

Jpn. J. Ent., 65(1): 225-232. March 25, 1997

シロチョウ類 (モンシロチョウ・スジグロシロチョウ) の吸蜜量測定器の作成と最適糖濃度

村岡一幸*・渡辺 守

三重大学教育学部生物学教室
〒514 三重県津市上浜町 1515

A New Technique for Measuring Nectar Intake of Pierid Butterflies, *Pieris rapae* and *P. melete* (Lepidoptera, Pieridae), and Optimal Sugar Concentration

Kazuyuki MURAOKA and Mamoru WATANABE

Department of Biology, Faculty of Education, Mie University,
1515 Kamihama, Tsu, Mie, 514 Japan

Abstract A new technique for measuring nectar intake in pierid butterflies is proposed. The measuring equipment is available for the field study because it is a simple and precise apparatus that is made of disposable syringe and microcapillary. Intake of sugar solution in *Pieris rapae* and *P. melete* was measured in the summer season of cool temperate zone of Japan. In both species, they preferred 20% sugar solutions among 0%, 0.1%, 1%, 10%, 20% and 50% sugar solutions. The optimal nectar concentration of the two species and that of other species were discussed.

Key words: Measuring techniques; nectar intake; optimal sugar concentration; pierid butterflies.

1. 緒 言

多くのチョウ類は成虫期のエネルギー源を花蜜中の糖から得ている (BOGGS, 1987). 花蜜に含まれる糖の組成は古くより研究され、その大部分はスクロースとグルコース、フルクトースであることがわかってきた (PERCIVAL, 1961). これらの糖の濃度や組成比は、種特異的であるだけでなく、気温や湿度、花齢などにより変化するという報告も多い (BOGGS, 1987; WATANABE *et al.*, 1988; MURAOKA & WATANABE, 1994).

花蜜中の糖の濃度や組成は訪花昆虫の種類と密接な関係を持っている。BAKER & BAKER (1983) は、糖濃度の低い花蜜は細長い口器をもつチョウ類やスズメガ類に好まれ、糖濃度の高い花蜜は口器の短いハナバチ類やハナアブ類に好まれると述べた。糖濃度の高い花蜜は粘性が高く、チョウなどの細長い口器をもつ昆虫にとっては吸飲しにくくなるからである。また、グルコースやフルクトースなどの単糖類を多く含む花蜜はチョウ類やハナアブ類に好まれ、スクロースなどの二糖類を多く含む花蜜はスズメガ類やハナバチ類に好まれるという (KEVAN & BAKER, 1983).

* 現所属：三重県立松阪商業高等学校 (Matsusaka High School of Business)

花蜜中の糖は、エネルギー源としてだけでなく鱗翅目昆虫の寿命や産卵数に影響を与えることが知られてきた。神田 (1987) はアワヨトウ *Pseudaletia separata* において、10% のスクロース溶液を与えたときの総産下卵数が最も多くなり、飛翔させると総産下卵数は減少したと報告している。HAINSWORTH *et al.* (1991) はヒメアカタテハ *Vanessa cardui* を用いてほぼ同様の実験を行ない、糖の摂取量が増大するに従って成熟卵数も直線的に増大することを示した。また、WATANABE (1992) はナミアゲハ *Papilio xuthus* において、10% 以上の糖溶液を摂取した個体は、水のみを摂取した個体に比べて寿命や産卵数が有意に増加したと述べている。

チョウ類の吸蜜量を調べることは、彼らが訪花する植物との相互関係を研究する上で重要である。アワヨトウが1日に必要とする蜜量はハヤナタネ *Brassica campestris* で約100花分にあたるという (神田, 1987)。また、WATANABE *et al.* (1988) はアゲハチョウ類 *Papilio spp.* の吸蜜量と個体数、その蜜源植物であるクサギ *Clerodendron trichotomum* の花蜜量と花数から、調査地全体のクサギの分泌した花蜜の24%がアゲハチョウ類により消費されたと推定した。これらの研究は、チョウの生存に必要な蜜源植物の数や蜜源植物が養えるチョウの個体数の算出を可能にし、チョウと蜜源植物の共進化を論じる上で重要な役割を果たしている。

チョウ類の吸蜜量や糖溶液の吸飲量を測定するために、これまでいくつかの方法が考案されている。神田 (1987) は濾紙に糖溶液を染みこませ、昆虫が糖溶液を摂取した前後の濾紙の重量差を吸蜜量とした。また、HAINSWORTH *et al.* (1991) や WATANABE (1992) は糖溶液を摂取させた前後に昆虫の体重を測定し、その差を吸蜜量としている。しかしこれらの方法は、湿度の影響を受けて正確な吸蜜量を測定できなかつたり、精密な秤量機器を必要とした。特に小型のチョウ類では1回の吸蜜量が少ないので、 μg 単位の秤量が可能な高価な秤量機器を用いねばならない。これに対して、MAY (1985a) はバルサ材で作ったとまり場付きの台にマイクロ・キャピラリー・チューブを斜めに固定させた吸蜜量測定器具を開発した。チョウの吸蜜量はマイクロ・キャピラリー・チューブに沿って取り付けられた目盛りにより測定するのである。この器具はチョウをとまり場にとまらせて糖溶液を吸飲させるため、自然に近い状態で吸蜜量が測定されたといえよう。しかし、濃度の高い糖溶液を与えようとする場合、粘性が高いので、毛管現象を利用してマイクロ・キャピラリー・チューブ内へ糖溶液を注入するのは困難である。また、野外でチョウをとまり場にとまらせたまま糖溶液を摂取させることは難しい。

著者らはポリプロピレン製の注射器にマイクロ・キャピラリー・チューブを取り付けた安価で正確に測定できる吸蜜量測定器を開発した。本研究ではそれを用いて、野外でのモンシロチョウやスジグロシロチョウの糖溶液の吸飲量を測定した。野外調査にあたって三重大学教育学部の山口博子氏、安藤信哉氏 (現所属: 伊勢市立有緝小学校)、中西康之氏、中村恵美氏 (現所属: 桑名市立陽和中学校)、盆野峰崇氏、中沢秀俊氏の協力を得た。また、本研究の一部は文部省科学研究費補助金 (05640710) により行なわれた。ここに、感謝の意を表す。

2. 新しい吸蜜量測定器の紹介と使用法

ポリプロピレン製の注射器 (容量 2.5 ml) の注射針を取りはずし、そこに 30 μl 用のマイク

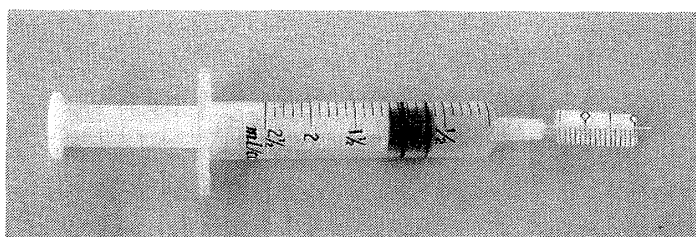


図1. チョウ類の吸蜜量測定器. マイクロ・キャピラリー・チューブに張り付けてある目盛りの最小単位は1 mmである.

ロ・キャピラリー・チューブの一端を10 mm程挿入した(図1). マイクロ・キャピラリー・チューブの固定にはゼリー状の瞬間接着剤を用い, 接続部から空気が漏れないように, その上を浴室用のコーキング材(バスボンド®)で覆った. 厚手の紙に目盛り(最小目盛り1 mm)をコピーし, 固定したマイクロ・キャピラリー・チューブに沿ってそれをセロハンテープで張り付けた. 実験に用いた30 μ l用のマイクロ・キャピラリー・チューブは全長が30 mmなので, 1目盛りは1 μ lに相当する. あらかじめ作成しておいた糖溶液をマイクロ・キャピラリー・チューブ内に吸い込み, 糖溶液の先端を, 張り付けた目盛りにあわせた. この時, あらかじめ注射器内に少量の空気をいれておいてから作業を行なうと, 糖溶液を少量吸い込んだり押し出したりする際の微妙な操作がやりやすい.

実験では, 片手に閉じたチョウの翅の基部をかるく持ち, もう一方の手でシリンジを持ってマイクロ・キャピラリー・チューブの先端から糖溶液を少量押しだした. 押しだした糖溶液をチョウの口吻につけてやると, チョウはマイクロ・キャピラリー・チューブ内に口吻を伸ばして糖溶液を吸い始めるので, それにあわせて糖溶液をさらに少量ずつ押し出すようにした. アゲハチョウ類やモンシロチョウ類は, 糖溶液を与え始めてから約2分間で満ち足りる場合の多いことが予備調査により明らかになっていたため, 糖溶液を吸飲させる時間は3分間とし, この間の糖溶液の減少量をチョウの吸蜜量とした.

3. 吸蜜実験

a) 材料と方法

吸飲実験は, 1989年7月30日~8月10日と1990年7月27日~8月1日, 1993年7月22日~29日の晴天でほとんど風の無い日の日中に, 長野県白馬村において行なった(のべ21日間). 捕獲したモンシロチョウとスジグロシロチョウのそれぞれに, 直ちに様々な濃度(0%, 0.1%, 1%, 10%, 20%, 50%)の糖溶液を与えて吸飲量を測定した. 花蜜に含まれる糖の主成分はスクロースとグルコース, フルクトースであるため(PERCIVAL, 1961), 糖はこれらの糖類を重量比で等量に混ぜたものを用いた.

調査地において飛翔中や訪花中, 葉などで休息中のチョウを捕獲した. 捕獲したモンシロチョウは雄381頭, 雌185頭であり, スジグロシロチョウは雄218頭, 雌97頭となった. 予備調査においてチョウの行動による吸飲量の差が認められなかった(10%糖溶液; モンシロチョウ, $n=34$, $F=1.44$, $P>0.05$, N. S.; スジグロシロチョウ, $n=12$, $F=0.520$, $P>0.05$, N. S.), 捕獲時の行動による吸飲量の差は考慮しなかった.

吸飲量の測定はチョウの体温が日射によって上昇するのを防ぐため日陰で行なった. チョ

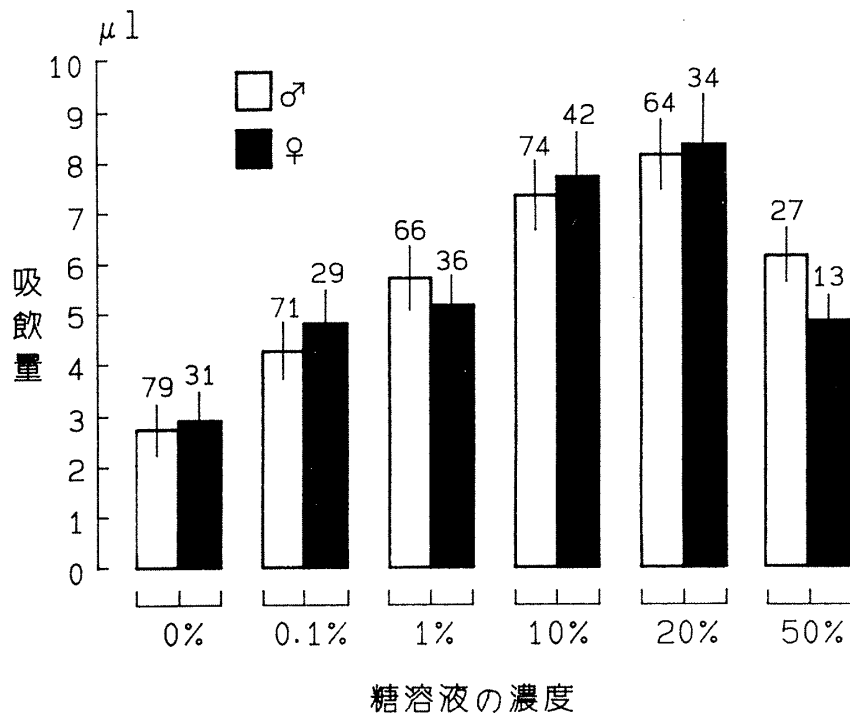


図2. 種々の糖濃度におけるモンシロチョウの糖溶液吸飲量 (±SE). 数字は調査個体数を表す.

ウの日齢や捕獲時間帯によって吸飲量に大きな差がないものとし、本報告では、これらの事項は特に考慮しなかった。また、チョウの糖溶液吸飲量の調査年次による差も見られなかったため、すべての年次の調査結果を併せて解析を行なった。

b) 結果

モンシロチョウにおいて水 (0% の糖溶液) の吸飲量は、他の糖濃度の吸飲量より少なく、雄では $2.7 \pm 0.5 \mu\text{l}$ (±SE 以下同)、雌では $2.9 \pm 0.6 \mu\text{l}$ にすぎなかった (図2)。雌雄とも、糖濃度が20% までは、糖濃度が上がるにつれて吸飲量は増加した。糖溶液が50% になると吸飲量は20% の糖溶液の吸飲量より減少し、10% の糖溶液の吸飲量とほぼ同じになった。すなわち、モンシロチョウは20% の糖溶液を最も好んだといえる。20% の糖溶液の吸飲量は雄では $8.1 \pm 0.7 \mu\text{l}$ 、雌では $8.4 \pm 1.0 \mu\text{l}$ であり、水の吸飲量の約3倍となっている。いずれの糖濃度においても、雌雄間の吸飲量に有意な差は認められなかった (MANN-WHITNEY U-test; 0%: $Z=0.79$, $P>0.05$, 0.1%: $Z=1.44$, $P>0.05$, 1%: $Z=0.07$, $P>0.05$, 10%: $Z=0.50$, $P>0.05$, 20%: $Z=0.20$, $P>0.05$, 50%: $Z=1.24$, $P>0.05$)。

スジグロシロチョウにおいても、糖溶液より水の吸飲量は少なく、雄では $4.5 \pm 0.8 \mu\text{l}$ 、雌では $3.3 \pm 1.0 \mu\text{l}$ であった (図3)。糖濃度が20% までは濃度が高くなるほど吸飲量は多くなる傾向がみられたが、1% 以下の濃度では吸飲量にあまり変化はみられず、10% 以上になると大幅に増大した。モンシロチョウに比べスジグロシロチョウは、糖溶液の濃度がある程度高くないと吸飲行動が解発されないのかもしれない。スジグロシロチョウにおいても糖溶液の濃度が50% になると吸飲量は減少した。つまり、スジグロシロチョウもモンシロチョウ

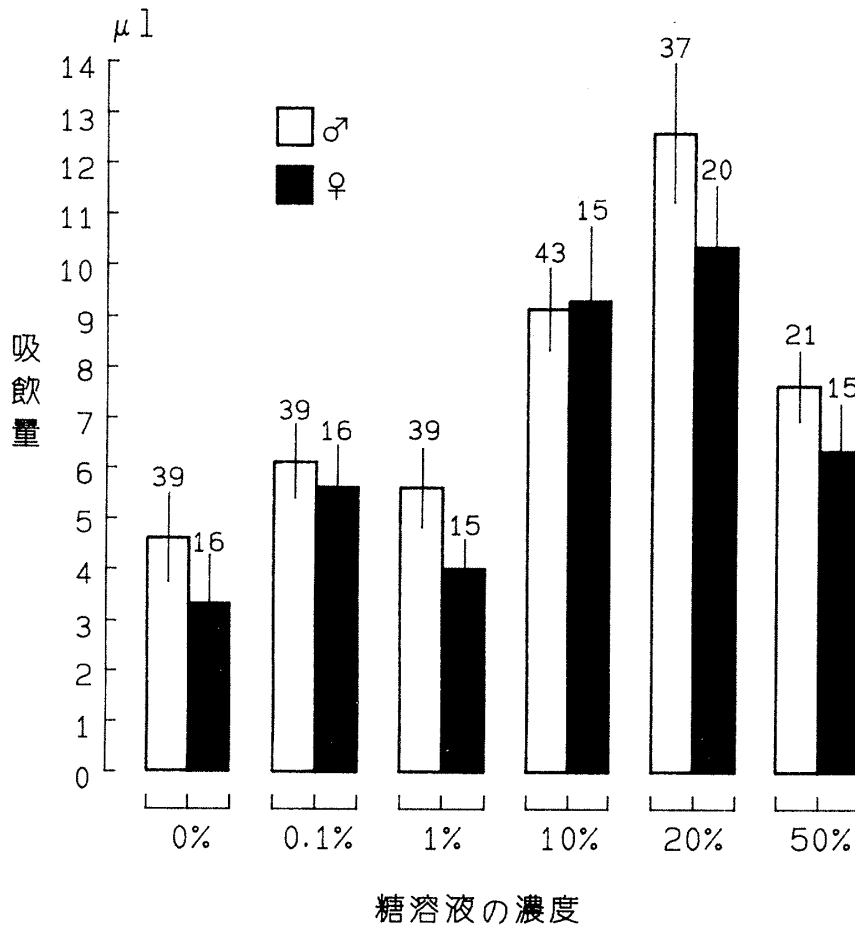


図3. 種々の糖濃度におけるスジグロシロチョウの糖溶液吸飲量 (±SE). 数字は調査個体数を表す.

と同様、雌雄とも 20% の糖溶液を最も好み、吸飲量はそれぞれ $10.4 \pm 1.3 \mu\text{l}$ と $12.5 \pm 1.5 \mu\text{l}$ であった。なお、各糖濃度において雌雄間で吸飲量に有意な差は見られなかった (MANN-WHITNEY U-test; 0%: $Z=0.85$, $P>0.05$, 0.1%: $Z=1.44$, $P>0.05$, 1%: $Z=0.98$, $P>0.05$, 10%: $Z=0.06$, $P>0.05$, 20%: $Z=0.58$, $P>0.05$, 50%: $Z=1.37$, $P>0.05$).

4. 考 察

蜜食者、特に口吻をもつ蜜食者が、単位時間あたりに得られるエネルギーを最大にするためには、エネルギー含量/蜜体積が最大で摂取時間/蜜体積が最小になるような蜜を選択しなければならない。糖濃度が高くなるにつれてエネルギー含量/蜜体積は増大するが、粘性も増大するためハンドリングタイムが大きくなり摂取時間/蜜体積も大きくなる。KINGSOLVER & DANIEL (1979) は数理モデルを用いてチョウの最適糖濃度は 20~25% であると予測した。この濃度は、本実験においてモンシロチョウやスジグロシロチョウが最も好んだ糖濃度と一致する。しかし、他の種においては、タテハチョウ科の *Agraulis vanillae* やシロチョ

表 1. 各糖濃度においてモンシロチョウとスジグロシロチョウが摂取した糖量(±SE). 糖はスクロースとグルコース, フルクトースを重量比で等量に混ぜたものを用いた.

糖濃度 [%]	密度 [g/cm ³]	摂 取 糖 量 [mg]			
		モンシロチョウ		スジグロシロチョウ	
		♂	♀	♂	♀
0	1.0000	0 (79)	0 (31)	0 (39)	0 (16)
0.1	1.0004	0.004±0.0005 (71)	0.005±0.0006 (29)	0.006±0.0008 (39)	0.010±0.0023 (16)
1	1.0039	0.057±0.0063 (66)	0.052±0.0063 (36)	0.057±0.0075 (39)	0.040±0.0053 (15)
10	1.0400	0.769±0.0690 (74)	0.802±0.0880 (42)	0.937±0.0849 (43)	0.971±0.1673 (15)
20	1.0829	1.763±0.1412 (64)	1.821±0.2075 (34)	2.728±0.3295 (37)	2.258±0.2775 (20)
50	1.2317	3.770±0.3007 (27)	3.008±0.3474 (13)	4.736±0.3724 (21)	3.888±0.5985 (15)

(): 調査個体数

ウ科の *Phoebis sennae* では 35~40% (MAY, 1985b), セセリチョウ科の *Thymelicus lineola* では 40% (PIVNIC & McNEIL, 1985) が最適糖濃度であるという報告があり, 予測値や本実験の結果よりやや高濃度となっている. これらの最適糖濃度の違いは, 種特異性のほかに, 気温や湿度など無機的环境や吸水行動の有無などと関係があるのかもしれない.

モンシロチョウやスジグロシロチョウの実際に摂取した糖量を計算したところ, 表 1 のような結果が得られた. 摂取糖量は, 吸飲量の増加に比べて大きく増加した. これは糖濃度が 0.1% から 50% に増大すると糖溶液中に含まれる糖の量が大幅に増大するためである. 0.1~1% の糖溶液では, モンシロチョウやスジグロシロチョウは 1 回の吸飲で, それぞれ 0.004~0.057 mg と 0.006~0.057 mg の少量の糖しか摂取できなかった. 一方, 最も好んだ 20% の糖溶液では, モンシロチョウは約 1.8 mg, スジグロシロチョウは 2.3~2.7 mg の糖を 1 回の吸飲で得ることができていた. すなわち, 20% の糖溶液の 1 回の吸飲で得られる糖量を, 0.1% や 1% の糖溶液で摂取しようとするれば, それぞれ約 500 回と約 50 回の吸飲が必要となろう. したがって, 20% の糖溶液は少ない吸飲量で多くの糖量が得られる有効な食餌であるといえる. しかし, 本実験のモンシロチョウやスジグロシロチョウの最も好んだ 20% の糖溶液の 1 回の吸飲量では, 50% の糖溶液の 1 回の吸飲量の 1/2~2/3 にあたる糖量しか摂取できない.

WATANABE (1992) はナミアゲハに 50% の糖溶液を与えると, 0~20% の薄い糖溶液を与えた場合に比べて, 寿命や体重が増大し卵成熟も促進されるものの, 中腸や後腸に糖の結晶ができ, これがチョウの消化器管に悪影響を及ぼす可能性があるとして述べた. 花蜜に含まれる糖類のうちグルコースは結晶化しやすいため, 50% の糖溶液はモンシロチョウやスジグロシロチョウの腸内で糖の結晶ができるなどの悪影響を及ぼすかもしれない.

本報告ではこの器具を糖溶液の吸飲量の測定だけに用いたが, この他にも様々な使用法が

考えられる。たとえば、チョウが最も効率よく吸飲できる糖溶液の濃度を予測するための数理モデルの作成や検証のためには、時間あたりの吸飲量を測定する必要がある。この器具を用いれば様々な糖濃度の粘性の異なる溶液の時間あたりの吸飲量を簡単に測ることが可能となる。

さらに、この器具を使えばチョウに与える糖やアミノ酸の量を制御することができる。糖やアミノ酸などの花蜜の成分がチョウ類の寿命や繁殖力に与える影響を調べる実験は、これまで、アミノ酸などを加えた糖溶液をチョウが満ち足りるまで与えたものが多かった (MURPHY *et al.*, 1983)。このような実験において、今回製作した器具を使えば正確な量の糖やアミノ酸などをチョウに与えることができ、物質の量的な効果を調査するような生理、生化学的な実験にも応用できるかもしれない。

なお、この器具を使用するにあたっては、チョウの時間あたりの吸飲量がチョウの体温に影響されることを考慮しなければならない。一般に体温が高いときほど時間あたりの吸飲量が多いという。BOGGS (1987) はチョウの体温は気温や日射量、飛翔筋の発熱量により変化すると述べている。野外でチョウの糖溶液の吸飲量を測定する際は、チョウの体温が上昇してしまうのを避けるため、直射日光が直接チョウの体にあたらないような場所で、捕獲後、速やかに作業を行なう必要がある。

5. 摘 要

1. 著者らはポリプロピレン製の注射器とマイクロ・キャピラリー・チューブを用いた安価で正確な吸蜜量測定器を開発した。
2. これを用いて野外環境条件下でモンシロチョウとスジグロシロチョウの糖溶液摂取量を測定した。糖溶液の濃度は0%と0.1%, 1%, 10%, 20%, 50%とした。
3. いずれのチョウにおいても20%の糖溶液が最も好まれた。また、それぞれの濃度の糖溶液の吸飲量は雌雄間で差がなかった。
4. これらの結果と他種のチョウの糖溶液の選好性を比較し、チョウ類の最適糖濃度について考察した。

引用文献

- BAKER, H. G. & I. BAKER, 1983. A brief historical review of the chemistry of floral nectar. *In* BENTLEY, B. & T. ELIAS (eds.), *The Biology of Nectaries*, 126-152. Columbia Univ. Press, New York.
- BOGGS, C. L., 1987. Ecology of nectar and pollen feeding in Lepidoptera. *In* Slansky, Jr. F. & J. G. Rodriguez (eds.), *Nutritional Ecology of Insects, Mites, and Spiders*, 369-391. John Wiley & Sons, New York.
- HAINSWORTH, F. R., E. PRECUP & T. HAMILL, 1991. Feeding, energy processing rates and egg production in painted lady butterflies. *J. exp. Biol.*, **156**: 249-265.
- 神田健一, 1987. アワヨトウ成虫の吸蜜活動. 応動昆, **31**:297-304.
- KEVAN, P. G. & H. G. BAKER, 1983. Insects as flower visitors and pollinators. *Ann. Rev. Entomol.*, **28**: 407-453.
- KINGSOLVER, J. G. & T. L. DANIEL, 1979. On the mechanics and energetics of nectar feeding in

- butterflies. *J. Theor. Biol.*, **76**: 167-179.
- MAY, P. G., 1985a. A simple method for measuring nectar extraction rates in butterflies. *J. Lepid. Soc.*, **39**: 53-55.
- 1985b. Nectar uptake rates and optimal nectar concentrations of two butterfly species. *Oecologia*, **66**: 381-386.
- MURAOKA, K. & M. WATANABE, 1994. A preliminary study of nectar production of the field cress, *Rorippa indica*, in relation to the age of its flowers. *Ecol. Res.*, **9**: 34-36.
- MURPHY, D. D., A. E. LAUNER & P. R. EHRLICH, 1983. The role of adult feeding in egg production and population dynamics of the checkerspot butterfly, *Euphydryas editha*. *Oecologia*, **56**: 257-263.
- PERCIVAL, M. S., 1961. Types of nectar in angiosperms. *New Phytol.*, **60**: 235-281.
- PIVNIC, K. A. & J. N. MCNEIL, 1985. Effects of nectar concentration on butterfly feeding: measured feeding rates for *Thymelicus lineola* (Lepidoptera: Hesperiiidae) and a general feeding model for adult Lepidoptera. *Oecologia*, **66**: 226-237.
- WATANABE, M., 1992. Egg maturation in laboratory-reared females of the swallowtail butterfly, *Papilio xuthus* L. (Lepidoptera: Papilionidae), feeding on different concentration solutions of sugar. *Zoological Science*, **9**: 133-141.
- WATANABE, M., H. KOIZUMI, N. SUZUKI & K. KIRITANI, 1988. Studies on ecology and behavior of Japanese black swallowtail butterflies. VII. Nectar of a glowry tree, *Clerodendron trichotomum*, as a food resource of adults in summer. *Ecol. Res.*, **3**: 175-180.

(Received April 4, 1996; Accepted November 26, 1996)