

ウンカ・ヨコバイ類の人工飼育法開発 および栄養生理学的研究

小山 健 二

(1994年11月7日 受理)

ウンカ・ヨコバイ類は吸汁口を有するため、その人工飼料の開発が難しく、栄養生理学的研究が遅れていた。まず人工飼料の摂食法の検討を行い、人工飼育法を完成し、さらに人工飼料による継代飼育を達成し、この技術を用いてウンカ・ヨコバイ類の栄養要求を明らかにした。

開発した人工飼料により、ヒメトビウンカ、トビイロウンカ、セジロウンカ、セジロウンカモドキ、イナズマヨコバイおよびツマグロヨコバイを飼育する方法を確立した。アミノ酸要求性では、ヒメトビウンカでは、システインとメチオニンが不可欠。トビイロウンカとセジロウンカでは不可欠なアミノ酸はない。ビタミン要求性では、ヒメトビウンカでは、チアミン、ピリドキシンおよびパントテン酸が不可欠。トビイロウンカでは、チアミン、ピリドキシンおよびパントテン酸。また、セジロウンカでは、チアミンとコリンが不可欠。ヒメトビウンカの微量元素要求性では、鉄、銅および亜鉛が不可欠。無機塩は、マグネシウム、カリウム、リン酸が不可欠であることを明らかにした。

目 次

I 緒言	2	1) 材料および方法	34
II 吸汁性昆虫人工飼育の歴史的背景	2	2) 結果および考察	35
III ウンカ・ヨコバイ類の人工飼育法開発	3	2 アミノ酸要求性	40
1 材料および方法	3	1) 材料および方法	40
2 結果および考察	7	2) 結果および考察	40
a ヒメトビウンカの人工飼育	7	3 ビタミン要求性	46
1) 人工摂食法の検討	7	1) 材料および方法	46
2) 人工飼料による継代飼育	8	2) 結果および考察	47
3) 1 齢幼虫の飼育条件の検討	11	4 微量元素要求性	55
4) 産卵に及ぼす採卵液の影響	13	1) 材料および方法	56
5) 翅型に及ぼす飼料の影響	19	2) 結果および考察	56
6) 短日条件下での人工飼育	20	5 無機塩要求性	59
b トビイロウンカの人工飼育	22	1) 材料および方法	59
c セジロウンカの人工飼育	23	2) 結果および考察	59
d セジロウンカモドキの人工飼育	25	V 総合考察	63
e イナズマヨコバイの人工飼育	27	VI 要 約	66
f ツマグロヨコバイの人工飼育	33	謝 辞	68
IV ウンカ・ヨコバイ類の栄養生理学的研究	34	引用文献	68
1 糖の利用	34	Summary	72

I 緒言

植物を摂食する昆虫の発育は、食餌植物が昆虫の栄養要求を満足させる物質を充分含んでいるかどうかによって大きい影響を受ける。昆虫と寄主植物の関係を栄養生理学的に解明するには、まず昆虫の栄養要求性を知らねばならない。昆虫の栄養要求の研究を進めるためには、化学的に既知の栄養成分からなり、しかも任意に組成を変えることのできる人工飼料の開発が必要である。植物を摂食する咀嚼口をもった昆虫の人工飼料による飼育は1942年に BOTTGER がトモロコシの害虫であるアワノメイガで成功し (BOTTGER, 1942), その後 BECK らにより改良され、さらに無菌条件下での飼育法も確立された (BECK, 1953)。

一方、吸汁口をもつ昆虫、主として半翅目昆虫の人工飼料による飼育は、咀嚼口をもつ昆虫の人工飼料による飼育に比べて遅れていた。それは、吸汁口をもつ昆虫の場合、人工飼料の組成を検討する前に、どのような方法で飼料を摂食させるかという大きな問題があり、また、この問題を解決するためにはいろいろな器具や装置を試作する必要があった。現在、アブラムシやウンカ・ヨコバイ類で人工飼料による継代飼育が可能になっているが、飼育できる種はまだ限定されており、万能な飼育法、広範囲に使える飼料はまだ完成されていない。しかし、飼育可能な種については、その技術を利用して栄養要求や産卵阻害物質あるいは促進物質、摂食刺激物質や抑制物質の解明、ウイルスやマイコプラズマ等の経口接種、殺虫剤の経口投与等いろいろな試験・研究が行われている。本研究では、ウンカ・ヨコバイ類の人工飼育法の開発および栄養生理学的研究を目標として、まずヒメトビウンカについて人工飼育法を検討し、液体飼料をパラフィルム膜を通して吸汁させる方法が利用できることを明らかにした。また、同様な方法あるいは若干改変した方法を用いることにより、その他数種のウンカ・ヨコバイ類も飼育できることを実証した。これらウンカ・ヨコバイ類には、イネの重要害虫である、ヒメトビウンカ、トビウウンカ、セジロウンカ、ツマグロヨコバイが含まれており、害虫防除法の基礎的研究にも、人工飼育は役立つと思われる。また、確立された人工飼育法を用いて、主としてヒメトビウンカについて、その栄養要求性を追求し、糖の利用、アミノ酸要求性、ビタミン要求性、微量金属要求性、無機塩要求性などを明らかにし、ウンカ・ヨコバイ類、さらに広くは同翅亜目昆虫の栄養要求性の特徴について検討した。

なお、本論文は東京農工大学大学院連合農学研究科委員会に提出した学位論文を一部修正加筆したものである。

II 吸汁性昆虫の人工飼育の歴史的背景

初めて吸汁口をもつ昆虫に人工摂食をさせたのは ROHDAIN et al. (1912) で、吸血性のツェツェバエにネズミの皮 (rat skin) を通して羊の血液を吸わせたものである。これは現在おこなわれている薄膜摂食法の原型といえよう。半翅目昆虫でこの種の研究を初めて報告したのは CARTER (1927) で、ビートのヨコバイ *Eutettix tenellus* (Baker) に魚の浮き袋から作った膜 (fish skin) を通してスクロース液を吸汁させ、2週間生存させておくことに成功している。その後、主としてヨコバイ類を用いて、液体飼料を吸わせる方法がいろいろ検討され、薄膜を用いた何種類もの人工摂食用の容器が考案された (CARTER, 1928; FIFE, 1932; STOREY, 1932; FULTON and CHAMBERLIN, 1934; BENNETT, 1935; DAY and MCKINNON, 1951)。その他の方法としては、ランプの芯のようにガーゼをまるめ、これにしみこませた滅菌液体飼料を、直接吸わせる方法 (MITSUHASHI and MARAMOROSCH, 1963)、寒天で固めた飼料をパラフィン紙を通して与える方法 (HERFORD, 1935)、固型の飼料と水溶液をくみ合わせて与える方法などが試みられたが (NUORTEVA, 1951)、いずれの摂食方法でも、膜が不適當であったり、飼料が不適當であったため、ヨコバイ類は短期間の生存を保つただけであった。CARTER (1927) がヨコバイの人工摂食法を初めて試みてから35年後に MITTLER and DADD (1962) は、薄く引き伸ばしたパラフィルム膜を通してアブラムシに液体飼料を吸わせる方法を報告した。そしてこの方法により広範な栄養生理学的研究が展開された。その結果、人工飼料は簡単な糖溶液から次第に複雑化してきて、AUCLAIR and CARTIER (1963) はアブラムシの体液と排泄液の化学組成にもとづき23種のアミノ酸と11種のビタミンを含む完全合成飼料を作り、それを薄く引き伸ばしたパラフィルム膜を通して吸わせることにより、アブラムシを2世代飼育することに成功した。この技術は更に改善され、DADD and MITTLER (1966) はアブラムシを20世代継続して飼育することに成功した。一方、ウンカ・ヨコバイ類もアブラムシと同様にパラフィルム膜を通して人工飼料を吸汁することが確認されたが (小山・三橋, 1969)、ウンカ・ヨコバイ類の場合は、アブラムシと違って産卵という問題があり、人工継代飼育を成功させるためには、どうしても生きた植物以外の場所に人

工的に産卵させる必要があった。もし植物に産卵させるとすると産卵期間中に植物の汁液を吸汁してしまうので完全に人工飼料上で継代飼育したとはいえなくなる。また、植物組織に産みこまれた卵は、卵の取り出しに時間がかかり、かつ、卵がつぶれたりしてしまう欠点もある。そこで人工的に産卵させる方法を開発しなければならなかったが、この問題は MITSUHASHI (1970) により、人工採卵容器が考案され、薄く引き伸ばしたパラフィルム膜を通してスクロース液の中に直接卵を産卵させて、採卵する方法が確立された。この方法により得られた卵は植物に全く接触させることなく人工飼料に移すことができるので、完全に人工飼料による継代飼育ができる。この人工採卵容器を使用すること、人工飼料の組成を検討した結果、ウンカ・ヨコバイ類で初めてヒメトビウンカを植物に全く接触させることなく完全合成飼料で10世代継続飼育することが成功した (MITSUHASHI and KOYAMA, 1971; 三橋・小山, 1972)。また、人工飼育法の改変により、トビイロウンカ (小山, 1979)、セジロウンカ (小山・三橋, 1980)、セジロウンカモドキ (小山ら, 1981) の人工飼育も可能になった。また、栄養要求の研究から、コレステロールを添加させることにより、イナズマヨコバイ (小山, 1973b)、ツマグロヨコバイ (小山, 1973b, HOU and LIN, 1979)、アスターヨコバイ (HOU and BROOKS, 1975) の人工飼料による飼育も可能になった。

栄養生理学的研究としては、糖の利用 (MITSUHASHI and KOYAMA, 1969; 小山, 1981; KOYAMA, 1984, 1985 a b, 1988)、アミノ酸要求性 (KOYAMA and MITSUHASHI, 1976; KOYAMA, 1984, 1985ab, 1988; 小山, 1992)、ビタミン要求性 (小山・三橋, 1977; KOYAMA, 1984, 1986, 1988; 小山, 1992)、微量金属要求性 (小山・三橋, 1979)、無機塩要求性 (小山・三橋, 1991) に関する研究が行われている。

III ウンカ・ヨコバイ類の人工飼育法開発

1 材料および方法

本項では全体の飼育実験に関連した材料および方法について記述し、それぞれの実験の詳細な方法などは各項において述べる。

1) イネ芽出しによる飼育

実験に用いたウンカ・ヨコバイ類は、必要に応じていつでも使用できるように、野外より採集後、研究室内で継代飼育した。ヒメトビウンカでは継代飼育中に赤眼系統が分離されたので実験には主として赤眼系統を、トビイロウンカ、セジロウンカ、セジロウンカモドキ、イナ

ズマヨコバイおよびツマグロヨコバイでは野性系統を使用した。飼育方法は径18-20mm、長さ100mmのガラス試験管に、イネ芽出しを4-5本入れ餌とした。イネ芽出しの作り方は、ピーカの中に種モミを入れ水でよく洗い、浮いた種モミは捨てて1日間水に漬けておき、翌日、水をよくきってガラスのシャーレに薄くならべて、乾燥しないようにビニールの袋で覆い、25℃長日条件 (16L-8D) 下で生育させた。昆虫の飼育は25℃、長日条件 (16L-8D) 下で、照明は植物育成用の東芝ブランドルクスまたはナショナルホルモルクスを使用した。餌のイネ芽出しは4-5日ごとに更新した。この方法は小規模で大量飼育には向かないが、実験材料を供給するためには十分であった。

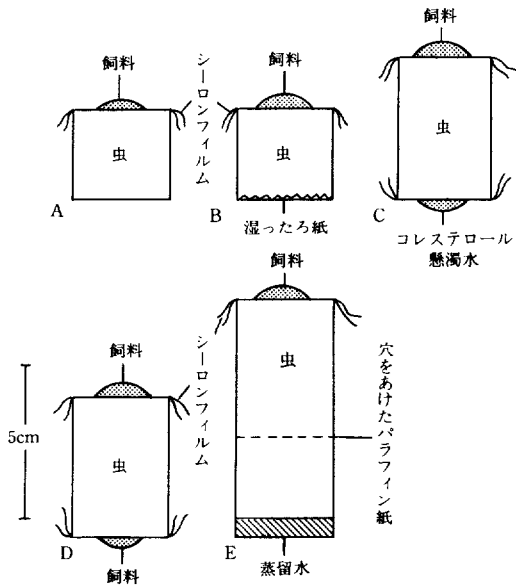
2) 人工飼育器具

人工飼育容器：

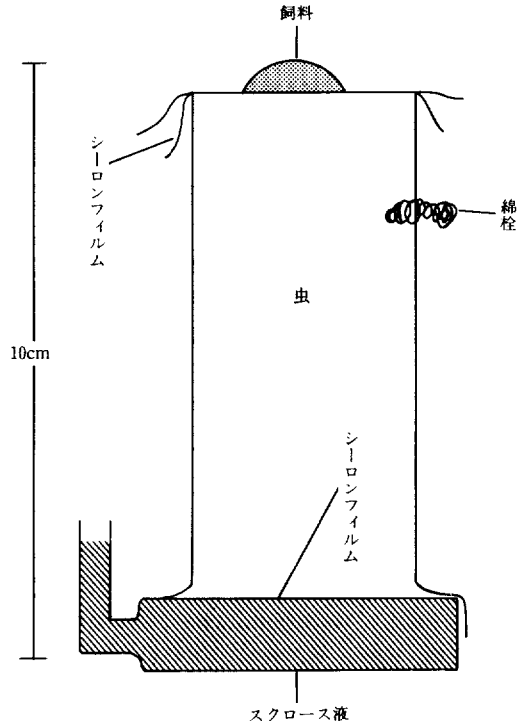
飼育容器は第1図に示すようにガラスびんまたはガラス管を用いた。Aは径30mmで高さ30mmのガラスびんでヒメトビウンカの個体飼育用。Bはガラスびんの底に湿らしたろ紙を敷き湿度を高くしたトビイロウンカ、セジロウンカおよびセジロウンカモドキ用。Cは径30mmで高さ45mmのガラス管で、片方に人工飼料をもう一方にコレステロールけん濁水与えて飼育するイナズマヨコバイとツマグロヨコバイ用。Dは集団飼育用。Eは湿度調整用でいずれもガラスの切口は焼口で滑らかにしたものである。人工飼料を吸汁させる薄膜としては、国産のフジ・シーロンフィルム (富士写真フィルム株式会社) が発売されるまでは、アメリカ製のパラフィルムM (American National Can Co. Greenwich, CT, USA) を使用した。いずれの場合もガラスびんまたはガラス管の口に引き伸ばしたフィルムを張りその上に飼料などを1滴落とし、さらに引き伸ばしたフィルムで覆うことにより飼料を薄く拡げた。

採卵容器：

採卵容器は第2図に示す。これは MITSUHASHI (1970) が考案したもので、自作した。作り方は、使い捨てのプラスチックシャーレの身の横に小孔を開け、L字型に曲げたプラスチックチューブを差し込み、接着剤で固定する。一方ふたのほうには虫かごとなる円筒がはまり込む大きさの穴を開け、円筒状プラスチックをはめ込んで接着し虫かごとする。虫かごの上部の横には虫を入れるための小さな孔を開けておく。容器の身の上面には引き伸ばしたシーロンフィルムをはり、周辺を輪ゴムで止めてフィルムがシャーレからはがれないようにしてから、L字管から5%スクロース液をピペットで注入し、最後に



第1図 ウンカ・ヨコバイ類の人工飼育容器。A：ヒメトビウンカ用。B：トビウウンカ、セジロウンカ、セジロウンカモドキ用。C：イナズマヨコバイとツマグロヨコバイ用。D：集団飼育用。E：湿度調整用。



第2図 ウンカ・ヨコバイ類の人工採卵容器。

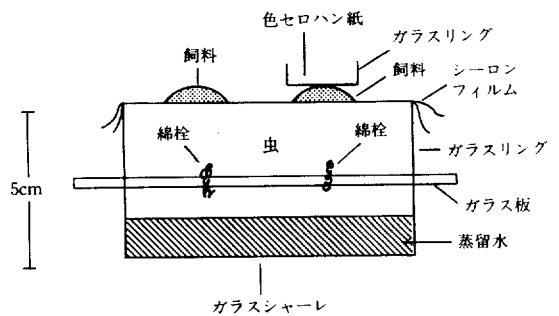
L字管から気泡をぬいて、膜とスクロース液が全面密着するようにする。その上に虫かごの部分をのせ、セロテープで固定する。虫かごの天井には引き伸ばしたシーロンフィルムを張り、人工飼料をのせる。

色選択実験用容器：

容器を第3図に示す。容器の底のシャーレは一般用の径90mmのシャーレで、その上に径5mmの孔が2つあいたガラス板（縦120mm横120mm）をのせ、さらにその上にガラスリング（径90mm、高さ23mm）をのせる。ガラスリングの上面に引き伸ばしたシーロンフィルムを張り、その上に飼料を置き、さらにその上に色セロハン紙をのせ、セロハン紙がとばないように小型ガラスリング（径25mm、高さ10mm）をのせた。色セロハン紙は一般に市販されている物を使用した。

その他必要な器具：

人工飼料を滅菌するためのろ過器は、ザイツフィルタ—またはミリポアあるいはザートリウスなどのメンブ—ラフィルターを使用した（孔径0.22μm）。また、調製し滅菌した飼料は滅菌した容量20-25mmのねじふた付き試験管に分注し、そのほか人工飼料を飼育容器にのせるために、パスツールピペットを用いた。ふ化した幼虫を飼



第3図 色の選択実験容器。

育容器に移すときには小筆を使用した。

3) 人工飼料の調製法

人工飼料は既知物質からなる合成飼料で組成は第1表に示す。これら飼料を調製する時はその都度、各組成物を加えては手間がかかるので、アミノ酸は全部まとめて2倍の濃縮混合液としてあらかじめ調製し、-20℃に凍結保存しておいた。アミノ酸を溶かすときはシスチ

ンとチロシンは中性の水には溶けにくいので、少量の1
N 塩酸に溶かしておき、その後水を加えて残りのアミ
ノ酸を溶かした。ビタミンについては、NED-1, MED

-4 飼料のビタミンは10倍の、また MMD-1 飼料では
100倍濃縮の混合液として-20℃で凍結保存した。リボ
フラビンは溶けにくいのであらかじめ約50℃に加温した

第1表 人工飼料の組成 (mg/100ml)

	MED-1	MED-4	MMD-1
L-αアラニン (Ala)	100	150	100
γ-アミノ-n-酪酸 (GABA)	20	-	-
L-アルギニン-塩酸塩 (Arg)	400	-	270
L-アスパラギン (Asp(NH ₂))	300	450	550
L-アスパラギン酸 (Asp)	100	150	140
L-システイン (Cy·SH)	50	80	40
L-シスチン塩酸塩 (Cys)	5	-	-
L-グルタミン酸 (Glu)	200	300	140
L-グルタミン (Glu(NH ₂))	600	900	150
グリシン (Gly)	20	-	80
L-ヒスチジン (His)	200	300	80
DL-ホモゼリン (Hom)	800	-	-
L-イソロイシン (I-leu)	200	300	80
L-ロイシン (Leu)	200	300	80
L-リジン-塩酸塩 (Lys)	200	300	120
L-メチオニン (Met)	100	150	80
L-フェニルアラニン (Phe)	100	-	40
L-プロリン (Pro)	100	-	80
DL-セリン (Ser)	100	150	80
L-スレオニン (Thr)	200	300	140
L-トリプトファン (Try)	100	-	80
L-チロシン (Tyr)	20	-	40
L-バリン (Val)	200	-	80
チアミン塩酸塩	2.5	2.5	2.5
リボフラビン	5.0	5.0	0.5
ニコチン酸	10.0	10.0	10.0
ピリドキシン塩酸塩	2.5	2.5	2.5
葉酸	1.0	1.0	0.5
パントテン酸カルシウム	5.0	5.0	5.0
イノシトール	50.0	50.0	50.0
塩化コリン	50.0	50.0	50.0
ビオチン	0.1	0.1	0.1
アスコルビン酸ナトリウム	100.0	100.0	100.0
スクロース	5,000	5,000	5,000
塩化マグネシウム	200	200	
硫酸マグネシウム			123
リン酸一カリウム	500	500	
リン酸二カリウム			750
塩化第二鉄	2,228	2.0	2,228
塩化第二銅	0,268	0.3	0,268
塩化マンガン	0,793	0.8	0,793
塩化亜鉛	0,396	0.4	1,188
塩化カルシウム	3,115	3.0	3,115
pH	6.5	6.5	6.5

() 内はアミノ酸の略号。

水に溶かし、溶解後液温を室温まで下げてから残りのビタミンを溶かした。また、ビオチンは中性の水には溶けにくいのでKOHでpH10にした少量の蒸留水に溶かしてから加えた。アスコルビン酸ナトリウムは、溶解すると凍結しておいても酸化するので飼料を最終的に調製する際に加えた。微量金属は100倍濃縮液を作り冷蔵庫に保存した。最終的に調製した飼料は滅菌ろ過器を通して滅菌し、ねじふた付き試験管に分注し、使用時まで -20°C に凍結保存した。いったん溶解し使い始めた飼料は冷蔵庫に保存し、7日以内に使用するようにした。また、コレステロールは蒸留水に直接懸濁(100mg/100ml)させて冷蔵庫に保存した。

4) 人工飼育の方法

人工採卵法：

ウンカ・ヨコバイ類は寄主植物の組織の中に卵を産み付け、産卵の際、吸汁するので、継代飼育や栄養生理を明らかにするためには、生きた植物以外の所に人工的に産卵させる必要がある。人工的に採卵させるためには、まず第2図の採卵容器を用意する。ヒメトビウンカとイナズマヨコバイの場合は5%のスクロース液をサイドアームから入れる。トビイロウンカはスクロース液にはあまり産卵しないが、スクロース液に0.004Mのサリチル酸を加えると産卵数が多くなる(SEKINDO and SOGAWA, 1976)のでこの液を入れる。用意ができたら容器の側面の穴より30-40頭の成虫を入れ綿栓する。この方法でヒメトビウンカとトビイロウンカは溶液中に、イナズマヨコバイは人工飼料と溶液の両方に産卵する。この採卵容器を用いると産卵は連続的に行われるが、1晩あるいは1日おきに生まれた卵を集めた。卵を集めるためには、虫かごをはずし、成虫を除去する。卵は一部は膜を通して液の中に産まれ容器の底に沈んでおり、また、一部は膜に付着した状態にある。膜に付着している卵は実体顕微鏡下で、微針を用いて液の中に突き落とし、膜を取り除いてから沈んでいる卵をバスツールピペットで吸い集める。得られた卵は水で洗ってから小型のシャーレに水を入れその中に保存する。卵の胚子発育は水中でも正常に進行した。卵期間は種によって多少異なるが、 25°C 、長日条件(16L-8D)下で7-10日前後であった。水中でふ化すると溺れて死んでしまうので、ふ化前日に湿らしたろ紙の上に移し、その上でふ化させた。また、ふ化の時期を調整する必要があるときは、卵を水中に保ったまま低温(5°C)に保存した(小山, 1971)。ツマグロヨコバイは全く産卵しないので、人工飼料による継代飼育は卵の採卵法を開発しないと不可能である。ツマグロヨコ

バイはイネに産卵させた卵をふ化前にイネにより取り出し使用した。セジロウンカ、セジロウンカモドキもイネに産卵させた卵を使用した。

産卵調査法：

産卵調査容器は、第1図Dを用い、この中に雌雄各1頭あるいは雌1頭をいれ、片側に人工飼料を、もう一方に試験溶液を、あるいは両側に試験溶液を与えて飼育する。供試虫は膜を通して試験溶液の中に産卵する。産卵した卵は肉眼で観察出来る。この方法により個体ごとの産卵前期間、産卵数、生存期間などの調査や、各種アミノ酸溶液や糖類に対する産卵性を調査した。

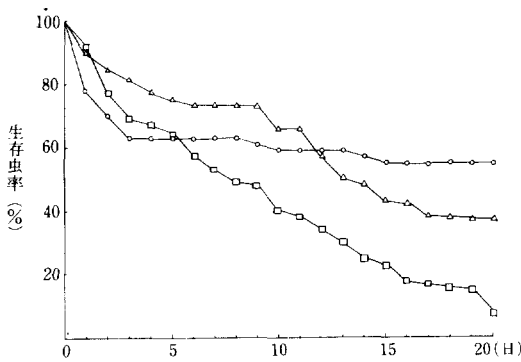
1 齢幼虫からの飼育法：

ヒメトビウンカ、イナズマヨコバイ、トビイロウンカは、人工採卵容器に産卵させ湿らしたろ紙の上でふ化させた。ツマグロヨコバイ、セジロウンカ、セジロウンカモドキは、イネ芽出しに産卵させ、卵をふ化前にイネより取りだし、湿らしたろ紙の上のせふ化させた。いずれの場合もふ化した幼虫は植物に接触させることなく人工飼育に供した。

人工飼料の吸汁は、引き伸ばした膜を通して液体飼料を吸汁させる方法である(小山・三橋, 1969; MITSUHASHI and KOYAMA, 1969, 三橋・小山, 1972, 小山, 1973b)。ヒメトビウンカの飼育容器は第1図A、トビイロウンカ、セジロウンカおよびセジロウンカモドキは容器の底に湿らしたろ紙を敷いた第1図B、イナズマヨコバイとツマグロヨコバイは、片側に人工飼料を、もう一方にコレステロール懸濁水を与える方法で飼育容器第1図Cを使用した。いずれの場合も、ふ化した幼虫は、小筆を使いそれぞれの飼育容器に移した。容器に幼虫を入れた後シーロンフィルムを縦横2倍の長さ、面積にして約4倍に引き伸ばして飼育容器に張り付けた。その上に、バスツールピペットで人工飼料を1滴膜の上に置き更にもう1枚の引き伸ばした膜で覆い、人工飼料を膜ではさみこむようにした。この状態で通常は 25°C 、長日条件(16L-8D)下で飼育した。人工飼料には防腐剤や抗生物質などを入れてないため、バクテリアやかびなどにより変質するので1日おきに飼料を交換した。同一容器で1齢幼虫から成虫まで飼育することができるが、飼育容器内が排泄物などで汚れたら新しい容器に虫を移した。

継代飼育法：

羽化した成虫は、幼虫の飼育容器から人工採卵容器に移し、雌雄一緒にいれておくと交尾し産卵する。採卵、卵の保護、幼虫の飼育を繰り返すことにより継代飼育できる。詳細は、ヒメトビウンカ継代飼育の項で述べる。



第4図 人工飼料によるヒメトビウンカ幼虫の生存率曲線。
 ○：1 齢からイネ芽出し飼育，供試虫数46頭；
 □：1 齢から人工飼料を与えた場合，供試虫数165頭，
 △：3 齢から人工飼料に移した場合，供試虫数60頭。

飼料の質及び色の選択実験方法：

この実験の目的は、イナズマヨコバイとツマグロヨコバイはヒメトビウンカの人工飼料で飼育した場合、成虫まで発育しなかったため、これらのヨコバイの人工飼料の開発をするための基礎資料を得るためである。大型のガラスリングの一方を引き伸ばした膜で覆い、膜で覆ったほうを下にして、その上に2ヶ所穴の開いたガラス板を載せ、その穴より供試虫を実験に応じて1容器に10-30頭入れる。虫を入れたら穴を綿栓でふさぎ、膜面が上にくるようにひっくり返す。この状態で膜面の上に実験に応じて数ヶ所に飼料を滴下する。その上をもう1枚の膜で覆う。この際気を付けなければならないことは、隣り合った試験液が互いに接触しないこと。また、試験溶液の面積が大体同じになるように調節することである。湿度を保つため、容器は水の入ったシャーレの上に載せる。実験に応じて、1, 3, 5, 7, 24時間目に各試験溶液に集まっている供試虫を調査する。色の実験をする場合は、試験溶液の面積と同じ大きさに切った色セロハン紙をのせ、その上に小型のガラスリングを載せた。

2 結果および考察

a ヒメトビウンカの人工飼育

1) 人工摂食法の検討

まずヒメトビウンカをアブラムシと同様な方法で人工摂食させることを検討した。供試したヒメトビウンカは、赤眼系統である。液体飼料は、MITTLER and DADD (1964) に従い引き伸ばしたパラフィルムにはさんだ形で供与した。液体飼料の組成はMITTLER and DADD (1962)

第2表 人工飼育によるヒメトビウンカの齢期間の延長

齢	飼料	齢期間 (日)			
		個体数	最短	最長	平均
2	イネ芽出し	29	2	4	3.1
2	人工飼料	46	2	10	4.8
3	イネ芽出し	27	2	4	2.9
3	人工飼料	23	3	15	6.7
4	イネ芽出し	25	2	4	3.2
4	人工飼料*	8	8	38	14.7
4	人工飼料	42	3	6	4.1
5	イネ芽出し	24	3	5	3.9
5	人工飼料*	17	4	14	6.6

* 3 齢から人工飼料に移した場合。

のアブラムシ用の飼料に順じ、そのスクロース濃度を5%に、また、pHを6.5に変えたものである。

まず、1 齢幼虫から個体飼育をして、生存期間を調べた。供試虫にはイネ芽出し上でふ化し、1~2日間イネ芽出しを吸汁させものを用いた。また同様な方法で3 齢までイネ芽出しで飼育した幼虫も用いた。1 齢から飼育した場合、対照区のイネ芽出し飼育では初期に死亡する個体が多く、その後はあまり死亡しなかった。上記人工飼料では、全期間を通じほぼ一定して死亡がおこった。3 齢から人工飼料に移した場合は死亡率がいく分低かった(第4図)。脱皮は各区において観察されたが、齢期間は人工飼料区の方が対照区に比べていずれも長く、また齢が進むにつれてその差が大きくなった。1 齢から人工飼料で飼育した場合5 齢まで発育したが成虫になったものはなかった。3 齢から人工飼料に移した場合は成虫まで発育した(第2表)。

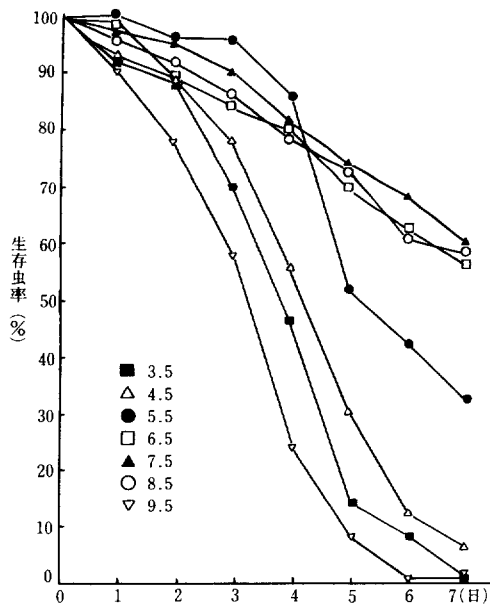
次に飼料の組成は変えず、pHだけをKOHまたはHCl添加により変えて、飼料のpHが生存期間に及ぼす影響を調べた。供試虫には3 齢幼虫を用い、1容器に5頭ずつ集合飼育を行った。結果は第5図に示す通りで、pH9.5が最も生存率が低かったが、この区では飼料中に沈澱を生じたので、純粋にpHの影響だけであるか否かを決定することはできなかった。pH4.5より酸性側では生存率は明らかに低く、pH6.5~8.5の間では顕著な差はみられずこの範囲以外のpHにおけるより生存率が高かった。AUCLAIR (1967) はワタアブラムシの生存期間、生体重に対する至適pHは7.4~7.8であるが、アブラムシはかなり広いpHに耐えると報告している。ヒメトビウンカの場合も生存期間に対するpHの影響はあまり顕著でなく、したがって飼料のpHの多少の変動

が摂食量、生存期間、発育などに対し重大な影響を与え
るとは思われない。

以上の実験により、ヒメトビウカもアブラムシ(MITTLER
and DADD, 1962, 1964)と同様にパラフィルム膜を通し
て液体飼料を吸汁させることができることが明らかにな
ったので、以後はこの方法を用いて、ウンカ・ヨコバイ
類の栄養要求を調べることが可能になった。また栄養要
求の研究とあいまって、飼料の改良により、人工飼料に
よる継代飼育の可能性もでてきた。一方、この方法によ
り短期間に特定の液体を吸汁させることができるので、
植物ウイルス、殺虫剤などの経口投与にも有効な手段と
なることが考えられた。また、抗生物質などを吸汁させ
ることにより、ヒメトビウカ腹部脂肪体のマイセーム
中にある共生微生物を駆除することができれば、共生
微生物が果たしている役割についても研究の手がかりが
得られるものと思われる。

2) 人工飼料による継代飼育

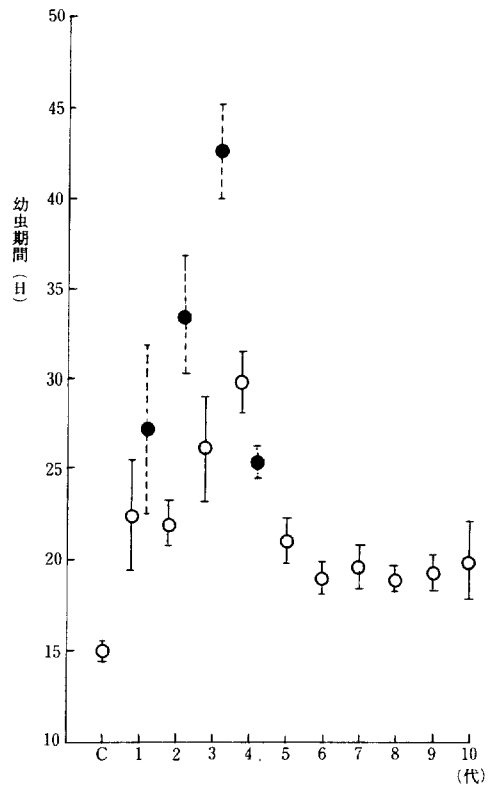
実験に用いたヒメトビウカは、研究室内で数年間飼
育を続けていた赤眼系統および1969年9月に農業技術研
究所の構内(西ヶ原)で採集し、以来研究室で飼育を続
けていた黒眼系統で、人工飼育は湿ったろ紙の上でふ化
させた幼虫から始めた。したがって、ふ化幼虫は全くイ



第5図 飼料のpHとヒメトビウカの生存率。供試虫数各
区とも3齢50頭。

ネに接することなく、人工飼料に移された訳である。各
世代とも、初めにふ化した50頭について個体飼育を行
い、さらにその後ふ化した個体は20~30頭の集団とし
て飼育した。個体飼育には第1図Aの容器、集団飼育に
は第1図Dの容器を用いた。飼育条件はイネ芽出し飼
育の場合と同じで、25℃長日条件(16L-8D)下である。
飼料は1日おきに更新した。人工飼育で得られた成虫
は、第2図に示した容器に移して産卵させ、その卵から
ふ化した幼虫は次世代の人工飼育の材料とし、この方法
を繰り返すことにより、全くイネに接触させることな
く、世代をくり返せることを計画した。人工飼料は、第
1表のMED-1とMED-4を使用した。

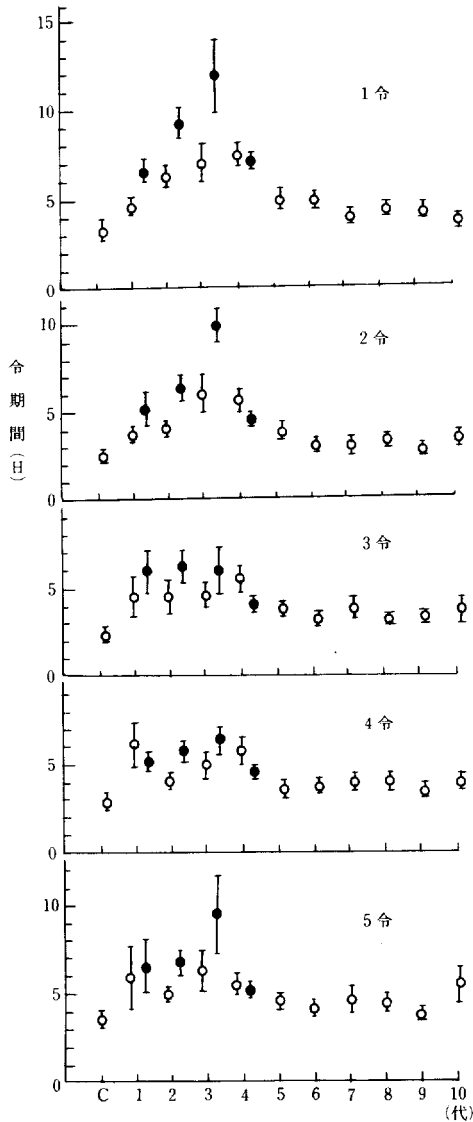
人工飼料で飼育した場合飼育開始後第3代または第4
代まで幼虫期間が長くなった(第6図)。イネ芽出し飼
育の場合の幼虫期間との差はMED-1においてもMED
-4においても有意であった($P=0.01$)。MED-4では
第4代から、MED-1では第5代から幼虫期間が短縮し



第6図 人工継代飼育によるヒメトビウカ幼虫期間の変化
(平均幼虫期間±標準誤差)。C: 対照(イネ芽出し飼育)。
○: MED-1飼育。●: MED-4飼育。

た。しかしイネ芽出し飼育の場合ほどは短縮されなかった。MED-4飼育のヒメトビウンカは、事故により第5代幼虫期に死滅した。MED-1飼育では10世代以上継代飼育ができたが、調査は10世代まで打ち切った。

上と同様な発育遅延は各齢期間についてみられ、したがって、人工飼料による発育遅延は特定の時期に起こるのではなく、全期間に遅れを生ずることが明らかになった(第7図)。

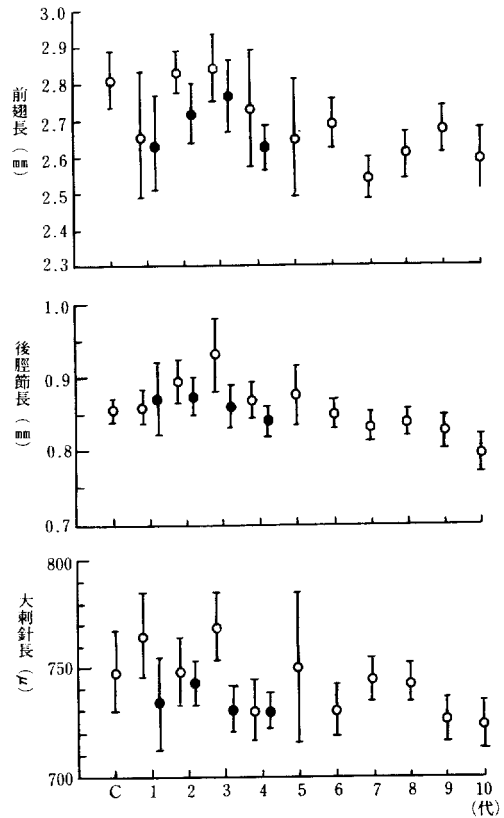


第7図 人工継代飼育によるヒメトビウンカの各齢期間の変化(平均齢期間±標準誤差)。C: 対照(イネ芽出し飼育)。○: MED-1飼育。●: MED-4飼育。

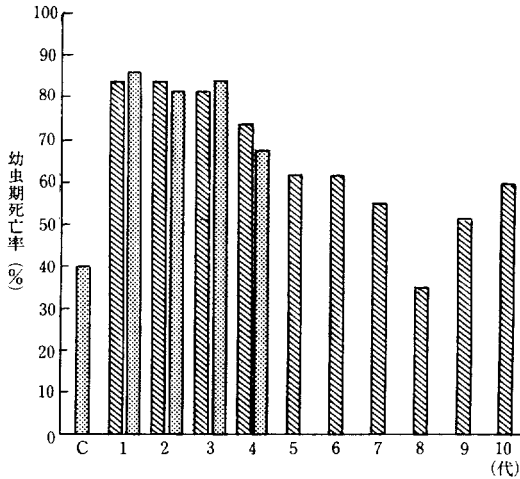
人工飼料によって得られた成虫の大きさを、雄成虫の前翅長、後脛節長、大刺針長を測定することにより比較した。なお、人工飼料で得られた成虫は、雌雄ともに全部長翅型であり、短翅型は全くえられなかった。第8図から人工飼料で得られた成虫は体型的にはイネ芽出し飼育の成虫とほとんど差がないことが分かった。

幼虫期間の死亡率は(第9図)人工飼育に移して初めての世代では、かなり高いが、徐々に低くなっていく。また、幼虫期の死亡は1齢の初期に高いことが、ふ化後20日間の生存率曲線から認められた(第10図)。死亡率の低かったMED-1飼育の第8代では、1齢の初期の死亡率が低く、この期間の高低が、歩留まりに大きく影響していることが推察された。

増殖率として、1雌あたりのふ化幼虫数を調べてみると、第3表のようになった。イネ芽出し飼育の場合は約



第8図 人工飼育によってえられた雄成虫の大きさ(平均±標準誤差)。C: 対照(イネ芽出し飼育)。○: MED-1飼育。●: MED-4飼育。



第9図 人工継代飼育におけるヒメトビウンカの幼虫期死亡率。
C：対照（イネ芽出し飼育）。斜線：MED-1飼育。
点：MED-4飼育。

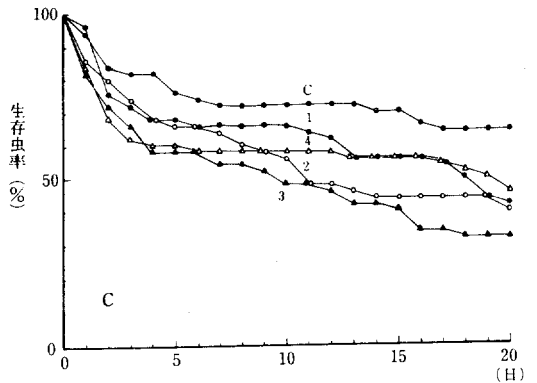
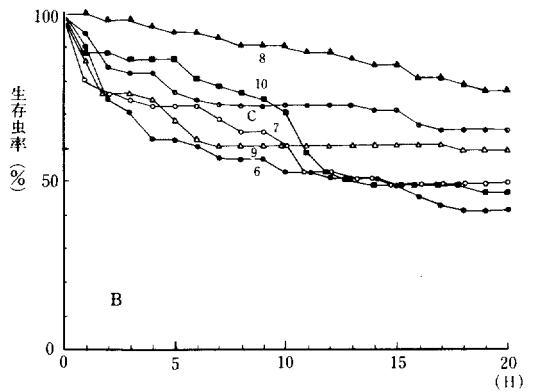
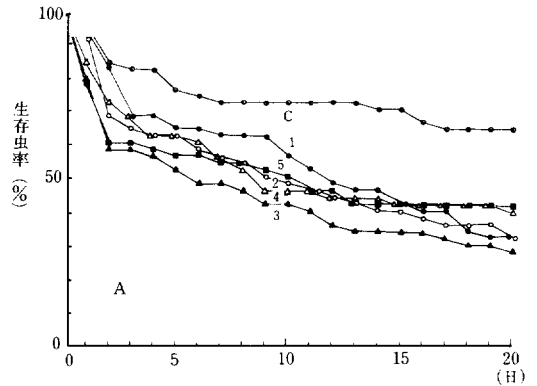
第3表 人工飼育によるヒメトビウンカの増殖率（1雌当りのふ化幼虫数）

代	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MED-1	10.1	6.8	4.5	12.2	5.8	20.7	2.7	5.4	2.5
MED-4	14.6	6.1	7.7	-	-	-	-	-	-

400という数値が得られたているので、増殖率は非常に悪いことになる。しかし、この程度の増殖率でも、代を継ぐことは可能だった(MITSUHASHI and KOYAMA, 1971)。

以上の実験から、ヒメトビウンカを10世代以上にわたって全くイネに接触させることなく、化学的に既知の物質だけからなる人工飼料で飼育できることが明らかになった。継代飼育に用いた飼料の中にはステロールは全く含まれていないので、ヒメトビウンカにとってステロールは必須でないといえよう。しかし、これはヒメトビウンカ自体がステロールを合成できるということを必ずしも意味しない。一般に昆虫はステロールを合成できないことが認められており、ヒメトビウンカも例外ではないと思われる。アブラムシと同様に(EHRHARDT, 1968)、体内にいる共生菌によって合成され、供給されている可能性が強い。ちなみに、ヒメトビウンカには酵母状共生菌、細菌状共生菌がいることが知られている。

継代飼育では第3代まで幼虫期間が伸び、幼虫期死亡率が増加したことは、飼料がまだ不適当であることを示



第10図 人工飼育によるふ化後20日間の生存率曲線。AおよびB：MED-1飼育。C：MED-4飼育、図中の数字は世代数、C：は対照（イネ芽出し飼育）を示す。

唆しているように思われる。しかし、幼虫期間が長くなっても、幼虫の発育がそれほど不齊にならないことは興味深い。第4代以後、幼虫期間および死亡率が改善されたことは、飼育に用いたヒメトビウンカが飼育条件に適応したか、あるいは、飼育条件に十分耐えられる個体

が選抜されたためと考えられる。

人工飼育の結果得られた成虫が、あらゆる点で正常であるか否かは、人工飼育の重要な問題であるが、少なくとも雄成虫の大きさを測定した限りでは、正常とってさしつかえない結果であった。雌成虫については測定を行わなかったが、イネ芽出し飼育の雌成虫と比べて、特に小さいということはない。興味あることは、人工飼料で得られた成虫は全部長翅型であり、これはアブラムシで、人工飼育の結果生ずる成虫がほとんど有翅型であることと類似の現象と考えられる (DADD, 1968)。

人工飼育による大量飼育を考える場合、問題となるのは増殖率である。ヒメトビウンカでは、人工飼育・人工採卵を行った場合の増殖率は、イネ芽出し飼育に比べてきわめて悪かった。これはパラフィルム膜を通して産卵させた場合、産卵数が減少すること、さらに卵を水中に保存する場合、微生物の繁殖により、かなりの死卵がでることに主な原因があると考えられる。イネ芽出し飼育で得られた成虫にパラフィルム膜を通して産卵させた時も、同様に産卵数が大幅に減少する。1雌あたりのふ化幼虫数を増加させるためには、採卵法の改良、卵の保存条件を検討しなければならないであろう。

今後ヒメトビウンカの人工飼育をさらに発展させるためには、ふ化直後の幼虫の飼育に適切な条件を組み合わせるとともに、さらに飼料を改良して幼虫発育を促進させること、採卵法を改良して多くの卵が得られるようにすること、卵の保存条件を改良して卵期死亡率を下げること、などが必要であろう。また、飼育の手間をはぶくため、無菌条件下での人工飼育も確立する必要がある。化学的に既知な物質だけからなる飼料で飼育できるようになったので、MED-1 飼料などを基本飼料として、ヒメトビウンカの栄養要求も詳細に研究できるようになった。また、これに関連して、ヒメトビウンカ共生菌のはたしている役割も、今後の重要な研究課題となるであろう。

3) 1 齢幼虫の飼育条件の検討

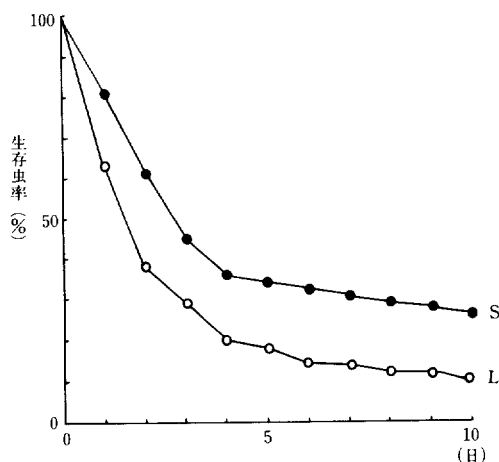
前項の実験の結果ヒメトビウンカを完全合成飼料で継代飼育できることが判明した。しかし、人工飼料で飼育した場合、1 齢初期の死亡率が高いので、飼育法を改善するためにこの期間の死亡率を下げるための条件を検討した。

実験に用いた 1 齢幼虫はすべて第 2 図に示した容器を用い採卵し、湿ったろ紙の上でふ化させたもので、ふ化後 24 時間以内に供試した。特に記していない限り、飼育容器は第 1 図 E に示したものを、飼料は MED-1 を

使用した。また飼育容器の下部には水の代わりに $\text{NaHPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 飽和水溶液を入れ、相対湿度を 95% に保った。飼育は 25°C で長日条件 (16L-8D) 下で 10 日間行った。結果は生存率曲線で表したが、多くの結果から明らかのように、試験開始当日と 4 日目および 10 日目の生存率を直線で結ぶとその回帰は大体実測値のそれを満足するので、4 日目と 10 日目の値を用いて平均経過の比較を行い、各区間の有意差を検定した。

容器の大きさ：

ヒメトビウンカの継代飼育に用いた容器の大きさは第 1 図 A, D に示したように径 30mm、高さ 30mm または 45mm のガラスびんとガラス管であったが、この容器では管の高さが 1 齢幼虫の大きさに比べて高いため、幼虫が飼料に達する頻度が小さくなるのが考えられる。そこで同じ径で長さが 10mm と 45mm の管を用いて、幼虫の生存状態を比較した。結果は第 11 図に示す通りで、高さが低い方が生存率が良ことがわかった。(P=0.01)。



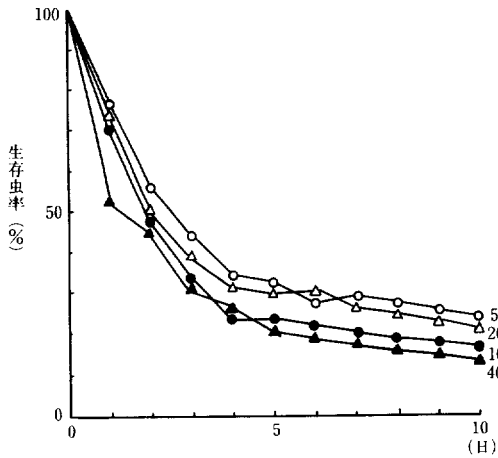
第 11 図 飼育容器の大きさ生存率。L：径 30mm で高さ 45mm、S：径 30mm で高さ 10mm、各区とも 24 回くり返しの平均。

飼育密度：

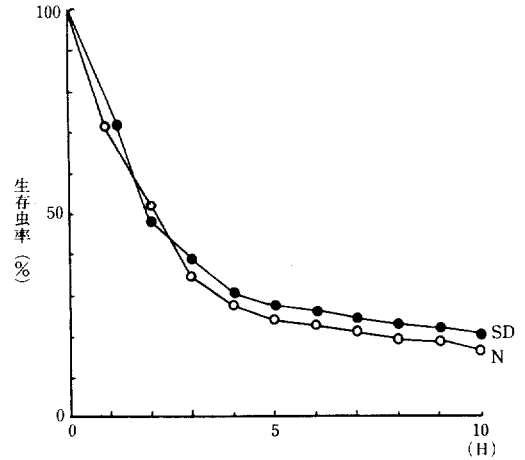
飼育密度を 1 容器 (径 30mm 高さ 45mm) あたり 5 頭、10 頭、20 頭、40 頭とした場合、生存率に差が生ずるか否かを検討した。結果は第 12 図の通りで、各区間の有意の差は認められなかった (P=0.05)。

照明法：

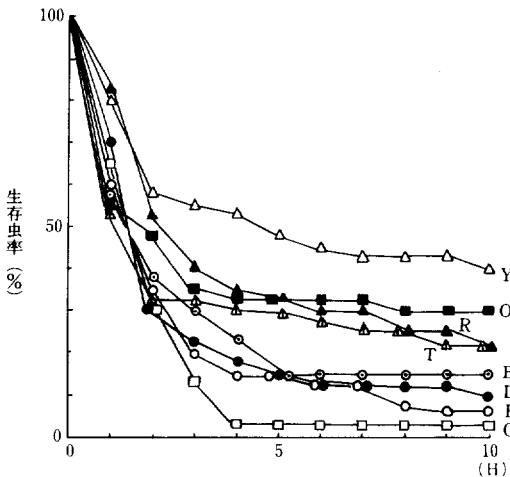
ヒメトビウンカは走光性があるので、飼料のある容器



第12図 飼育密度と生存虫率。5：5個体飼育，10：10個体飼育，20：20個体飼育，40：40個体飼育，各区とも12回くり返しの平均。



第13図 照明方法と生存虫率。N：通常照明，SD：側面を遮光紙で覆い，上からだけ光が入るようにしたもの。各区とも24回くり返しの平均。



第14図 光源の種類と生存虫率。Y：黄色光，O：橙色，R：赤色光，B：青色光，G：緑色光，T：タングステン電球，F：プラントルクス，D：完全暗黒，各区とも4回くり返しの平均。

上面から照明すれば，幼虫を飼料に接触させることが容易になろう。そこで容器の側面を遮光紙で覆って，上からだけ光が入るようにした場合と，通常の場合とを比較した。結果は第13図の通りで，両区間に有意の差は認められなかった ($P=0.05$)。

光源の性質：

照明する光の色によってヒメトビウカの飼料への集

合が影響を受ける可能性が考えられた。この場合には光の色は生存率にも影響してくるので，光源をいろいろ変えて実験を行った。容器の側面を遮光紙で覆い，飼料上に写真用フィルターを置いて，色を変えた。また，フィルターを用いず，プラントルクスまたはホルムルクスとタングステン電球を用いた区，全暗黒にした区も作り同時に比較した。但し，各区とも飼料面における輝度あるいは照度は一定にできなかった。しかしフィルターを用いた区では光源は同じフィルターだけ交換した条件で飼育した。結果は第14図に示す通りであった。すなわち緑色光を用いた場合に生存率が最も悪く，この区と黄色光，橙色光，赤色光，タングステン電球の間には有意の差が認められた ($P=0.01$)。その他の区間相互には有意差は認められなかった。またこの実験から，全く光のない状態でもヒメトビウカ幼虫は照明条件下と同様に飼料に到達できることが明らかになった。このことから飼料面の明るさは吸汁にあまり影響を与えないと考えられた。

相対湿度：

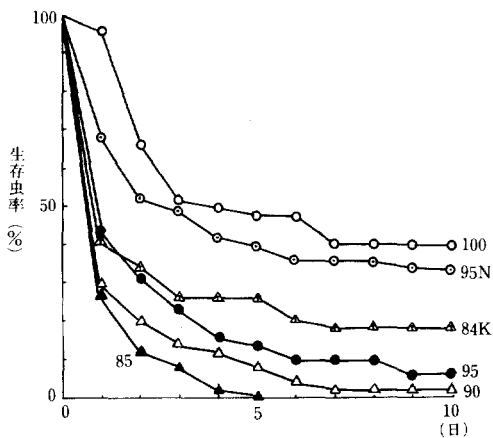
湿度が生存率に及ぼす影響を調べるために，第1図Eの容器を用い，容器下部に濃度の異なった稀硫酸を置き飼育びん内の湿度を調節した。結果は第15図に示す通りであった。実験は湿度40%まで行なったが，80%以下の湿度では5日以上生存する個体がまれであったので，図示しなかった。この結果から湿度が高いほど生存率が良いことがわかる。湿度100%と95%，90%，85%間には

有意差が認められたが(P=0.01)、湿度95%、90%、85%相互間には有意差が認められなかった(P=0.05)。硫酸を用いて湿度を調節した場合、硫酸そのものの影響があるか否かを検討するため、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ の飽和水溶液(相対湿度95%)とKBr飽和水溶液(相対湿度84%)を用いて同様な実験を行なった(第15図)。その結果、いずれの場合も塩溶液を用いて湿度を調節した方が生存率が良く、かつ湿度の高い方が生存率が良かった(P=0.05)。

温度：

温度が生存率に及ぼす影響を調べるため、ふ化直後から10日間各種の温度下で飼育し、その後25℃に移してさらに10日間飼育を行った。なお温度調節にはクールニクスエアー(ヤマト科学、東京)を使用した。結果を第16図に示す。各温度区間の有意差を検定するためには、10日目および20日目の生存率を用いて平均経過の比較を行った(第4表)。この結果からふ化直後の幼虫は比較的低温(15~23℃)で飼育した方が生存率が良く、またその後25℃に移して飼育した場合も、死亡虫が少ないことがわかった。

人工飼育の各代において、幼虫の死亡率はふ化直後に高いことがわかっている。生存虫数の減少はふ化後5日以内に大きく、その後は比較的緩慢に死亡が起こる。したがってふ化5日目までの飼育条件を改良すれば、幼虫期死亡率をかなり減らすことが可能と考えられる。吟味



第15図 相対湿度と生存率。100：水により湿度を100%に調節，95：硫酸により湿度を95%に調節，90：硫酸により湿度を90%に調節，85：硫酸により湿度を85%に調節，95N： $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ の飽和水溶液により湿度95%に調節，84K：KBr飽和水溶液により湿度を84%に調節，各区とも5回くり返しの平均。

した条件のうち、飼育容器については、高さの低い容器を用いる方が良いことが分かった。これは恐らく高さが低いほど、飼料面に接触する機会が多くなるからであろう。照明する光の色については黄色、橙色、赤色など比較的長波長の光が良い経口を示し、緑色は悪かった。しかし通常用いているプラントルックスあるいはホモルックス照明に対しては有意の差は認められなかった。また全暗黒条件下でも、幼虫は生存することができた。この場合、幼虫がどうやって飼料のある所を認知したかは興味ある問題であるが、飼料は常に上部に置かれていたので、飼料の位置にも問題があるかもしれない。湿度は高い方が良いという結果がえられた。相対湿度100%では、容器の内側に水滴がつき、これに幼虫が付着して死亡することが、しばしば見られた。この様な事故を防げれば、湿度をできるだけ高く保った方が生存率がよく、乾燥がきわめて効果的に死亡率を高めることが明らかになった。飼育温度は15~23℃の範囲が適当であることがわかった。ふ化後10日間上記温度で飼育すると、死亡率は比較的低い。低温では当然発育は遅れるが、10日目に25℃に移してもその後死亡率が急激に高まることはなかった。

4) 産卵に及ぼす採卵液の影響

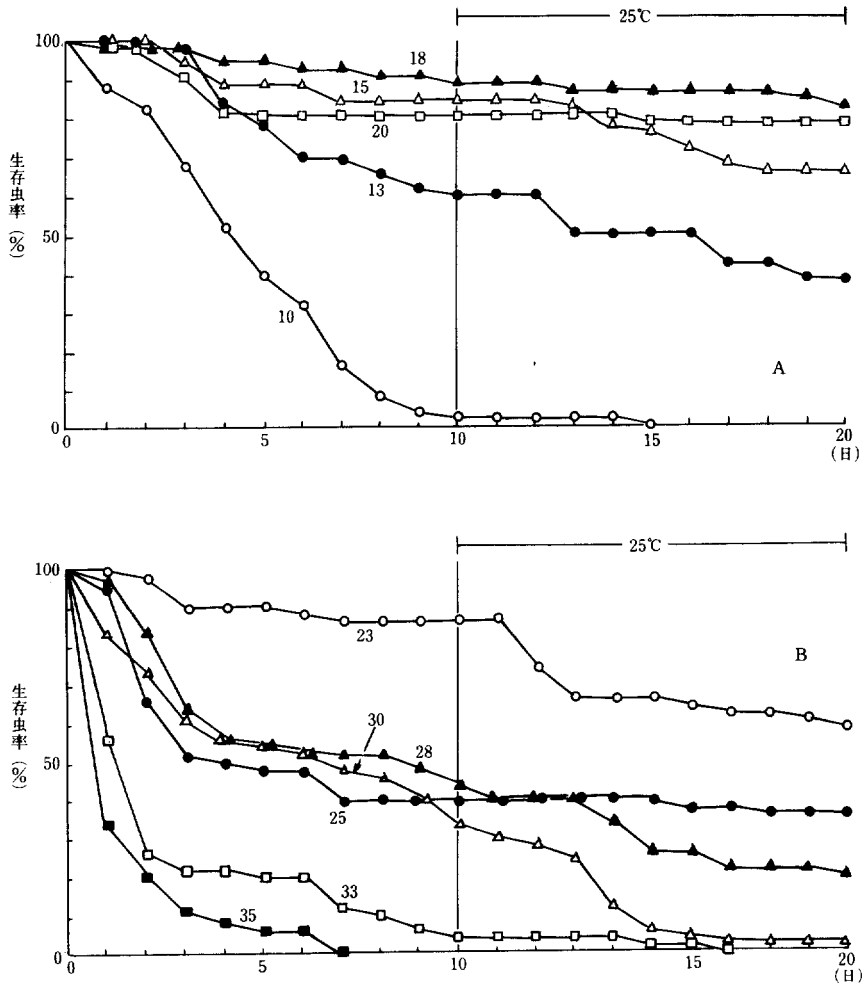
糖類水溶液に対する産卵性：

ヒメトビウンカに人工採卵容器により人工的に産卵させた場合、採卵液にどのような液体をもちいたらよいか、糖類について検討した。実験に供したヒメトビウンカは、25℃、長日条件(16L-8D)下でイネ芽出しを用いて継代飼育している埼玉県産で、イネ芽出しで羽化後7-14日間飼育した雌成虫を使用した。飼育容器は第1図Cのガラス管を用い、試験溶液は飼料の代わりにガ

第4表 各温度における生存率曲線の有意差検定

	10℃	13℃	15℃	18℃	20℃	23℃	25℃	28℃	30℃	33℃	35℃
10℃		*	**	**	**	**	-	-	-	-	-
13℃			*	*	*	*	-	-	-	-	*
15℃				-	-	-	**	**	**	**	**
18℃					-	-	**	**	**	**	**
20℃						-	**	**	**	**	**
23℃							**	**	**	**	**
25℃								-	**	**	**
28℃									**	*	*
30℃										-	-
33℃											-
35℃											

* 5%水準で有意差あり。
 ** 1%水準で有意差あり。
 - 有意差なし(P>0.05)。



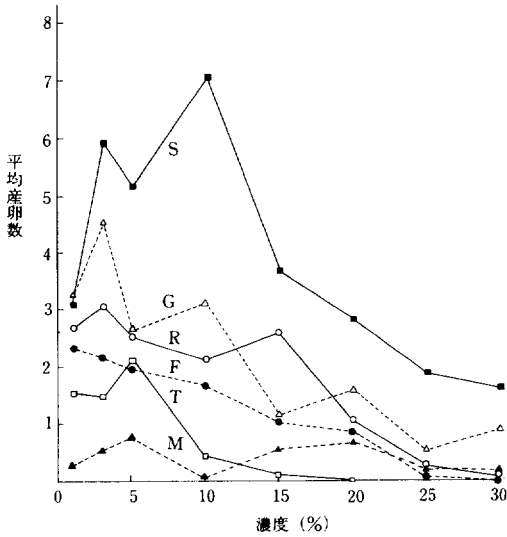
第16図 A, B 温度と生存虫率。各区とも初めの10日間は記載の温度で飼育, その後10日間を25℃に移して飼育, 図中の数字は初めの10日間飼育を行った温度, 5回くり返しの平均。

ラス管の両端にパラフィルム膜にはさんだ状態で与えた。なお容器は横になかした状態で用いた。供試虫数は各区50頭の雌成虫を個別別に容器に入れ, 24時間に産卵した卵の数を記録した。実験は25℃, 長日条件 (16L-8D) 下でおこなった。糖類として, スクロース, グルコース, フルクトース, マルトース, ラフィノース, トレハロースおよび可溶性デンプンを使用した。

ヒメトビウカ雌成虫の蒸留水に対する産卵数は第5表の通りである。スクロース, グルコース, フルクトー

ス, マルトース, ラフィノースおよびトレハロースの1-30%の水溶液に対する平均産卵数を第17図に示す。各種水溶液の中で一番産卵数が多かったのがスクロースで, その至適濃度は10%であった。グルコース水溶液で一番産卵数が多かったのは3%で, ラフィノース水溶液では3%, フルクトース水溶液では1%, トレハロース水溶液とマルトース水溶液では5%で, いずれもスクロースに比べて低濃度であった。

各濃度区で供試した雌成虫のうち産卵した雌成虫の割



第17図 糖類水溶液に対する平均産卵数。図中の記号は、S：スクロース、G：グルコース、R：ラフィノース、F：フルクトース、T：トレハロース、M：マルトースを示す。

第5表 パラフィルム膜をとおしての蒸留水（対照）に対するヒメトビウカ産卵性

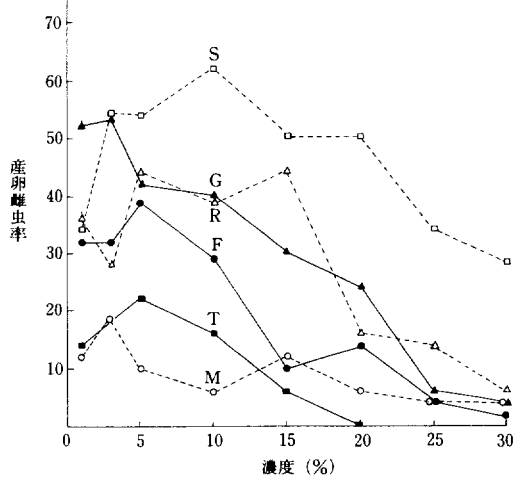
供試虫数*	全産卵数	平均産卵数	産卵した雌の数	産卵雌1頭あたりの産卵数
50	58	1.16	11	5.3

* 1容器の1雌の個体別調査を行った。

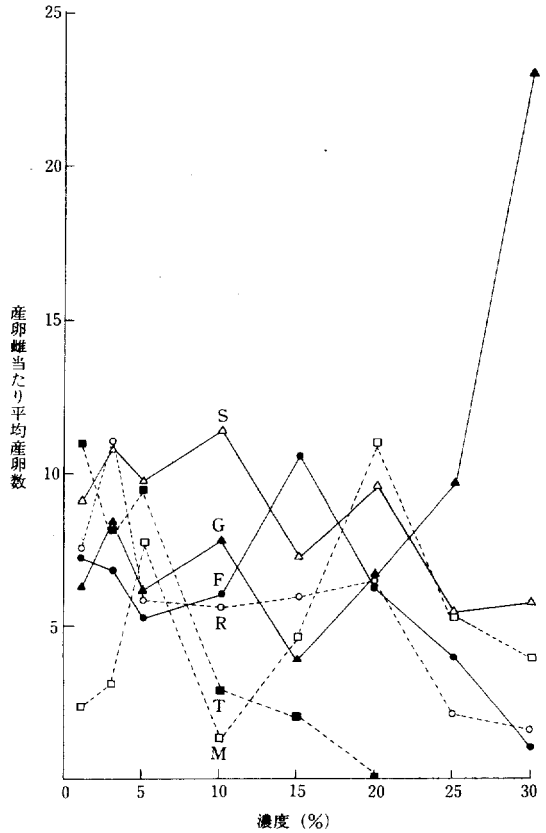
合を第18図に示す。スクロース水溶液では、3-30%までのいずれの濃度でも他の糖類より産卵した雌の割合が多かった。トレハロース水溶液の場合20%以上では産卵は全くみられなかった。また、産卵した雌あたりの平均産卵数は第19図の通りである。スクロース水溶液では10%区が、マルトース水溶液では20%区が、ラフィノース水溶液区では3%区が、トレハロース水溶液では1%区が、フルクトース区では15%区が、グルコース水溶液区では30%区が産卵した雌成虫あたりの平均産卵数が多いことが明らかになった。

ヒメトビウカの可溶性デンプン水溶液に対する産卵は、0.05-10%でいずれの水溶液にも産卵したが、対照の蒸留水とあまり変わらなかった（第20図）。

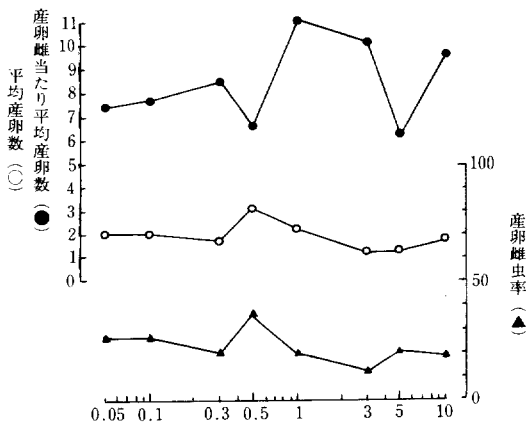
次に2種類の糖を混合した場合の産卵性をマルトースとスクロースの組み合わせで検討した。マルトースとス



第18図 糖類水溶液に対する産卵雌虫率。図中の記号は、S：スクロース、G：グルコース、R：ラフィノース、F：フルクトース、T：トレハロース、M：マルトースを示す。



第19図 糖類水溶液に対する産卵雌あたりの平均産卵数。図中の記号は、S：スクロース、G：グルコース、R：ラフィノール、F：フルクトース、T：トレハロース、M：マルトースを示す。



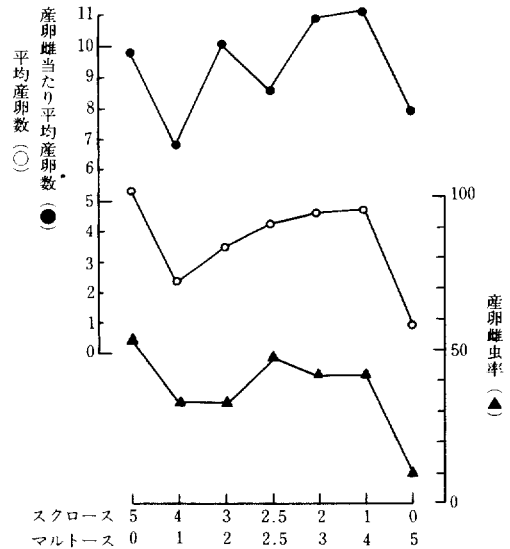
第20図 可溶性デンプン水溶液に対する産卵性。

クロースの濃度の合計を5%にした水溶液に産卵させた場合の結果を第21図に示す。ヒメトビウカはマルトース単独よりもマルトースにスクロースを加えることにより、産卵した雌の虫数が増加した。しかし、スクロース単独に比べると、産卵雌数は若干増加したものの平均産卵数では減少した。

今までのヒメトビウカの人工採卵容器により人工的に産卵させた場合、採卵液には5%のスクロース液を用いてきたが (MITSUHASHI and KOYAMA, 1971, 三橋・小山, 1972), 本実験の結果から平均産卵数, 産卵した雌成虫数および産卵した雌成虫当たり平均産卵数ともに、スクロース水溶液が適していることが確認された。また、使用濃度は10%が良いことが分かった。グルコース, ラフィノースおよびフルクトース水溶液では低濃度より高濃度になるにしたがい平均産卵数が減少し、25-30%では、対照の蒸留水より少なく、このことは低濃度では供試した糖類は、産卵を促進する方に働き、高濃度では逆に産卵を抑制する方に働いたと考えられた。以上の結果からヒメトビウカを採卵液に糖をもちいて人工採卵容器により産卵させる場合、スクロースの10%水溶液がよいことが明らかになった。しかし、液の粘性、とりあつかいなどを考慮すると、5%のスクロース水溶液を用いるのが実用的であると考えた (MITSUHASHI and KOYAMA, 1975)。

アミノ酸水溶液に対する産卵性：

人工採卵法ではヒメトビウカは5%スクロース液によく産卵するが人工飼料MED-1には全く産卵しない。そこで人工飼料の構成物質の中に産卵を抑制する物



第21図 スクロースとマルトース混合液に対する産卵性。

質があるのではないかと考え、糖の次に多く加えられているアミノ酸について検討した。供試したヒメトビウカおよび実験方法は、糖類水溶液に対する産卵性の実験の場合と同様である。供試虫数は各区50頭とし、個体別に24時間の産卵数を調査した。対照としては5%スクロース液を用いた。最初に人工飼料MED-1に含まれている23種のアミノ酸を最終濃度がMED-1に含まれている濃度と同じになるように5%スクロースに溶かして原液とし、次に原液のアミノ酸のみを1/2, 1/4, 1/8に減らした液を調製した。また、個々のアミノ酸の産卵抑制効果を調査するため、各アミノ酸1種ずつそれぞれが人工飼料MED-1に含まれている量と同じ濃度になるように5%スクロース液に溶解した液も調製した。また、この場合対照の5%スクロースと比較して有意差のあったアミノ酸については、その濃度を変えて産卵性を調査した。

人工飼料MED-1に加えられている23種類のアミノ酸と同量のアミノ酸を5%のスクロースに溶解して、ヒメトビウカの産卵性を調べた結果、この溶液には全く産卵しないことが明らかになった。アミノ酸の量を1/2にすると産卵する個体が現われ、アミノ酸濃度が減少するにしたがって産卵個体数と産卵数が多くなった。しかし、対照の5%スクロースと比較すると、アミノ酸量がMED-1に加えられている量の1/8でも全産卵数は1/3以下と少なかった (第6表)。

第6表 パラフィルム膜をとおしてのアミノ酸混合液に対するヒメトビウカの産卵性^a

水溶液	全産卵数	平均産卵数 ^b	産卵した雌の数	産卵雌1頭あたりの産卵数 ^b
5%スクロース (対照)	264	5.3±1.1	27	9.8±1.5
MED-1と同量のアミノ酸混合	0	0	0	0
MED-1の1/2のアミノ酸混合	22	0.4±0.2	5	4.4±1.4
MED-1の1/4のアミノ酸混合	58	1.2±0.4	13	4.5±1.4
MED-1の1/8のアミノ酸混合	86	1.7±0.6	10	8.6±1.4

a 雌50頭を供試

b 平均値±標準誤差。

第7表 パラフィルム膜をとおしての各1種類のアミノ酸に対するヒメトビウカの産卵性^a

アミノ酸の種類	5%のスクロースに加えた量 (mg/100ml)	全産卵数	平均産卵数 ^b	産卵した雌の数	産卵雌1頭あたりの産卵数 ^b
L-αアラニン	100	253	5.1±1.0	27	9.4±1.5
γ-アミノ-n-酪酸	20	238	4.8±0.8	27	8.8±1.0
L-アルギニン-塩酸塩	400	128	2.6±0.7*	19	6.7±1.3
L-アスパラギン	300	222	4.4±0.9	26	8.5±1.2
L-アスパラギン酸	100	196	3.9±0.9	25	7.8±1.3
L-システイン	50	218	4.4±1.0	25	8.7±1.5
L-シスチン塩酸塩	5	462	9.2±1.3*	35	13.2±1.4
L-グルタミン酸	200	124	2.7±0.7*	16	8.4±1.4
L-グルタミン	600	196	3.9±0.8	26	7.5±1.2
グリシン	20	291	5.8±1.2	28	10.4±1.6
L-ヒスチジン	200	233	4.7±1.1	21	11.1±2.0
DL-ホモセリン	800	207	4.1±1.1	21	9.9±2.0
L-イソロイシン	200	255	5.1±1.1	26	9.8±1.5
L-ロイシン	200	159	3.2±0.8	24	6.6±1.4
L-リジン-塩酸塩	200	148	3.0±1.0	23	6.4±1.4
L-メチオニン	100	214	4.3±1.1	20	10.7±2.0
L-フェニルアラニン	100	172	3.4±0.9	20	8.6±1.8
L-プロリン	100	198	4.0±0.8	24	8.3±1.2
DL-セリン	100	271	5.6±0.9	27	10.3±1.0
L-スレオニン	200	213	4.2±0.9	27	8.1±1.3
L-トリプトファン	100	149	3.0±0.7	20	7.5±1.1
L-チロシン	20	34	0.7±0.3*	8	4.7±1.7
L-バリン	200	85	1.7±0.6*	13	6.5±1.5
対照 (5%スクロース水溶液)		264	5.3±1.1	27	9.8±1.5

a 雌50頭を供試。

b 平均値±標準誤差。

* 対照と比較して5%水準で有意差のあったもの(t-検定)。

5%のスクロース液に加えた各1種類のアミノ酸に対するヒメトビウカの産卵性は第7表に示す。ヒメトビウカは各アミノ酸を含むスクロース液すべてに対して産卵した。対照の5%スクロース液と比較して有意差のあったアミノ酸では、アルギニン、グルタミン酸、チロ

シンおよびバリンの4種が産卵抑制作用を示し、逆にシスチンは産卵を促進する作用をもつことが明らかになった(第7表)。

以上の実験で有意差のあったアミノ酸、アルギニン、シスチン、グルタミン酸、チロシンおよびバリンの5種

第8表 パラフィルム膜をとおしてのアルギニン、シスチン、グルタミン酸、チロシンおよびバリンの各濃度区に対するヒメトビウカの産卵性^a

アミノ酸の種類	5%のスクロース に加えた量 (mg/100ml)	全産卵数	平均産卵数 ^b	産卵した 雌の数	産卵雌1頭 あたりの 産卵数 ^b
L-アルギニン-塩酸塩	100	203	4.1±1.0	22	9.2±1.8
	200	133	2.7±0.8	19	7.0±1.7
	400*	128	2.6±0.7	19	6.7±1.3
	800	67	1.3±0.6	11	6.1±2.0
	1600	79	1.6±0.7	9	8.8±3.0
L-シスチン塩酸塩	1.25	193	3.9±1.0	26	7.4±1.7
	2.5	232	4.6±1.1	30	7.7±1.6
	5*	462	9.2±1.3	35	13.2±1.4
	10	405	8.1±1.3	35	11.6±1.4
	20	171	3.4±0.6	27	6.3±0.8
L-グルタミン酸	50	96	1.9±0.5	19	5.1±0.9
	100	191	3.8±1.0	18	10.6±2.1
	200*	124	2.7±0.7	16	8.4±1.4
	400	29	0.6±0.3	6	4.8±1.9
L-チロシン	5	182	3.6±0.7	25	7.3±1.0
	10	116	2.3±0.8	19	6.1±1.7
	20*	34	0.7±0.3	8	4.7±1.7
	40	81	1.6±0.5	16	5.1±1.0
L-バリン	50	171	3.4±0.9	17	10.1±1.7
	100	78	1.6±0.5	18	4.3±1.1
	200*	85	1.7±0.6	13	6.5±1.5
	400	201	4.0±1.0	21	9.6±1.9
	800	122	2.4±1.0	12	10.0±3.1

a 50頭を供試。

b 平均値±標準誤差。

* 人工飼料 MED-1 に加えられている濃度。

についての各濃度区に対するヒメトビウカの産卵性は第8表に示す。アルギニン、グルタミン酸、チロシンおよびバリンの4種類のアミノ酸は濃度を変えても産卵抑制作用をしめた。産卵を促進する作用を示したシスチンは人工飼料 MED-1 に加えられている濃度で産卵数が最も多く、それより低濃度あるいは高濃度になるにつれて産卵数は減少した。

人工飼料 MED-1 に加えられている23種類のアミノ酸のヒメトビウカに対する産卵性は、アルギニン、グルタミン酸、チロシンおよびバリンの4種類が産卵抑制作用を示した。また、シスチンは産卵を促進する作用を示した。ヒメトビウカが人工飼料 MED-1 のアミノ酸混合液には全く産卵しないのは、この4種類のアミノ酸が産卵を抑制する作用として働き、シスチンの産卵を促進する作用より強く働いたため産卵ができなかった

めと考えた。MED-1 のアミノ酸混合液の濃度を希釈していくにしたがい産卵数が増加したのは、産卵を阻害する、アルギニン、グルタミン酸、チロシンおよびバリンの4種類のアミノ酸濃度が減少したため、産卵抑制作用が減少し産卵ができたと考えた。シスチンは単独では、ヒメトビウカの産卵を促進する作用があり、その最適濃度は5-10mg/100mlであることが明らかになったが、産卵を抑制するアミノ酸との相互の作用は、今後の検討課題として残された。アラニン、アミノ酪酸、アスパラギン、アスパラギン酸、システイン、グルタミン、グリシン、ヒスチジン、ホモゼリン、イソロイシン、ロイシン、リジン、メチオニン、フェニルアラニン、プロリン、セリン、スレオニンおよびトリプトファン^cの18種類のアミノ酸は、ヒメトビウカの産卵に対して抑制あるいは促進する作用を示さなかった。これらのアミノ酸の濃度

を変えた場合の影響も調査する必要がある。また、植物の根からこれらのアミノ酸を吸わせた場合、その植物に対するヒメトビウカの産卵性に影響を与えるかどうかは、この昆虫の新しい防除法開発に関する問題として興味がある。

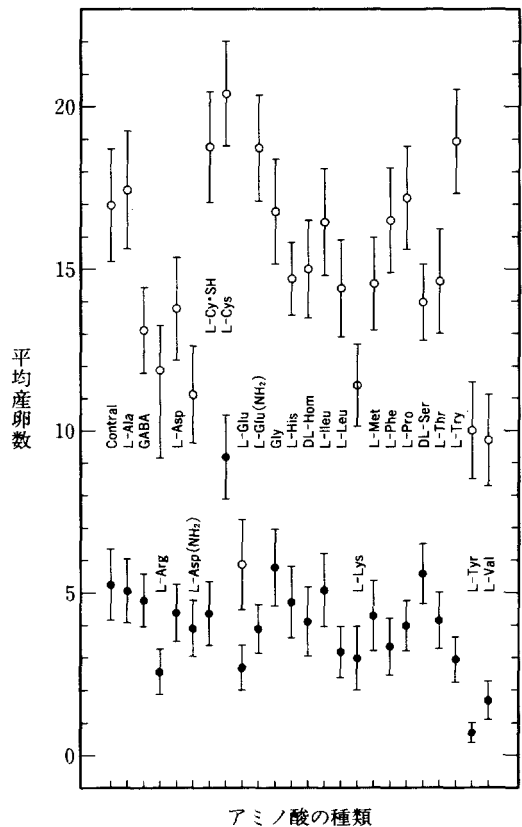
アミノ酸で処理したイネ芽出しに対する産卵性：

アミノ酸水溶液にパラフィルム膜を通して産卵させた場合、アルギニン、グルタミン酸、チロシン、およびバリン液はヒメトビウカの産卵に対して抑制的に働き、逆にシスチン液は産卵を促進した。このような現象が、イネ芽出しを通して、これらのアミノ酸をヒメトビウカに与えた場合どう変わるかを調べた。供試したヒメトビウカはアミノ酸溶液に対する産卵に使用したのと同系統を使用した。実験に用いたアミノ酸は、各1種ずつそれぞれがMED-1に加えられている量と同じ濃度になるように蒸留水に溶解しpHを7に調節した。約4cmに伸びたイネ芽出し(日本晴)1本を小型試験管に入れ、この中にアミノ酸溶液を根が浸る程度入れ、25℃、長日条件下で、24時間保護する。24時間経過した後この中に、羽化7-14日目の雌成虫を1頭入れ、さらに24時間飼育して、イネ芽出しに産まれた卵を実体顕微鏡下で調べた。供試虫数は各区35頭の雌成虫を個別に用いた。対照としては、蒸留水に浸したイネ芽出しを用いて、同一条件で調査した。

23種類の各アミノ酸で処理したイネ芽出しに対するヒメトビウカの産卵性を第22図に示す。アミノ酸を処理しない対照の蒸留水区と比較すると、グルタミン酸を処理した区は極端に産卵数が少なく、アルギニン、リジン、チロシンおよびバリンを処理した区でも有意に少なくなっていることが明らかになった。また、シスチンを処理した区は、23種類のアミノ酸の中で最も産卵数が多いことが分かった。その他のアミノ酸は、対照の蒸留水区と有意差はなかった。

個々に調べた23種類のアミノ酸のうち、アルギニン、グルタミン酸、リジン、チロシンおよびバリンはヒメトビウカの産卵を顕著に抑制した。また、シスチンは産卵を促進した。先に、パラフィルム膜を通して各種アミノ酸溶液に対する産卵性を検討した結果では、アルギニン、グルタミン酸、チロシンおよびバリンが産卵を抑制し、シスチンが産卵を促進した。パラフィルム膜を通して直接アミノ酸液に産卵させた場合と一度イネ芽出しを通して産卵させた場合の、ヒメトビウカの産卵抑制あるいは促進作用がリジン以外は一致した。リジンは直接産卵させた場合対照と有意差はなかったが産卵抑制的に

働いたアミノ酸である。このことは、イネ芽出しの根から吸い上げたアミノ酸が作用してヒメトビウカの産卵を抑制あるいは促進したと考えられる。また、イネ芽出しに対する産卵数がパラフィルム膜に比較して多いが、その理由は明らかでない。これらの結果は或る種のアミノ酸または同じような作用をもつ物質を土壌に施用して、ヒメトビウカの産卵を制御する方法の開発につながると思われる。



第22図 各種アミノ酸で処理したイネ芽出しに対するヒメトビウカの産卵性。○：イネ芽出し，縦線は平均産卵数±標準誤差。●：パラフィルムを通してアミノ酸水溶液に産卵。アミノ酸の略号は第1表参照。

5) 翅型に及ぼす飼料の影響

一般にウンカ類では密度を高めて飼育すると長翅型が出現し、逆に低密度で飼育すると短翅型が出現しやすいことが知られている。ヒメトビウカを人工飼料で飼育した場合 (MITSUHASHI and KOYAMA, 1971; 三橋・小山, 1972), MED-1 飼料では個体飼育を行っても、短

翅型はまったく出現しなかった。しかし、飼料の組成を変えて飼育すると短翅型を出現させることができた(第1表 MMD-1)。飼育方法は、MED-1 飼料での個体飼育と同様である。この MMD-1 飼料では短翅型の出現率はイネ芽出し飼育の場合と大差なかった(第9表)。なお短翅型はほとんど雌においてみられ、雄の短翅型はイネ芽出し飼育でも非常に出現率が低いので、以後、雌の短翅型だけを扱うことにした。

アブラムシの場合、人工飼料では有翅型が出現しやすく、飼料の栄養価を低くすると、無翅型が出現すると報告されている(MITTLER, 1971)。この場合、無翅型が出現するような飼料で飼育されたアブラムシは、成長が悪いといわれている。MMD-1 飼育で得られたヒメトビウカ短翅型がアブラムシの無翅型のように栄養失調型であるか否かを調べるために長翅型との比較を行った(第10表)。その結果産卵数は少ないが、発育、成虫の生存期間には差がなく、この結果から栄養素欠乏のため、十分な長さの翅が発育できなかったとは考えられなかった。

そこで上の2種類の飼料の組成を比較検討することにより、飼料中のどの要因が、雌短翅型の出現に関与しているかを追求した。まず、MED-1 飼料を基本にして、その無機塩を MMD-1 飼料のそれで置き換えたが、短翅型は出現しなかった。同様にアミノ酸あるいは微量金属を交換した場合も短翅型は生じなかった。しかし、ビタミンを交換すると短翅型が出現するようになった(第11表)。したがってビタミンの量あるいはバランスによ

第9表 人工飼料およびイネ芽出し飼育による短翅型出現率

飼料	調査* 個体数	雌長翅型 (率)	雌短翅型 (率)	雄長翅型 (率)	雄短翅型 (率)
MMD-1	46	12 (26.1%)	13 (28.3%)	21 (45.6%)	0 (0%)
イネ芽出し	221	35 (15.8%)	68 (30.8%)	118 (53.4%)	0 (0%)

* 個体飼育によりえられた成虫数

第11表 部分的に変更した MED-1飼育による短翅型出現率。

MMD-1と交 換した要素群	雌成虫数*	雌長翅型(率)	雌短翅型(率)
無機塩	4	4(100%)	0(0%)
アミノ酸	5	5(100%)	0(0%)
微量金属	8	8(100%)	0(0%)
ビタミン	9	6(66.7%)	0(33.3%)

* 各区100頭個体飼育してえられた雌成虫数。

って、翅型が影響を受けることが推察された。MED-1 と MMD-1 飼料の組成の違いは第1表に示す様に、リポフラビンと葉酸にあり、MED-1 飼料が両ビタミンを多量に含有していることである。

そこで次に MED-1 飼料のリポフラビンの量を MMD-1 飼料のそれと同じ量に減らして実験を行なった。また同様に MED-1 飼料の葉酸を MMD-1 飼料のレベルまで減らした実験も行なった。結果は第12表の通りで、葉酸を減らした場合だけ短翅型が出現した。以上の結果から、ヒメトビウカでは、翅型を決定する要因として葉酸が重要であることが判明した。

次に葉酸の量を加減することにより、短翅型出現率を変化させることができるか否かを検討するために、MED-1 飼料の葉酸濃度を0-10mg/100mlの10段階で実験を行った。その結果は第13表の通りで、短翅型は葉酸が0.75~0.05mg/100mlの濃度範囲にある時にだけ出現することが判明した。

以上の様にヒメトビウカにおいて、葉酸は短翅型を出現させる要因の一つと考えられるが、葉酸単独の作用ばかりでなく、葉酸と他のビタミン、あるいはアミノ酸のバランスなども翅型に影響を与える可能性がある。それらは今後研究されねばならない問題として残されている。

6) 短日条件下での人工飼育

これまで行われたウンカ・ヨコバイ類の人工飼料による飼育は飼育法、栄養要求などの研究が目的であったので、長日条件下で実験が行なわれており、短日条件下での

第10表 短翅型と長翅型の比較

飼料	翅型	調査 個体数	平均*1 産卵数	平均成虫生 存期間(日)	平均幼虫 期間(日)
MMD-1	短翅	10	63.8	17.7	23.6
MMD-1	長翅	10	111.5	17.4	23.2
イネ芽出し	短翅	20	87.6	21.8*2	-
イネ芽出し	長翅	20	109.9	18.8*2	-

*1 パラフィルム膜を通して5%スクロースへの産卵。

*2 成虫になってから人工飼育(MMD-1)。

第12表 リポフラビンおよび葉酸を減らした MED-1飼料による短翅型出現率

飼料	雌成虫数*	雌長翅型 (率)	雌短翅型 (率)
MED-1リポフラビン 0.5mg/100ml	2	2(100%)	0(0%)
MEF-1葉酸 0.5mg/100ml	7	5(71.4%)	2(28.6%)

* 各区100頭個体飼育してえられた雌成虫数。

第13表 MED-1における葉酸の量と短翅型出現率

葉酸(mg/100ml)	雌成虫数*	雌長翅型(%)	雌短翅型(%)
10	7	7(100%)	0(0%)
5	4	4(100%)	0(0%)
1	12	12(100%)	0(0%)
0.75	11	9(81.8%)	2(18.2%)
0.5	7	5(71.4%)	2(28.6%)
0.1	7	6(85.7%)	1(14.3%)
0.05	3	2(66.7%)	1(33.3%)
0.01	4	4(100%)	0(0%)
0.005	7	7(100%)	0(0%)
0	2	2(100%)	0(0%)

* 各区100頭個体飼育してえられた雌成虫数。

飼育例はない。短日条件では多くの昆虫が発育遅延を起すことが知られており、ウンカ・ヨコバイ類では、古くから日長条件と発育の関係が調べられて、とくにヒメトビウンカについては、短日条件が幼虫の発育を遅延させ、休眠状態を誘起することが報告されている(三宅, 1932a, b; KISIMOTO, 1958)。

これまでの実験では、自然光を使ったり、温度が一定でなかったり、飼料にイネを用いたため栄養条件が一定でなかったため実験条件の再現が困難であった。そこで、人工光、恒温室、人工飼料を用いてこれらの条件をより厳密に設定し、短日条件がヒメトビウンカの幼虫発育に及ぼす影響を検討した。

実験に供したヒメトビウンカは、1975年9月埼玉県農業試験場で採集後実験室内でイネ芽出しを用いて、25℃、長日条件(16L-8D)下で、小型の試験管で継代飼育した個体群である。

照明は植物育成用の蛍光灯を用い、タイマーにより長日条件(16L-8D)および短日条件(8L-16D)の2種の照明条件を設定した。明るさは飼育容器の位置で100luxであった。温度は16L-8D、8L-16Dともに25℃に設定した。

飼育方法はヒメトビウンカの場合は、第2図の人工採卵容器を用いて採卵し、卵期間中は16L-8Dに保護し、ふ化した幼虫は24時間以内にそれぞれの実験条件下移し、人工飼料を与えた。人工飼料にはMED-1を用い、飼料は1日おきに取り換えた。供試虫数は各区100頭とし、個体飼育を行ない、その発育状態を調べた。

ヒメトビウンカを16L-8Dおよび8L-16Dで飼育した場合の各齢期間は第14表の通りである。8L-16Dでは16L-8Dにくらべて、いずれの齢期間も長くなった。とくに8L-16Dの4齢では齢期間の個体差が大きく、

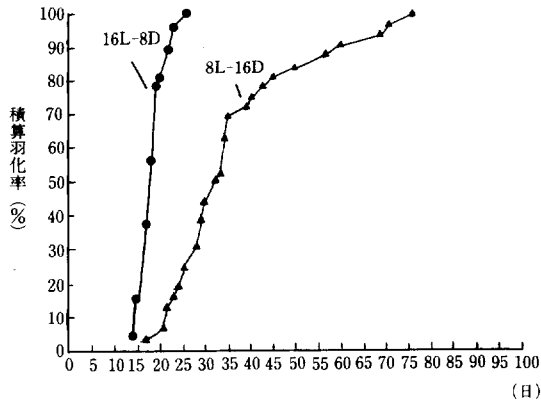
第14表 ヒメトビウンカの長日条件(16L-8D)と短日条件(8L-16D)下での各齢期間

	16L-8D	8L-16D
1 齢幼虫		
最短(日)	3	3
最長(日)	6	10
調査数(頭)	58	60
平均±標準偏差(日)	4.5±1.1	5.7±1.9
2 齢幼虫		
最短(日)	1	2
最長(日)	5	10
調査数(頭)	43	49
平均±標準偏差(日)	3.1±1.2	4.8±1.6
3 齢幼虫		
最短(日)	2	2
最長(日)	9	19
調査数(頭)	41	44
平均±標準偏差(日)	3.4±1.2	6.8±3.1
4 齢幼虫		
最短(日)	2	4
最長(日)	6	39
調査数(頭)	33	34
平均±標準偏差(日)	3.4±1.0	13.7±11.0
5 齢幼虫		
最短(日)	3	4
最長(日)	8	11
調査数(頭)	27	32
平均±標準偏差(日)	4.4±1.2	6.2±1.7
1-5 齢(全幼虫期間)		
最短(日)	14	17
最長(日)	26	76
調査数(頭)	27	32
平均±標準偏差(日)	18.6±2.6	36.6±15.2

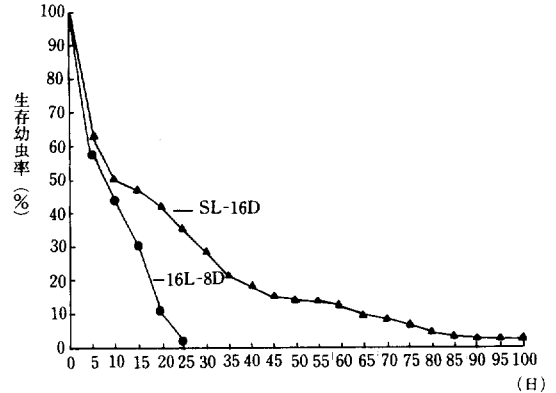
また平均齢期間は顕著に長くなった。積算羽化率は第23図に示す通りであった。この図から16L-8Dでは羽化は比較的斉一に起こるが8L-16Dでは非常に個体差が大きく、全体として羽化までの日数(全幼虫期間)が、16L-8Dに比べて顕著に長くなっていることが分かる。

生存幼虫率は第24図のように変化した。この図から分かるように16L-8Dではふ化後27日までに成虫になるか、幼虫で死亡した。一方、8L-16Dでは数パーセントではあるが100日以上も4齢幼虫のまま生存したが5齢まで発育しないで死亡した個体がみられた。

ヒメトビウンカについては、温度25℃以下、短日条件で休眠し、主として4齢幼虫で越冬することが報告されている(三宅, 1932, a, b)。またKISIMOTO(1958)はヒメトビウンカを1齢から20~22℃で飼育した場合、日長が8~10時間で休眠率が100%になり、休眠した個体は4齢期間が延び、その変異は非常に大きくなることを



第23図 ヒメトビウカの長日条件 (16L-8D) と短日条件 (8L-16D) 下での積算羽化率。



第24図 ヒメトビウカの長日条件 (16L-8D) と短日条件 (8L-16D) 下での生存幼虫率。

示した。今回の人工飼料によるヒメトビウカ幼虫の發育遅延現象は三宅 (1932a, b) および KISIMOTO (1958) の結果と一致した。このことから人工飼料飼育でも自然条件下と同じように休眠が起こること、またヒメトビウカの休眠誘起には栄養条件より、日長条件が強く働いていることが判明した。

b トビウカの人工飼育

トビウカは、ヒメトビウカの人工飼育法を適用した場合、幼虫初期にほとんどの供試虫が死亡した。そこでヒメトビウカの人工飼料は、トビウカには適していないのではないかと考え、処方を変えて調整した人工飼料で飼育したが、いずれの飼料でも幼虫初期に死亡する個体が多かった。そこでトビウカの飼育環境を変えて実験した結果、飼育容器の底に湿ったろ紙を敷いて湿度を高くすることにより、トビウカはヒメトビウカと同様に完全合成飼料でふ化幼虫から成虫まで飼育できることがわかった。実験に供したトビウカは、イネ芽出しを用いて25℃、長日条件 (16L-8D) 下で1975年5月より継代飼育している埼玉県産を使用した。人工飼育は25℃長日条件 (16L-8D) 下で行なった。人工飼料は、第1表に示したMED-1とMMD-1を使用し、引き伸ばしたフジ・シーロフィルムを通して吸汁させた。人工飼料は1日おきに取り換え、供試虫数は各区100頭とし、個体飼育を行なって、その發育状態を調べた。

湿ったろ紙を敷かない容器でMED-1飼料を用いて飼育した場合は、数日で死亡する個体が多かった。湿ったろ紙を敷いた容器を用い、MED-1あるいは、MMD-1を用いて飼育した場合はイネ芽出し飼育に比べて初

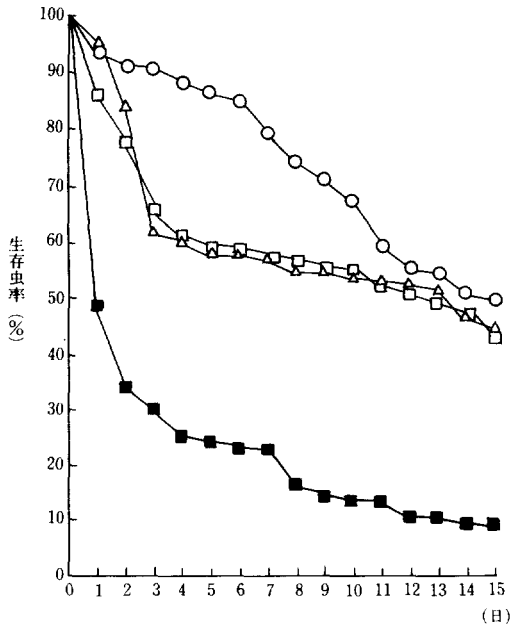
期に死亡する幼虫がやや多かったが、12日目以後はイネ芽出し飼育でも人工飼育でもほとんど差がなくなった。人工飼料MED-1とMMD-1とでは生存率に差がなかった (第25図)。

湿ったろ紙を敷かなかった場合は、100頭中98頭が幼虫期に死亡したが、2頭は成虫まで發育した。湿ったろ紙を敷いて飼育した個体の各齢期間をみると、イネ芽出し飼育にくらべ、人工飼料MED-1およびMMD-1ともに各齢において發育がややおくれることがわかった (第26図)。しかし、この人工飼料でえられた成虫は外観上イネ芽出しで育った成虫と差がなかった。

以上の実験によりトビウカは、ヒメトビウカと同様に液体飼料を吸わせてふ化幼虫からまったく植物に接触させることなく成虫まで飼育できることが分かった。トビウカの人工飼育法とヒメトビウカの人工飼育法の異なる点はただ一つ、トビウカは、容器の底に湿ったろ紙を敷くことが必要なことである。このことからトビウカは乾燥に敏感で、高湿度条件を要求すると思われる。

昆虫の栄養要求の特徴の一つにステロール要求があり、一般に昆虫自体はステロールを合成できないといわれている。トビウカは、ヒメトビウカと同様に飼料にステロールを加えなくても飼育することができた。この理由については共生微生物によるステロールの合成が考えられるが、この過程についてはまだ明らかにされていない。

トビウカを化学的に既知な物質だけからなる飼料で飼育できるようになったので、今後その發育に最適なアミノ酸、ビタミン、微量元素、無機塩ならびに糖の

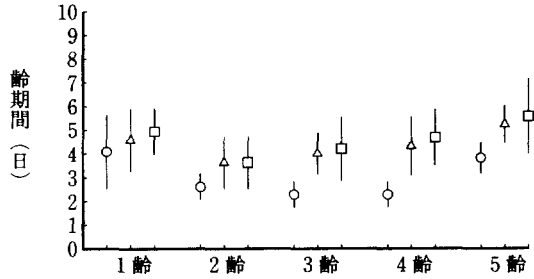


第25図 トビイロウンカ幼虫のふ化後15日間における生存率曲線。○：イネ芽出し（対照），■：湿ったろ紙を敷かない容器でMED-1飼料，△：湿ったろ紙を敷いた容器でMED-1飼料，◇：湿ったろ紙を敷いた容器でMMD-1飼料。各区供試虫数100頭。

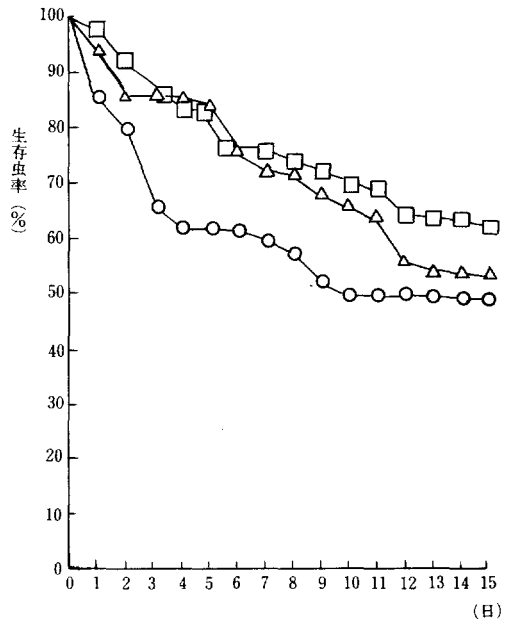
種類や濃度および虫体内での代謝や共生微生物が果たしている役割なども詳細に研究できると思われる。また国外からの飛来との関係で長翅型、短翅型の出現と飼料との関係、ウィルスの人為的獲得とトビイロウンカのバイオタイプの問題などの研究に有効な手段となるであろう。

c セジロウンカの人工飼育

実験に供したセジロウンカは、1979年8月農業技術研究所（東京西ヶ原）構内の草地より採集し、イネ芽出しを用いて25℃長日条件（16L-8D）で継代飼育していたものである。飼育容器は、トビイロウンカと同じで、第1図Bの容器の底に湿ったろ紙を敷いたものを使用した。セジロウンカは、トビイロウンカやヒメトビウンカの採卵方法ではあまり産卵しないので、イネ芽出した産卵させた卵を、ふ化前にとりだし、湿ったろ紙の上でふ化させ、それぞれの容器に移した。人工飼料はヒメトビウンカやトビイロウンカに用いられているMED-1とMMD-1を使用した。人工飼育は25℃長日条件（16L-8D）または短日条件（8L-16D）下で行なった。人工飼料は、フジ・シーロンフィルムを通して吸汁させた。供



第26図 トビイロウンカの各齢期間
○：イネ芽出し（対照），△：MED-1飼料，□：MMD-1飼料，人工飼育には湿ったろ紙を敷いた容器を使用した。縦線は標準偏差を示す。



第27図 セジロウンカ幼虫のふ化後15日間の生存率曲線。
○：イネ芽出し（対照），△：MED-1飼料，□：MMD-1飼料，人工飼育には湿ったろ紙を敷いた容器を使用した。

試虫数は各区50頭あるいは100頭とし、個体飼育を行ない、その发育状態を調べた。

セジロウンカの幼虫期における死亡は、人工飼料MED-1とMMD-1で差がなく、幼虫初期に死亡する個体がやや多かった。人工飼料とイネ芽出し飼育を比較すると、イネ芽出し飼育では幼虫初期に死亡する個体が多く、イネ芽出し飼育より人工飼育の方が生存率が高いことがわかった（第27図）。

次に幼虫発育についてみると、長日条件下で飼育した場合イネ芽出し飼育にくらべて人工飼料MED-1およびMMD-1飼料とも各齢において齢期間が多少長くなる傾向がみられた。また、人工飼料MMD-1はMED-1より1齢期間をのぞいて発育がややおくれる傾向もみられた(第28図)。

セジロウンカを人工飼料MED-1を用いて短日条件(8L-16D)下で飼育した場合の各齢期間は第15表の通りである。各齢期間は長日条件と短日条件で差がなかった。また、短日条件でも羽化は齊一におこった(第29図)。生存幼虫率は第30図のように変化した。すなわちセジロウンカでは、長日条件と短日条件下で生存幼虫率に差がみられなかった。

以上の実験によりセジロウンカは、ヒメトビウンカやトビイロウンカと同様に液体飼料を吸わせてふ化幼虫から全たくイネに接触させることなく成虫まで発育するこ

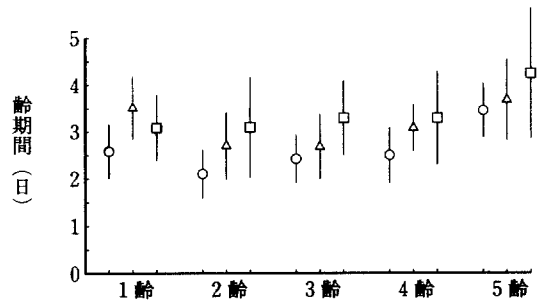
とが明らかになった。

セジロウンカはヒメトビウンカやトビイロウンカと同様に飼料にステロールを加えなくても飼育することができた。この理由はヒメトビウンカやトビイロウンカと同様に体内にいる共生微生物によってステロールが合成、供給されるためと考えられる。

セジロウンカは幼虫期に休眠しないことが知られている(三宅・藤原, 1962; 奥村, 1963)。本実験において、セジロウンカの幼虫発育は短日条件によって遅延するこ

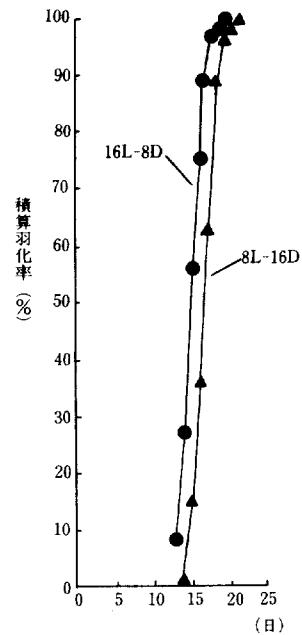
第15表 セジロウンカの長日条件(16L-8D)と短日条件(8L-16D)下での各齢期間

	16L-8D	8L-16D
1 齢幼虫		
最短(日)	2	2
最長(日)	5	6
調査数(頭)	77	82
平均±標準偏差(日)	3.4±0.9	3.9±0.8
2 齢幼虫		
最短(日)	1	2
最長(日)	6	4
調査数(頭)	72	76
平均±標準偏差(日)	2.8±0.9	2.7±0.6
3 齢幼虫		
最短(日)	1	1
最長(日)	4	6
調査数(頭)	70	75
平均±標準偏差(日)	2.6±0.7	3.0±0.9
4 齢幼虫		
最短(日)	1	1
最長(日)	5	5
調査数(頭)	67	75
平均±標準偏差(日)	2.9±0.8	3.0±0.7
5 齢幼虫		
最短(日)	2	2
最長(日)	6	7
調査数(頭)	64	73
平均±標準偏差(日)	3.8±0.8	4.4±0.9
1-5 齢(全幼虫期間)		
最短(日)	13	14
最長(日)	20	20
調査数(頭)	64	73
平均±標準偏差(日)	15.5±1.5	17.0±1.3

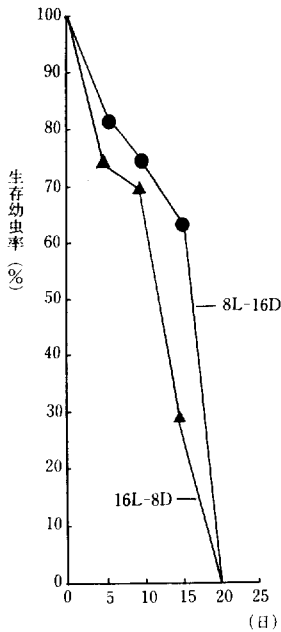


第28図 セジロウンカの各齢期間

○:イネ芽出し(対照), △:MED-1飼料, □: MMD-1飼料, 人工飼育には湿ったろ紙を敷いた容器を使用した。縦線は標準偏差を示す。



第29図 セジロウンカの長日条件(16L-8D)と短日条件(8L-16D)下での積算羽化率。



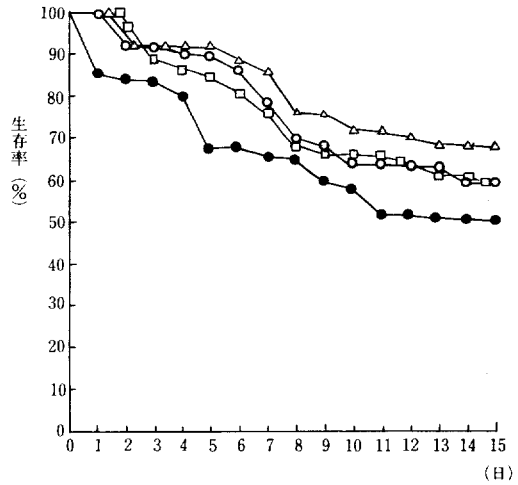
第30図 セジロウカの長日条件 (16L-8D) と短日条件 (8L-16D) 下での生存幼虫率。

とがなかった。したがって、人工飼育条件下でも短日条件により休眠することはないとつてよかろう。

セジロウカを完全合成飼料で飼育できることが明らかになったので、今後セジロウカについても栄養要求や共生微生物の果たしている役割について手掛かりがえられると思われる。また、嗜好あるいは選択の実験から摂食刺激あるいは抑制物質も明らかにされるとされる。

d セジロウカモドキの人工飼育

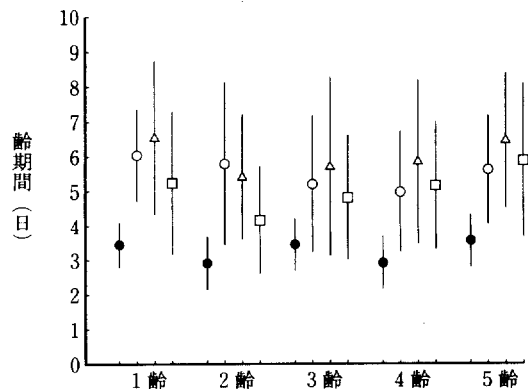
実験に供したセドロウカモドキは、1980年10月農業技術研究所 (茨城県筑波) 構内の草地より採集し、実験室内でイネ芽出しを用いて、25℃長日条件 (16L-8D) 下で継代飼育していたものである。人工飼育容器は、トビイロウンカ・セジロウカの容器と同様で、第1図Bに示すように、容器の底に湿った紙を敷いて用いた。人工飼育は25℃長日条件 (16L-8D) および短日条件 (8L-16D) 下で行った。人工飼育は、MED-1、MED-4 および MMD-1、の3種類を用いた (第1表)。人工飼料は、引き伸ばしたフジ・シーロンフィルムを通して吸汁させ、1日おきに取り換えた。供試虫数は各区50頭あるいは100頭とし、個体飼育を行い、その発育状態を調べた。長日条件で飼育した場合のセジロウカモドキの幼虫期における生存虫率は、人工飼料 MED-1、および MMD



第31図 セジロウカモドキ幼虫のふ化後15日間の生存率曲線。
●：イネ芽出し (対照)，○：MED-1 飼料，△：MED-4 飼料，□：MMD-1 飼料，人工飼育には湿ったろ紙を敷いた容器を使用した。

-1を比較すると、MED-1とMMD-1では差がなく、MED-4がMED-1およびMMD-1よりやや生存虫率が高かった。人工飼料とイネ芽出し飼育を比較すると、イネ芽出し飼育では幼虫初期に人工飼料より多くの個体が死亡し、イネ芽出し飼育より人工飼育の方が生存虫率が高いことが明らかになった (第31図)。

次に幼虫の齢期間についてみると、イネ芽出し飼育にくらべ人工飼料 MED-1、MED-4 および MMD-1 飼料とも各齢において齢期間が長くなった。また、人工飼



第32図 セジロウカモドキの各齢期間
●：イネ芽出し (対照)，○：MED-1 飼料，△：MED-4 飼料，□：MMD-1 飼料，人工飼育には湿ったろ紙を敷いた容器を使用した。縦線は標準偏差を示す。

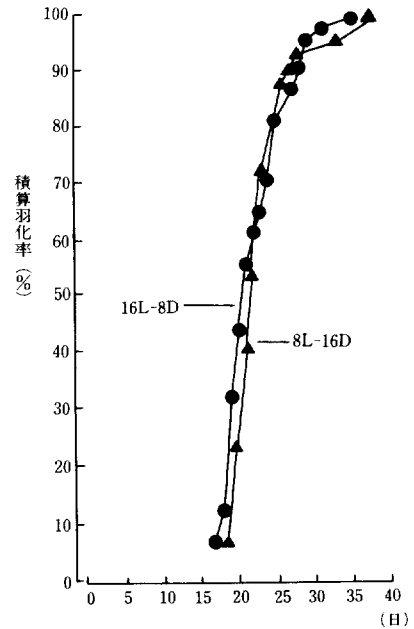
第16表 セジロウンカモドキの長日条件 (16L-8D) と短日条件 (8L-16D) 下での各齢期間

	16L-8D	8L-16D
1 齢幼虫		
最短 (日)	2	3
最長 (日)	15	12
調査数 (頭)	62	70
平均±標準偏差 (日)	5.9±2.3	5.9±1.6
2 齢幼虫		
最短 (日)	1	2
最長 (日)	10	7
調査数 (頭)	57	55
平均±標準偏差 (日)	4.4±2.0	4.4±1.4
3 齢幼虫		
最短 (日)	1	1
最長 (日)	10	10
調査数 (頭)	53	52
平均±標準偏差 (日)	4.1±1.7	4.2±1.9
4 齢幼虫		
最短 (日)	2	2
最長 (日)	9	8
調査数 (頭)	46	43
平均±標準偏差 (日)	4.2±1.5	4.4±1.5
5 齢幼虫		
最短 (日)	3	1
最長 (日)	13	8
調査数 (頭)	45	41
平均±標準偏差 (日)	4.8±1.9	4.8±1.4
1-5 齢 (全幼虫期間)		
最短 (日)	17	18
最長 (日)	35	37
調査数 (頭)	45	41
平均±標準偏差 (日)	22.2±4.1	22.9±4.3

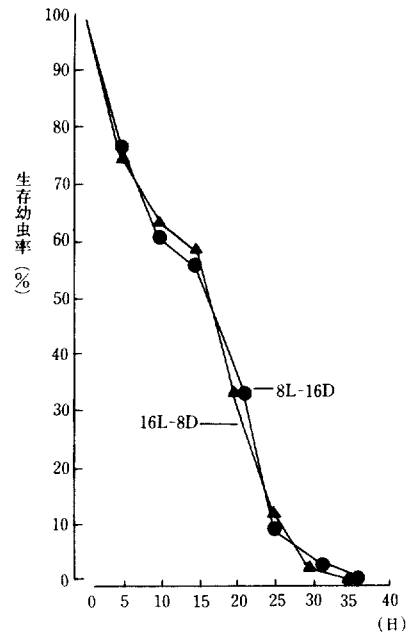
料では1-2 齢期間においては、MMD-1 飼料がMED-1 およびMED-4 飼料より齢期間がやや短かった。3-5 齢期間はいずれの人工飼料でも差がなかった (第32 図)。また、イネ芽出し飼育でも人工飼育での飼育でも成虫の翅型は雌雄ともすべて長翅型が出現し、成虫の翅型や大きさに差がなかった。

セジロウンカモドキを人工飼料MED-1 を用いて、短日条件下で飼育した場合の各齢期間は第16表の通りである。各齢期間は短日条件と長日条件で差がなかった。また、短日条件下でも羽化は斉一に起こった (第33 図)。生存幼虫率は第34 図のように変化した。すなわちセジロウンカモドキでは長日条件と短日条件下で生存幼虫率に差がみられなかった。

以上の実験によりセジロウンカモドキは、完全合成飼料を吸汁させることによりふ化幼虫からまったくイネに接触させることなく成虫まで発育することが明らかにな



第33 図 セジロウンカモドキの長日条件 (16L-8D) と短日条件 (8L-16D) 下での積算羽化率。



第34 図 セジロウンカモドキの長日条件 (16L-8D) と短日条件 (8L-16D) 下での生存幼虫率。

った。このことからセジロウンカモドキも、ヒメトビウンカ、トビロウンカ、セジロウンカと同様にステロールが共生微生物によって供給されることが考えられる。セジロウンカモドキは、いままで飼育記録がなく、越冬態も不明である。本実験において、セジロウンカモドキの幼虫発育は短日条件によって遅延することにはなかった。したがって、短日条件により休眠することはないといつてよからう。

e イナズマヨコバイの人工飼育

これまでヒメトビウンカ用人工飼料を基にして、数種のウンカの人工飼育に成功した。これらの方法がヨコバイ類にも適用できるかどうかを検討するために、まず、イナズマヨコバイの人工飼育を試みた。

イナズマヨコバイは、ヒメトビウンカの人工飼料で飼育した場合、ふ化幼虫から3-4齢までは発育するが成虫まで発育させることはできなかった。そこでヒメトビウンカの人工飼料はイナズマヨコバイには適していないのではないかと考え、イナズマヨコバイの人工飼料を開発するための基礎資料をえるために、糖類溶液に対するイナズマヨコバイの選択性、人工飼料の色に対するイナズマヨコバイの選択性、各種の栄養物質の影響を検討した。その結果、イナズマヨコバイの発育にはヒメトビウンカの人工飼料に加えられている栄養素以外に必要な物質があることがわかり、これを補給することによりふ化幼虫から成虫まで発育させることができた。

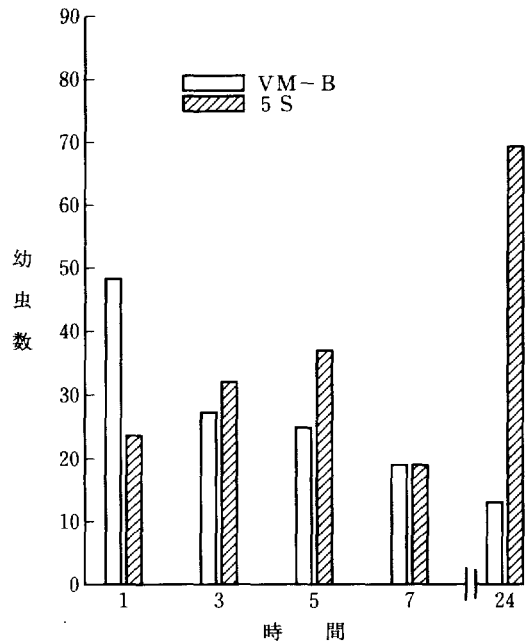
糖類溶液に対する選択性：

まず糖の種類と濃度を選択実験によって検討してみた。実験に供したイナズマヨコバイは、イネ芽出しを用い、25℃で長日条件(16L-8D)下で継代飼育している福岡産で、実験にはこの3-4齢幼虫を使用した。実験に用いた容器の構造はMITTLER and DADD(1964)がアブラムシの選択実験に用いたものと同じであるが、それより大形で(第3図)、1容器あたり20頭の幼虫を用いた。実験はすべて25℃、長日条件(16L-8D)下で行った。実験開始後1, 3, 5, 7, および24時間目にパラフィルム膜を通して各飼料に集まっているイナズマヨコバイの数を記録した。最初に蒸留水と糖の選択実験を行った。飼料として各容器あたり蒸留水1滴と糖溶液1滴を与えた。結果は第17表の通りである。蒸留水：10%スクロースでは1時間後では両者に有意の差が認められなかったが、3時間より後では差がだんだん大きくなっていく傾向がみられた。これはイナズマヨコバイが飼料の違いを認めて移動したためと思われた。蒸留水：10%グルコースでは3時間目だけ有意の差が認められ、そのほ

かでは認められなかった。蒸留水：フルクトースでは差が全く認められなかった。このことから3種の糖のうちではスクロースが好まれると考えられた。更に蒸留水：10%スクロース：10%グルコース：10%フルクトースの四者を同時に用いてイナズマヨコバイの選択性を調べた。4種の飼料は1容器あたり各1滴ずつ互いに接触しないように離して置かれた。結果は第18表の通りである。1時間後では各区の幼虫数に有意の差は認められなかったが、3, 5, 7および24時間後では有意差が認められた。この結果からも10%スクロースが好まれることがわかった。蒸留水, 10%グルコース, 10%フルクトース間にはほとんど差がないと云えよう。

以上の実験によりイナズマヨコバイはスクロースを好むことが確認されたので次にどの濃度を好むかの実験を行った。実験の結果は第19表の通りである。この結果からイナズマヨコバイに対するスクロースの最適濃度を決定することは困難であるが、3-10%とくに5%のスクロースが適当でないかと推定された。

先にヒメトビウンカの人工飼料を検討するに当たって、MITSUHASHI and KOYAMA (1969) は各種の糖の各濃度におけるヒメトビウンカ幼虫の生存率を調べた。今回は選択実験によりイナズマヨコバイに最適な糖を調



第35図 イナズマヨコバイのビタミンに対する選択性-1。各回幼虫20頭使用, 10回反復の合計。VM-B : MED-1のビタミン混合液, 5S : 5%スクロース。

第17表 イナズマヨコバイの糖に対する選択性-1

10%スクロース(S)：蒸留水(W)

くり返し	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合計	x^2 検定●	
	S:W	S:W	S:W	S:W	S:W	S:W	S:W	S:W	S:W	S:W	S:W		
時	1	6:0	2:1	4:3	3:3	0:0	2:3	1:3	1:2	0:2	0:2	19:19	—
	3	2:1	8:0	5:3	5:4	1:0	4:1	2:1	2:1	0:0	0:0	29:11	**
	5	3:0	6:3	5:1	5:0	1:0	3:2	1:1	3:0	0:0	0:0	27:7	**
間	7	5:0	5:0	2:2	4:0	2:0	5:0	0:0	3:0	4:0	4:0	34:2	**
	24	5:0	3:0	3:0	4:0	5:0	4:0	3:0	6:0	6:3	6:3	45:6	**

10%グルコース(G)：蒸留水(W)

くり返し	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合計	x^2 検定●	
	G:W	G:W	G:W	G:W	G:W	G:W	G:W	G:W	G:W	G:W	G:W		
時	1	2:0	0:0	0:0	2:0	0:0	1:2	1:2	2:3	2:2	3:3	13:12	—
	3	3:1	2:1	3:0	1:0	2:0	0:0	2:0	1:2	4:0	4:3	22:7	**
	5	0:1	0:0	0:1	1:0	0:1	1:2	1:1	4:2	3:1	0:2	10:11	—
間	7	3:0	1:1	0:0	2:1	0:0	2:3	3:1	2:3	1:0	3:0	17:9	—
	24	0:1	0:2	2:0	1:1	1:2	0:1	1:1	1:0	2:0	0:2	8:10	—

10%フルクトース(F)：蒸留水(W)

くり返し	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合計	x^2 検定●	
	F:W	F:W	F:W	F:W	F:W	F:W	F:W	F:W	F:W	F:W	F:W		
時	1	2:2	1:1	1:0	0:2	0:0	2:0	3:3	0:0	3:0	1:2	13:10	—
	3	1:1	1:0	1:1	1:4	0:3	1:1	1:2	1:0	1:2	1:1	9:15	—
	5	3:1	1:1	0:1	0:1	0:1	0:1	0:2	1:1	0:0	0:0	5:9	—
間	7	1:1	0:3	0:0	1:0	0:2	0:1	0:0	1:0	0:0	1:1	4:8	—
	24	2:0	0:0	0:0	1:0	0:0	1:1	1:1	0:0	0:1	0:0	5:3	—

各回幼虫20頭使用。●：各調査時点で飼料上に乗っていた幼虫だけを対象とし、 x^2 検定は合計についてだけ行った。*5%水準で有意差あり、**1%水準で有意差あり、一有意差なし。

第18表 イナズマヨコバイの糖に対する選択性-2

	蒸留水	10%S	10%G	10%F	x^2 検定●	
	1	5	8	3	4	—
時	3	4	12	6	1	**
	5	4	12	3	2	**
間	7	2	8	0	3	**
	24	3	20	1	0	**

実験回数5回の合計。各回幼虫20頭使用。

●：第17表と同じ。

べたが、ヒメトビウンカの場合と同様に5%のスクロースでよいことが推定された。ヒメトビウンカの人工飼料には5%のスクロースが含まれているので、糖に関する限り、この飼料を改良する必要はないと思われるにもか

かわらずイナズマヨコバイの発育が不完全であるのは糖以外の成分あるいは飼育条件に問題があると思われた。人工飼料の色に対する選択：

予備的にビタミン混合液VM-B (MED-1飼料に含まれているビタミン組成と同じ) に対するイナズマヨコバイの選択性を調べたところ、イナズマヨコバイは蒸留水よりVM-Bを選択することが分かった。ところが5%スクロースとVM-Bの二者択一実験では、イナズマヨコバイは最初ビタミン混合液に集まり時間がたつにつれて5%スクロースの方に移行した(第35図)。ビタミン混合液はリボフラビンにより黄色を呈しているので、この現象は、初め飼料の色によってビタミン混合液にひきつけられ、飼料を吸った後、その味を確認して徐々に5%スクロースに移ったものではないかと推察され

第19表 イナズマヨコバイの異なる濃度のスクロースに対する選択性

	蒸留水	1%S	3%S	5%S	χ^2 検定●	
時	1	4	3	9	10	*
3	5	5	7	13	13	*
5	4	3	10	14	14	—
間	7	0	1	10	12	**
24	2	6	12	10	10	**

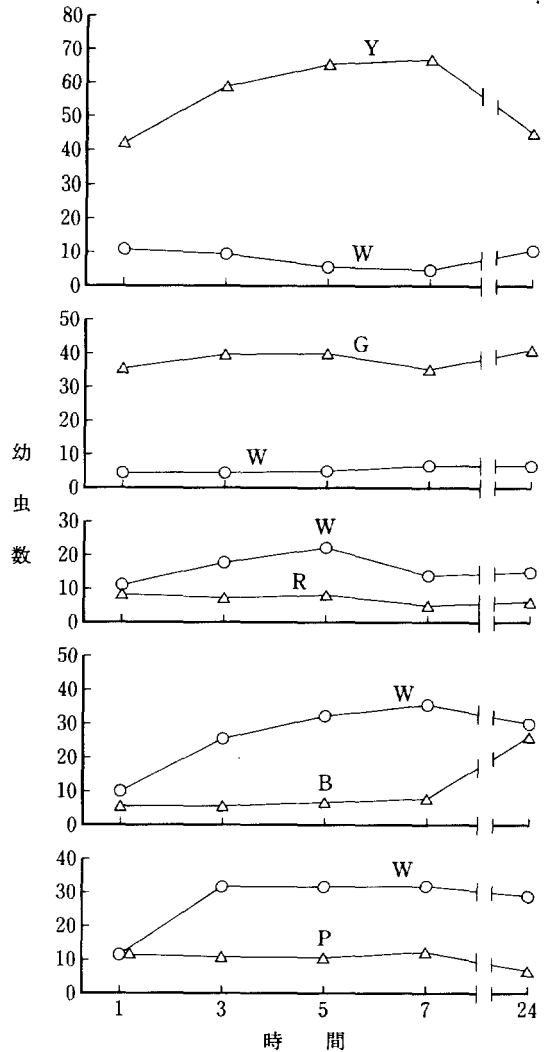
	蒸留水	10%S	15%S	20%S	χ^2 検定●	
時	1	7	10	4	1	**
3	3	8	5	4	4	—
5	1	7	11	6	6	**
間	7	4	8	7	5	—
24	2	9	7	7	7	*

	蒸留水	25%S	30%S	35%S	χ^2 検定●	
時	1	4	5	10	4	*
3	3	8	6	4	4	—
5	3	4	9	9	9	*
間	7	2	7	7	4	—
24	5	7	9	2	2	*

実験回数5回の合計。各回幼虫20頭使用。

●：第17表と同じ。

た。もしこのようにイナズマヨコバイが飼料の色と味の両者によって引き付けられるならば、飼料の色の面からも飼育方法を改善することが可能であると考えられる。この観点から人工飼料の色に対する選択実験を行った。実験に用いたイナズマヨコバイ、飼料選択容器は、糖類溶液の選択実験に用いたものと同じである。本実験では選択容器の飼料上に色セロハン紙(黄、赤、青、紫、緑)をのせて実験を行った。色セロハン紙は一般に販売されているものである。各セロハン紙面の照度は、同一光源からの照射により同じと考えられるが、セロハン紙面通過の際の光の吸収量は補正されていないので、各飼料通過後の光量は同一であるとはいえない。飼料は5%のスクロースを用いたので無色透明である。したがって飼料は色セロハン紙の色そのものに着色したといえる。実験はすべて25℃、長日条件(16L-8D)下で行った。実験開始後1、3、5、7および24時間目にハラフィルム膜を通して飼料に集まっている虫の数を記録した。最初に二者択一法により無色(白)と特定の色に対する選択性を調べた。実験は5回くり返し、各回とも幼虫20頭使用した。黄：白(色セロハン紙をつけない、無色)では黄に集まった。緑：白では緑、赤：白では白の方が

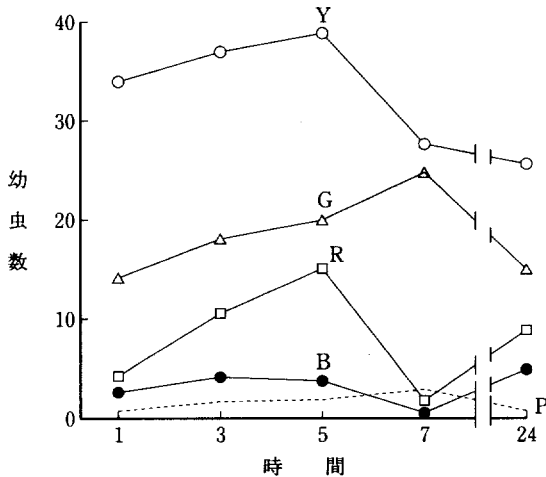


第36図 イナズマヨコバイの色に対する選択性-1。各回幼虫20頭使用、5回反復の合計。Y：黄、G：緑、R：赤、B：青、P：紫、W：白(色セロハン紙をつけない、無色)。

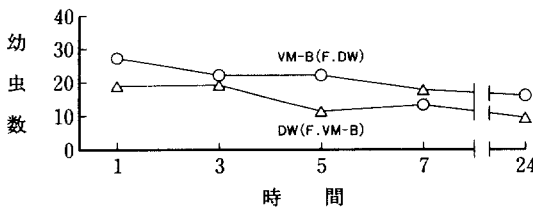
やや多かった。青：白では白、紫：白では白の方が多かった。以上の結果、イナズマヨコバイは無色より黄、緑を好むことがわかった。その理由は現在のところ明らかでない(第36図)。

上の実験でイナズマヨコバイは無色より着色を好むことがわかったので、次に黄、緑、赤、青、紫を同時にもちいて選択実験を行った。各回幼虫20頭使用し5回くり返した。イナズマヨコバイはこの実験に使った5色のうち黄に最もよく集まり次に緑であったが、赤、青、紫は好まなかった(第37図)。

以上の実験によって、イナズマヨコバイは黄色を嗜好することが明らかになった。ところで初めて述べたようにビタミン混合液はリポフラビンによりかなり濃い黄色を呈している。そこでイナズマヨコバイが、蒸留水あるいは5%スクロース液よりビタミン混合液を選択した原因が味による選択であったのか、あるいは推察したように色による選択であったかを検討した。まず第一の実験は再びVM-B:蒸留水の二者択一実験を行ったが、色の条件を同じにするため、VM-Bの上にはフィルターとしてパラフィルム膜にはさんだ蒸留水をのせ、また蒸留水の上にはパラフィルム膜にはさんだVM-Bをのせた。結果は第38図に示す通りでイナズマヨコバイはビタミン混合液と蒸留水を区別することができなかった。この結果からイナズマヨコバイが蒸留水よりビタミン混合液に引き付けられるのは、その色によることが分かった。



第37図 イナズマヨコバイの色に対する選択性-2。各回幼虫20頭使用、5回反復の合計。Y:黄, G:緑, R:赤, B:青, P:紫。



第38図 イナズマヨコバイのビタミンに対する選択性-2。各回虫20頭使用、10回反復の合計。VM-B: MED-1のビタミン混合液, DW: 蒸留水。

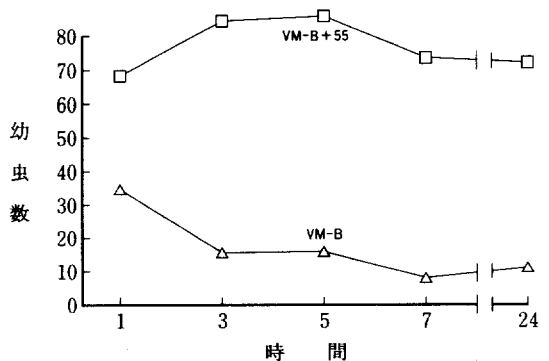
上の実験では、光の条件が両飼料とも同じであり、違うのは片方の飼料がビタミンを含んでいるかいないかである。このような条件下でイナズマヨコバイが両飼料を区別できなかったことは、ビタミンは味として嗜好的にも忌避的にも働かなかったことを意味する。味覚的にはスクロースが選択されることはすでに明らかにされているが(小山, 1971), 黄色を呈しているビタミン存在下でもこれに変わらないことがVM-B:VM-B+5%スクロース二者択一実験からわかった(第39図)。

したがって上の実験からイナズマヨコバイのビタミン混合液に対する選択性は、ビタミンそのものではなく、その色彩によることが明らかになった。この一連の実験から、イナズマヨコバイの人工飼育においては、ヨコバイを飼料上に集めるために黄色が有効であることが確かめられた。この結果はこのヨコバイの人工飼育技術開発に役立つと思われた。

卵の低温保存:

イナズマヨコバイ卵をどの位の期間低温で保存することができるかを知るために、胚子発育の各時期について、低温保存実験を行った。

実験に供したイナズマヨコバイは1970年5月より、25℃, 長日条件(16L-8D)下でイネ芽出しを用い、継代飼育している福岡産を使用した。実験に用いた卵はイネ芽出し飼育で羽化後10-20日の成虫を人工採卵容器(第2図)に入れ、パラフィルム膜を通して、人工飼料中あるいは5%スクロース液中に産卵させたものである。産下された卵は24時間以内に取り出し蒸留水中に保存した。蒸留水に移した卵は25℃に保存し、産卵直後(24時間)から10日間、毎日その一部を3℃に移した。イナ



第39図 イナズマヨコバイのビタミンに対する選択性-3。各回虫20頭使用、10回反復の合計。VM-B: MED-1飼料のビタミン混合液, VM-B+5S: MED-1のビタミン混合液+5%スクロース。

ズマヨコバイ卵は通常25℃で10-11日目からふ化し始めるので11日目以後の実験は行わなかった。3℃における保存期間は各日齢において1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19日間とし、その後25℃に移し、ふ化に要する日数およびふ化数を記録した。なお、卵はふ化直前に蒸留水より出してろ紙上に移し、ふ化させた。実験に供した卵は一区20卵である。

低温保存がふ化に及ぼす影響を第20表に示す。産卵直後の卵は明らかに低温保存によってふ化率が悪くなっ

た。ふ化率が良かったのは6-8日卵で、ふ化直前の卵はあまり良くなかった。また低温保存日数を長くすると産卵直後の卵ではふ化率が顕著に悪くなったが、各日齢の卵について、保存日数とふ化率の低下の間に直線的な関係は認められなかった。

次に低温保存が卵期間に及ぼす影響を検討した。結果を第21表に示す。ここでいう卵期間とは、低温保存後25℃に移してふ化するまでに要した日数を加えたものである。産卵直後の卵では低温保存日数が長くなると卵期間

第20表 イナズマヨコバイ卵の3℃保存による孵化率 (%)

		3℃に保った日数										
		0	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
卵 の 日 齢 (日)	0	95*2	65	95	65	70	70	60	70	45	15	15
	1	-	75	60	65	70	55	65	55	55	60	35
	2	-	90	70	50	70	90	80	80	70	50	55
	3	-	65	50	85	70	75	70	85	75	80	50
	4	-	75	70	90	85	70	60	65	60	60	85
	5	-	90	85	100	80	100	75	40	80	75	85
	6	-	100	55	75	70	85	65	90	75	75	40
	7	-	100	80	95	55	75	80	90	55	55	70
	8	-	95	60	75	85	85	70	75	85	75	55
	9	-	85	75	85	85	65	40	45	50	50	40
	10	-	90	40	56	65	50	65	75	65	65	65

*1 産卵後3℃に保存始めるまで25℃で経過した日数。

*2 全期間25℃に保った対照。

第21表 低温保存がイナズマヨコバイの卵期間に及ぼす影響 (卵期間±標準誤差*3)

		3℃に保存した日数 (日)										
		0	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
卵 の 日 齢 (日)	0	10.8±0.4	11.5±0.7	9.6±0.4	10.6±0.9	10.8±0.7	11.3±0.7	10.6±0.7	10.8±0.6	9.9±0.9	11.3±3.4	13.3±3.4
	1	-	12.3±0.6	12.1±0.8	12.1±0.4	11.6±0.4	12.2±0.6	11.5±0.7	12.4±1.0	13.4±1.0	13.2±0.5	12.3±1.3
	2	-	10.7±0.3	11.0±0.8	10.5±1.0	10.2±0.7	11.8±0.7	11.0±0.5	12.8±0.9	12.7±0.6	11.9±0.3	12.1±0.8
	3	-	10.8±0.6	11.1±0.6	10.9±0.4	12.0±0.9	12.8±0.4	13.3±0.7	13.6±0.8	13.2±0.3	14.2±0.9	13.4±1.0
	4	-	12.7±0.7	12.5±0.4	12.7±0.6	13.5±0.4	14.6±0.9	13.4±1.0	13.7±0.7	13.4±1.0	13.0±0.9	12.0±0.4
	5	-	10.7±0.5	10.9±0.4	12.9±0.7	13.3±0.7	12.0±0.5	12.3±0.8	12.4±0.6	12.1±0.8	11.5±0.7	11.2±1.1
	6	-	11.3±0.7	14.5±1.4	14.7±1.3	14.5±1.0	13.9±0.7	13.0±0.6	12.8±0.7	13.6±0.9	13.3±0.7	14.3±1.1
	7	-	15.2±0.5	14.6±0.5	14.6±0.7	14.7±1.3	14.1±0.5	14.3±0.4	13.5±1.0	12.8±0.7	14.8±1.0	14.4±0.5
	8	-	13.7±0.7	14.9±1.2	14.3±0.7	12.9±0.2	14.0±0.7	13.7±0.4	14.9±1.0	13.9±0.9	13.8±0.8	13.1±0.5
	9	-	15.0±0.7	14.7±0.6	14.3±0.8	13.6±0.6	14.6±0.7	13.0±1.1	15.8±1.2	15.1±0.9	15.0±1.6	15.3±2.1
	10	-	15.8±0.9	16.6±2.8	15.2±0.6	14.7±0.8	15.2±1.4	15.1±1.2	15.1±1.0	15.6±0.7	17.2±2.0	16.9±1.1

*1 産卵後3℃に保存始めるまでに25℃で経過した日数。

*2 全期間25℃に保った対照。

*3 低温保存後25℃において孵化までに要した日数に卵の日齢を加算したもの。各区20卵を供試。

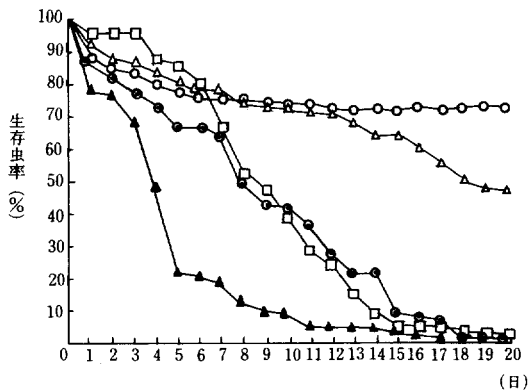
の変動幅が大きくなった。すなわち胚子の発育が不斉いになった。しかし他の日齢の卵では低温保存が胚子発育をそれほど不斉いにするとはなかった。低温保存により卵期間は全体的に長くなったが、とくにふ化直前の卵を処理した場合、卵期間の延長が顕著であった。低温保存の日数は卵期間にあまり影響を与えなかった。

産卵直後の卵が低温に弱くふ化率が悪くなり、発育が不斉いになることは予期されたことであるが、卵期間はむしろ発育の進んだ方が影響を受けやすいことは意外な結果であった。上の実験から、ふ化率、卵期間、発育の斉一性などを考慮した場合、産卵後6-8日位の卵を低温保存することが有利であることがわかった。イナズマヨコバイはイネを枯らすので、その飼育、維持にはかなり手間がかかるが、この実験から短期間であれば卵を低温に保存できることが明らかになったので、継代飼育に卵の低温保存をくみ入れることにより、飼育労力を分散できるようになるであろう。

人工飼料による飼育：

実験に供したイナズマヨコバイは、実験室内で、イネ芽出しを用い、25℃、長日条件(16L-8D)下で継代飼育している福岡産を使用した。飼育方法はヒメトビウカと同様パラフィルム膜を通して液体飼料を吸わせる方法で飼育容器は実験に応じて2種類(第1図A, C)を用いた。採卵にはMITSUHASHI(1970)の採卵容器を用いた(第2図)。

人工飼料の組成はすでにヒメトビウカの人工飼料と



第40図 イナズマヨコバイ幼虫のふ化後20日間の生存率曲線。
○：イネ芽出し(対照)，供試虫数50頭，△：MED-1=コレステロール懸濁水，供試虫数60頭，◎：MED-1=蒸留水，供試虫数60頭，□：MED-1，供試虫数112頭，▲：MED-1+コレステロール，供試虫数100頭。

して開発したMED-1(第1表)を基本として次の4種の飼料を調整した。なお先の実験でイナズマヨコバイの糖に対する選好性を調べたが、MED-1飼料中のスクロースはイナズマヨコバイの糖に対する選好性を十分満足していると考えられたので、MED-1飼料を改変することなくそのまま用いた。コレステロールはヒメトビウカでは飼料中に加える必要がなかったが、イナズマヨコバイの場合その必要性を検討するため投与した。

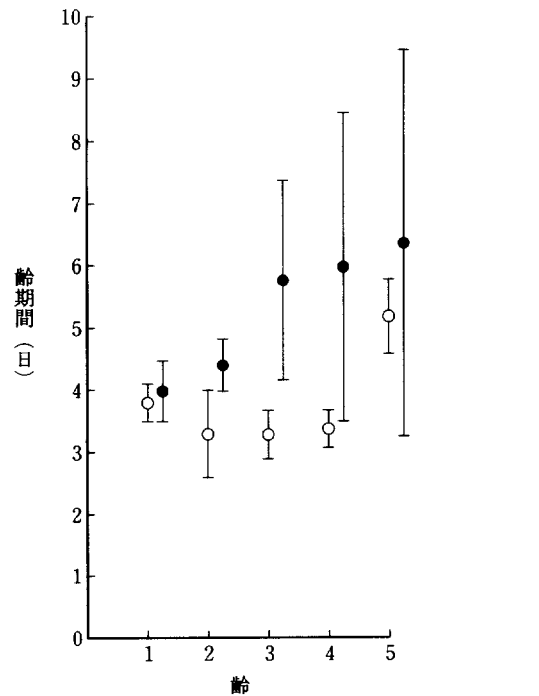
MED-1飼料(容器は第1図A)。

MED-1+コレステロール MED-1飼料にコレステロールを加えよく懸濁させたのち、ザイツ滅菌器によってろ過した(容器第1図A)。

MED-1=蒸留水 容器の片側にMED-1飼料，他の一方に蒸留水のみを入れた(容器は第1図C)。

MED-1=コレステロール懸濁水 容器の片側にMED-1飼料，他の一方にコレステロール懸濁水を入れた(容器は第1図C)。

調製した人工飼料は、MED-1とMED-1+コレステロールは-20℃に保存し、使用にあたって適宜溶解し



第41図 イナズマヨコバイの各日齢期間
○：イネ芽出し(対照)，供試虫数50頭，●：MED-1=コレステロール懸濁水，供試虫数60頭。縦線は標準偏差を示す。

て使用した。コレステロール懸濁水は5℃に保存した。イナズマヨコバイの色に対する選好性を調べた結果、黄色と緑色が選択されることが明らかになったがMED-1飼料は含有するリポフラビンにより黄色を呈しているため、特に色フィルターを使用することは行わなかった。人工飼育はろ紙上でふ化した1齢幼虫から初め、幼虫はまったくイネに接することなく、人工飼料に移された。まず個体飼育して、生存期間を調べた。MED-1=コレステロール懸濁水と対照区のイネ芽出し飼育では12日目までは生存率にはほとんど差がなかった。イネ芽出し飼育にくらべるとMED-1=蒸留水、MED-1およびMED-1+コレステロールでは生存率が低く15日目までにはほとんどの供試虫が死亡した(第40図)。この実験で成虫まで発育した区は、イネ芽出し飼育と人工飼料ではMED-1=コレステロール懸濁水のみであった。MED-1飼料の場合は1齢から4齢まで、MED-1=蒸留水の場合1齢から5齢まで、MED-1+コレステロールの場合は1齢から3齢までしか発育しなかった。またMED-1=コレステロール懸濁水で飼育したイナズマヨコバイはイネ芽出しで飼育したものにくらべ発育が遅延することがわかった(第41図)。この人工飼育で得られた成虫は外観上イネ芽出し飼育の成虫と差がなかった。

この際興味あることは、人工飼料で飼育した場合に、脱皮殻は各齢とも90%以上のものが、MED-1=蒸留水の場合には水の側に、MED-1=コレステロール懸濁水の場合には、コレステロール懸濁水の側に発見され、MED-1飼料の側にはごく僅かしか認められない点である。この関係は容器の天地を逆にしても、横に位置させるようにしても変わらなかった。この原因については、現在のところ不明である。

以上の実験によりイナズマヨコバイはヒメトビウンカと同様にパラフィルム膜を通して液体飼料を吸わせてふ化幼虫から成虫まで飼育できるようになった。

イナズマヨコバイの人工飼料とヒメトビウンカの人工飼料との異なる点はただ一つ、イナズマヨコバイはコレステロールを必要とすることである。しかし、コレステロールを飼料の中に加えた場合効果が認められず、飼料と別に蒸留水に懸濁して与える必要があった。

昆虫の栄養要求の一つにステロール要求があり、一般に昆虫自体はステロールを合成できないことが知られている。一方、アブラムシ類やヒメトビウンカでは、飼料中にステロールを加えなくても、継代飼育が可能である。この理由については共生微生物などにより体内での

合成が考えられるが、この過程についてはまだ明らかにされていない。イナズマヨコバイは一般の昆虫のようにステロールを必要とし、ヒメトビウンカは必要としない、このことは虫の体内の共生微生物の相違などが考えられ、今後の課題となろう。

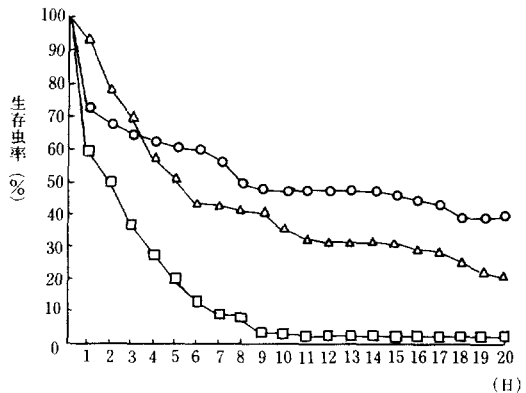
f ツマグロヨコバイの人工飼育

実験に使用したツマグロヨコバイは、数年来実験室内で継代飼育している小田原産の赤眼系統を使用した。実験方法はすべてイナズマヨコバイの人工飼育と同じである。ツマグロヨコバイはイナズマヨコバイと違いMITSUHASHI (1970) の人工採卵容器(第2図)にはまったく産卵しないため、芽出しイネに産卵させた卵をふ化前にとりだし、湿ったろ紙の上でふ化させた。ふ化した幼虫はまったくイネに接触させることなく人工飼料に移された。人工飼料の組成はイナズマヨコバイの実験を参考にして、次の2種の飼料を調製して用いた。

MED-1飼料で容器は第1図A。

MED-1=コレステロール懸濁水、容器の片側にMED-1飼料、他の一方にコレステロール懸濁水(容器は第1図C)。

人工飼育における生存率はイネ芽出しにくらべて、MED-1=コレステロール懸濁水では死亡する個体が多くなり、MED-1飼料では10日目までにはほとんどのツマグロヨコバイが死亡した(第42図)。MED-1=コレステロール懸濁水では成虫まで発育することができるが、MED-1のみでは1齢から5齢までしか発育しない。齢期間はイナズマヨコバイと同様、イネ芽出し飼育にくらべて各齢とも延長した(第43図)。また、脱皮が



第42図 ツマグロヨコバイのふ化後20日間の生存率曲線。
○：イネ芽出し(対照)，供試虫数50頭，△：MED-1+コレステロール懸濁水，供試虫数68頭，□：MED-1，供試虫数131頭。

らはイナズマヨコバイ同様90%以上はコレステロール懸濁水の側にあった。

以上の実験によりツマグロヨコバイは、イナズマヨコバイと同様な飼育方法で、パラフィルム膜を通して液体飼料を吸わせてふ化幼虫から成虫まで飼育できることが明らかになった。また、ツマグロヨコバイは、イナズマヨコバイと同様、ステロールを必要とした。ツマグロヨコバイの人工飼料による飼育が可能になったので、今後はこの方法を用いて栄養要求を調べることが可能である。一方、この方法により短期間に特定の液体を吸汁させることができるので、ウイルスやマイコプラズマの人為獲得にも有効な手段となるであろう。

IV ウンカ・ヨコバイ類の栄養生理学的研究

1 糖の利用

ヒメトビウンカとトビイロウンカについて糖の要求性を調べた。

1) 材料および方法

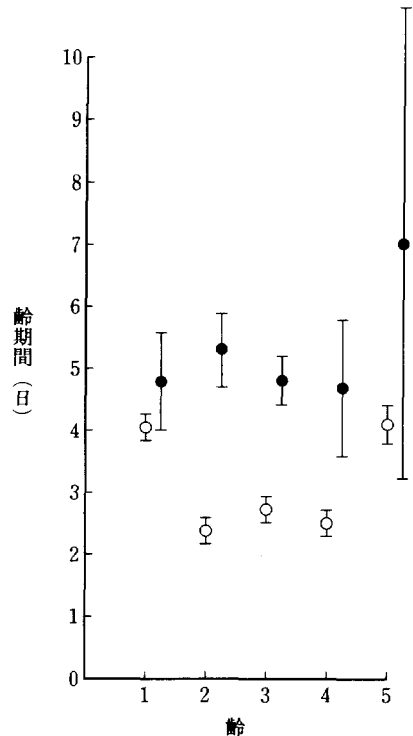
ヒメトビウンカ：

実験に供したヒメトビウンカは、赤眼系統で、人工飼育容器は第1図Aを用いた。供試した糖の種類は、スクロース、グルコース、フルクトース、マルトース、トレハロース、ラフィノースおよびテンブンで、これらを1-30%または1-50%、テンブンは0.05-10%、の濃度に溶かして、引き伸ばしたパラフィルム膜を通して吸汁させた。糖水溶液は1日おきに取り換えた。1容器に5頭の2齢幼虫を入れ、各区25頭の生存期間を調査した。対照として、ヒメトビウンカを1容器に5頭入れ、合計50頭に蒸留水を吸汁させ、生存期間を調査した。実験は全て25℃、長日条件(16L-8D)下で行った。

トビイロウンカ：

トビイロウンカは、イネ芽出しを用いて、継代飼育している埼玉県産のものを実験に供した。糖の種類と濃度および溶液の調製法はヒメトビウンカと同様である。飼育容器は第1図Bを使用した。1容器に5頭の2齢幼虫を入れ、引き伸ばしたフジ・シーロンフィルムを通して吸汁させた。供試虫数は各区100頭とし生存期間を調査した。対照として、蒸留水を吸汁させた。飼料は1日おきに更新した。実験は全て25℃、長日条件(16L-8D)下で行った。

1齢幼虫からの飼育方法は、飼育容器は第1図Bの容器を使用した。採卵には、第2図の容器を用いた。トビイロウンカは、スクロース液にはあまり産卵しないが、スクロース液にサリチル酸を加えると産卵数が多く



第43図 ツマグロヨコバイの各齢期間

○：イネ芽出し（対照）、供試虫数60頭、●：MED-1=コレステロール懸濁水、供試虫数68頭。縦線は標準偏差を示す。

なるので、5%スクロース液に0.004Mのサリチル酸を加えpHを6.5に調整した液に産卵させた。もう一つの採卵方法としては、イネ芽出しに産卵させた卵をふ化直前にとりだし、湿ったろ紙の上でふ化させることも行った。これらの方法により植物にまったく接触させることなく人工飼料に移すことができた。第1表のMED-1飼料を基本にして、スクロース濃度を変えることにより、幼虫の発育がどのような影響を受けるかを検討した。そのため、スクロースだけが0-50g/100mlの濃度の飼料を調整した。次にスクロース以外の糖類の栄養価を明らかにするため、MED-1飼料からスクロースを除去し、そのかわりに同濃度のグルコース、フルクトース、ラフィノース、マルトースおよびトレハロースをそれぞれ個別に加えた飼料を調製した。また、5g/100mlのグルコース、フルクトース、ラフィノース、マルトースおよびトレハロースに1g/100mlのスクロースをそれぞれ加えた人工飼料も調製して供試した。供試虫数は各区100頭で、個体飼育を行い、脱皮、羽化、死亡までの

発育状態を記録した。

2) 結果および考察

各種糖類がヒメトビウンカ幼虫の生存期間に及ぼす影響：

スクロース：対照の蒸留水を与えた区では5日目までにすべての個体が死亡した。1%のスクロースを与えた区では7日目に死亡した。スクロース濃度が3%から25%では20日以上生存した個体があった。スクロース濃度30%–50%では11–15日目までにすべての個体が死亡した。特に5%のスクロース水溶液を与えた区が飼育開始初期の生存率が高く生存期間が長かった(第22表)。

グルコース：対照の蒸留水を与えた区と比較すると1–30%いずれの濃度でも蒸留水より生存虫率は高かったが1%、3%、グルコースでは、10日以上生存した個体はいなかった。10–30%グルコースではより長期間生存し20日間以上生存した個体があった。20%のグルコースを与えた区で生存虫率が最高であった(第23表)。

マルトース：1–3%および20–30%では飼育開始後5日目までにすべての個体が死亡し、対照の蒸留水を与えた区と差はなかった。最も生存期間が長かったのは15%マルトース区で15日間生存した(第24表)。

フルクトース：1%、10%、20%および30%区では、生存率は対照の蒸留水を与えた区より悪いか同程度で飼育開始後4–5日目で全ての個体が死亡した。3%、5%、15%および25%区での生存率も蒸留水を与えた区より多少良かったが8日目までにすべての個体が死亡した(第25表)。

ラフィノース：1%–30%区ではいずれも飼育開始後4日目までにすべての個体が死亡し、対照の蒸留水を与えた区より悪かった(第26表)。

トレハロース：20%および25%区では飼育開始後3日目に、5%、15%および30%区は4日目にすべての個体が死亡した。対照の蒸留水を与えた場合より早く死亡し

第22表 スクロース水溶液上でのヒメトビウンカ幼虫の生存率 (%)

スクロース (g/100ml)	飼育開始後の日数																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20 ^(甲)
0 (対照)	88	76	36	14	0															
1	88	84	72	20	16	4	0													
3	92	88	88	84	84	64	64	92	80	80	80	76	68	52	36	36	36	24	16	8
5	100	100	100	100	100	96	92	76	72	72	68	68	60	48	44	32	32	24	12	4
10	100	92	88	88	88	80	80	48	44	44	40	32	32	24	12	8	4	4	4	4
15	92	80	76	72	72	52	52	88	88	88	84	80	72	52	40	12	8	4	4	4
20	92	92	92	92	92	88	76	76	76	76	72	60	28	24	24	12	8	8	8	4
25	96	96	96	96	88	88	84	88	64	40	32	32	12	0						
30	96	92	88	88	88	88	88	64	44	44	20	16	12	0						
35	96	88	84	84	76	72	68	52	44	40	32	20	20	0						
40	84	60	52	52	52	52	52	56	48	48	28	20	16	8	0					
45	68	64	60	60	60	56	56	28	24	12	0									
50	76	68	52	52	44	44	32	0												

第23表 グルコース水溶液上でのヒメトビウンカ幼虫の生存率 (%)

グルコース (g/100ml)	飼育開始後の日数																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20 ^(甲)
1	100	92	76	16	4	4	4	4	0											
3	100	88	72	40	32	16	12	4	4	0										
5	84	84	44	28	28	28	28	28	20	12	8	4	4	4	4	4	4	0		
10	92	88	60	44	40	40	28	28	24	20	20	20	12	8	8	8	8	8	8	8
15	96	76	64	60	32	32	32	32	28	28	28	24	24	20	20	20	12	8	8	8
20	100	100	100	92	64	60	52	52	52	44	32	28	28	24	16	12	12	12	12	12
25	96	92	84	68	40	36	36	32	32	32	32	32	20	12	12	12	12	8	4	4
30	92	88	68	32	20	20	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

対照は第22表参照。

第24表 マルトース水溶液上でのヒメトビウンカ幼虫の生存率 (%)

マルトース (g/100ml)	飼育開始後の日数																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20 ^(B)
1	100	92	76	4	0															
3	92	88	36	8	0															
5	96	92	52	20	16	12	12	4	4	4	4	4	0							
10	100	96	60	24	20	12	12	12	8	8	8	4	0							
15	96	88	60	88	28	20	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0				
20	96	88	68	72	0															
25	100	56	36	92	0															
30	96	88	32	96	0															

対照は第22表参照。

第25表 フルクトース水溶液上でのヒメトビウンカ幼虫の生存率 (%)

フルクトース (g/100ml)	飼育開始後の日数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 ^(B)
1	96	92	28	0						
3	92	92	72	16	4	4	4	0		
5	96	92	48	4	4	0				
10	92	68	44	8	0					
15	72	64	20	8	4	0				
20	88	76	44	0						
25	72	40	16	4	4	0				
30	92	84	44	8	0					

対照は第22表参照。

第26表 ラフィノース水溶液上でのヒメトビウンカ幼虫の生存率 (%)

ラフィノース (g/100ml)	飼育開始後の日数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 ^(B)
1	92	80	8	0						
3	88	76	8	0						
5	92	88	0							
10	88	84	12	0						
15	88	76	8	0						
20	80	68	4	0						
25	92	68	12	0						
30	88	48	8	0						

対照は第22表参照。

第27表 トレハロース水溶液上でのヒメトビウンカ幼虫の生存率 (%)

トレハロース (g/100ml)	飼育開始後の日数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 ^(B)
1	68	68	24	12	0					
3	96	88	40	20	0					
5	92	44	20	0						
10	84	84	28	4	4	0				
15	72	60	8	0						
20	76	60	0							
25	80	64	0							
30	92	84	4	0						

対照は第22表参照。

第28表 デンプン水溶液上でのヒメトビウンカ幼虫の生存率 (%)

デンプン (g/100ml)	飼育開始後の日数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 ^(B)
0.05	80	72	4	0						
0.1	84	84	32	0						
0.3	80	60	16	0						
0.5	92	64	32	0						
1	88	72	0							
3	92	68	4	0						
5	92	84	0							
10	80	44	8	0						

対照は第22表参照。

た。10%区では6日目までにすべての個体が死亡した(第27表)。

デンプン：1%および5%区では飼育開始後3日目までに、その他の区では4日目までにすべての個体が死亡し、対照の蒸留水を与えた区より悪かった(第28表)。

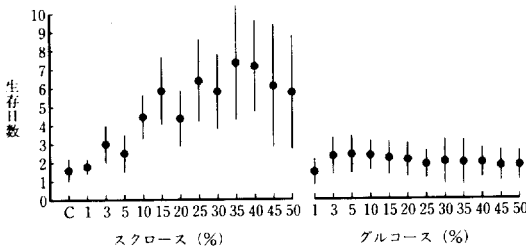
ヒメトビウンカの幼虫にスクロース、グルコース、マ

ルトース、フルクトース、ラフィノース、トレハロースおよびデンプンの7種の糖類水溶液を吸させた場合、スクロース水溶液上での生存日数が最も長く、次にグルコース溶液で、マルトース、フルクトース、ラフィノース、トレハロースおよびデンプン水溶液上では短期間しか生存できなかった。ヒメトビウンカの生存に最適な糖

の種類はスクロースで、その濃度は5%前後であることが明らかになった。一方、同じ半翅目昆虫であるエンドウヒゲナガアブラシにスクロース水溶液を吸汁させた場合、生存率が最も高い濃度は35%で、このアブラシの完全合成飼料には35%のスクロースが用いられている(AUCLAIR, 1965)。エンドウヒゲナガアブラシに比べてヒメトビウンカでは低い濃度のスクロース水溶液が最適であった。このことは同じ半翅目昆虫でも種により糖類に対して、飼料としての至適濃度が異なることが分かった。また、グルコース水溶液はヒメトビウンカが生存するためにある程度利用できたが、マルトース、フルクトース、ラフィノース、トレハロースおよびデンプンは利用できなかった。

各種糖類がトビイロウンカ幼虫の生存期間に及ぼす影響：

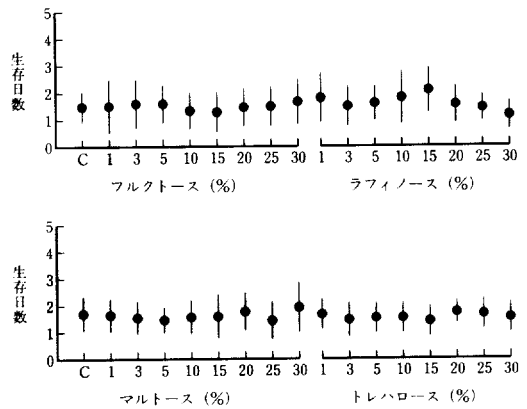
トビイロウンカの幼虫に、スクロース、グルコース、フルクトース、ラフィノース、マルトースおよびトレハロースの6種類の水溶液を吸汁させ生存期間を比較した結果、スクロース水溶液上での平均生存期間は、低濃度



第44図 スクロース、グルコース水溶液上でのトビイロウンカ幼虫の生存期間。C：対照（蒸留水）、●：平均生存期間、縦線は標準偏差を示す。

より高濃度になるにしたがい長くなり、35%スクロースを吸汁させた場合の生存日数が一番長かった(第44図)。スクロースの各濃度区における生存期間の有意差を検定した結果は、第29表の通りである。35%スクロース区での生存日数は、45-50%スクロース区以外の濃度区における生存日数よりも、1%水準で有意に長かった。グルコース、フルクトース、ラフィノース、マルトースおよびトレハロース水溶液上での生存期間は、対照の蒸留水のみを与えた場合と同様短かった(第44-45図)。

次に人工飼料中の糖の種類と濃度を変えて幼虫発育を検討した。トビイロウンカのふ化幼虫を0-50g/100mlのスクロースを含む人工飼料MED-1で飼育した結果、飼料中の唯一の頭であるスクロースを全く含まない

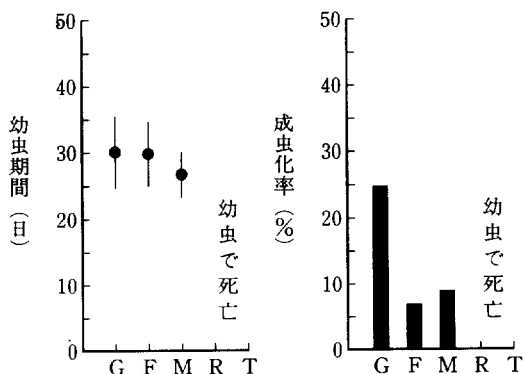


第45図 フルクトース、ラフィノース、マルトース、トレハロース水溶液上でのトビイロウンカ幼虫の生存期間。C：対照（蒸留水）、●：平均生存期間、縦線は標準偏差を示す。

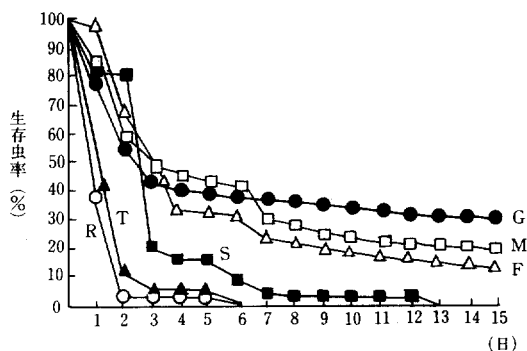
第29表 スクロース各濃度区における生存期間の有意差検定

	C	1%	3%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
C		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
1%			**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
3%				**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
5%					**	**	**	**	**	**	**	**	**
10%						**	-	**	**	**	**	**	**
15%							**	-	**	**	**	-	-
20%								**	**	**	**	**	*
25%									*	**	**	-	-
30%										**	**	-	-
35%											**	**	**
40%												**	**
45%													**
50%													

Cは対照（蒸留水）、*5%水準で有意差あり。**1%水準で有意差あり。-有意差なし。



第48図 1%スクロース含有MED-1飼料中に各種糖類5g/100mlを加えた場合のトビイロウンカの幼虫期間および成虫化率。
●：平均幼虫期間、縦線は標準偏差、G：グルコース、F：フルクトース、M：マルトース、R：ラフィノース、T：トレハロース。



第49図 1%スクロース含有MED-1飼料中に各種糖類5g/100mlを加えた場合のトビイロウンカの生存率曲線。
G：グルコース、F：フルクトース、M：マルトース、R：ラフィノース、T：トレハロース、S：1%スクロース含有MED-1飼料。

以上の実験の結果、トビイロウンカ幼虫の生存日数はスクロース水溶液上で顕著に長くなり、最長に対する濃度は35%であることが明らかになった。ヒメトビウンカに各種の糖水溶液を吸汁させた場合（前出）、やはりスクロース水溶液上での生存日数が最も長かった。ヒメトビウンカ幼虫では、グルコース水溶液をある程度利用できたがトビイロウンカは利用できなかった。フルクトース、ラフィノース、マルトースおよびトレハロースは、ヒメトビウンカ幼虫と同様に、トビイロウンカ幼虫も利用できなかった。ヒメトビウンカ幼虫の生存に適当なスクロース濃度は5%前後であるのに対して、トビイロウンカでは35-40%で非常に高かった。5%スクロース水溶液上でのトビイロウンカの平均生存日数は2.5日で、6日目までに全ての個体が死亡した。トビイロウンカが長期間生存するためには、ヒメトビウンカの場合よりも、高濃度のスクロースを吸汁する必要があることを示している。エンドウヒゲナガアブラムシにスクロース水溶液を吸汁させた場合、生存率が最も高い濃度は35%で、このアブラムシの完全合成飼料には、糖として35%のスクロースが用いられている (AUCLASIR, 1965)。

糖の水溶液でなく人工飼料MED-1を基本としてその糖を変えた実験から、トビイロウンカの幼虫は、スクロースの濃度が3-50g/100mlまでの各区で成虫まで发育した。また、スクロースの代わりにそれぞれ5g/100mlのグルコース、フルクトース、マルトース、ラフィノースおよびトレハロースを個別に含む人工飼料を用いて飼育した場合、いずれの糖でも幼虫は1-2齢で死亡

した。しかし、1g/100mlのスクロースにグルコース、フルクトースおよびマルトースをそれぞれ加えることにより、幼虫は成虫まで发育した。1g/100mlのスクロースでは、トビイロウンカは3齢幼虫ですべての個体が死亡したので、この結果からスクロースがトビイロウンカの摂食を促進し、グルコース、フルクトースおよびマルトースが栄養物質として利用されたため、スクロースはトビイロウンカの摂食促進物質の1種であろうと考えた。ラフィノースとトレハロースを1g/100mlのスクロースに添加した場合は1齢幼虫すべての個体は死亡したので、スクロースの摂食促進作用よりこの2種の糖の摂食抑制作用の方が強く働いたため吸汁ができなくなったか、これらの糖をトビイロウンカが利用できなかったため死亡したと考えた。成虫化率と幼虫发育速度から、飼料に5g/100mlのスクロースが含まれている場合がトビイロウンカの幼虫发育に最も適していると思われた。しかし、糖の水溶液だけを与えた場合は2齢幼虫の生存期間はスクロース35%で最も長かった。この違いは何に起因するのかわ不明であるが、飼料中のスクロースと他の栄養物質とのバランスがトビイロウンカ幼虫の发育に関係していることも考えられる。今まで報告されているウンカ・ヨコバイ類の完全合成飼料には、すべて5%のスクロースが糖として添加されている (ヒメトビウンカ, MITSUHASHI and KOYAMA, 1971; トビイロウンカ, 小山, 1979; セジロウンカ, 小山・三橋, 1980; セジロウンカモドキ, 小山ら, 1981; ツマグロヨコバイ, 小山, 1973b, HOU and BROOKS, 1979; イナズマヨコバ

イ, 小山, 1973b; アスター・ヨコバイ, HOU and BROOKS, 1975, 1977)。トビイロウンカもこれらの例外でないことが明らかになったので一般にウンカ・ヨコバイ類の糖要求性は5%のスクロースで満足させると考えてよいと思われる。

2 アミノ酸要求性

ヒメトビウンカ, トビイロウンカおよびセジロウンカのアミノ酸要求性を調べた。

1) 材料および方法

ヒメトビウンカ:

実験に供したヒメトビウンカは, イネ芽出しを飼料として飼育してきた赤眼系統を使用した。すべての実験は, ふ化してからまったくイネに接触していないふ化幼虫を用いて行った。そのため, あらかじめ雌成虫を採卵容器(第2図)に入れてスクロース液の中に産卵させ, 得られた卵を水中に保護した。卵をそのまま水中に放置すると水中でふ化がおこり溺死するので, ふ化1日位前に湿ったろ紙の上に移しふ化させた。ふ化した幼虫は小筆を使ってそれぞれの容器に移した。飼育容器は第1図Aを使用した。MED-1飼料を基本として, それからアミノ酸を各1種類除去した飼料を調製して供試した。また, 除去により幼虫発育に不可欠と認められたアミノ酸については, その濃度を変えて最低有効濃度および至適濃度を探索した。供試虫数は各区につき100頭で個体飼育を行い, 脱皮, 羽化, 死亡までの発育状態を調べた。実験はすべて25℃長日条件(16L-8D)下で行った。

トビイロウンカ:

用いたトビイロウンカおよび飼育法は糖の利用の項に記載した1齢幼虫からの飼育法と同じである。人工飼料はヒメトビウンカと同様なMED-1飼料(第1表)を基本にして, それからアミノ酸を各1種類除去した飼料を調製して供試は25℃, 長日条件(16L-8D)下で行った。人工飼料は, 引き伸ばしたフジ・シーロンフィルムを通して吸汁させた。人工飼料は1日おきに取り換え, 供試虫数は各区100頭とし, 個体飼育を行って, その発育状態を調べた。

セジロウンカ:

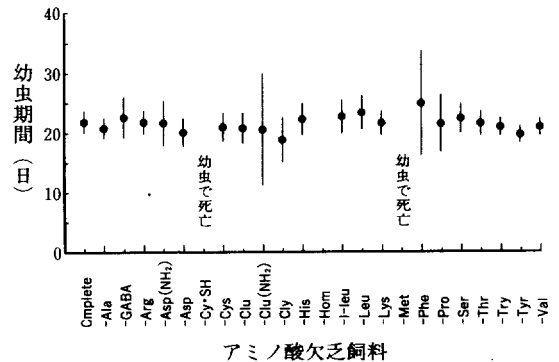
実験に供したセジロウンカは, 旧農業技術研究所構内(西ヶ原)より採集し, 実験室内で, イネ芽出しを用いて25℃, 長日条件(16L-8D)下で継代飼育した系統を使用した。人工飼育容器は, トビイロウンカと同様の第1図Bを使用した。セジロウンカは, ヒメトビウンカやトビイロウンカの採卵方法(第2図)でほとんど産卵

しないので, イネ芽出しに産卵させた卵をふ化直前にとりだし, 湿ったろ紙の上でふ化させた。人工飼料としては, ヒメトビウンカやトビイロウンカと同様に, MED-1飼料を基本として(第1表), それからアミノ酸を各1種類除去した飼料を調製して供試した。飼育は25℃, 長日条件(16L-8D)下で行った。人工飼料は, 引き伸ばしたフジ・シーロンフィルムを通して吸汁させ1日おきに更新した。各区100頭ずつ個体飼育を行い, 発育状態を調べた。

2) 結果および考察

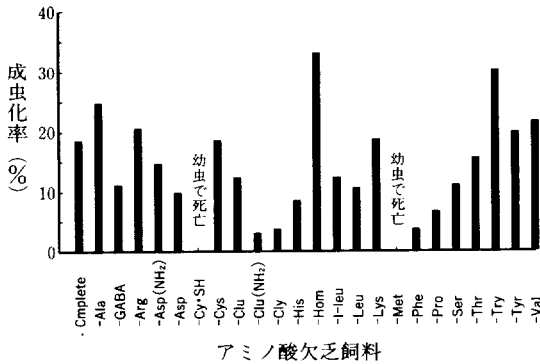
ヒメトビウンカ:

MED-1飼料からアミノ酸各1種類を除去した飼料でヒメトビウンカの幼虫を飼育した結果, アラニン, アミノ-n 酪酸, アルギニン, アスパラギン, アスパラギン酸, シスチン, グルタミン酸, グルタミン, グリシン, ヒスチジン, ホモゼリン, イソロイシン, ロイシン, リジン, フェニルアラニン, プロリン, セリン, スレオニン, トリプトファン, チロシンおよびバリンの21種のアミノ酸のどれか1種を除去した場合に, ヒメトビウンカは成虫まで発育した。システインおよびメチオニンを欠いた飼料ではヒメトビウンカは成虫まで発育できなかった。したがって, ヒメトビウンカの幼虫発育に不可欠なアミノ酸はシステインとメチオニンの2種類であることが明らかになった(第50図)。システインまたはメチオニンを欠く飼料では幼虫は4齢まで, システインとシスチンを同時に欠く飼料では3齢まで発育したがこれら3種の含硫アミノ酸を同時に欠く場合は1齢ですべて死亡した。成虫化率は, アラニン, アルギニン, ホモゼリン, トリプトファン, チロシンおよびバリンを欠く飼料では基本飼料のMED-1より高かった(第51図)。

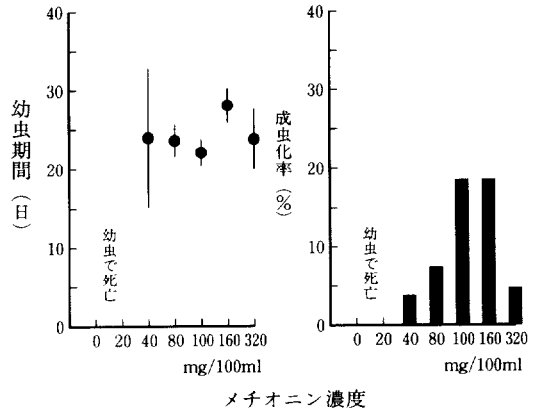


第50図 アミノ酸1種類を欠く飼料でのヒメトビウンカの幼虫発育。

●: 平均幼虫期間, 縦線は信頼係数99%の信頼限界。



第51図 アミノ酸1種類を欠く飼料でのヒメトビウカの成虫化率。



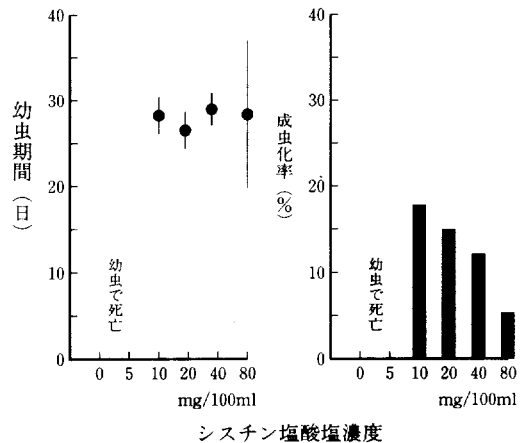
第52図 メチオニンの濃度とヒメトビウカの幼虫発育と成虫化率。
●：平均幼虫期間，縦線は信頼係数99%の信頼限界。

次に、上の実験でヒメトビウカの幼虫発育に不可欠なアミノ酸であることが判明したシステインおよびメチオニン、それにシステインの酸化型であるシスチンについて、濃度を変えた場合の幼虫の発育期間および成虫化率を検討した。

メチオニン濃度と幼虫発育との関係では、濃度が0-20mg/100mlの範囲では、幼虫はすべて死亡した。40mg/100ml濃度では成虫まで発育した。成虫化率は40-160mg/100mlまでは濃度が濃くなるにしたがい高くなった(第52図)。

シスチン塩酸塩濃度と幼虫発育との関係については、飼料よりシステインを除去し、シスチン塩酸塩濃度を0-80mg/100mlとして飼育した場合の幼虫期間および成虫化率を調査した(第53図)。シスチン塩酸塩濃度が0-5mg/100mlの範囲では、幼虫はすべて死亡した。しかし10mg/100mlの濃度では成虫まで発育した。成虫化率は、10mg/100mlで最も高くそれ以上では濃度が濃くなるにしたがい低くなった。基本飼料にはシスチンは5mg/100ml含まれているが、この濃度ではシステインが存在しないと幼虫は成虫まで発育できない。しかしシスチンが10mg/100ml以上あればシスチンがなくとも成虫まで発育でき、シスチンがシステインを代行していることが考えられる。

システイン濃度と幼虫発育との関係については、飼料よりシスチン塩酸塩を除去し、システイン濃度を0-80mg/100mlとして飼育した場合の幼虫期間および成虫化率を調査した(第54図)。システインをまったく含まない飼料では、すべての個体は幼虫で死亡した。5mg/100mgではわずかであるが成虫まで発育し、それ以上では濃度の上昇にともなって成虫化率も上昇した。幼虫期間



第53図 シスチン塩酸塩の濃度とヒメトビウカの幼虫発育と成虫化率。
●：平均幼虫期間，縦線は信頼係数99%の信頼限界。

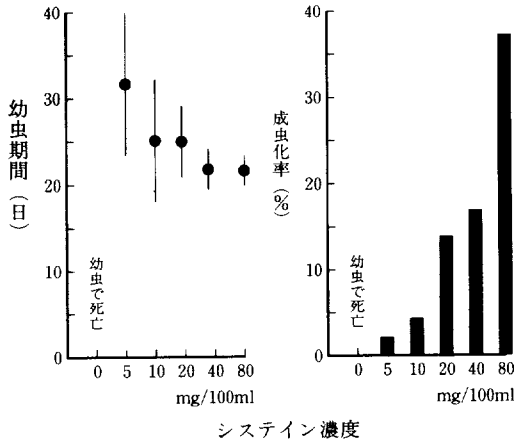
は濃度が濃いほうが短かった。

トビイロウンカ：

MED-1飼料からアミノ酸各1種類を除去した飼料でトビイロウンカの幼虫を飼育した結果、いずれの飼料でもトビイロウンカは成虫まで発育した(第55図)。しかしシステイン、ヒスチジンおよびメチオニンを欠く飼料では、それらを含むMED-1飼料に比べて幼虫期間が長くなることが明らかになった。成虫化率は第56図に示す通りであり、システイン、シスチン、ヒスチジンおよびメチオニンを欠いた飼料では10%前後と低かった。以上の実験から、トビイロウンカはどのアミノ酸を1種類

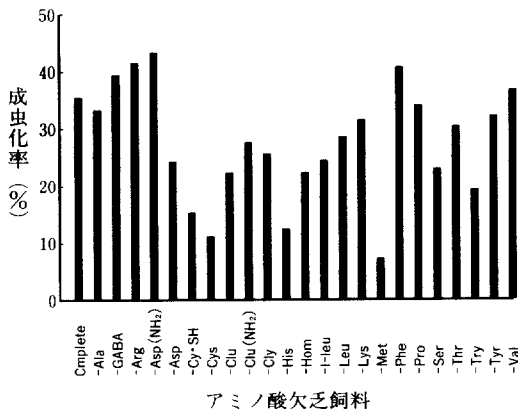
欠除しても成虫まで発育することが明らかになった。しかし、システイン、シスチン、ヒスチジンおよびメチオニンは栄養上重要なアミノ酸であることが推察された。次に、上の実験で、欠除した場合には幼虫発育が遅延し

たシステイン、ヒスチジンおよびメチオニンと成虫化率が低下したシスチンの4種類のアミノ酸について、人工飼料中の濃度を変えた場合のトビイロウンカ幼虫の発育期間および成虫化率を調査した。



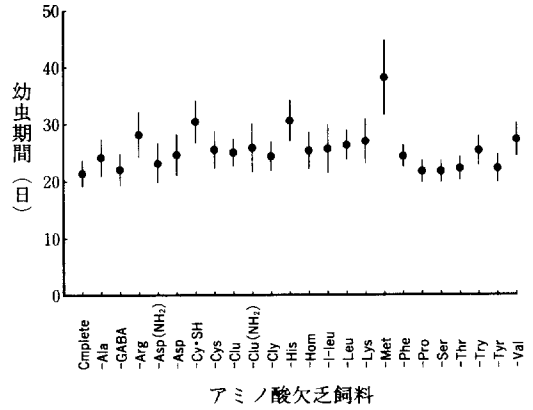
第54図 システインの濃度とヒメトビウンカの幼虫発育と成虫化率。

●：平均幼虫期間，縦線は信頼係数99%の信頼限界。

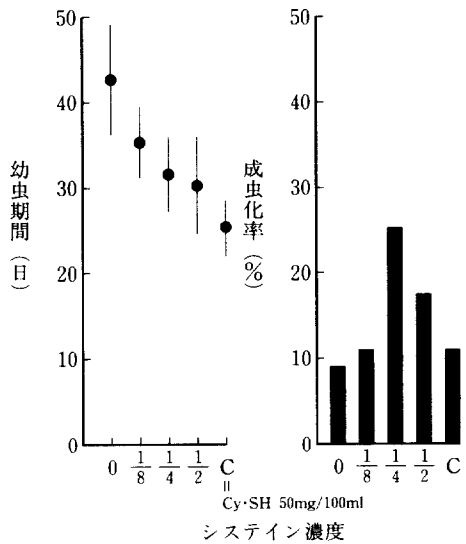


第56図 アミノ酸1種類を欠く飼料でのトビイロウンカの成虫化率。

システイン濃度と幼虫発育との関係については、飼料よりシスチンを除去し、システイン濃度を0-50mg/100mlとした場合の幼虫期間および成虫化率を調査し第57図に示した。システインをまったく欠く飼料でもトビイロウンカは成虫まで発育したが、幼虫期間は濃度がうすくなるにつれて顕著に遅延した。成虫化率はMED-1



第55図 アミノ酸1種類を欠く飼料でのトビイロウンカの幼虫発育。●：平均幼虫期間，縦線は標準偏差。



第57図 システインの濃度とトビイロウンカの幼虫発育と成虫化率。●：平均幼虫期間，縦線は標準偏差。

飼料の1/4 (12.5mg/100ml) の濃度が一番高かった。

シスチン濃度と幼虫発育との関係については、飼料よりシステインを除去し、シスチン濃度0-5mg/100mlとした場合の幼虫期間および成虫化率を調査し第58図に示した。シスチンの濃度がうすくなると幼虫期間は遅延し

たが、システインほど顕著に濃度依存的变化はしなかった。成虫化率はいずれも基本飼料より低かった。

メチオニン濃度と幼虫発育との関係については、メチオニン濃度を0-100mg/100mlとした場合の幼虫期間および成虫化率を調査し第59図に示した。幼虫期間はメチオニンの濃度がうすくなるにしたがい長くなった。成虫化率はMED-1飼料の1/2 (50mg/100ml) の濃度の時最高で、基本飼料より高かった。

ヒスチジン濃度と幼虫発育との関係については、ヒスチジン濃度を0-200mg/100mlとした場合の幼虫期間および成虫化率を調査し第60図に示した。幼虫期間はすべての希釈飼料で長くなった。成虫化率はすべて基本飼料より低くなった。

セジロウンカ：

MED-1飼料からアミノ酸各1種類を除去した飼料でセジロウンカの幼虫を飼育した結果、いずれの飼料でもセジロウンカは成虫まで発育した(第61図)。システインおよびメチオニンを欠いた飼料では、それらを含むMED-1飼料に比べて幼虫期間が非常に長くなるのが明らかになった。特にメチオニンを欠いた飼料では成虫化率が10%と低くなった。その他のアミノ酸を欠いた飼料による成虫化率は、いずれも46-80%の範囲にあったが、すべてのアミノ酸が加えられているMED-1飼料と比較するといずれも低いことが明らかになった(第62図)。以上の実験から、セジロウンカではどのアミノ酸

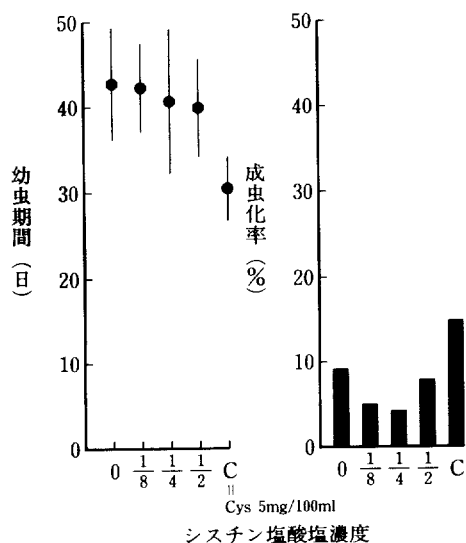
を1種類欠除しても成虫まで発育することが明らかになった。

次に、上の実験で幼虫の発育が遅延したシステインとシステインの酸化型であるシスチン、およびメチオニンの3種類のアミノ酸について、人工飼料中の濃度を変えた場合の幼虫の発育期間及び成虫化率を検討した。

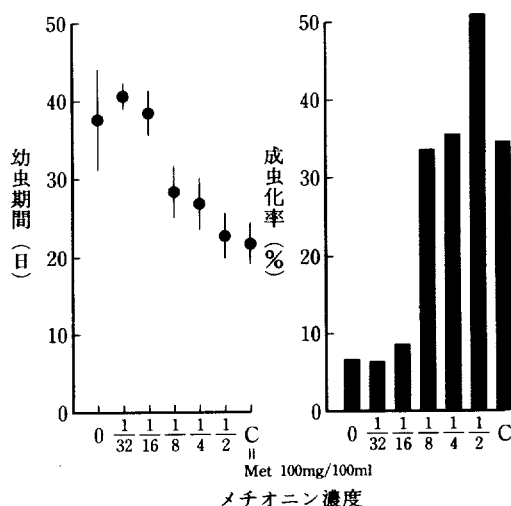
システイン濃度と幼虫の発育との関係については、飼料よりシスチンを除去し、システイン濃度を0-50mg/100mlとして飼育した場合の幼虫期間および成虫化率を調査し、システインとシスチンを含まない飼料で飼育した場合、ふ化幼虫の2%が成虫まで発育し、幼虫期間は30日以上と顕著に遅延した。幼虫の発育期間は、システイン濃度が濃くなるにしたがい短縮した。また、成虫化率は、システイン濃度0-25mg/100mlの範囲では濃度が濃くなるにしたがい高くなる傾向を示した。

シスチン濃度と幼虫の発育との関係については、飼料よりシステイン除去し、シスチン濃度を0-10mg/100mlとして飼育した場合の幼虫期間および成虫化率を調査し第64図に示した。幼虫の発育期間はシスチン濃度が0-2.5mg/100mlでは30日以上と長くなり、また、0.6-10mg/100mlではシスチンの量が多くなるにしたがい発育期間が短縮した。しかし、シスチン濃度が10mg/100mlでもMED-1飼料に比べて幼虫発育期間が長くなった。成虫化率は、シスチン添加量を増やすと高くなった。

メチオニン濃度と幼虫の発育との関係については、メ



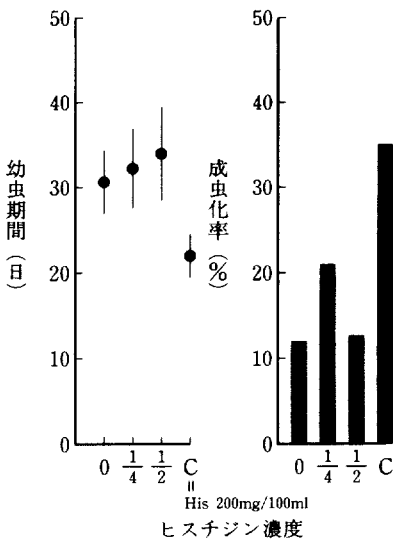
第58図 シスチン塩酸塩の濃度とトビロウンカの幼虫発育と成虫化率。●：平均幼虫期間、縦線は標準偏差。



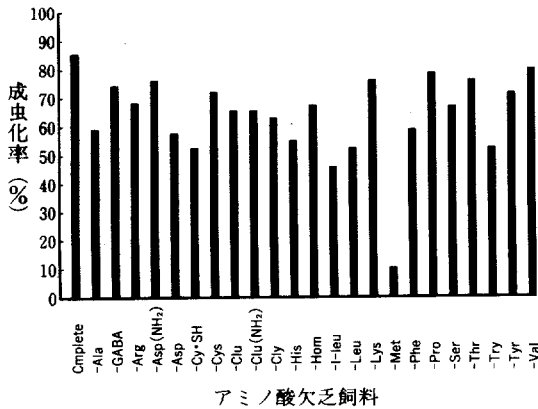
第59図 メチオニンの濃度とトビロウンカの幼虫発育と成虫化率。●：平均幼虫期間、縦線は標準偏差。

チオニンの濃度を 0-100mg/100ml として飼育した場合の幼虫期間および成虫化率を調査し第65図に示した。メチオニンを加えない飼料での幼虫の発育期間は30日以上と顕著に遅延し、成虫化率も10%と低かった。メチオニン濃度25-100mg/100mlの範囲での幼虫の発育期間は、濃度が濃くなるにしたがい短くなった。また、成虫化率は、メチオニン濃度が濃くなるにしたがい高くなった。

本研究により、セジロウカではどのアミノ酸1種類を欠除しても幼虫発育が完了することが明らかになった。

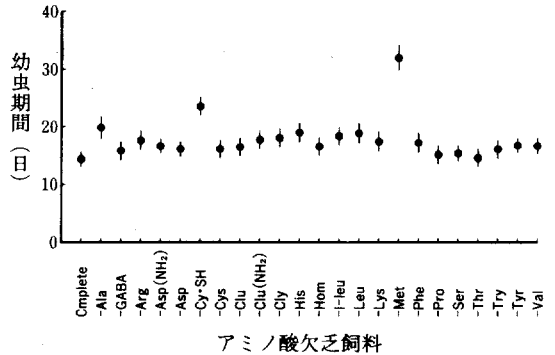


第60図 ヒスチジンの濃度とトビイロウカの幼虫発育と成虫化率。●：平均幼虫期間，縦線は標準偏差。

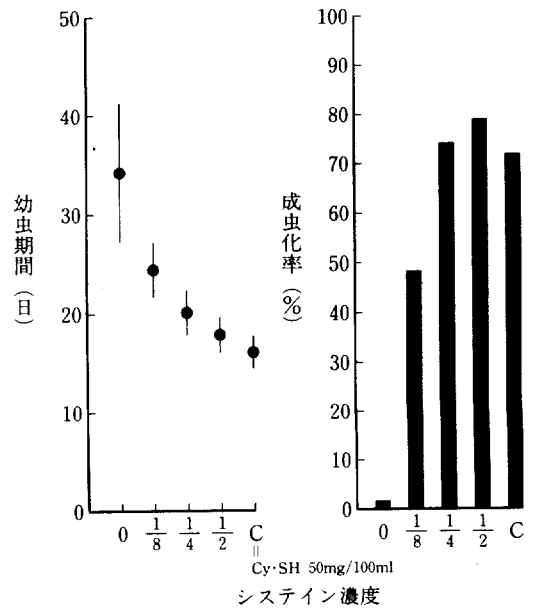


第62図 アミノ酸1種類を欠く飼料でのセジロウカの成虫化率。

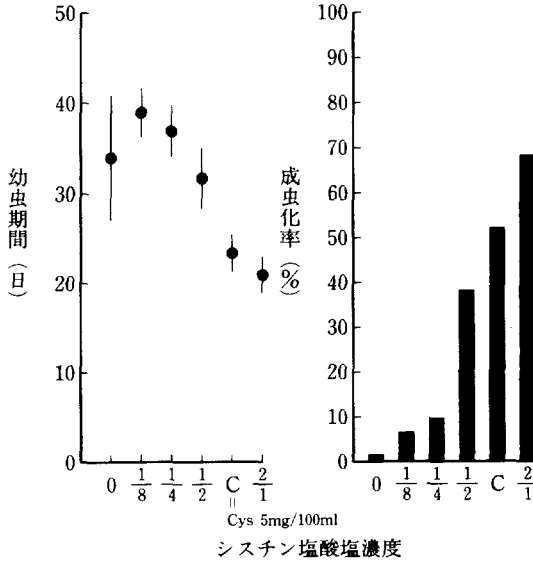
しかし、システインとシスチンに関しては、シスチンを除去しても幼虫発育に影響がないのは、システインが十分量あること、システインを除くと幼虫発育に影響があるのはMED-1飼料に加えられているシスチンの量が多いためであること、システインとシスチンは同濃度ではほとんど同じ効果を与えている。多くの昆虫のアミノ酸要求性は、哺乳動物の必須アミノ酸と同様に、アルギニン、ヒスチジン、イソロイシン、ロイシン、リジン、メチオニン、フェニルアラニン、スレオニン、



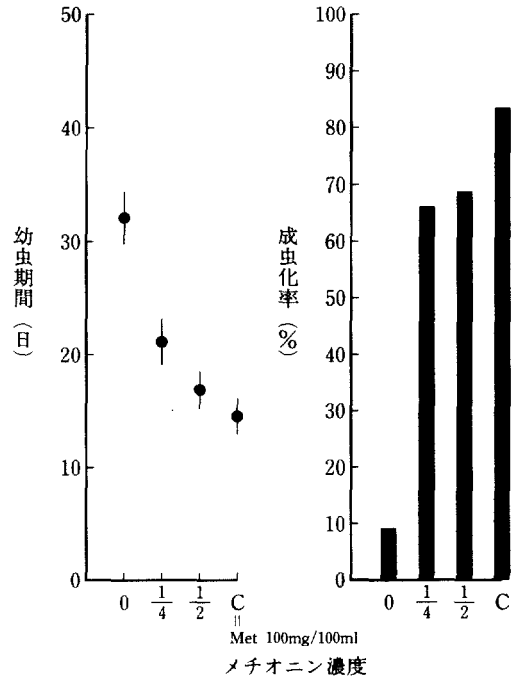
第61図 アミノ酸1種類を欠く飼料でのセジロウカの幼虫発育。●：平均幼虫期間，縦線は標準偏差。



第63図 システインの濃度とセジロウカの幼虫発育と成虫化率。●：平均幼虫期間，縦線は標準偏差。



第64図 シスチン塩酸塩の濃度とセジロウカの幼虫発育と成虫化率。●：平均幼虫期間，縦線は標準偏差。



第65図 メチオニンの濃度とセジロウカの幼虫発育と成虫化率。●：平均幼虫期間，縦線は標準偏差。

トリプトファンおよびバリンの10種類である(平野, 1971)。これまでに、ウンカ・ヨコバイ類でアミノ酸要求が調べられているのは、ヒメトビウンカとトビイロウンカの2種類だけである。トビイロウンカについても、幼虫の発育に不可欠なアミノ酸は個別に除去した実験では、セジロウカと同様に存在しない。

ヒメトビウンカでは、システインまたはシスチンとメチオニンの2種が幼虫発育に不可欠なアミノ酸である。セジロウカとヒメトビウンカのアミノ酸要求を比較すると、ヒメトビウンカはシステインあるいはシスチンのいずれか1種類のアミノ酸を飼料に加えないとふ化幼虫は成虫まで発育できないが、セジロウカはシステインとシスチンを同時に飼料より除去しても2%程度であるが成虫まで発育することができる。また、メチオニンはヒメトビウンカの幼虫発育に不可欠であるが、セジロウカでは不可欠ではないが幼虫の発育が遅延した。不可欠アミノ酸のないセジロウカとトビイロウンカのアミノ酸要求を比較すると、両種ともにシステインおよびメチオニンの2種類のアミノ酸のいずれかを、飼料より除去すると幼虫の発育が遅延することからこの2種のアミノ酸は幼虫発育に重要な要因であると考えられる。シス

チン、メチオニンについては本研究の実験範囲内ではMED-1飼料に含まれている量が最も良い結果を与えたが、さらに量を増やした場合、幼虫期間、成虫化率が改善されるかどうか検討する必要がある。また、本研究では幼虫発育だけを対象としたが、産卵数、次代ふ化率などに対して、当然異なった結果がえられるであろう。一方、同じ半翅目昆虫であるアブラムシでは、モモアカアブラムシとアブラムシの一種 *Aphis fabae* でアミノ酸要求が調べられている。モモアカアブラムシでは、メチオニン、ヒスチジンおよびイソロイシンの3種類が不可欠である(DADD and KRIEGER, 1968)。 *A. fabae* では、アラニン、ヒスチジン、メチオニン、プロリン、セリン、システイン、フェニルアラニンおよびチロシンの8種類が不可欠であるといわれている(LECKSTEIN and LLEWELLYN, 1973, 1974)。これらの結果は同じ半翅目昆虫でも、種によりかなりアミノ酸要求が異なることを示している。

一般に半翅目昆虫の栄養要求が他の目の昆虫に比して少ないのは、体内にいる細胞内共生微生物が宿主に必要な物質を生産して与えているからだと考えられている。ヒメトビウンカでは卵から2種類の細胞内共生微生物 Ls-1 と Ls-2 が分離された(KUSUMI et al., 1979)。

この共生微生物を、グルコース、ビタミン、無機塩よりなる合成培地で培養し、培養液中にアミノ酸が分泌され蓄積されるかどうかについて実験を行った結果、Ls-1だけが培地にメチオニンとシステイン以外のすべてのアミノ酸を分泌していた(喜多, 1982)。ヒメトビウンカの人工飼料での飼育実験と共生微生物の培養実験とから、ヒメトビウンカは必要とする大部分のアミノ酸を共生微生物に依存しているといえる。セジロウンカも、ヒメトビウンカと同様に共生微生物を持ち、これがセジロウンカの発育に必要なアミノ酸を供給するため、幼虫発育に不可欠なアミノ酸はないという結果が得られたものと考えられる。また、個別に除去しても幼虫が発育したアミノ酸は可欠アミノ酸といえるが、これらのアミノ酸相互間のバランスも幼虫発育に重要な意味をもっていると思われた。

3 ビタミン要求性

ヒメトビウンカ、トビイロウンカおよびセジロウンカのビタミン要求性を調べた。

1) 材料および方法

ヒメトビウンカ:

用いたヒメトビウンカおよび飼育法はアミノ酸要求性

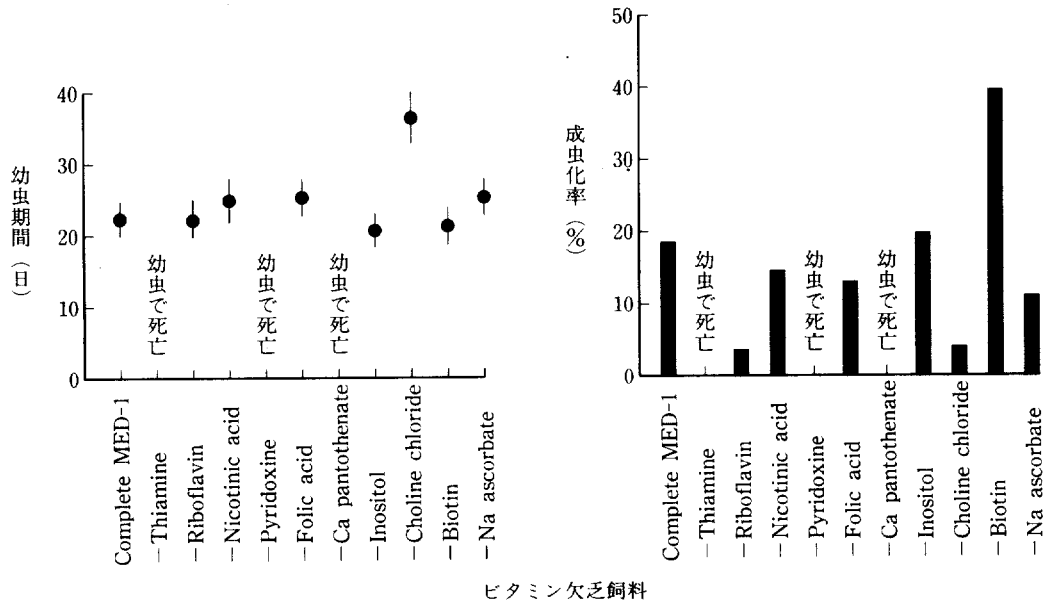
の項に記載したものと同一である。MED-1飼料(第1表)を基本にして、それからビタミンを各1種類除いた飼料を調製して供試した。また、除去により、幼虫発育に影響の認められたビタミンについては、その濃度を変えて至適濃度を探索した。各区につき100個体の個体飼育を行い、脱皮、羽化、死亡までの日数を記録した。

トビイロウンカ:

用いたトビイロウンカおよび飼育法は、糖の項に記載した1齢幼虫からの飼育法と同じである。人工飼料はヒメトビウンカと同様なMED-1飼料(第1表)を基本にして、それからビタミンを各1種類を除去した飼料を調製して供試した。また、除去により幼虫発育に不可欠と認められたビタミンについては、その濃度を変えて至適濃度を探索した。また、MED-1飼料における濃度よりも濃い濃度についても実験を行い、幼虫発育が改善されるかどうかを検討した。各区につき100個体の個体飼育を行い、発育状態を記録した。

セジロウンカ:

実験に用いたセジロウンカおよび飼育方法はセジロウンカのアミノ酸要求性の項に記載したものと同一である。人工飼料としては、ヒメトビウンカやトビイロウンカと同様に、MED-1飼料を基本として、それからビタ



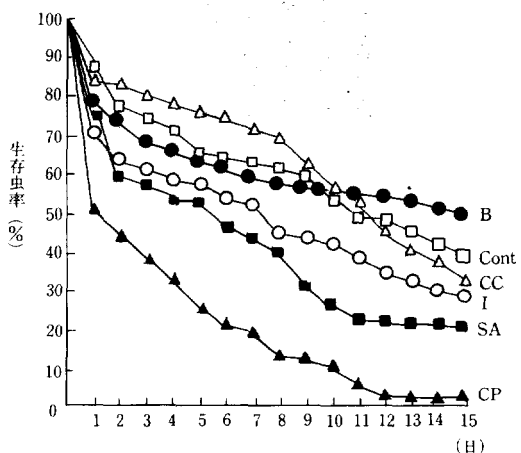
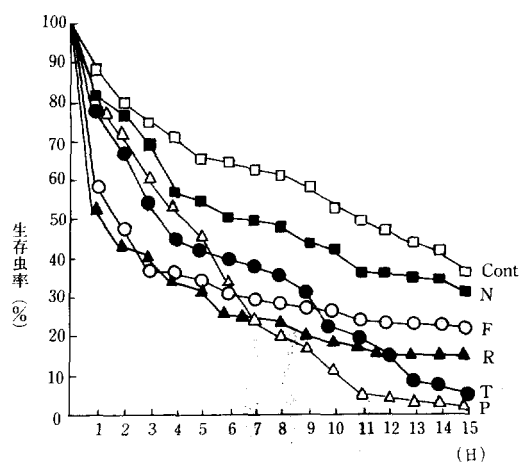
第66図 ビタミン1種類を欠く飼料でのヒメトビウンカの幼虫発育と成虫化率。●:平均幼虫期間, 縦線は信頼係数99%信頼限度を示す。

ミンを各1種類除去した飼料を調製した。また、除去により、幼虫発育に影響の認められたビタミンについては、その濃度を変えて至適濃度を探索した。各区につき100個体の個体飼育を行い、脱皮、羽化、死亡までの日数を記録した。

2) 結果および考察

ヒメトビウンカ：

MED-1 飼料から個別にビタミン1種類を除去した飼料で、ヒメトビウンカを飼育した場合の幼虫期間を第66図に示す。チアミン、ピリドキシンあるいはパントテン酸



第67図 ヒメトビウンカのみ化後15日までの生存率曲線。
 Cont：完全なMED-1飼料，N：ニコチン酸欠乏飼料，T：チアミン欠乏飼料，F：葉酸欠乏飼料，R：リボフラビン欠乏飼料，P：ピリドキシン欠乏飼料，CC：コリン欠乏飼料，B：ビオチン欠乏飼料，I：イノシトール欠乏飼料，SA：アスコルビン酸欠乏飼料，CP：パントテン酸欠乏飼料を示す。

を欠いた飼料では、ヒメトビウンカは幼虫発育を完了することができず各々3齢，5齢，4齢までしか到達できなかった。塩化コリンを欠く飼料では、幼虫期間が顕著に長くなった。その他のビタミンを欠いた飼料では、幼虫期間は完全飼料の場合と比べ有意の差が認められなかった。また、成虫化率はリボフラビンの場合を除き、大体幼虫期間が長くなるほど低くなる傾向を示した。幼虫期における死亡はふ化直後に多くみられ、チアミン、ピリドキシンあるいはパントテン酸を欠く飼料では、ふ化後15日以内にほとんどが死亡した(第67図)。次に、上の実験で不可欠なビタミンと考えられた3種のビタミンについて、飼料中の濃度を変えてその至適濃度を探索した。

チアミン塩酸塩をまったく欠く飼料では、幼虫は3齢までしか発育しないが、0.005mg/100ml加えると5齢まで発育するようになる。成虫まで発育させるためには最低0.01mg/100ml必要であり、さらに量を増やすと発育が早められ成虫化率改善されるが、0.1mg/100ml以上では有意の差がなく、至適濃度は0.1mg/100ml付近であると考えられた(第68図)。

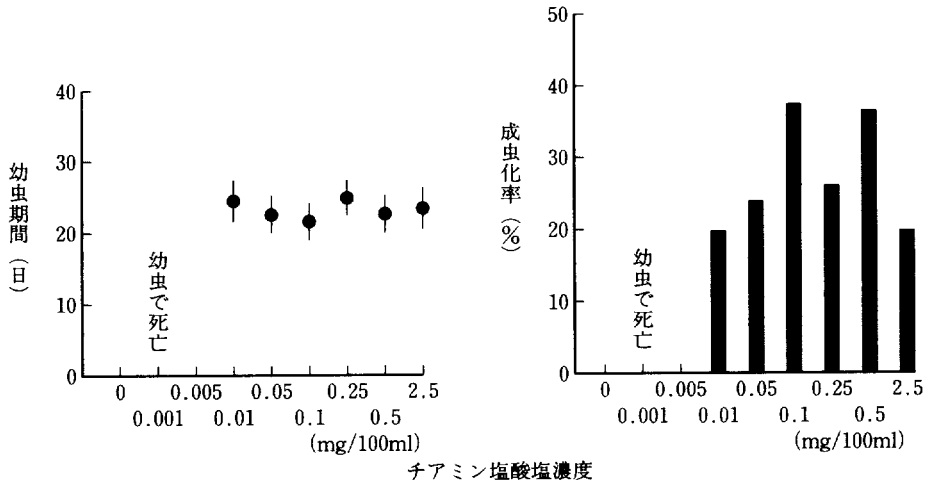
ピリドキシン塩酸塩の最小必要量は0.001mg/100mlであり、それ以上添加量を増やしても発育は促進されない。しかし、成虫化率はやや改善される傾向を示した(第69図)。

パントテン酸カルシウムの最小必要量は0.05mg/100mlで、0.01mg/100ml添加では、幼虫は4齢までしか発育せず、無添加の場合と差がない。0.5mg/100ml以上では幼虫発育は促進され、成虫化率も改善された。至適濃度は0.5mg/100ml近辺と考えられる(第70図)。

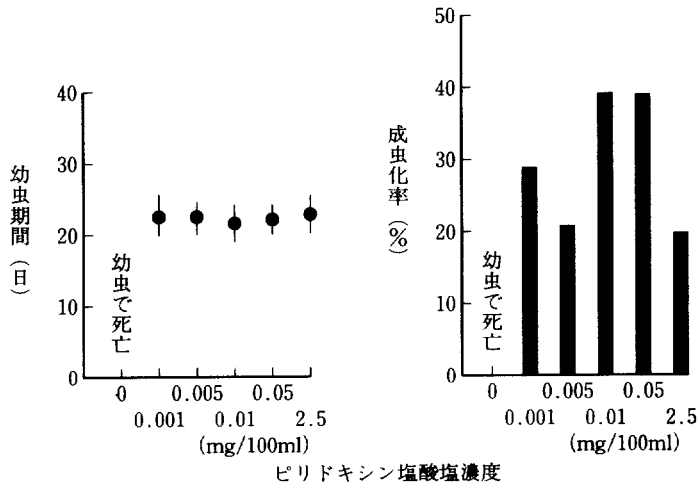
塩化コリンは不可欠ではないが、まったく欠く場合、成虫まで発育する個体もあるが、その発育は顕著に遅延する。塩化コリン添加量を増やすと幼虫発育は促進され、成虫化率も向上する。至適濃度は5-10mg/100mlにあると推定された(第71図)。

上の実験で個別に除去した場合、可欠と判断されたビタミンを同時に全部除去した飼料では幼虫発育は阻害され4齢までしか発育しなかった。

本研究により、ヒメトビウンカの幼虫発育に不可欠なビタミンはチアミン、ピリドキシンおよびパントテン酸の3種類であることが明らかになった。これは栄養要求が調べられている他の昆虫に比べて、非常に少ないと云える(GILMOUR, 1961)。半翅目昆虫ではビタミン要求が調べられているのはアブラムシだけであり、モモアカアブラムシでは、幼虫発育に不可欠なビタミンはチアミ



第68図 チアミン塩酸塩の濃度とヒメトビウンカの幼虫発育と成虫化率。
●：平均幼虫期間，縦線は信頼係数99%信頼限度を示す。

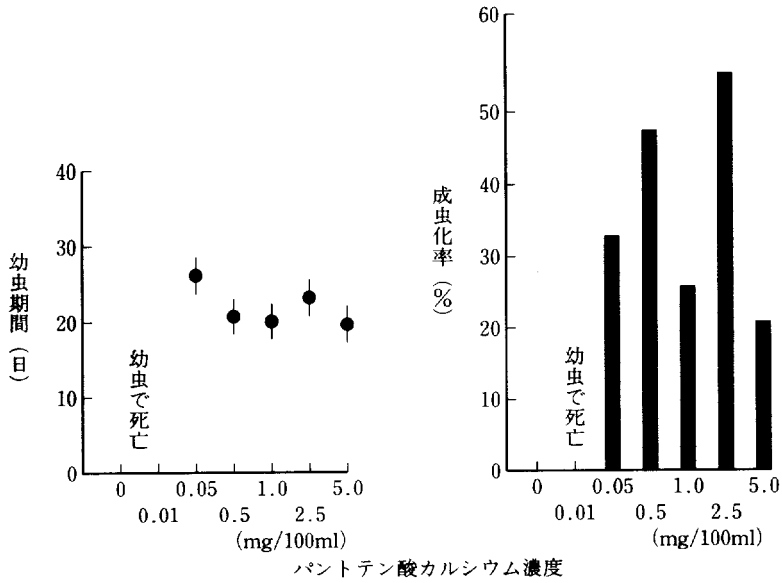


第69図 ピリドキシン塩酸塩の濃度とヒメトビウンカの幼虫発育と成虫化率。
●：平均幼虫期間，縦線は信頼係数99%信頼限度を示す。

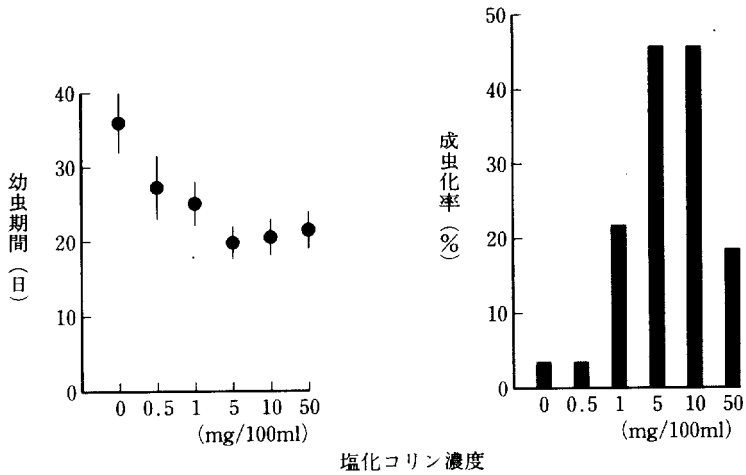
ン、ニコチン酸およびパントテン酸であると云われている (DADD et al., 1967)。しかし、継代飼育のためにはさらにピリドキシン、葉酸、イノシトールおよびコリンが必要であり、これらのビタミンについては、1世代の発育に必要な量が前世代の成虫から受けつがれていると考えられている。リボフラビンとビオチンも継代飼育に不可欠のようであるが、その必要量は2世代にわたって受

けつがれることができるという。ヒメトビウンカの場合も、継代飼育のためには、さらに何種類かのビタミンが必要になる可能性は否定できない。

モモアカアブラムシとヒメトビウンカのビタミン要求性を比較すると、両者においてチアミンとパントテン酸が不可欠となっているが、その他では前者はニコチン酸、後者はピリドキシンを不可欠としている。また、モ



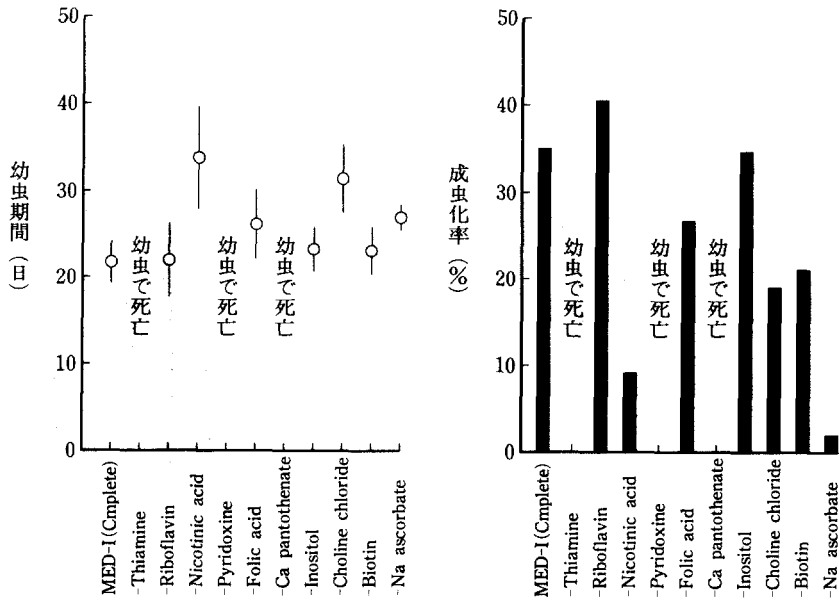
第70図 パントテン酸カルシウムの濃度とヒメトビウンカの幼虫発育と成虫化率。
●：平均幼虫期間，縦線は信頼係数99%信頼限度を示す。



第71図 塩化コリンの濃度とヒメトビウンカの幼虫発育と成虫化率。
●：平均幼虫期間，縦線は信頼係数99%信頼限度を示す。

モアアブラムシでは可欠ビタミンでも、それを取り除くと、かなり幼虫発育が遅れると報告されているが (DADD et al., 1967), ヒメトビウンカの場合は顕著な発育遅延はみられなかった。これらのことは、種によりかなりビタミンの要求性がことなることを示していると思われる。

一般に半翅目昆虫の栄養要求が他の目の昆虫に比べて少ないのは、体内にいる細胞内共生微生物が宿主に必要な物質を生産して与えているからだと考えられている。ヒメトビウンカは腹部の脂肪体内にあるマイゼトーム中に酵母状共生菌をもっており、これがヒメトビウンカに必要な物質のかなりの部分を生産でき、みかけ上、ヒメ



ビタミン欠乏飼料

第72図 ビタミン1種類を欠く飼料でのトビイロウンカの幼虫発育と成虫化率。
○：平均幼虫期間，縦線は標準偏差。

トビイロウンカの不可欠なビタミンが極端に少なくなっているのであろうと考えられる。

個別に除去しても発育に影響を及ぼさないビタミンは不可欠ビタミンと言えるが、これら不可欠ビタミンを同時に除去すると発育が阻害されることは、あるビタミンが欠けた場合、それを代行できるようなビタミンがあること、あるいはビタミン相互間のバランスが重要な意味をもっていることを示唆している。

トビイロウンカ：

MED-1 飼料から個別にビタミン1種類を除去した飼料で、トビイロウンカのふ化幼虫を飼育した場合の幼虫期間を第72図に示す。チアミン、ピリドキシンおよびパントテン酸を欠いた飼料では、トビイロウンカは幼虫発育を完了することができず、それぞれ4齢、3齢、3齢までしか到達できなかった。また、ニコチン酸および塩化コリンを欠く飼料では、幼虫期間が顕著に長くなり、アスコルビン酸ナトリウムを欠く飼料では、やや長くなった。その他のビタミンを欠いた飼料では、幼虫期間はMED-1 飼料と比べて有意の差はみられなかった。また、成虫化率はアスコルビン酸ナトリウムおよびニコチン酸を欠く飼料では顕著に低かった(第72図)。幼虫期

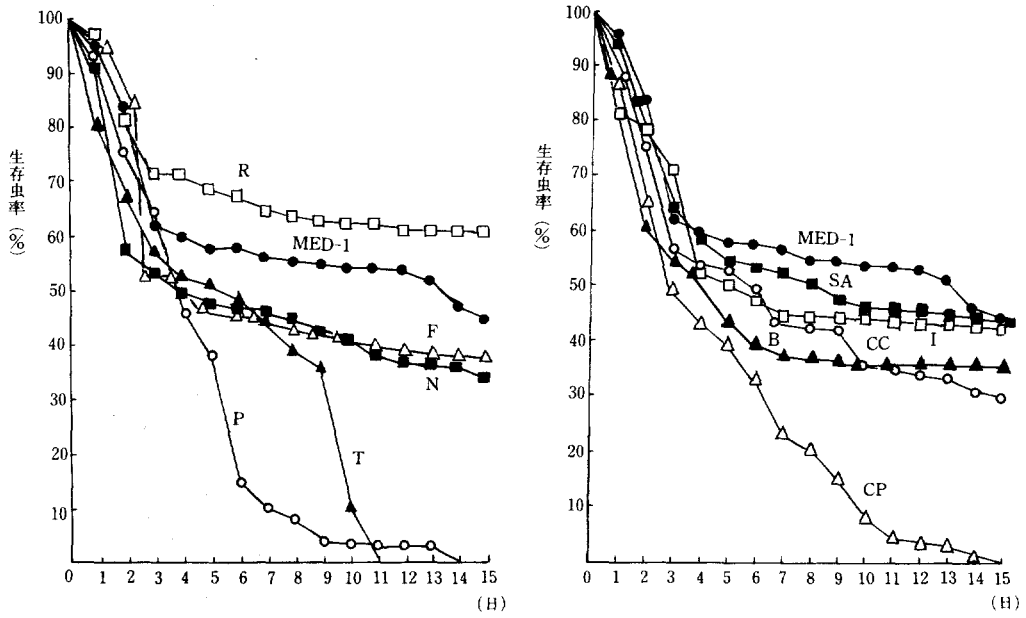
における死亡は、いずれの場合も飼育開始直後に多くみられた(第73図)。

次に、上の実験で不可欠なビタミンと考えられた3種のビタミンについて、人工飼料中の濃度を変えてその至適濃度を探索した。

チアミン塩酸塩をまったく欠く飼料では、幼虫は3齢までしか発育しなかったが、MED-1 飼料に加えられている量の1/512の濃度(0.00488mg/100ml)では4齢幼虫まで発育するようになった。成虫まで発育させるためには1/256濃度(0.00976mg/100ml)が必要であった。1/128の濃度(0.019531mg/100ml)~1/2の濃度(1.25mg/100ml)と濃くなるにしたがい幼虫期間が少しずつ短くなった。また、チアミンの濃度をMED-1 飼料中の濃度より濃くしていった場合、幼虫期間はやや長くなる傾向を示した(第74図)。

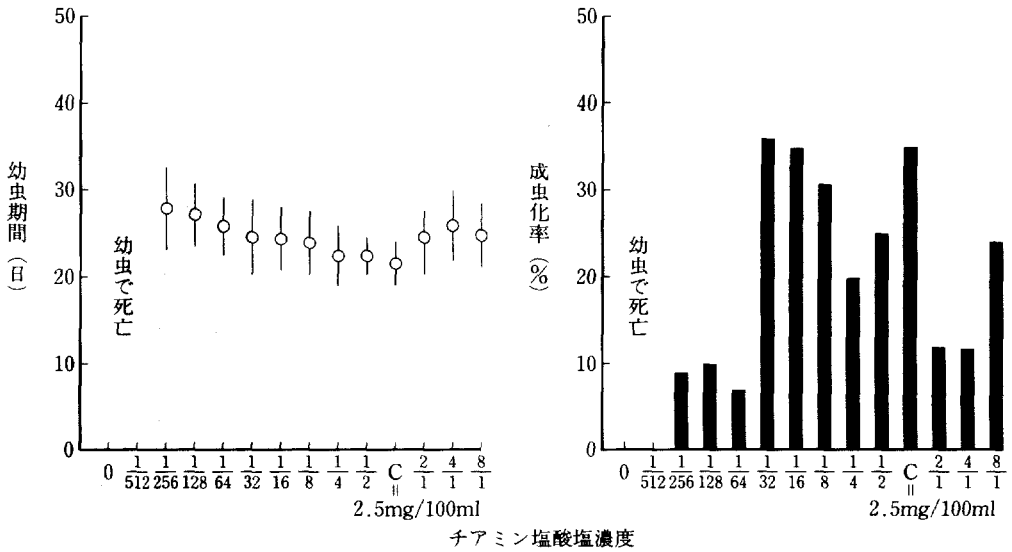
成虫化率は第74図の通りであった。以上の結果チアミン塩酸塩の最低有効濃度は0.01mg/100ml 近辺と推定されたが至適濃度をきめることはできなかった。

ピリドキシン塩酸塩を飼料より除去するとトビイロウンカは3齢まで発育することができたが成虫まで発育しなかった。MED-1 飼料の1/512の濃度(0.00488mg/100



第73図 トビロウカのふ化後15日までの生存率曲線。

MED-1：完全なMED-1飼料，R：リボフラビン欠乏飼料，F：葉酸欠乏飼料，N：ニコチン酸欠乏飼料，T：チアミン欠乏飼料，P：ピリドキシン欠乏飼料，SA：アスコルビン酸欠乏飼料，I：イノシトール欠乏飼料，CC：コリン欠乏飼料，B：ビオチン欠乏飼料，CP：パントテン酸欠乏飼料。

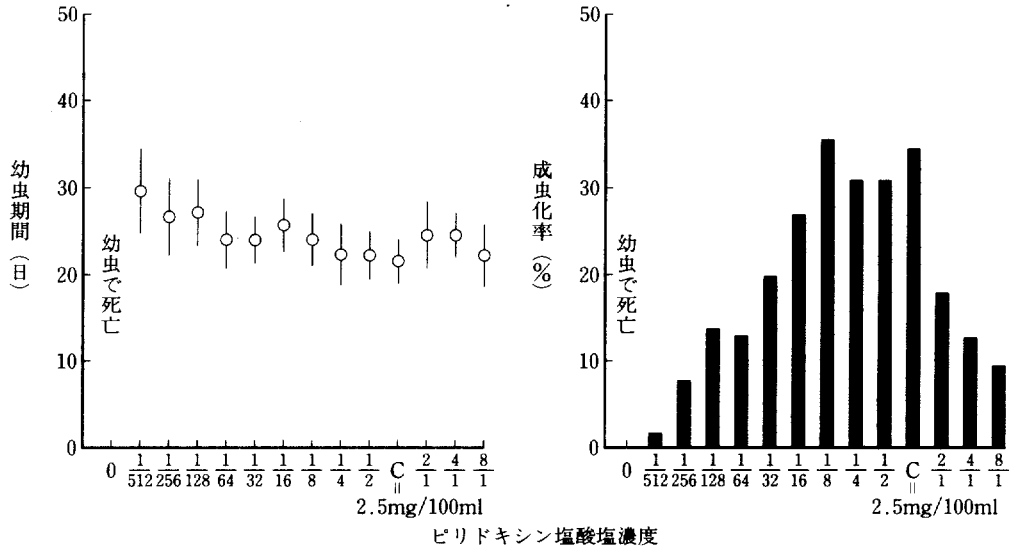


第74図 チアミン塩酸塩の濃度とトビロウカの幼虫発育と成虫化率。

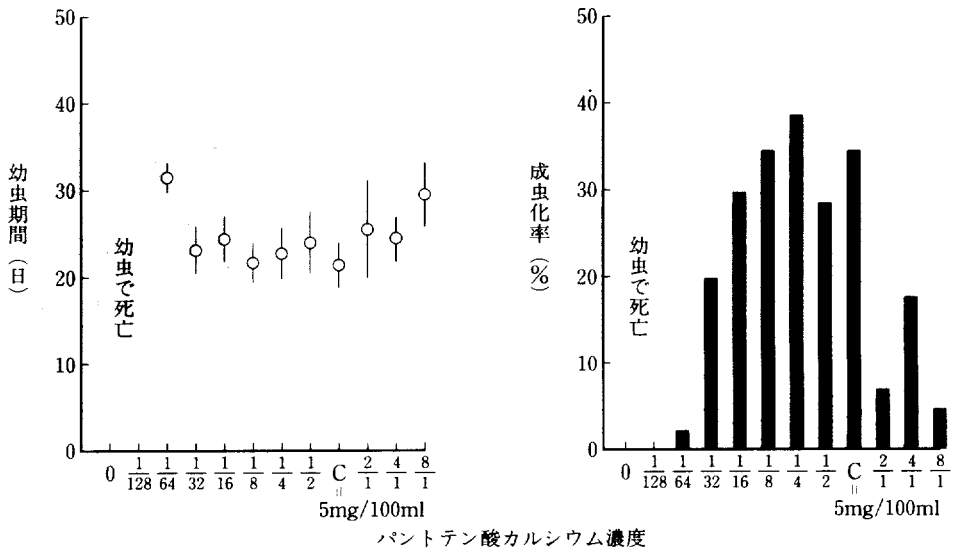
○：平均幼虫期間，縦線は標準偏差。

ml) 以上では、成虫まで発育することができた (第75図)。成虫化率は第75図の通りであった。以上の結果ピリドキシリン塩酸塩の最低有効濃度は0.005mg/100ml 付近であることが判明したが、正確な濃度をきめることはできなかった。また、至適濃度をきめることはできなかった。

パントテン酸カルシウムを飼料から除去するとトビロウカは3齢幼虫までしか発育できなかった。MED-1飼料の1/128の濃度 (0.03906mg/100ml) では4齢まで、1/64の濃度 (0.07812mg/100ml) では、幼虫期間は長くなったが成虫まで発育できた (第76図)。成虫化率は第76図に示す通りである。以上の結果からパントテ



第75図 ピリドキシリン塩酸塩の濃度とトビロウカの幼虫発育と成虫化率。
○：平均幼虫期間、縦線は標準偏差。



第76図 パントテン酸カルシウムの濃度とトビロウカの幼虫発育と成虫化率。
○：平均幼虫期間、縦線は標準偏差。

ン酸カルシウムの最低有効濃度は0.078mg/100ml 近辺と推定されたが、至適濃度をきめることはできなかった。

本研究により、トビロウカスの幼虫発育に不可欠なビタミンはチアミン、ピリドキシンおよびパントテン酸の3種類であることが明らかになった。トビロウカとヒメトビウカスの幼虫発育に対する不可欠なビタミンは全く同じであった。上記3種類のビタミンの至適濃度については、広い濃度範囲で幼虫の発育と成虫化率に有意の差がみられなかったため、正確に決定することはできなかった。

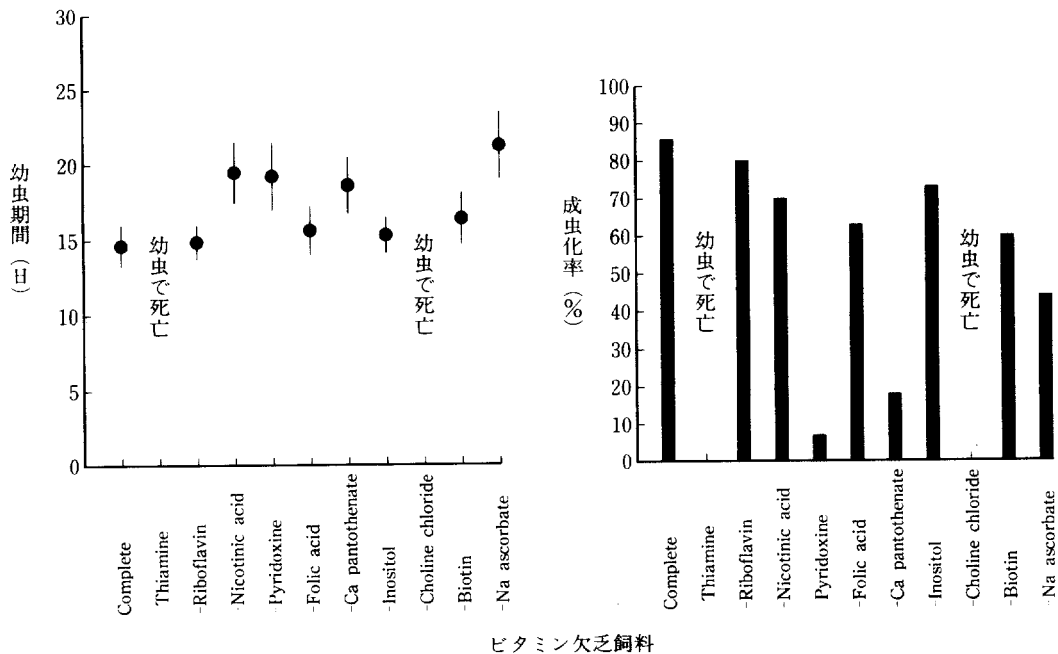
ウンカ・ヨコバイ類以外の半翅目昆虫でビタミン要求が調べられているのは、アブラムシとカメムシだけである。モモアカアブラムシでは、幼虫発育に不可欠なビタミンはチアミン、ニコチン酸およびパントテン酸であるといわれている (DADD et al., 1967)。一方、ホソヘリカメムシでは、幼虫発育に不可欠なビタミンはリボフラビンだけであるといわれている (野田・釜野, 1983)。これら結果を比較すると同じ半翅目の昆虫でも種によりビタミンの要求性が異なることが分かる。

一般に半翅目昆虫の栄養要求が他の目の昆虫に比べて少ないのは、体内にいる細胞内共生微生物が宿主に必要な物質を生産して与えているからだと考えられている。

これがトビロウカに必要な物質のかなりの部分を生産でき、したがってみかけ上、トビロウカスの幼虫発育に不可欠なビタミンが非常に少なくなっているのであろうと考えられる。

セジロウカ：

MED-1 飼料から個別にビタミン各1種類を除去した飼料でのセジロウカスの各齢期間および成虫化率を第77図に示す。チアミン塩酸塩あるいは塩化コリンを欠いた飼料では、セジロウカは幼虫発育を完了することができず、それぞれ3齢および5齢の途中で全個体が死亡した。幼虫期間は、ニコチン酸、ピリドキシン塩酸塩、パントテン酸カルシウム、およびアスコルビン酸ナトリウムを欠く飼料では、幼虫期間の遅延程度が大きいことが明らかになった。また、葉酸、イノシトールおよびビオチンを欠いた飼料では、セジロウカの幼虫期間の遅延程度は小さく、リボフラビンを欠く飼料の場合は、MED-1 飼料と比べて差は認められなかった。なお、全部のビタミンを除去した区では3齢途中までしか発育できなかった。成虫化率は、ピリドキシンおよびパントテン酸を欠く飼料では顕著に低く、特に前者では成虫まで達し



第77図 ビタミン1種類を欠く飼料でのセジロウカの幼虫発育と成虫化率。
●：平均幼虫期間、縦線は標準偏差。

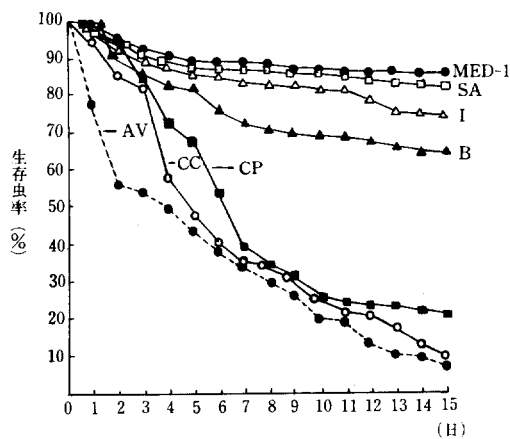
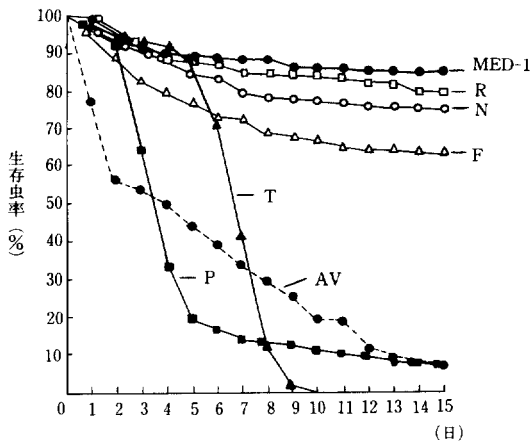
た個体は7%にすぎなかった。生存虫率は、チアミン塩酸塩を欠く飼料では、ふ化後10日目までにすべての個体が死亡したが、生存虫率の低下は6日以後に顕著であった。また、成虫まで発育しなかった塩化コリン除去区およびビタミン全部除去区と成虫化率の低かったピリドキシン塩酸塩除去区およびパントテン酸カルシウム除去区では、ふ化後15日までの生存虫率が低かった(第78図)。次に、上の実験で幼虫発育に不可欠と考えられた2種のビタミンについて、最低有効濃度および至適濃度を探索した。チアミン塩酸塩の濃度と幼虫発育および成虫化率

は第79図に示す通りである。成虫期間を見ると、チアミンの濃度が薄くなるにしたがいやや長くなる傾向を示した。成虫化率は1/8-1/16 (0.313-0.156mg/100ml)の濃度では対照区とあまりかわらなかった。チアミン塩酸塩をまったく欠く飼料では、3齢の途中ですべての個体が死亡し、チアミン濃度が1/256 (0.01mg/100ml)では、成虫化率が21%で、1/512 (0.005mg/100ml)では1%と低いことが明らかになった。以上の結果から、チアミン塩酸塩の最低有効濃度は、1頭ではあるが成虫まで発育した0.005mg/100ml付近と推定される。また、試験した濃度区のうちMED-1飼料に含まれている2.5mg/100mlで最も発育が早く、成虫化率も良かった。この濃度以上では試験をしていないので、至適濃度の範囲は決定できなかった。

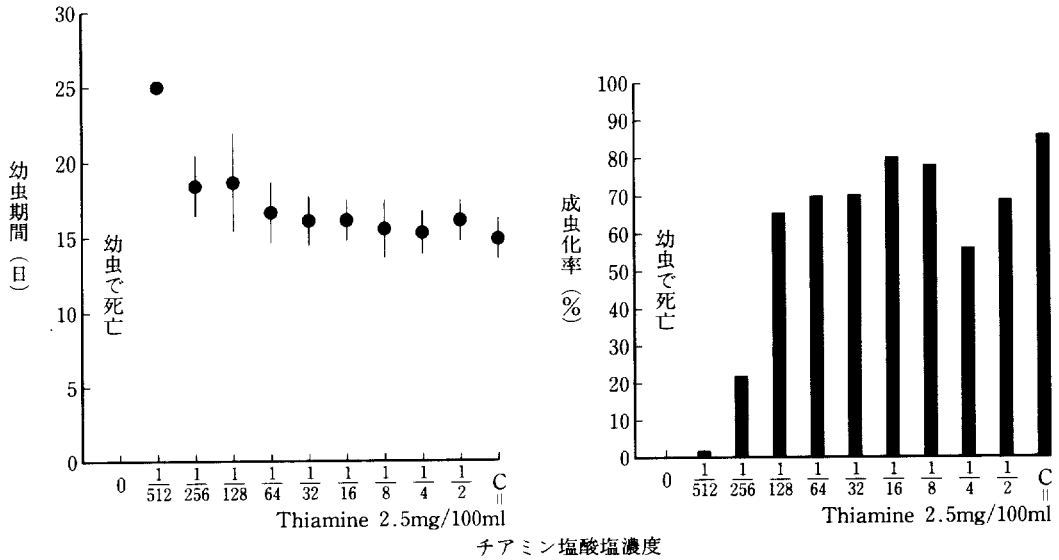
塩化コリンを飼料より除去すると、セジロウカは5齢幼虫まで発育することができたが成虫まで発育しなかった。塩化コリン濃度と幼虫発育および成虫化率は第80図に示す通りである。塩化コリン濃度が薄くなるにしたがい幼虫期間が遅延した。以上の結果から、塩化コリンの最低有効濃度は1頭ではあるが成虫まで発育した濃度の、0.098mg/100ml付近と推定された。また、MED-1飼料に含まれている50mg/100mlより濃い濃度については試験していないので、至適濃度の範囲は決定できなかった。

セジロウカの幼虫発育に不可欠なビタミンは、チアミンとコリンの2種類であることが明らかになった。これはヒメトビウカおよびトビロウカと比較すると、ヒメトビウカとトビロウカの幼虫発育に不可欠なビタミンは両種とも、チアミン、ピリドキシンおよびパントテン酸の3種類であり(前出)。この3種類のウカに共通した不可欠なビタミンはチアミンだけであった。セジロウカはピリドキシンおよびパントテン酸を不可欠としなかったが、成虫化率は顕著に低かった。

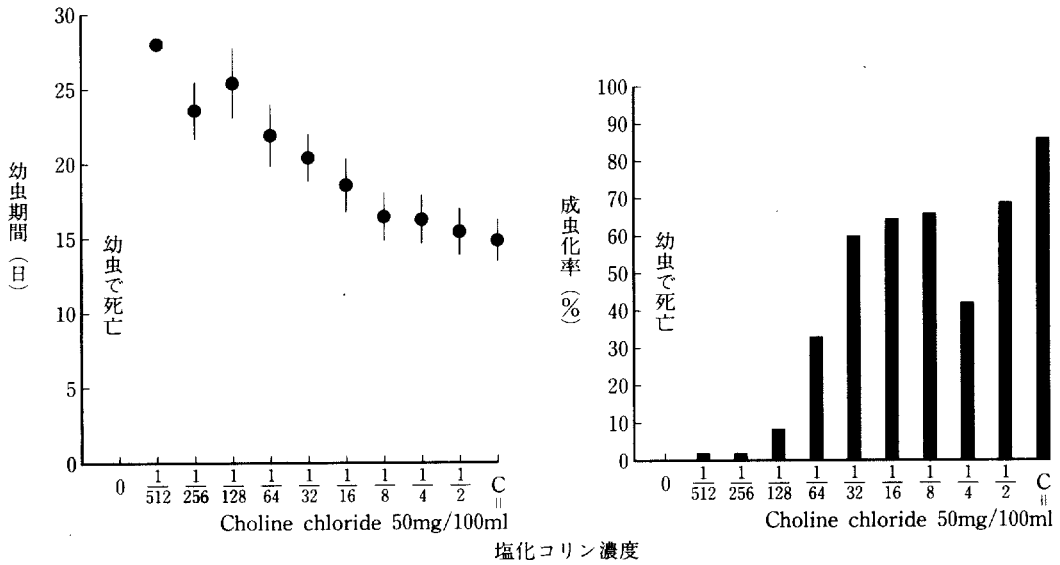
一般に半翅目昆虫の栄養要求が他の目の昆虫に比して少ないのは、体内にいる細胞内共生微生物が宿主に必要な物質を生産して与えているからだと考えられている。セジロウカも腹部の脂肪体内にあるマイセトームに酵母状共生菌を持っており、これがセジロウカに必要な物質のかなりの部分を生産して宿主に供給するため、見かけ上、セジロウカの不可欠なビタミンが極端に少なくなっているのであろうと考えられる。しかし、セジロウカより細胞内共生微生物を取り除いた個体に飼育試験をした報告がないため、細胞内共生微生物がセジロウカにビタミンを補給している証明はないが、細胞内共



第78図 セジロウカのふ化後15日までの生存率曲線。
MED-1 : MED-1 飼料, R : リボフラビン欠乏飼料, N : ニコチン酸欠乏飼料, F : 葉酸欠乏飼料, T : チアミン欠乏飼料, AV : ビタミン全部欠乏飼料, P : ピリドキシン欠乏飼料, SA : アスコルビン酸欠乏飼料, I : イノシトール欠乏飼料, B : ビオチン欠乏飼料, CP : パントテン酸欠乏飼料, CC : コリン欠乏飼料。



第79図 チアミン塩酸塩の濃度とセジロウンカの幼虫発育と成虫化率。●：平均幼虫期間，縦線は標準偏差。



第80図 塩化コリンの濃度とセジロウンカの幼虫発育と成虫化率。●：平均幼虫期間，縦線は標準偏差。

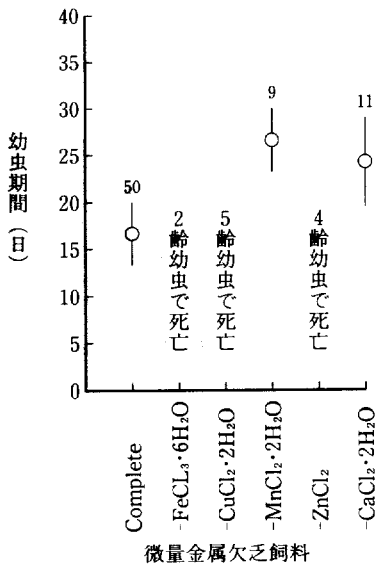
生微生物の役割とともに今後に残された問題である。個別に除去しても幼虫が発育できたビタミンは可欠ビタミンと云えるが、ビタミン相互間のバランスも重要な意味をもっていると思われる。

4 微量金属要求性

ウンカ・ヨコバイ類の微量金属の要求性については、これまで報告がなかった。そこで本研究ではヒメトビウンカを用いて、この問題を検討した。

1) 材料および方法:

実験に供したヒメトビウカは、25℃、長日条件(16L-8D)下の実験室内で、イネ芽出しを用いて継代飼育してきた埼玉県産のヒメトビウカである。採卵は人工採卵容器(第2図)を用いて産卵させ、得られた卵は水中に保存し、ふ化直前に湿ったろ紙の上に移しふ化させた。この方法を用いることにより、ふ化幼虫をイネにまったく接触させることなくそれぞれの人工飼料に移すことができた。飼育容器は第1図Aのガラスびんによる個体飼育で、人工飼料は第1表のMED-1飼料を基本にして、それから微量金属各1種類を除去した飼料を調製して供した。また除去により、幼虫発育に影響の認められた微量金属については、その濃度を変えて最低有効濃度ならびに至適濃度を探索した。また標準に用いたMED-1飼料における濃度よりも濃い濃度についても実験を行ない、幼虫発育が改善されるかどうかを検討した。人工飼料は、25℃長日条件(16L-8D)下で行ない、人工飼料は、引き伸ばしたフジ・シーロンフィルムを通して吸汁させた。飼料は1日おきに更新し、供試虫数は各区100頭で個体飼育を行ない、脱皮、羽化、死亡までの発育状態を記録した。

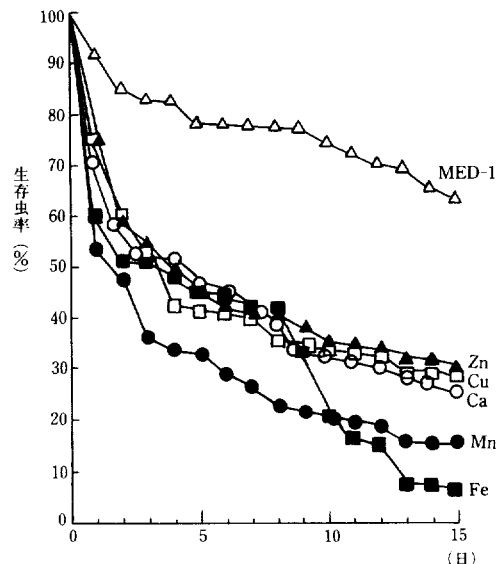


第81図 微量金属1種類を欠く飼料でのヒメトビウカの幼虫発育と成虫化率。○:平均幼虫期間,縦線は標準偏差,数字は成虫化率(%)を示す。

2) 結果および考察

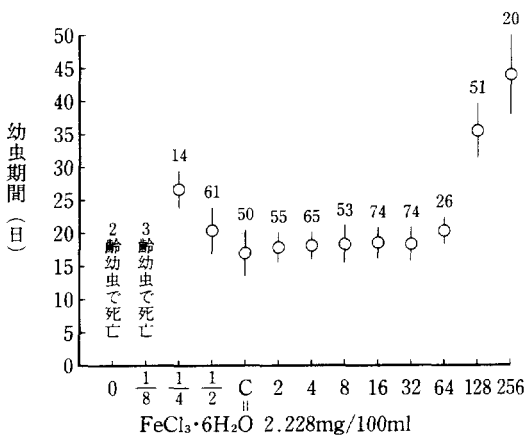
MED-1飼料から個別に微量金属各1種類を除去した飼料でヒメトビウカを飼育した場合の幼虫期間を第81図に示す。FeCl₃·6H₂O, CuCl₂·2H₂OおよびZnCl₂を欠いた飼料では、ヒメトビウカは幼虫期にすべての個体が死亡し、それぞれ2齢、5齢および4齢までしか発育できなかった。またMnCl₂·2H₂OならびにCaCl₂·2H₂Oを欠く飼料では幼虫の発育が遅れ、成虫化率も低くなるが成虫まで発育することができた。幼虫期における死亡はふ化直後に多くみられ、いずれの微量金属を除去しても5日目までに50%以上の供試虫が死亡した。FeCl₃·6H₂Oを除いた飼料では15日以内にほとんどの幼虫が死亡した(第82図)。

FeCl₃·6H₂Oをまったく欠く飼料では、幼虫は2齢ですべて死亡した。MED-1飼料の1/8の濃度(0.2785mg/100ml)では2齢幼虫までしか発育しなかったが、1/4の濃度(0.557mg/100ml)では成虫まで発育した。しかし、この場合幼虫期間がやや長くなり、成虫化率も低くなった。またFeCl₃·6H₂Oの濃度をMED-1飼料の濃度より濃くしていった場合、32倍(71.296mg/100ml)までは幼虫期間にほとんど差がなかったが、成虫



第82図 ヒメトビウカのふ化後15日間までの生存率曲線。
MED-1:完全なMED-1飼料
Fe: FeCl₃·6H₂O欠乏飼料
Cu: CuCl₂·2H₂O欠乏飼料
Zn: ZnCl₂欠乏飼料
Mn: MnCl₂·4H₂O欠乏飼料
Ca: CaCl₂·2H₂O欠乏飼料

化率は濃度が濃くなるにつれて高くなった。さらに濃度をあげると成虫化率は低くなり幼虫期間は延長する傾向がみられた。以上の結果から $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の最低有効濃度は $0.56\text{mg}/100\text{ml}$ 付近と推定された。また至適濃度をきめることは困難であるが $1.1\text{--}71.3\text{mg}/100\text{ml}$ の範囲にあると思われる (第83図)。



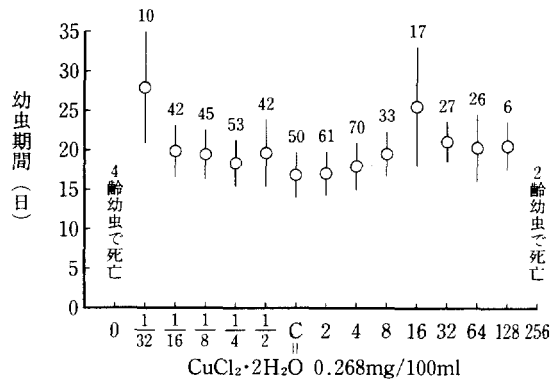
第83図 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 濃度とヒメトビウカの幼虫発育と成虫化率。○：平均幼虫期間，縦線は標準偏差，数字は成虫化率(%)を示す。

$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を飼料より除去するヒメトビウカは5齢幼虫まで発育することができたが成虫までは発育しなかった。MED-1飼料の1/32の濃度 ($0.00837\text{mg}/100\text{ml}$) では幼虫期間は長くなり，成虫化率も低かったが成虫まで発育する個体があった。1/16の濃度 ($0.01675\text{mg}/100\text{ml}$) ではMED-1飼料とほとんど差がなく発育した。また濃度をMED-1飼料より濃くしていった場合，8倍 ($2.144\text{mg}/100\text{ml}$) までは幼虫期間にほとんど差がみられなかった。しかし，さらに濃度を濃くしていくと，128倍 ($34.304\text{mg}/100\text{ml}$) までは成虫まで発育する個体があったが，256倍 ($68.608\text{mg}/100\text{ml}$) では2齢幼虫ですべて死亡した。以上の結果から $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ のヒメトビウカに対する最低有効濃度は $0.0084\text{mg}/100\text{ml}$ 付近であり，また至適濃度は $0.017\text{--}2.14\text{mg}/100\text{ml}$ の範囲にあると考えられる (第84図)。

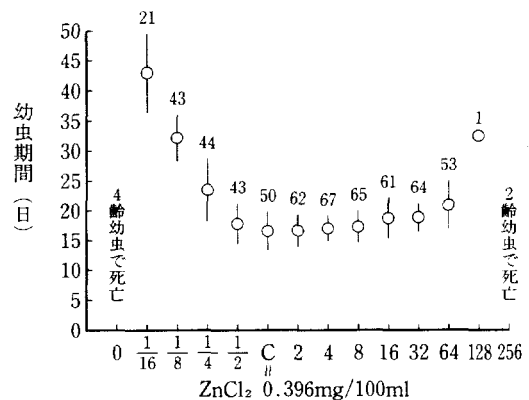
ZnCl_2 を飼料から除去するとヒメトビウカは4齢幼虫ですべて死亡した。MED-1飼料の1/16の濃度 ($0.02475\text{mg}/100\text{ml}$) では幼虫期間は45日前後と大幅に遅延したが成虫まで発育する個体があった。濃度を上げると幼虫発育は促進され，MED-1飼料の1/2の濃度 ($0.198\text{mg}/100\text{ml}$) ~64倍 ($25.344\text{mg}/100\text{ml}$) の範囲では

幼虫の発育ならびに成虫化率にはほとんど差が見られなかった。さらに濃度を高くして128倍 ($50.688\text{mg}/100\text{ml}$) では1齢幼虫ですべて死亡した。以上の結果から ZnCl_2 の最低有効濃度は $0.025\text{mg}/100\text{ml}$ 付近であった。また至適濃度をきめるのは困難であったが $0.2\text{--}12.7\text{mg}/100\text{ml}$ の範囲にあることは明らかである (第85図)。

$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ を除去した飼料ではヒメトビウカは成虫まで発育することができるが，発育が遅延し，成虫化率も低くなった。また濃度をMED-1飼料以上に行くと幼虫発育は遅延し，成虫化率も低くなり，MED-1飼料の16倍 ($12.688\text{mg}/100\text{ml}$) では4齢幼虫ですべて死亡し，32倍 ($25.376\text{mg}/100\text{ml}$) では2齢までしか発育しなかった。したがって至適濃度はMED-1飼料に含



第84図 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 濃度とヒメトビウカの幼虫発育と成虫化率。○：平均幼虫期間，縦線は標準偏差，数字は成虫化率(%)を示す。



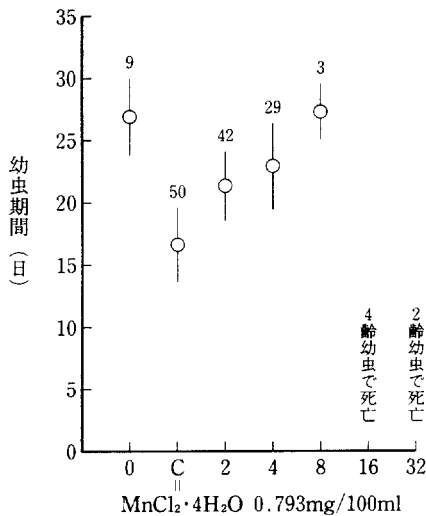
第85図 ZnCl_2 濃度とヒメトビウカの幼虫発育と成虫化率。○：平均幼虫期間，縦線は標準偏差，数字は成虫化率(%)を示す。

まれている濃度0.793mg/100mlの付近だと考えられる(第86図)。

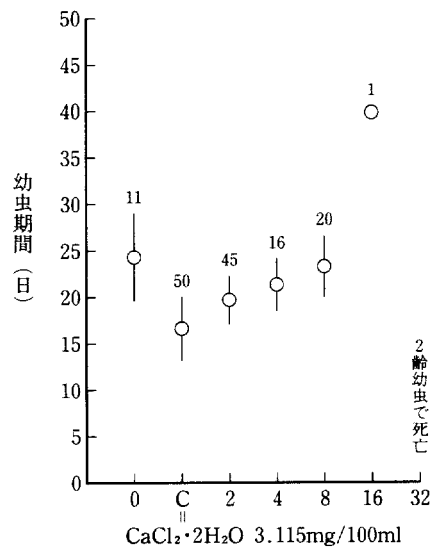
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を飼料より除去すると幼虫発育が遅延し、成虫化率も低くなった。また濃度を濃くするにしたがって幼虫発育が遅延し、MED-1の16倍の濃度(49.84 mg/100ml)では幼虫期間が40日にも達し、32倍(99.68 mg/100ml)では2齢幼虫までしか発育できなかった。したがって至適濃度はMED-1飼料に含まれている濃度3.115mg/100ml付近だと思われる(第87図)。

本研究により、ヒメトビウカ幼虫発育に不可欠な微量元素は鉄、銅および亜鉛の3種類であることが明らかになった。半翅目昆虫では、微量元素の栄養要求が調べられているのはアブラムシだけであり、エンドウヒゲナガアブラムシでは、人工飼料に亜鉛、銅およびマンガンを加えない飼料で3世代にわたり継代飼育が行われている(AUCLAIR, 1965)。またエンドウヒゲナガアブラムシでは鉄、亜鉛、銅およびマンガンのいずれを個別に除去しても成虫まで発育し、その発育に必要な量は前世代の成虫から受け継がれ、銅については2世代にわたって受け継がれることができるという(AKEY and BECK, 1972)。モモアカアブラムシもエンドウヒゲアブラムシと同様に、鉄、亜鉛、銅およびマンガンのいずれかを個別に除去しても成虫まで発育する。このアブラムシでもマンガ

ンは2世代、銅は3世代にわたって前世代の成虫から受け継がれることができるといわれている(DADD, 1967)。また、モモアカアブラムシでは、イーストエクストラクトが含まれている人工飼料では、鉄、亜鉛、銅およびマンガンと同時に除去しても5世代にわたって継代飼育できるといわれている(MITTLER and KOSKI, 1976)。エンドウヒゲナガアブラムシおよびモモアカアブラムシとヒメトビウカの微量元素に対する要求を比較すると、ヒメトビウカの幼虫発育には鉄、銅および亜鉛が不可欠であるのに対して、この2種のアブラムシは飼料にこれら金属を加えなくても幼虫は成虫まで発育できる。しかし、2世代、3世代と世代をくりかえすためには、これらの微量元素も加えないと発育に影響が現れる。このことはアブラムシとヒメトビウカの微量元素に対する要求はかなり異なり、ヒメトビウカはアブラムシより多くの量の金属を必要とするといえよう。なお、ヒメトビウカの幼虫発育にとって、人工飼料から除去しても発育に影響を及ぼさなかったカルシウムとマンガンについては、微量の混入をなくすことがむずかしいこと、また、親世代からもちこされる量が十分である可能性があることなどのため可欠であるか不可欠であるかは厳密には決定できなかった。



第86図 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 濃度とヒメトビウカの幼虫発育と成虫化率。○：平均幼虫期間，縦線は標準偏差，数字は成虫化率(%)を示す。



第87図 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 濃度とヒメトビウカの幼虫発育と成虫化率。○：平均幼虫期間，縦線は標準偏差，数字は成虫化率(%)を示す。

5 無機塩要求性

1) 材料および方法

ヒメトビウンカの幼虫発育に不可欠な無機塩の種類と濃度を明らかにし、さらに人工飼料 (MED-1) に加えられている化合物以外の無機塩についてもいより有効な物質があるかどうか検討した。実験に供したヒメトビウンカおよび飼育法は微量金属要求性の項に記載したものと同一である。飼育容器は第1図Aを使用した。人工飼料はMED-1を基本とした(第1表)。MED-1飼料には無機塩として、飼料100ml中に KH_2PO_4 が500mgと $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ が200mgが加えられている。この飼料より無機塩を除去したりあるいは濃度を変えた人工飼料を調製しそれぞれの実験に供した。くわしい実験方法は各項目で述べる。人工飼育は、25℃長日条件(16L-8D)下で行った。人工飼料は、引き伸ばしたフジ・シロフィルムを通して吸汁させ、1日おきに更新した。供試虫数各区分100頭とし、個体飼育を行い、脱皮、羽化、死亡までの発育状況を記録した。

2) 結果および考察

$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の濃度と幼虫の発育：

飼料中の KH_2PO_4 はそのままにして、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ を飼料より除去するとヒメトビウンカは、4齢までにすべての個体が死亡し、ふ化後15日目までの累積死亡率は97%であった。MED-1飼料に加えられている量の1/64の濃度(3.125mg/100ml)では5齢まで発育することができたが、成虫まで発育しなかった。ふ化後15日目の累積死亡率は80%であった。1/32の濃度以上では、幼虫期

間と成虫化率はMED-1飼料とほとんど同じであり、ふ化後15日目の累積死亡率はいずれも50%以下で、各区分に大きな差はみられなかった。一方、MED-1飼料に加えられている濃度より濃くした場合は、4倍(800mg/100ml)までは幼虫期間に差がなく、成虫化率は若干高くなった。8倍にすると、幼虫期間がやや長くなり、成虫化率は低くなった。16倍では、2齢幼虫まで発育したがふ化後7日までに死亡した(第31表)。

KH_2PO_4 の濃度と幼虫の発育：

飼料中の $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ はそのままにして、 KH_2PO_4 を欠く飼料では幼虫はすべて1齢で死亡したが、ふ化後15日目までの累積死亡率は96%であった。MED-1飼料に加えられている量の1/64の濃度(7.8125mg/100ml)および1/32濃度では、成虫まで発育した個体はなかったが、前者では2齢まで後者では4齢まで発育し、ふ化後15日目の累積死亡率はそれぞれ80%および74%であった。1/16の濃度では幼虫期間がやや遅延したが、成虫まで発育した。しかし成虫化率はMED-1飼料に比べてかなり低かった。1/8~2倍の範囲では幼虫期間および成虫化率に大きな差はなく、ふ化後15日目の累積死亡率は35~44%の範囲にあった。さらに高濃度では発育が阻害される傾向がみられ、4倍濃度(2000mg/100ml)では成虫化率が激減し、ふ化後15日目の累積死亡率は55%であった。8倍の濃度では、ふ化後5日目までにすべての個体が1齢幼虫で死亡した(第32表)。

KClおよび H_3PO_4 の濃度と幼虫の発育

以上の実験でMED-1飼料中の KH_2PO_4 はヒメトビ

第31表 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 濃度とふ化後15日目の累積死亡率、幼虫期間と成虫化率

$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 濃度	累積死亡率(%) ふ化後の日数								平均幼虫期間 ±標準偏差(日)	成虫化率 (%)
	1	3	5	7	9	11	13	15(日)		
C ¹⁾	8	17	22	22	22	28	31	37	16.8±2.6	50
C×2	5	11	13	16	17	21	23	23	16.7±1.5	66
C×4	1	16	22	24	24	27	33	35	17.8±2.0	62
C×8	3	22	32	35	41	45	45	46	23.0±2.5	39
C×16	10	91	99	100					2 齢幼虫で死亡	0
C×1/2	1	26	33	35	36	39	41	46	17.9±3.9	35
C×1/4	18	25	25	27	33	35	41	45	18.0±2.0	42
C×1/8	10	15	16	18	20	23	28	43	16.4±2.2	45
C×1/16	6	10	15	19	20	23	30	39	17.2±2.4	51
C×1/32	12	25	27	29	33	37	40	44	17.4±2.2	45
C×1/64	15	29	36	52	60	68	74	80	5 齢幼虫で死亡	0
0	20	37	50	72	79	86	90	97	4 齢幼虫で死亡	0

C¹⁾：対照 (MED-1 飼料), 100ml 中 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 200mg を含む。

ウンカの幼虫発育に不可欠であることが分かったので、次にカリウムとリン酸の必要量を別々に検討した。まず飼料から KH_2PO_4 を除去し、そのかわりにリン酸源としては H_3PO_4 、カリウム源として KCl をそれぞれ500mg/100ml 加えた飼料を調製し、さらに KCl 濃度をかえて幼虫の発育を調査した。その結果 KCl を欠く場合はすべての幼虫が5日目までに1齢幼虫で死亡し、1/16の濃度(31.25mg/100ml)では、3齢に達する個体はおらず、ふ化後15日目の累積死亡率は96%であった。1/8の濃度では、およそ半数が成虫まで発育し、幼虫期間、成虫化率にはほとんど差がなかった。ふ化後15日までの累積死亡率は、1/8の濃度以上では25~39%の範囲であった(第33表)。

次にリン酸の必要性を明らかにするため、上記飼料の H_3PO_4 の濃度を変えて KCl の濃度は変えずに幼虫の発育を調査した。その結果 H_3PO_4 を全く欠く飼料では、

幼虫は13日目までに1齢で全ての個体が死亡し、1/32の濃度(15.625mg/100ml)では、幼虫期間が大幅に遅延し成虫化率が低く、ふ化後15日までの累積死亡率は71%と高かった。しかし、1/16の濃度では、幼虫期間、成虫化率ともあまり違わなかった。また、ふ化後15日までの累積死亡率は、1/16以上では17~39%と低かった(第34表)。

リン酸カリウムの濃度と幼虫の発育:

MED-1 飼料には、リン酸カリウムとして KH_2PO_4 を用いているが、それを同量の K_2HPO_4 または K_3PO_4 でおきかえた場合、幼虫発育がどうなるかを検討した。結果は第35表に示したように、幼虫期間は3種の化合物の間で差がなかった。しかし、成虫化率は若干異なり、 K_3PO_4 が一番高く、次に K_2HPO_4 、 KH_2PO_4 の順であった。

マグネシウム化合物と幼虫の発育

MED-1 飼料には、マグネシウム源として MgCl_2 ·

第32表 KH_2PO_4 濃度とふ化後15日までの累積死亡率、幼虫期間と成虫化率

KH_2PO_4 濃度	累 積 死 亡 率 (%) ふ 化 後 の 日 数								平均幼虫期間 ±標準偏差(日)	成虫化率 (%)
	1	3	5	7	9	11	13	15(日)		
C ¹⁾	8	17	22	22	22	28	31	37	16.8±2.6	50
C×2	12	23	25	27	29	30	41	44	18.2±2.1	61
C×4	6	38	41	45	47	48	55	55	23.9±3.7	27
C×8	16	97	100						1 齢幼虫で死亡	0
C×1/2	0	13	17	18	26	31	33	39	20.2±2.3	41
C×1/4	0	15	18	26	31	31	34	35	19.8±3.4	36
C×1/8	17	22	25	29	32	34	38	40	19.9±2.8	46
C×1/16	11	30	36	40	45	58	51	51	25.6±4.1	24
C×1/32	11	24	27	34	45	63	69	74	4 齢幼虫で死亡	0
C×1/64	7	21	31	38	46	58	69	80	2 齢幼虫で死亡	0
0	35	44	53	59	66	87	95	96	1 齢幼虫で死亡	0

C¹⁾: 対照 (MED-1 飼料), 100ml 中 KH_2PO_4 500mg を含む。

第33表 KCl 濃度とふ化後15日までの累積死亡率、幼虫期間と成虫化率

KCl 濃度	累 積 死 亡 率 (%) ふ 化 後 の 日 数								平均幼虫期間 ±標準偏差(日)	成虫化率 (%)
	1	3	5	7	9	11	13	15(日)		
C ¹⁾	7	26	27	33	36	38	39	39	19.5±3.1	50
C×1/2	7	22	23	27	29	32	32	33	18.1±1.8	58
C×1/4	11	17	20	21	22	23	25	25	19.3±2.5	68
C×1/8	5	16	22	25	25	27	29	30	20.3±3.3	46
C×1/16	3	15	35	62	75	90	95	96	2 齢幼虫で死亡	0
0	18	83	100						1 齢幼虫で死亡	0

C¹⁾: 対照 (MED-1 飼料), 100ml 中 KCl 500mg, 但し KH_2PO_4 の代わりに H_3PO_4 500mg を含む。

6 H₂O(200mg/100ml)が加えられているが、これ以外のマグネシウムの化合物で、ヒメトビウカの幼虫発育に有効なものがあるかどうかを検討した。そのためMED-1飼料のMgCl₂・6 H₂Oを同量の各種のマグネシウム化合物でおきかえた飼料を調製した。結果は第36表に示す通りである。MgFとMg-EDTAを用いた場合は、成虫まで発育する個体は得られなかったが、その

他の化合物ではいずれの場合もヒメトビウカは成虫まで発育した。また、平均幼虫期間がMgCl₂・6 H₂Oと比べて遅延しなかったのはMgSO₄・7 H₂Oだけであった。

カリウム化合物と幼虫の発育：

MED-1飼料にリン酸源としてH₃PO₄を500mg/100ml加えた場合、上記3種のリン酸カリウムおよびKCl

第34表 H₃PO₄濃度とふ化後15日までの累積死亡率、幼虫期間と成虫化率

H ₃ PO ₄ 濃度	累積死亡率(%) ふ化後の日数								平均幼虫期間 ±標準偏差(日)	成虫化率 (%)
	1	3	5	7	9	11	13	15(日)		
C ₁)	7	26	27	33	36	38	39	39	19.5±3.9	50
C×1/2	7	13	16	21	22	22	24	28	18.2±3.9	75
C×1/4	3	7	9	11	12	12	13	18	18.0±2.5	73
C×1/8	0	9	9	11	15	15	17	17	21.0±3.0	66
C×1/16	0	7	10	15	17	19	22	32	27.6±4.6	66
C×1/32	6	23	29	40	50	57	64	71	53.3±8.7	6
0	33	47	64	87	94	96	100		1 齢幼虫で死亡	0

C₁)：対照 (MED-1 飼料), 100ml 中, H₃PO₄ 500mg, 但し KH₂PO₄の代わりに KCl 500mg を含む。

第35表 リン酸カリウムの化合物とふ化後15日までの累積死亡率、幼虫期間と成虫化率

リン酸カリウムの 化合物 ¹⁾	累積死亡率(%) ふ化後の日数								平均幼虫期間 ±標準偏差(日)	成虫化率 (%)
	1	3	5	7	9	11	13	15(日)		
KH ₂ PO ₄	8	17	22	22	22	28	31	37	16.8±2.6	50
K ₂ HPO ₄	12	21	24	25	26	32	35	35	16.7±2.0	58
K ₃ PO ₄	10	14	16	14	20	23	26	30	16.2±2.9	66

¹⁾ 濃度：飼料 100ml 中 500mg

第36表 マグネシウムの化合物とふ化後15日までの累積死亡率、幼虫期間と成虫化率

マグネシウムの 化合物 ¹⁾	累積死亡率(%) ふ化後の日数								平均幼虫期間 ±標準偏差(日)	成虫化率 (%)
	1	3	5	7	9	11	13	15(日)		
Mg(CH ₃ COO) ₂ ・4 H ₂ O	15	25	30	32	36	39	42	46	18.2±3.0	46
Mg Br ₂ ・6 H ₂ O	10	18	25	26	27	28	32	34	17.6±2.4	56
MgCl ₂ ・6 H ₂ O	8	17	22	22	22	28	31	37	16.8±2.6	50
Mg ₃ (C ₆ H ₅ O ₇) ₂ ・14H ₂ O	10	26	27	31	33	34	38	42	18.3±3.0	54
MgF ₂	12	42	81	92	98	100			3 齢幼虫で死亡	0
Mg(OH) ₂	21	23	26	27	29	29	31	34	17.9±2.5	52
MgC ₆ H ₁₀ O ₆ ・3 H ₂ O	1	11	13	20	21	22	27	30	17.5±2.6	62
Mg(C ₁₈ H ₃₅ O ₂) ₂	9	18	19	21	22	24	27	29	18.1±2.7	68
MgSO ₄ ・7 H ₂ O	17	28	32	35	35	42	46	46	16.7±2.1	48
Mg ₂ Si ₃ O ₈ ・5 H ₂ O	2	25	29	31	31	34	37	42	20.1±2.6	50
Mg-EDTA	11	24	32	54	68	80	85	95	2 齢幼虫で死亡	0

¹⁾ 濃度：飼料100ml 中 200mg

のほかにカリウム源として、有効な物質があるか否かを検索するために各種のカリウム化合物を飼料100ml中に500mg加えた。結果は第37表に示す通りで、 C_6H_5COOK 、 $K_2S_2O_5 \cdot K_2B_4O_7 \cdot xH_2O$ 、 KF 、 KI 、 K_2SO_3 では成虫まで発育する個体は得られなかったが、他の化合物を用いた場合は、いずれも成虫まで発育した。しかしその平均幼

虫期間は $K_2S_2O_7$ と $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ を用いた場合はやや長くなった。成虫化率は $K_2S_2O_7$ で顕著に低かった。一方、 KCl と同等またはそれ以上の発育・成虫化率を示したものは、 $KHCO_3$ 、 K_2CO_3 、 $C_6H_5O_7 \cdot H_2O$ 、 CH_3COOK であった。

第37表 カリウムの化合物とふ化後15日までの累積死亡率、幼虫期間と成虫化率

カリウムの化合物 ¹⁾	累積死亡率(%) ふ化後の日数								平均幼虫期間 ±標準偏差(日)	成虫化率 (%)
	1	3	5	7	9	11	13	15(日)		
CH_3COOK	9	22	25	26	27	28	28	28	19.3±2.9	64
C_6H_5COOK	28	87	100						1 齢幼虫で死亡	0
$K_2S_2O_5$	81	100							1 齢幼虫で死亡	0
$K_2B_4O_7$	45	100							1 齢幼虫で死亡	0
KBr	12	42	48	51	55	60	60	66	20.5±2.2	26
K_2CO_3	7	15	18	19	20	20	22	24	18.6±1.9	67
KCl	7	26	27	33	36	38	39	39	19.5±3.1	50
$C_6H_5K_3O_7 \cdot H_2O$	10	14	15	19	21	21	23	28	19.5±3.5	60
$KC_6H_7O_7$	11	35	40	42	44	49	42	42	21.8±2.2	39
$KHCO_3$	5	9	12	14	15	16	16	17	17.8±2.2	66
$KHSO_4$	40	51	55	48	60	61	74	76	19.8±1.9	30
KF	72	100							1 齢幼虫で死亡	0
$K_2S_2O_7$	34	62	80	82	82	84	84	84	25.6±1.1	5
K_2SO_4	40	45	50	50	51	51	52	53	19.5±2.3	38
KI	56	92	98	100					1 齢幼虫で死亡	0
K_2SO_3	85	100							1 齢幼虫で死亡	0
$KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$	10	29	30	41	47	49	49	49	23.7±3.4	38

¹⁾ 濃度：飼料100ml中 500mg

リン化合物と幼虫の発育：

MED-1飼料の KH_2PO_4 の代りに KCl (500mg/100ml)を用い、リン源としてリン酸カリウムおよび H_3PO_4 のほかに有効なリン化合物があるかどうかを検討した。そのため各種リン化合物を500mg/100ml上記飼料に加えた飼料を調製し実験に用いた。結果を第38表に示す。 $AlPO_4$ 、 $CaH_4(PO_4)_2 \cdot H_2O$ 、 $CO_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ 、 H_3PO_3 、 $P_2O_5 \cdot 24WO_3 \cdot nH_2O$ 、 $Na_2HPO_3 \cdot 5H_2O$ 、 $Na_3PO_4 \cdot 12MoO_3$ を用いた飼料では、ヒメトビウカの子虫は成虫まで発育できなかった。その他の化合物を用いた場合は、いずれも成虫まで発育した。しかし $NH_4H_2PO_4$ 、 $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ 、 $Ca_3(PO_4)_2$ を用いた場合、平均幼虫期間が長くなり、また、 $NH_4H_2PO_4$ の場合は成虫化率が著しく低くなった。一方、 H_3PO_4 と同等またはそれ以上の効果を示したものは $NaHPO_4 \cdot 2H_2O$ 、 Na_2HPO_4 、 $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ であった。

これまでウンカ・ヨコバイ類では、いわゆる微量元素として鉄、銅、亜鉛が不可欠要素であることが明らかにされているが(小山・三橋, 1979)、その他の無機物の必要性については検討されていなかった。本研究では、無機塩として飼料に加えられている塩化マグネシウムとリン酸カリウムのうち、マグネシウム、カリウム、リン酸が幼虫発育に不可欠であることを明らかにした。しかし、塩素については無機塩の形で含まれている以外にアミノ酸やビタミンの塩酸塩、塩化物として含まれているのでその必要性を決定することができなかった。これまで吸汁性昆虫では、ウンカ・ヨコバイ類以外では、アブラムシ、カメシなどの人工飼育が試みられ、アブラムシの一部では継代飼育が可能となったものもあるが、栄養要求についてはほとんど研究されておらず、特に無機塩に関する要求性についての知見は皆無である。しかし、それら飼料はいずれもカリウム、マグネシウムおよ

第38表 リンの化合物とふ化後15日までの累積死亡率、幼虫期間と成虫化率

リンの 化合物 ¹⁾	累 積 死 亡 率 (%) ふ 化 後 の 日 数								平均幼虫期間 ±標準偏差(日)	成虫化率 (%)
	1	3	5	7	9	11	13	15(日)		
AlPO ₄	3	12	18	26	33	47	55	64	4 齢幼虫で死亡	0
NH ₄ H ₂ PO ₄	10	46	75	83	92	94	94	94	27.5±4.0	3
CaH ₄ (PO ₄) ₂ ·H ₂ O	7	7	8	11	19	29	43	52	3 齢幼虫で死亡	0
CaHPO ₄ ·2H ₂ O	14	28	33	39	44	50	51	51	25.2±2.5	27
Ca ₃ (PO ₄) ₂	10	12	22	26	30	38	39	42	31.7±4.7	23
CO ₃ (PO ₄) ₂ ·8H ₂ O	43	100							1 齢幼虫で死亡	0
H ₃ PO ₄	7	26	27	33	36	38	39	39	19.5±3.1	50
HPO ₃	11	27	30	33	33	34	35	38	23.5±4.0	37
H ₃ PO ₃	3	21	32	42	56	70	83	92	3 齢幼虫で死亡	0
P ₂ O ₅ 24WO ₃ ·nH ₂ O	39	99	100						1 齢幼虫で死亡	0
NaHPO ₄ ·2H ₂ O	27	32	32	36	38	39	42	42	17.9±2.1	51
Na ₂ HPO ₄	8	16	20	23	25	26	28	30	18.4±2.4	66
Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O	15	22	24	235	26	28	29	30	18.1±2.0	59
Na ₂ HPO ₃ ·5H ₂ O	14	33	38	46	63	71	84	89	2 齢幼虫で死亡	0
Na ₃ PO ₄ ·12MoO ₂	7	39	44	54	69	80	87	88	3 齢幼虫で死亡	0

¹⁾ 濃度：飼料100ml 中 500mg

びリン酸を無機物の主体としており (MITTLER and DADD, 1962; AUCLAIR, 1965; KIECKHEFER and DEER, 1967; VANDERZANT, 1967; ERHARDT, 1968; AKEY and BECK, 1971; 河田, 1971; CRESS and CHADA, 1971), 要求性もヒメトビウンカと類似していると想像される。本研究ではカリウム、マグネシウムおよびリン酸がヒメトビウンカの幼虫発育に不可欠であることを明らかにしたが、また、これら要素を含む化合物中有効なものおよびそれらの飼料中における適量も検討した。化合物や濃度が不適當であった場合、ヒメトビウンカは発育途中で死亡したが、いずれの場合も死亡は1 齢初期に多く起こり、1-2 齢期ですべて死亡する場合はふ化後1 週間以内に死亡し、3-4 齢まで発育する場合でも2 週間以内に大部分が死亡することが明らかになった。

V 総合考察

ウンカ・ヨコバイ類には、トビイロウンカやセジロウンカのように、日本では越冬できず毎年海外から飛来するとみられる種と、ヒメトビウンカやツマグロヨコバイのように国内で越冬可能な種とがある。いずれもイネの重要害虫である。しかし、これらのウンカ・ヨコバイ類の栄養要求や栄養生理などの研究例は少なく、不明点が多く残されていた。これらの問題を解明するためには、寄主植物による飼育では解析が不可能であるため、

化学的に既知な物質からなる人工飼料による飼育方法を開発する必要があった。現在までに、ウンカ科では、ヒメトビウンカで、植物に全く摂食させることなく、継代飼育することに成功している (MITSUHASHI and KOYAMA, 1971; 三橋・小山, 1972)。また、トビイロウンカについては、ヒメトビウンカやツマグロヨコバイの人工飼育法を適用した場合、幼虫初期にほとんどの虫が死亡し成虫まで飼育しないが、飼育容器の底に湿ったろ紙を敷き湿度を高くすることにより、ヒメトビウンカと同様にトビイロウンカ (小山, 1979)、セジロウンカ (小山・三橋, 1980)、セジロウンカモドキ (小山ら, 1981) の人工飼料による飼育が可能になった。また、人工飼育法の改良と栄養要求の研究により、コレステロールを与えることにより、イナズナヨコバイ (小山, 1973b)、ツマグロヨコバイ (小山, 1973b; HOU and LIN, 1979)、アスターヨコバイ (HOU and BROOKS, 1975) も人工飼料による飼育ができるようになった。このような数種ウンカ・ヨコバイ類を人工飼料で飼育する条件を比較検討すると、一口にウンカ・ヨコバイ類と云っても、種により、かなり違いがあることが分かる。本研究では、これらの飼育技術を利用してウンカ・ヨコバイ類の栄養生理を解明した。

ヒメトビウンカの継代飼育では、ヒメトビウンカを10代にわたって全く植物に摂食させることなく、化学的に

既知の物質だけからなる人工飼料で飼育することができた。継代的に人工飼育するために、人工的に採卵することが必要がある。ヒメトビウンカの糖類水溶液に対する産卵性については、スクロースに対する産卵性が最も良く、スクロースにはヒメトビウンカの産卵促進作用があると考へた。また、ヒメトビウンカの継代飼育では3代まで幼虫期間が伸びたがそれ以後は徐々に幼虫期間が短縮した。また、各世代において幼虫の発育がそれほど不齊にならないことは興味深い。

アミノ酸水溶液に対する産卵性については、アルギニン、グルタミン酸、チロシンおよびバリンの4種類が産卵抑制を示した。また、シスチンは促進作用を示した。ヒメトビウンカはスクロース液には良く産卵するがMED-1およびMMD-1のいずれの人工飼料にまったく産卵しないのは上の4種のアミノ酸が産卵を抑制する要因として働き、シスチンの産卵促進作用より強く働いたためと考へた。また、MED-1飼料のアミノ酸混合液の濃度を希釈していくと産卵がみられるようになるが、これは産卵を阻害する、アルギニン、グルタミン酸、チロシンおよびバリンの4種のアミノ酸の濃度が十分低くなったため、産卵抑制作用が減少し産卵ができるようになったと考へた (KOYAMA and MITSUHASHI, 1976)。また、一度イネ芽出しを通して、これらのアミノ酸をヒメトビウンカに与えた場合、アルギニン、グルタミン酸、リジン、チロシンおよびバリンは産卵を抑制し、シスチンは産卵を促進した。この結果は直接アミノ酸水溶液に産卵させた場合と同じである。したがって、イネ芽出しの根からすいあげられたアミノ酸はイネ体中で代謝される前にヒメトビウンカにより摂取されたと思われる。これはヒメトビウンカが導管汁を吸汁するためと考へられる (MITSUHASHI and KOYAMA, 1977)。この実験結果は、産卵抑制的効果のあるアミノ酸をイネに施用することにより、ヒメトビウンカの産卵を抑制し、密度を低下させる新しい防除技術の可能性を示唆するものである。

ヒメトビウンカ、トビイロウンカおよびイナズマヨコバイはスクロース水溶液またはスクロース水溶液に0.004Mのサリチル酸を加えたものに産卵するが、セジロウンカとツマグロヨコバイは産卵しなかった。これらウンカ・ヨコバイ類の産卵選択性の違いは何に起因するものか不明であるが、人工採卵法の開発はこの問題の解明に有力な方法となるであろう。本研究以外には半翅目昆虫の人工採卵法に関する研究例はない。

本研究で用いたウンカ・ヨコバイ類はすべてMED-1飼料またはMED-1飼料のほかに別にコレステロー

ル懸濁水を与えることにより発育させることができた。しかし、トビイロウンカは特に飼育容器の底に湿ったろ紙を敷いて湿度を高くすることが必要であった (小山, 1979)。また、同様な方法でセジロウンカ (小山・三橋, 1980) とセジロウンカモドキも飼育できることが明らかになった (小山ら, 1981)

人工飼育はどの種についても長日条件で行ったが、休眠との関連で、短日条件の飼育も行った。ヒメトビウンカは、長日条件に比べて短日条件では、いずれの齢期間も長くなった。セジロウンカとセジロウンカモドキでは、各齢期間は短日条件と長日条件でほとんど差がなかった。ヒメトビウンカについては、温度25℃以下、短日条件で休眠し、主として4齢幼虫で越冬することが報告されている (三宅, 1932a, b) また、ヒメトビウンカは1齢から20-22℃で飼育した場合日長が8-10時間で休眠率が100%になり、休眠した個体では4齢期間が延び、その変異は非常に大きくなることが示されている (KISIMOTO, 1958)。これらの現象と人工飼料によるヒメトビウンカ幼虫の発育遅延とは一致したので、ヒメトビウンカは人工飼育によっても休眠することが判明した。今後、人工飼育法により栄養条件と休眠の関係が詳細に研究されるであろう。セジロウンカは幼虫期に休眠しないことが知られている (三宅・藤原, 1962; 奥村, 1963)。セジロウンカとセジロウンカモドキは、短日条件で幼虫の発育が影響されないことが判明したので、幼虫休眠しないであろうことが推察された (小山・三橋, 1983)。

飼料の色に関することについては、ヒメトビウンカでは、黄色、橙色、赤色などを選好することが分かった。イナズマヨコバイの飼料の色に対する選択性では、黄色および緑が他の色り好まれることが明らかになった (小山, 1973a)。

次にこれらの人工飼育法を用いて主としてヒメトビウンカで栄養要求を検討した。昆虫の栄養要求の特徴の一つにステロール要求があり、一般に昆虫自体はステロールを合成できないといわれている。ヒメトビウンカの継代飼育に用いた飼料の中にはステロールはまったく含まれていないので、ヒメトビウンカにとってステロールを経口摂取する必要はないといえよう。しかし、これはヒメトビウンカ自体がステロールを合成できるということ、あるいはヒメトビウンカの発育にステロールが不要であるということ必ずしも意味しない。恐らくアブラムシと同様に (EHRHARDT, 1968) ステロールは体内にいる共生微生物によって合成され、供給されている可

能性が強い。ちなみに、ヒメトビウンカは酵母状および細菌状の細胞内共生微生物をもっていることが知られている。野田はヒメトビウンカの共生微生物がステロールを合成していると主張している(NODA and SAITO, 1979)。また、トビイロウンカ(小山, 1979)、セジロウンカ(小山・三橋, 1980)およびセジロウンカモドキ(小山ら, 1981)もヒメトビウンカと同様に人工飼料にステロールを加えなくてもふ化幼虫は成虫まで发育できた。その理由は、この3種のウンカとも、体内にいる共生微生物によってステロールが合成されるためと考えられる。

これに対して、イナズマヨコバイとツマグロヨコバイはヒメトビウンカの人工飼料だけでは成虫まで发育せずコレステロールを別に供給することが必要なことが明らかになった。コレステロールを人工飼料とは別に蒸留水に懸濁して与えると、これらのヨコバイ類はふ化幼虫から成虫まで发育したが、人工飼料MED-1に直接ステロールを加えた場合は成虫まで发育しなかった(小山, 1973b)。これは人工飼料の構成物質とステロールの量的バランスに問題があることを示唆している。この研究によりイナズマヨコバイとツマグロヨコバイはコレステロールを要求することが明らかになった。ツマグロヨコバイにはマイセトーム中に生息する特殊な細菌状共生微生物と各組織細胞の核中に生息するリケッチャ状の共生微生物が存在することが知られている(MITSUHASHI and KONO, 1975)。これらの微生物はステロールを合成しないかあるいはツマグロヨコバイの发育に必要な量のステロールを合成できないため、経口的に供給しないとツマグロヨコバイは发育を完了することができないのであろうと考えられる。イナズマヨコバイにも共生微生物が存在すると思われるが、その詳細な研究はない。しかし、同じような理由でステロールを要求するのであろうと思われる。

炭水化物はエネルギー源として必要であり、ヒメトビウンカの生存に最適な糖を検索したところ5%前後のスクロースが適していることが明らかになった。一方、同じ半翅目昆虫であるエンドウヒゲナガアブラムシにスクロース水溶液を吸させた場合は、生存率が最も高い濃度は35%でこのアブラムシの人工飼料には35%のスクロースが用いられている(AUCLAIR, 1965)。このことは同じ半翅目昆虫でも種により利用できる濃度が異なることを示している。また、ヒメトビウンカはグルコース水溶液はある程度利用できたが、マルトース、フルクトース、トレハロース、ラフィノースおよびデンプンは利用できないことが判明した(MITSUHASHI and KOYAMA, 1969)。

トビイロウンカでは、やはりスクロース水溶液上での生存日数が最も長く、次にグルコースで、フルクトース、ラフィノース、マルトースおよびトレハロースでは、ヒメトビウンカの場合と同様に生存期間が短かった。しかし、トビイロウンカでは生存に最適な糖は35-40%でヒメトビウンカに比べて非常に高濃度で、前出のエンドウヒゲナガアブラムシに似ていた(小山, 1981)。また、トビイロウンカのふ化幼虫は、スクロースの代わりにグルコース、フルクトースおよびマルトースを加えた飼料では1-2齢で全て死亡したが、この飼料に少量のスクロースを加えることにより、成虫まで发育させることができた。その結果は相加的效果以上のものであったため、スクロースにはトビイロウンカの摂食を促進する作用があり、グルコース、フルクトースおよびマルトースが効率よく吸収されて栄養物質として利用されたためと考えられた。ラフィノースとトレハロースでは、スクロースを加えても1齢幼虫ですべての個体が死亡したので、スクロースの摂食促進作用よりこの2種の糖の摂食抑制作用の方が強く働いたためか、トビイロウンカがこれらの糖を利用できないことによるものと考えられた(KOYAMA, 1984, 1985b, 1988)。

タンパク質を構成するアミノ酸については、ウンカ・ヨコバイ類では経口的に摂取する必要のあるアミノ酸の種類が非常に少ないことが明らかになった。まず、セジロウンカではどのアミノ酸1種類を除去した飼料でも幼虫は发育を完了し、この意味で不可欠なアミノ酸がないことが明らかになった(小山, 1991)。この様な例は栄養要求の調べられている昆虫の中でも非常に少ない。多くの昆虫のアミノ酸要求性は哺乳動物の必須アミノ酸と同様に、アルギニン、ヒスチジン、イソロイシン、ロイシン、リジン、メチオニン、フェニルアラニン、スレオニン、トリプトファンおよびバリンの10種類である(平野, 1971)。トビイロウンカでもセジロウンカと同様に不可欠なアミノ酸は存在しなかった(KOYAMA, 1984, 1985, 1988)。ヒメトビウンカでは、システインとメチオニンの2種類が幼虫发育に不可欠なアミノ酸である(KOYAMA and MITSUHASHI, 1975)。ただしシステインの代わりにシスチンを用いても成虫まで发育できる。セジロウンカとトビイロウンカはシステイン(シスチン)またはメチオニンを欠除した飼料でも成虫まで发育するが幼虫の发育が遅延することが分かった。このことから、この2種類のアミノ酸はセジロウンカとトビイロウンカにとっては不可欠ではないが发育に重要であると考えた。一方、同じ半翅目昆虫であるアブラムシでは、モ

モアアカアブラムシとアブラムシの一種 *Aphis fabae* でアミノ酸要求が調べられている。モアアカアブラムシでは、メチオニン、ヒスチジンおよびイソロイシンの3種類が不可欠とされている (DADD and KRIEGER, 1968)。*A. fabae* では、アラニン、ヒスチジン、メチオニン、プロリン、セリン、システイン、フェニルアラニンおよびチロシンの8種類が不可欠であると云われている (LECKSTEIN and LLEWELLYN, 1973, 1974)。これらのことは同じ半翅目昆虫でも、種によりかなりアミノ酸要求がことなることを示している。一般に半翅目昆虫の栄養要求が少ないのは、体内にいる細胞内共生微生物が必要な物質を生産しているからだと考えられているが、種により共生微生物の種類が違うので、この違いがアミノ酸要求性にも反映しているのではないと思われる。

一般に昆虫はビタミンB群の多くを要求する。B群のビタミンは水溶性であるので液体飼料に添加するのに都合が良い。MED-1飼料に含まれている10種類のビタミンのうちセジロウカカの幼虫発育に不可欠なビタミンはチアミンとコリンの2種類であった (小山, 1992)。ヒメトビウカとトビロウカカの幼虫発育に不可欠なビタミンは両種とも、チアミン、ピリドキシンおよびパントテン酸の3種類で共通していた (小山・三橋, 1977; KOYAMA, 1984, 1986, 1988)。この3種のウカカに共通した不可欠なビタミンはチアミンだけであった。セジロウカカはピリドキシンおよびパントテン酸は不可欠なビタミンではなかったが、このビタミンを欠除した飼料では成虫化率が顕著に低かった。一方、モアアカアブラムシの幼虫発育に不可欠なビタミンはチアミン、ニコチン酸およびパントテン酸の3種であるといわれている (DADD et al., 1967)。また、ホソヘリカメムシでは、幼虫発育に不可欠なビタミンはリボフラビンだけであると云われている (野田・釜野, 1983)。これらの結果を比較すると同じ半翅目昆虫でも種によりかなりビタミンの要求性が異なる。これもアミノ酸要求性の違いと同様な原因によるものと思われる。ある種のビタミンは発育に重大な影響をもつことは明らかであるが、ある種のビタミンが翅型に影響しているという知見が得られた。ウカカ類では密度を高めて飼育すると長翅型が出現し、逆に低密度で飼育すると短翅型が出現しやすいことが知られている。ヒメトビウカを人工飼料で飼育した場合、MED-1飼料ではすべての成虫が長翅型になったが、MMD-1飼料ではイネ芽だしと同率で短翅型が出現した。そこで、MED-1飼料とMMD-1飼料の組成を比較することにより飼料中のどの要因が雌短翅型出現に関

与しているかを検討したところ、MED-1飼料のビタミン混合をMMD-1飼料のビタミン混合で置き換えた時だけ短翅型が出現した。さらにビタミンの量的な違いを検討したところ、翅型の出現に栄養的要因としてビタミンが関与していることが明らかになったが、翅型と栄養的要因の関係を実証したのは本研究が初めてである (小山・三橋, 1973; MITSUHASHI and KOYAMA, 1974)。

微量元素の要求性については、ヒメトビウカカの幼虫発育に不可欠な微量元素は鉄、銅および亜鉛の3種類であることが明らかにされた (小山・三橋, 1973)。その他の半翅目昆虫で微量元素が調べられているのはアブラムシだけであり、モアアカアブラムシ (DADD, 1967) とエンドウヒゲナガアブラムシ (AKEY and BECK, 1972) とともに、鉄、銅および亜鉛のいずれかを個別に除去しても成虫まで発育する。ヒメトビウカとエンドウヒゲナガアブラムシおよびモアアカアブラムシと比較すると、ヒメトビウカカの幼虫発育には鉄、銅および亜鉛が不可欠であるのに対して、この2種のアブラムシはこれらの金属を加えなくても成虫まで発育できる。このことはアブラムシとヒメトビウカ微量元素に対する要求性がかなり異なり、ヒメトビウカはアブラムシより多くの量の金属を要求するといえよう。

その他の無機物の必要性については、マグネシウム、カリウム、リン酸がヒメトビウカカの幼虫発育に不可欠であることが明らかになった。これら無機物はMED-1飼料では塩化マグネシウムとリン酸カリウムの形で用いられているが、必ずしもこれらの化合物でなくてよく、多くのマグネシウム塩、カリウム塩、リン酸塩が利用されることが明らかになった (小山・三橋, 1991)。これまで吸汁性昆虫では、ウカカ・ヨコバイ類以外では、アブラムシやカメムシの人工飼育が試みられたが、無機塩に対する知見は皆無である。しかし、それら飼料はいずれもカリウム、マグネシウムおよびリン酸を無機物の主体としており (MITTLER and DADD, 1962; AUCLAIR, 1965; KIECKHEFER and DEER, 1967; VANDERZANT, 1967; ERHARDT, 1968; AKEY and BECK, 1971; 河田, 1971; CRESS and CHADA, 1971)、要求性はヒメトビウカと類似していると想像される。

V 要約

飼育に関する研究:

化学的に既知な物質だけからなる人工飼料を用いて、ヒメトビウカ、トビロウカ、セジロウカ、セジロウカモドキ、イナズマヨコバイおよびツマグロヨコ

バイを飼育する方法を確立した。ヒメトビウンカでは、10世代にわたり植物に接触させることなく継代飼育することができた。人工飼育では、幼虫期間が長くなり幼虫期死亡率が高くなったが、得られた成虫と、植物体を用いた飼育の成虫の間には、形態的にも生殖力にも違いが認められなかった。人工飼育では、ふ化後5日以内の死亡率が特に高かったので、1齢幼虫の飼育条件を検討し、容器は高さが低い方がよいこと、光源としては黄色、橙色、赤色など比較的長波長の光がよいこと、湿度は高く保つ方がよいこと、温度は比較的低温（15-23℃）に保つ方がよいことを明らかにした。

イナズマヨコバイとツマグロヨコバイでは、ふ化幼虫から成虫まで発育させるためには、容器の片側に人工飼料、他の一方にコレステロール懸濁水を与えることが必要であることを明らかにした。また、トビロウンカ、セジロウンカおよびセジロウンカモドキでは、容器の底に湿ったろ紙を敷いて湿度を高く保つことが必要であることが判明した。

イナズマヨコバイの飼料の色に対する選択性では、黄色および緑色が他の色よりも好まれることが明らかになった。

人工採卵法の産卵液については、ヒメトビウンカが最も多く産卵するのはスクロースで以下グルコース、ラフィノース、フルクトース、トレハロースの順であった。どの種類の糖でも低濃度では産卵促進効果が見られたが、高い濃度では逆に産卵阻害作用が見られた。スクロースは10%で産卵数が最も多かった。イナズマヨコバイは、スクロースにも人工飼料のMED-1にもよく産卵した。ツマグロヨコバイは、試験したすべての液に対して産卵しなかった。セジロウンカは、スクロースに対して少し産卵した。

ヒメトビウンカは人工飼料MED-1には産卵しなかった。そこで飼料中の23種のアミノ酸を1種ずつ含だスクロース液に対する産卵を調べたところすべてに産卵したが、アルギニン、グルタミン酸、チロシンおよびバリンの4種は産卵抑制作用を示し、逆にシスチンは産卵を促進する作用をもつことが明らかになった。また、アミノ酸水溶液にイネ芽出しの根をひたした後、処理イネ芽出しに対するヒメトビウンカの産卵性を調べたところ、アルギニン、グルタミン酸、リジン、チロシンおよびバリンは産卵を抑制し、また、シスチンは産卵を促進した。このことはイネ芽出しの根から吸い上げたアミノ酸がそのままヒメトビウンカの産卵に影響を与えたと考えられた。

イナズマヨコバイで卵の低温保存を検討したところ、ふ化率、卵期間、発育の斉一性を考慮した場合、産卵後6-7日位の卵を低温保存することが有利であることがわかった。

短日条件下で人工飼育すると、ヒメトビウンカでは、特に、4齢期間が遅延し、休眠に入ったと判断された。しかし、セジロウンカとセジロウンカモドキは、短日条件と長日条件で幼虫の発育に差がなく休眠しないことが明らかになった。

栄養要求に関する研究：

糖の利用では、ヒメトビウンカの幼虫にスクロース、グルコース、マルトース、フルクトース、ラフィノース、トレハロースおよびデンプンの7種類の水溶液を吸汁させた場合、スクロース水溶液上での生存日数が最も長く、次にグルコース溶液で、マルトース、フルクトース、ラフィノース、トレハロースおよびデンプン水溶液では短時間しか生存できなかった。ヒメトビウンカの生存に最適な糖はスクロースで、その濃度は5%前後であることが明らかになった。トビロウンカでは、スクロース水溶液上での生存期間は低濃度より高濃度になるにしたがいながくなり、35%のスクロースを吸汁させた場合が一番長かった。グルコース、フルクトース、ラフィノース、マルトースおよびトレハロース水溶液上での生存期間は、対照の蒸留水の場合と同様に短かった。また、MED-1飼料のスクロースのかわりに5g/100mlのグルコース、フルクトースおよびマルトースを個別に含む人工飼料を用いて飼育した結果は、いずれの糖でも幼虫は1-2齢で死亡した。しかし、これらの飼料に1g/100mlのスクロースをそれぞれくわえることによりふ化幼虫は成虫まで発育した。ラフィノースとトレハロースを用いた飼料では1g/100mlのスクロースを加えても1齢幼虫ですべての個体が死亡した。

アミノ酸要求性については、ヒメトビウンカの幼虫は、システインとメチオニンを欠く飼料では、成虫まで発育できなかった。これら2種のアミノ酸は不可欠なアミノ酸と考えられた。トビロウンカとセジロウンカをアミノ酸各1種を欠く飼料で飼育したところ、いずれのアミノ酸を欠いた飼料でも幼虫は成虫まで発育した。したがって、トビロウンカとセジロウンカの幼虫発育には個別除去実験による限り不可欠なアミノ酸はないといえる。しかし、両種ともシステインおよびメチオニンを欠く飼料では幼虫発育が遅延した。

ビタミン要求性では、ヒメトビウンカの幼虫は、チアミン、ピリドキシンおよびパントテン酸を欠いた場合、

幼虫は成虫まで発育できなかった。したがって、これら3種のビタミンは不可欠なビタミンと考えられた。トビイロウンカの幼虫発育に不可欠なビタミンは、チアミン、ピリドキシンおよびパントテン酸の3種と考えられた。また、セジロウンカでは、チアミンとコリンが不可欠なビタミンと考えられた。ヒメトビウンカをMED-1飼料で飼育すると長翅型が出現するが、葉酸の量が0.75-0.05mg/100mlの濃度の範囲にある時だけ短翅型が出現することが判明した。微量金属要求性については、ヒメトビウンカの幼虫は、鉄、銅および亜鉛を欠いた場合、幼虫は成虫まで発育できない。したがって、これら3種類の金属は不可欠と考えられた。

無機塩要求性については、ヒメトビウンカの幼虫発育に不可欠な無機イオンはマグネシウム、カリウム、リン酸であることが明らかになった。マグネシウム、カリウム、リン酸源として、 KH_2PO_4 と $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の他に、数種のリン酸化合物、カリウム化合物、マグネシウム化合物が利用可能であることが明らかになった。

謝 辞

本研究を遂行するにあたって、研究開始の始めより終始暖かくご指導をいただいた、東京農工大学農学部教授三橋 淳博士ならびに元農林水産省農業技術研究所奈須 壮 博士に深く感謝の意を表わす。また、種々の有益なご助言とご指導いただいた、元農林水産省農業環境技術研究所岸野賢一博士、元農業環境技術研究所志賀正和博士、農業環境技術研究所宮崎昌久博士、元農林水産省野菜・茶業試験場田中 清氏ならびに野菜・茶業試験場松井正春博士に深く感謝の意を表わす。農業環境技術研究所斎藤 修博士ならびに元農業環境技術研究所釜野静也博士には本論文を読んでいただき有益なご助言をいただき深く感謝の意を表わす。また、農業環境技術研究所昆虫管理科の諸姉兄には研究遂行上のご助言、ご助力をいただきました。これらの方々に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) Akey, D. H. and S. D. Beck (1971) Continuous rearing of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*, on a holidic diet. Ann. Ent. Soc. Am. 64: 353-356.
- 2) Akey, D. H. and S. D. Beck (1972) Nutrition of the pea aphid. *Acyrtosiphon pisum*: requirements for trace metals, sulphur, and cholesterol. J. Insect Physiol. 18: 1901-1914.
- 3) Auclair, J. L. (1965) Feeding and nutrition of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphidae), on chemically defined diets of various pH and nutrient levels. Ann. Ent. Soc. Am, 58: 855-867.
- 4) Auclair, J. L. (1967) Effects of pH and sucrose on rearing the cotton aphid, *Aphis gossypii*, on a germ-free and holidic diet. J. Insect Physiol. 13: 431-446.
- 5) Auclair, J. L. and J. J. Cartier (1963) Pea aphid rearing on a chemically defined diet. Science. 142: 1068-1068.
- 6) Beck, S. D. (1953) Nutrition of the European corn borer, *Pyrausta nubilalis* (Hbn). III. An unidentified dietary factor required for larval growth. J. Gen Physiol 36: 317-325.
- 7) Bennett, C. W. (1935) Studies on properties of the curly top virus. J. Agr. Res. 50: 211-241.
- 8) Bottger, G. T. (1942) Development of synthetic food media for use in nutrition studies of the European corn borer. J. Agric Res 65: 493-500.
- 9) Carter, W. (1927) A technique for use with homopterous vectors of plant disease, with special reference to the sugar beet leafhopper, *Eutettix tenellus* (Baker). J. Agr. Res. 34: 449-451.
- 10) Carter, W. (1928) An improvement in the technique for feeding homppterous insects. Phytopathology. 18: 246-247.
- 11) Cress, D. C. and H. L. Chada (1971) Development of a synthetic diet for the greenbug, *Schizaphis graminum*. 1. Greenbug development on two synthetic diets. Ann. Ent. Soc. Am. 64: 1237-1240.
- 12) Dadd, R. H. (1967) Improvement of synthetic diet for the aphid *Myzus persicae* using plant juices, nucleic acids or trace metals. J. Insect Physiol. 13: 763-778.
- 13) Dadd, R. H. (1968) Dietary amino acids and wing detamination in the appid, *Myzus persicae*. Ann. Ent. Soc. Am. 61: 1201-1210.
- 14) Dadd, R. H. and T. E. Mittler (1966) Permanent cultuer of an aphid on a totally synthetic Diet. Experientia. 22: 832-833.
- 15) Dadd, R. H. and D. L. Krieger (1968) Dietary amino acid requirements of the aphid, *Myzus persicae*. J. Insect Physiol. 14: 741-764.

- 16) Dadd, R. H., D. L. Krieger and T. E. Mittler (1967) Studies on the artificial feeding of the aphid *Myzus persicae* (SULZER). IV. Requirements for water-soluble vitamins and ascorbic acid. *J. Insect Physiol.* 13: 249-272.
- 17) Day, M. F. and A. Mckinnon (1951) A study of some aspects of the feeding of the jassid *Orosius*. *Australian J. Sci. Res. B-4*: 125-135.
- 18) Ehrhardt, P. (1968) Nachweis einer durch symbiontische Mikroorganismen bewirkten Sterinsynthese in kunstlich ernahrten Aphiden (Homoptera, Rhynchota, Insecta). *Experientia.* 24: 82-83.
- 19) Fife, J. M. (1932) A method of artificially feeding the sugar beet leafhopper. *science.* 75: 465-466.
- 20) Fulton, R. A., and J. C. Chamberlin (1934) An improved technique for the artificial feeding of the beet leafhopper with notes on its ability to synthesize glycerides. *Science* 79: 346-348.
- 21) Gilmour, D. (1961) *The biochemistry of insects*, Academic Press, New York, 343 pp.
- 22) Herford, G. V. B. (1935) Studies on the secretion of sistase and invertase by *Empoasca delong*. *Ann. Appl. Biol.* 22: 301-306.
- 23) 平野千里 (1971) *昆虫と寄主植物* 東京：共立出版, 202p.
- 24) Hou, R. F. and M. A. Brooks (1975) Continuous rearing of the aster leafhopper *Macrostelus fascifrons*, on a chemically defined diet. *J. Insect Physiol.* 21: 1481-1483.
- 25) Hou, R. F. and M. A. Brooks (1977) Effects of cholesterol on growth and development of the aster leafhopper, *Macrostelus fascifrons* (STAL) (Hemiptera: Deltocephalidae). *Appl. Ent. Zool.* 12: 248-254.
- 26) Hou, R. F. and L. C. Lin (1979) Artificial rearing of rice green leafhopper, *Nephotettix cubtuceps*, on a holidic diet. *Ent. Exp. & Appl.* 25: 158-164.
- 27) 河田和雄 (1971) アブラムシの人工飼育 (第1報) *農学研究* 54: 23-29.
- 28) Kieckhefer, R. and R. Deer (1967) Rearing three species of cereal aphids on artificial diets. *J. Econ. Ent.* 60: 663-665.
- 29) Kisimoto, R. (1958) Studies on the diapause in planthoppers and leafhoppers (Homoptera). *Jap. J. Appl. Ent. Zool.* 3: 49-52.
- 30) 喜多 寛 (1982) ウンカと共生微生物の相互作用. *昆虫の生理活性検定法* (高橋正三編), 東京：培風館, pp, 191-201.
- 31) 小山健二 (1971) 糖類溶液に対するイナズマヨコバイの選択実験. *応動昆* 15: 269-271.
- 32) 小山健二 (1972) イナズマヨコバイ卵の低温保存に関する実験 *応動昆* 16: 50-51.
- 33) 小山健二 (1973a) 人工飼料の色に対するイナズマヨコバイの選択性. *応動昆* 17: 49-53.
- 34) 小山健二 (1973b) 完全合成飼料によるイナズマヨコバイとツマグロヨコバイの人工飼育. *応動昆* 17: 163-166.
- 35) 小山健二 (1979) 完全合成飼料によるトビイロウンカの人工飼育. *応動昆* 23: 39-40.
- 36) 小山健二 (1981) 数種糖類の水溶液上でのトビイロウンカ幼虫の生存期間. *応動昆* 25: 125-126.
- 37) Koyama, K. (1984) Nutritional physiology of the brown rice planthopper, *Nilaparvata lugens* STAL (Hemiptera: Delphacidae) *中華昆虫* 4: 93-105.
- 38) Koyama, K. (1985a) Nutritional physiology of the brown rice planthopper, *Nilaparvata lugens* STAL (Hemiptera: Delphacidae) I. Effect of sugars on nymphal development. *Appl. Ent. zool.* 20: 292-298.
- 39) Koyama, K. (1985b) Nutritional physiology of the brown rice planthopper, *Nilaparvata lugens* STAL (Hemiptera: Delphacidae) II. Essential amino acids for nymphal development. *Appl. Ent. Zool.* 20: 424-430.
- 40) Koyama, K. (1986) Nutritional physiology of the brown rice planthopper, *Nilaparvata lugens* STAL (Hemiptera: Delphacidae) III. Essential vitamins for nymphal development. *Appl. Ent. Zool.* 21: 252-257.
- 41) Koyama, K. (1988) Artificial rearing Nutritional physiology of the planthoppers and leafhoppers (Hemiptera: Delphacidae and Deltocephalidae) on a holidic diet. *JARQ Vol.* 22: 20-27.
- 42) 小山健二 (1991) セジロウンカの幼虫発育に不可欠なビタミン. *応動昆* 35: 297-301.
- 43) 小山健二 (1992) セジロウンカの幼虫発育に不可欠なアミノ酸. *応動昆* 36: 177-181.
- 44) 小山健二・三橋 淳 (1969) ヒメトビウンカの人工摂食. *応動昆* 13: 89-90.

- 45) 小山健二・三橋 淳 (1973) ヒメトビウンカの翅型に影響を与える飼料中の要因. 応動昆. 17 : 111-113.
- 46) Koyama, k. and J. Mitsuhashi (1975) Essential amino acids for the growth of the smaller brown planthopper, *Laodelphax striatellus* FALLEN (Hemiptera : Delphacidae). Appl. Ent. Zool. 10 : 208-215.
- 47) Koyama, k. and J. Mitsuhashi (1976) Differences in oviposition of the smaller brown planthopper, *Laodelphax striatellus*, in response to various amino acid solutions (Hemiptera : Delphacidae). Appl. Ent. Zool. 11 : 33-37.
- 48) 小山健二・三橋 淳 (1977) ヒメトビウンカの幼虫発育に不可欠なビタミン. 応動昆. 21 : 23-26.
- 49) 小山健二・三橋 淳 (1979) ヒメトビウンカの幼虫発育に不可欠な微量金属. 応動昆. 23 : 173-177.
- 50) 小山健二・三橋 淳 (1980) 完全合成飼料によるセジロウンカの人工飼育. 応動昆. 24 : 117-119.
- 51) 小山健二・三橋 淳 (1983) 短日条件下でのウンカの人工飼育. 応動昆. 27 : 69-71.
- 52) 小山健二・三橋 淳 (1991) ヒメトビウンカの幼虫発育に不可欠な無機塩. 応動昆. 35 : 137-143.
- 53) 小山健二・三橋 淳・奈須壮兆 (1981) 完全合成飼料によるセジロウンカモドキの人工飼育. 応動昆. 25 : 198-200.
- 54) Kusumi, T., Suwa, Y., Kita, H. and Nasu, S. (1979) Symbiotes of planthopper. I. The isolation of intracellular symbiotes from the smaller brown planthopper, *Laodelphax striatellus* FALLEN (Hemiptera : Delphacidae). Appl. Ent. Zool. 14 : 459-463.
- 55) Leckstein, P. M. and M. Llewellyn (1973) Effect of dietary amino acid on the size and alary polymorphism of *Aphis fabae*. J. Insect Physiol. 19 : 973-980.
- 56) Leckstein, P. M. and M. Llewellyn (1974) The role of amino acids in diet intake and selection and the utilization of dipeptides by *Aphis fabae*. J. Insect Physiol. 20 : 877-885.
- 57) Mitsuhashi, J. (1970) A device for collecting planthopper and leafhopper eggs (Hemiptera : Delphacidae and Deltocephalidae) Appl. Ent. Zool. 5 : 47-49.
- 58) Mitsuhashi, J. and Y. Kono (1975) Intracellular microorganisms in the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* UHLER (Hemiptera : Deltocephalidae). Appl. Ent. Zool. 10 : 1-9.
- 59) Mitsuhashi, J. and K. Koyama (1969) Survival of smaller brown planthopper, *Laodelphax striatellus* FALLEN, on carbohydrate solutions (Hemiptera : Delphacidae). Appl. Ent. Zool. 4 : 185-193.
- 60) Mitsuhashi, J. and K. Koyama (1971) Rearing of planthoppers on a holidic diet. Ent. Exp. & Appl. 14 : 93-98.
- 61) 三橋 淳・小山健二 (1972) ヒメトビウンカの人工飼育, 特に1齢幼虫の飼育条件の検討. 応動昆. 16 : 8-17.
- 62) Mitsuhashi, J. and K. Koyama (1974) Folic acid as a dietary factor affecting the wing morph of the planthopper, *Laodelphax striatellus* (Hemiptera : Delphacidae). Ent. Exp. & Appl. 17 : 77-82.
- 63) Mitsuhashi, J. and K. Koyama (1975) Oviposition of smaller brown planthopper, *Laodelphax striatellus*, into various carbohydrate solutions through a parafilm membrane (Hemiptera : Delphacidae). Appl. Ent. Zool. 10 : 123-129.
- 64) Mitsuhashi, J. and K. Koyama (1977) Effects of amino acids on the oviposition of the smaller brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Hemiptera : Delphacidae). Ent. exp. & appl. 22 : 156-160.
- 65) Mitsuhashi, J. and K. Maramorosch (1963) Aseptic cultivation of four virus transmitting species of leafhoppers (Cicadellidae). Contr. Boyce Thompson Inst. 22 : 165-173.
- 66) Mittler, T. E. (1971) Some effects on the aphid *Myzus persicae* of ingesting antibiotics incorporated into artificial diets. J. Insect Physiol. 17 : 1334-1347.
- 67) Mittler, T. E. and R. H. Dadd (1962) Artificial feeding and rearing of the aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), on a completely defined synthetic diet. Nature 195 : 404.
- 68) Mittler, T. E. and R. H. Dadd (1964) An improved method for feeding aphids on artificial diets. Ann. Ent. Soc. Am. 57 : 139-140.
- 69) Mittler, T. E. and P. Koski (1976) Development of meridic and oligidic diets for rearing the aphid *Myzus persicae*. J. Insect Physiol. 22 : 1135-1141.

- 70) 三宅利雄 (1932a) 昆虫の休眠に関する研究 (第1報) I. 昆虫 6 : 20-36.
- 71) 三宅利雄 (1932b) 昆虫の休眠に関する研究 (第1報) II. 昆虫 6 : 47-65.
- 72) 三宅利雄・藤原昭男 (1962) セジロウンカ及びトビイロウンカの越冬並びに休眠に関する研究. 広島農試報告 13 : 1-72.
- 73) 野田隆志・釜野静也 (1983) ホソヘリカメムシの発育に必要なビタミン B 群とアミノ酸. 応動昆 27 : 295-299.
- 74) Noda, H. and T. Saito (1979) The role of intracellular yeast-like symbiotes in the development of *Laodelphax striatellus* (Homoptera : delphacidae). Appl. Ent. Zool. 14 : 453-458.
- 75) Nuorteva, P. (1951) Eine methode zur untersuchung der die nahrpflanzenwahl regulierenden stimuli bei zikaden. Proc. 9th Intern. Congr. Ent (Amsterdam) 1 : 273-276.
- 76) 奥村隆史 (1963) セジロウンカおよびトビイロウンカの成虫期の飼育条件による卵休眠の誘期. 応動昆 7, 285-290.
- 77) Rohdain, J., Pons, C., Vandendranden, J., and Bequaert, J. (1912) Contribution au mecanisme de la transmission des Trypanosomes par le glossines. Arch. f. Schiffs. u. Trop. Hyg. 16 : 732-739.
- 78) Sekido, S. and K. Sogawam (1976) Effects of salicylic acid on probing and oviposition of the rice plant and leafhoppers (Homoptera : Delphacidae and Deltocephalidae). Appl. Ent. Zool. 11 : 75-81.
- 79) Storey, H. H. (1932) The filtration of the virus of streak disease of maize. Ann. Appl. Biol. 19 : 1-5.
- 80) Vanderzant, E. S. (1967) Rearing Lygus bugs on artificial diets. J. Econ. Ent. 60 : 813-816.

Studies on the nutritional requirements of planthoppers and leafhoppers with development of methods rearing them on artificial diets.

Kenji KOYAMA

Summary

Since planthoppers and leafhoppers have a sucking proboscis, it is difficult to rear them on artificial diets. As a result, studies on the nutritional physiology have been delayed. Therefore, the author developed a method for rearing them on artificial diets, and a planthopper, *Laodelphax striatellus*, could be reared on such diets continuously. The study also revealed the nutritional requirements of planthoppers and leafhoppers.

Studies on artificial diets

A rearing method using the artificial diets was developed for the smaller brown planthopper *Laodelphax striatellus* (FALLEN), the brown rice planthopper *Nilaparvata lugens* (STAL), the whitebacked rice planthopper *Sogatella furcifera* (HORVATH), *Sogatella longifurcifera* (ESAKI et ISHIHARA), the green rice leafhopper *Nephotettix cincticeps* (UHLER), and the zig-zag rice leafhopper *Recilia dorsalis* (MOTSCHULSKY).

Continuous rearing of *L. striatellus* was successfully achieved for 10 generations in avoiding that the planthopper comes into contact with host plants. In the rearing methods on artificial diets, the duration of the larval period became high, although no differences in the morphology and reproductivity were observed as compared with adults reared by conventional methods. Since the mortality within 5 days after hatching was especially high in the insects reared on artificial diets, the following measures were adopted for rearing of the first stage larvae. 1. Use of low containers, 2. Illumination with yellow, orange and red light, 3. Maintenance of a high moisture level and 4. Maintenance of a relatively low temperature (15–23°C).

The author demonstrated that it was necessary to put the artificial diet on one side and the cholesterol suspension on the other side of the containers for rearing larvae of *R. dorsalis* and *Neph. cincticeps*. High moisture level achieved by using a wet filter paper placed at the bottom of the containers was very important for rearing *Nil. lugens*, *S. furcifera*, and *S. longifurcifera*. Artificial diet with yellow and green color was preferred by *R. dorsalis*.

The highest rate of oviposition by *L. striatellus* was observed on sucrose, followed by glucose, raffinose, fructose and trehalose. All the sugars promoted oviposition at a low concentration, while at a high concentration oviposition was inhibited. When 10% sucrose was used, the largest numbers of eggs were deposited.

Asequate oviposition by *R. dorsalis* was observed on sucrose and MED-1. *Neph. cincticeps* did not lay eggs in any of the liquid preparations used in this experiment. *S. furcifera* laid a few eggs in a sucrose solution.

L. striatellus did not lay eggs on MED-1. Among the amino acids contained in MED-1, arginine, glutamic acid, tyrosine and valine inhibited oviposition, while cystine promoted it.

Then roots of rice seedlings were dipped in a solution of various amino acids and the oviposition of *L. striatellus* onto the treated seedlings was examined. The seedlings treated with glutamine, glutamic acid, lysine, tyrosine and valine were inhibitory, while those treated with cystine exerted a promotive effect on the oviposition of *L. striatellus*. These results suggested that amino acids absorbed from roots of rice seedlings directly affected the oviposition of *L. striatellus*. When the eggs of *R. dorsalis* were stored at a low temperature, 6–7 days-old eggs showed a higher rate of hatching, the egg stage was shorter and growth was uniform.

When rearing on artificial diets were carried out under a short-day (8 L–16 D) regime, the fourth instar stage was prolonged, especially in *L. striatellus* and this phenomenon was considered to correspond to the diapause. However in *S. furcifera* and *S. longifurcifera*, there were no differences in the development of larvae under either a short-day (8 L–16 D) or a long-day (16 L–8 D) regime. Therefore, these species did not appear to have a diapause.

Studies on nutritional requirements

Aqueous solutions of sugars including sucrose, glucose, maltose, fructose, raffinose, trehalose and soluble starch were tested with *L. striatellus*. The longest survival was obtained when a sucrose solution was used, followed by a glucose solution, and the shortest survival was recorded with maltose, fructose, raffinose, trehalose and soluble starch.

In the case of *L. striatellus*, the most suitable sugar was found to be sucrose of a concentration of about 5%.

In the case of *Nil. lugens*, the survival was prolonged when a more concentrated sucrose solution was used and the longest survival period was obtained with a 35% sucrose solution. The survival periods with aqueous solutions of glucose, fructose, raffinose, maltose and trehalose were as short as those with distilled water.

When the insects were reared with artificial diets containing 5 g/100 ml glucose, fructose, or maltose instead of sucrose, all the larvae died during the first and the second instars. However, hatched larvae grew to adults with an artificial diet containing 1 g/100 ml sucrose.

The use of artificial diets containing raffinose or trehalose led to the death of all the larvae at the first instar stage even when 1 g/100 ml sucrose was added.

On the amino acid requirement, artificial diets without cysteine or methionine could not support the development of *L. striatellus* larvae to the adults. Those two were thought to be essential amino acids. When *Nil. lugens* or *S. furcifera* were reared on the MED-1 diet lacking one amino acid at one time, all the diets supported development from the first instar larvae to the adults.

Therefore, for the larval development of *Nil. lugens* and *S. furcifera*, no essential amino acid existed. However, both planthoppers showed delayed development of larvae without cys-

teine or methionine in the artificial diets.

On the vitamin requirement, larvae of *L. striatellus* could not become the adults without thiamine, pyridoxine and pantothenic acid. Therefore, those three vitamins were considered to be essential vitamins. The essential vitamins for the growth of larvae of *Nil. lugens* were also thiamine, pyridoxine and pantothenic acid. In the case of *S. furcifera*, thiamine and choline were considered as the essential vitamins.

When *L. striatellus* was raised on the MED-1 diet, only macropterous form appeared. But the brachypterous form appeared if the folic acid range was changed to 0.75-0.05 mg/100 ml.

For trace metals larvae of *L. striatellus* could not grow without iron, copper and zinc. Therefore, these three metals were thought to be essential.

About inorganic salts, magnesium, potassium and phosphoric acid were found to be essential for development of *L. striatellus* larvae. It became clear that KH_2PO_4 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and some compounds containing phosphoric acid, potassium or magnesium can be used as the sources of magnesium, potassium and phosphoric acid respectively.