

綜 説

Recent Advances in Prepared Food for the Silkworm. Keizo HAMAMURA (Kyoto University of Industrial Arts and Textile Fibres, Kyoto) *Botyu-Kagaku* 31, 137, 1966.

家蚕の人工飼料 林景慶三 (京都工芸繊維大学繊維学部 京都)

昆虫の人工飼料による飼育については、すでに数多くの成功例が報告されている。筆者がここで述べようとしている家蚕についても、最近数年のうちに、桑葉乾燥粉末を主体とする配合飼料から、未知物質をほとんど含まないアミノ酸飼料にいたるまで、数々の飼料組成が公表された。いまでは家蚕の全令飼育はもちろん、その無菌飼育も可能になっている。数年のうちにこのように進展したのは、他の昆虫についてすでにえられた人工飼料の知見におう点が多いことはいうまでもないが、とくに浜村、吉田、福田、伊藤らの研究におうところが大きい。吉田<sup>1)</sup>、福田<sup>2)</sup>らは実用的に、凍霜害による生桑葉不足に際しての緊急用飼料の作成から、伊藤<sup>3)</sup>らは家蚕の栄養要求から、そして浜村<sup>4)</sup>らは家蚕の摂食機構から、それぞれ人工飼料の研究に着手した。三者三様にその研究の重点は異なっていたが、それらより得た諸知見や、最近各所ではじめられた多くの人々の研究成果を総合すると、上述のように、家蚕を人工飼料で飼育することはすでに可能であると、いってよい段階にきている。もっとも、養蚕業という立場からみてまゆの生産性までを考えればまだまだ研究の余地があり、また数年という短い期間であって基礎研究が不足していることをおもえば、研究はやっとはじまったばかりの状態だともいえるよう。

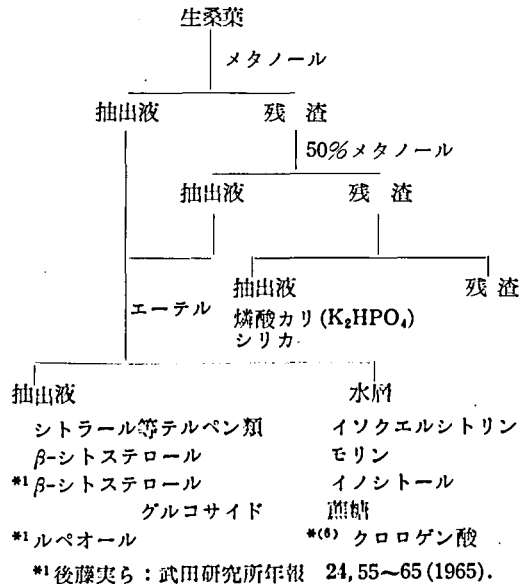
さて上記3研究室のそれぞれ発表された成果や綜説に加えて、筆者はとくに2、3年の間に報告された家蚕の人工飼料に関連のある新しい知見や問題点を、主として化学的立場から探って述べよう。

1. 誘引物質および摂食刺戟物質

浜村らの研究は桑葉から家蚕の摂食を促進する物質を単離することからはじまった。その抽出法および単離された主なものは第1図のようであった。そして第1表の物質が摂食を促進すると報告した。これらについて詳細な綜説が浜村<sup>4)</sup>によって書かれている。誘引物質に関しては、渡辺<sup>5)</sup>らはβ, γ-hexenol, α, β-hexenalがよく家蚕幼虫を誘引すること、しかして老熟幼虫はとくに hexenal に誘引されることを、また畑中<sup>6)</sup>らはβ, γ-hexenolの幾何構造と誘引性との関係をしらべ、3-cis-hexene-1-ol が最も誘引性が強いと報告した。つづいて浜村<sup>4)</sup>らは、citral, linalol, linalyl acetate, terpenyl acetate 等テルペン類の誘引性が強力である

第1図 桑葉成分の単離

Y. Hamamura *et al.* *Nature* 1962.



第1表 摂食促進因子のみよりなる基本飼料

Y. Hamamura *et al.* *Nature* 1962.

浜村 京工織大・織・学術報告 1962.

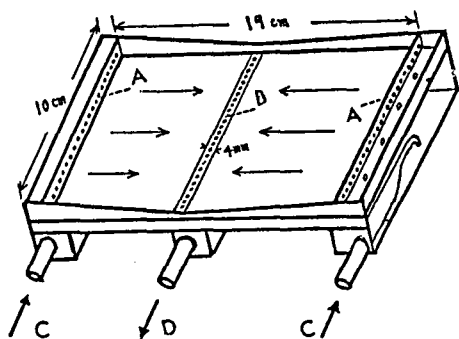
主因子

|                 |        |
|-----------------|--------|
| 誘引因子            |        |
| シトラール           | 1 cc   |
| 嚙咬因子            |        |
| β-シトステロール       | 5 mg   |
| イソクエルシトリンおよびモリン | 3 mg   |
| 嚙下因子            |        |
| セルローズ           | 700 mg |
| 補助因子            |        |
| シュクロース          | 30 mg  |
| イノシトール          | 5 mg   |
| 燐酸カリ            | 10 mg  |
| シリカ             | 40 mg  |

以上を2%寒天溶液3cc中に混合する

ことを報告した。これらはいずれも桑葉中に存在するとともに他の植物にもみられる物質であった。事実家蚕は桑ばかりでなく他の多くの植物葉に誘引されるようである<sup>11)</sup>。その後、平尾<sup>12)</sup>らは新しく olfactometer

第2図 Olfactometer  
平尾ら 日蚕雑 1964.



Olfactometer for the hatched silkworm larvae  
A : air-inhaling pores, B : air-exhausting pores (start line of the insects), C : from gas washing bottles, D : to vacuum-pump. Arrows indicate the direction of air-stream.

(第2図)を作成して、約200種の物質について蚕の幼虫の誘引性のテストをおこなった。図の装置は従来用いられたようなY字管とは異なって、同一平面上で幼虫の移動が自由である利点がある。これによると、石油類やピネン、ハッカ、樟脳、アミン類などは忌避的に作用するが、他の多くのものが誘引性をしめすこと<sup>19)</sup>、また geraniol が比較的強力で、浜村らの報告した citral や linalyl acetate に匹敵し、これらより強力なものとして脂肪酸エステルがあった。なかでも *n*-butyl propionate が最高の誘引性をしめすという。また2種の香気物質に対する走化性の比較に際して、相手となる香気物質の種類によって複雑な走化性をしめすこと、たとえばAとBとを比べて、 $A > B$ となり、BとCとを比べて、 $B > C$ となった場合、 $A > C$ とは必ずしもならない、ことを付言している。誘引性を論ずる際に留意すべきことである。この平尾らの研究によって、従来誘引性があると報告された諸物質はいずれも確認されるとともに、さらに強力な誘引物質がみいだされた。こんご人工飼料の組成成分としておそらく利用されるであろう。

つぎに摂食刺激物質の研究についてみよう。浜村らは<sup>14,15)</sup>  $\beta$ -sitosterol, isoquercitrin, inositol, sucrose等を桑葉から単離し、これらが家蚕の摂食を促進する桑葉成分の主なものであると報告した。また桑の心材に存在するフラボノイド色素である morin もまた有力な促進物質であった<sup>16)</sup>。そのご内藤らは桑葉の水溶性分画から chlorogenic acid を単離して、これが摂食を促進することを報告した<sup>16)</sup>。伊藤<sup>17,18)</sup>は ascorbic acid が家蚕の摂食を顕著に促進すると報告している。また5令の幼虫でおこなった実験で、15時間 200°C で加熱した和紙に sucrose を含ませるだけでも、家蚕はよく

これを摂取するという<sup>19)</sup>。

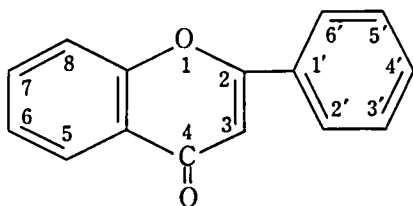
これらの研究は家蚕の幼虫の嚙咬反応や、一定時間中の摂食または排泄量の観察からの結論であったが、石川<sup>20,21)</sup>は感覚生理学の立場から、幼虫の小顎中の感覚毛が薬品に対して感ずる反応を電氣的にとらえ、家蚕の味覚に関する研究をおこなった。Hodgson<sup>22)</sup>によって確立されたこの方法を家蚕に適用する際に、小顎中の3本の有柄突起 sensilla styloconica のうち、2本の毛について、これらが糖類、水に感受性をしめすことがわかったので、それぞれ糖感覚毛、水感覚毛と名づけた。糖感覚毛がとくに強い感受性をしめすのは inositol, sucrose に対してであり、これらを感じ得る部位は inositol を感受する受容細胞  $L_I$  と sucrose を感受する  $L_S$  細胞とに分化しているという。そのほか2,3の物質を感受する細胞が分化しており、glucose に感ずる  $G$ 、塩類および酸類に感ずる  $N_I$  細胞等となづけられた。さらに、ダイコン、カブ、キャベツのようなアブラナ科植物の水抽出液に存在する物質で活性化される  $X$  細胞がしられている<sup>23)</sup>。また興味あることには、 $L_S$  細胞の活性のみを特異的に抑制する物質が、この物質はまだ固定されておらないが、ヨモギの葉の抽出液に見出された<sup>24)</sup>。水感覚毛には純水に対して強い感受性をしめす細胞があり、これを  $W$  受容細胞と名づけた。このほかに、クワ科およびキク科以外の、家蚕の好まない植物の水抽出液に対して強い感応をしめす細胞が見出されたので、これを  $R$  受容細胞と名づけた。  $R$  細胞は忌避すべき物質を感受するようには思われた。これら2本の感覚毛の反応が寄主選択性に関係があるかどうか直接に証明できないが、数種の植物葉に対するこれらの受容細胞の活性をみると第2表のようであった。これによると、家蚕がよく食べるクワ、またすこし食べるシャ、イチジク等の水抽出液に対しては  $R$  細胞の活性がみられず、かつ  $L_S$  と  $L_I$  の両者の活性がみられた。一方、食下しないサクラやフウ(マンサク科)に対しては  $R$  細胞に活性があり、 $L_S, L_I$  の両方かあるいは一方の活性がみられない。フウの中には inositol が相当量含まれているが、これに対して  $L_I$

第2表 種々の葉に対する  $L_S, L_I$  受容細胞の活性  
石川ら 蚕試報告 1963.

| 糖感覚毛  |       | 水感覚毛 |  | 供試した植物の葉                              |
|-------|-------|------|--|---------------------------------------|
| $L_S$ | $L_I$ | $R$  |  |                                       |
| +     | +     | -    |  | クワ, イチジク, シャ (以上 クワ科)<br>タンポポ (キク科)   |
| +     | +     | +    |  | ノニレ (ニレ科) シンジュ (ニガキ科)<br>ヒマ (トウダイクサ科) |
| +     | ?     | +    |  | サクラ (イバラ科)<br>フダンソウ (アカザ科)            |
| -     | -     | +    |  | フウ (マンサク科)                            |

細胞の活性がないのはこの細胞の活性を抑制する物質が別に含まれているからであると説明された。石川は家蚕の宿主植物選択機構を考える上に刺激物質、忌避物質、およびそれらに対する抑制物質などを総合して考える必要があるとのべている。こんご L<sub>s</sub>, L<sub>r</sub>, R 細胞のみでなくそれら以外の受容細胞が明らかにされるであろう。sucrose, inositol のほか浜村らのいう, β-sitosterol, morin, また伊藤のいう ascorbic acid 等, さらに次にのべる morin 誘導体等のしめす積極的な摂食促進効果も, やがて上記のような手法によっても説明されることと思われる。

第3表 家蚕の摂食におよぼすフラボン誘導体の影響



| 比較したフラボン誘導体 |   | 糞指数* |
|-------------|---|------|
| 1           | フラボン  | 0    |
| 2           | 2', 3, 4', 5, 7 OH                            | 100  |
| 3           | 2', 3, 4', 5, 7-OCH <sub>3</sub>              | 10   |
| 4           | 5-OH, 2', 3, 4', 7-OCH <sub>3</sub>           | 27   |
| 5           | 2', 3, -OH, 4', 5, 7-OCH <sub>3</sub>         | 125  |
| 6           | 3-OH  | 33   |
| 7           | 2', 3-OH                                      | 180  |
| 8           | 2', 3-OH, 6-CH <sub>3</sub>                   | 170  |
| 9           | 3-OH, 2'-OCH <sub>3</sub>                     | 5    |
| 10          | 3-OH, 2'-OCH <sub>3</sub> , 6-CH <sub>3</sub> | 0    |
| 11          | 3-OH, 7-OCH <sub>3</sub>                      | 26   |
| 12          | 7-OH, 3-OCH <sub>3</sub>                      | 18   |
| 13          | 3, 5, 7-OH                                    | 68   |

\* 第1表の基本飼料を、蠶蚕10頭と与え、48時間後の糞数をかぞえた。基本飼料中のモリンのかわりに、上記の(3)~(13)のフラボン誘導体におきかえて、同様に糞数をかぞえた。糞指数は、基本飼料(2)の場合の糞数を100とし、(3)以下を含む飼料の場合の糞数の相対的な数値をもってしめた。

このような研究とは別に、林屋<sup>24, 25)</sup>はすでに摂食促進物質として報告された morin について、その化学構造と摂食促進性について第3表のように報告している。すなわち、5個の水酸基をもつフラボンである morin の水酸基をメチル化したものについてのテストでは、2', 3, 4', 5, 7-penta methoxy morin や 2', 3, 4', 7-tetra-

methoxy morin では摂食促進能がなく、2' および 3 位の水酸基の遊離した、4', 5, 7-trimethoxy morin が有効であった。別に合成した 2', 3-dihydroxy flavone は morin 以上の効果をもっていることもわかった。すなわち、morin についていえば、家蚕の摂食に関与するのは、2' および 3 位の水酸基であるということになる。こんごの問題として、はたしてフラボン核が必要であるかどうか、また上記の化学構造を基本としてさらに強力な摂食促進物質が合成しうるかどうか、興味につきぬことである。

## 2. 栄養要求

昆虫の生育にステロールが必要であることは Hobson<sup>26)</sup> の研究以来対称となったほとんどすべての昆虫について確認されている。家蚕においても、β-sitosterol が浜村らのいう摂食促進効果とは別に、重要な栄養素であることは伊藤<sup>27)</sup> の研究によっても明らかになっている。ここではステロール要求については最近の石井<sup>28)</sup> の綜説伊藤の報告<sup>27, 28)</sup> にゆずって、ascorbic acid, chlorogenic acid, acetylcholine 等の研究を紹介する。

a) ascorbic acid: 伊藤<sup>30)</sup>によると、人工飼料に ascorbic acid を添加しなくても、蚕は1令と2令の期間だけはほぼ正常に成長し3令期間の成長はすすまず、全部死亡した。飼料に0.2mg/gの ascorbic acid を添加すると著しく飼育成績がよくなったという。また幼虫体内の ascorbic acid 含量は飼料中のその含量ときわめて高い相関があった。伊藤はこのように、蒲生<sup>31)</sup>がさきに述べた ascorbic acid の家蚕における重要性をより明白にするるとともに、一般に動物体内の ascorbic acid 生合成経路上にあるものとして sorbitol D-glucuronolactone および D-gulonolactone がいずれも ascorbic acid に代りえないことなどから、幼虫に ascorbic acid 合成能が欠けていると結論した。酸化型の dehydro ascorbic acid はごくわずかの栄養効果しかしめさなかったが、arabo ascorbic acid は ascorbic acid に代用し得る栄養効果をしめすという。ascorbic acid の真の必要量はまだ明らかでないが、伊藤<sup>17)</sup>の述べた摂食促進効果や、飼料中のこの酸の安定性を考え、さらに飼料の酸化防止をも期待して、最近の人工飼料には1~2%の高含量で ascorbic acid が加えられることが多い。

b) chlorogenic acid: 内藤<sup>16)</sup>らは家蚕の摂食促進物質の探索途上、桑葉水溶性分画から chlorogenic acid を単離し、促進効果があることを見出した。その後加藤<sup>32)</sup>らは生長促進物質を桑葉中にもとめて研究していたが、その途上活性のある区分は chlorogenic acid によっておきかえられることを知った。chlorogenic acid の桑葉中に含まれる量は0.8~1.0%であって、

人工飼料の chlorogenic acid 含量と幼虫の体重増加との関係をみても約1%が適量である<sup>33,34</sup>。

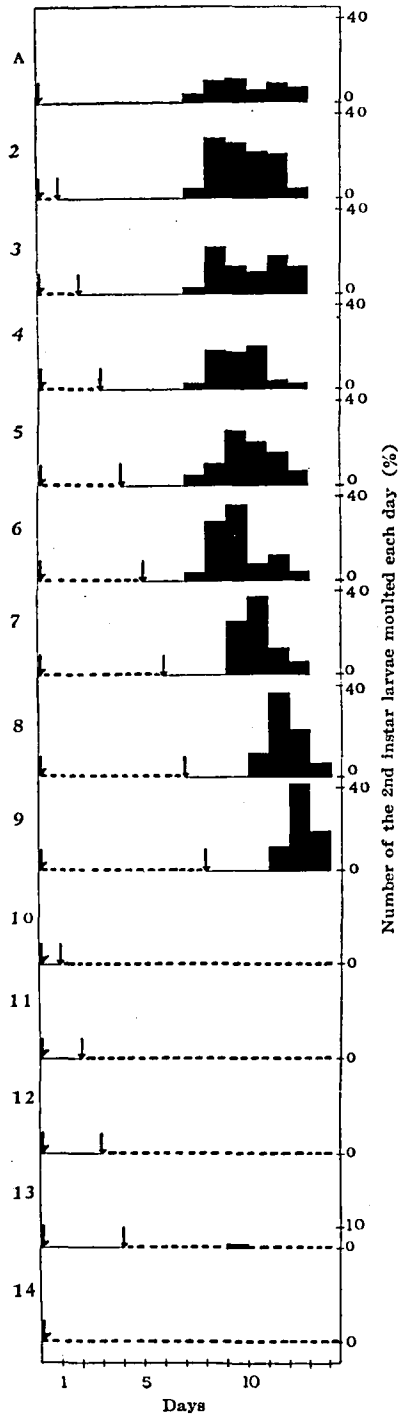
c) *acetyl choline* : 吉田<sup>35</sup>らは桑葉および蚕体中の *choline* およびその誘導体を分析した。蚕体中で *choline* は大半がエステル型となっている。*acetylcholine* は孵化直前の卵と稚蚕に特に顕著に検出され、ついで令のすすむにつれて急激に減少し、壮蚕にいたって全コリン量は最大となるが *acetylcholine* はほとんど検出されないなど、発育時期による量的消長が著しいと報告した。*choline* 含量の乏しい桑に *choline* を適量添食することによって飼育成績も向上した。林屋<sup>36</sup>らは合成飼料を第4表のように作って家蚕の飼育をすると、*acetylcholine* を含まない飼料 No. 4 では幼虫は2令に達することなく約10日間生きて死亡する。これに 5,000 $\gamma$ /10g の *acetylcholine* を加えると (No. 6) 5日間で脱皮して2令に達する。*acetylcholine* の効果は 4,000 $\gamma$ /10g の *choline* によっても代用<sup>37</sup>されるが、*methionine*, *cystein*, *glycine*, *betain*, *serine*, *ethanolamine*, *carnitine* によって置きかえることができない。おそらく *choline* は *acetyl choline* となって、上記の生長因子として作用しているものと思われる。加藤<sup>38</sup>は第3図のような実験区を設定して、蚕が脱皮するためには少なくとも2日間 *choline* を食べる必要があることを明らかにした。

第4表 アセチルコリンの生長促進効果  
K. Hayashiya et al. Nature (1965)

| 飼料組成    | No. 4 飼料 | No. 5 飼料 | No. 6 飼料 |
|---------|----------|----------|----------|
| 纖維素     | 5.5 g    | 5.5 g    | 5.5 g    |
| 純大豆カゼイン | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| 澱粉      | 2.0      | 2.0      | 2.0      |
| 蔗糖      | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| 無機物混合物  | 90 mg    | 90 mg    | 90 mg    |
| ビタミン混合物 | 40       | 40       | 40       |
| 摂食因子    | 170      | 170      | 170      |
| ローヤルゼリー | —        | 1.5 g    | —        |
| アセチルコリン | —        | —        | 5 mg     |
| 水       | 15 ml    | 15 ml    | 15 ml    |

d) ビタミンB群: 堀江らによると、幼虫の成長には少なくとも *choline*, *pyridoxine*, *pantothenic acid*, *nicotinic acid*, *inositol*, *riboflavine*, *thiamine* の7種が必要であり、1gの飼料あたり *nicotinic acid*, *Ca-pantothenate* は 20 $\mu$ g, *pyridoxine* は 2 $\mu$ g, *choline* は 500 $\mu$ g が適量という。*Inositol*, *riboflavine*, *thiamine* はそれぞれ 1,000 $\mu$ g, 5 $\mu$ g そして 0.5 $\mu$ g/g 以上が正常な生長のために要求される。これらのビタミンを欠損させて飼育すると、たとえば *riboflavine* の場

第3図 飼料交換と2令蚕出現との関係



M. Kato et al. Proc. Jap. Acad. 1964.

— No. 6 (アセチルコリン含有)

..... No. 4 (アセチルコリンなし)

↓ 摂食開始

↓ 飼料交換日

合には3令にいたって幼虫が体を湾曲させて死亡し、thiamine 欠乏では2眠期に不脱皮状態で死亡するという、症状があらわれる<sup>40)</sup>。nicotinic acid の効果はnicotinamide, pyridin-3-aldehyde によって置き代え得るが、isonicotinic acid, picolinic acid,  $\beta$ -picoline, 3-acetyl pyridine, pyridin-3-sulfonic acid などによっては代えることができない<sup>39)</sup>。なお、幼虫の宿主である桑葉中のビタミン含量をみるとその生育の程度によって変動はあるが上記の幼虫の要求を満たすに十分な量が含まれている。

e) その他無機物<sup>41)</sup> 脂肪酸<sup>42)</sup>などの微量成分について若干の報告があるが、これらについては文献の抄録だけにとどめたい。

上述の微量成分の研究には主として準合成飼料が用いられた。一般に純粋な蛋白質を窒素源として、その他の添加物もまた既知のものを用いた飼料によって飼育することは、いまなお困難というべきであろう。

伊藤<sup>43)</sup>は数種の蛋白質についてその種類による栄養価の相違をしらべた。大豆蛋白、卵アルブミン、ラクトアルブミンなどは比較的成長が良好であったがグルーテン、ゼイン、ゼラチン、ペプトンでは不良であっ

た。この相違の原因としてアミノ酸組成の相違が指摘され、たとえばゼインにはリジンとトリプトファンが添加されたが、効果がなかった。しかしゼインに9種のアミノ酸混合物を加えると成長がよくなったので、やはりゼインの低い栄養価はアミノ酸組成に原因すると結論された。2種以上の蛋白を同時に飼料に加えたときは単用の場合より飼育成績が向上することからみても、アミノ酸バランスの問題が当然のことながら重要視される。最近の伊藤<sup>43)</sup>の報告はこのことをよく示している。飼料中のアミノ酸混合物から一種づつアミノ酸を除く手法で必須アミノ酸を検索し、家蚕幼虫が他の昆虫およびねずみなどで共通していられている10種類 Arg. His. Ileu. Leu. Met. Phe. Thr. Try. Val. の他に Pro. を加えて、11種を必須アミノ酸として要求することを明らかにした。しかしこれら11種のアミノ酸の混合物を窒素源として家蚕を飼育したがその成長は必ずしもよくはなかった。これに aspartic acid 又は glutamic acid を加えるといちじるしく向上し、その他の非必須アミノ酸を加えてさらによい結果をえた。伊藤<sup>44)</sup>はこれらのアミノ酸のバランスを考慮して第5表の組成の飼料を作った<sup>44)</sup> (第5表)。この飼料による飼育成果はさきに純蛋白を窒素源とした飼料によるそれとくらべて非常によかった。たとえば、大豆蛋白を用いた飼料では15日間飼育してのちの幼虫の平均体重は30mg<sup>45)</sup>前後であったのに対して、アミノ酸飼料のそれは130mg<sup>44)</sup>となっている。このアミノ酸飼料では幼虫の全令を飼育でき、40頭から出発して最終令の5令期に達したものが38頭、吐糸営繭したものが5頭という成果であった。福田<sup>46)</sup>も指摘しているように、アミノ酸は家蚕にとって必ずしも好ましい味のものではないようである。とくに塩基性アミノ酸はむしろ忌避物質に属する。したがって、アミノ酸バランスと、その上に嗜好性を満たすという問題が入ってくるので複雑である。アミノ酸飼料のような純合成飼料の場合には嗜好性の問題がどうしても入ってくる。第5表の組成でもわかるように、浜村らの指摘した摂食促進物質のほかに、なお桑葉水溶性分画の濃縮エキスが約1%含まれている。配合飼料のような粗製品を原料とする飼料においては、さらに忌避物質の混入することが多く、飼料の作成を困難にしている。

さらに指摘しなければならないものとして未知の生長因子がある。上記の桑葉水溶性分画の濃縮エキスは単に摂食を促進するだけのものではないと思われる。山田<sup>34)</sup>らはすでに述べたように、この分画に存在する chlorogenic acid が生長促進因子であると指摘した。こんごも桑葉中の未知の生長因子を追求する必要がある。またすでにのべたように、純粋の大豆蛋白質を主とする飼料で幼虫を15日間飼育するとその平均体重

第5表 アミノ酸飼料  
伊藤ら 農化 1966.

| 飼料組成                   |               | アミノ酸組成          |       |
|------------------------|---------------|-----------------|-------|
| Potato Starch          | 5.0 g         | Alanine         | 7.0   |
| Sucrose                | 15.0          | Arg-HCl         | 6.0   |
| Amino acid mix         | 20.0          | Cystine         | 2.5   |
| Soybean oil, refined   | 3.0           | Na-Aspartate    | 12.0  |
| $\beta$ -sitosterol    | 0.5           | Na-Glutamate    | 12.0  |
| Wesson's salt mix      | 4.0           | Glycine         | 4.5   |
| Ascorbic acid          | 2.0           | His-HCl         | 2.5   |
| Cellulose powder       | 35.2          | Hydroxy Proline | 1.0   |
| Morin                  | 0.3           | Isoleucine      | 5.5   |
| Agar                   | 15.0          | Leucine         | 8.5   |
| Total                  | 100.0         | Lysine-HCl      | 6.0   |
| Mulbervy leaf fraction | 10mg/g diet   | Methionine      | 2.5   |
| Biotin                 | 4 $\mu$ g     | Phenylalanine   | 5.5   |
| Choline chloride       | 1,500 $\mu$ g | Proline         | 4.0   |
| Folic acid             | 4 $\mu$ g     | Serine          | 3.5   |
| Inositol               | 400 $\mu$ g   | Threonine       | 5.0   |
| Nicotinic acid         | 300 $\mu$ g   | Tryptophane     | 4.0   |
| Ca-Pantothenate        | 150 $\mu$ g   | Tyrosine        | 2.0   |
| Pyridoxine-HCl         | 30 $\mu$ g    | Valine          | 6.0   |
| Riboflavine            | 20 $\mu$ g    | Total           | 100.0 |
| Thiamine-HCl           | 20 $\mu$ g    |                 |       |

は 30mg であったが、これを大豆粉末に代えると平均体重は 230~270mg となり、実に10倍近い値となる。したがって、何らかの生長因子が大豆中に存在すると推定されるのである<sup>41)</sup>。最近、大豆水抽出物を除蛋白し、その上澄液にアルコールを加えて沈澱する区分に生長促進物質があることがわかった<sup>47)</sup>。本体はまだ不明であるが、アミノ酸バランスを論ずる以前の問題として早急に決定がのぞまれる。

観点をかえて、家蚕による人工飼料の消化<sup>46)</sup>についても述べる必要があると思われるが、新しい研究は少ない<sup>43)</sup>。消化液中の酵素については古く松村<sup>48)</sup>らのアミラーゼに関する興味ある報告につづいて、江口および吉武<sup>49)</sup>らの酵素型の品種間差違に関する報告があり、堀江<sup>50)</sup>らの炭水化物および蛋白分解酵素の性状と分布についての報告もみられる。最近和田<sup>51)</sup>は消化液中に D(-)-2,3-diaminopropionic acid が存在することを発表した。D型である点も興味があり、かつ消化液中の主なアミノ酸であることも注目する必要がある(第6表)。

このアミノ酸の生理的意義はまだわからないが、消化に直接関係はなくても何らかの情報を提供するものと期待される。

第6表 5令幼虫消化液中の主なアミノ酸  
S. Wada et al. *Biochem. Biophys. Res. Communication.*

| Amino acid            | micromoles/ml |
|-----------------------|---------------|
| Ammonia               | 0.6736        |
| Diaminopropionic acid | 3.6457        |
| Aspartic acid         | 0.2350        |
| Serine                | 1.5695        |
| Glutamic acid         | 0.2676        |
| Glycine               | 7.449         |

以上、筆者は家蚕の幼虫の成育に必要な物質について、そしてそれらを用いた人工飼料について述べてきた。幼虫の体重増加その他からみて、ようやく合成飼料によって正常に近い飼育をする見通しがついたと思われる。なお、幼虫の終令における絹糸腺の肥大、絹蛋白の生成について、とくに人工飼料の立場から論じた研究報告がみられないことは残念なことである。準合成あるいはアミノ酸飼料で飼育した場合の幼虫の体重はかなり増大するにもかかわらず、えられるまゆはきわめて貧弱である。後記のように配合飼料を用いた場合にえられるまゆは桑葉育のそれに劣らないことからみて、この問題の研究には幼虫の成育を単に体重増加のみでなく、増加の内容を質的に研究する必要があると思われる。

### 3. 人工飼料と養蚕

はじめにも述べたように、人工飼料の研究は必然的に現在の養蚕業に大きな影響を与えずにはおかない。摂食機構の研究や、昆虫の栄養要求の研究は初期の学問的興味にとどまらず、まゆの生産性の向上という目的にむかって進展してゆく。

林屋<sup>52)</sup>らは脱脂大豆粉を蛋白源として、桑葉粉やその抽出物を用いることなく、浜村らの摂食促進の諸因子を用いて、第7表の飼料で家蚕の全令飼育をした。得たまゆについて、まゆ蛋白をフィブリンとセリシンに分離して、アミノ酸組成を調査した結果、第8表のようであった<sup>53)</sup>。すなわち桑葉育によって得たまゆのそれと比べて変化が認められなかった。当然予想された結果ではあったが、人工飼料でえられるまゆが神秘的にまで唯一の飼料とされた桑によってえられたものと比べて、基本的に全く異なったものでないということが明らかにされた以上、あとは研究の進展とともに、現行の生糸の生産性はより向上するものと期待されるわけである。

第7表 飼 料 組 成

林屋ら 農化 37 (1963).

#### A 飼料組成

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| セルローズ粉                     | 5.0 g  |
| 脱脂大豆粉                      | 2.0    |
| 蔗 糖                        | 1.0    |
| 澱 粉                        | 1.5    |
| 無機塩混合物<br>(Wesson's salts) | 0.09   |
| ビタミン混合物                    | 0.04   |
| 摂食誘起物                      | 0.17   |
| 王 乳                        | 1.5    |
| アセチルコリン                    | 0.005  |
| 水 分                        | 15 cc  |
| 計(乾物)                      | 11.3 g |

#### B ビタミン混合物

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| 対 11.3 g                 |        |
| ビ オ チ ン                  | 0.02mg |
| パントテン酸(Ca)               | 0.2    |
| 葉 酸                      | 0.02   |
| ニコチン酸アミド                 | 0.2    |
| VB <sub>6</sub> -HCl     | 0.1    |
| VB <sub>2</sub> (FMN-Na) | 0.1    |
| VB <sub>1</sub> -HCl     | 0.1    |
| VB <sub>12</sub>         | 0.1    |
| VC                       | 39.16  |
| 計                        | 40mg   |

#### C 摂食誘起物

|  |      |
|--|------|
| 対11.3 g                                      |      |
| β-シトステロール                                    | 50mg |
| モ リ ン  | 20   |
| イノシトール                                       | 50   |
| 磷酸カリウム<br>(K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ) | 50   |

第8表 人工飼料で得たまゆの amino 酸組成  
K. Hayashiya et al. Proc. Jap. Acad. 1964.

| アミノ酸            | セ リ シ ン |       | フィブロイン |       |
|-----------------|---------|-------|--------|-------|
|                 | 桑 葉 育   | 人工飼料育 | 桑 葉 育  | 人工飼料育 |
| Gly             | 14.1%   | 13.3% | 43.5%  | 43.4% |
| Ala             | 5.3     | 4.6   | 29.9   | 30.4  |
| Ser             | 30.8    | 31.5  | 10.7   | 10.1  |
| Val             | 2.8     | 2.6   | 2.1    | 1.9   |
| Tyr             | 2.6     | 2.5   | 4.8    | 4.7   |
| NH <sub>4</sub> | 6.9     | 7.5   | 1.6    | 2.7   |
| AsP             | 15.4    | 15.8  | 1.5    | 1.5   |
| Glu             | 4.8     | 4.2   | 1.1    | 0.9   |
| Thr             | 7.4     | 7.9   | 0.9    | 0.8   |
| Lys             | 3.0     | 2.6   | 0.7    | 0.6   |
| Phe             | 0.3     | 0.3   | 0.6    | 0.7   |
| Ileu            | 0.5     | 0.6   | 0.5    | 0.6   |
| Arg             | 3.1     | 3.1   | 0.5    | 0.4   |
| Leu             | 1.0     | 1.1   | 0.5    | 0.5   |
| Pro             | 0.5     | 0.6   | 0.3    | +     |
| His             | 0.9     | 1.0   | 0.2    | 0.2   |
| Met             | +       | +     | 0.1    | +     |

この方面の2, 3の成果を収録すると次のようである。実用化を目的とした場合、安定飼育のために主として桑葉粉末や脱脂大豆粉末等の未精製の素材を用いた人工飼料がつくられている。たとえば竹林<sup>54)</sup>は第9表の飼料組成でかなりの飼育成績をおさめている。

第9表 配合飼料  
竹林 福島蚕試要報 1963.

| 品 名     | 数 量 g |
|---------|-------|
| 桑 葉 粉 末 | 5.5   |
| 生 大 豆 粉 | 1.0   |
| バレイショ濃粉 | 1.5   |
| ブドウ糖    | 1.0   |
| 河紙粉末    | 1.0   |
| アスコルビン酸 | 0.1   |
| 水       | 15 ml |

幼虫の飼育日数は28日、全飼育頭数に対する結けんの歩合は80%、全けん重に対するけん屑重の比率(けん屑歩合)は16.8%であった。このような成果が年間を通じて得られるとすると実用性に富んでいると思われる。竹林はさらに1, 2, 3令を人工飼料で飼育し、壮蚕を桑にきりかえる飼育法をこころみてけん屑歩合が全令桑葉の場合と大差がない21.6%のまゆを得た。須藤<sup>55)</sup>は桑園の凍害対策として稚蚕期を人工飼料で、

第10表 人工飼料の組成と飼育成績  
須藤 蚕糸研究 1963.

| 飼 料 成 分    | 1 令 用 | 2 令 用 |
|------------|-------|-------|
| 桑 葉 粉 末    | 4.4 g | 4.5 g |
| キ ナ コ      | 1.0   | 1.0   |
| 蔗 糖        | 1.0   | 1.0   |
| 乾 燥 酵 母    | 1.0   | 1.0   |
| アスコルビン酸Na塩 | 0.1   | 0.05  |
| 寒 天        | 1.0   | 1.0   |
| で ん ぶ ん    | 0.5   | 0.5   |
| 水          | 32 ml | 19 ml |
| 見掛けの水分     | 78%   | 68%   |

| 区 分 | 挿立<br>蚕数 | 2令<br>起蚕数 | 経 過 日 数 |       | 減 蚕 歩 合        |     |      |
|-----|----------|-----------|---------|-------|----------------|-----|------|
|     |          |           | 1~2令    | 3令~   | 1~3令~<br>2令結まゆ | 全令  |      |
| 試験区 | 4,759    | 4,012     | 9~11    | 13~17 | 15.7           | 3.6 | 19.3 |
| 対照区 | 1,085    | 1,083     | 7       | 15    | 0.2            | 3.2 | 3.4  |

壮蚕期を桑葉で約5,000頭を飼育した。成績は第10表のようで、幼虫期間の日数が桑葉育の場合より2日長引いただけで、その他の点では優秀な飼育成績を得た。これらは人工飼育を一部現行の養蚕に取り入れることができることをしめしている。一方松原<sup>56)</sup>らは無菌飼育法に成果をおさめた。無菌飼育に関しては、伊藤<sup>57,58)</sup>が1962年に桑葉粉末を約20%含む飼料ではじめて全令飼育に成功した。この報告では数多くの幼虫の中から1頭の營けんする個体を得たという。稚蚕期にその大半が死亡したのである。2年おけて、松原<sup>59)</sup>らは伊藤の方法を改良して、幼虫の全令を結けん率90~95%というよい成績で飼育することに成功した。第11表はその飼料組成と飼育成績である。孵化前後の幼虫の取扱いが慎重であったこと、飼料が幼虫の摂食と成長に適合していたことそして飼育期間中に飼料を数回取りかえたこと等がその主な改良点であった。無菌的飼育法によってえられた成果のうち注目すべき点は病蚕の発生が皆無であったことであろう。いわゆる軟化病とよばれる蚕病の中には細菌、とくに河北<sup>60)</sup>、児玉<sup>61)</sup>らの報告した好アルカリ性乳酸菌によるものが知られているがこれら微生物からの害を未然に防いだことになる。またおそらく飼育環境の清潔であることに起因すると思われるが、ウイルス病である膿病の発生も見られなかった<sup>61)</sup>。第13表でみられるように無菌飼育によってえられたまゆは決して劣ったものではなかった。また松原<sup>62)</sup>らは、家蚕がその稚蚕期には多湿を、壮蚕期には乾燥条件を好む性質を考慮して、無菌期間を1~3令期間にとどめ、以後開放桑葉育をおこなう飼育法を提案した。これによると病蚕は皆無で、しかもえら

第11表 配合飼料の組成と飼育成績(無菌飼育)  
松原ら 日蚕講演要旨 1965.

|         |      |                                 |       |
|---------|------|---------------------------------|-------|
| 桑葉粉末    | 2.0g | β-シトステロール                       | 0.05g |
| 脱脂大豆    | 1.5  | イノシトール                          | 0.05  |
| 澱粉      | 1.5  | K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> | 0.05  |
| 蔗糖      | 1.0  | アセチルコリン                         | 0.005 |
| セルロース   | 3.5  | ジヒドロストレプトマイシン                   | 0.01  |
| ビタミン混合物 | 0.05 | ビタミンC                           | 0.05  |
| 無機塩混合物  | 0.1  | 水                               | 16 ml |

| 蚕品種            | 飼料       | 供試蚕数 | 減蚕歩合 |      | 結まゆ歩合 | 全まゆ重 |
|----------------|----------|------|------|------|-------|------|
|                |          |      | 1~3令 | 4~5令 |       |      |
| 群光<br>×万里      | 全令桑葉     | 400  | 1.0  | 1.5  | 97.3  | 1.60 |
|                | 全令人工飼料   | 48   | 0    | 6.0  | 91.7  | 1.50 |
|                | 1~2眠人工飼料 | 650  | 0    | 1.5  | 97.5  | 1.66 |
|                | 1~3眠人工飼料 | 480  | 0.6  | 1.0  | 98.1  | 1.63 |
| 日124×<br>支122太 | 全令桑葉     | 215  | 2.4  | 2.0  | 94.0  | 1.44 |
|                | 全令人工飼料   | 38   | 0    | 2.6  | 94.7  | 1.34 |
|                | 1~2眠人工飼料 | 475  | 0.2  | 1.1  | 96.4  | 1.52 |
|                | 1~3眠人工飼料 | 450  | 0.4  | 1.6  | 98.0  | 1.60 |

れたまゆは生桑葉育のそれとかわらないという。このように配合飼料による飼育の研究は実用化への道を着実にすすんでいる。

基礎研究、応用研究が同時に発足し、一途に飼育の可能性を求めて急速に進展したこの数年間の研究を第1期とすれば、家蚕の人工飼料の研究はようやく生理学、栄養学、生化学、病理学、遺伝学などの諸学の基礎の上に落着いた、より深く、より徹底した研究を求めて第2期に入ろうとしている。

文 献

- 1) 吉田徳太郎, 松岡道男, 木村孝一: 蚕試報告 15, 543~86 (1960).
- 2) 福田紀文, 須藤光正, 樋口芳吉: 日蚕雑 29, 1~3 (1960).
- 3) T. Fukuda, Y. Higuchi, M. Suto: XI Intern. Kongr. Entomologie, Vien. (1960).
- 4) 伊藤智夫, 田中元三: 日蚕雑 29, 191~6 (1960).
- 5) T. Ito Proc. Jap. Acad.: 36, 287~90 (1960).
- 6) Y. Hamamura: Nature, 183, 1746~7 (1959).
- 7) 浜村保次: 化学と生物, 1, 24~30 (1963). 京工織大, 繊維学術報告 3, 567~581 (1962).
- 8) T. Watanabe: Nature, 182, 325~6 (1958).
- 9) 畑田顕和, 大野 稔: 応動昆第4回シンポジウム要旨 42~7 (1960).

- 10) Y. Hamamura, K. Naito: Nature, 190, 879~80 (1961).
- 11) 佐々木周郁, 渡辺忠雄, 田阪由正: 日蚕雑 20, 448~51 (1951).
- 12) 平尾常男, 石川誠男: 日蚕雑 33, 277~85 (1964).
- 13) 石川誠男, 平尾常男: 蚕試報告 20, 21~36 (1965).
- 14) Y. Hamamura, K. Hayashiya, K. Naito: Nature, 190, 880~81 (1961).
- 15) Y. Hamamura, K. Hayashiya, K. Naito, K. Matsuura, J. Nishida: Nature, 194, 754~5 (1962).
- 16) 内藤謙一, 林屋慶三: 日農化 39, 1237~8 (1965).
- 17) 伊藤智夫: 蚕試報告 17, 119~136 (1961).
- 18) T. Ito: Nature, 192, 951~2 (1961).
- 19) M. Niimura, T. Ito: J. Ins. Physiol. 10, 425~30 (1964).
- 20) S. Ishikawa: J. Cell. Comp. Physiol. 61, 99~107 (1963).
- 21) 石川誠男, 平尾常男: 蚕試報告 18, 297~358 (1963).
- 22) E. S. Hodgson, J. Y. Lettvin, K. D. Roeder: Science, 122, 417~8 (1955).
- 23) 石川誠男, 平尾常男: 応動昆大会講演要旨集 15 (1966).
- 24) 林屋慶三: 日蚕雑 34, 199 (1965).
- 25) 林屋慶三: 日蚕学会大会(第36回)講演要旨集 168 (1966).
- 26) R. P. Hobson: Biochem. J. 29, 2023 (1935).
- 27) T. Ito: J. Ins. Physiol. 10, 225 (1964).
- 28) 伊藤智夫: 蚕試報告 17, 91~117 (1961).
- 29) 石井象二郎: 化学と生物 2, 226~31 (1964).
- 30) 伊藤智夫, 荒井成彦: 蚕試報告 20, 1~20 (1965).
- 31) 蒲生俊興: 日蚕雑 13, 63~89 (1941).
- 32) M. Kato, H. Yamada: J. Silkworm, 15~16, 85~98 (1963~4).
- 33) M. Kato, H. Yamada: Life Science in press.
- 34) H. Yamada, M. Kato: Proc. Jap. Acad. in press.
- 35) 吉田徳太郎, 宮内 潔: 蚕試報告 16, 58 (1960).
- 36) K. Hayashiya, M. Kato, Y. Hamamura: Nature, 205, 620~1 (1965).
- 37) K. Hayashiya, J. Nishida: J. Silkworm, 15~6, 65~73 (1963~4).
- 38) M. Kato, T. Ishiguro: Proc. J. Acad., 40, 131~3 (1964).
- 39) Y. Horie, T. Ito: J. Ins. Physiol., 11, 1585~93 (1965).
- 40) 畑江保宏, 渡辺喜三郎, 伊藤智夫: 日蚕学会講



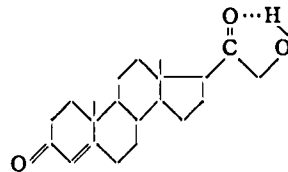
- 要旨集 160 (1966).
- 41) 新村正純, 伊藤智夫: 日農化 37, 757~60 (1963).
  - 42) 伊藤智夫, 中曾根正一: 日蚕学会講演要旨集 164 (1966).
  - 43) 伊藤智夫, 荒井成彦: 蚕試報告 19, 345~373 (1965).
  - 44) 伊藤智夫, 荒井成彦: 日農化 40, 110~12 (1966).
  - 45) 福田紀文, 須藤光正, 亀山多美子, 川杉正一: 日農化 36, 819 (1962).
  - 46) 向山文雄, 伊藤智夫: 日蚕雑 31, 317~22, 398~406 (1962).
  - 47) 新村正純: 特許公報 昭 41~338.
  - 48) 松村季美: 長野県蚕試報告 28, 1~124 (1934), 蚕試報告 13, 513~9 (1951).
  - 49) 江口正治, 吉武成美: 日蚕学会, 関西支部第29回研究発表会講演要旨集 20 (1964).
  - 50) 堀江保宏, 田中元三, 伊藤智夫: 日蚕雑 32, 8~15 (1963), 蚕試報告 15, 365~82 (1959).
  - 51) S. Wada, T. Toyota: *Biochem. Biophys. Res. Com.*, 19, 482~6 (1965).
  - 52) 林屋慶三, 内藤謙一, 西田 順, 浜村保次: 日農化 37, 735 (1963).
  - 53) K. Hayashiya, Y. Hamamura, M. Kato: *Proc. Jap. Acad.*, 40, 349 (1964).
  - 54) 竹林克明: 福島県蚕業試験場要報 3, 1~12 (1963).
  - 55) 須藤光正: 蚕糸研究 45, 20~23 (1963).
  - 56) 松原藤好, 加藤勝, 林屋慶三, 児玉礼次郎, 浜村保次: 日蚕雑 33, 230 (1964).
  - 57) 伊藤智夫, 田中元三: 日蚕雑 31, 7~10 (1962).
  - 58) T. Ito, Y. Harie: *J. Insect. Physiol.*, (1962).
  - 59) 河北俊彦, 石坂尊雄, 渡辺卓也, 林 金雄: 岐阜大学, 農, 研究報告 19, 100~7 (1964).
  - 60) 児玉礼次郎, 松原藤好, 加藤 勝: 日蚕雑 33, 244 (1964).
  - 61) 松原藤好: 京工織大, 繊維, 学術報告, 4, 291~7 (1965).
  - 62) 松原藤好, 林屋慶三: 日蚕学会第35回学術講演要旨集 74 (1965).
  - 63) 吉田徳太郎, 松崎慶子: 蚕試報告 17, 225~268 (1961).
  - 64) 伊藤智夫: 日蚕雑 28, 52~57 (1959).

## 抄 録

### ゲンゴロウモドキの1種 (*Dytiscus marginalis*) の警戒物質としての脊椎動物ホルモン

Ein Wirbeltierhormon als Wehrstoff des Gelbrandkäfers (*Dytiscus marginalis*) H. Schildknecht, R. Siewerdt u. U. Mashwitz, *Angew. Chem.* 78, 392 (1966).

この甲虫の警戒物質をキャピラリー中で結晶化 (mp. =135~140°), あるいは薄層クロマトグラフで精製した。2, 4-Dinitrophenylhydrazon の生成, 紫外および赤外線吸収スペクトルから  $\alpha$ ,  $\beta$ -不飽和ケトンと第2のケトン基の存在がわかり, 円二色性吸収からステロイドジケトン ( $4^4$ -3-および 20-Ketosteroid) が結論された。C-20のケトン基は赤外線吸収  $1693\text{cm}^{-1}$  に帰属されるが,  $3475\text{cm}^{-1}$  の吸収をもつ水酸基と水素結合をしている。これらの結果はすべて  $4^4$ -Pregnen-3, 20-dion-21-ol-(1) (11-Desoxycorticosteron あるいは Cortexon) と一致する。



市販の Cortexon およびその Acetat と, 天然物およびその Acetat とはそれぞれ完全に固定された。Cortexon は脊椎動物の無機質コルチコイドホルモンであるから, これが甲虫の作用物質であることは興味深い。普通なら数千の牛の副腎からしか分離されないような量, すなわち 0.4mg ほどのものホルモンをこの甲虫は分泌するから, 脊椎動物の Na-K-収支が鋭敏に妨害されるわけである。甲虫分泌物を餌に投与すると短時間のうちに深く麻酔される。甲虫自身に対しては何ら作用がない。

(富田一郎)