

蚕糸・昆虫機能研究の現状と推進方向

誌名	農業技術
ISSN	03888479
著者	小山, 重郎
巻/号	46巻11号
掲載ページ	p. 514-518
発行年月	1991年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



蚕糸・昆虫機能研究の現状と推進方向

小山 重 郎

1. はじめに

人類は古くから昆虫を利用してきた。おそらく、はじめは食用にしていたのであろう。先日、インドネシア駐在のある商社員が、パプアニューギニアの山村で、住居の裏に昆虫の大きなマユが山積みになっているのを見つけて持帰り、蚕糸・昆虫農業技術研究所に鑑定を依頼してきた。調べて見ると、大型の野蚕であるヨナクニサンとシンジュサンのマユであった。中の蛹はとり出されて空であり、おそらく食用にして残りのマユを捨てたものと思われる。現在でも中国では野蚕の一種であるサクサンのマユから糸を取ったあとの蛹を食用として珍重し、日本でも以前は蚕の蛹をよく食べていた。こうしてみると、古くはカイコの蛹を食糧としており、文明の発達とともに外側のマユの糸を利用するようになったものと思われる。熱帯では、今もバッタなどの大型昆虫が重要な蛋白食糧源とされている。

現代において、産業的な昆虫利用といえるものは、蚕糸業と養蜂業であるが、とりわけ蚕糸業は、戦前、戦後を通じて、わが国の重要な輸出産業となっていた。その地の昆虫は、むしろ農作物や人畜の害虫として扱われ、防除の対象とされてきた。そこで産業と結びついた昆虫の研究は、これまで蚕糸学と害虫学にわかれ、相互に影響しあいつながらも、それぞれの道を歩んできたといえる。

農林水産省は、昭和63年10月の研究組織再編において、それまで蚕糸研究を担ってきた蚕糸試験場を改組して、蚕糸・昆虫農業技術研究所を設立した。これによって、昆虫の利用と制御に関する研究が、これまでの研究蓄積の上に、一層幅広く展開されることになった。現在、蚕糸・昆虫農業技術研究所はその研究基本計画に、次の5つの主要研究問題を掲げている。

- (1) 昆虫等の遺伝情報発現機構の解明と制御・利用技術の開発
- (2) 昆虫等の生体機能の解明と制御・利用技術の開発
- (3) 昆虫関連生体素材の物性解明と利用技術の開発

- (4) 用途別繭の効率的生産技術の開発
- (5) 絹新素材の開発と効率的生産技術の開発

これらの研究問題は相互に関連しているが、大別すると、(1)~(3)が昆虫機能研究、(4)(5)が蚕糸研究といえることができる。ここでは、まず歴史の長い蚕糸研究から述べてみたい。

2. 蚕糸研究の歴史

養蚕は中国から伝来したといわれるが、歴史が古く、江戸末期に横浜が開港すると、欧米への生糸輸出が増加して飛躍的な発展を遂げた。明治政府は積極的な蚕糸業振興政策を打出し、明治44年(1911年)に蚕糸業法を公布するとともに、国立の原蚕種製造所を創立した。これは、大正3年(1914年)に蚕業試験場、昭和12年(1937年)に蚕糸試験場と名を改め、蚕の品種改良、桑の栽培、製糸・絹加工部門をとり入れた総合的試験場として、わが国の蚕糸研究の中心的役割をはたしてきた。これまでの主な研究成果のいくつかを次に紹介する。

蚕の一代雑種

蚕には日本種、中国種、欧州種などがあるが、日本種と中国種の2つの系統を両親として交配した一代雑種の蚕は、それぞれの親よりも強健で、絹の生産量が多い。これは雑種強勢の現象であるが、その農業上の利用としては、世界に先がけたものである。大正3年以来わが国では、マユ生産用のすべての蚕品種が一代雑種となっている。

蚕卵の人工孵化法

わが国の蚕の卵は休眠するため、1年1回の飼育しかできなかったが、卵の塩酸処理と保護温度の調節によって、1年中いつでも卵の孵化が可能となり、年間の飼育回数を増すことができるようになった。現在、すすんだ養蚕農家は、年間10回以上の飼育を行っている。

蚕病防除法

蚕には、硬化病、軟化病、微粒子病など多くの病害があるが、これらの病原の解明と診断及び防除法の確立により、病害が大幅に軽減された。これは、病気に弱い若齢期の蚕の共同飼育とあいつて、蚕の作柄安

定に大きく貢献している。

蚕の人工飼料

蚕の食性や栄養要求の研究から、人工飼料が開発され実用化された。現在、蚕の若齢期の共同飼育はほとんど100%の普及率となっているが、その約40%が人工飼料で飼育されており、飼育労力の軽減と、蚕病の発生回避に役立っている。なお、最近開発された桑葉粉末のほとんど入らない低コスト人工飼料については、のちに述べたい。

桑の品種、栽培、収穫法

全国各地域の気候条件に適した優良な桑品種が育成され、現在「農林13号」まで登録されている。栽培法も改良され、特に桑の収穫法では、以前は桑葉を一枚一枚手で摘んで蚕に与えていたものを、葉のついた枝ごと刈って与える条桑収穫法と条桑育にかえることによって、養蚕労働を大幅に軽減した。またそのための条桑収穫機も開発された。

生糸織度感知器

繭から生糸を作る過程は、数個のマユの糸を集めて1本の生糸とするものだが、どれかのマユ糸が切れると、新しいマユ糸をつぎたす必要がある。これが手作業であったため多くの労力を要した。生糸織度感知器は、マユ糸が切れると生糸の太さが細くなるのを感知する装置で、機械的に新しいマユ糸をつぎたす自動操糸機の開発に道をひらいた。これによって製糸の労力が大幅に減った。

蚕の遺伝学、生理学

蚕糸業に直接貢献する研究成果は、蚕の遺伝学、生理学の基礎研究の上に立ってあげられたものであった。例えば蚕には多くの変異形質があるが、その染色体連鎖地図が作られている。この中で幼虫の背面にある斑紋を支配する遺伝子を性染色体に転座させたものは、限性蚕品種といって、雌雄の鑑別に使われている。また生理学では昆虫ホルモンの研究がすすんでいて、昆虫の変態を支配している脱皮ホルモンや幼若ホルモンは製剤化されて、蚕の発育調節に役立っている。

3. 蚕糸業の動向

わが国の蚕糸業は、上述のように次々と技術革新をしながら発展してきた。明治9年には輸出総額の52%を生糸が占め、輸出量が最大となった昭和7年には35,000 tに達した。第2次大戦で停滞した輸出も、戦後に回復し、昭和25年に最高の5,700 tとなった。その後ナイロン等合成繊維の開発で輸出は減少したが、高

度経済成長期に入って絹着物ブームがおこり、内需が拡大して、昭和47年には32,000 tに達した。そのため国産の不足分を補う10,000 t余の生糸輸入がおこなわれるに至った。

その後、生活様式の洋風化による着物離れなどの影響で減少傾向をたどったが、現在も生糸に換算して約18,000 tの内需がある。

わが国の養蚕農家は、昭和11年には約185万戸で、これは当時の全農家戸数のほぼ3分の1に相当した。マユの生産量は30万 tを越えていたが、その後減少をつづけ、第2次大戦後の最高が昭和32年の12万 t、養蚕農家戸数76万戸、平成元年には、それぞれ2万7千 t、5万7,000戸と減少した。現在の国産マユはその重さの約20%が生糸となるので、これを生糸量に換算すると約6,000 tで、現在の内需の3分の1をまかなっていることになる。残りの3分の2は、中国、ブラジルなどからの輸入に頼っているが、この中には絹製品も含まれていて、生糸(絹糸を含む)輸入はその約4分の1の3,300 t位である。

ここで世界の絹生産について簡単にふれておくと、生糸に換算して、平成元年に1位が中国の36,000 t、2位がインドの9,720 t、3位が日本の6,078 t、4位がソ連の3,120 tとなっており、世界全体では61,746 tである。従って、わが国は世界の絹の約10%を生産し、30%を消費する国といえる。なお、生糸の内外価格差は1.3~2倍で、他の農産物と比べてあまり大きいものではない。

それでは、このように生産が需要を満たしていないのに、何故マユ生産が減っていくのであろうか。それは養蚕農家にとって収益性が低いからである。すでに述べたような養蚕の技術開発によって、桑園10 a当りの労働時間は、昭和35年の490時間から、平成元年の150時間に減少した。またマユ1 kg当りの労働時間も同じ期間に6.4時間から2.0時間に減少し、労働生産性は3倍以上も向上した。しかし、1日当りの平均家族労働報酬は、マユ価が異常に高かった平成元年ですら4,006円で、米の5,719円にも及ばず、野菜、果樹等よりも低い。養蚕農家1戸当りの平均収穫量は470kgである。マユ1 kgが2,000円としても粗収入は94万円、所得率60%とすると純収56万円にしかならない。従って、いまのままの状況が続くならば、養蚕農家が、他の作目や、農業以外の産業に移っていくこともやむをえないであろう。

製糸と絹加工業についても同じような状況がある。

国産原料マユの不足と労働力不足によって製糸業は悩んでいるし、絹加工業も安い外国産絹製品の輸入と、絹を真似た化繊の出現におびやかされている。

こうした現状を打開する道は、養蚕の規模拡大と、他国で真似のできない新しい絹素材の開発であると考えて、我々は以下のべるような革新的蚕糸技術の確立をめざしているのである。

4. 革新的蚕糸技術の開発

安定した中核的養蚕経営のイメージとしては、基幹労働力2人で年間10t程度のマユを生産し、養蚕所得1,000万円を確保することを考えてみたい。5万7,000戸の養蚕農家のすべてが、こうした養蚕経営を行うことは期待できないが、こうした中核農家があれば、中小の農家を含めた地域的養蚕組織が維持できるであろう。

養蚕は、年間に何回も飼育して施設を高度利用できるという利点を持っている。仮に10回飼育すれば1回に1tのマユを生産すればよい。現在1~2齢は共同飼育なので、これを3~4齢まで延長するか、3~4齢専門の農家を考え、1~4齢は人工飼料を使って労力を省く。そして5齢期は中核農家が桑で飼う。こういう分業体制によって1tの生産は可能になるであろう。そのための基幹的技術開発は、すでに蚕糸・昆虫研でほぼできあがっている。

人工飼料を安くするために桑の葉のほとんど入らない「低コスト人工飼料」と、これを食べて育つ「広食性蚕品種」が開発された。5齢を桑で飼うために、「結束式条桑収穫機」や、ベルトコンベア式の「超省力飼育装置」もできた。幼虫からマユをつくらせる上蔭(じょうぞく)作業に多大な労力がかかるため、脱皮ホルモンを製剤化した「上蔭促進剤」がまもなく実用化される。これからは、こうした個別技術を組合せて、実際に養蚕現場で体系化することを公立試験研究機関や行政、団体とともに進めていこうとしている。

体系化の過程では、さらに解決すべき研究課題が出てくるであろう。例えば、年10回の桑収穫をするための、桑園の収穫体系とこれに伴う肥培管理や病害虫対策、人工飼料育によって起る蚕の病害対策、さらには新しい飼育システムによる繭質や糸質の変化などが予想される。こうした問題を一つ一つ解決していくことによって、養蚕の規模拡大が実現していくことであろう。

製糸、絹加工分野での革新技術は、洋装用絹素材の

開発である。これまでのわが国の絹需要は主として和装用であり、太さにムラのない生糸が求められ、この点で国産生糸の品質が高いため、輸入生糸の1.3~2倍の価格でも取引されてきた。

しかし絹需要の主力が洋装に移ってくると、安い外国製品や、絹を真似た化繊との競争に勝たねばならない。もともと絹は伸縮性に乏しく、シワになりやすく、洗濯しにくいなど、洋装用としては問題が多く、樹脂加工などでこれらの欠点をカバーする技術開発がすすめられてきた。これらの加工技術は簡単に外国に移転される。そこで外国に真似のできないものといえば、一つは蚕の品種であり、もう一つは高い製糸技術と繊維加工技術である。蚕糸試験場当時、この品種と技術が民間との共同で「ハイブリッドシルク」と呼ぶ新しい絹素材開発に実った。これは、従来よりも細い絹糸を吐く新しい蚕品種「あけぼの」を育成し、この糸を伸縮性のあるナイロン糸のまわりにまきつけたもので、絹の感触とナイロンの丈夫さを合わせもち、パンティストッキングに加工され市販されている。

その後、絹製の上着用に太いマユ糸を吐く蚕品種と、ふくらみのある新しい生糸製品として、スパンローシルクやネットローシルクが開発され、商品化にむけて検討されている。現在、蚕糸・昆虫研が開発中の新しい絹素材は一本一本のマユ糸をより合せずに引いたもので、これをシルクトウと呼ぶ。この糸を短く切り、木綿や獣毛などの他の繊維と自由に混紡し、多様な洋装用素材をつくろうと考えている。

マユは、生物生産物であるため、品質にムラがあり、生糸の生産工程は経験とカンに頼るところが大きかったが、熟練労働者不足に対処するためのエキスパートシステムの導入や、一般的な労働力不足による品質低下と多様な原糸の効率的生産に対応するファクトリーオートメーション化も重要な研究課題であり、現在製糸企業と共同して研究がすすめられている。

以上述べたような養蚕と製糸・絹加工の革新的技術が実現するならば、わが国の蚕糸業はこれまでとは違うまったく新しい姿で展開することであろう。

5. 昆虫機能研究とは

「昆虫機能」という言葉は新しいことばである。正しくは「昆虫のもつ生物機能」というべきであろう。養蚕はカイコという昆虫の持つ絹蛋白合成機能を利用した産業である。昆虫は地球上に180万種以上もいて、多様な機能を持っているが、これまではカイコ、ミツ

バチ以外にあまり利用されてこなかった。こうした昆虫の多様な機能を見直して、人類のために広く役立てようとするのが「昆虫機能研究」の目的である。

昆虫機能の利用目的を大別すると、①有用物質生産、②病害虫制御、③昆虫機能の模倣など、に分けることができる。①と②はすでに蚕糸学や害虫学がとりあつかってきたものだが、利用の範囲をもっと広げようとする、これまでの研究レベルよりさらに基礎的に掘り下げた研究が必要となる。こうした基礎研究から、③のまったく新しい利用技術の可能性も出てくると考えられる。

昆虫機能研究は蚕糸・昆虫研の発足により意識的な取り組みが開始されてから、まだ3年という短い期間のため、その研究成果や波及効果を述べるのは早過ぎると思うが、現在蚕糸・昆虫研で行われている研究の概略を、研究基本計画にそって紹介してみたい。

6. 昆虫機能研究の推進状況

(1) 昆虫等の遺伝情報発現機構の解明と制御利用技術の開発

昆虫等の遺伝素材の収集・評価と管理技術

蚕糸・昆虫研は、農水省ジーンバンク事業の一環として、蚕遺伝資源を収集管理しているが、現在約460種のカイコの系統を保存し、その他にもカイコの育種素材を多数持っている。この遺伝子源を利用して、桑の葉をほとんど含まない安い人工飼料で育つ「広食性」の蚕品種が生まれた。またカイコを絹生産以外に利用するための新しい形質の検索が進められている。

カイコ以外では、エビガラスズメ、シロアリ、トノサマバッタ等が昆虫機能研究用の実験昆虫として利用可能になりつつある。

昆虫等の遺伝子発現及び発生・分化機構の解明と制御法の開発

昆虫遺伝子操作技術として、カイコの卵にDNAを注入する装置を開発し、これを用いてCAT遺伝子の発現に成功した。現在は外来遺伝子が次世代まで伝達される形質転換個体の作出にとりくんでいる。またカイコの核多角体病ウィルスを運び屋とする外来遺伝子発現系も独自に開発し、アルファ・アミド化酵素遺伝子の発現に成功した。今後この系を用いた有用物質の効率的生産技術に発展していく可能性がある。

遺伝子の構造解析では野蚕の絹蛋白遺伝子の解析やカイコでの発生分化を支配するホメオティック遺伝子の単離が行われ、今後、昆虫の分子遺伝学的関連地図

の作成にすすもうとしている。

発生分化機構の研究では、カイコ卵をレーザー光線で局部的に破壊する方法で、卵の各部分のクチクラ分化運命地図が作られた。その他生殖器官等の組織についても研究を進め、遺伝子導入による形質転換個体の作出に役立てようとしている。

昆虫等の新機能付与技術の開発と育種素材の作出

マユ糸の長さや織度に特徴があり多収性のカイコ品種や、桑葉以外も食うカイコの育種素材を作り、カイコの育種部門へ提供した。またカイコの濃核病ウィルス抵抗性遺伝子を発見し、遺伝解析をすすめるとともに、育種素材化をはかっている。今後はカイコ以外の昆虫の産業的用途へむけた育種素材化を目指す。

昆虫等の適応機構の解明と利用法の開発

有用昆虫の保護、有害昆虫の管理などのために昆虫の環境適応に関連する形質と遺伝的変異の解析をすすめている。現在はカメムシ類、ウンカ・ヨコバイ類等の害虫種について、遺伝的多型の解析を目的として、DNAフィンガープリンティング法の開発をすすめている。また、カイコの高温ストレス耐性に関するヘテロシス効果が認められ、その利活用が期待されている。

(2) 昆虫等の生体機能の解明と制御・利用技術の開発

昆虫等における情報の受容・伝達・応答機構の解明と利用法の開発

昆虫の脳・神経機能の研究は、昆虫行動の制御・微量物質の検知等を通じて、新しい農業技術の創出に役立つとともに、より高次な人間の脳・神経機能の解析にも示唆を与える可能性がある。

刺激の受容・処理機構に関しては、カイコの前大脳の微細構造の研究によって、神経刺激のキノコ体への伝達経路を解明した。またカイコの口器中にイノシトール等を感じる新しい味覚器官を発見した。今後は味覚と摂食行動や食性との関連を究明しようとしている。

記憶・学習機構に関しては、オオセンチコガネの餌であるフンの匂いに応答する情報の神経伝達経路を明らかにした。今後は刺激の細胞間での分子的受容・伝達機構を解明するため、光学的多チャンネル測定法を開発する。

バイオリズム調節機構に関しては、カイコの脱皮が光刺激によって律せられるホルモン分泌によって誘導されることを明らかにした。今後は中枢神経系のペプチド・アミンの検出法を確立し、測時機構の解明をは

かる。

昆虫等の行動調節機構の生理・生化学的解明と利用法の開発

昆虫行動を調節している機構を生理・生化学的に解明することは、有用・有害昆虫の行動制御に役立つ。また昆虫の筋肉や翅・脚等の運動制御機構の解明は、将来工学的分野への応用の可能性もある。

行動調節物質に関しては、シロイチモジヨトウ、チャハマキ、モンシロドクガ等の性フェロモンの化学成分を解明し、各成分の混合比が誘引性に及ぼす効果を解析した。また難防除害虫であるドウガネブイブイについて、性フェロモンの化学構造を明らかにした。

生得的行動解発機構に関しては、ハリクチブトカメムシ類の集合行動や索餌行動について、行動調節因子の解明をおこなっている。また運動の出力・調節機構の研究のために、画像解析システムの開発をすすめている。

昆虫等の変態・休眠・生殖制御機構の解明と利用法の開発

この研究は蚕糸研究の基礎部門として伝統があるが、今後は有害昆虫の制御の立場からも重要である。

変態・休眠の制御については、カイコの発育に伴う血液中の脱皮ホルモンの消長を明らかにするとともに、幼若ホルモンの結合蛋白質を解明し、その定量法を確立した。またテントウムシ、バッタ等での休眠特異蛋白質の検出を行った。寄生蜂による寄主の発育抑制についても、これを生理・生化学的レベルで解析した。

生殖制御機構については、タンポコオロギの卵巣発育と飛翔筋退化の関係を解明しつつある。代謝調節機構に関しては、カイコのマルピギー管ガリボフラビンの貯蔵器官として、その体内濃度を調節していることを明らかにした。

昆虫等の生体防御機構の解明と利用法の開発

昆虫は特異な生体防御機構を持っているが、その解明は有用昆虫への耐性付与と、有害昆虫の防御機能攪乱による防除技術に結びつく可能性を持っている。

この研究では、カイコ体内に大腸菌を注入すると、抗菌蛋白質が誘導されることを見出し、これが9種の

植物病原菌の増殖を抑制することが明らかになった。今後はこの抗菌蛋白質の誘導機構を解析するとともに、その大量生産と利用を目指す。また、カイコ核多角体病ウィルスの感染機構をモノクローナル抗体を利用して解明しつつある。

昆虫関連微生物の機能解明と利用法の開発

昆虫には病原微生物や共生関係にある微生物が多く、その生存、増殖、伝播機構には未知の点が多い。これらの微生物の機能解明は、将来の新しい農業技術開発に結びつくことであろう。

現在は、ウンカに共生する酵母様微生物、キボシカミキリの腸内微生物、ヒメトビウカ共生リケッチア等の機能研究がすすんでいる。また昆虫と共生関係にある植物病原菌の増殖・媒介機能については、イネ黄萎病の病原マイコプラズマ様微生物(MLO)について、罹病イネから吸汁中のウンカの口吻をレーザー光線で切断して、切口から採取した篩管液中からMLOを検出した。この方法は、従来不可能であったMLOの動態追跡や培養に道をひらくものである。

(3) 昆虫関連生体素材の物性解明と利用技術の開発

現在は、カイコの生産する絹フィブロイン及びゼリン分子の特性解明をすすめており、これを従来のように繊維として使う他に、フィブロイン膜や粉体に加工して、生体親和性や酸素透過性のよい医用材料(例えばコンタクトレンズ、人工皮膚)や酵素固定化材料に利用する研究がすすんでいる。今後は、昆虫生体を構成するキチン・キトサン、構造蛋白質の利用にむけた物性解明もすすめていきたい。

7. おわりに

蚕糸・昆虫農業技術研究所は、80年の伝統をもつ蚕糸研究の蓄積を土台に、蚕糸業の革新に貢献するとともに、新しいバイオテクノロジー手法等を導入して、より幅広い昆虫機能の利用を目指して研究を展開しつつある。今後、他の国公立研究機関、大学、民間との交流・連けいを強めて、新しい農業技術や生物産業の創出に向かいたいと考えているので、関係各位の御支援をお願いしたい。(前蚕糸・昆虫農業技術研究所長)