、2地点ずつ共分散分析法によって比較した結果、平塚個体群は札幌および鹿児島に対して、回帰係数 (b) が有意に大きいこと、および札幌—Malang の個体群間では回帰直線の高さ (a) において異なっていることがわかったが、その

他の組み合わせではいずれも相互の回帰に有意差が認められなかった。したがってコナガの個体群のこれらの生理的特性にわずかながら地理的な分化があるように思われる。しかし、その変動の原因については推論することはできなかった。

引用文献

- 朝比奈正二郎・鶴岡保明 (1970) 南方定点観測船に飛来した昆虫類 第5報 1968年度の飛来昆虫類. 昆虫 **38** : 318~330.
- BODENHEIMER, F. S. (1927) Über die Voraussage der Generationenzahl von Insekten. III. Die Bedeutung des Klimas für die Landwirtschaftliche Entomologie. Zeit. angew. Ent. **12** : 91~122.
- FRENCH, R. A. and J. H. WHITE (1960) The diamond-back moth outbreak of 1958. Pl. Path. **9** : 77~84.
- 深谷昌次・中塚憲次 (1951) ニカメイチュウの発生予察, 日本植物防疫協会, 173 pp.
- GUNN, D.* (1917) The small cabbage moth (*Plutella maculipennis* CURT.). Un. South Africa Dept. Agric. Bull. **8**.
- HARCOURT, D. G. (1957) Biology of the diamond-back moth, *Plutella maculipennis* (CURT.) (Lepidoptera; Plutellidae), in eastern Ontario. II. Life history, behaviour, and host relationships. Can. Ent. **89** : 554~564.
- HARDY, J. E. (1938) *Plutella maculipennis* CURT., its natural and biological control in England. Bull. Ent. Res. **29** : 343~373.
- JOHNSON, C. G. (1969) *Migration and dispersal of insects by flight.*, London, 763 pp.
- MARCH, H. O.* (1917) Life history of *Plutella maculipennis* CURT., the diamond-back moth. J. Agric. Res., Bd. **10** : 1~10.
- 内田俊郎 (1957) 昆虫の発育零点. 応動昆. **1** : 46~52.
- 山田偉雄・梅谷献二 (1972) コナガの翅長および産卵能力の季節的变化とその解析. 応動昆. **16** : 180~186.
- (* 印は BODENHEIMER (1927) から引用)