

Jpn. J. Ent. (N.S.), 4(1): 1-9, March 25, 2001

コブノメイガ成虫における残存飛翔エネルギー源の 季節的変異

村田未果・藤條純夫

佐賀大学農学部害虫制御学研究室
〒840-8502 佐賀市本庄町1番地

Seasonal Fluctuation of Residual Flight Energy Source in the Rice Leaf Roller, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) Adults

Mika MURATA and Sumio TOJO

Laboratory of Entomology, Faculty of Agriculture, Saga University,
Honjou-machi 1, Saga-shi, 840-8502 Japan

Abstract. Triacylglycerol (TG) level and its fatty acid composition were compared among immigrant generation and the following two generations in the adults of the rice leaf roller, *Cnaphalocrocis medinalis* collected at Saga on Kyushu Mainland in southern Japan. TG level and the ratio of unsaturated fatty acid in TG were found to be significantly lower in the adults in immigrant generation than those in the following generations. Most prominent feature in the immigrant generation was essentially no residue of an unsaturated fatty acid, linolenic acid in TG. These facts support the utilization of TG, especially linolenic acid in it as the flight energy source during migration of the moths, and, thus, their levels in the moths would be good indices to estimate their long-distance migratory experience and capability.

Key words: *Cnaphalocrocis medinalis*; flight energy; triacylglycerol; linolenic acid; migration.

緒 言

コブノメイガ *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) は、東南アジア諸国に広く分布しており、日本では1970年代から発生が顕著になった稲作害虫である。この昆虫は、休眠性がなく、また耐寒性が低く、沖縄本島などの南西諸島の一部をのぞき、日本での定着は確認されていない(玉城・宮良, 1983; 桐谷, 1984)。また、東シナ海上と太平洋上でトビロウカ *Nilaparvata lugens* (Stål)、セジロウカ *Sogatella flucifera* (Horváth) などの長距離移動性昆虫とともに観察され(岸本, 1978; 桐谷, 1984)、梅雨前線停滞時に九州各地で同時にトラップに捕獲されることが多い。さらに、和田(1989)は、梅雨前線停滞時の下層ジェット気流の流跡線解析から、コブノメイガは、ウンカ類と同様に梅雨期に海外から、とくに中国から東シナ海を越えて九州に飛来することを強く支持する結果を示した。

九州への本種の移入個体と国内で繁殖した定着個体とを識別するために、これまで次のようなことが調査されてきた。1) コナガ *Plutella xylostella* (L.) の成虫は幼虫時に高温で成育

するほど前翅長が短くなるが(山田・梅谷, 1972; Shirai, 1993), 同様に, コブノメイガでも高温での生育では前翅長が短くなる。しかし, 飛来世代と推定される梅雨期に捕獲された個体の前翅長は後世代の高温下で生育したものと比較して差異がみられないことから, 梅雨期には九州に比べて高温の地域で生育した個体群が移入したと推定された(藤條ら, 1985)。2) 世代間における翅の破損度を比較し, 梅雨期に捕獲された個体が, 次世代以降の個体群に比べて翅の破損度が大きい傾向にある(和田, 1985)。3) 梅雨時に捕獲された雌の卵巣の発達段階は低く脂肪体量が多いが, 移入後の時間が経過するとともに, 脂肪体量が減少し成熟卵の比率が高まることから, 移入群の特性をある程度推定できるとした(宮原ら, 1981)。しかし, 他の側面からの生理学的な検討は行われていない。

長距離移動性の鱗翅目昆虫では, 飛翔エネルギー源として, 飛翔開始時には糖を利用するが, 持続飛行時には, 脂肪体に貯蔵されている中性脂質のトリアシルグリセロール(TG)を利用することが知られている(茅野, 1980)。従って, そうした昆虫では, 移動してきた個体のTGの残存量から飛翔歴を推察することがある程度可能と思われる。そこで, 本研究では, 梅雨期に佐賀市で採集された, 海外から移入した可能性の極めて高い成虫と, 当地で生育した可能性が高く, 飛来世代の第1世代と第2世代と思われる成虫の残存脂質量, および, その構成脂肪酸について比較した。

この研究を行うに当たって, コブノメイガの発生活消長のデータを提供していただいた佐賀県農業技術防除センターに厚くお礼申し上げます。

材料および方法

1. 供試昆虫

1996年と1998年の6月から9月まで, 佐賀大学農学部1室の蛍光灯を夜間点灯し, その間, 窓に飛来したコブノメイガ成虫を採集し, 速やかに -20°C に凍結させた後, 腹部を凍結乾燥し -20°C に保存した。各年において, 成虫の発生が確認された最初の時期の個体群を飛来世代とした。後世代については, 佐賀県農業技術防除センターの調査に基づいて作成された, 佐賀県における「海外飛来性害虫情報」をもとに, 予め, 第1世代, 第2世代の成虫の発生時期を发育有効温度に基づき推定し, そうした時期に採集したものを用いた。すなわち, 1996年7月12日に採集した個体を飛来世代, 8月7日と9月8日に採集した個体をそれぞれ第1世代, 第2世代のものとし, 同様に, 1998年は6月25日と, 7月16日と8月14日に採集した個体をそれぞれの世代のものとして供試した。

2. 脂質分析

1) 全脂質の抽出

まず, 腹部の乾燥重量を測定し, Folch *et al.* (1957)の方法により脂質を抽出した。すなわち, 試料をガラスホモジナイザーに入れ, 7.5 mlのメタノールを数回に分けて加えてホモジナイズし, 磨砕液を25 mlのメスフラスコに移した。さらに15 mlのクロロホルムを数回に分けて加えてホモジナイズし, 同じメスフラスコに移した。これを 37°C の恒温器を用いて30分間振とうした。この際, よく抽出させるために5分毎にメスフラスコを軽く振った。放冷し, クロロホルム:メタノール(2:1, v/v)を加えて25 mlにした後, 東洋濾紙 No. 2を用

いて共栓付大型試験管 (35 ml) 内に濾過した。濾液に 4.7 ml の脱イオン水を加えてゆっくり 2 回転倒操作した後、冷蔵庫に入れた。一夜放置後、二層に分離したうちの上層 (水層) をピペットで取り除き、下層をナシ型フラスコ (50 ml) に移しロータリーエバポレーターを用いて濃縮した。残渣を 4 ml の石油エーテルに溶かし保存用試験管に移して抽出液とし、冷凍庫 (-20°C) に保存した。

2) 脂質の分画・トランスメチル化

脂質の分画は薄層クロマトグラフィーを用いて行った。1) で作成した全脂質の抽出液を、マイクロシリンジで 40 μ l ずつとり、シリカゲル G プレート (Whatman K6, 10×20 cm) にスポットした。これを、石油エーテル: ジエチルエーテル: 酢酸 (82:18:1, v/v) を展開溶液として、同液を充満させた展開槽中で展開した (和田・菅野, 1972)。展開後、窒素ガス下で乾燥させ、ヨウ素を充満させた展開槽中に入れて発色させた。TG の展開部分のシリカゲルをかきとり共栓付試験管に入れ、塩酸: メタノール (1:5, v/v) を 2~3 ml 加えた。このとき、内部標準 (pentadecanoic acid, Sigma Chemical Co.) を 2 μ l (8.26 nmol) ずつ加えた。これらを 65°C で 3 時間インキュベートすることにより、脂肪酸をトランスメチル化した。冷却後、沈殿以外の溶液を試験管に移し、ヘキサン約 2 ml を加えボルテックスにより、よく混合した。二層に分離した後、上層 (ヘキサン層) をパスツールピペットでスピッチグラス管に移した。この操作をもう一度繰り返し、混合したヘキサン抽出液を窒素ガス下で濃縮した。

3) GLC 分析

2) で作成したサンプル中の脂肪酸組成はガスクロマトグラフィー (島津製作所 GC14B) により、キャピラリーカラム (0.25 mm×25 m) を用いて、カラムは 170°C、インジェクションポートおよびディテクターは 180°C の温度条件下に、ヘリウムをキャリアガスとして分析した。

4) 分析データ処理

3) の分析データについて、内部標準として加えた脂肪酸を基準にし、各構成脂肪酸の総量を乾燥重当たりの量 (μ mol/g dry weight) として換算した。有意差検定は Bonferroni/Dunn の方法により行った。

結 果

Fig. 1 に示すように、1996 年の佐賀市では、7 月初旬に飛来世代と思われるコブノメイガ成虫が確認され、以後、8 月上旬、9 月上旬に第 1 世代、第 2 世代のものと推定される成虫の発生のピークがはっきりと認められた。それぞれの発生ピークに該当する時期に、蛍光灯を点灯した部屋の窓に飛来した雄成虫を捕獲し、それらの腹部を分析したところ、g 乾燥重当たりの平均 TG 量は、飛来世代では 259.2 μ mol であり、第 1 世代での 564.1 μ mol、第 2 世代での 645.2 μ mol に比べ有意に低かった。また、Fig. 2 に示すように、1998 年では、6 月中旬に飛来世代が確認され、以後、7 月中下旬および 8 月中旬に成虫の発生ピークが認められた。それらの時期に、室内を点灯した窓に飛来した雌成虫腹部の g 乾燥重当たりの平均 TG 量は、飛来世代では 214.1 μ mol であったのに対し、第 1 世代では 549.9 μ mol、第 2 世代では 556.4 μ mol であり、1996 年の雄成虫の場合と同様に、飛来世代でのレベルは後 2 世代でのレベルに比べて有意に低かった。

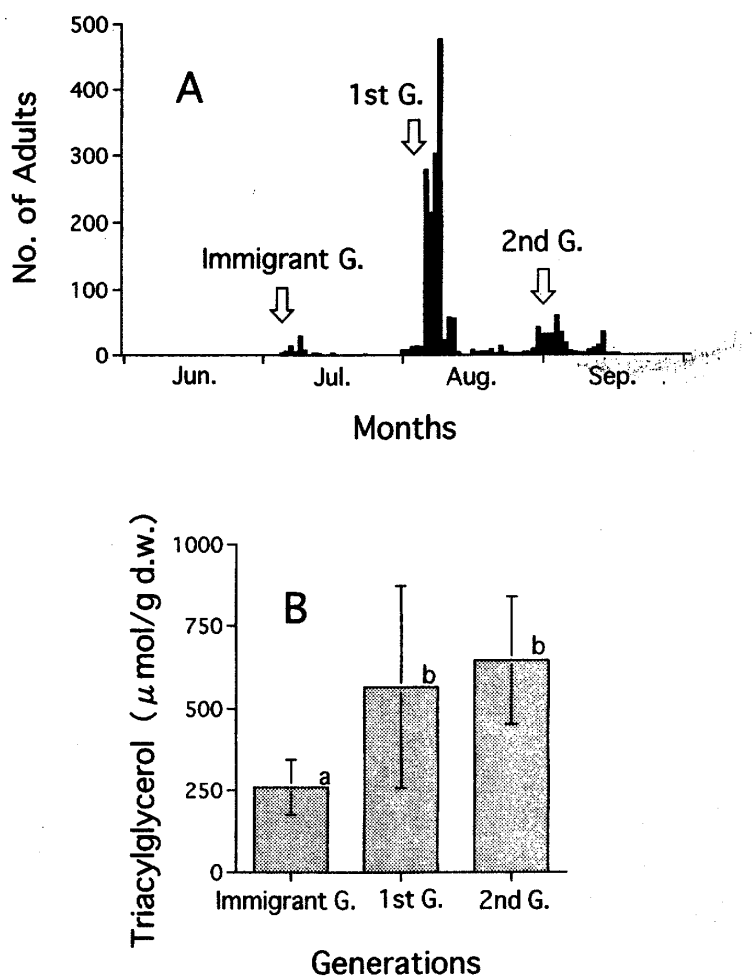


Fig. 1. A: Daily records of the numbers of *C. medinalis* adults captured by light traps in Saga in 1996. B: Comparison of triacylglycerol levels in the abdomen among the males captured at the time of immigrant and following first and second generations (G), as indicated by arrows. Values (means \pm S.D.) with different letters (a & b) are significantly different (Bonferroni/Dunn, $P < 0.05$, $n = 5-15$).

Fig. 3 は、腹部に含まれる TG の構成脂肪酸の組成率を示したものである。TG は、ラウリル酸 ($C_{12:0}$)、ミリスチン酸 ($C_{14:0}$)、パルミチン酸 ($C_{16:0}$)、パルミトレイン酸 ($C_{16:1}$)、ステアリン酸 ($C_{18:0}$)、オレイン酸 ($C_{18:1}$)、リノール酸 ($C_{18:2}$) およびリノレン酸 ($C_{18:3}$) の 8 種類の脂肪酸から構成されていた。雌雄ともに、最も多く含まれていたのはパルミチン酸 ($C_{16:0}$) で、飛来世代では 61.7%、第 1 世代では 47.2%、第 2 世代では 41.5% と、世代を経るにつれ、比率が低下する傾向がみられた。また、オレイン酸 ($C_{18:1}$) は、パルミチン酸と同様に、飛来世代における組成率が最も高かった。一方、パルミチン酸とは対照的に、リノレン酸 ($C_{18:3}$) は、雄では、飛来世代では 2.8% であったが、第 1 世代では 18.3%、第 2 世代では 20.9% と、後世代になる程、組成率は高くなった。組成率は低いながらも、リノール酸 ($C_{18:2}$) の比率も同様に後世代になる程、高くなった。

Table 1 は、TG 中のリノレン酸の量と、TG 中に占める比率を示したもので、飛来世代で

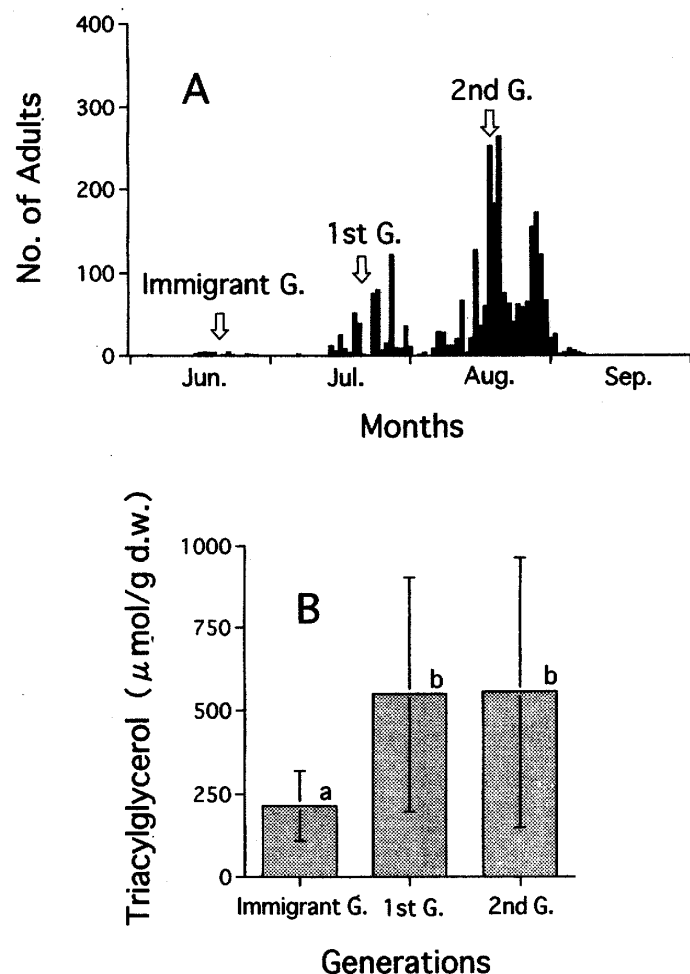


Fig. 2. A: Daily records of the numbers of *C. medinalis* adults captured by light traps in Saga in 1998. B: Comparison of triacylglycerol levels in the abdomen among the females captured at the time of immigrant and following first and second generations (G), as indicated by arrows. Values (means \pm S.D.) with different letters (a & b) are significantly different (Bonferroni/Dunn, $P < 0.05$, $n = 5-15$).

はこの不飽和脂肪酸の含量および比率は後世代、特に第2世代に比べて顕著に低かった。

考 察

本研究では、各年で最初に灯火に誘引されてきたコブノメイガ成虫を初世代の個体とし、その時期を起点として発育有効温量に基づき推定した1世代および2世代後の成虫発生時期に誘引されてきた個体を、それぞれ第1世代および第2世代の個体とした。実際、初世代前にはいずれの年も野外での幼虫の発生は報告されておらず、初世代の成虫を飛来世代とみなしたことは妥当と思われる。成虫腹部に含まれるTGをその後の活動に利用できるという意味で残存エネルギー源としたが、そのレベルは世代によりかなりの差異が認められ、飛来世代のTGレベルは後2世代に比べて有意に低かった。TGは長距離移動性昆虫の主要な飛翔

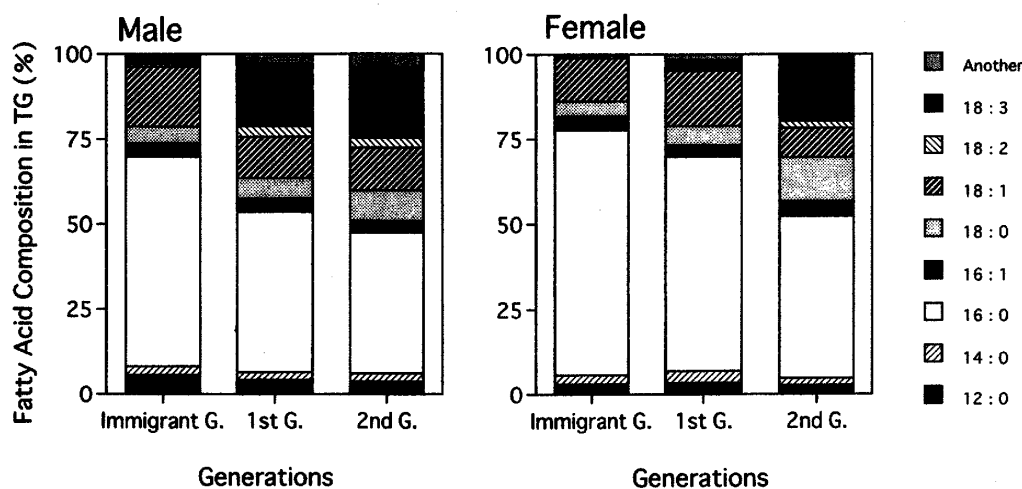


Fig. 3. Comparison of fatty acid composition of triacylglycerols in the abdomen among *C. medinalis* adults captured at the time of immigrant and following first and second generations, as given in Figs. 1 & 2 ($n=5-15$).

Table 1. The level and ratio of linolenic acid in triacylglycerols in the abdomen of *C. medinalis* adults captured at the time of immigrant generation and following first and second generations, as given in Figs. 1 & 2 ($n=5-15$). The unit of the level of linolenic acid is $\mu\text{mol/g}$ dry weight.

Sex	Immigration G.	1st G.	2nd G.
Male	7.28 (2.81)	88.66 (18.34)	134.90 (20.91)
Female	0.00 (0.00)	14.60 (2.66)	117.50 (21.11)

Values in parenthesis indicating percentage in triacylglycerol.

エネルギー源であることは一般に認められており (茅野, 1980), 飛来世代の TG レベルが当地で生育したと思われる後世代に比べて雌雄とも有意に低いという本研究の結果は, 梅雨時に採集した個体が長距離移動により飛翔エネルギー源をかなり消費した状態であったことを裏付けるものである。従って, 飛来個体と後世代の当地で生育した個体を識別するための手段として, 残存 TG レベルの比較は, ある程度有効であると思われる。

コブノメイガ成虫の腹部に含まれる TG の主要構成脂肪酸は 8 種であり, 雌雄ともに, どの世代においても最も多かったのはパルミチン酸, 次いでオレイン酸であった。この傾向は, 他のいくつかの鱗翅目昆虫と同様である (Thompson, 1973; Zongshun & Ouyang, 1995)。飛翔のための中性脂質は脂肪体に TG として貯蔵され, 飛翔時にはジアシルグリセロールとして体液を通して飛翔筋に運ばれる (茅野, 1980)。TG はグリセロール骨格に脂肪酸が結合したものであるが, 不飽和脂肪酸のうち, リノール酸とリノレン酸は虫体内で生合成されにくい脂肪酸である (平野, 1971)。また, 一般に, 不飽和脂肪酸は同じ炭素数の飽和脂肪酸よりもエネルギー効率が高く, 長距離移動性のアワヨトウ *Mythimna separata* (Walker) においては, 飛翔後, 脂肪体中のモノ不飽和脂肪酸の含有量が減少し, 一方で飛翔筋で増加することが知られている (Zongshun & Ouyang, 1995)。コブノメイガの結果で注目されるのは, 飛来世代の成虫には, TG がかなり残存していたものの, リノレン酸がほとんど含まれていなかった

たことである (Table 1). すなわち, この蛾でも不飽和脂肪酸を飛翔エネルギー源として主に用いるのならば, 梅雨時期に飛来した個体は飛翔エネルギー源として利用できる不飽和脂肪酸をほぼ使い尽くした状態にあったものと推定される. このように, 長距離移動性の昆虫においては, 飛来個体と定着個体との差異, さらには成虫の飛翔前歴を知るためには, 残存 TG 量のレベルとともに, TG 中の不飽和脂肪酸, コブノメイガでは特にリノレン酸の含有率を明らかにすることが重要であると言える.

宮原ら (1981) は, 梅雨時に捕獲したばかりのコブノメイガ雌成虫では脂肪体が発達し卵巣の発達程度が低い, その後脂肪体が減少し, 卵巣発達が顕著になるとした. 従って, 本研究で分析に用いた飛来世代の成虫では, 日本に飛来後, 動き回っている内に TG を使ったために, そのレベルが低くなった可能性も否定できない. しかし, 上述のように, この時期に採集した個体のみが, リノレン酸という飛翔活動に必要と思われる脂肪酸をほとんど使い切った状態にあったということは, 長距離の移動をしてきたことを支持するものと考えることが出来る. 長距離移動を行わず生息地域周辺を動き回っただけでそれらが消失するのであれば, 後世代でも同様な個体が採集されるはずである.

乾燥重当たりの TG 量では, 第 1 世代と第 2 世代との間に雌雄とも有意な差異は認められなかったが, 雌の TG の脂肪酸組成率に関しては, 第 1 世代と第 2 世代はかなり異なり, 前者ではリノレン酸の比率が低いという, むしろ飛来世代の値に近い結果が得られた (Fig. 3, Table 1). 雌を供試した 1998 年には, 第 1 世代成虫を採集した 7 月中旬以降も梅雨が長引いており, 第 1 世代と予想して採集した個体のなかに, この時期に飛来した個体が混在していた可能性も考えられる. 実際, 第 1 世代と判定した雌成虫でも, TG レベルの低い個体ほど 2 つの不飽和脂肪酸の含有率が低いという傾向が認められた (データ省略). ただし, TG レベルが飛来世代のものよりも, この時期に採集した雌成虫のものが高かった理由は不明である.

樋口・北村 (1989) は, 幼虫期の餌条件が成虫の活動個体の発現に直接結びつくとは考えにくいと述べている. しかし, 飛翔エネルギー源という視点に限ってみても, 鱗翅目の成虫における脂肪酸組成は幼虫期の餌の種類によって影響され (Beenackers & Scheres, 1971), コナガにおいては, 幼虫期の餌の種類により羽化直後の成虫における TG 量が異なり (Begum *et al.*, 1999), 飛翔能力も異なる (Muhamad *et al.*, 1994; Begum *et al.*, 1996) といった報告がなされている. また, ハスモンヨトウにおいても, 幼虫期に栄養価の高い餌を摂取した個体は, そうでない個体に比べて, 羽化直後の TG 量が多く (Itayama *et al.*, 1999), 飛翔能力も高い (坂本ら, 2000). このようなことから, コブノメイガにおいても, 幼虫期の餌条件の違いから羽化直後の TG 量や飛翔能力が異なる可能性が考えられる. 今後は, 飛来源と移動先, あるいは世代間でのイネの生育ステージの違いが成虫の TG レベルや脂肪酸構成へ影響を与えるのか, 果たして本当に持続飛翔時に, 主に利用されるのはリノレン酸のみであるのかを, 吊り下げ飛翔実験などを通して調べる必要がある.

摘 要

長距離移動性昆虫であるコブノメイガにおけるトリアシルグリセロール (TG) の残存量を, 海外から日本へ移入してきた世代と, その後, 日本で繁殖した後世代とで比較した. 梅

雨期に捕獲した飛来世代の TG 量は、夏以降に捕獲した後世代に比べ、雌雄とも有意に少なかった。また飛来世代と後世代の TG における構成脂肪酸組成率を比較した結果、後世代に比べ、飛来世代では不飽和脂肪酸の含有率が低く、特にリノレン酸はほとんど消失状態にあることが認められた。以上から、残存 TG 量とその脂肪酸構成率から、長距離移動性昆虫の飛翔歴の推定が可能であると指摘した。

引用文献

- Beenackers, A. M. T. & Scheres, J. M. J. C. 1971. Dietary lipids and lipid composition of the fat-body of *Locusta migratoria*. *Insect Biochemistry*, **1**: 125-129.
- Begum, S., Tsukuda, R., Fujisaki, K. & Nakasuji, F. 1996. The effect of wild cruciferous host plants on morphology, reproductive performance and flight activity in diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Researches on Population Ecology*, **38**: 257-263.
- Begum, S., Tsukuda, R., Tsumuki, H., Fujisaki, K. & Nakasuji, F. 1999. Comparison of flight fuel and other nutrients in the diamondback moths, *Plutella xylostella* grown on a wild host and cabbage. *Entomological Science*, **2**: 13-19.
- 茅野春雄, 1980. 昆虫の化学, 東京大学出版会, 東京.
- Folch, J., Lees, M. & Stanley, G. H. S. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, **266**: 497-509.
- 樋口博也・北村實彬, 1989. コブノメイガの活動性に及ぼす条件の影響. 日本応用動物昆虫学会誌, **33**: 146-148.
- 平野千里, 1971. 昆虫と寄主植物, 共立出版株式会社, 東京.
- Itoyama, K., Kawahira, Y., Murata, M. & Tojo, S. 1999. Fluctuations of some characteristics in the common cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) reared under different diets. *Applied Entomology and Zoology*, **34**: 315-321.
- 桐谷圭治, 1984. 移住する昆虫—ウンカはなぜ日本本土に定着できないのか—. *インセクトリウム*, **21**: 136-143.
- 岸本良一, 1978. 1977年東シナ海洋上移動昆虫調査結果の特徴. 第22回日本応用動物昆虫学会講演要旨集, 62 pp.
- 宮原義雄・和田 節・小林正弘, 1981. 筑後におけるコブノメイガの早植水稻への飛来. 日本応用動物昆虫学会誌, **25**: 26-32.
- Muhamad, O., Tsukuda, R., Oki, Y., Fujisaki, K. & Nakasuji, F. 1994. Influences of wild crucifers on life history traits and flight ability of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponometidae). *Researches on Population Ecology*, **36**: 53-62.
- 坂本里枝・村田未果・藤條純夫, 2000. ハスモンヨトウ成虫の飛翔エネルギーと諸形質に及ぼす食餌の影響. 第44回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集, 98 pp.
- Shirai, Y. 1993. Factors influencing flight ability of male adults of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, with special reference to temperature conditions during the larval stage. *Applied Entomology and Zoology*, **28**: 291-301.
- 玉城信弘・宮良安正, 1983. 沖縄本島におけるコブノメイガの発生生態. 九州病害虫研究会報, **29**: 67-71.
- Thompson, S. N. 1973. A review and comparative characterization of the fatty acid composition of seven insect orders. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **45B**: 467-482.
- 藤條純夫・太田信一・口木文孝, 1985. コブノメイガにおける成虫前翅長の季節的变化とその要因. 九州病害虫研究会報, **31**: 96-100.
- 和田正太・菅野道廣, 1972. 薄層クロマトグラフィーを中心とした動物組織グリセロ脂質分析法の実際. 九州大学農学部学芸雑誌, **26**: 505-516.

- 和田 節・小林正弘, 1985. コブノメイガ成虫の翅破損度の季節的変動. 日本応用動物昆虫学会誌, **29**: 41-44.
- 和田 節, 1989. コブノメイガの移動と増殖に関する研究. 名古屋大学博士論文 (論農博第13号), 192 pp.
- 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. 日本応用動物学会誌, **16**: 180-186.
- Zongshun, W. & Ouyang, Y. 1995. Flight activity and fatty acid utilization in *Mythimna separata* (Walker) moths. *Entomologia Sinica*, **2**: 370-376.

(Received October 23, 2000; Accepted November 27, 2000)