

人工飼料養蚕の研究の現状と将来

蚕糸試験場 農林技官・農学博士 福田 紀 文

養蚕業の根幹は桑を育てその生葉で蚕を飼育し繭を生産することであるので、必然的に養蚕の形態は多くの制約を受けざるをえない。桑の育成に要する土地とその管理に要する労力と費用は龐大なものである。桑は落葉するので冬季の養蚕が不可能になる。桑は天候の支配を強く受け、ときには桑葉の栄養価値が低下し蚕作が不安定になる。桑の凍霜害により蚕飼育それ自体が不可能になる場合もある。季節産業であるので一時的に多量に収穫する生繭の殺蛹、乾燥に龐大な乾繭施設を必要とする。生産される繭の糸質が均一化しない傾向があるなどは、その代表的な例であろう。そのため桑生葉にかわる飼料の研究は古くから進められてきたが、実用的見地からみていまだ桑生葉に優る飼料は見いだされていない。

1. 代用植物葉

桑のかわりに他の植物の葉で蚕を飼育しようという試みは極めて古く、19世紀にさかのぼる。この研究の狙いは桑の育成に要する龐大な費用を節減するために、比較的安価な費用で育成することが可能な、しかも蚕の飼料として好適な植物の葉を見いだすことであつた。桑科、キク科、ニレ科、マメ科、十字科などに属する多くの植物の葉が試験されたが、シャ（ハリグワ）を除いた他の多くの植物の葉は、僅かに蚕がたべる程度かあるいは短期間の代用に供しうるもので、実用的価値の乏しいものであつた。注目されたのはシャで、これに関する研究は非常に多い。ひき出された結論はシャで蚕を飼育することは可能であるが、全令を通じて用いると成績が悪く、稚蚕期に利用する場合は代用植物としての価値が高いということであつた。これまで多くの研究がなされたにもかかわらず、結論としては蚕の飼料として桑にまさる植物は見出されていない。代用植物葉の研究のうち1つの興味深い成績が得られた。それは中島（1939）が常緑の南方系植物であるカカツガユ（別名ママミカン）の葉で蚕の全令を飼育することが可能であることを指摘した点である。カカツガユの樹性は極めて強健で、病虫の被害が少ないという利点がある反面、この葉で得られた蚕飼育成績および繭繊維が、桑葉給与のそれに及ばないという欠点をもっている。しかし常緑樹の葉で蚕を飼うことができれば、冬季間の蚕飼育が可能になるわけで、代用植物としてのカカツガユの発見はこの意味において重要性をもつようにみえる。

2. 桑葉の長期貯蔵

桑は落葉樹であるので冬季間の養蚕は原則として不可能で、本邦における養蚕期は主として5月上旬から9月下旬までの5カ月である。もし冬季に養蚕を行なうことができるようになれば、農閑期でもあり農家の副収入としての養蚕の価値は増大するであろう。短期間の養蚕期の延長は春季であれば、暖地の桑葉を利用するかあるいはビニール・ハウスや温室などで桑樹の成長を促進して飼育時期を早めたり、晩秋期であれば落葉の遅い桑品種あるいはジベレリンのような成長促進剤などを用いて飼育の延長を図ることも可能であろう。

岡田(1959)は8月上、中旬に採集した桑葉をビニール製の袋に入れ、冷蔵会社の3～5℃の部屋に、稚蚕用桑は25日から33日間、壮蚕用桑は30日から45日間冷蔵し、これで蚕の飼育を行なった。長期間冷蔵すれば桑葉の栄養価値はかなり低下することが予想されるが、これによる蚕の飼育成績および繭成績は普通桑葉給与のそれより多少劣る程度であつた。Grace(1958)はプラスチックの袋を用いて桑葉を冷蔵し、桑葉面に水分が付着していないかぎり4℃で3カ月新鮮な状態で貯蔵することができると述べている。冷蔵桑で冬季間における蚕飼育が可能になるようにみえるが、可能な桑葉の冷蔵期間は現在のところ1カ月(最高3カ月)以内である。長期間桑葉を冷蔵することができない原因は貯桑中容器の内側に生ずる無数の水滴が桑葉の腐敗を促進するためである。問題は容器に付着する水滴をいかにして除くかということであり、これが解決されればさらに貯桑期間を延長することが可能になるであろう。さらに今井(1960)は約-15℃に保存しておいた冷凍桑葉でも蚕の全令飼育が可能であることを指摘している。この方法によると桑葉の貯蔵期間は著しく延長され、6カ月以上の保存も可能になるが、冷凍室からとり出した桑葉は約30分で黒色を呈ししおれるので、給餌回数を著しくふやさねばならない欠点をもっている。これらの方法では共に桑葉の冷蔵、冷凍に大規模な冷蔵室を必要とする欠点がある。

また密閉した罎に桑生葉を積層し、100℃で滅菌したのち冷蔵室に保存、この葉で蚕を飼育することが可能であるといわれている。Legay(1958)は滅菌によつて桑葉を保存することは可能であるが、この桑葉で蚕を正常に成長させることは容易でないと述べている。中島(1956)は桑葉を熱で乾燥したのち保存し、必要に応じて熱水でもとに戻しても蚕を飼育することができることを指摘した。冷蔵桑のように冷蔵室という特定の施設を必要としないことと、桑葉を長時間保存出来るというところに魅力があるが、蚕の全令の飼育成績が明らかにされていない。

桑生葉を貯蔵し冬季間の蚕飼育にあてようという工夫は種々なされてきたが、有効な方法はいまだ見いだされていない。冷蔵桑葉は現在試験場や大学などの研究機関で小規模に研究用の初冬蚕の飼育に供せられている。

3. 桑葉粉末を主体にした家蚕用人工飼料

上述の飼料は桑以外の植物の葉それ自体か、あるいは桑葉に何らかの処理をほどこしたもので、あくまでも葉としての形態を生かしたものであつた。ここでいう人工飼料とは葉の形態が失われ、構成成分を任意にあるいはその一部を人為的に改めることができるものである。このような飼料ができ、さらにその蚕飼育成績が桑生葉のそれに劣らないならば現在の養蚕業によこたわる上記のいくつかの難問題は、急速に解決への方向を辿るであろう。

1930年頃、満洲大豆の利用の一環として、大豆粕粉末に湿気を含ませたものに、桑葉の細片や桑葉汁を加えたもので蚕を飼育し得ることが発表されたが、関東庁農事試験場で追試した結果は否定的であつた（竹馬 1933）。

金子（1953）は6月23日の読売新聞に“紙と葉で飼うカイコ”という題で、蚕を人工飼料で3令まで飼うことができることを発表した。その飼料は蔗糖、カゼイン、コレステロール、コリンクロライド、無機塩類、乾燥ビール酵母の混合物にチシャの生葉を加え殺菌したものであつた。中島の処方種々の方法で貯蔵した桑葉に大豆蛋白、蔗糖、澱粉、ペクチン、繊維、無機成分、コレステリンその他2、3種の油脂を添加したものであつた。

現在の人工飼料の出発点をなしているのは吉田らの研究で、第1表に示したような内容をもつ人工飼料を創製し、これで蚕を飼育し孵化した蚕を最高5令中期まで進めることができたが、斃死し繭をつくるにいたらなかつた。吉田の後を引継いだ筆者および協同研究者は吉田の処方を用い、使用法などに工夫を加え、1960年にはじめて蚕の全令を人工飼料で飼育した結果を発表した。ついで伊藤ら（1960）も吉田の処方に近い飼料で蚕の全令飼育に成功した。

人工飼料のみで蚕の1世代を経過させることに成功した最初の実験例（福田、須藤、樋口、1960）を示すと、供試孵化蚕110頭のうち36頭が完全な繭をつくつたがその対1頭繭繊維および対1蛾産卵数はそれぞれ桑生葉育の約20%および約40%で、また幼虫期間も約45日で桑生葉育の約2倍に遅延し、飼育成績としては著しく劣るものであつた。しかしとにかく桑などの植物の生葉を用いなくても蚕を飼うことが可能であるという事実は、我々に多くの示唆を与えた。野蚕もこのような飼料で飼うことができるのではないか？ 桑葉粉末を含まない人工飼料も将来できるのではないか？ 等々。このような意味でこの実験的成功は画期的といえるであろう。

第1表 桑葉粉末を主体にした
家蚕用人工飼料の組成
（吉田・松岡・木村 1960）

飼料組成分	量
桑葉粉末(g)	5.0
キナコ(g)	1.0
脱脂凍豆腐(g)	1.0
澱粉(g)	1.5
蔗糖(g)	1.0
防腐剤(mg)	若干
水(ml)	15

人工飼料で蚕を飼うということそれ自体が産業性をもつ可能性があるので、その飼料組成を改善し蚕飼育成績を桑生葉育に近づけることが要求され、その努力が数名の研究者によつてもなされ、これまでにいくつかの飼料組成が提示されてきたが、記載された蚕飼育成績は筆者らが発表した当初の成績を著しく上廻り、桑生葉育のそれに接近したが、対1頭繭繊維量においては桑生葉育の約60%にとどまっていた。最近伊藤ら(1964)は、飼料組成は明示していないが対1頭繭繊維において桑生葉育の80~90%に達する好成績を収めたと述べている。筆者の研究室でも飼料組成の改善に努め1,000種類に及ぶ飼料の調製とそれによる飼育試験を行なつてきたが、最近にいたり蚕飼育成績において桑生葉とほとんど遜色のない能力をもつ No 55 飼料を開発することができた。その飼料組成は桑葉粉末、大豆粉末、糖、ビタミン、澱粉、寒天、水などからなるもので、主な蚕飼育成績を示

第2表 No 55 飼料による蚕飼育成績
(福田ら 1964)

調 査 項 目	成 績
孵化から上簇までの日数(日)	25~26
結 繭 歩 合 (%)	90
対 1 頭 繭 層 重 (mg)	415
対 1 頭 産 卵 数 (粒)	600

すと第2表の通りである。No 55 飼料を開発するに約5カ年の年月を要したが、その途上において最も困難を極めた点は飼料組成において蚕飼育成績を支配する要因が多く、さらにこれらの要因が錯綜していたため、解析しようと思つて行なつた実験の結果それ自体がすでに複雑な要因の集約化されたも

ので、これらの断片的な実験から得られた知識の多くは信頼性を欠き、この知識の積み重ねが必ずしも望ましい飼料の開発に直接的に結びつかなかつたことであつた。No 55 飼料を開発し終えた現在、その開発過程をふり返つてみて感ずることは、家蚕の人工飼育の要訣は飼料において蚕が要求する栄養素を満すことは勿論であるが、それ以上に飼料の物理性を蚕が好むかたちにする事と、飼料の腐敗を完全に防止することであつた。現在の飼料細片の物理性は蚕の唯一の飼料である桑生葉のそれを再現してはいないが、蚕が好む状態の1つであることは間違いないようである。現在の No 55 飼料において1粒の繭を生産するに要する原料代は1円37銭である。

家蚕の全令を人工飼料で飼育せず、稚蚕のみを人工飼料で飼育し、壮蚕を桑で飼育するケースは凍霜害回避対策の一環として、また人工飼料による稚蚕飼育場の設置との関連に

第3表 稚蚕期(1~2令)人工飼料、それ以後桑生葉で飼育した蚕の成績
春 蚕 (蚕品種 2.4×5.4) 須藤 (1963)

供 試 頭 数	2 眠 起 蚕 数	減 蚕 歩 合			全 繭 重	繭 層 重	繭 層 歩 合
		1~2 令	3 令~結繭	計			
4,759 頭	4,012 頭	15.7%	3.6%	19.3%	2.40g	51.8cg	21.6%

において、養蚕業へ結びつく第1歩と考えられるが、開発過程の飼料でも実験室規模の試験ではその繭成績が全令を桑で飼育した場合に比しほとんど変わらないことが示された(須藤1963, 伊藤ら1962)。1964年春には桑の大凍霜害により福島県下では掃立を準備した蚕の大部分を破棄し、春蚕飼育を中止したが、筆者の研究では凍霜害回避対策の一環として人工飼料の果す役割を実証するため1963年9月に採集し乾燥、貯蔵しておいた桑葉粉末を主体にNo55飼料を調製し、3品種(2.4×5.4, 日127×支127, 日128×支128)各約800頭を東京で1~2令間飼育したのち福島に移し、東北支場で再発芽した桑生葉で飼育したが、収めた成績は第4表の如く極めて好ましいものであった。

第4表 凍霜害桑による人工飼料蚕の飼育成績 福田, 杉山ら(1964)

掃立5月9日 3令飼食5月18日 上簇6月5日

番号	蚕 品 種	減 蚕 歩 合			全繭重	繭層重	繭層歩合	1 匁 頭数	備 考
		1~2令	3令~結繭	計					
1	(日122×日124)× (支115×支124)	8%	5%	13%	2.27g	50.7cg	22.3%	61カ	2令まで人工飼料3令起以後凍霜害桑で飼育 被害を蒙らなかつた桑生葉による飼育
2	日127×支127	17	8	25	2.38	53.2	22.4	52	
3	日128×支128	9	6	15	2.20	53.5	24.3	59	
対照	日128×支128		3		2.41	58.5	24.3	56	

4. 桑葉粉末を含まない人工飼料

桑葉粉末を含まない人工飼料ができ、それによる蚕飼育成績が桑生葉育に劣らないならば、桑の育成に要する土地とその管理に要する労力と費用とを省略することが可能になるわけで、蚕を飼うという立場において桑葉粉末を含む人工飼料よりはさらに多くの魅力をもつ。伊藤(1962)は澱粉、大豆蛋白質、ブドウ糖、大豆油、ベータ・シトステリン、アスコルビン酸、ビタミン混合物、セルローズ粉末および水からなり桑葉粉末を全然含まない飼料で孵化した蚕を飼育したところ、孵化後3日経過した蚕40頭のうち1頭が孵化後27日目に熟蚕になつたが、その時点において5令蚕は22頭いたとのべている。これは桑葉粉末を全然含まないで蚕の全令飼育に成功した最初の実験例である。

桑葉粉末を含まない人工飼料をつくり、あるいはその組成を改善し、蚕飼育成績の向上を図るにはまず蚕が桑を単食する理由すなわち蚕の摂食機構を明らかにしなければならない。これまで蚕を含めた食草性昆虫において飼料植物を含まない人工飼料があまり開発されなかつた主な原因は、この種の昆虫が摂食の開始およびその継続において、化学的あるいは物理的に特異なある種の摂食促進要素を要求するためであるという見解が一般的であるが、別の意見として、この種の昆虫は比較的多くの栄養物質に対し忌避性を示すという

見解も述べられている。ある距離を隔てた桑に蚕が引かれるのは、桑の葉のエーテル可溶物中の青葉アルコールおよび青葉アルデヒドであることが渡辺（1958）によつて明らかにされていたが、浜村ら（1963）はさらに桑葉粉末のエーテル抽出物から青葉アルコール等以外に強力に蚕を誘引する物質シトラール、リナロール、リナリール・アセテート、テルペニール・アセテート等を得た。嚙む刺激を起す物質として桑葉のエーテル抽出物中にあるベータ・シトステリンがこの作用が強く、またイソケルシトリン、モリンおよびイノシトールも摂食に重要な役割のあることを示した。

呑み込む動作を刺激する物質としては、桑葉をメタノールで抽出した残渣の中に含まれる磷酸カリと繊維素、ことにシリカを表面に付けた繊維が食下動作を刺激することを示した（第5表）。

第5表 家蚕の摂食にとくに関与する物質 （浜村ら 1963）

誘 引 す る 物 質	シトラール，リナロール，リナリール・アセテート， テルペニール・アセテート
嚙む刺激を起す物質	ベータ・シトステリン，イソケルシトリンまたは モリン
呑みこむ動作を刺激する物質	繊維素粉
嚙むことと呑むことを継続する物質	蔗糖，イノシトール，磷酸塩，ケイ酸塩

伊藤ら（1961～1964）は化学的に純粋な栄養素を主体にしたものというよりは、一部に粗材料を含むいわゆる準合成飼料を用い、蚕が要求する栄養素を明らかにしようとした（第6表）。

第6表 家蚕が要求する栄養素 （伊藤ら 1964）

調 査 項 目	成 績
炭 水 化 物 アミノ酸（必須）	ブドウ糖，蔗糖あるいは果糖 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，バリンの10種類
脂 質	ステリン（ベータ・シトステリン，ステグマステリン エルゴステリン，カンベステリン，コレステリン）など
無 機 物 ビタミン（必須）	必 須 ニコチン酸，パントテン酸，ピリドキシン，イノシトール アスコルビン酸

炭水化物：単糖類，二糖類，三糖類，多糖類，糖アルコールの栄養価を比較し，栄養価の最も高いものとしてブドウ糖，蔗糖，果糖などがあきらかにされた。

アミノ酸および蛋白質：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，バリンの10種のほかにプロリンも必須であること，また蛋白質の種類により栄養価が異なることなどが明らかにされた。

脂質：ステリン（ベータ・シトステリン，スチグマステリン，エルゴステリン，カンベステリン，コレステリンなど）が栄養上必須であり，また家蚕幼虫はステリン合成能を欠くことが明らかにされた。

無機物：これが欠如すれば家蚕はほとんど2令に達しない。

ビタミン：必須ビタミンB類としてニコチン酸，パントテン酸，ピリドキシン，イノシットなどを明らかにし，またアスコルビン酸も成長に不可欠であり，ほかにコリンも必要であることが指摘された。

また糖類，ステリン，アスコルビン酸などは本来の栄養的効果のほかに摂食促進効果を多少なりとも有すること，またセルロース粉末の人工飼料への添加が不可欠であり，これは飼料の物理性に関与しており，その添加量が多くなるにつれて摂食量が著増し，同時に飼料成分中の不消化部の飼料効率が増加することなどが明らかにされた。

以上の研究は主として家蚕の栄養素の質的要求の一部が明らかにされたもので，桑葉粉末を含まない人工飼料をつくる上に最も必要な栄養素の量的要求の面が未解決のまま残されている。さらに家蚕の摂食機構についてはまだ未明の点が多く，蚕が桑を単食する理由についても明解な解答は与えられていない。

しかしこれまでに得られた知識を総合しても，成績は劣るがとにかく全令飼育を可能にする桑葉粉末を全然含まない人工飼料を作り出せるわけで，現在最も良い成績を収めているのは浜村・林屋（1963）の実験で第7表に示す人工飼料で蚕を5令起蚕時から飼育し，供試蚕20頭のうち18頭が営繭した。対1頭繭層重は桑の約 $\frac{1}{2}$ ，蛹の重量は平均して桑生葉育の70%弱であつたが，その後林屋（1964）は第7表の飼料を少し改良した飼料で全令飼育を行ない，供試孵化蚕の50%が営繭する成績と5令起蚕からでは供試蚕のすべてが営繭し，その繭重は桑生葉育の80%を越えたと述べている。桑を含まない人工飼料

第7表 桑葉粉末を含まない家蚕用人工飼料の組成（浜村・林屋 1963）

繊維素粉末 (g)	5.2	摂食誘起物質 (mg)	170
脱脂大豆粉末 (g)	2.0	無機塩類 (mg)	90
澱粉 (g)	1.5	ビタミン混合物 (mg)	40
蔗糖 (g)	1.0	水 (ml)	15

の研究も着々と進展しているけれども、改良の余地を多く残し蚕飼育成績においてはまだ桑生葉に遠く及ばない。

5. 飼料植物葉の乾燥粉末を含む野蚕用人工飼料

野蚕糸は家蚕糸に比較して本質的に異なるので、経済的に野蚕を飼う方法が見いだされる場合には、それ自体またはこれらと家蚕糸との併用によつてわが国生産の絹糸類の附加

第8表 エリ蚕用人工飼料の組成 (福田・樋口・松田)

飼 料 組 成 分	量
乾 燥 ヒ マ 葉 粉 末 (g)	5.5
キ ナ コ (g)	1.0
蔗 糖 (g)	1.0
寒 天 (g)	1.5
防 腐 剤 混 合 液 (ml)	5.0
水 (ml)	20

価値を高めることが期待されるので、エリ蚕、サク蚕およびテン蚕の人工飼料に関する研究が開始された。

エリ蚕の1世代を通じて飼育することの出きた人工飼料の組成(特許第419686号)は第8表に示す通りであつてその飼育成績は第9表に示した。

第9表 人工飼料によるエリ蚕飼育の成績 (福田・樋口・松田 1961)

調査項目	供試頭数	営繭頭数	幼虫経過	繭 期 間	繭 糸 量	産 卵 数
人工飼料育	100頭	93頭	21日	14日	270mg	168粒
ヒマ生葉育	100	95	21	14	190	137

第8表において乾燥ヒマ葉粉末のかわりにシンジュ葉乾燥粉末を用いた人工飼料でも、第9表に記載した程度の飼育成績を収めることは可能である。第9表から明らかなように人工飼料によるエリ蚕の飼育はとくに良好で、幼虫の経過日数も生葉と大差なく、孵化したエリ蚕の93%が繭をつくり、その糸量も生葉育に比して幾分勝っていた。実用飼育の観点からこの飼料によるエリ蚕の大量飼育(5,000頭)が最初は1961年1月に、ついで数回に亘り行われたが、得られた成績は大体第10表に示す通りで、生葉育に比して遜色のないものであつた。また人工飼料のみで12代に亘り継代されたが、繊維量および産卵数の低下は認められなかつた(樋口 1964)。この成績は多化性で休眠期のないエリ蚕の冬期間における採種に、さらに進んでエリ蚕の生産を目的としたエリ蚕の年間飼育も可能にするであろう。この配合飼料は現在生産価格の低減を目標に改善が行なわれ、また人工飼料育によるエリ蚕の飼育法も確立され、従来の1日2回給餌が1日1回にというように簡易化された。

第10表 シンジュ葉乾燥粉末を主体にした人工飼料による
エリ蚕の大量飼育成績 (福田 1961)

調 査 項 目	人 工 飼 料 育	シンジュ生葉育
供 試 頭 数 (頭)	5,000	100
結 繭 歩 合 (%)	86	90
対100頭繭層重 (g)	26	25
対 1 蛾 産 卵 数 (粒)	183	180
熟蚕生体重 (g/1頭)	4.6	4.0
幼虫経過日数 (日)	20	20

サク蚕の1世代を通じて飼育することができた最初の人工飼料の組成は第11表の通りで、その主な飼育成績は第12表の通りであつた。1963年の当初の成績では室内育で加温したため、幼虫経過日数は29～45日でクヌギ林における放養育(長野県有明村)より約一週間短縮されたが、3令以後の死亡率が高く、対100頭繭繊維量は34gで生葉育の約1/2であつた。しかし最近第11表に記載した飼料組成を一部改良することにより成績(第12表)は著しく向上し、幼虫期間の死亡率が激減したが対1頭繭繊維は生葉育の%にとどまつた。

第11表 飼料植物を主体にしたサク蚕用人工飼料の組成 (福田・樋口 1963)

人 工 飼 料 の 組 成 分	稚 蚕 用	壮 蚕 用
乾 燥 クヌギ葉粉末 (g)	6.0	6.0
キ ナ コ (g)	1.0	1.0
蔗 糖 (g)	1.0	1.0
寒 天 (g)	1.0	1.0
防 腐 剤 (mg)	54	42
水 (ml)	27	21

第12表 人工飼料によるサク蚕の飼育成績 (福田・樋口)

調 査 項 目	人 工 飼 料 育		放 養 育 (長野県蚕業試験場松本支場)
	1963	1964	
供 試 頭 数 (頭)	100	20	
結 繭 歩 合 (%)	23	95	
対100頭繭層重 (g)	34	46 (64)	90
対 1 蛾 産 卵 数 (粒)	203		150 ~ 250
熟蚕生体重 (g/1頭)	11.5	12.7 (15.4)	15.1
幼虫経過日数 (日)	29~45	26~30	42 ~ 45

() 内数字は最高値を示す

テン蚕についても1964年にいたり全令飼育を可能にする人工飼料ができたが、対1頭繭繊維がサク蚕の場合と同様生葉育の%程度で、改良の余地を今後に残しているが、その他の飼育成績は放養育よりすべての点で勝っている。テン蚕はこれまで室内育は不可能視されていたが、人工飼料育が可能であるという発見は極めて意義深いものがある。テン、サク蚕の人工飼料による飼育が放養育のそれと飼育成績において同等かあるいはそれを上廻るのはここ1、2年の研究により達成されるであろう。

6. 飼料植物葉の乾燥粉末を含まない野蚕用人工飼料

飼料植物葉の乾燥粉末を含まない人工飼料ができれば、飼料植物の栽培を省略した蚕飼育が可能になるわけで、家蚕の場合と同様エリ蚕についても研究が進められ、まずエリ蚕が要求する栄養素の種類、栄養素に対する嗜好性ならびに忌避性などを明らかにするため植物葉乾燥粉末を主体にした人工飼料の構成成分を純粋な栄養素でおきかえた合成飼料の調製から開始された。エリ蚕用の合成飼料の調製にあたり飼料が蚕によつて摂取されるためには、その飼料が嗜好性物質を含むことを必要とするが、それ以上に忌避性物質を含まないことがより重要であることを見だし、これを基本的な考え方とし、ついで飼料組成の決定には分析された植物葉のビタミン、アミノ酸等の成分含量を常に満たすようにつとめた。第13表に示すような組成をもつ4種の合成飼料が調製されたが、これらの飼料はエリ蚕の成長を十分支えているので(第14表)、このエリ蚕が要求する栄養素(ビタミン、糖、脂質、無機成分および水)の種類が明らかにされた(第15表)。

第13表 エリ蚕の栄養要求の解明に用いられた合成飼料の組成(福田 1964)

組 成	合成飼料No	26	46	33	41
寒 天 (g)		1.5	1.5	1.5	1.5
カゼイン (g)		2.0	2.0		2.0
アミノ酸混合-Ⅱ (g)				2.0	
蔗 糖 (g)		1.5	1.5	1.5	1.5
ビタミン混合-Ⅱ (mg)		62	93	62	62
コリンクロライド (mg)		11	16.5	11	11
Wesson 無機塩 (g)		0.3	0.3	0.3	0.3
ベータ・シトステリン(g)		0.2	0.2	0.2	0.2
ヒマ葉あるいはシンジュ葉 エーテル抽出物 (g)		0.4	0.4	0.4	
セルロース粉末 (g)		3.0	2.9	3.0	3.4
デヒドロ酢酸ソーダ (mg)		53	53	53	53
蒸 溜 水 (ml)		27	27	27	27

第14表 合成飼料で飼育されたエリ蚕の飼育成績 (福田 1964)

調査項目	合成飼料No	26	46	33	41
供試孵化蚕数(頭)		20	20	20	20
生存頭数					
2 令 起 蚕		20	20	20	20
3 "		20	19	20	20
4 "		19	19	19	17
5 "		17	19	19	10
蛹		14	16	4	5
蛾		5		1	0
生体重(g/1頭)					
5 令 起 蚕		0.73	0.70	0.35	0.74
熟 蚕		4.3	3.6	2.8	3.6
幼虫期間(日)		25~31	25~31	33~42	34~41
結繭歩合(%)		70	95	35	35
繭繊維量(mg/1頭)		91	116	100	120
産卵数(粒/1蛾)		82			

第15表 合成飼料を用いて明らかにされたエリ蚕の質的栄養要求
(松田 1964, 松岡 1964, 亀山 1964 らの研究の取まとめ)

調査項目	成 績	
水分	最適水分 75%	
pH	最適 pH 6.0 中心 (5~7)	
アミノ酸	必	須
	あつた方がよいもの	
	アルギニン	メチオニン
	ヒスチジン	フェニルアラニン
	イソロイシン	スレオニン
	ロイシン	トリプトファン
ビタミン	リジン	バリン
	効果のはつきりしないもの	
	ピリドキサル	葉酸
	リボフラビン	ビオチン
	チアミン	P-アミノ安息香酸
	アスコルビン酸	イノシット
	ニコチン酸	パントテン酸
		コリン

	蔗糖と同じ効果をもつもの	蔗糖よりやや劣るもの	無効なもの
炭水化物	フラクトース ラフィノース グルコース メレチトース マルトース スターチ メリビオース デキストリン セロビオース グリコーゲン	キシロース イヌリン マンノース ソルビット ガラクトース イノシット トレハロース ラクトース	リボース ラムノース アラビノース ソルボース マンニット メチルグルコシド メチルマンノシド
無機成分	必 須		あつたほうがよいもの
	K	P	Ca Fe

エリ蚕の栄養要求によつて得られた知識をもとにして、植物葉乾燥粉末を全然含まないでしかも生産価格の安い飼料の調製が行なわれた。エリ蚕の1世代を経過させることを可能にした最初の人工飼料の組成は第16表で、その飼育成績は第17表の通りであつた。

第16表 植物葉を全然含まないエリ蚕用人工飼料の組成（福田 1963）

組 成	量
キ ナ コ (g)	2.5
乾 燥 ビ ー ル 酵 母 (g)	1.0
ア ス コ ル ビ ン 酸 (mg)	25
砂 糖 (g)	1.0
β -シトステリン (g)	0.05
寒 天 (g)	1.5
セルロース粉末 (g)	3.0
防 腐 剤 (g)	0.1
水 (ml)	27

第17表 植物葉を全然含まない人工飼料で飼育されたエリ蚕の飼育成績

調 査 頁 目	1963年の成績 (福田)	最近の成績 (福田・樋口・川杉)	シンジュ生葉育
供試孵化蚕数(頭)	20	20	20
結繭歩合(%)	10	18	16
幼虫経過日数(日)	31~39	23~25	22~25
繭繊維量 (mg/1頭)	125	200	220
産卵数 (粒/1蛾)	82	162	160

この飼料による飼育は、植物葉粉末を主体にした人工飼料あるいは飼料植物の生葉による飼育に比して、幼虫経過日数は1.5～2倍となり、対1頭繭繊維量は60%程度であつた。しかしこれをさらに改良した最近の飼料による成績は第17表に記載のように、対1頭繭繊維量においてやや劣っている（約10%減）が、生葉育に著しく接近した。

テン、サク蚕については飼料植物葉を全然含まない人工飼料の調製に関する研究はまだ開始されていない。

7. 人工飼料による蚕の機械化飼育

植物の生葉でなければ飼うことができないとされていた家蚕、エリ蚕、サク蚕およびテン蚕にもそれぞれ人工飼料が創製されたが、人工飼料の出現により家蚕とエリ蚕(多化性)については年間を通じて繭を生産することが可能になつた。(サク蚕は1, 2化性であり、テン蚕は1化性であるので現段階では年間を通じての飼育はむずかしい)。人工飼料育は生葉を用いないので従来と異なつた形式による飼育の企業化も可能になるわけである。蚕の人工飼料育における機械化には大きくわけて飼料面と蚕飼育面にあるが、前者の機械化は食品および家畜などの飼料の生産工業に採用されている機械の組合せ、あるいは一部改造によつても一応の目的を達することができるが、後者については参考にするものがなく新たな構想の下につくらねばならないので、後者を優先し人工飼料の特徴を生かし蚕飼育労働を著しく省力化する目的で、家蚕および野蚕の人工飼料に共用出来る蚕飼育装置(特許願1027号, 発明者, 福田・余田・藤野・松田・樋口)を作製した。

家蚕および野蚕飼育において労働の省力化を目的とした飼育装置としては大別して次の2つの形式が考えられる。

- a) 蚕飼育の場を固定し、給餌と蚕糞処理の場を動かす形式
- b) 給餌と蚕糞処理の場を固定し、蚕飼育の場を移動する形式

筆者および協同研究者が製作した装置は後者の着想を具現したもので、その主要部は骨組本体、変速駆動チェーンコンベヤー、飼育箱、給餌装置(現在試作中)および蚕糞排除装置からなり、飼育箱を一定軌道にしたがつて循環移動させ、所定の位置において蚕に自動的に給餌を行なうとともに、飼育箱から蚕糞を自動的に排除する構造をもっている(本装置の製作はプリンス自動車KK繊維部が担当し、その努力に負うところが多い)。

本飼育装置を用いた蚕の人工飼料育については、現在飼料の面において最も安定している植物葉の乾燥粉末を主体にした人工飼料によるエリ蚕の飼育をとり上げた。得られた成績(第18表)はシンジュ生葉育によつて得られた成績と対比し結繭歩合, 対1蛾産卵数, 幼虫経過日数, 対1頭繭繊維量などにおいて全く遜色がなかつた。

第18表 人工飼料用蚕飼育装置を用いて得られたエリ蚕の飼育成績
(福田・余田・藤野・松田・樋口 1964)

調 査 項 目	人 工 飼 料 育	シンジュ生葉育
供 試 頭 数 (頭) (4 令 起 蚕)	3,000	100
結 繭 歩 合 (%)	86	85
対 100 頭 繭 層 重 (g)	26	25
対 1 蛾 産 卵 数 (粒)	183	180
経 過 日 数 (日) (4 令 起 → 上 簇)	9~13	10~13

また 3,000 頭のエリ蚕を 4 令起蚕から結繭まで飼育するに要した主な労働力を、飼育装置を用いた場合と用いない場合とを対比して対 1 人で表わすと第 19 表の通りである。表から明らかなように蚕飼育装置を用いることにより蚕糞処理に要する労働力が削減され、蚕飼育能率が通常の飼育法に比して著しく向上したが、試作中の自動給餌装置の参加によりさらに省力化されることであろう。

第 19 表 飼育装置を用いた場合と用いない場合における
エリ蚕の 4, 5 令期間人工飼育における労働力の比較

作 業 の 内 容	人 工 飼 料 育	
	飼育装置を用いた場合	用いない場合※
シンジュ葉の採集(生葉としてのkg*)	5 時間	5 時間
乾 燥 葉 の 粉 碎	6	6
飼 料 調 製	7	7
飼 料 裁 断	1.5	1.5
給 餌	10	10
糞 処 理 (除沙)	0.5	18
上 簇 作 業	9	9
収 繭 作 業	1	1
合 計	40	57.5

※ 家蚕の飼育に準じて蚕箔と棚を用いて行なう通常の飼育

* 生葉 60kg は 3,000 頭のエリ蚕を 4 令起蚕から飼い上げるに要する人工飼料においてその主成分である乾燥葉粉末の 12 kg に相当する。

飼料の調製および上簇作業にも相当の労働力を必要としているが、その省力化については今後に残された問題であろう。本装置はエリ蚕以外の絹糸虫類の飼育にも適用しうるが実施に当っては一部分の改造を必要とするであろう。また本装置は牡蚕飼育用に作られた

雛型である。(本装置を用いたエリ蚕の人工飼料育についてはスライドで紹介する)。

8. 人工飼料養蚕の将来

人工飼料で養蚕をすることが可能になれば、緒言で述べたように多くの利点をもち、飼育の形式も従来と大分異なり、現在の養鶏に近い形になるかもしれない。しかしその論議の以前において何よりも大切なことは、人工飼料で飼つた方が飼料植物葉で飼つたよりもさらに良い成績を収めるようにならなければならない。現在生葉育と遜色のない成績を収めているのは、桑葉粉末を主体にした家蚕用人工飼料とヒマあるいはシンジュ葉粉末を主体にしたエリ蚕用人工飼料であり、その他の飼料については改良の余地を十分残している。

現在好成績を収めている人工飼料育についても実験室規模での話であり、大規模にした場合にも同程度の成績を収めうるか否かについてはさらに検討されるべき問題であろう。現在研究室で行なわれているのは1回最高5,000頭止りであるが、それにしてもシャーレで飼育されていた1区20~100頭とでは大分様子が異なり、人工飼料で大量の蚕を飼うには従来の生葉育でみられなかった新しい問題が生じている。省力化のためには飼料植物葉の乾燥方法、飼料の調製ならびに裁断、飼料の腐敗防止、飼育環境の整備、飼育装置の設計等一つ一つに改良を加えてゆかねばならない。最後に飼料の生産価格を引下げて総合的に見れば、生葉育よりも有利であるようにしなければならない。人工飼料による蚕の大量飼育には解決を要する問題が多く残されているが、将来への見通しは必ずしも暗いものではない。さし当つて凍霜害の対策の中に人工飼料をとりあげること、実際に凍霜害を受けた桑樹の再発芽で飼育された成績(第4表)をみても判るように、場合によつては可能であり、また稚蚕を人工飼料で飼育し、壮蚕を桑生葉に戻すことも十分可能性のあることであろう。野蚕とくにエリ蚕については、この蚕がつくるエリ絹の繊維としての価値が再認識されるならば、人工飼料育は直ちに産業としての意義をもつてであろう。また稚蚕から野外で飼えば歩留りが非常に悪いテン、サク蚕の人工飼料育の見通しも決して暗くない。

筆者の研究室では、家蚕および野蚕を通じ飼料植物葉と蚕飼育成績において遜色のない人工飼料(飼料植物葉粉末を主体にしたもの、飼料植物葉粉末を全然含まないもの)の創製を目標に研究し、これから優秀な成績を収めた人工飼料が選抜された場合には、生産価格の低減を図ると共に大量育の飼育体系を確立することを目的としているが、主力の研究は現在飼料組成の改善に指向されている。

人工飼料養蚕の技術体系を確立するには蚕のみならず昆虫学一般、食品、家畜飼料学、栄養化学、機械等について広い知識をもつことが要求されるので、各専門分野からの助言と協力を願う次第である。

(1964年6月記)