

大日本蚕糸会

研究報告

第57号 平成21年12月(2009)

目 次

報 文

- | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|----|
| 1. 蚕品種の育成ならびに蚕種製造の効率化に関する研究 | 蚕業技術研究所 代田丈志…… | 1 |
| 2. 食性異常遺伝子および広食性遺伝子を活用する毒性物質検定用蚕の開発 | 蚕業技術研究所 大沼昭夫・竹村洋子・持田裕司・松本正江…… | 53 |
| 3. 白繭における黄白蛍光色について | 蚕糸科学研究所 栗岡 聰・山崎昌良…… | 65 |
| 4. セリシン加工綿布の洗濯に対する寸法安定性 | 蚕糸科学研究所 栗岡富士江・塩崎英樹…… | 69 |
| 5. アルカリ精練における酸処理が色相に及ぼす影響 | 蚕糸科学研究所 花之内智彦・塩崎英樹…… | 75 |
| 6. 太織度低張力糸の特性—繰糸条件の組合せによる糸の物性試験— | 蚕糸科学研究所 岡島正章・黒川トシミ・天方美帆・清水重人…… | 79 |

財団法人大日本蚕糸会
蚕糸科学研究所
蚕業技術研究所

Journal of DAINIPPON SILK FOUNDATION

No.57, December 2009

CONTENTS

Research Reports

1. SHIROTA, T.:	Studies on the breeding of silkworm race and efficiency of silkworm egg production.....	1
2. OHNUMA, A., TAKEMURA, Y., MOCHIDA, Y. and MATSUMOTO, M.:	Development of the silkworm race which has non-preference genes and polyphagous genes for testing of effect of toxic substances.....	53
3. KURIOKA, A. and YAMAZAKI, M.:	Study on yellowish white fluorescence in the cocoon of <i>Bombyx mori</i>	65
4. KURIOKA, F. and SHIOZAKI, H.:	Dimensional stability for laundering of cotton fabric treated with sericin and citric acid	69
5. HANANOUCHI, T. and SIOZAKI, H.:	Effect of acid treatment on color of alkali degummed silk yarn	75
6. OKAJIMA, M., KUROKAWA, T., AMAGATA, M. and SHIMIZU, S.:	Characteristics of thick less stress silk yarn-Physical properties of silk yarn by combination of reeling condition	79

Published by

THE DAINIPPON SILK FOUNDATION

蚕品種の育成ならびに蚕種製造の効率化に関する研究

代田丈志

蚕業技術研究所

TAKESHI SHIROTA: Studies on the breeding of silkworm race and efficiency of silkworm egg production.

目 次

第1章 諸 言	2
第2章 蘭糸織度の遺伝解析と細織度品種の育成方法	4
材料と方法	5
結 果 1. 飼育成績	6
2. 計量形質の相関	6
3. 雜種強勢率	7
4. 蘭糸長および蘭糸織度の両親の平均値との比較	7
5. 蘭糸の織度偏差	7
考 察	8
要 約	10
第3章 蘭糸織度に特徴のある実用蚕品種の育成	11
材料と方法	11
結 果 1. 選抜に伴う各計量形質の変化	13
2. 四元交雑種の選出	14
3. 選出された交雑種の蚕種製造に関する特性の調査結果	16
考 察	17
要 約	18
第4章 全齢人工飼料育による原蚕の飼育	19
材料と方法	19
結 果 1. 全齢人工飼料育における原蚕の適合性	23
2. 脱脂大豆粉末量と給餌量を異にした飼育成績	23
3. 脱脂大豆粉末の含有量を異にした人工飼料における5齢幼虫の 食下量と消化量	25
4. 人工飼料の食下量ならびに消化量と飼育成績との関係	25
5. 化蛹率と蛹体重の関係	25
6. 人工飼料へのタンニン酸添加試験	27
7. 原蚕種壮蚕用人工飼料の飼育結果	28
考 察	28
要 約	30
第5章 雄蛾の性フェロモンに対する反応性の解明	31
材料と方法	31
結 果 1. 雄の交尾行動が持続する日数の品種間差異	32
2. 風洞実験による雄蛾の羽ばたき反応の解析	32

3. 雄蛾の合成ボンビコールに対する反応性の経時変化	34
4. 性フェロモンに対する反応性の品種間差異	35
5. 性フェロモン抽出法と飼育環境による性フェロモン生産量の解析	36
6. 雌蛾の性フェロモン保持量の経時変化	37
7. 性フェロモン保持量の品種間差異	37
8. 雌蛾の性フェロモン保持量と雄蛾の反応性との関係	38
9. 雌蛾の性フェロモン保持量と雄蛾の反応性に特徴のある原種の 交配試験	38
考 察	38
要 約	41
第6章 総合考察	41
総 括	44
邦文要約	46
欧文要約	47
引用文献	48

第1章 緒 言

日本の養蚕業の発展と養蚕技術の近代化は明治政府の養蚕振興政策によって促進された。生糸を主要な輸出製品とするため、外国からの雑駁な糸質への苦情に対処する方策として、1904年（明治37年）には1,003種も国内に存在していた蚕品種を、優れた品種に統一し、その品種の原種を国家管理することが思考されていた。

そこで、1911年（明治44年）に蚕糸業法を公布して蚕種製造業者を免許制にするとともに、原蚕種製造所を創立し、1906年外山¹⁾が提唱した異品種の交雑による一代交雑種の開発を推進している。さらに、1934年（昭和9年）に原蚕種管理法を公布し、国が定めた交配形式の蚕品種のみに飼育を限定する方策がとられている。このように、優れた蚕品種の育種とそれら蚕種の安定製造は施策の基幹であった。

蚕品種の育種は、養蚕業および絹業の要望に応じて、遺伝学を基礎とする育種法によって新しい品種を作出し、蚕種製造業に提供する役割を担っている。外山は蚕の一代交雑種の利用を提唱する中で、品種の作出には改良する生物の各種の性質が遺伝する法則を知ることが大事であり、これを知らないといくら力を尽くしてもその結果ははなはだ曖昧で、古代の方法と大差ないものとなるとして改良の手段に遺伝の法則の導入が重要であると論証している²⁾。

今日、遺伝学に基づく育種方法は動植物に幅広く導入され、人々の生活向上に貢献しているが、多様な生物を対象とするため、その方法も異なってくる。松尾は育種法を導入育種、分離育種、交雑育種、雜種強勢育種、倍数性育種、突然変異育種と栄養雜種育種に分類している³⁾。

蚕の育種においては、導入育種法、分離育種法、交雑育種法、雜種強勢育種法ならびに突然変異育種法が主に用いられている。①導入育種法は、外山が中国種または歐州種と日本種との改良種を作る方法として紹介しており²⁾、日本の蚕品種育成の端緒に諸外国からの導入が盛んに図られている。②分離育種法は、従来の群の中に含まれている形質から特定の形質を選抜して新しい品種とする方法で多くの育種で使われており、鈴木が同蛾区交配で一蛾育を行い、その分離効果と虚弱性の増大を指摘し⁴⁾、清水・伊藤が同一品種を異系交配することにより、この問題を解決している⁵⁾。③交雑育種法は、異なる特徴を有する蚕系統を交雑することにより、一つの品種の中に異なった特徴が組み合わされ新しい変異を生じさせる。小林・阿相および小林は交雑育種における選抜効果を検証し^{6, 7)}、真野らは限性品種日131号の育成において戻し

交雑法を繰り返し使用し、小節点の改良を行っている⁸⁾。④雑種強勢育種法は、異なる蚕系統を交配し、遺伝子をヘテロの状態とし雑種強勢を示す性質を利用する方法であり、主に計量形質の改良に用いられている^{9, 10)}。⑤突然変異育種法における人為突然変異については、田島がX線照射技術を用いて、Y染色体と常染色体における転座系統を発見し、W染色体の存在下では雌を、非存在下では雄を、確実に決定することを実証するとともに^{11, 12)}、幼虫斑紋の形斑紋を持つものを雌、持たない姫蚕の幼虫を雄とする雌雄鑑別が容易な最初の限性品種支116号を作出し、日117号×支116号として指定された¹³⁾。その後、日117号は限性を有する品種に改良され、両限性品種日117号×支116号として指定された¹⁴⁾。

このような各種の育種法がある中で、蚕の実用的な蚕品種の育種においては、分離育種法と交雑育種法が多用されており、幼虫期から繭までの計量形質と繭質が常に選抜の対象になっている。この選抜を繰り返すことにより優れた形質を有する原種が作出され、雑種強勢により組み合わせ能力が検定され蚕品種となる。

昭和に入ると蚕品種の改良は大幅に進展し、その改良方向は多糸量性と多産卵性であった。その過程で四元交雫が検証され、日本種・日本種×中国種・中国種の組み合わせが、産卵性の大幅な向上と原種の飼育を安定化させるための技術として確立された¹⁵⁾。

育種目標は、単一な形質を対象にした選抜と経済性を追求する場合がある。横山は蚕糸試験場保存品種の中からキャベツを摂食した個体を選抜し、沢Jを作出した¹⁶⁾。宮原は繭糸長が特別に長い系統を選抜しMKとした¹⁷⁾。大井・山下が作出了日137×支137号は、農林省が実施する実用蚕品種の選定基準品種として採用された¹⁸⁾。このように前者の横山や宮原の育種した品種は育成素材の作出の色合いが強く、後者は異なる経済的視点を持つ蚕種業者、養蚕農家、製糸業者の要望に沿った実用品種の作出の色合いが強い。

近年、絹業における製品開發現場においては、養蚕業と絹業が提携して蚕品種から差別化する販売戦略が浮上しており、生糸の品質に対する要望は蚕品種にまで及んできている。特に、織りの段階で縦糸が交差することによる毛羽立ちや強撲糸に耐える生糸を求める声があり、これらの要求に対して製糸業からは、育成現場に対して、細い繭糸纖度を有し纖度むらが少ない品種の要望が強くなってきた。これらの要望を満たすために、本研究では繭糸纖度の細さに特徴を有することを優先し、それに蚕種製造業者や養蚕農家の生産効率の視点を加味した蚕品種の作出方法を検討した。この結果を第2章で述べ、これらから得られた育種方法に基づいて作出された四元交雫の実用品種について開発経緯を第3章で述べる。

蚕の人工飼料の開発研究が吉田らの先駆的な研究を端緒に進展し¹⁹⁾、福田らおよび伊藤・田中が普通交雫蚕品種の人工飼料での全齡飼育に成功した^{20, 21)}。

人工飼料育を行うことによって、桑園およびその周辺に生息する野外昆虫から微粒子病やカビ病およびウイルス病の病原体の蚕飼育場所への侵入が阻止できる利点があり、蚕種製造業から原種を人工飼料で飼育する技術の開発が望まれていた。

原蚕の人工飼料育は、人工飼料の摂食性や適合性が普通蚕品種の場合とは異なり難しい面があった。とくに、原蚕を桑で飼育する場合には、飽食でも途中で蚕が斃死するものは少なく減蚕率は少ない。一方、田中は人工飼料育で飽食させると、減蚕率が高くなると報告している²²⁾。そのため人工飼料を用いる蚕種製造では、5齢期の蚕への給餌量を制限し幼虫の成長を抑制する、いわゆる給餌制限を行っている。このような飼育法は、蛹を大きく成長させることができず、結果として産卵量が減少するという問題がある。本研究では蚕種製造の効率化を図るために、産卵量の減少に関わる人工飼料育の問題点について検討した結果を第4章に述べる。

育成の選抜中に実用に用いられないほどの欠点を持ち合せた育成品種が作出されることが多い。このような品種の特性を解析することで、実用品種の道を開き、育種コストを低下させるとともに蚕種製造の効率化を図る方法を構築しておく必要がある。

蚕種製造の行程は、まず、分場農家で飼育して得た種繭から蛹を取り出し、雌雄を鑑別して羽化まで保護する。つぎに、交雫種を製造するための交配計画に基づいて、羽化した雌に別品種の雄を交配させる。一般的に、羽化した雄は雌の発する性フェロモンに反応し、激しく羽ばたきながら動き回る婚礼ダンスをしながら交尾する²³⁾。

蚕種製造所では実用品種として日本種と中国種の交雫種を製造している。雄は製造効率を高める目的で

1日に数回の交尾に使用されるが雄の交尾行動は品種によって異なっており、同じ環境下でも行動が活発で翅を破損する品種が存在する。一方で、翅を広げ静止し、翅の破損の少ない品種の存在が蚕種製造現場では観察される。前者の交尾行動が極端に活発な品種は後者の品種に比べ、少ない交配回数で交尾能力が低下し、突然死してしまうことがあり蚕種製造効率に影響を及ぼしている。

本研究では、雌が放出する性フェロモンとそれに対する雄の反応性について追究した。それらの結果を第5章に述べる。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、長きに渡り懇切なるご指導を賜り、また、本論文の御校閲の労をとられた東京農工大学教授濱野國勝博士に対し心からお礼を申し上げる。

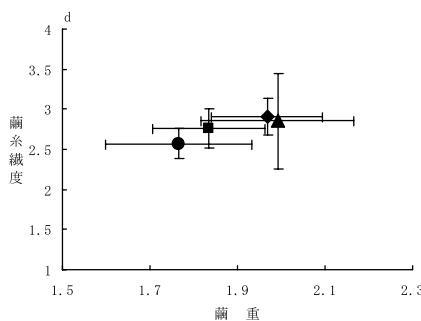
本研究の推進にご支援を賜りました蚕業技術研究所所長井上元博士ならびに蚕品種育成にご助言をいただいた元蚕品種研究所長大井秀夫博士、雄蛾の性フェロモンに対する反応性の解析に数々のご便宜を与えてご助言をいただいた独立行政法人農業生物資源研究所若村定男博士ならびに合成フェロモンをご恵与いただいた独立行政法人農業環境技術研究所杉江元博士に深く感謝の意を表する。

第2章 蘭糸纖度の遺伝解析と細纖度品種の育成方法

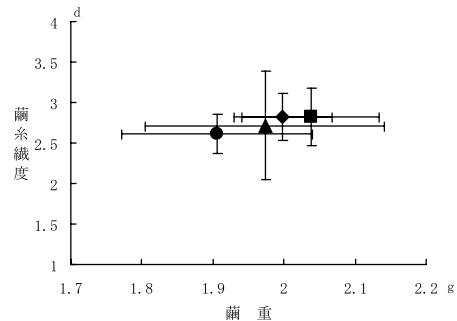
蚕業技術研究所（旧蚕品種研究所）において1975年から1990年に実用品種として作出された15原種の平均蘭重と平均蘭糸纖度の変遷をみると、第2-1図及び第2-2図に示したように、日本種、中国種とも蘭重が幅広い標準偏差を持ちながら徐々に重くなる傾向が認められている。一方、蘭糸纖度は、日本種、中国種ともに2.5dから3dの狭い範囲にあり、各年度の標準偏差も狭い。1990年になると蘭重は、日本種が停滞し中国種では1985年から減少している。蘭糸纖度は、日本種及び中国種とも平均値の変化は少ないが標準偏差が大きい値を示している。

のことから、1975年から1985年までは育種目標が量的に重く蘭糸纖度は3dを中心とした特性を持つ品種が育成されていたことが考えられる。その後の1990年までの5年間は、蘭重などの計量形質の増加が抑制され、纖度に特徴のある品種が多く作出されたことがうかがわれる。

このような傾向は、多様な纖維素材や衣料分野以外への蘭糸の利用法の研究が精力的に行われた²⁴⁻³¹⁾。また、製糸業者からの意見が育種目標の策定に大きく影響を及ぼし、選抜における主要な項目が収蘭量か



第2-1図. 蘭重と蘭糸纖度から見た日本種育成品種の変遷



第2-2図. 蘭重と蘭糸纖度からみた中国種育成品種の変遷
第2-1図、第2-2図は1975年（●）、1980年（■）、1985年（◆）、および1990年（▲）に実用として使われた中国種の原種15品種の蘭重と蘭糸纖度を年別に示した。中心は蘭重と蘭糸纖度の年別平均を示し、横棒は蘭重の標準偏差を示し、縦棒は纖度の標準偏差を示す。

ら繭質の繭糸纖度に変化した結果であると考えられる。

養蚕業に関わる3業者は蚕種製造業、養蚕業と製糸業である。これらの業者からの要求は多様であり、蚕種業者が原種の強健性と高い産卵効率を求め、養蚕農家は繭価に影響がある繭重、解じょ率ならびに生糸量歩合等の計量形質を重要視し、製糸業者は特徴のある細纖度品種への要望が強い。

これらの要望に応えるため、本章では繭糸纖度に特徴のある蚕品種の育成を目的として細纖度の繭糸を生産する蚕品種の作出にあたり、繭糸纖度の遺伝解析と選抜方法について検討した結果を述べる。

材料および方法

1. 供試原種と飼育

供試した品種は、農林省蚕糸試験場で作出された支141号³²⁾と中505号¹⁷⁾に由来する。それらを蚕業技術研究所において、前者は太纖度の方向に選抜改良し、後者は細纖度の方向に選抜改良を進めていた中国種系統である。以後、支141号の改良系をW4121、中505号の改良系をC52と表す。

飼育は1齢期と2齢期を人工飼料育（ヤクルト製）、3齢期から5齢期を桑育とした。飼育頭数は各区5蛾が産んだ卵の約1/4を張り合わせて混合育し、4齢期の2日目に各区400頭に整理した。

2. 遺伝解析に用いた交配形式

繭糸長と繭糸纖度の遺伝解析のためにW4121、C52、交雑種W4121×C52（以下、F₁と記述する）、(W4121×C52) F₂、(W4121×C52)×W4121の戻し交雑世代（以下、BF₁と記述する）および(W4121×C52)×C52のBF₁を供試した。なお、これらの原種を含めた全ての系統は、即時浸酸処理をした蚕種を用いて晩秋蚕期に飼育し、計量形質の調査を行った。

3. 計量形質及び雑種強勢率の調査方法

一万頭収繭量は、収繭した繭の中から玉繭、中下繭を除いた上繭の総重量で算出し、繭重と繭層重および繭層歩合は、上繭の中からランダムに取り出し、切開して雌雄鑑別した雌雄各25粒の重量を測定した値から平均値を求めた。雑種強勢率は、{(F₁—両親の平均値)/両親の平均値}×100を用いた⁹⁾。

4. 繰糸方法

一粒繰糸と多条繰糸機による繰糸を行った。一粒繰糸は各区から10粒の繭を無作為に抽出し、沸騰する湯に1分間浸漬した後60°Cの湯に1分間浸漬する工程を2回～3回繰り返して繰糸した。繭糸長は周長1mの検尺器に繰糸が不可能になるまで巻き取った回数とした。繭糸纖度は繭糸を85°Cで8時間乾燥し計量した後、秤量した値を繭糸量とし、得られた繭糸量および繭糸長の値を用いて算出した。

粒内纖度偏差は、各区から10粒の繭を取り、繰糸をして求めた。すなわち、上述と同様な煮繭処理をしてから、一粒繰糸機により100m単位で検尺器に巻き取り、生糸重量を測定した。なお、纖度は450mで0.05gを1デニール(d)とする重量纖度で示した。

多条繰糸機による繰糸は、蚕糸科学研究所に依頼して40粒を定法により行った。その結果をもとに繭糸長、繭糸量および繭糸纖度の値を調査した。

5. 交雑蚕種の繭糸長および繭糸纖度の算出法

両親の平均値の算定式を示すと次のとおりである。F₁およびF₂の繭糸長または繭糸纖度の算出法は(両親の値の和)/2の計算式で行い、BF₁は(両親の平均)+戻し交配した親の値)/2の計算式を用いた。すなわち本試験の算出には原種W4121と原種C52の繭糸長および繭糸纖度の値を用いて、F₁およびF₂では(W4121+C52)/2により、戻し交雑(BF₁)では[(W4121+C52)/2]+W4121またはC52]/2として算出した。

結 果

1. 飼育成績

各交配型式の飼育成績を第2-1表に示す。収繭量は、原種ではW4121が16.4 kgと重く、C52が15.1 kgで軽かった。F₁は18.2 kgと両原種より重く、F₂は17.0 kgとF₁より軽くなるが両原種より重かった。BF₁をみると、W4121を戻し交雑した場合は19.0 kg、C52を戻し交雫した場合は18.9 kgと、いずれもF₁よりも重くなった。

この様な傾向は繭重および繭層重でもみられた。繭層歩合は、親のW4121が25.5%と高く、C52が20.7%と低かった。F₁は24.6%，F₂は24.2%，W4121を戻し交雫したBF₁は25.6%と高くW4121の値に近似している。C52を戻し交雫したBF₁は23.1%でW4121より低く、C52より高い中間的な値であった。

繭糸長は、W4121が1,045 mと短く、C52が1,638 mと長い。これらのF₁は1,431 m、F₂は1,472 mで両原種の中間的な値となり、W4121を戻し交雫したBF₁は1,304 mとF₁より短く、C52を戻し交雫したBF₁は1,595 mとC52に近似した。

繭糸量はW4121が36.1 cgと重くC52が25.4 cgと軽い。F₁は36.3 cg、F₂は39.5 cgとなり、W4121に近似している。W4121を戻し交雫したBF₁は41.2 cgと重く、C52を戻し交雫したBF₁は33.1 cgと両親の中間的な値を示した。

繭糸纖度は、W4121が3.12dと太く、C52が1.42dと細い。F₁は2.28d、F₂は2.41dで両親の中間の値であり、W4121を戻し交雫したBF₁は2.84dとW4121の値に近似し、C52を戻し交雫したBF₁は1.87dとC52の値に近似している。

2. 計量形質の相関

これらの成績から計量形質の相関関係をみると第2-2表に示したとおりである。なお、相関の記載について、正の場合以後は相関があると記し、負の相関についてのみ「負の相関」と記すこととした。収繭量と繭重、繭重および繭層重と繭糸量との間で相関があった。また、繭層重は繭層歩合との間に相関がある。このことから収繭量、繭重、繭層重は各形質の増減に関連しあっていた。繭糸量と繭糸纖度との間に相関があった。繭層歩合は、繭糸量と繭糸纖度に相関があり、繭糸量は全繭重、繭層重と繭層歩合に相関があり、繭糸纖度は、繭層重と繭層歩合に相関があった。このことから繭糸纖度は繭層重、繭層歩合、繭糸量が多くなると太くなる関係にあった。繭糸長と繭糸纖度の間には負の相関関係があり、繭糸長が長くなると繭糸は細くなる関係にあった。

第2-1表. 各交配形式の計量形質の比較

交配型式		収繭量	繭重	繭層重	繭層歩合	繭糸長	繭糸量	繭糸纖度
		kg	g	cg	%	m	cg	d
W4121	P1	16.4	1.89	47.8	25.5	1045	36.1	3.12
C52	P2	15.1	1.58	32.8	20.7	1638	25.4	1.42
P1×P2	F ₁	18.2	1.89	45.9	24.6	1431	36.3	2.28
(P1×P2)	F ₂	17.0	1.98	47.5	24.2	1472	39.5	2.41
(P1×P2) × P1	BF ₁	19.0	2.05	52.2	25.6	1304	41.2	2.84
(P1×P2) × P2	BF ₁	18.9	2.00	45.5	23.1	1595	33.1	1.87

即時浸酸種を用いて、1987年晚秋蚕期に飼育した。収繭量は1万頭の値、繭重、繭層重は繭25粒の平均値で示した。繭層重はcg(g×100)の単位で表している。繭糸は多条繭糸機による定粒繭糸による値で示した。

第2-2表. 計量形質の相関関係

項目	収繭量	繭重	繭層重	繭層歩合	繭糸長	繭糸量	繭糸纖度
収繭量	0.84516	0.73492	0.54391	-0.0361	0.63044	0.28333	
繭重	+		0.94203	0.77648	-0.3397	0.88086	0.61319
繭層重		++		0.93927	-0.6057	0.9566	0.82952
繭層歩合				++		-0.8081	0.90733
繭糸長						-0.5435	-0.9365
繭糸量		+	++	+			0.80085
繭糸纖度			+	++	--		

n=6, +(-), 5%の危険率で正(負)の相関; ++(--), 1%の危険率で正(負)の相関が、それぞれ有意であることを示す

3. 雜種強勢率

原田の方法⁹⁾により W4121と C52の F₁の雑種強勢率を算出したのが以下の結果である。すなわち、収繭量が15.6%，繭層重が13.9%，繭糸量が18.0%と高く、これらの形質については両親の平均より増加する。繭重が8.9%，繭層歩合が6.5%，繭糸長が6.7%と中位であり、繭糸纖度は0.4%と最も低かったこの結果から、これらの形質については両親の平均に近い値が期待できる。

4. 繭糸長および繭糸纖度の両親の平均値との比較

繭糸長と繭糸纖度を両親の成績から推定できれば原種の交配組み合わせの検討において繁雑な飼育調査の手数が省ける。そこで、多条縄糸機による測定値を用いて、簡易な数式により、両親の値から算出した平均値をもって、F₁およびF₂ならびにBF₁の繭糸長および繭糸纖度を推定した。この値と実測値を比較した結果を第2-3表に示した。このように、実測値と両親の平均値の間には相関があり、相関係数は、繭糸長、繭糸纖度ともに0.98と高い値を示した。この結果から繭糸長と繭糸纖度は雑種強勢率の低い組み合わせにおいて、両親の値からF₁およびBF₁の値を高い精度で推定できることがわかった。

5. 繭糸の纖度偏差

各交配形式における繭から得られた粒内纖度偏差を第2-3図に示す。太纖度系統のW4121の雌は、外層から600mの繭糸長で最も太い3.92dに達する放物線を描いた(A)。また、雄は400mで最も太い3.79dとなる放物線を描き、雌の糸長が雄に比べ長く、雌雄間の纖度の偏りが大きく分散(SD)の幅も大きい。一方、細纖度系統のC52は、最も太い部分が雌で1.88d、雄が1.84dで最外層部にあり、纖度の細い方向に浅く弓なりに徐々に細くなる曲線が描かれた(B)。これはW4121とは対照的であった。雌雄間の差が小さく分散の幅も極めて小さい特徴が示された。

F₁は、雌では外層部200m~300mで最も太い2.76dに達する放物線を描き、緩やかに細くなり、雄では400mで最も太い2.64dに達した後、雌と同様に緩やかに細くなった(C)。雌雄の間では外層部において差が認められたがその値は小さかった。

F₂をみると、雌が繭層の外層部より600mで最も太い2.68dに達し、雄が500mで2.46dに達する緩やかな傾斜の放物線を示した。このように雌の纖度が太く、雌雄差が大きくなった(D)。

W4121を戻し交配したBF₁の場合は、雌が繭層の外層部より500mで3.55dと最も太くなり、雄が600mで最も太い3.17dに達した放物線を描いた。これはF₁とW4121の中間的な形状であった(E)。また、C52を戻し交雑したBF₁においては、雌が外層部から100mで2.54d、雄が200mで2.23dで最も太くなり、そ

第2-3表. 蘭糸長および蘭糸纖度の実測値と両親の平均値との関係

交配形式	蘭糸長		蘭糸纖度	
	実測値	平均値	実測値	平均値
W4121	P1	1045	-	3.12
C52	P2	1638	-	1.42
P1×P2	F ₁	1431	1342	2.28
(P1×P2)	F ₂	1472	1342	2.41
(P1×P2) × P1	BF ₁	1304	1193	2.84
(P1×P2) × P2	BF ₁	1595	1490	1.87
平均値と実測値の 相関係数		0.9804	0.9822	

両親の平均値はF1およびF2が $(P1+P2)/2$, BF1が (両親の平均値+P1またはP2) /2

の後は緩やかに細くなった (F)。すなわち, F₁と C52の中間的で直線的に細くなる形状を示し, 雌雄別では雌の纖度が太かった。

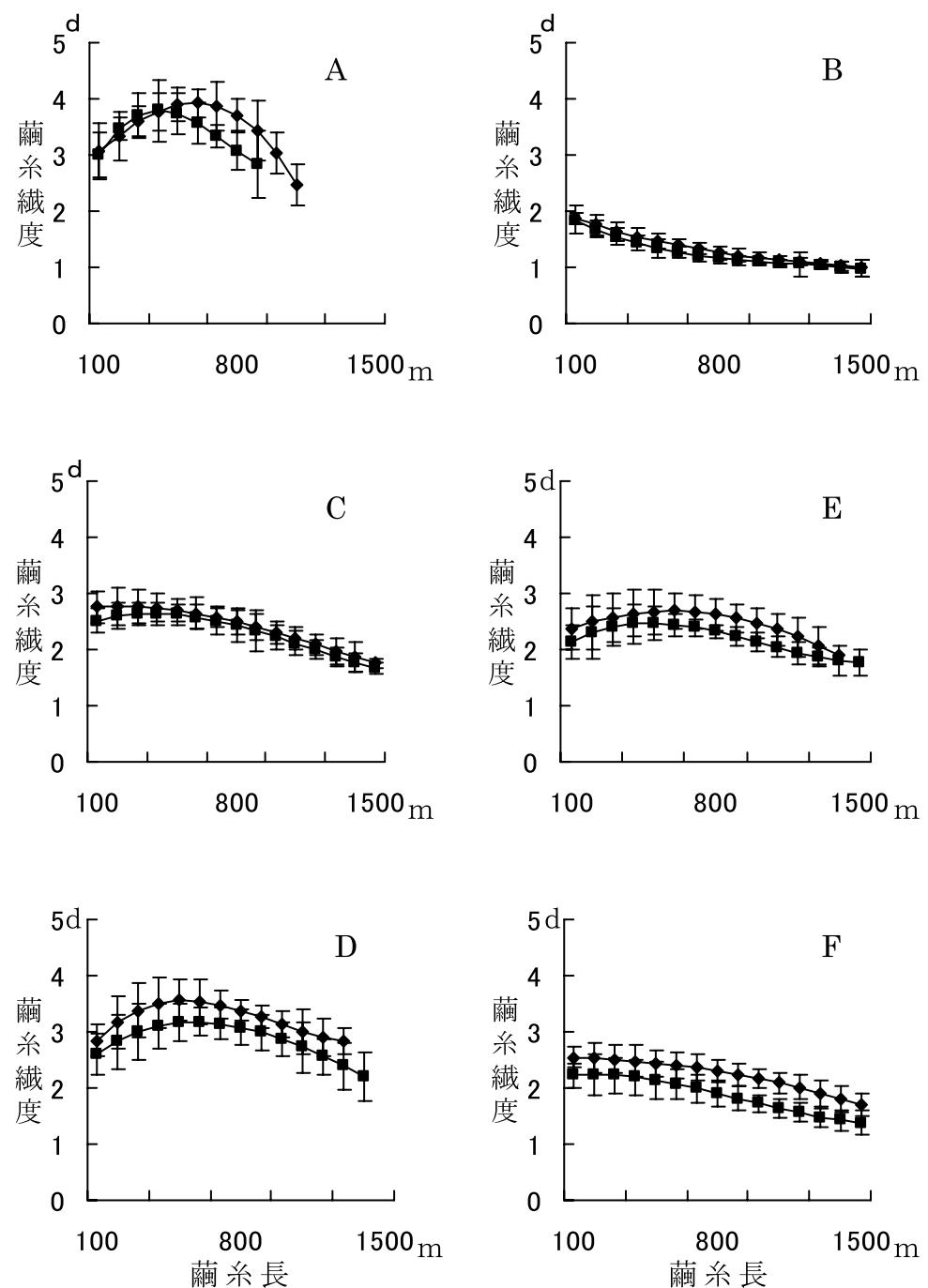
考 察

大井らは, 育成初期における実用形質の変動係数や親子相関係数ならびに形質間相互の相関の程度を分析し, 形質によって遺伝力に明らかな差があることを確認した³³⁾。その上でいくつかの実験例を通じて, その値の大きいものと小さいものの順位が一定の傾向を持っていることを明らかにした。川畠は, 環境が異なった場合においても 1 リットル粒数, 蘭層重と蘭糸纖度に品種特性が発揮され, 遺伝力が高いことを報告している³⁴⁾。これらの報告は, 蘭糸纖度など蘭糸質に特徴のある品種の育成にあたって, 該当する計量形質が他の計量形質とどのような関係を持って発現するか知ることの重要性を示唆している。

山本らによると蘭糸纖度は全齢日数, 蘭重, 蘭層重, 蘭層歩合, 生糸量歩合, 蘭糸量, ラウジネスとの間に有意な相関があるとしている²⁹⁾。本研究において, 蘭糸纖度とその他の計量形質との相関は第2-2表に示すとおりとなった。すなわち, 蘭糸纖度は蘭層重および蘭層歩合とは相関があり, 蘭糸長とは負の相関が高いことがわかる。本試験では蘭糸纖度と有意な相関を示す計量形質の数が少ないことが認められたが, これは山本らが報告しているように²⁹⁾, 改良種の場合に在来種に比べ相関が低く, 特に中国種でこの傾向が強いためであると考えられる。

山本らは原蚕種を細纖度の方向に選抜すると各計量形質が低くなることを示し, 選抜に当たっては収蘭量などの計量形質に充分配慮しなければならないと考察したが²⁹⁾, 今回の遺伝解析の結果もこれと一致した。蘭糸纖度は蘭糸長との間に負の相関関係がみられ, 蘭糸量が増加すると纖度も太くなる傾向にある。したがって, 細い纖度を維持するためには蘭糸量と相関の高い計量形質を大きくなりすぎないようにしながら, 蘭糸長を長く保つ選抜が重要と考えられる。

雑種強勢が強く現れる形質は, 収蘭量, 蘭層重と蘭糸量であった。収蘭量に現れる雑種強勢は, 原田によると晩秋蚕期の普通品種で44.5%と高い値である¹⁰⁾。これに対して本試験の雑種強勢率は15.6%であった。この結果は, 用いた系統が中国種同志の組み合わせであったために雑種強勢が小さくなつたと考えられる。蘭糸纖度は蘭糸量, 蘭糸量は蘭重, 蘭重は収蘭量とそれぞれ相関がある。これらの計量形質は相互に関連しあつて相関が認められることから収量が多く, 細い蘭糸纖度をもつ品種の作出をめざしても, お互いに相いれなくなる恐れがある。この点を克服するためには収蘭量などの計量形質は雑種強勢によって高くする方策が有益と考えられる。



第2-3図. 各交配形式の雌雄別粒内纖度偏差

A, W4121 ; B, C52 ; C, W4121×C52 ; D, (W4121×C52)F₂ ; E, (W412×C52)×W412 ; F, (W4121×C52)×C52 ; ◆, 雌の平均纖度 ; ■, 雄の平均纖度 ; 平均値±標準偏差を示す。

育種目標に応じて交雑する品種を選定するには、原種を交雑した場合に目標とする形質の値が育成素材の選抜において推定できることを効率的である。青木らは、両親の値から交雑の値をかなりの精度で推定できるとしているが、具体的な算出法を明記していない³¹⁾。本試験では、繭糸長および繭糸纖度を両親の値から算出した値を実測値と比較し、高い相関関係があることが確かめられた。このことから、交雑種の繭糸長および繭糸纖度の推定において、両親の成績を基に計算による推定法の有用性が確かめられた。

一粒繩糸による粒内纖度偏差をみると、W4121が放物線を示し雌雄間で差異が大きいのに対して、C52は外層から内層にむかって緩やかに細くなる弧を描く曲線となり、雌雄間の差は小さかった。これら原種のF₁における纖度偏差は両親が示す曲線の中間的な纖度偏差が示された。このことから、交雑種の繭糸纖度および粒内纖度偏差は両親の中間の特徴を現すと考えられる。

F₁に細纖度品種であるC52を戻し交雑したBF₁の収繭量は18.9 kgと、F₁の値に匹敵する収量特性を示し、しかも、この繭糸纖度は1.87dと細く（第2-1表）、纖度偏差は外層から内層に向かって直線的に細くなる形状を示している（第2-3図F）。これらの結果は、繭重が重く纖度偏差が放物線を描く品種（第2-3図A）と繭重が軽くC52が示した纖度偏差を描く品種（第2-3図B）を交配し、さらにC52と同様な品種を交配した組み合わせの有用性を示唆している。これにより、収量が多く、かつ纖度が細くなる特性を持った品種が得られると期待される。この傾向は、四元交雑の組み合わせを設計する上で参考になる重要な知見と判断した。

絹業はできるだけ均一な繭の供給を求めており、繭糸纖度に関して次のような報告がある。すなわち、四元交雑種における標準偏差や変異係数は、単元交雑種よりも大きく繭が不揃いになる場合が多い¹⁰⁾。また、山本らによると繭糸纖度は繭重との間で有意な相関があり²⁹⁾、鈴木・丸山（1961）は全ての品種を通じて雄の纖度が雌の纖度より細いと報告している³⁵⁾。さらに、榎島・原田（1978）は雌雄間で雑種強勢の程度を比較すると雌が大きく雄が小さいと言う³⁶⁾。このような観点から本研究における粒内纖度曲線を分析してみると、単元交雑では雌雄間の差は小さく、形質の分離が起こるBF₁では雌雄間の差が生じていることが分かる。このため、纖度の均一な品種を育成するためには、このような不揃いになる要因ができるだけ排除する方策の検討が必要であり、今後の問題点として残された。

要 約

繭糸纖度に特徴のある蚕品種を育成する目的で、中国種の原種2系統を用いて繭糸纖度の遺伝解析と選抜法を検討した。その結果、①繭糸纖度とその他の計量形質の関係は繭層重および繭層歩合との間に正の相関があり、繭糸長との間に負の相関が認められた。②雑種強勢率は収繭量および繭層重、繭糸量で高くみられ、繭糸纖度では低く、繭重および繭層歩合、繭糸長については中間的であった。

両親の平均値をもとにF₁、F₂およびBF₁の繭糸長と繭糸纖度の推定を行ったところ、繭糸長と繭糸纖度の実測値と両親の平均値が大きく異なることはなかった。このことから、計算による推定法の有用性が確かめられた。また、粒内纖度偏差も両親の中間的な曲線を示すことも判明した。

以上の結果から、近年における蚕種製造業者、養蚕業者ならびに製糸業者の要求に応える育成方針にしたがって、纖度を細く、繭糸長を長くする方向で選抜を可能にする見通しが得られた。これに伴う結果として軽くなった収繭量などの計量形質は、雑種強勢によって補う方策が有益であると考察された。

第3章 蘭糸纖度に特徴のある実用蚕品種の育成

前章において蚕種製造業、養蚕業、製糸業の要望に応じる纖度に特徴のある蚕品種の育成における蘭糸纖度の遺伝解析と選抜方法について検討した結果、細い蘭糸纖度と蘭糸長を長くする方向に選抜し、この選抜により軽くなった計量形質を雜種強勢によって回復させ、収蘭量*などを確保する方法を明らかにした。

これらの結果を基に蘭糸纖度に特徴のある実用蚕品種の育成を試みたので第3章で述べる。

材料と方法

1. 育成材料の選定

育成材料は、蚕業技術研究所に保存されている育種素材の中から選定した。

日本種は蘭糸纖度が2.5d以下で収蘭量が多く蘭糸長が長い品種の中からN12, N52, N77を選んだ。N12は「日」³⁷⁾, N52は「日145号」³⁸⁾, N77は「日137号」¹⁸⁾に由来する。

中国種は、収蘭量が多いC32と収量は少ないが纖度が細くて長いC54, C66の、あわせて3品種を選んだ。C32は「中150号」³⁹⁾から系統分離したものである。C54は「MK」¹⁷⁾をもとに改良した中505号であり、C66は「支140号」⁴⁰⁾の育成材料として使われたCA66系統から育成された中506号に由来する。

2. 選抜の方法

飼育は、1齢期と2齢期を人工飼料育シルクメイト原種1-3齢S(日本農産工業製), 3齢期から5齢期を桑育とし、4齢期に各区400頭に頭数を整理して行った。各材料系統はそれぞれ20蛾区を一蛾育により飼育した。

調査項目は減蚕歩合、1ℓ粒数、玉蘭蚕歩合、収蘭量、蘭重、蘭層重、蘭層歩合、蘭糸長、蘭糸量、蘭糸纖度および解じょの指標となる落ちよ回数を全ての飼育蛾区について実施した。なお、繰糸調査は多条繰糸機による10粒定粒繰糸とした。

選抜は蛾区選抜と個体選抜を併用した。

1) 蛾区選抜：計量形質である減蚕歩合が高く、玉蘭蚕歩合が多く、1ℓ粒数の少ない蛾区を淘汰し、収蘭量、蘭重、蘭層重が重く、蘭層歩合が高い蛾区を選んだ。

蘭糸質については蘭糸長が長く、蘭糸量が多く、かつ、蘭糸纖度の細く、落ちよ回数の少ない蛾区を選抜した。

各系統とも、20蛾区の中から調査項目の値が目標に沿った5蛾区を選んだ。

第1章の相関関係の解析の結果から、目標に向かって蛾区選抜を繰り返すと、蘭形が小さくなり蘭糸纖度は細くなる反面、蘭重など量的形質が低下する方向に選抜圧が加わってしまうことが懸念される。この防止策として個体選抜を併用した。

2) 個体選抜：蛾区選抜で選ばれた蛾区について、目視により蘭形の揃った蘭を選蘭し、切開して雌雄鑑別し、個体ごとに蘭重、蘭層重を測定した。

蘭糸纖度の個体変動を低く抑えるため、蘭重、蘭層重の雌雄差を極力なくすように特に留意して個体選抜を行った。具体的には蛾区選抜で選ばれた蛾区ごとに200粒の蘭を選び雌雄鑑別を行った。これらの蘭を個体毎の蘭重および蘭層重を測定した。雌雄の蘭の選抜は雌では平均値に近い蘭重と蘭層重の個体を選び、雄では蘭重と蘭層重が雄の平均値より重い個体を選ぶことを心がけた。

こうして計量形質の低下を避けながら雌雄間の差を小さくする選抜を異蛾区交配によって25世代繰り返し実施した。

3. 交雑試験

前述した育成材料としての、日本種系品種N12, N52, N77と中国種系品種C32, C54, C66を用いて、

第3-1表. 四元交雑種の繭糸長と繭糸纖度を原種の値を基にした推定値

交配形式	繭糸長(m)	繭糸纖度(d)
N77・N52×C54・C66	1,149	2.02
	1,177	2.09
	1,167	2.25
N12・N52×C54・C66	1,144	2.00
	1,172	2.07
	1,162	2.23
N12・N77×C54・C66	1,157	2.07
	1,186	2.14
	1,175	2.30

作成しうる9組みの「日・日×中・中」四元交雑種について比較検討した。

重要項目である繭糸長と繭糸纖度については、実際に組み合わせ試験をする前に、第2章で示した両親の平均値から交雑種の繭糸長と繭糸纖度を推定する方法に基づき交雑原種の組み合わせから四元交雑種の値を推定した（第3-1表）。算出にあたっては、それぞれの交雑において原種として用いた日本種2品種の平均値と中国種2品種の平均値を加算した値を2で除した。

これによると、繭糸長は各組み合わせとも1,149m～1,186mとほとんど変わらず、繭糸纖度は日本種の交雑原種がN12・N77>N77・N52>N12・N52の順であり、中国種の交雑原種ではC32・C66>C32・C54>C54・C66の順になると推定された。

この推定結果を踏まえて、纖度が2.3dと太くなると予測されたN12・N77の交雑原種は候補から除くこととした。そして日本種の交雑原種2組み（N12×N52, N77×N52）と中国種の交雑原種3組み（C54×C66, C32×C54, C32×C66）を用いた6組みの四元交雑種の繭糸長と繭糸纖度を調査した。

実用品種との纖度偏差特性を比較するため、1粒繰糸方法により各四元交雑種の10粒の繭について100m毎の纖度を測定し粒内纖度偏差を求めた。そして6組み合わせの中から目的とする纖度曲線に適合する組み合わせを選び、対照の普通品種「美・蓉×東・海」および細纖度品種「あけばの」の纖度曲線と比較した。

4. 産卵調査

新たに選出した四元交雑種における交雑原種の産卵性を従来から産卵性が優良であると評価されている「朝×日」および「東×海」と比較した。

蛹期から産卵までの保護温度は25°C～27°Cとし、雄蛾抑制時の温度を10°Cとした。交尾は各組み合わせの日本種交雑原種と中国種交雑原種の正逆交配を行った。雌蛾は割愛後、ばら種用産卵台紙に産ませた。

調査は産卵効率にかかわる以下の項目について行った。
 ①収繭量：4齢基本蚕数を1万頭に換算した値とした。
 ②発蛾歩合：雌雄鑑別で得られた健蛹数を基に算出した。
 ③交尾歩合：羽化した雌蛾の総数をもとに算出した。
 ④正常産卵蛾：200粒以上産卵した蛾とした。
 ⑤少数産卵蛾：産卵数200粒未満の蛾とした。
 ⑥累積産卵蛾：台紙に積み重ねるように産卵した蛾。
 ⑦不産卵蛾：交尾をしたが産卵しなかった蛾の数。
 ⑧不受精産卵蛾：産卵した粒数の中に不受精卵が20%以上含まれる蛾とした。
 ⑨種繭1kg当たりの粗卵量：卵を産み付けられた産卵台紙の重量から台紙重量を減じた値を収繭量で除して算出した。
 ⑩種繭1kg当たりの精選卵量：卵を台紙から洗い落とし、不受精卵、死卵、その他ゴミを取り除いた受精卵の総重量を収繭量で除した値とした。
 ⑪産卵効率：収繭量×種繭1kg精選卵量とした。
 ⑫1蛾当たり平均産卵数：精選卵量と1gの粒数から算出した総粒数を雌の総交尾蛾数で除した。

結 果

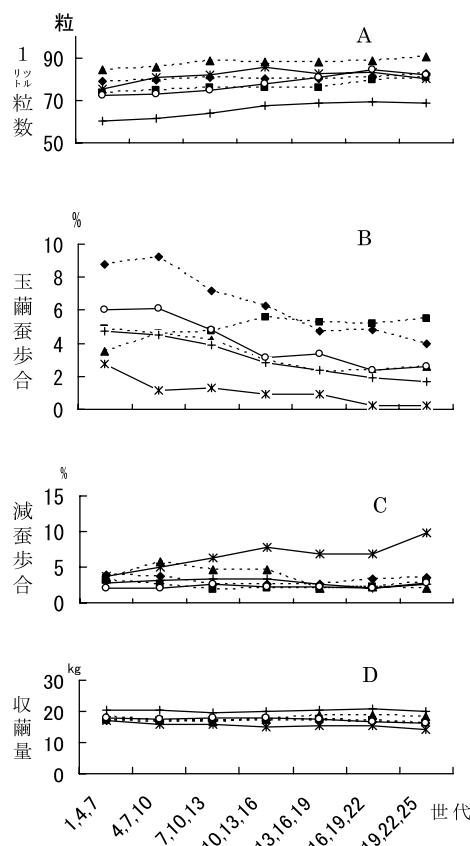
1. 選抜に伴う各計量形質の変化

材料 6 種の N12, N52, N77, C32, C54, および C66について各計量形質の推移を第 3-1 図から第 3-3 図に示した。この図では飼育時期による成績の振れを避けるため、春蚕期の値を取り上げ前後 3 年の平均値を用いた平均移動法⁴⁾によって表した。

図から以下のことがうかがえる。1 ℥粒数は世代を重ねる毎に多くなり、25世代目には選抜開始当初と比較して10粒前後増加した。選抜により繭形が小さくなつたことを示している。玉繭蚕歩合は N52, N77, C32, C54 と C66 種では減少させることができたが、N12 は 2 %増加した。減蚕歩合は、各系統ともに選抜初期において高かったが20世代以後に 2 ~ 3 %台に減少した。ただし C54 では逆に増加した。収繭量は各系統とも選抜開始当初の値をほぼ維持していた。

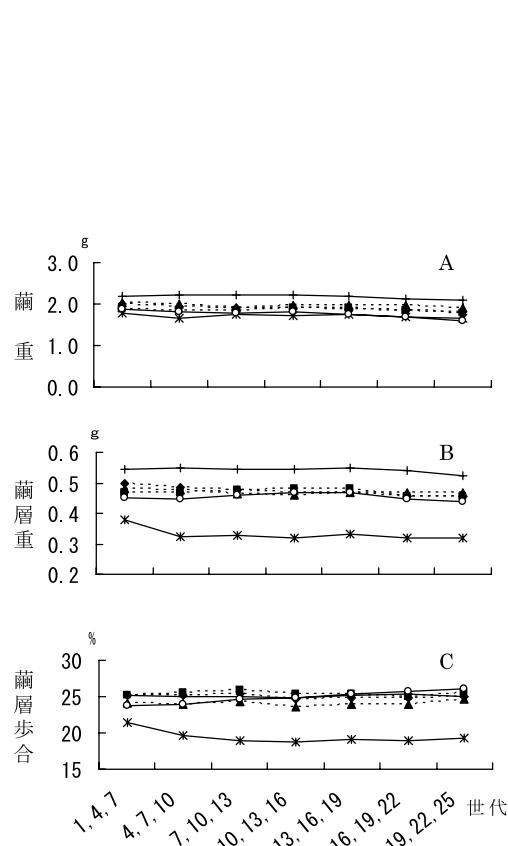
繭重は世代の後半でやや減少する傾向が示されたが繭層重は維持されていた。繭層歩合は N12 および C66 で初期世代と変わらなかつたが、C32 および N52 では増加した。

繭糸長、繭糸量、繭糸纖度は初期世代の値が維持された。落ちよ回数は中国種系統では 7 世代から13 世代になると減少傾向にあり、N52 では12 世代から19 世代の後に少なくなつた。



第 3-1 図. 選抜にともなう 1 ℥ 粒数, 玉繭蚕歩合, 減蚕歩合および収繭量の推移

A, 1 ℥ 粒数; B, 玉繭蚕歩合; C, 減蚕歩合; D, 収繭量;
破線, 日本種; 実線, 中国種; ◆, N77; ■, N12; ▲, N52; +, C32; *, C54; ○, C66; 春蚕期の前後 3 年の飼育成績を平均移動法により算出



第 3-2 図. 選抜にともなう繭重, 繭層重および繭層歩合の推移

A, 繭重; B, 繭層重; C, 繭層歩合; 破線, 日本種; 実線, 中国種; ◆, N77; ■, N12; ▲, N52; +, C32; *, C54; ○, C66; 春蚕期の前後 3 年の飼育成績を平均移動法により算出

繭重の雌雄差について7世代、16世代、25世代の調査結果を日本種系統（第3-4図）、中国種系統（第3-5図）についてそれぞれ示した。日本種系統では、N12が7世代目の0.37gから25世代目では0.32gへ、N52が0.42gから0.26gに、N77が0.39gから0.32gまで縮小した。中国種系統では、C32が0.52gから0.35gへ、C54が0.49gから0.31gに、C66が0.55gから0.29gまで縮まり、中国種系統での選抜効果がより高かった。

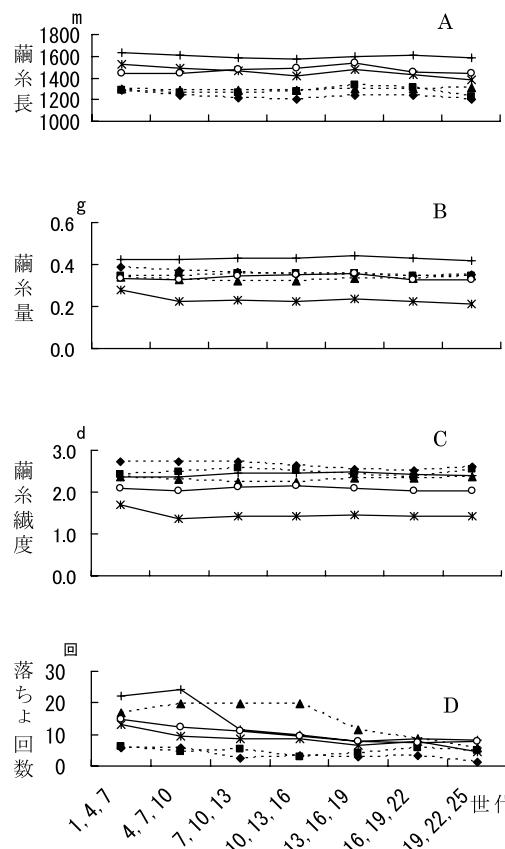
2. 四元交雑種の選出

前述（材料と方法：交雑試験に記述）した日本種交雑原種2組と中国種交雑原種3組を交雑した四元交雑種6組の繭糸長と繭糸纖度を第3-2表に示した。

N77・N52に交雑した3組の四元交雑種の繭糸長はC54・C66で1,300mと長く、C32・C54は1,183mで短く、C32・C66は1,250mとなった。繭糸纖度はC54・C66が1.97dと細くなり、C32・C54は2.35dと太く、C32・C66も2.30dであった。

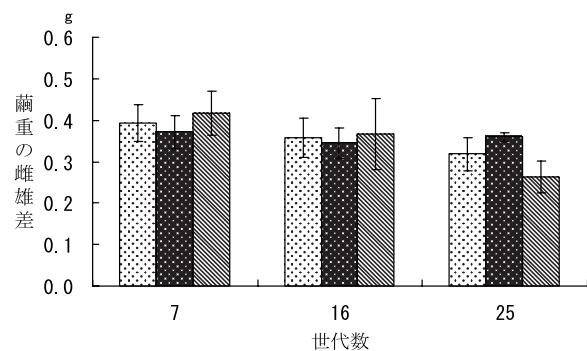
N12・N52に交雑した3組の四元交雑種の繭糸長はC54・C66で1,350mと長く、C32・C54は1,100mと短く、C32・C66は1,340m長くなかった。繭糸纖度はC54・C66が2.09dと細く、C32・C54は2.07dで前者と変わらず、C32・C66は2.15dであった。

それら6組の四元交雑種の繭の粒内纖度偏差を第3-6図A-Fに示した。図から明らかなようにN77・

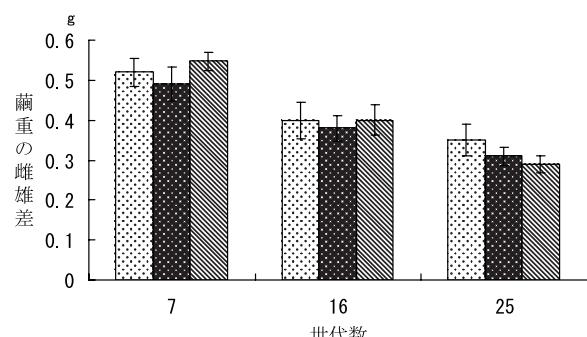


第3-3図. 選抜にともなう繭糸長、繭糸量、繭糸纖度および落ちょ回数の推移

A, 繭糸長；B, 繭糸量；C, 繭糸纖度；D, 落ちょ回数；破線、日本種；実線、中国種；◆, N77；■, N12；▲, N52；●, C32；○, C54；○, C66；春蚕期の前後3年の飼育成績を平均移動法により算出



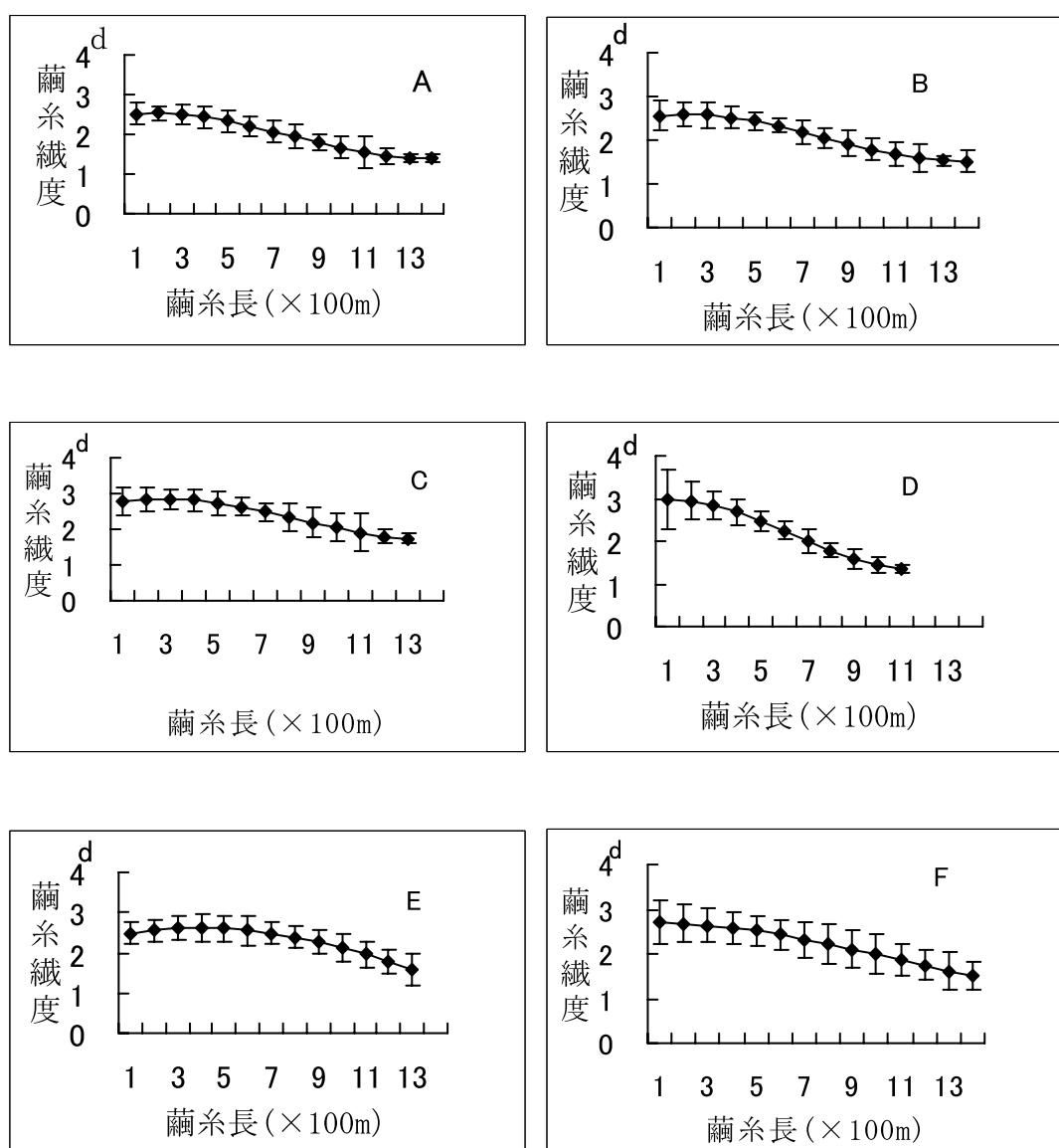
第3-4図. 選抜による日本種選抜系統内雌雄差の推移
◆, N77; ■, N12; ▲, N52 縦棒は標準偏差



第3-5図. 選抜による中国種選抜系統内雌雄差の推移
●, C32; ○, C54; ▲, C66
縦棒は標準偏差

第3-2表. 四元交雑種の繭糸長と繭糸纖度の実測値

交配型式	繭糸長(m)	繭糸纖度(d)
N77・N52×C54・C66 ×C32・C54 ×C32・C66	1,300	1.97
	1,183	2.35
	1,250	2.30
N12・N52×C54・C66 ×C32・C54 ×C32・C66	1,350	2.09
	1,100	2.07
	1,340	2.15



第3-6図. 四元交雑種の粒内纖度偏差
A, N77・N52×C54・C66 ; B, N12・N52×C54・C66 ; C, N77・N52×C32・C54 ; D, N12・N52×C32・C54
E, N77・N52×C32・C66 ; F, N12・N52×C32・C54 各点は平均値±標準偏差

N52×C54・C66 (A) および N12・N52×C54・C66 (B) は繭層の外層から 200 m で 2.5d と最も太くなり、1400 m で 1.4d まで徐々に細くなかった。N77・N52×C32・C54 (C) は 100 m で 2.77d と太く始まり、300 m で 2.85d と最も太くなり、1300 m で 1.73d まで細くなかった。N12・N52×C32・C54 (D) は 100 m で 2.96d で繭層の外層で最も太くなり、1100 m までに 1.4d と細くなかった。N77・N52×C32・C66 (E) は 500 m で 2.66d と繭層の中層部で最も太くなり 1300 m で 1.57d まで細くなかった。N12・N52×C32・C66 (F) は 200 m で 2.74d と最も太くなり、その後、1400 m で 1.5d まで直線的に細くなかった。

以上の結果から、繭糸纖度特性については N12・N52×C32・C66 (第 3-6 図 F) が 6 組の四元交雑種の中で、纖度偏差が外層から内層に向けて直線的に細くなる形状を示す組み合わせであることがわかった。

この組み合わせの纖度曲線を対照品種の「美・蓉×東・海」と「あけぼの」の纖度曲線と比較した (第 3-7 図)。

「美・蓉×東・海」は、繭糸開始の外層部で 3.71d から徐々に太くなり 300 m で最も太い纖度 4.30d を示した。それ以降徐々に細くなり 1,100 m では 1.64d まで細くなかった。この纖度特性は $Y = 4.84 - 0.342x - 0.102x^2 - 0.0054x^3$ で近似される放物線を呈し、纖度の最大値と最小値の差が 2.66d であった。

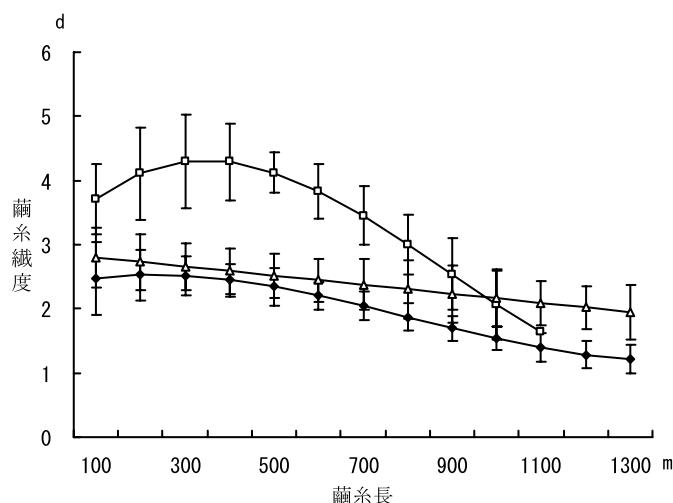
「あけぼの」においては、外層の 2.48d から徐々に太くなり、200 m で 2.53d と最も太くなかった。その後徐々に細くなり 1,300 m で 1.22d になる $Y = 2.405 - 0.167x - 0.00554x^2 + 0.00173x^3$ の近似曲線を呈した。特徴は N12・N54×C32・C66 に比べ 700 m からの纖度が細くなることで、最大纖度と最小纖度の差は 1.31d であった。

これに比べて、N12・N52×C32・C66 は繭糸始めで 2.80d と太く、その後徐々に細くなり 1,300 m で 1.95 d になる直線的な纖度偏差を呈した。これは $Y = 2.37 - 0.0634x - 0.00791x^2 + 0.000192x^3$ で近似され、調査した 6 組み合わせのなかで最大纖度と最小纖度の差は 0.85d と粒内纖度偏差が極めて少ないことを特長とする交雑種であることが明らかになった。

3. 選出された交雑種の蚕種製造に関わる特性の調査結果

交雑原種の飼育成績と産卵性の調査結果を第 3-3 表と第 3-4 表に示す。収繭量は日本種、中国種ともに選出した交雑原種の方が「朝・日」、「東・海」に比べ多かった。発蛾率はいずれも 95% 以上であった。交尾率は対照品種がややまさったが、差は僅かであった。

正常産卵蛾率は日本種交雑原種「N12・N52」が対照の「朝・日」に比べ 3 % 程度低いが、これは累積産卵蛾率が 10.1%，不産卵蛾率が 6.3% と高いことによる。この点ではやや不満足な結果となった。逆に中



第 3-7 図. 育成四元交雑種 N12・N52×C32・C66 および 2 種の対照品種の粒内纖度偏差
△, N21・N52×C32・C66; □, 美・蓉×東・海; ◆, あけぼの; 各点は平均値±標準偏差を示す。

国種の交雑原種「C32・C66」の正常卵蛾率は、対照の「東・海」に比べ6%程度まさっている。この結果は日・中相互交配による産卵効率が対照品種と同等もしくはややまさっていることを示している。

種繭1kg粗卵量は「朝・日」が103.4gに対し「N12・N52」では97.2g、「東・海」の114.5gに対して「C32・C66」が100.9gと、いずれも対照より劣った。精選卵量においても「朝・日」の93.0gに対して「N12・N52」が91.9g、「東・海」の103.0gに対して「C32・C66」が93.1gといずれも対照品種の成績を下回った。しかし、産卵効率(収繭量×種繭1kgの精選卵量)で見ると対照とほとんど差がなく、いずれも対照品種と同程度の高い値を示した(第3-4表)。

考 察

本研究における当初の育種目標は、普通蚕品種並みの収繭量を有し、かつ、繭糸長が長く繭糸纖度が細い品種の作出である。育成原種として選定した6品種はあらかじめ9年間、27世代におよぶ選抜を行ってきたものである。収繭量に寄与する形質は化蛹歩合、玉繭蚕歩合、減蚕歩合と繭重が考えられる。繭重は収繭量と相関にあり、繭糸纖度とは負の相関があることを念頭において選抜を進めた。

第3-1図のように繭の1ℓ粒数を増加させ繭形を小さくする選抜は、第3-3図に示したように繭重を軽くする方向に働いたと分析される。一般に、繭重を重くする方向への効果的な選抜方法として個体選抜がある。本研究においては雌雄間差異を縮小するために個体選抜を用いた。その結果、各系統の繭重は世代を追うごとにわずかながら低下した。それにもかかわらず、N52とC32は、育成開始当初の収繭量を維持している。これは、選抜育成の過程で玉繭蚕歩合が3%減少し、減蚕歩合も減少していることが主たる要因であると想定される。また、N12は減蚕歩合が少ないため、繭重の減少と玉繭蚕歩合の増加にもかかわらず収繭量が変化せずに維持された。C66の場合は繭重の減少があっても玉繭蚕歩合が減少していることから、収繭量への影響は小さかったものと考えられる。

第3-3表. 交雑原種N12・N52, C32・C66および2種の対照交雑原種の産卵状況

品種名	発蛾率 (%)	交尾率 (%)	正常産卵 蛾率(%)	累積産卵 蛾率(%)	少數産卵 蛾率(%)	不産卵蛾率 (%)	不受精産卵蛾率 (%)
N12・N52	98.3	96.4	77.8	10.1	5.1	6.3	0.6
朝・日	97.0	97.3	81.4	5.6	6.8	2.8	3.4
C32・C66	96.8	98.9	89.8	0.6	6.3	2.8	0.6
東・海	98.4	100	83.9	0.5	3.0	6.5	6.0

飼育時期、1998年春蚕期

第3-4表. N12・N52, C32・C66および2種の対照交雑原種の産卵効率

品種名	収繭量 (kg)	種繭1kg 粗卵(g)	種繭1kg精 選卵量(g)	産卵効率 (g)	平均産卵 粒数(粒)
N12・N52	18.4	97.2	91.0	1674.4	510
朝・日	17.8	103.4	93.0	1655.4	524
C32・C66	18.7	100.9	93.1	1741.0	520
東・海	17.2	114.5	103.0	1771.6	501

飼育時期、1998年春蚕期; 産卵効率、収繭量×種繭1kg精選卵量

繭層重は繭糸纖度と相関がある。今回の選抜では繭糸纖度が太くならないように、個体選抜において繭層重を重くする選抜圧を加えなかった結果、繭層重が45～55 cgを維持することになった。これと同時に繭重の雌雄間差を少なくする選抜により雌の繭重が軽くなり相対的に繭層歩合が高い値になったと考えられる。

繭糸纖度は繭糸長と負の相関が高く、繭糸長を長くし纖度を細くすると繰糸における物理的負荷により切断され、落緒回数が増加する。落緒回数は解じょ率の指標として重要であることから、今回の育成に当たっては、全ての系統について落緒回数を10回以内になるよう改良した。

繭重の雌雄差は繭糸纖度の雌雄差を生じることから、個体選抜にあたり、雌においては平均値付近にある個体で維持する一方、雄においては繭重が重い個体を選抜することを繰り返した。その結果、日本種系統、中国種系統とも雌雄差は縮小した。選抜の効果は日本種系統より中国種系統の方が大きかった。

日本種系統と中国種系統における選抜効果の相違に関しては、山本ら²⁹⁾の報告がある。山本らは育成中の品種について計量形質相互の相関を調べた結果、日本種では繭糸纖度と繭重および繭層重の間で高い相関がみられ、中国種では日本種より相関が低いことを示した。このことから、中国種系統は細纖度で多糸量系の選抜が容易であるとしている。今回の結果は、この考察を裏付けている。

本研究において、日本種の交雑原種「N12・N52」の繭糸長は1,241 m、繭糸纖度は2.64dであるのに対し、中国種の交雑原種「C32・C66」は1670 m、2.16dと日本種よりもまさっている。これを交配した四元交雑種「N12・N52×C32・C66」の繭糸長は1,340 mで、推定値(1,162 m)に対し実測値が13.8%上回っており、繭糸纖度は2.15dで推定値(2.23d)に対し実測値が3.7%細くなっている。

N12・N52×C32・C66を最終候補として選抜した理由は、繭糸長の実測値が推定値より長く、繭糸纖度では細くなっているところにある。

特に粒内纖度偏差が織糸開始から直線的に細くなり、しかも纖度の最大値と最小値の差が0.85dと非常に小さいことは極めて好都合な特性であることができる。

すでに述べたとおり、繭重の雌雄差を小さくする方針のもと、雌の繭重の値を中庸に保つ選抜を行ったが、その結果得られた交雑原種の産卵性は、対照品種に比べて特段見劣りする点はなく、蚕種製造上の問題もないと判断された。そして、今回選出されたN12・N52×C32・C66は、著者らが所属する研究所内の交雑比較試験と山形県蚕糸総合センターにおける飼育試験¹²⁾を経て、時代の要請に応え「松岡姫」の名称で実用に提供されている。

要 約

第2章で得られた知見に基づき、繭糸纖度に特徴のある品種の選抜を行った。蚕業技術研究所保有の材料の中から候補6品種を選び、系統分離法による蛾区選抜と個体選抜を9年間で25代実施した。その結果、日本種の交雑原種N12・N52と中国種の交雑原種C32・C66が選出された。それらを組み合わせた四元交雑種の性状を調べた結果、収繭量多く、繭糸長く、繭糸纖度が細く、育種目標に合致した良好な成績を示した。特に粒内纖度偏差は極めて小さく、産卵性も優れ業界の要望に沿った品種であることが認められ、実用に提供された。

第4章 全齢人工飼料育による原蚕種の飼育

育成された四元交雑品種を製造する過程では、日本種2品種と中国種2品種を用いて、4品種の原々種を増殖する。さらに、これらを飼育して日本種と中国種の交雫原種を製造する。次に、この交雫原種を飼育して四元交雫種を製造する。蚕種製造業者は、これらの工程の種繭生産を分場農家と契約して行っている。しかし、分場農家の高齢化が進み契約が困難になっている。また、分場農家の飼育は通常、春蚕期と晩秋蚕期に行われている。この2蚕期に飼育した雌蛾について微粒子病の検査を行ったところ、検体から検出される割合が春蚕期で4.1%，晩秋蚕期で65.7%であった（第4-1表）。このように分場農家を使った種繭生産の可能な蚕期は、春蚕期に限られ、蚕種製造上大きな問題になっている。

桑育に比較して人工飼料育は、蚕種の保護技術と組み合わせることにより、蚕期に左右されない蚕種製造が可能となる。また、清浄環境下の飼育で微粒子病感染の恐れを排除することが可能である。これらのことから、原種の増殖から四元交雫種の製造までの工程に人工飼料の導入が期待される技術である。

蚕の人工飼料の開発は、吉田ら¹⁹⁾の先駆的な研究を端緒に1960年福田²⁰⁾ら及び伊藤・田中²¹⁾により人工飼料育が成功している。人工飼料の実用化にあたっては、交雫種の稚蚕人工飼料育と全齢人工飼料育の二つの方向に展開した。

稚蚕人工飼料育は、飼育方法⁴³⁾、掃立て方法と蚕座面積⁴⁴⁾、飼育温湿度、給餌回数と給餌量⁴⁵⁾、人工飼料に対する品種の適合性⁴⁶⁾などが各県の試験場において精力的に研究がなされた。生沼らは既存の稚蚕共同飼育所への技術導入を試みている⁴⁷⁾。また、人工飼料の組成改善^{48, 49)}や稚蚕用人工飼料の給餌装置の開発がなされた^{50, 51)}。

一方、蚕の全齢人工飼料育は、原種製造のための桑に替わる飼料として研究が進められた。伊藤らは桑粉末を含む人工飼料で原種の「日124号」と「支124号」を全齢飼育し、品種間の人工飼料育に対する適応性に違いがあることを報告している⁵²⁾。堀江らは9品種の原種をもじいて摂食性の改良を試み、桑葉粉末添加の影響が中国種で大きい。脱脂大豆粉末は90%エタノール抽出大豆粉末か大豆精製蛋白質を30%添加した飼料を用いることで良好な成績を認められることを見出した⁵³⁾。須藤らは原種用の飼料を1齢～2齢期用と3齢～4齢期用および5齢期用と、幼虫の発育に応じた人工飼料組成を設計している⁵⁴⁾。

このように、多くの人工飼料の研究は、幼虫の発育を指標にして行われてきており、幼虫から蛹や成虫へ劇的に変化する生理と人工飼料育との関係の研究は少ない。かかる視点から本章では、原種の人工飼料育における問題点を明らかにし、蚕種製造に導入しうる人工飼料の開発に資する目的で研究を行った。

材料と方法

1. 供試蚕品種および飼育環境

供試した蚕品種は、蚕業技術研究所で育成された原種「朝」と「海」を用いた。卵の催青は温度25°C、湿度(RH)75%，光条件が16L:8Dの長日環境とした。幼虫の飼育温度は1齢が29°C、2齢が28°C、3齢が27°C、4齢が26°C、5齢が25°Cとし、室内の湿度を常時75%に保った。蚕座は防乾紙2枚の間に設けた。

第4-1表. 原種を農家で飼育した場合の微粒子病検査成績

飼育時期	羽化率 %	総雌蛾数 (蛾)	検体数	陰性検 体数	陽性検 体数	陽性検出 率(%)
春蚕期	98	686	49	47	2	4.1
晩秋蚕期	94	490	35	12	23	65.7

原蚕は3箱分（1箱27000粒）を飼育した。1齢～2齢は人工飼料育、3齢～5齢は農家の桑育である。母蛾検査は14蛾を1検体とする集団検査で行った。

摂食期間と眠期の湿度調節は蚕座を防乾紙で覆うことで湿度を保ち、その防乾紙を取り除くことで蚕座を乾燥させた。蔟中における蛹の保護は25°C, 75%RHとした。

2. 人工飼料に対する原種の適応性試験

飼育は交雑種用稚蚕人工飼料（片倉工業）を用いた。すなわち、1齢用飼料で1齢～2齢の幼虫を飼育し、2齢用飼料を3齢の幼虫の飼育に用い、3齢用飼料で4齢と5齢の幼虫を飼育した。稚蚕期の給餌量は関川らを参考にして、1頭当たり1齢期で0.08 g, 2齢期0.18 g, 3齢期0.7 gとした⁵⁵⁾。壮蚕期は4齢期が1頭あたり2.5 gとし、5齢期では16 gを給餌した⁵⁶⁾。

蚕種は日本種系統の原種「朝」を5蛾、中国種系統の原種「海」を50蛾用いた。掃立ては孵化した蟻蚕を失わないように注意して行った。孵化させた産卵台紙は、掃立て後に80°Cで乾燥し孵化卵を数えこれを基本蚕数とした。

調査は3齢2日目、4齢2日目と5齢2日目の頭数および結繭数を数え、この調査日までに所定の齢、または繭に到達できなかった幼虫を含めた遺失蚕を減蚕とした。減蚕数は基本蚕数から3齢蚕を減じた頭数を稚蚕減蚕とし、3齢頭数から4齢頭数を減じた頭数を中蚕減蚕、4齢頭数から結繭数を減じた頭数を壮蚕・蔟中の減蚕とした。

3. 脱脂大豆粉末添加量と給餌量の違いが5齢幼虫の発育におよぼす影響調査

試験は「朝」を用いて1齢期から4齢期までを原種用人工飼料（日本農産工業）で飼育した。5齢期の飼育は堀江らの組成を参考⁵⁷⁾にして脱脂大豆粉末（昭和産業）添加量を異にした3種の人工飼料を作成した（第4-2表）。すなわち、脱脂大豆粉末18.6%に対し食品添加物用のセルロース粉末（日本製紙）を23%加えた組成、脱脂大豆粉末27.9%に対しセルロース粉末を13.7%加えた組成および脱脂大豆粉末37.2%に対しセルロース粉末を4.4%加えた組成を作成した。これらを一次組成とした。次に桑粉末23.2%，澱粉6.4%，クエン酸3.4%，アスコルビン酸0.9%，ビタミンB群7.1%，無機塩類2.6%，βシトステロール0.2%，寒天6.4%，ソルビン酸0.2%，蔗糖6.8%，大豆油1.3%を混合した。これを二次飼料とした。これらの人工飼料を組成18（脱脂大豆粉末18.6%添加組成）、組成28（同粉末27.9%添加組成）および組成38（同粉末37.2%添加組成）と表示する。

人工飼料の調製は、一次組成42.6%と二次組成組58.4%の割合で計量し、大きめのビニール袋に投入し良く攪拌した。次に、0.03%のプロピオン酸水溶液を粉体飼料の3倍量加え40分蒸煮した後、二重にしたビニール袋に人工飼料を充填し、冷却しながら形状を整え、10°Cの冷暗所に保存した。なお、製造した湿体飼料の水分率は76%であった。

飼育はプラスチック容器（縦45 cm×横34 cm、深さ7.5 cm）に5齢起蚕幼虫を各試験区50頭いれて行った。給餌量は5齢期間の1頭当たりの総湿体給餌量を10 g, 15 g, 20 g, 25 gとし、1日1回の給餌を第4-3表に基づいた量で行なった。

幼虫の飼育経過日数、繭質および産卵性について調査を行った。また、食下量、消化量を調査し消化率を算出した。飼育経過日数は{Σ(5齢餉食から熟蚕までの日数×熟蚕頭数)/飼育頭数}で算出した。食下量と消化量は、平塚の方法⁵⁸⁾により求めた。すなわち、食下量は水分率の逆数を給餌量に乗じて乾物給餌量とし、残した飼料の乾物重を減じた。消化量は食下量から糞の乾物重を減じて算出した。消化率は消化量を食下量で除した百分率で示した。

繭質については、結繭した全ての繭を切開し、化蛹数を調べた後に繭重、繭層重を個体秤量した。

産卵性の調査は発蛾率、交尾率、不産卵蛾率、1蛾の産卵数について行った。発蛾率は羽化した数を健蛹数で除した百分率で示した。交尾率は交尾が成立した総数を羽化数で除した百分率で示した。不産卵蛾率は産卵数が100粒未満の蛾を交尾蛾数で除した百分率で示した。1蛾の産卵数は不産卵蛾を除いた蛾が産卵した卵数を個体ごとに数えた平均産卵数で示した。

4. タンニン酸添加飼料の検討

試験は原種「朝」を用いて1齢から4齢までを原種用人工飼料（日本農産工業）で飼育した5齢起蚕を

第4-2表. 脱脂大豆粉末添加量を変えた人工飼料の組成

組成		脱脂大豆粉末添加量		
		組成 18	組成 28	組成 38
一次 組成	大豆粉末	18.6	27.9	37.2
	セルロース粉末	23.0	13.7	4.4
	計	41.6	41.6	41.6
二次 組成	桑粉末	23.2	23.2	23.2
	澱粉	6.4	6.4	6.4
	クエン酸	3.4	3.4	3.4
	アスコルビン酸	0.9	0.9	0.9
	ビタミンB群	7.1	7.1	7.1
	無機塩類	2.6	2.6	2.6
	β -シトステロール	0.2	0.2	0.2
	寒天	6.4	6.4	6.4
	ソルビン酸	0.2	0.2	0.2
	蔗糖	6.8	6.8	6.8
大豆油	大豆油	1.3	1.3	1.3
	計	58.4	58.4	58.4
	合計	100.0	100.0	100.0

値は総粉体量に対する割合(%)で示した

第4-3表. 5齢50頭当たりの日別給餌量

原種名	日順	10 g 区	15 g 区	20 g 区	25 g 区
朝	1	29	44	59	74
	2	51	77	103	129
	3	59	88	118	147
	4	74	110	147	184
	5	81	121	162	202
	6	74	110	147	184
	7	74	110	147	184
	8	59	88	118	147
合計		500	750	1000	1250
単位 g					

各区50頭用いて行った。

脱脂大豆粉末添加量を変えて飼育した成績（第4-7表）から化蛹率と産卵数を指標にして脱脂大豆粉末添加量と給餌量との組み合わせを比較すると、組成18の15 g および20 g 納餌は化蛹率が高いが産卵数が少ない。組成28の15 g と20 g 納餌、組成38の10 g と15 g 納餌で化蛹率が高いが産卵数が400粒を越えていない。これに比べ、組成38の20 g と25 g 納餌は化蛹率が低いが産卵量では400粒を越えていることがわかる。

本試験では組成38にタンニン酸（純正化学）を添加して化蛹率の向上を検討した。

組成38（第4-2表）から澱粉とセルロースの合計である10.8%をタンニン酸の最大添加量とした。この改良した組成38に添加したタンニン酸の量は0%, 1%, 2%, 4%, 8%, 10.8%とし、不足分をセルロースで補った（第4-4表）。以後、この飼料を組成38改（タンニン酸無添加飼料）、組成1（タンニン酸1%添加飼料）、組成2（同2%添加飼料）、組成4（同4%添加飼料）、組成8（タンニン酸8%添加飼料）および組成11（同10.8%添加飼料）と表示する。

これらの飼料を用いて5齢幼虫に対する影響を調べた。なお、1頭当たりの給餌量は20 gとした。

5. 原蚕種壮蚕用人工飼料の作成と飼育

タンニン酸0%, 0.8%, 1.6%および3.2%に対してセルロース添加量を4.8%, 4%, 3.2%および1.6%混合した一次組成を作成した。次に、脱脂大豆粉末40%，産卵への効果があることが知られている桑粉末（真浦、1981）を35.2%添加し、クエン酸4%，アスコルビン酸1%，ビタミンB群0.5%，無機塩類1.2%， β -シトステロール0.2%，寒天6%，ソルビン酸0.2%，蔗糖6.1%，大豆油0.8%を混合した二次組成を作成した。これらの一次飼料4.8に対して二次組成を95.2混合して、タンニン酸含有量が異なる4種類の人工飼料を作った（第4-5表）。以後、この飼料を組成0（タンニン酸無添加飼料）、組成0.8（タンニン酸0.8%添加飼料）、組成1.6（同1.6%添加飼料）および組成3.2（同3.2%添加飼料）と表示する。

第4-4表. 5齢幼虫に対するタンニン酸添加量と生存試験に用いた人工飼料組成

組成	組成 38改	組成1	組成2	組成4	組成8	組成11
タンニン酸	0.0	1.0	2.0	4.0	8.0	10.8
セルロース	10.8	9.8	8.8	6.8	2.8	0.0
桑粉末	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2
大豆粉末	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2
クエン酸	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
アスコルビン酸	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ビタミンB群	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
無機塩類	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
β -シトステロール	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
寒天	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
ソルビン酸	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
蔗糖	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
大豆油	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

値は総粉体量に対する割合(%)で示した

飼育は5齢起蚕を各区50頭用いて1頭当たりの給餌量を17gとし、消化率、化蛹数、繭重、繭層重、1蛾の平均産卵量を調査した。また、産卵蛾の中に混在している不受精卵を数え、産卵した蛾数で除した1蛾当たりの平均不受精卵数を調べた。

結 果

1. 全齢人工飼料育における原種の適合性

日本種の原種「朝」と中国種の原種「海」を交雑種の稚蚕用人工飼料で結繭まで飼育した結果、「朝」は稚蚕期の減蚕が少なく、壮蚕期から結繭までに減蚕が多かった。「海」は稚蚕期に減蚕の発生が多く、壮蚕期の減蚕が少なかった(第4-6表)。総減蚕率は両者共に大きな差が無かった。

「朝」は1,438頭を掃立てから3齢期までの減蚕数が226頭と稚蚕期の15.7%が減蚕し、3齢から4齢期までさらに112頭が失われ、中蚕期の減蚕率が9.2%、5齢期から結繭までの減蚕数が320頭で減蚕率が29.1%であった。掃立てから結繭までの総減蚕率は45.8%であった。

「海」は18,554頭を掃立てから3齢期までの減蚕数が8,890頭で47.9%の稚蚕が減失し、3齢から4齢期までに1,398頭が失われ、14.5%が減蚕し、5齢から結繭までに639頭の蚕児が失われ、7.7%の減蚕であった。掃立てから結繭までの総減蚕率は58.9%であった。

2. 脱脂大豆粉末含有量と給餌量を異にした飼育成績

脱脂大豆粉末含有量の異なる人工飼料で「朝」を飼育した成績を第4-7表に示した。

5齢経過日数は、組成18で10g給餌区が7.96日と最も長く15g給餌で7.78日、20g給餌で7.14日、25g給餌で7.12日と同じ組成の飼料を給餌した場合には給餌量が多いほど幼虫の経過日数が短くなった。給餌

第4-5表. タンニン酸を添加した組成

	組 成	組成 0	組成 0.8	組成 1.6	組成 3.2
一次 組成	タンニン酸	0	0.8	1.6	3.2
	セルロース粉末	4.8	4.0	3.2	1.6
	計	4.8	4.8	4.8	4.8
	桑粉末	35.2	35.2	35.2	35.2
	大豆粉末	40.0	40.0	40.0	40.0
	クエン酸	4.0	4.0	4.0	4.0
	アスコルビン酸	1.0	1.0	1.0	1.0
	ビタミンB群	0.5	0.5	0.5	0.5
二次 組成	無機塩類	1.2	1.2	1.2	1.2
	β -シトステロール	0.2	0.2	0.2	0.2
	寒天	6.0	6.0	6.0	6.0
	ソルビン酸	0.2	0.2	0.2	0.2
	蔗糖	6.1	6.1	6.1	6.1
	大豆油	0.8	0.8	0.8	0.8
	計	95.2	95.2	95.2	95.2
	合計	100.0	100.0	100.0	100.0

値は総粉体量に対する割合(%)で示した

第4-6表. 交雑用稚蚕人工飼料で原種を全齢人工飼育した場合の減蚕

項目	品種名	孵化卵数	稚蚕減蚕	中蚕減蚕	壮・簇減蚕	合計
飼育頭数		1,438	1,212	1,100	780	—
減産数	朝	—	226	112	320	658
%		—	15.7	9.2	29.1	45.8
飼育頭数		18,554	9,664	8,266	7,627	—
減産数	海	—	8,890	1,398	639	10,927
%		—	47.9	14.5	7.7	58.9

交雑種用稚蚕人工飼料（片倉工業製）を用いた。飼料は1齢用を1齢と2齢、2齢用を3齢、3齢用を4齢～5齢に使用した。

第4-7表. 脱脂大豆粉末の添加量を異にした人工飼料での飼育成績

組成名	給餌量 g	5齢経過 日数	化蛹 率 %	繭重 g	繭層重 g	繭層 歩合%	発蛾 率 %	交尾 率 %	不産卵 率 %	産卵数 (粒)
組成 18	10	7.96	70.0	1.11	0.19	17.3	80.0	84.6	16.7	223
	15	7.78	96.0	1.50	0.28	18.3	100	92.9	25.0	279
	20	7.14	94.0	1.75	0.32	18.0	89.7	93.3	50.0	316
	25	7.12	90.0	1.82	0.34	18.5	92.3	92.3	16.7	326
組成 28	10	7.84	84.0	1.30	0.27	20.4	82.2	100	23.1	299
	15	7.04	96.0	1.70	0.33	19.5	95.8	100	4.8	361
	20	6.42	92.0	2.09	0.39	18.5	86.9	95.5	28.6	351
	25	6.30	80.0	2.14	0.42	19.4	94.0	86.7	38.5	315
組成 38	10	7.76	98.0	1.44	0.29	19.8	83.3	96.0	40.0	306
	15	6.74	90.0	1.84	0.35	19.0	91.4	100	28.6	339
	20	6.52	76.0	2.14	0.39	18.2	95.5	77.3	38.9	427
	25	6.44	78.0	2.21	0.40	18.1	92.4	100	18.8	455

組成18は脱脂大豆粉末の添加量が18%，組成28は28%，組成38は37%であることを示す。

量が同じで組成の異なった場合を比較すると15 g 納餌量では組成18の7.78日、組成28で7.04日、組成38で6.74日と脱脂大豆粉末の添加量が多い組成で短くなる傾向がみられた。

化蛹率は組成18の飼料を10 g 納餌した幼虫が70%，15 g 納餌で96%と最も高くなり、20 g 納餌で94%，25 g 納餌で90%であった。組成28の飼料は10 g 納餌が84%，15 g 納餌で96%，20 g 納餌で92%，25 g が80%と脱脂大豆粉末添加量の異なる飼料の中では最も安定した化蛹率を示した。組成38での化蛹率は納餌量10 g で98%と最も高い値を示し、15 g 納餌で90%，20 g 納餌で76%，25 g 納餌で78%と、納餌量が多くなるに従い低下する傾向にあった。

繭重は、組成18の10 g 納餌で1.11 g、15 g 納餌で1.50 g、20 g 納餌で1.75 g、25 g 納餌で1.82 g であり、組成28では10 g 納餌で1.30 g、15 g 納餌で1.70 g、20 g 納餌で2.09 g、25 g 納餌で2.14 g であった。組成38の飼料は10 g 納餌で1.44 g、15 g 納餌で1.84 g、20 g 納餌で2.14 g、25 g 納餌で2.21 g であった。

繭重は脱脂大豆粉末添加量が多い組成ほど重くなり、納餌量の多い幼虫ほど重くなかった。

繭層重は組成18飼料では10 g 納餌で0.19 g と最も軽く、 15 g 納餌で0.28 g, 20 g 納餌で0.32 g, 25 g 納餌で0.34 g であり、 組成28飼料では10 g 納餌で0.27 g, 15 g 納餌で0.33 g, 20 g 納餌で0.39 g, 25 g 納餌で0.42 g であった。組成38飼料では、 10 g 納餌で0.29 g, 15 g 紳餌で0.35 g, 20 g 紳餌で0.39 g, 25 g 紳餌で0.40 g であり、 繭重の傾向と同じであった。

繭層歩合は、 最大値が組成28飼料の10 g 紳餌の20.4%であり、 最低値は組成18飼料の10 g 紳餌の17.3%であった。最大値と最小値の差が3 %と小さかった。

発蛾率は組成18飼料の10 g 紳餌の80%が最も低く、 同一組成における15 g 紳餌の100%が最も高い値を示した。また、 交尾率においても組成38飼料の20 g 紳餌の77.3%から100%まで分布し、 最大率と最小率との差が小さかった。このように発蛾率と交尾率は組成や給餌量との間で一定の傾向は認められなかった。不産卵蛾率は組成18飼料の10 g 紳餌で16.7%, 15 g 紳餌で25%, 20 g 紳餌で50%, 25 g 紳餌で16.7%であった。組成28飼料では10 g 紳餌で23.1%, 15 g 紳餌で4.8%と最も少なく、 20 g 紳餌で28.6%, 25 g 紳餌で38.5%であった。組成38飼料でも10 g 紳餌で40%, 15 g 紳餌で28.6%, 20 g 紳餌で38.9%, 25 g 紳餌で18.8 %であった。

1 蛾の産卵数は、 組成18飼料の10 g 紳餌で223粒、 15 g 紳餌で279粒、 20 g 紳餌で316粒、 25 g 紳餌で326粒であった。組成28飼料は10 g 紳餌で299粒、 15 g 紳餌で361粒、 20 g 紳餌で351粒、 25 g 紳餌で315粒であった。組成38飼料は10 g 紳餌で306粒、 15 g 紳餌で339粒、 20 g 紳餌で427粒、 25 g 紳餌で455粒であった。このように、 脱脂大豆粉末の添加量と給餌量が多くなるほど産卵数も多くなる傾向がみられた。

3. 脱脂大豆粉末の含有量を異にした人工飼料における5齢幼虫の食下量と消化量

5齢幼虫の1頭当たりの食下量、 消化量と消化率を第4-1図に示した。組成18飼料は給餌量10 g の食下量が乾物量で2.39 g であり、 15 g 紳餌の幼虫が3.6 g, 20 g 紳餌が4.26 g, 25 g 紳餌が4.62 g であった。組成28飼料の食下量は、 10 g 紳餌で2.32 g, 15 g 紳餌で3.07 g, 20 g 紳餌で3.52 g, 25 g 紳餌で3.77 g であった。組成38飼料の食下量は、 10 g 紳餌で2.4 g, 15 g 紳餌で3.11 g, 20 g 紳餌で3.64 g, 25 g 紳餌で3.58 g であった。このように、 脱脂大豆粉末の添加量が少ない組成18飼料において食下量は増加した。

消化量は、 組成18飼料では5齢期を1頭あたり10 g 紳餌した場合が乾物量で0.9 g, 15 g 紳餌が1.27 g, 20 g 紳餌が1.45 g, 25 g 紳餌が1.52 g であった。組成28飼料での食下量は、 10 g 紳餌で0.99 g, 15 g 紳餌で1.27 g, 20 g 紳餌で1.39 g, 25 g 紳餌で1.47 g であった。組成38飼料での食下量は、 10 g 紳餌で1.14 g, 15 g 紳餌で1.46 g, 20 g 紳餌で1.64 g, 25 g 紳餌で1.62 g であった。このように、 脱脂大豆粉末添加量が多い組成38飼料で1頭当たりの消化量が多くなった。

消化率は、 組成18飼料での10 g 紳餌では37.8%, 15 g 紳餌で35.1%, 20 g 紳餌で34.1%, 25 g 紳餌で33 %であり、 組成28飼料では10 g 紳餌で42.5%, 15 g 紳餌で41.3%, 20 g 紳餌で39.4%, 25 g 紳餌で39% であった。また、 組成38飼料では10 g 紳餌で47.6%, 15 g 紳餌で47%, 20 g 紳餌で45.1%, 25 g 紳餌で45.3 %であった。このように、 脱脂大豆粉末の添加量の多い飼料ほど消化率は高くなっていた。

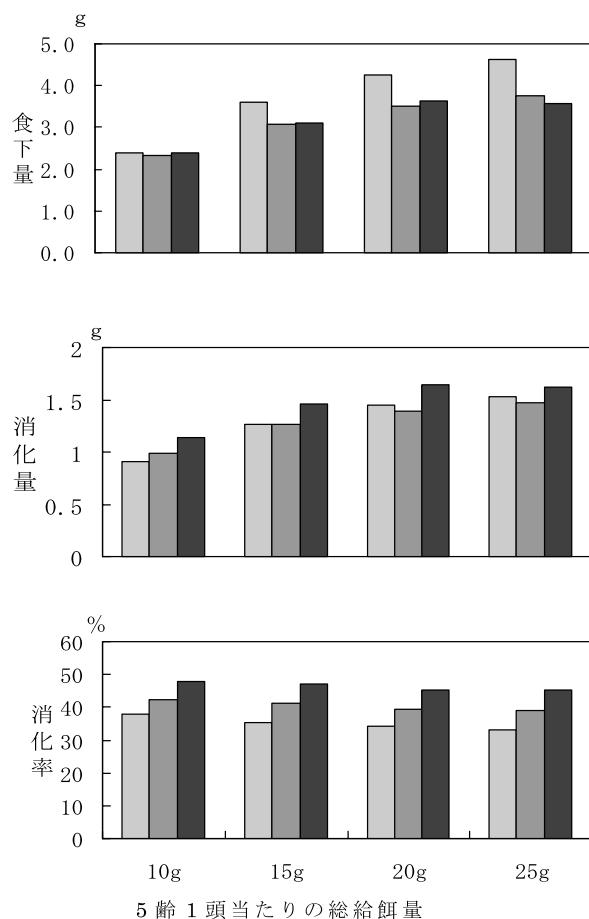
4. 人工飼料の食下量ならびに消化量と飼育成績との関係

食下量および消化量と各計量形質ならびに産卵成績との関係を第4-8表に示した。食下量と飼育成績との相関は5齢経過日数で相関があり、 化蛹数とは相関が無かった。蛹体重と繭層重の雌雄で相関があった。正常産卵蛾数、 不産卵蛾数および1蛾の平均蚕卵蛾数では相関が認められなかった。

消化量と飼育成績との関係は5齢経過日数で高い相関があり、 化蛹数とは無かった。蛹体重と繭層重の雌雄で高い相関があった。正常産卵蛾数および不産卵蛾数には相関が認められなかった。1蛾の産卵数は高い相関があった。このように、 調査した飼育成績は食下量に比べ消化量との相関が高いことが明らかになった。

5. 化蛹率と蛹体重との関係

第4-7表に示した飼育成績をもとに、 化蛹率と雌雄蛹体重との関係を分析した結果を第4-2図示した。雄は蛹体重が1 g 未満で化蛹率が低く、 1.00 g~1.45 g では化蛹率が90%以上の値であり、 1.50 g 以上で低

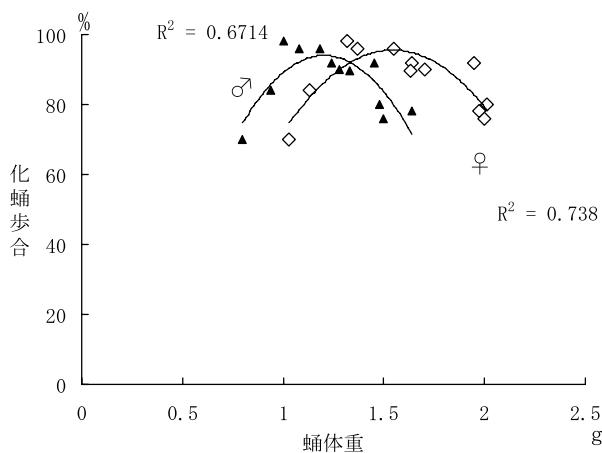


第4-1図. 脱脂大豆粉末の添加量を異にする人工飼料で飼育した5齢期における観物食下量、消化量と消化率
 ■組成18, ■組成28, ■組成38

第4-8表. 食下量および消化量と飼育成績の相関

項目	5齢経過日数	化蛹数	蛹体重		繭層重		正常産卵蛾数	不産卵蛾数	産卵数
			雌	雄	雌	雄			
食下量	-0.534	0.113	0.634	0.627	0.518	0.578	0.122	0.116	0.341
	*		*	*	*	*	*		
消化量	-0.838	-0.009	0.910	0.903	0.854	0.877	0.042	0.210	0.781
	**		**	**	**	**			**

*, 5%の危険率で有意な相関が認められた。; **, 1%の危険率で有意な相関が認められた



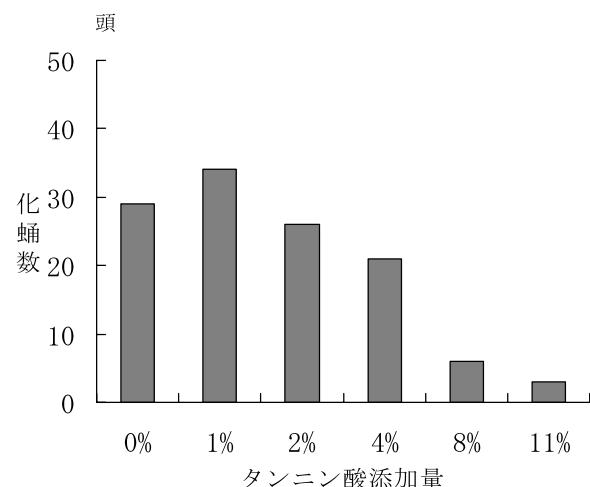
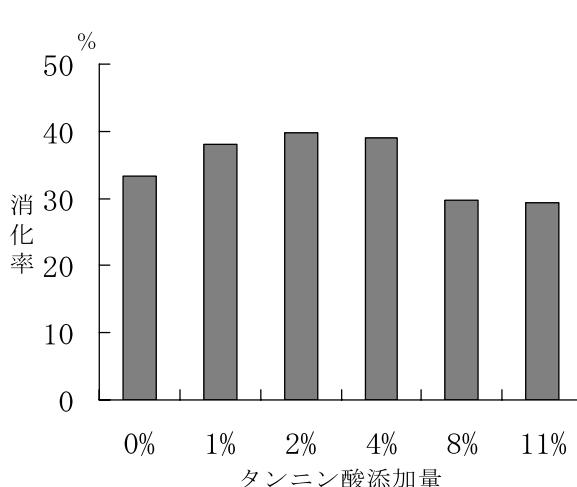
第4-2図. 飼育成績(第4-7表)に基づく雌雄別の蛹体重と化蛹率の関係
▲は雄、□は雌を示す

下している。相関係数は $R^2=0.6714$ であった。一方、雌は蛹体重が 1.32 g 未満の化蛹率で低く、1.32 g~1.95 g で 90% 以上の化蛹率を示し、2 g 以上で低下している。相関係数は $R^2=0.738$ であった。このように、蛹体重が軽い区と重くなった区において化蛹率が低下する傾向が認められた。

6. 人工飼料へのタンニン酸の添加試験

組成38にタンニン酸の添加量を変えた飼料で飼育した5齢幼虫の影響を調べた消化率の結果を第4-3図、化蛹数の結果を第4-4図に示した。

これらの飼料で飼育した消化率は対照である組成38改で33.3%に対し組成1で38.0%，組成2で39.8%，組成4で39.0%と組成38改飼料より高くなかった。さらに添加量を増加させた組成8では29.7%，組成11で29.3%と低くなかった。



第4-3図. タンニン酸の添加量と消化率の関係
原種「朝」を用い、5齢期の1頭当たりの給餌量を20 gとして5齢起蚕を各50頭用いておこなった。消化率は平塚⁵⁸⁾の方法により求めた。

第4-4図. タンニン酸の添加量と化蛹数の関係
原種「朝」を用い、5齢期の1頭当たりの給餌を20 gとして5齢起蚕を各50頭飼育した。

タンニン酸添加と化蛹数との関係をみると、対照である組成38改飼料で29頭化蛹したのに対して、組成1で34頭、組成2で26頭、組成4で21頭、組成8で6頭、組成11で3頭であった。このように、化蛹数は組成1で最も多く、タンニン酸の添加量が増加するにしたがい少なくなり、8%添加からは化蛹する頭数の減少が顕著であった。

7. 原蚕種壮蚕用人工飼料の飼育結果

組成38改飼料での実験結果による知見を基に、タンニン酸の添加量を0%, 0.8%, 1.6%, 3.2%添加した人工飼料（第4-5表）を作成した。5齢期1頭当たりの給餌量を17gとして飼育した結果を第4-9表に示す。

消化率は対照である組成0で37.4%，組成0.8で37.8%，組成1.6で38%と増加する傾向にあったが、組成3.2では34.6%に低下した。

化蛹数は、対照の組成0で40頭であったのに比べて、組成0.8で47頭と多くなった。組成1.6で44頭、組成3.2で46頭と少なくなった。

繭重は組成0で1.68gに比べて組成0.8で1.65g、組成1.6で1.74gと変わらなかったが、組成3.2では1.55gと軽くなかった。

繭層重は組成0が0.4g、組成0.8が0.38gとほぼ同じ重さであり、組成1.6で0.49gと重くなった。組成3.2では0.34gと繭重の場合と同様に軽くなかった。

繭層歩合は組成0で23.8%，組成0.8で23.6%，組成1.6で23.0%，組成3.2で21.9%と、タンニン酸の添加量が増加するに従い繭層歩合が低下した。

1蛾の産卵量は組成0で425粒、組成0.8で469粒、組成1.6で500粒と添加量が多くなるに従い卵粒数は増加したが、組成3.2で456粒と少なくなった。

不受精産卵数は、組成0で82粒、組成0.8で21粒、組成1.6飼料で20粒、組成3.2飼料で7粒とタンニン酸の添加量が多くなるに従い少なくなった。

考 察

交雑種を飼育する稚蚕用人工飼料を用いて日本種と中国種の原種における飼育の影響を調べるために稚蚕期から結繭までの期間に発生する減蚕数を調査した。減蚕率は日本種「朝」の減蚕が5齢期に多く発生し、逆に中国種「海」では1齢～3齢の間に多く発生した。このように減蚕率が発生する時期が蚕品種により異なっていた。

稚蚕期の減蚕率は日本種で15.7%に対し中国種では47.9%で半分が失われており、日本種の人工飼料に対する摂食性が中国種よりも勝っているとした知見^{52, 59, 60-64)}と一致した。このことから、稚蚕期の減蚕は摂食性に起因した減蚕であり、稚蚕期の人工飼料への摂食性を改良することによって減蚕を軽減できると

第4-9表. 5齢期のタンニン酸添加飼料による飼育成績

タンニン酸 添加割合	消化率 %	化蛹数 頭	繭重 g	繭層重 g	繭層 歩合	1蛾の产 卵粒数 %	不受精卵产 卵数 粒
						%	粒
0	37.4	40	1.68	0.40	23.8	425	82
0.8	37.8	47	1.65	0.39	23.6	469	21
1.6	38.0	44	1.74	0.49	23.0	500	20
3.2	34.6	46	1.55	0.34	21.9	456	7

飼育頭数は50頭、給餌量を17g/1頭とした。

考えられる。

中蚕期の減蚕率をみると、日本種「朝」が9.2%と中国種「海」が14.5%であり、この結果から稚蚕期の摂食性の良否が中蚕期にも影響していると思われる。

壮蚕期から結繭までの減蚕率は、日本種「朝」が29.1%に対して中国種「海」が7.7%と日本種の減蚕が高かった。この期間の蚕は絹糸腺の肥大、ワンドリング、営繭、蛹への変態と蚕にとって重要な変化が進行している⁶⁵⁾。幼虫の飼育期間中の観察では、4齢2日目から5齢7日目の熟蚕までの減蚕数に影響する生理的遺失蚕は認められなかつたため、壮蚕から結繭までの減蚕は簇中の減蚕と考える。

蚕業技術研究所において繰り返し飼育している減蚕率は20%前後である。本試験の中蚕期の減産率程度であり、桑葉育に比べると大きな差があることがわかる。

加藤らは日138号と支138号を用いて5齢期の1頭当たりの給餌量を17gから段階的に減少させた場合の化蛹率が給餌量17gで56%に対して40%給餌量を制限した化蛹率が94%に向上了。中国種の支138号では前者が82%，後者が92%であり、制限給餌の効果は日本種の方が大きかったとしている⁶⁶⁾。

そこで、本研究で観察された日本種の壮蚕から結繭までの減蚕率を低下させることについて、制限給餌と人工飼料中の大豆粉末添加量を異にして検討した。

壮蚕期から結繭までの間の減蚕が多かった日本種系統の原種「朝」を用いて、脱脂大豆粉末の添加量が異なる人工飼料を用い、その給餌量を変えて飼育試験を行った。

5齢経過日数は、脱脂大豆粉末添加量の少ない飼料ほど、かつ給餌量を減らすほど5齢幼虫期が延び、消化量と負の相関が高くなる知見が得られた。黒田らおよび加藤らは給桑制限が強化されるに伴って5齢期間が延長すると報告しているが^{66, 67)}、本質的にはそれらの結果と一致しているとみなされる。

繭重と繭層重は、加藤らおよび上田らの指摘^{56, 66)}と同様に、脱脂大豆粉末添加量の少ない組成ほど、そして、給餌量が少ないほど軽くなつた。本研究の繭重と繭層重は消化量との相関が認められることから、消化できる飼料の量が影響していると考察される。

今回の試験における繭層歩合は、最大で20.4%，最小で17.3%であった。通常日本種の原種「朝」を桑で飼育すれば約25%の繭層歩合値が得られる。この差について、人工飼料育における消化率は桑育より著しく高いが、消化吸収した物質の蚕体と繭質への残存率が低いとの指摘⁵⁷⁾と符合する。

発蛾率と交尾率は高く、化蛹した個体の多くが羽化し、交尾している。このことは、化蛹が成立すれば交尾までの発育には、人工飼料の影響が少ないと考えられる。蚕種製造の立場からは、より多くの蚕幼虫を化蛹させることが重要といえる。

1蛾の産卵数は、消化量と相関があり、脱脂大豆粉末の添加量が多い組成、もしくは給餌量の多かった幼虫ほど産卵量が多くなっている。高見によると蛹体重と産卵数、蛹体重と繭層重、繭層重と産卵数との間に相関がある⁶⁸⁾と桑育の成績を基に述べている。

第4-8表に示したとおり、消化量は蛹体重、繭層重および産卵数と高い相関がある。5齢期の食下量は、全齢期の合計食下量の85%以上を占めている⁶⁹⁻⁷¹⁾ことから、人工飼料育における産卵粒数の増減には、5齢期に蓄積された栄養が関係していると推察される。

化蛹率と蛹体重との関係は（第4-2図）、蛹体重と化蛹率の相関係数は雄で $R^2=0.671$ 、雌で $R^2=0.738$ である。また、消化量と蛹体重は高い相関を持ち、消化量に平行して蛹体重が変動することが示された（第4-8表）。この蛹体重と化蛹率の関係から蛹体重の軽い集団での化蛹率の低下は、消化量が少なく、生存に必要な栄養がとれなかつたため、化蛹が成立しなかつた蚕児が多くなつたと考えられる。一方、体重の重い側で化蛹率が低下する原因について、赤尾は家蚕の生理について、桑葉の飽食によりアミノ酸過剰症を起こしやすい状態にあり、絹糸腺の機能によってその危機から免れているとしている⁷²⁾。つまり、本試験で過剰に消化した栄養が生理障害を起こしたため、未化蛹蚕が多くなつたと考えられる。

以上の本試験の結果から、人工飼料による蚕種製造では、脱脂大豆粉末の添加量が多い場合には給餌量の制限を強くし、添加量が少ない場合には制限給餌をゆるくする飼育方法となる。今日、人工飼料組成の脱脂大豆粉末添加量と給餌量の関係で化蛹率を高く保つ方法^{22, 66, 73, 74)}がとられているのは理にかなつてゐる。

しかし、給餌量を制限することで、化蛹率を高くすることが可能になったが、1蛾の産卵数は消化量と

相関が高く、繭重が減少し産卵数がそれに比例して減少するという問題が発生する。つまり、全齢を人工飼料で飼育して効率よく蚕種を得るためにには、産卵性を向上した飼料でなければ使用に耐えない。

これまでの人工飼料の開発経過から、蚕が成長する上で栄養学的に必須な成分についての研究⁷⁵⁻⁸⁵⁾がなされてきた。

昆虫の発育に影響があるとするタンニンを代表とするポリフェノールは、植物に広く存在する物質で、加水分解によって主として没食子酸などの多価フェノール酸を生じる混合物の総称で収斂作用をもつ物質である。植物の葉の中に蓄積して食下する昆虫の消化酵素を変性させ、栄養を低下させようとする植物の防御物質であることが知られている⁸⁶⁾。

このような物質を添加した人工飼料の評価は検討されていない。本試験ではタンニンに似た性質を持つタンニン酸を供試し、高い化蛹率を有し、産卵性の高い飼料の構築を試みた。

タンニン酸を添加する組成について、第4-7表から1蛾の産卵粒数が多い組み合わせを選ぶと、組成38の給餌量が20gと25gである。水田らにより蛹体重と産卵量は、相関が高いことが明らかにされている⁸⁷⁾ことから、本試験の産卵量の多い組成38を改良し化蛹率の向上を目指した。

真浦は、原種の5齢用飼料は、桑粉末を多くし脱脂大豆粉末の添加量はやや少なくすることが産卵性の点から有利⁸⁷⁾としているが、本試験の結果は、脱脂大豆粉末の添加量を低くすると繭重が軽くなり、結果として産卵数の減少につながる恐れがあることを示している。

そこで、組成38にタンニン酸を添加して予備的な試験をへて、桑粉末添加量を35.2%と脱脂大豆粉末40%添加し、タンニン酸を0.8%，1.6%，3.2%添加した組成（第4-5表）で飼育した結果、これまでの組成18、組成28、組成38で飼育した成績より化蛹率が高く、産卵量が多い結果が得られた。

桑粉末の添加の効果は、繭層歩合の逆数から繭重に占める蛹重の比率がわかる。桑粉末を多く添加した飼料の蛹体重の比率は飼料0で76.2%，飼料0.8で76.4%，飼料1.6で77.0%である（第4-9表）。これに対し、飼料38の10g給餌で80.2%，15g給餌で81.0%，20g給餌で81.8%，25g給餌で81.9%である（第4-7表）。桑を飼料として飼育すると繭重に対する蛹体重の比率は75%になる。したがって、桑粉末の添加量を増加することで桑を飼料として食下したと同様な生理状態になったと考えられる。

タンニン酸の効果は、タンニン酸を添加した飼料の化蛹数が、桑だけを添加した飼料0よりも勝っていることがわかる。

鎌田は植物の葉にタンニンを蓄積し、食害した昆虫の消化酵素を変性させ、栄養価を低下させるとしている⁸⁹⁾。蚕幼虫には消化酵素ヌクレアーゼ⁹⁰⁾、プロテアーゼ⁸⁶⁾、トレハラーゼ⁹¹⁾、アミラーゼ^{92, 93)}、フォスファターゼ⁹⁴⁾等の多くの酵素やグリシン⁹⁵⁾などの食餌植物の消化に関わる物質が存在していることが知られている。これに対応する蚕幼虫の反応が一種のストレスとなり、蚕自身のもつ防衛反応の結果として消化率の変化や化蛹数の増加に現れたのではないかと考えられる。

要 約

全齢人工飼料育による蚕種製造を可能にする目的で、日本種「朝」と中国種「海」の原種を市販の稚蚕用人工飼料で飼育したところ、稚蚕期は日本種の摂食性が良く中国種の摂食性が劣るため、中国種の減蚕が多く発生した。一方、壮蚕期は日本種の壮蚕から結繭に減蚕が多く発生した。

5齢期は脱脂大豆粉末の添加量を18%，28%，38%とし、蛋白含有量の異なる飼料で飼育した結果、摂取した飼料に影響され、5齢経過日数は負の相関があり計量形質は相関が認められた。化蛹率と蛹体重との関係は、体重が軽いと化蛹率が低く、体重が重くなるに従い化蛹率が高くなる。さらに蛹体が重くなり2gを越えると化蛹率が再び低下する。この日本種の壮蚕から結繭までの減蚕は、消化量が多いことによる生理障害で減蚕が発生したと考えられる。

これまでの原種の人工飼料育において制限給餌が必要とされている要因は、化蛹率を高くすることにある。しかし、蛹体重が低下すると1蛾当たりの産卵数が減少する問題も生じる。これに対しては人工飼料へのタンニン酸の添加を考察した結果、1%添加飼料で飼育すると消化率が高まり、化蛹数も多くなり、産卵数も多くなることを見出した。

第5章 雄蛾の性フェロモンに対する反応性の解明

蚕種製造の現場において、幼虫期または蛹期に雌雄鑑別され、羽化した雌雄蛾は交配する相手方と交尾、割愛工程を経て採種に至る。羽化後の雄蛾は、羽ばたいて歩き回り雌を探索する行動が見られる。この行動が自身の羽を傷つけ、体表の鱗毛が剥離するほどの活発な品種が存在する一方で、行動がおとなしく翅の傷みがほとんどない活発でない品種も存在している。雄蛾の行動が活発すぎると蚕種製造の効率が低下する恐れがある。また、活発な羽ばたきに伴う鱗粉の舞い上がりは、作業環境を悪化させる。

蚕種製造の現場では、このような雄蛾の行動に差異があることが認められているが、何故そのような差異が生じるのかは不明である。加えて、雄蛾の突然死という問題も存在している。本章では蚕種製造を効率化する視点から、性フェロモンに対する雄蛾の反応性や雌蛾における性フェロモンの生産性について解明する。

材料および方法

1. 供試蚕品種と飼育条件

雄蛾の性フェロモンに対する反応性および性フェロモン保持量を調査する試験には、実用品種の日本種系の原種「朝」、「日」、「蓉」、「Np」と中国種系の原種「海」、「つくば」、「C45」、「C412」、「研白」、「02号」の10品種を供した。

飼育は、1齢～2齢を人工飼料育とし3齢～5齢を桑育とした初秋蚕期（7月～8月）、晚秋蚕期（9月～10月）ならびに日本農産工業KK製の原蚕用人工飼料を用いて全齢を人工飼料で飼育した初冬蚕期（11月～12月）に実施した。雌雄を鑑別した蛹を温度25°C、14L：10D条件下に保護し羽化させた。

2. 雄蛾の生存と交尾能力調査

蚕種製造の現場では雄蛾が突然死する現象がある。それが作業工程における雄蛾の取り扱いにより生じているのか、それとも雄蛾の交尾行動に起因しているのか明らかでない。そこで羽化後の行動が不活発な原種「蓉」と活発な原種「C45」の雄を各5蛾ずつ供した。雄蛾は25°C条件で、1頭ずつ蓋の出来る箱に入れ交尾に使用する以外には暗所に静置した。交尾は1日1回各4時間とした。交配の相手となる雌蛾には、原種の「C45」と「つくば」および交雑原種の「芙蓉」を用いた。交尾させた雌蛾は、卵の産下の有無と受精の有無を調査した。また、雄蛾は交尾前に体重を測定した。

3. 風洞による雄の羽ばたき反応調査

採種作業時に観察される品種間の雄蛾の翅の傷みや使用可能な交尾回数の差異は、性フェロモンに対する雄蛾の反応性の差による可否を明らかにする目的で風洞実験をおこなった。原種7品種を用いて、雄蛾の羽ばたき反応を観察した。

風洞は雌蛾の位置の風速0.1～0.3 m/secで雄蛾に向かって流れ、雄の位置で0.05～0.15 m/secで流れた空気が室外に放出するようにした。観察は温度25°Cの環境下で風上に未交尾の雌蛾を置き、雌から90 cm風下に雄蛾個体を静置して3分間行った。調査は雄蛾を風洞に置いてから羽ばたき開始するまでの時間とストロボライトを用いて雄蛾の羽ばたき回数(rpm/min)を測定した。

4. 性フェロモンに対する雄蛾の反応性

雄蛾の性フェロモンに対する反応性の経時変化を「蓉」、「C45」を用いて、羽化後3時間から54時間まで3時間毎に調査した。反応性の品種間差異については、羽化後30時間から36時間を経過した雄蛾を用いて、10品種について反応性の経時変化を調査した。

性フェロモンとして、合成ボンビコールを用い、ヘキサンで10倍段階希釈して、100 ng/mlから 10^{-5} ng/mlまで8段階の濃度溶液を調製した。反応性の検証はButenandt *et al* の方法⁹⁶⁾に準じ、ガラス棒

(直径 4 mm, 長さ 10 cm) の先端約 1.5 cm を所定濃度の溶液に浸し, 容器に触れないように静かに引き上げ, 空中に数秒間保持してヘキサンを揮発させた後, 雄蛾 1 頭を収容した透明なプラスチック製容器(直径 6 cm, 高さ 3.5 cm) に静かに挿入し, 雄蛾の行動を 3 分間観察した。

性フェロモンに対する反応として, 静止した雄蛾が翅を振動させる反応(以後, 翅振動反応と称する), および翅を強く羽ばたき腹部を曲げる反応(以後, 婚礼ダンス反応と称する)の二つの反応を記録した。データからプロビット法への当てはめ, または, 正規確率紙への当てはめにより 50% 反応濃度(BR₅₀ 値)を算出した。また, 同一濃度での供試頭数は反応性の経時変化については 20 頭とし, 品種間差異の調査では 10 頭とした。なお, 同一雄蛾を使用する場合は初回の供試濃度の 10,000 倍以上の濃度とした。

5. 性フェロモンの定量

性フェロモンは雌蛾の外部生殖器官にあるフェロモン腺から放出される。性フェロモンボンビコールの化学構造は, (E,E)-10, 12hexadecadien-1-ol である⁹⁶⁾。

ボンビコール量の測定は Ando *et al.* の方法⁹⁷⁾に従った。高速液体クロマトグラフに Nucleosil5NO₂ (ケムコ製) を充填したカラム(直径 4 mm, 長さ 150 mm) を装着し, 2 % 2-プロパノールを含むヘキサンを溶媒とし流速 2 ml/min の条件を設定し, 1 検体につき抽出液 50 μl を用い, 波長 235 nm で測定した。定量のために, あらかじめ 0.1 ng/ml, 0.3 ng/ml, 1 ng/ml, 3 ng/ml および 10 ng/ml のボンビコールを含むヘキサン溶液にて検量線を作成しておいた。これを基に抽出液中のボンビコール量 [溶液重/ヘキサン比重 0.661 × 濃度 × 1,000] を算出した値を性フェロモン保持量 (ng) とした。

6. 性フェロモン抽出法

供試品種は, 原種「C45」と「日」を用いた。蚕期および飼料を違えた場合に雌蛾が保有する性フェロモン保持量の検証には, 原種「蓉」を供した。

抽出は雌蛾の腹部を軽く圧迫して外部生殖器を露出させ, 性フェロモン腺を産卵管とともにピンセットで強く挟んで引き抜くことによって切り取り, それを約 1 ml のヘキサンに浸し, 性フェロモン腺を含んだままの溶液を抽出液とする A 法と, 同様に外部生殖器を露出させヘキサン 2 ml~3 ml で洗った溶液を抽出液とする B 方法を実施した。抽出時期は, 性フェロモンに対する雄の反応性を調査した同じ時間に行った。

結 果

1. 雄蛾の交尾行動が持続する日数の品種間差異

交尾行動が不活発な品種と活発な品種の雄蛾を同じ環境条件に置き, 交尾行動持続日数を調査した結果を第 5-1 表に示す。供試した原種「C45」は羽化後 3 日目までは交尾が認められ, 雌蛾も産卵し卵も正常に着色した。しかし, 4 日目に交尾した雄蛾の 1 頭は産卵したものの卵は不受精であり, 残りの 4 頭は交尾ができなかった。5 日目になると雄蛾は全て死亡した。「蓉」の雄蛾は羽化後 4 日目と 5 日日の各 1 頭に不受精卵産下が見られたが, 残りは 5 日目まで正常に交尾, 産卵し, 受精が成立した。また, 6 日目には 1 頭が交尾できなくなったが, その他の 4 頭は 7 日目まで交尾が可能であった。この卵は全て受精卵であった。

これらの雄蛾の体重変化を第 5-1 図に示す。「C45」は羽化当日の平均体重 0.422 g から時間の経過とともに軽くなり, 5 日目には平均体重は 0.172 g と軽くなり全ての雄蛾が死亡した。「蓉」は羽化当日の体重が 0.372 g で保護日数が経過すると共に徐々に軽くなり, 3 日目からは「C45」より体重が勝り, 5 日目においても 0.252 g と比較的重い体重を維持して生存していた。

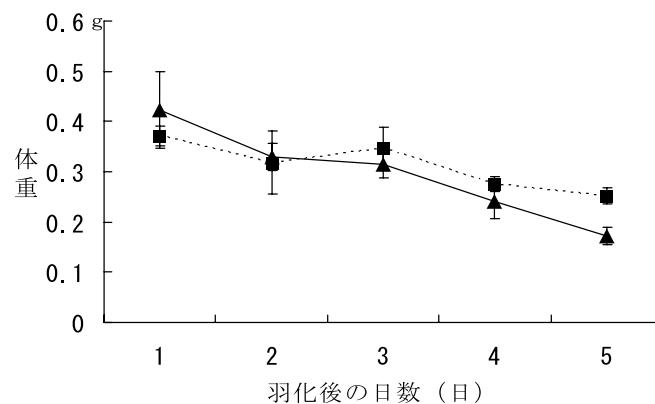
2. 風洞実験による雄蛾の羽ばたき反応の解析

風洞実験において雄蛾の羽ばたきが開始される時間に明白な品種間差異が存在していた(第 5-2 表)。すなわち, 羽化後の行動が活発な「Np」および「C45」、「海」は, 雄蛾を風洞に入れると 1 分未満で羽ばた

第5-1表. 雄蛾の交尾行動の持続日数

品種名	個体 No.	羽化初日	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
		○□	○□	○×	○×			
C45	1	○□	○□	○×	○×			
	2	○□	○□	○□				
	3	○×	○□	○□				
	4	○□	○□	○□				
	5	○□	○□	○□				
芙蓉	1	○□	○□	○□	○×	○×	○□	○□
	2	○□	○□	○□	○□	○□	○□	○□
	3	○□	○□	○□	○□	○□	○□	○□
	4	○□	○□	○□	○□	○□	○□	○□
	5	○□	○□	○□	○□	○□	○□	○□

羽化後25°Cの暗所に保持し、1日1回4時間の交尾を行った。○、交尾；□、受精卵産卵；×、不受精卵産卵；空白は雄蛾が交尾できなくなったこと、または死亡したことを示す。交尾に使用した相手の雌蛾は初日と2日目が「C45」、3日目が「つくば」、4日目以後は「芙蓉×芙蓉」である。



第5-1図. 1日1回交尾させた雄蛾の体重の変化
雄蛾を羽化後25°Cにて保護し、1日1回4時間交尾させた。■は原種「芙蓉」、▲は原種「C45」の体重を示し、縦線は標準偏差を示す。

第5-2表. 風洞実験による雄蛾の羽ばたき反応

反応の開始時間	原種名		
1分未満で反応した	Np	C45	海
1~3分未満で反応	日		
3分以上で反応	芙蓉	研白	W412

調査温度は25°C、風速は雌蛾の位置で0.1~0.3m/s、雄蛾の位置で0.05~0.15m/s、両者の距離は90cmの位置で行なった。

きをはじめた。「日」は1分から3分未満で羽ばたきが観察された。これに比べて、「蓉」「研白」ならびに「W412」の雄蛾ではわずかに翅震動をしたにとどまり、婚礼ダンスを起こした個体は認められなかった。なお、婚礼ダンス中の羽ばたき回数を調査した結果は「C45」が $2,362 \pm 145$ rpm/minで「蓉」が $2,212 \pm 125$ rpm/minであった。

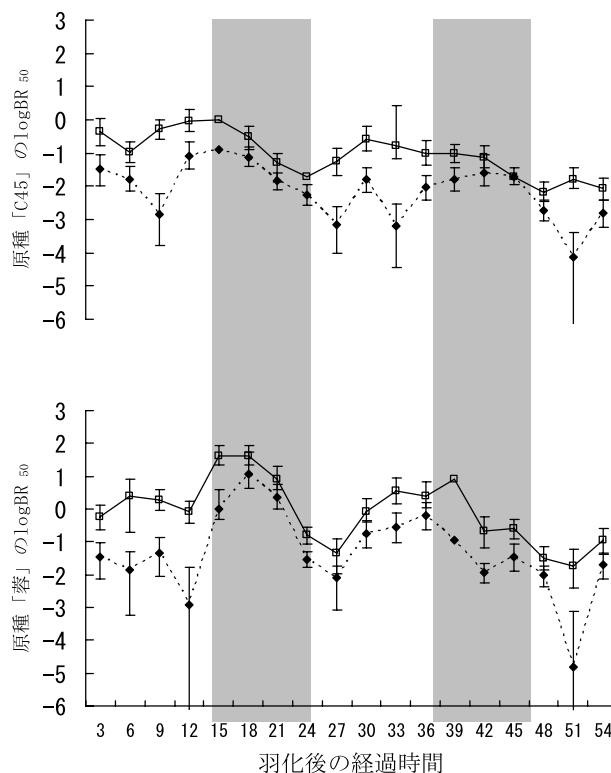
3. 雄蛾の性フェロモンに対する反応性の経時変化

風洞実験で羽ばたきが開始されず羽化後の行動が不活発な「蓉」と、羽ばたきが早期に開始され羽化後の行動が活発な「C45」について、性フェロモンに対する反応性の経時変化を調べた。その結果、光に対する周期性を示した（第5-2図）。

雄蛾の合成ボンビコールに対する50%反応濃度を対数で表した $\log(\text{BR}_{50})$ 値と雄蛾の反応性との関係は $\log(\text{BR}_{50})$ 値が低いと性フェロモンが低濃度でも交尾行動が触発される。つまり、雄蛾の反応性は高いことを示す。逆に、 $\log(\text{BR}_{50})$ 値が高いことは性フェロモンが高濃度でないと交尾行動が触発されないところから雄蛾の反応性が低いことになる。

図に示すように、「蓉」の翅振動反応は、羽化後12時間目と51時間目に一時的な $\log(\text{BR}_{50})$ 値の低くなるピークが認められ、婚礼ダンス反応とほぼ平行した周期性を持ち上下していた。婚礼ダンス反応は羽化後3時間目～12時間目までの $\log(\text{BR}_{50})$ 値が0付近であったが、羽化後15時間目～21時間目に0.92～1.61と高くなり、24時間目～27時間目で-0.79～-1.33まで低くなった。その後も羽化後39時間目のピーク0.9に向けて徐々に高くなった後、51時間目の-1.72に向けて再び低くなる変動を示した。

「蓉」の翅振動反応と婚礼ダンス反応の起きる $\log(\text{BR}_{50})$ 値を比較すると、羽化当日の初期の羽振動反



第5-2図. 原種「蓉」と原種「C45」の雄蛾の合成ボンビコールに対する反応性の経時変化
反応性は雄蛾の合成ボンビコールに対する50%反応濃度 ($\log(\text{BR}_{50})$) で表した。光条件は14L:10Dで帯状に塗りつぶした部分が暗期を示す。□、婚礼ダンス反応；◆、翅振動反応；信頼限界95%を示す。プロビットのみは正規確率紙を用いた。

応は、羽化後6時間目で-1.87, 9時間目が-1.34で、婚礼ダンス反応が0.407と0.27であり、反応が生じる合成フェロモン濃度に大差があった。これに比べて2日目の初期、すなわち、羽化後30時間目の羽振動が-0.74, 33時間目で-0.54であり、婚礼ダンス反応は羽化後30時間目が-0.06で、羽化後33時間目が0.533あり、行動が生じる差は小さくなり、羽化当日と2日目で変動が異なった。

「C45」の翅振動反応は、羽化後9時間目と27時間目、33時間目および51時間目に「蓉」と同様に一時的な $\log(BR_{50})$ 値が低くなる谷が認められた。婚礼ダンス反応は、羽化後6時間目に-0.98と低くなり、15時間目に0まで高くなった。その後24時間目の-1.7に向けて徐々に低くなった。その後、 $\log(BR_{50})$ 値は羽化後30時間目に-0.57まで高まり、48時間目の-2.17に向けて徐々に低下した。この原種の翅振動反応と婚礼ダンス反応の変動は、羽化後3時間目～12時間目と24時間目～36時間目の初期に差が大きく、羽化後15時間目～21時間目と39時間目～45時間目の暗期では差が小さくなる周期を持っていた。

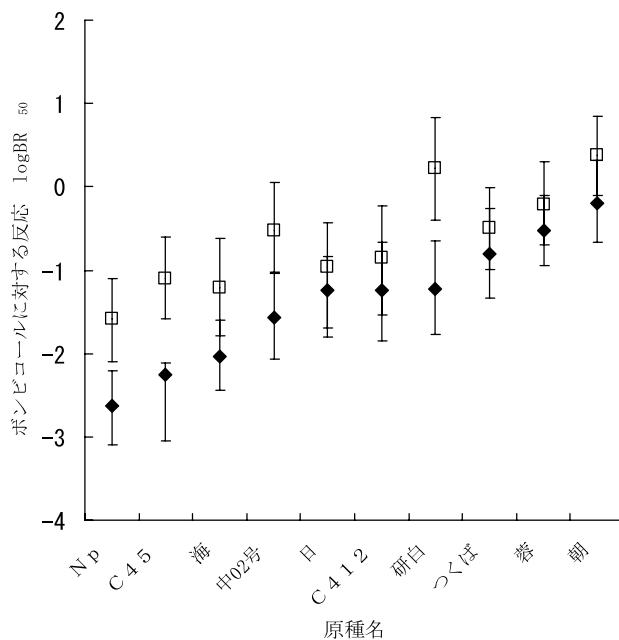
「C45」と「蓉」の婚礼ダンス反応の $\log(BR_{50})$ 値が最も高くなった時間で比較すると「C45」では羽化後15時間目の0に対して「蓉」が羽化後21時間目と24時間目の1.6と両者の反応性に差が大きかった。一方、 $\log(BR_{50})$ 値が最も低くなった時間では、羽化後24時間目に「C45」が-1.7に対し「蓉」の27時間目が-1.33であり、その差が小さかった。

4. 性フェロモンに対する反応性の品種間差異

供試した原種10品種の翅振動反応と婚礼ダンス反応の $\log(BR_{50})$ 値とその95%信頼限界を第5-3図に示す。合成ボンビコールに対する $\log(BR_{50})$ が最も低かった原種は「Np」であり、その翅振動反応で-2.627であった。 $\log(BR_{50})$ 値が最も高かった原種「朝」は、-0.192であった。この両者の値には約200倍の違いが認められた。

婚礼ダンス反応では、「Np」の $\log(BR_{50})$ 値が-1.591と最も低く、「朝」が0.381で最も高かった。この両者の値は100倍以上の差があった。

翅振動反応と婚礼ダンス反応の関係においても原種間で異なった傾向が示された。すなわち、供試した



第5-3図. 雄蛾の合成ボンビコールに対する50%反応濃度 $\log(BR_{50})$
原種10品種の雄蛾を供試し、羽化後30時間目に反応させた。□は婚礼
ダンス反応、◆は翅振動反応、縦線は95%信頼限界を示す。

「朝」, 「日」, 「蓉」, 「つくば」及び「C412」は翅振動反応と婚礼ダンス反応の $\log(BR_{50})$ 値の差異が小さかったのに対し, 「Np」, 「海」, 「C45」, 「中02号」及び「研白」では両反応の値に大きな差が生じていた。

5. 性フェロモン抽出法と飼育環境による性フェロモン生産量の解析

雌蛾からの性フェロモン抽出は A と B, 2 種類の方法を試みたが, 抽出された性フェロモン量には顕著な差が認められなかった (第 5-3 表)。

蚕の量的形質の発現には蚕期によって差がある⁹⁸⁾。性フェロモンの生産においても同様なことが生じていることも考えられる。「蓉」を初秋蚕期, 晩秋蚕期に桑で飼育し, 初冬蚕期に人工飼料で飼育して, それらの雌蛾から性フェロモンを抽出し, 飼育蚕期と飼料が生産量に及ぼす影響を調査した。第 5-4 表に示したように, 初秋蚕期飼育した雌蛾の性フェロモン保持量は 985.7 ng であり, 晩秋蚕期が 1279.7 ng, 人工飼料で初冬蚕期に飼育した雌蛾の保持量が 1,385.6 ng であった。このように, 初秋蚕期の保持量が他の

第 5-3 表. 雌蛾の性フェロモンの抽出方法の検討 (ng)

原種名	C45		日	
	A	B	A	B
個体 No. 1	389	235	1574	905
2	477	1102	1442	432
3	248	834	1348	553
4	314	915	2070	375
5	389	744	703	1149
6	352	850	623	129
7	397	1118	1160	1052
8	1197	616	730	1310
9	937	955	1015	440
10	341	114	1077	677
11	453	386	356	822
12	593	685	887	484
13	413	669	1327	790
14	300	277	1458	1159
15	834	346	1216	700
16	807	491	926	694
17	596	459	1016	954
18	639	276	1284	895
19	754	362	848	789
20	471	112	886	905
平均	545.1	577.3	1097.3	760.7
S. D	248.721	316.319	387.287	298.418
変動率	0.4563	0.5479	0.3529	0.3923

A 法: 外部生殖器切り取り, それを 1 ml のヘキサンに浸漬して抽出

B 法: 腹部を圧迫し外部生殖器を露出させ, ヘキサン 3 ml で洗い抽出

第5-4表. 飼育時期および飼料を異にした性フェロモン保持量

No.	単位 ng		
	初秋蚕期 桑	晚秋蚕期 桑	初冬蚕期 人工飼料
1	977	1,206	1,387
2	1,016	1,460	1,289
3	920	1,345	1,745
4	876	1,386	1,307
5	1,286	1,223	1,762
6	926	1,124	1,332
7	795	1,294	811
8	1,034	1,219	1,608
9	1,040	1,261	1,228
A. V	986	1,280	1,386
S. D	138	103	295
C. V	0.1403	0.0807	0.2126

初秋蚕期および晚秋蚕期の飼育は1齢、2齢を人工飼料育で3齢以後を桑育とした、初冬蚕期は全齢人工飼料育とした。供試原種は「蓉」で羽化後33時間目の雌蛾から性フェロモンを抽出した。

蚕期よりも低い値であった。

6. 雌蛾の性フェロモン保持量の経時変化

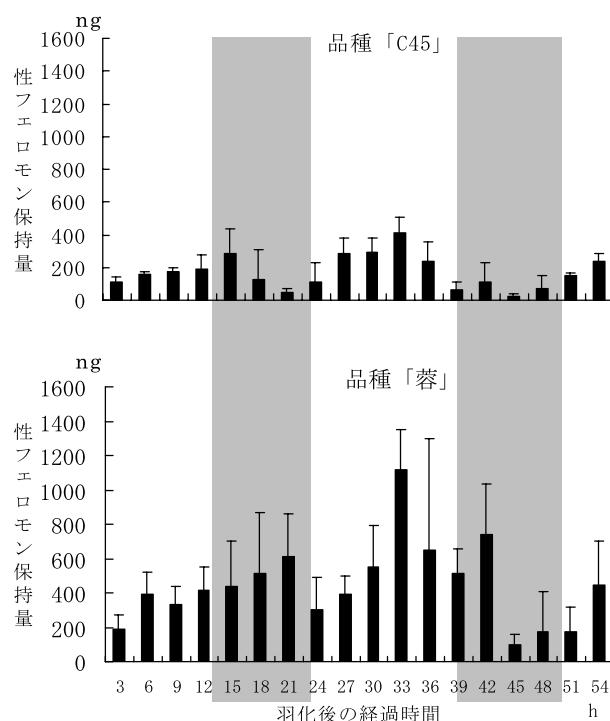
原種「蓉」と原種「C45」を供試して、雌成虫の性フェロモン保持量を羽化後3時間目～54時間目まで3時間ごとに測定した。その結果、性フェロモンの保持量は「C45」と「蓉」で差がある。また、保持量は羽化後暗期に向けて徐々に増加し、逆に暗期から明期に向けては減少する周期的な変動があることが明らかになった（第5-4図）。

「C45」の保持量は、羽化後3時間目で 114 ± 25.5 ng から徐々に増加し、羽化後15時間目で 283 ± 150 ng に達して1日目のピークとなった後、羽化後21時間目には 44 ± 29 ng にまで減少した。その後、33時間目には 412 ± 93 ng と最大値となり2日目のピークを形成し、45時間目には 22 ± 20.9 ng まで再び減少した。

「蓉」は羽化後3時間目で 314 ± 72.9 ng が18時間目には 473 ± 236 ng と増加して1日目のピークとなった後、24時間目では再び 110 ± 70.9 ng まで減少した。その後、増加傾向に転じ33時間目に最大値 $1,069 \pm 349$ ng に達して2日目のピークを形成し、48時間目の 68 ± 133 ng まで再び減少する変動パターンが示された。

7. 性フェロモン保持量の品種間差異

雄蛾の性フェロモンに対する反応性を調べた原種10品種の中から保持量の経時変化を調べた原種を含む7品種を任意に選び、性フェロモン保持量が最高値に達するとみなされる羽化後33時間目に各原種の雌蛾の性フェロモン保持量を測定した。その結果は、第5-5表に示したとおりであった。「海」の1頭当たりの保持量は $1,703$ ng で最も多く、「C45」は 396 ng と最も少なく両者の差が4倍以上であった。また、性フェロモン保持量の変動係数 (SD/平均) が「研白」で 0.505 , 「海」で 0.458 であることから、保持量には大きな個体変動が認められる一方、「蓉」では 0.293 , 「日」が 0.297 と比較的個体変動の幅が小さかった。



第5-4図. 雌蛾の性フェロモン保持量の経時変化
A法によって、3時間毎にポンビコールを抽出した。光条件は14L:10Dちし、塗りつぶした帯が暗期を示す。

8. 雌蛾の性フェロモン保持量と雄蛾の反応性との関係

雌蛾の性フェロモン保持量と雄蛾の性フェロモンに対する50%反応濃度 $\log(BR_{50})$ は生殖行動として関連があると考えられる。そこで、両者を調査した7品種について相関を調べた結果、相関係数は0.176 ($P > 0.10$) で雌蛾の保持量と雄蛾の反応性との間には明瞭な相関関係が認められなかった（第5-5表）。

9. 雌蛾の性フェロモン保持量と雄蛾の反応性に特徴のある原種の交配試験

雌蛾の性フェロモン保持量が多く、雄蛾の $\log(BR_{50})$ 値が高い「蓉」と性フェロモンの保持量が少なく、雄蛾の $\log(BR_{50})$ 値が低い「C45」を交配した交雑種を作出し、雌蛾の性フェロモン保持量と雄蛾の $\log(BR_{50})$ 値を調査した結果を第5-5図に示した。図のように、雌蛾の性フェロモン保持量は両親より多くなった。雄蛾の $\log(BR_{50})$ 値は両親の中間値が示された。

考 察

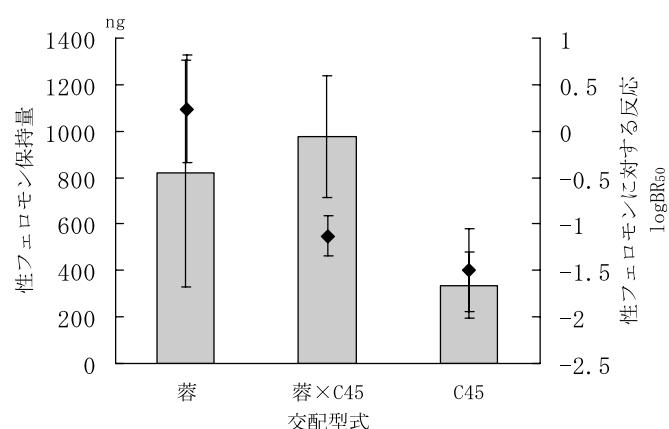
蚕種製造の工程において、雄蛾の中には羽化当日から翅を羽ばたかせ歩きまわり翅の傷みや体表の鱗毛の脱落がひどく、蚕種製造に支障をきたす場合がある。この現象が何に起因するかは不明であった。そこで、採種作業時の蛾の取り扱いに起因するものであるか否かを調べた。羽化後25°Cに保持した「C45」と「蓉」の雄蛾を羽化当日の雌蛾に交尾させる方法で調べると「C45」の雄蛾は4日目で交尾が出来なくなり、5日目には死亡した。これに対して、「蓉」は7日目でも交尾可能であり、品種によって大きな差があることが判明した（第5-1表）。

そして、4日間における雄蛾の体重変化（第5-1図）と婚礼ダンスの羽ばたき回数（第5-3表）において、両者に顕著な差は認められないことから上述の現象は蚕種製造工程における蛾の取り扱いによるも

第5-5表. 雌蛾の性フェロモン保持量と雄蛾の反応性

原種名	保持量 (平均±S.D.) ng	変動係数 (S.D./平均)	反応性 [logBR ₅₀]
海	1703±780.0	a	0.4580
蓉	1400±410.0	ab	0.2928
つくば	1371±439.7	ab	0.3207
朝	1142±353.9	bc	0.3098
日	862±255.7	c	0.2966
研白	857±432.6	c	0.2169
C45	396±162.1	d	-0.9682

保持量は供試頭数各20個体の平均保持量ngを示す。a~dにおける同じ文字を付した値間にTukeyの多重検定において5%レベルで有意差が認められない。反応性は第4-3図の雄蛾の性フェロモンに対する50%反応濃度log(BR₅₀)を示す。



第5-5図. 雌蛾の性フェロモン保持量と雄蛾の反応性に特徴のある原種の交雑試験
◆、性フェロモンに対する雄蛾の反応濃度log(BR₅₀)、棒グラフは性フェロモン保持量、縦棒は95%信頼限界を示す。

のでは無いことが実証された。

雄蛾は雌蛾が分泌する性フェロモンに反応し翅を羽ばたかせる行動である婚礼ダンスを行うことが知られている²³⁾ので、風洞実験によってこれらの行動を調べてみた。その結果、性フェロモンに対する雄蛾の反応性に品種間差があることが明らかになった(第5-2表)。

性フェロモンに対する雄蛾の反応性の違いについて合成ボンビコールを用いて検討してみると、雄蛾の性フェロモンの反応性は明期から暗期にかけて低くなり、暗期から明期に向けて高くなる周期が存在し、品種間で反応濃度に違いがあることが判明した。

明期から暗期にかけての周期について、反応性の低くなる時期における雄蛾の婚礼ダンス反応の経時変化を比較すると、この両品種の反応性の差異は、「蓉」の15時間目と39時間目の反応性(BR₅₀)が1.6, 0.9に対して「C45」の反応性は0, -1.3で大きかったのに対して、反応性の高くなる時間帯での差は小さかった。つまり、①雄蛾の反応性が低い時間帯では両者が反応する性フェロモン濃度に違いがみられ、②反応

性が高まる時間帯には両者は同じ程度の性フェロモン濃度で反応しているとみなされる。このことから、「C45」が性フェロモンに対する反応性を低くする機能を欠如しているためと考えられる。また、「C45」は周期が平坦であることから反応性が高い状態が続いていると考えられる。

佐々木らは蚕品種「小石丸」と蚕品種「錦江」を用いて、光条件12L:12Dで羽化後2日目の雄蛾の羽ばたき行動が起きる時間と雌蛾のコーリング時間を調査し、羽ばたき行動が点灯後1時間目～5時間目に日周的に毎日繰り返され、コーリングが点灯後6時間目～9時間目まで持続的に行われていることを報告している⁹⁹⁾。

本研究で得られた雄蛾の羽ばたき行動と性フェロモンに対する反応性との関係を2日目の反応性でみると、最も高まっている時間は、「蓉」が点灯後6時間目、「C45」が点灯時であることから、佐々木らの光条件⁹⁸⁾とは異なっているが、雄蛾の羽ばたき行動と性フェロモンに対する反応性の高まりは、点灯時間に向けて解発されていると考えられる。

雄蛾の婚礼ダンス反応は、「Np」が最も反応性が高く、「朝」が最も低くかった。両者の性フェロモンに対する反応値には100倍以上の差があることから性フェロモンに対する反応性に品種間差異があることが確認された。

この品種間差異は脳内の神経伝達物質の制御に関する要因と性フェロモンのボンビコールが雄蛾の触角に付着してから、その情報が神経の伝達系を経て脳に伝わり行動として解発される過程^{100, 101)}に起因する可能性も示唆されている。

雌蛾の性フェロモン保持量の経時変化をみると、羽化後明期から暗期に誘引腺に蓄積され、暗期から明期に減少する周期性が認められた(第5-4図)。このことは、蚕蛾の明および暗状態におけるボンビコールの分泌活動が暗状態より明状態の方が劣るという竹田・田中の報告¹⁰²⁾に類似し、性フェロモンの保持量に日周性が存在し、雌蛾の性フェロモン保持量に日周性があるとした結果⁹⁷⁾と一致した。

本研究において、初秋蚕期と晩秋蚕期に飼育された雌蛾の性フェロモン保持量は、初秋蚕期において低くなった(第5-4表)。繭に関するその他の計量形質も同じ様に低くなる傾向がみられることから、交雑試験を行って検討した。 F_1 の性フェロモン保持量の雑種強勢率を第5-5図から計算すると69.2%であり、この数値は交雑種の計量形質の雑種強勢率の値と同様であることから、性フェロモン保持量も蚕の計量形質であるとみなされ、これまで蚕品種の育成において全く見過ごされた形質の一つであるといえる。

性フェロモン保持量を品種間で比較すると、最大値と最低値の差は4倍以上に達している。性フェロモン保持量に顕著な品種間差異が存在することは、性フェロモンの生合成に関わる酵素や神経ペプチドホルモンによる活性化のメカニズム^{97, 103, 104)}に遺伝的な変異が存在することを示唆している。

品種育成に性フェロモンの保持量を対照とした選抜の記録はなく、この形質はランダムに維持されてきたと考える。性フェロモン保持量の変動係数(SD/平均)は、個体変異が大きい品種と小さい品種が存在しており矛盾する。これは品種育成の初期段階で比較的大きい集団から選抜された品種が性フェロモンの保持量に個体変異が大きく、狭い個体レベルの選抜が行われた品種において個体変異が小さいと考えられ、品種育成の選抜方法の違いにより品種間の差異が生じたものと考えられる。

雌蛾の性フェロモン保持量と雄蛾の反応性値との相関係数は0.176($P > 0.10$)で明瞭な相関関係は認められなかった。すなわち、性フェロモンのボンビコールの合成系^{97, 103, 104)}と雄の性フェロモンに対する情報伝達の系^{100, 101)}は、独立して存在していると考えられる。しかし、性フェロモン生産および周期性と性フェロモンに対する雄の反応性とは、種の生存のために同調しているように見える。このことは両者が光周期に同調して開発されるためと考えられる。

原種「蓉」と原種「C45」を交配した交雑種を作出して、雌蛾の性フェロモン保持量と雄蛾の反応性を調査すると第5-5図に示したとおり雌の保持量は多く、かつ、雄の反応値は両親の中間値が示された。このことは性フェロモンに対する反応で蚕種製造の効率性に支障のある品種を交雑種として用いる方法として、四元交雑種を設計することで蚕種製造の効率の低下を補えることを示唆している。

要 約

蚕種製造の現場では雄蛾の行動が異常に活発な場合、突然死することが知られている。つまり、雄蛾の行動に特徴のある原々種および原種が存在し、製造効率に影響を及ぼしている。この現象を解明する目的で試験を行った結果、この現象は採種作業工程の取り扱いの違いに起因するものではないことが判明した。

雄蛾の性フェロモンに対する反応性である50%反応濃度を翅振動反応と婚礼ダンス反応で調査した結果、明期に低くなり暗期に高くなる日周性が存在した。原種「C45」の反応性は「蓉」のそれに比べ暗期の高くなる反応性に明確な周期が認められず、翅振動反応と婚礼ダンス反応との関係においても違いが見られた。この品種間差異は、反応性が高い原種と低い原種で100倍以上の差が認められた。

雌蛾の性フェロモン保持量も4倍の品種差異が認められた。保持量の少ない品種と多い品種の交雑種は、保持量に雑種強勢が認められ、雌蛾の性フェロモン生産も、これまでに見落とされてきた計量形質の一つであることが判明した。

第6章 総合考察

日本の養蚕業において、優れた蚕品種の育成とそれら蚕種の安定製造は、明治以来の蚕糸業振興施策の基幹であった。そのような背景のもとに本研究は、市場から要求される繭糸質特性に対応する育種素材の改良に向けて遺伝的な要因を解析し、これに基づいて繭糸纖度に特徴を有する実用蚕品種の育成を行うと共に、蚕種製造工程における製造効率の向上を目的として、原々種および原種の産卵性に関わる人工飼料育と性フェロモンに対する雄蛾の交尾行動の解明について追究したものである。

蚕品種の改良および育成には、外山が蚕の一代交雑種利用²⁾を提唱して以来、遺伝学的知識の導入がなされている。蚕品種の形質には、遺伝力に明らかな差があることが確認され、その値の大きいものと小さいものの順位が一定の傾向を持っていることが明らかにされている³³⁾。このことは繭糸纖度に特徴のある品種の育成に当たって、該当する計量形質が他の計量形質とどのような関係を持って発現するかを遺伝的に知ることの重要性を示している。

本研究においては、製糸業が求める繭糸纖度が細く、養蚕農家が求める強健性および多収量の品種で、かつ蚕種製造業が求める産卵効率の良好な四元交雑種の作出を育種目標とした。

育種目標に沿った具体的な計量形質の選抜における要点を以下に示す。

繭糸纖度と繭層重及び繭層歩合には相関があり、繭層重は繭重と相関がある(第2-2表)。この計量形質の関係から細纖度の方向に蚕を選抜すると繭重等の計量形質が軽くなることから、選抜に当たってはこの計量形質に充分配慮しなければならないとする山本らの考え²⁹⁾が再確認された。

雑種強勢が強く現れる形質は、収繭量、繭層重と繭糸量であった。本試験においてF₁に細纖度品種であるC52を戻し交雑したBF₁の収繭量は、F₁の値に匹敵する収量特性を示している(第2-1表)。この結果は細纖度品種の選抜で低下する計量形質を雑種強勢によって補うことができると期待される。

繭糸纖度は繭糸長との間に負の相関関係がみられるところから、繭糸を細纖度に維持するためには、繭糸纖度と相関の高い繭層重、繭糸量といった計量形質を多くなりすぎないように注意しながら、繭糸長を長く保つ選抜が重要と考えられた。

纖度は雑種強勢率が低く、繭糸纖度を太くする要因が小さい組み合わせにおいては、両親の平均値を用いてF₁およびBF₁の纖度を推定できることが明らかになった。

粒内纖度偏差は、太纖度であるW4121が放物線を示し、細纖度であるC52では細い方向に緩やかな弧を描く曲線を示した。これらのF₁の纖度偏差は対照的な両親の纖度偏差に対して中間的纖度で曲線を示した。F₁に細纖度品種であるC52を戻し交雑したBF₁の繭糸纖度は、平均纖度が細く、直線的に細くなる形状を持つことが明らかになった(第2-3図)。青木らは交雑における繭糸纖度の発現には両親の中間を示す³¹⁾と言っているが、本研究結果から粒内纖度偏差についても両親の中間の特徴を現すことが判明した。

これらの結果を育成に反映することによって、織物業界から求められる「織度偏差の小さい生糸」に対する育種が効率的に実施できる見通しが得られた。

選抜に関わる各種要因の相関関係を考慮して、蚕品種の育種目標を「普通蚕品種並みの収量を有し、かつ、繭糸長が長く繭糸織度が細い品種の作出」においていた。蚕業技術研究所が保有する育種材料の中から9系統を選び、9年間27世代にわたり選抜を実施した。

繭糸織度と繭層歩合、繭重との関係には相関があることを念頭において、織度を細くする選抜を進めたが、育成された系統は相関関係で明らかなように繭重を軽くする方向に改良されたと分析される(第3-7図)。

繭重を重くする方向への効果的な選抜方法に個体選抜がある。しかし、本研究において、雌雄間差異を縮小するために個体選抜を使用したので、繭重を重くする方向への選抜圧は小さかったと考えられる。

収繭量に相関のある形質は化蛹歩合と繭重がある。負の関係にある形質は玉繭蚕歩合、減蚕歩合である。選抜した系統は育成開始当初の収繭量を維持している。このことは、主に玉繭蚕歩合や減蚕歩合といった、上繭を生産するために負の関係にある要因が、育成過程で縮小された結果であると考えられた。

繭重の雌雄差は繭糸織度の雌雄差を生じることになるので、個体選抜で雌を平均値で維持する一方で、雄を重くする選抜を繰り返した結果、日本種系統ならびに中国種系統は雌雄差が縮小した。その選抜の効果は日本種系統より中国種系統の方が大きかった(第3-9, 3-10図)。山本らは、日本種では繭糸織度と繭重および繭層重の間で高い相関がみられ、中国種は日本種より相関係数が低いことから、中国種系統は細織度で多糸量系の選抜が容易であると考察している²⁹⁾。本研究の結果は、この考察を実証しているといえる。

繭糸長をより長くし織度をより細くすると、繰糸時における物理的負荷によって糸が切断され繭の落緒する回数が増加するので、全ての育種系統について落緒回数を10回以内になるように改良した。

この四元交雑種「N12・N52×C32・C66」の繭糸質は繭糸長が1,340 mで、繭糸織度が2.15dであり「あけばの」に近似した成績が得られた。

蚕種製造の効率化にかかわる問題点の一つは、微粒子病に感染した蚕種を如何に減少させるかにある。微粒子病は桑園近傍の害虫から桑葉を通じて蚕室に持ち込まれ蚕に伝播することが指摘されている^{105, 106)}。そのため、原々種および原種を人工飼料によって飼育できれば、微粒子病感染によって廃棄される蚕種を減少させることができると考えられる。

原々種および原種を人工飼料で飼育して蚕種を製造するには、人工飼料摂食性が劣ることと産卵性の向上を図らねばならない。この点の問題解決が不可欠である。

日本種と中国種の原種を全齢人工飼料で飼育した場合における人工飼料への適応性を減蚕率でみると、日本種が45.8%，中国種が58.9%であり両者の差は認められなかった。しかし、減蚕率を発育段階で比較すると、稚蚕期には中国種の掃立てた幼虫の半数が失われており、日本種に比べ中国種の摂食性が劣っているとした知見^{59-64, 81)}と一致した。これに対して、壮蚕期から結繭までの減蚕数は日本種の方が多いことから、制限給餌と組成改良の組み合わせで摂食性の改善と産卵率の向上を検討した。

これまで、5齢期の1頭当たりの給餌量を17 gから40%減少させた場合、化蛹率が56%から94%に向上し、給餌制限効果は日本種の方が大きいとの報告がある⁶⁶⁾。そこで、脱脂大豆粉末の添加量を変えた飼料を調製し、制限給餌を行った結果、5齢経過日数は脱脂大豆粉末添加量の少ない飼料ほど、かつ給餌量を減らすほど延長し、が給桑制限を強化されるに伴って5齢期間が延長する報告⁶⁷⁾と同様の知見が得られた。

計量形質は脱脂大豆粉末添加量の少ない組成ほど、そして、給餌量が少ないほど軽くなり、上田らの指摘³⁶⁾にあるように、消化できる飼料の量が幼虫の発育に影響していると考察された。

制限給餌によって得た化蛹個体は多くが羽化し、交尾率も高いことから、人工飼料で飼育して得られた蛹はそれ以降の発育について正常に営むことができると考えられる。このことは全齢人工飼料育における目標が如何にして多くの蚕児を化蛹させるかが肝要とみなされた。

本研究においても、消化量は蛹体重、繭層重および産卵数との間に相関がみられ、脱脂大豆粉末の添加量が多い組成もしくは給餌量の多かった幼虫ほど産卵量が多くなっており、このことから人工飼料育における産卵粒数の増減には5齢期に蓄積された栄養が関係していると推察される。

化蛹率と蛹体重との相関をみると、蛹体重の軽い集団と2g以上の重い集団で化蛹率が低下した（第4-2図）。また、消化量と蛹体重は高い相関が示された（第4-8表）。これらの結果から、蛹体重の軽い集団での化蛹率の低下は、消化量が少なく生存に必要な栄養がとれなかつたため化蛹できなかつた幼虫が多くなったと考えられる。また、体重の重い側で化蛹率が低下することがみられたが、これについては飼料の過剰な摂取が蚕のアミノ酸代謝に障害を起こしているとの報告⁷²⁾が原因と考えられる。

以上の結果から、原々種および原種の人工飼料育による蚕種製造においては、脱脂大豆粉末の添加量が多い場合には給餌量の制限を強くし、この添加量が少ない場合には制限給餌をゆるくする飼育方法を採用することと結論される。

今日、人工飼料による蚕種製造において、組成の脱脂大豆粉末添加量と給餌量の関係で化蛹率を高く保つ方法^{22, 66, 73, 74)}がとられているのは理にかなっていると言える。このように、給餌量を制限することで原種の化蛹率を高くすることができますが可能になったが、産卵数がそれに比例して減少するという問題が発生する（第4-7表）。そのため、原種の全齢人工飼料で飼育して効率よく蚕種を製造するためには、産卵性を向上させる飼料でなければならない。

これまでの人工飼料の開発経過から、蚕が成長する上で栄養学的に必須な成分について多くの研究がなされている⁷⁵⁻⁸⁵⁾。しかしながら、産卵性を向上させるための添加物の研究は少ない。

真浦は、原種の5齢用飼料組成の桑粉末を多くし脱脂大豆粉末の添加量はやや少なくすることが産卵性の点から有利⁸⁸⁾としているが、本研究の結果は、脱脂大豆粉末の添加量を低くすると繭重が軽くなり産卵数の減少につながる恐れがあることを示している。

この産卵性向上への対応として、本研究ではポリフェノールの一一種であるタンニン酸の飼料への添加を試みた。

タンニン酸を添加する組成について、第3-7表の組み合わせから化蛹率が高く1頭の雌蛾の産卵粒数が多い組み合わせをみると、組成28の給餌量15gおよび20g、組成38の給餌量で15gが選出される。この両組成を比較すると組成28は化蛹率が高く1頭の雌蛾の産卵数は300粒から400粒の範囲に並んでいる。これに対して組成38は、化蛹率が低いが1頭の雌蛾の産卵数は400粒を越えている。この結果から、産卵量の多い組成38を改良し化蛹率の向上を目指した。

すなわち、組成38の桑粉末添加量を35.2%と脱脂大豆粉末40%添加した組成（第4-5表）にタンニン酸を0.8%, 1.6%, 3.2%添加した組成で飼育した結果、これまでの飼育成績よりも化蛹率が高く、産卵量も多い結果が得られた。タンニン酸の添加効果の理由は明らかではないが、タンニンは植物に広く存在する物質で、加水分解によって主として没食子酸などの多価フェノール酸を生じる混合物の総称で収斂作用をもつ物質であり、植物の葉の中に蓄積して食下する昆虫の消化酵素を変性させ、栄養を低下させようとする植物の防御物質⁸⁹⁾であることが知られていることから、蚕に対する一種のストレスとして作用し、蚕自身のもつ防衛反応が結果として消化率の変化や化蛹数の増加に現れたのではないかと推察される。

蚕種の製造現場においては、交配に一度使用した雄蛾は低温に保存され、翌日以降の数回の交配に使用されている。羽化した雄蛾の中には、羽化当日から羽ばたきながら歩きまわり、収蛾作業の前に翅の傷みや体表の鱗毛の脱落がはげしく、交配に支障が生じる場合がある。このような雄蛾の行動は何に起因するかは不明であった。そこで蚕種製造効率に影響する雄蛾の行動について、雌蛾の性フェロモンの生産と雄蛾の性フェロモンに対する反応性に焦点をあて解明を試みた。

蚕種製造効率の悪い品種を詳しく観察したところ、羽化後25°Cに保持した雄蛾の交尾能力は、羽化後激しく動き回る雄蛾は早期に死亡するなど、品種によって死亡までの日数に大きな差があることが判明した。また、調査した雄蛾の体重を測定すると両者に顕著な差は認められなかった（第5-1図）。このことから上述の現象は、蚕種製造工程における蛾の取り扱いによるものでは無いと考えられた。

原種「蓉」と原種「C45」の性フェロモンに対する雄蛾の反応性の経時変化を合成ボンビコールで調査して見ると、雄蛾の性フェロモンへの反応性は初期から暗期にかけて低くなり、暗期から初期に向けて高くなる周期が存在した。

両品種の雄蛾の性フェロモンに対する反応性の経時変化を婚礼ダンス反応で比較すると、原種「蓉」の羽化後15時間目と33時間目から始まる反応性の低下が原種「C45」には認められない。反応性の高くなる

24時間目と51時間目においては両品種の差異が小さかった（第5-2図）。つまり、雄蛾の反応性が低い時間帯では両者が反応する性フェロモン濃度に違いがみられ、反応性が高まる時間帯に両者は、同じ程度の性フェロモン濃度で反応しているとみなされる。このことから、品種「蓉」と原種「C54」の性フェロモンに対する反応性が異なっている点は、原種「C45」の雄蛾が性フェロモンに対する反応性を低くする機能を欠如しているためと推察される。

雄蛾の婚礼ダンス反応は、原種「Np」が最も反応性が高く、原種「朝」が最も低くかった。両者の性フェロモンに対する反応値には100倍以上の差があることから性フェロモンに対する反応性に品種間差異があることが確認された。この品種間差異は性フェロモンのボンビコールが雄蛾の触角に付着してからの情報が神経の伝達系を経て脳に伝わり行動として解発される過程^{100, 101)}に起因すると示唆される。

原種「蓉」と原種「C45」を交配した交雑種を作出し、雄蛾の反応性を調査した結果（第4-5図）、雄の反応性は改善された。このことは、交尾行動に異常が認められた蚕種を実用に用いる場合には、横山が調査し、結果をとりまとめて提唱した四元交雑種化¹⁵⁾することで交尾行動の異常を軽減し、蚕種製造の効率の低下を補う対策がとれることを示唆している。

雌蛾の性フェロモン保持量の経時変化をみると、羽化後明期から暗期に外部生殖器に蓄積され、暗期から明期に減少する周期性が認められた。このことは、家蚕蛾の明および暗状態におけるボンビコールの分泌活動が暗状態より明状態の方が劣るという竹田・田中の報告¹⁰²⁾に類似しており、Ando *et al* が雌蛾の性フェロモン保持量に日周性があるとした結果⁹⁷⁾と一致した。

本研究において、雌蛾が生産する性フェロモンは、人工飼料と桑といった飼料による飼育方法の違いや蚕期による大きな差は認められなかった。しかし、初秋蚕期に飼育された雌蛾の性フェロモン保持量は、計量形質同様に低くなる傾向がみられた（第5-5表）。交雑試験を行って性フェロモンの保持量を調査した結果から F₁ の保持量の雑種強勢率を第5-5図から計算すると69.2%と高かった。この値は交雑種の計量形質の雑種強勢率と同様であることから、性フェロモン保持量も蚕の計量形質の一種であるとみなされる。

性フェロモン保持量を品種間で比較すると、最大値と最低値の差は4倍以上に達している。性フェロモンであるボンビコールの合成には数個の酵素と神経ペプチドホルモンが関与していることが知られており^{97, 103, 104)}、性フェロモン保持量に顕著な品種間差異が存在することは、性フェロモンの生合成に関わる酵素や神経ペプチドホルモンによる活性化のメカニズムに遺伝的な変異が存在することを示唆しているものと思考できる。

以上述べたように、本研究では繭糸の織度に特徴のある蚕品種の育成理論を構築し、それに基づく優れた蚕品種を育成することができた。また、蚕種の製造の効率化に資するために、原種の人工飼料育における産卵性の向上に関する知見が得られた。さらに、交尾時において雄蛾行動に品種間差異がみられる現象は、雄蛾の性フェロモンに対する反応性に品種間差異が存在することから解明することができた。

本研究は蚕糸・絹業から求められた繭糸織度に特徴のある品種の育種方法に新たな知見を加え、本方法により繭糸織度に特徴のある四元交雑種の作出が可能であることを明らかにした。さらに、作出了した品種の増殖にかかる人工飼料の組成を改善すると共に雄蛾の性フェロモンに対する反応性に品種間差異が存在することを明らかにし、蚕種製造の効率化を図ったものである。

総 括

日本の養蚕業は蚕種製造、養蚕および製糸に分業している。蚕種製造はさらに育種、増殖の工程を経て蚕種製造業者に蚕種がわたり交雑種が製造される。今日の蚕種は四元交雑種が主に使われており、その工程はさらに複雑化している。

四元交雑種の育種は市場から要求される計量形質および繭糸質に対応する育種目標を立て、改良に向けて遺伝的な要因を解析する。これに基づいて、素材品種の中から最も少なくとも日本種2品種と中国種2品種の4品種を育成素材として選抜が行なわれる。これら育成された4蚕品種を交雑種の製造量に応じて飼育量を決め原々種を製造し、次の世代を飼育して日本種×日本種と中国種×中国種が交配され日本種の

交雑原種と中国種の交雑原種が製造され、次の世代で蚕種製造業者により交雑種が製造される。本試験では育種から交雑原種を製造する増殖工程における育種法ならびに産卵効率を追及した。

育種は繭糸纖度に特徴のある蚕品種の選抜に向けた選抜法とこれに基づく育種を行い実用品種の作出を試みた。本試験の育成目標を 製糸業が求める繭糸纖度が細く、養蚕農家が求める強健性および多収量の品種で、かつ蚕種製造業が求める産卵効率の良好な四元交雑種の作出とした。

繭糸纖度と計量形質は相関がある。この関係から細纖度の方向に選抜すると繭重等の計量形質が軽くなる。一方、雑種強勢は計量形質に強く現れることから纖度を細くする方向で選抜したために低下した計量形質を補うことができると期待される。

繭糸纖度は繭糸長との間に負の相関関係があり、繭糸を細纖度に維持するためには繭糸長を長く保つ選抜が重要と考えられたので繭層重を一定に保ちながら繭糸長を長く保つ選抜が考えられた。また、繭糸纖度は雑種強勢が弱く、繭糸纖度を太くする要因が小さい組み合わせにおいては、両親の平均値を用いて纖度を推定できることができると明らかになった。さらに、粒内纖度偏差においても両親の中間の特徴を示した。

これらの結果を育成に反映することによって、育種目標を効率的に実施できる見通しが得られた。

選抜に関わる各種要因の相関関係を考慮して、選抜は蚕業技術研究所が保有する育種材料の中から 9 系統を選び、9 年間27世代にわたり選抜し、「N12・N52×C32・C66」の四元交雑種を作出した。この品種はその後、研究所内の交雑比較試験と山形県蚕糸総合センターにおける飼育試験を経て実用化され、「松岡姫」のブランド名で蚕糸絹業界において使用されている。

育成品種の増殖は品種の系統から原々蚕種が製造され、これら原々種を交配して得た交雑原種が製造される。この増殖工程における課題は安全な蚕種を製造することである。つまり、微粒子病フリー蚕種の製造である。これを達成するために全齢人工飼料による飼育を検討し、壮蚕期の制限給餌と組成改良を組み合わせて産卵率の向上を試みた。

人工飼料で蚕を飼育し、高い割合で成虫を得るには化蛹歩合を高く保つ飼育が必要となる。制限給餌は蛹体重が 1 g で化蛹歩合が低下し、1.5 g 前後で最も高くなり、2 g を超えると低下することから、5 齢の給餌量が蛹体重を 1.5 g 前後に保つ給餌法が求められる。また、脱脂大豆粉末の添加量の異なる組成においては脱脂大豆粉末の添加量が多い組成は給餌量の制限を強くし、この添加量が少ない組成では制限給餌を緩和する飼育方法を採用することと結論される。

しかし、給餌量を制限することで化蛹率を高くすることができるが可能になったが、産卵数がそれに比例して減少するという問題が発生した。この産卵性向上のために桑粉末添加量を 35.2% と脱脂大豆粉末 40% 添加した組成にタンニン酸を 0.8%，1.6% 添加した人工飼料で化蛹率が高く、産卵量も多い結果が得られた。

育種による選抜圧力は時として蚕種製造に欠陥を持った品種¹⁰⁷⁾を作出して実用を断念することがある。多額の費用を育成に投入して実用品種として使用できないことは経済上大きな損失である。

本試験では性フェロモンに対する雄蛾の反応性に欠陥を持つ品種について追究し、蚕種の製造効率を改善する方法を見出して実用品種としたものである。

対象の雄蛾は、羽化当日から羽ばたきながら歩きまわり、収蛾作業の前に翅の傷みや体表の鱗毛の脱落がひどく、交配に支障が生じていた。このような雄蛾の行動は何に起因するかは不明であった。

この雄蛾の行動を示す品種「C45」と正常な品種「蓉」を用いて、性フェロモンに対する雄蛾の反応性を調査した。この結果、雄蛾の性フェロモンへの反応性は明期から暗期にかけて低くなり、暗期から明期に向かって高くなる周期が存在した。

両品種の雄蛾の性フェロモンに対する反応性の周期は「蓉」の羽化後 15 時間目と 33 時間目から始まる反応性の低下が「C45」には認められなかった。このことから、「C45」の雄蛾が性フェロモンに対する反応性を低くする機能を欠如しているためと推察される。

雄蛾の婚礼ダンス反応は、最も反応性が高い品種と最も低い品種とでは反応値に 100 倍以上の差があることから性フェロモンに対する反応性に品種間差異があることが確認された。

原種「蓉」と原種「C45」を交配した雄蛾の反応性を調査した結果、雄の反応性は改善された。このことは、交尾行動に異常が認められた蚕種を実用に用いるには四元交雑種化することで交尾行動の異常を軽

減し、蚕種製造の効率の低下を補う対策がとれることが明らかになり、朝・日×東・海の組み合わせに応用されている。

本試験のこれらの知見は、今後、蚕糸業と絹業とが連携して純国産の製品を作出する養蚕形態が展開する中で、支援部門である蚕種製造分野で活用できると考える。

要　旨

日本の養蚕業において、優れた蚕品種の育成とそれら蚕種の安定した製造は、明治以来の蚕糸振興施策の基幹であった。そのような背景のもとに、蚕品種育成は市場からの多種多様な要求に対応してきた。本研究は育種素材の改良に向けて遺伝的な要因を解析し、これに基づいて繭糸纖度に特徴を有する実用蚕品種の育成を行うと共に、蚕種製造行程における製造効率の向上を目的として、産卵性に関わる原々種および原種の人工飼料育と性フェロモンに対する雄蛾の交尾行動の解明について追究したものである。

繭糸纖度に特徴のある蚕品種を育成する目的で、繭糸纖度の遺伝解析と選抜法を検討した。その結果、繭糸纖度は計量形質と相関があり、繭糸長との間に負の相関が認められた。雑種強勢率は収繭量および繭層重、繭糸量で高く、繭糸纖度では低くかった。繭糸長と繭糸纖度の推定に両親の平均値を用いて行ったところ、繭糸長と繭糸纖度の実測値と両親の平均値が大きく異なることはなかった。このことから、雑種強勢率が低い形質については両親の平均値による推定法の有用性が確かめられた。さらに、粒内纖度偏差も両親の中間的な曲線を示すことが判明した。

以上の結果から、近年における蚕種製造業者、養蚕業者ならびに製糸業者の要求に応えるためには纖度を細く、繭糸長を長くする方向で選抜を可能にする見通しが得られた。

この知見に基づき、繭糸纖度に特徴のある品種の選抜を行った。育種材料の中から候補6系統を選び、系統分離法による蛾区選抜と個体選抜を9年間で25代実施した。その結果、収繭量が多く、繭糸が長く、繭糸纖度が細く、育種目標に合致する良好な成績を示した日本種の交雑原種N12・N52と中国種の交雑原種C32・C66が選出された。これらの四元交雑種は粒内纖度偏差が極めて小さいという特徴を有し、産卵性にも優れ業界の要望に沿う品種であることが認められた。四元交雑種「N12・N52×C32・C66」は所内および山形県の交雑比較試験をへて、ブランド名「松岡姫」として実用に供された。

このようにして育成される品種の安定した蚕種製造を可能にする目的で、原種の全齢人工飼料育について検討した。

日本種の原種は、稚蚕期においては摂食性が良く減蚕が少ない。しかし、壮蚕期から結繭期までに減蚕が多くみられた。そこで、5齢期の脱脂大豆粉末の添加量が異なる飼料で給餌量を変えて飼育した結果、化蛹率と蛹体重との関係は、蛹体重が軽いと化蛹率が低く、体重が重くなるに従い化蛹率が高くなる。さらに蛹体が重くなり2gを越えると化蛹率が再び低下した。これは蛹体重の軽い集団の化蛹率の低下は化蛹に充分な栄養を摂取できなかったためと考えられる。蛹体重が重い集団の化蛹率の低下は飼料の過剰な摂取がアミノ酸代謝に異常を起こしていると考えられる。つまり、日本種の壮蚕から結繭までの期間の減蚕は消化量が多いための生理障害が発生していたと考えられた。

これまでの原種の人工飼料育は制限給餌によって化蛹率を高くすることにある。しかし、制限給餌によって蛹体重が低下することで1蛾当たりの産卵数が減少する。高蛋白質飼料にタンニン酸を1%添加した人工飼料で飼育した結果、消化率が高まり、化蛹数と産卵数も多くなる組成を見出した。

蚕種製造の現場では行動が異常に活発で生存日数の短い雄蛾の存在が蚕種の製造効率に影響を及ぼしている。そこで、雄蛾の性フェロモンに対する50%反応濃度(BR_{50})を調査した。蚕蛾の雄は初期に BR_{50} が低くなり暗期に高くなる日周性が存在した。しかし、行動が活発な行動が認められる雄蛾は暗期に高くなる明確な周期が認められないという相違が見られた。つまり、活発な蚕蛾は暗期に性フェロモンに対する反応濃度が高くなる機能を欠如していると考えられた。蚕蛾の BR_{50} が高くなる時間帯に品種間差異を調べた結果、その値は不連続に存在し、最も高い原種と最も低い原種で100倍以上の差が認められた。

雌蛾の性フェロモン保持量は初期から暗期に増加し、暗期から初期に向けて減少する周期性が認められた。性フェロモンの保持量は最も少ない原種と最も多く検出した原種で4倍の品種差異が認められた。保

持量の少ない品種と多い品種を交配した F_1 の保持量は明らかな雑種強勢が認められた。このことから雌蛾の性フェロモン生産が計量形質の一つであることが判明した。

以上述べたように、本研究では繭糸の纖度に特徴のある蚕品種の育成理論を構築し、それに基づく優れた蚕品種を育成することができた。また、蚕種の製造の効率化に資るために、原種の人工飼料育における産卵性の向上に関する知見が得られた。さらに、交尾時において雄蛾行動に品種間差異がみられるという現象は、雄蛾の性フェロモンに対する反応性に品種間差異が存在することを解明することができた。これららの知見は、今後、蚕糸業と絹業とが連携して純国産の製品を作出する養蚕形態が展開する中で、支援部門である蚕種製造分野で活用できると考える。

Summary

The breeding of excellent races of silkworm and their steady egg production have been a fundamental strategy for promotion of Japan's sericulture since Meiji era. This research focused on the genetic analyses of cocoon filament fineness and the breeding of excellent silkworm race that has characteristics in cocoon filament fineness, and on the development of artificial diet for improvement of oviposition, and on the mating action between moths by sex pheromone.

Firstly, for the purpose of breeding of silkworm race that has an excellent character for cocoon filament fineness, genetic analyses were performed and race selection strategy was examined. The cocoon filament size showed a positive correlation with cocoon shell weight and ratio of cocoon shell weight, but it had a negative correlation with cocoon filament length. Moreover, the hybrid vigor rate was high in association with crop yield, cocoon shell weight and cocoon filament mass. However, hybrid vigor was weakly associated with cocoon filament size. The curves plotted for estimated and measured cocoon filament lengths and sizes of F_1 , F_2 and BF_1 showed similarities. This result suggests that it is possible to make predictions about several hybrids based on estimations drawn from the parent silkworm race characters. In addition, it was clarified that size curve of cocoon filaments reflected an average of the parent silkworm race. Thus, this breeding strategy for silkworm races of the thin cocoon filament can meet the recent demands posed by various side of the silk industry. This is because silk companies, sericulture farmers and egg production companies primarily base their selection preferences on cocoon filament fineness and cocoon filament length, followed secondarily by hybrid vigor or cocoon crop yield, etc.

Secondly, on the basis of information mentioned above, the selection of silkworm race that has an excellent character for cocoon filament fineness was performed. Six materials were firstly selected from breeding stocks and materials, and their 25 times selections were continued during 9 years by the method of both batch and individual selection. A Japanese parent silkworm race named as N12・N52 and a Chinese parent silkworm race named as C32・C66 were finally selected, because they showed best data on cocoon crop yield, cocoon filament length and cocoon filament fineness that fitted to the breeding target. The cross of these two parent silkworm races as N12・N52×C32・C66 showed the minimum size deviation of cocoon filament and good oviposition. Thus, the silkworm race of N12・N52×C32・C66 was named as Matsuoka-Hime and was recommended as best race to Japanese silk industry.

The third research was on the development of artificial diet for improvement of oviposition. Generally, in the rearing with artificial diet, Japanese parent silkworm races show that young larvae eat well the diet, but a percentage of missing larvae rises during the period of grown silkworm and cocooning time. In the present examination, 5thinstar larvae were reared by different amounts of diets that were prepared with different amount of soybean powder. The result showed that the pupation rate was low in the light group of pupal weight on the other hand pupation rate rised in

proportion with increase of pupal weight. However, when a pupal weight was over 2g, pupation rate went down. These phenomena were discussed as follows: the low pupation rate in the group of light pupal weight is likely to depend on not satisfied nutrition, and the low pupation rate in the group of pupae over 2 g is likely to depend on surplus consumption resulting in abnormal amino acid metabolism. Thus, the missing of larvae in grown stage was came to conclusion that surplus consumption of artificial diet caused an abnormal physiological change.

The rearing of parent silkworm and grand parent silkworm with artificial diet was thought to be reared with small amount of diet in order to raise pupation rate. However, a decrease of pupal weight by food restriction has a possibility to decrees of laid egg number per moth. In the present examination, an addition of 1% tannic acid to a diet of high protein quantity was effective to raise digestibility, and also a composition for increase in rate of pupation and oviposition was found.

The fourth research was on a reaction of parent silkworm male moths to sex pheromone. There are male moths to be very active toward sex pheromone and they die earlier than usual. These male moths are obstacle to product eggs in an silkworm egg company. According to the examination on the 50% reaction concentration of male moth to sex pheromone, a normal male moth has a rhythm that is active in dark period and not active in light period. On the contrary, a very active male moth showed an unclear rhythm, and it is thought that a very active male moth is lacking in raising reaction to sex pheromone in dark period. Various parent silkworm moths showed various reactions to sex pheromone and a 100 times difference in the 50% reaction concentration of male moth to sex pheromone was observed between a highest and a lowest one.

As to a female moth, it had a rhythm of holding of sex pheromone that was raise from light period to dark period and decrees from light period to dark period. The most holding parent silkworm moth showed a 4 times difference than the lowest holding one. The F_1 of the highest one and the lowest one showed a hybrid vigor in holding sex pheromone. This result reveals that a sex pheromone production in male moth is thought as one of quantitative characters.

In this research as mentioned above, firstly established a breeding theory for silkworm race that has an excellent character for cocoon filament fineness, and secondarily a practical silkworm race was bred on the basis of the breeding theory. Moreover, for the efficiency of silkworm egg production, information on an artificial diet suitable to raise oviposition rate of parent silkworm are obtained. In addition, it is clarified that male moth races has different reaction to sex pheromone from the examination on different mating action of male moths.

These research information are expected to use in the silkworm egg production field, which supports a new joint system of sericulture and silk industry for produce Japan's pure silk manufactures.

文 献

- 1) Sotoyama, K. (1906) Studies on the hybridology of insects. I. On some silk-worm crosses, with special reference Mendel's law of heredity. Journal of the College of Agriculture, Imperial University of Tokyo. 7, 259-393.
- 2) 外山龜太郎 (1909) 再び種類改良と蚕の遺伝性について一言す. 大日本蚕糸会報, (210), 1-9.
- 3) 松尾孝嶺 (1975) 育種学, 161-249, 養賢堂, 東京.
- 4) 鈴木簡一郎 (1950) 家蚕に於ける異系分離試験. 日本蚕糸学雑誌, 19, 30-39.
- 5) 清水 滋・伊藤豊雄 (1952) 家蚕における同一品種異系統交配の効果. 日本蚕糸学雑誌, 21, 264-269.
- 6) 小林悦雄・阿相敏雄 (1964) 交雑育種における選抜効果. 蚕糸科学研究所彙報, (12), 41-45.
- 7) 小林悦雄 (1966) 交雑育種における選抜効果(2) ヘテロシス減退後における選抜効果について. 蚕糸科学研究所彙報, (14), 26-30.

- 8) 真野保久・長沢鹿津子・山本 嶽 (1969) 限性品種日131号および支131号の育成. 蚕糸試験場報告, **23**, 441-468.
- 9) 原田忠次 (1953) 家蚕の実用形質の雑種強勢. 育種学雑誌, **2**, 126-132.
- 10) 原田忠次 (1961) 家蚕の計量形質に現れた雑種強勢. 蚕糸試験場報告, **17**, 1-49.
- 11) 田島弥太郎 (1941) 蚕児の斑紋利用による簡易なる雌雄鑑別法. 日本蚕糸学雑誌, **12**, 184-188.
- 12) 田島弥太郎 (1944) 蚕の染色体突然変異に関する研究(II) 蚕のW染色体を含む転座に関する研究. 蚕糸試験場報告, **12**, 109-181.
- 13) 農林省蚕糸試験場 (1944) 原蚕種管理法に依る新品種について. 蚕試資料, (7), 1-20.
- 14) 農林省蚕糸試験場 (1944) 原蚕種管理法に依る新品種について. 蚕試資料, (8), 1-16.
- 15) 横山忠雄 (1973) 多元交雑利用による原蚕の産卵性向上に関する研究. 蚕糸科学研究所彙報, (22), 6-35.
- 16) 横山忠雄 (1975) 蚕の食性に関する研究(VI) 食性変異蚕 J の由来と性質. 蚕糸科学研究所彙報, (24), 27-30.
- 17) 宮原達男 (1978) 長糸長基礎品種「MK」の選抜について、特に後期世代における選抜効果. 蚕糸研究, (106), 73-88.
- 18) 大井秀夫・山下昭弘 (1977) 日137号および支137号の育成. 蚕糸試験場報告, **27**, 97-139.
- 19) 吉田徳太郎・松岡道男・木村孝一 (1960) 乾燥桑葉粉末を基本とする人工飼料による家蚕の飼育について. 蚕糸試験場報告, **15**, 543-585.
- 20) 福田紀文・須藤光正・樋口芳吉 (1960) 人工飼料による蚕の飼育. 日本蚕糸学雑誌, **29**, 1-3.
- 21) 伊藤智夫・田中元三 (1960) 人工飼料による蚕児の飼育および5眠蚕の分離について. 日本蚕糸学雑誌, **29**, 191-196.
- 22) 田中幸夫 (1988) 原種の全齢人工飼料育に関する研究. (1) 産卵成績を最良とする給餌量について. 蚕糸科学研究所彙報, (63), 1-9.
- 23) Obara, Y. (1979) *Bombyx mori* mating dance an essential in locating the female. Appl. Entomol. Zool., **14**, 130-132.
- 24) 石川 誠・高宮邦夫 (1988) 用途別繭糸の生産とその利用を目的とした蚕の制御及び育種技術の確立. 蚕糸試験場彙報, (134), 10.
- 25) 赤井 弘・木村敬助・高林菊次・木内 信 (1988a) 幼虫の発育に及ぼす抗幼若ホルモン活性物質の作用. 蚕糸試験場彙報, (134), 11-24.
- 26) 赤井 弘・木村敬助・高林菊次・木内 信 (1988b) 発育経過及び繭の量的形質の生理活性物質による制御. 蚕糸試験場彙報, (134), 25-40.
- 27) 坪井 恒・羽賀篤信・牛山令子・両角由利子・岩垂美智子 (1988) 生理活性物質利用生産繭の繭糸質の評価. 蚕糸試験場彙報, (134), 41-62.
- 28) 坪内紘三・今井恒夫・於保正弘 (1988) 生理活性物質利用生産繭の繭糸物性. 蚕糸試験場彙報, (134), 63-79.
- 29) 山本俊男・榎島守利・上条伊喜男・深沢正博・丸山 誠・中山賢三・三村康子 (1988) 繭糸織度特性を有する品種育成. 蚕糸試験場彙報, (134), 81-95.
- 30) 永易健一・渡辺昭典・丸山 誠・山本俊雄 (1988) 細織度及び太織度用蚕品種の適性検定. 蚕糸試験場彙報, (134), 97-110.
- 31) 青木秀夫・藤森胡友・清水久仁光 (1988) 繭糸織度の遺伝様式及び綿状繭系統の遺伝分析. 蚕糸試験場彙報, (134), 111-118.
- 32) 山下昭弘・内田 満・斎藤滋隆 (1978) 日137, 号141号および支137号, 支141号の育成. 蚕糸試験場報告, **27**, 595-633.
- 33) 大井秀夫・宮原達男・山下昭弘 (1970) 家蚕の交雑育成初期世代における各種実用形質の系統間変異、親子関係ならびに形質間相互関係の分析. 蚕糸試験場彙報, (93), 39-49.
- 34) 川畠 勉 (1972) 環境条件を異にした場合における家蚕実用形質発現の差異について. 蚕糸研究, (85), 81-95.
- 35) 鈴木簡一郎・丸山一民 (1961) 家蚕における繭糸長及び繭糸織度の遺伝. 蚕糸研究, (37), 114-118.
- 36) 榎島守利・原田忠次 (1978) カイコの繭重、繭層重における雌雄間雑種強勢の差異について. 蚕糸研究, (106), 69-72.
- 37) 緑川栄一・阿相敏雄・代田丈志・清野 力 (1992) 春用朝・日×東・海の育成経過と性状. 蚕糸科学研究所彙報, (40), 7-26.
- 38) 東 嘉昭 (1985) 新しい稚蚕人工飼料育用蚕品種「(日145号・日01号)×(支146号・中01号)」. 新しい技術, (22), 214-218.

- 39) 江口良橋・島崎 旭・一場もとえ・渋川明郎 (1995) 多収性品種「翔萌」(日02号×中02号) 及び「大鷲」(日150号×中150号) の育成. 蚕糸・昆虫農業技術研究所研究報告, 12, 47-93.
- 40) 真野保久・谷口正樹・加藤正雄 (1982) 限性品種日140号および支140号の育成. 蚕糸試験場報告, 28, 667-690.
- 41) 石居 進 (1975) 生物統計学入門, 16-26, 培風館, 東京.
- 42) 石井正市・高部真典・莊司良章・笹原貴宏 (1999) 山形ブランドシルクの開発に向けたオリジナル蚕品種の選抜とその飼育取り扱い. 山形県蚕糸研究センター報, (5), 22-28.
- 43) 鶯田純彦・閔 稔・兼松 明 (1968) 人工飼料の実用化に関する研究. 愛知県蚕業試験場概要, (16), 61-69.
- 44) 横山豊重・真浦正徳 (1976a) 人工飼料飼育における掃立て作業一齢中1回給餌-. 山梨県立蚕業試験場研究要報, (15), 50-52.
- 45) 川口忠男・網藏一明 (1976) 稚蚕人工飼料飼育における飼育温湿度に関する試験. 山梨県立蚕業試験場要報, (15), 53-59.
- 46) 松尾ヒロ子・閔川利治・小森三郎・田中茂男 (1976) 数種の人工飼料に対する現行品種の適合性について. 長野蚕試要報, (12), 102-116.
- 47) 生沼俊夫・小野賢三郎・菅野利夫 (1975) 稚蚕人工飼料育の実用化に関する試験. 既存施設への導入・適合品種および飼料保存日数と作柄について. 福島県蚕業試験場要報, (16), 54-65.
- 48) 竹林克明・大久保 清・鈴木政親 (1966) カイコに対するクロレラの飼料的価値について. 福島県蚕業試験場報告, (25), 45-52.
- 49) 三好健勝・宮沢福寿 (1969) 蚕の人工飼料に関する研究. 群馬県蚕業試験場報告, (42), 1-26.
- 50) 横山豊重・真浦正徳 (1976b) 蚕の人工飼料動力給餌機の開発研究. 山梨県立蚕業試験場研究要報, (15), 72-83.
- 51) 閔川利治・小森三郎・松尾ヒロ子・田中茂男 (1976) 稚蚕用試作給餌装置による1-3齢人工飼料飼育. 長野蚕試要報, (12), 95-101.
- 52) 伊藤智夫・堀江保宏・渡辺喜二郎・高瀬正三・長島政喜 (1966a) 人工飼料による原蚕飼育ならびに桑葉による次代蚕飼育について. 日本蚕糸学雑誌, 35, 374-379.
- 53) 堀江保宏・閔川利治・渡辺喜二郎・中曾根正一・柳川弘明 (1978) 原蚕の人工飼料育における飼料組成に関する2, 3の試験. 蚕糸試験場彙報, (106), 85-99.
- 54) 須藤光正・松田基一・松浦雄二 (1988) 原蚕用に改良した人工飼料の組成と調整法. 蚕糸試験場彙報, (132), 63-71.
- 55) 閔川利治・松尾ヒロ子・中島篤子 (1979) 原蚕の稚蚕期人工飼料飼育に関する研究. IV給餌量, 給餌回数, 及び蚕座面積. 長野蚕試要報, (15), 126-135.
- 56) 上田 悟・北沢敏男・木下伝一・笹原重雄・加藤清正・柳川弘明・松田基一・須藤光正・鈴木 清・久保村安衛 (1988) 原蚕飼育における5齢期の給餌量と産卵性との関係. 蚕糸試験場彙報, (132), 101-116.
- 57) 堀江保宏・井口民夫・渡辺喜二郎・中曾根正一・柳川弘明 (1973) 家蚕人工飼料の組成と飼料効率. 蚕糸試験場彙報, (96), 41-55.
- 58) 平塚英吉 (1917) 家蚕の栄養に関する研究. 蚕業試験場報告, 2, 353-412.
- 59) 松尾ヒロ子 (1970) 人工飼料に対する蚕品種の適応性について. 長野蚕試要報, (6), 171-193.
- 60) 松尾ヒロ子 (1972) 人工飼料に対する蚕品種の適合性について. 長野蚕試要報, (8), 56-65.
- 61) 長島政喜 (1968) 人工飼料に対する蚕品種の適合性. 蚕糸試験場彙報, (92), 1-20.
- 62) 中村正雄 (1973) 人工飼料に適する蚕品種の適合性調査. 蚕糸試験場彙報, (96), 159-165.
- 63) 井口民雄・中村晃三・吉村 亮・新倉克己・野尻邦雄 (1975) 人工飼料中の桑葉粉末量と原蚕の摂食および成育. 蚕糸試験場彙報, (102), 59-68.
- 64) 木口憲爾・安居院宣昭・川崎秀樹・小林勝利 (1985) 家蚕の5齢および蛹化脱皮期における発育タイムテーブルーとくに血中エクジステロイド濃度の変動と形質発現について. 蚕糸試験場報告, 30, 83-100.
- 65) 清水久仁光・松野道雄 (1975) 保存品種の蠶蚕の人工飼料摂食性. 蚕糸研究, (97), 9-24.
- 66) 加藤清正・新倉克己・中水流 操・滝沢寛三 (1984) 原蚕の人工飼料育にかける4~5齢期の給餌量の多少が蚕の成育, 蘭の計量形質並びに産卵性に及ぼす影響. 蚕糸試験場彙報, (121), 55-64.
- 67) 黒田 秩・住岡秀司・吉武成美 (1980) 給餌量を制限したカイコの成長曲線の解析. 日本蚕糸学雑誌, 50, 175-179.
- 68) 高見丈夫 (1969) II原蚕飼育と造卵及び産卵. 蚕種総論, 34-88. 全国蚕種協会, 東京都.

- 69) 竹内好武・高坂孝義 (1962) 家蚕の1・2・3齢の各齢期における発育時期別の食下量および消化量について. 蚕糸試験場彙報, (79), 11-25.
- 70) 竹内好武・高坂孝義・上田 悟 (1964) 4・5齢期の飼育温度と食下量および消化量の関係. 蚕糸試験場彙報, (84), 1-12.
- 71) 上田 悟・鈴木 清 (1967) 家蚕の成長に関する研究 I. 食下量, 消化量, 体重および体水分重の関係. 蚕糸試験場報告, 22, 33-74.
- 72) 赤尾 晃 (1942) 絹糸腺除去蚕の生化学的態度より観たる絹糸腺の生物学的意義に就いて. 蚕糸試験場報告, 11, 295-309.
- 73) 真浦正徳 (1983) 原蚕の全齢人工飼料育. (6) 5齢期の給餌制限と飼料効率. 山梨県立蚕業試験場要報, (22), 28-32.
- 74) 滝沢寛三・木下伝一・新保 博 (1988) 5齢期給餌量が, 原蚕の成育, 繭の計量形質並びに産卵性に及ぼす影響. 蚕糸試験場彙報, (132), 89-99.
- 75) 伊藤智夫 (1961a) 家蚕の栄養に関する研究 I. 幼虫に対する大豆油の栄養効果について. 蚕糸試験場報告, 16, 311-341.
- 76) 伊藤智夫 (1961b) 家蚕の栄養に関する研究 III. ステリン要求ならびにステリンの摂食への影響について. 蚕糸試験場報告, 17, 91-115.
- 77) 伊藤智夫 (1961c) 家蚕の栄養に関する研究 IV. アスコルビン酸の効果について. 蚕糸試験場報告, 17, 119-133.
- 78) 伊藤智夫・田中元三 (1962) 家蚕の栄養に関する研究 VI. 人工飼料に添加する糖と蛋白の量の影響について. 蚕糸試験場報告, 18, 1-31.
- 79) 伊藤智夫・荒川成彦 (1965b) 家蚕の栄養に関する研究 IX. アスコルビン酸の栄養効果(続報). 蚕糸試験場報告, 20, 1-15.
- 80) 伊藤智夫・荒川成彦 (1965a) 家蚕の栄養に関する研究 VIII. アミノ酸要求ならびに各蛋白質の栄養効果について. 蚕糸試験場報告, 19, 345-369.
- 81) 伊藤智夫・堀江保宏・荒井成彦・渡辺喜二郎・中曾根正一・篠原栄子 (1966b) 家蚕に対する植物油の栄養効果. 蚕糸研究, 59, 27-32.
- 82) 伊藤智夫・新村正純 (1966) 家蚕の栄養に関する研究 XII. 無機物の栄養効果について. 蚕糸試験場報告, 20, 361-372.
- 83) 伊藤智夫・中曾根正一 (1966) 家蚕の栄養に関する研究 XIII. 脂肪酸の栄養効果について. 蚕糸試験場報告, 20, 375-388.
- 84) 堀江保宏・渡辺喜二郎・伊藤智夫 (1966) 家蚕の栄養に関する研究 XIV. ビタミンB群の要求について(続報). 蚕糸試験場報告, 20, 393-407.
- 85) 渡辺喜二郎・堀江保宏 (1980) 飼料中の必須アミノ酸量が蚕の繭糸腺の成長, 体液成分および尿酸排泄量に及ぼす影響. 日本蚕糸学雑誌, 49, 177-185.
- 86) 巖本章子・江口正治 (1975) 家蚕幼虫の中腸組織と消化液プロテアーゼ: 酵素の性質と分離. 日本蚕糸学雑誌, 44, 190-194.
- 87) 水田美照・穂之上 但・和田武春 (1969) 家蚕原種の蛹重と産卵数との関係について. 蚕糸試験場報告, 23, 515-530.
- 88) 真浦正徳 (1981) 原蚕の全齢人工飼料育(3) 5齢中の脱脂大豆粉末および桑葉粉末の添加量と産卵性. 山梨県立蚕業試験場要報, (20), 43-48.
- 89) 鎌田直人 (1996) ブナ林の昆虫と樹林の相互作用. 森林総合研究所東北支所年報, (37), 53-56.
- 90) 船隈 透・林 勝哉・向井純一郎 (1977) 家蚕幼虫中腸型ヌクレアーゼの消化液ヌクレアーゼへの転換. 日本農芸化学会誌, 51, 359-369.
- 91) 角田素行・山下興亞 (1978) 家蚕の中腸トレハラーゼ: 幼虫期の変動ならびにホルモン処理の影響. 日本蚕糸学雑誌, 47, 201-208.
- 92) 金勝廉介 (1972) カイコ消化液アミラーゼについて. 日本蚕糸学雑誌, 41, 445-451.
- 93) 平田保夫 (1974) 家蚕の消化液アミラーゼ ae (-) 型品種における酵素活性の高, 低と実用形質との関係. 日本蚕糸学雑誌, 43, 384-390.
- 94) 江口正治・沢木正彦 (1971) 家蚕中腸のアルカリ性フォスファターゼの多型 I. 数々の方法による分離. 日本蚕糸学雑誌, 40, 463-467.

- 95) Konnno, K., Hirayama, C., and Shinbo, H. (1996) Unusually high concentration of free glycine in midgut content of the silkworm, *Bombyx mori*, and other lepidopteran larvae. Comparative Biochemistry and Physiology ParatA. **115**, (3), 229–235.
- 96) Butenandt, A., Beckmann, R., and Hecker, E. (1961) Der biologische test und die isolierung des reinen sexuallockstoffes Bombykol. Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem., **324**, 71–83.
- 97) Ando, Y., Hase, T., Funakoshi, T., Arima, R., and Uchiyama, M. (1988) Sex pheromone biosynthesis from ¹⁴C-hexadecanoic acid in the silkworm moth. Agric. Biol. Chem., **52**, 141–147.
- 98) 上田 悟 (1965) 家蚕の5齢期における成長発育に関する2,3の計量形質の要素の推移とそれらの相互関係. 蚕糸試験場報告, **19**, 331–343.
- 99) 佐々木正巳・地曳文夫・広部達道 (1984) クワコとカイコの日周行動の比較. 玉川大学農学部研究報告, (24), 26–42.
- 100) Kanzaki, R. and Shibuya, T. (1992a) Olfactory processing pathways of the insect brain. Zoological Science, **9**, 241–264.
- 101) Kanzaki, R. and Shibuya, T. (1992b) Long-lasting excitation of protocerebral bilateral neurons in the pheromone-processing pathways of the male moth *Bombyx mori*. Brain Research, **587**, 211–215.
- 102) 竹田 寛・田中一行 (1952) 家蚕蛾の明および暗状態に於ける誘引物質の分泌活動について. 日本蚕糸学雑誌, **21**, 127–128.
- 103) 松本正吾 (1995) FXPRL アミド配列を持つ昆虫神経ホルモン. バイオサイエンスとインダストリー, **53**, (9), 16–20.
- 104) Matsumoto, S. (1997) Intracellular signal transduction of pheromone biosynthesis activating neuropeptide (PBAN) in lepidopteran insects. Recent Res. Devel. in Agricultural & Biological Chem, **1**, 33–49.
- 105) 三谷賢三郎 (1918) 微粒子病の伝染源としての桑の螟蛾に就いて. 愛知県立原蚕種製造所報告, (5), 193–199.
- 106) 広瀬安春 (1979) 微粒子病原虫の野外昆虫の成虫翅部への寄生とその蚕への伝染源としての役割. 蚕糸研究, (110), 111–115.
- 107) 中水流 操 (1977) 日137号の登族, 嘘繭行動における若干の特徴. 蚕糸研究, (104), 89–95.

食性異常遺伝子および広食性遺伝子を活用する 毒性物質検定用蚕の開発

大沼昭夫・竹村洋子・持田裕司・松本正江

蚕業技術研究所

AKIO OHNUMA, YOKO TAKEMURA, YUJI MOCHIDA and MASAE MATSUMOTO: Development of the silkworm race which has non-preference genes and polyphagous genes for testing of effect of toxic substances

緒 言

多種多様な化学物質が各種産業分野で利用されており、これら物質の変異原性や環境への影響などが社会的に懸念されている。それら物質の毒性（遺伝毒性も含む）を検定するバイオアッセイ系の開発は重要な課題の一つである。既に本来挾食性と言われている蚕から広食性蚕系統が開発され、その蚕系統を用いて農作物付着農薬の影響や植物中の生理活性物質の検出が試みられている^{1, 2)}。

今回著者らは、現在の広食性蚕系統より更に食性幅の広い蚕系統の作出を目指し、既知の広食性遺伝子と食性異常遺伝子を取り入れた蚕系統の開発を行った。すなわち、桑の全く含まれていない人工飼料の摂食性に優れた広食性遺伝子 *Sek*³⁻⁵⁾ や真野⁶⁾と横山⁷⁾、神田ら⁸⁻¹⁰⁾に由来する広食性遺伝子 *Ph^B*, *Ph^S*¹¹⁾など 2 対の広食性遺伝子をホモに持つ系統¹²⁾に、放射線照射により誘発された食性異常遺伝子 *Np*¹³⁾ や *Np_{-A4}*^{14, 15)} 遺伝子を取り入れた系を構築し、従来よりも更に食性幅が広い新しい毒性物質検定用蚕系統を開発した。それらの概要を報告する。

なお、新たな毒性物質検定用蚕系統構築の第 1 段階は、第 11 連関群の食性異常遺伝子 *Np**（以後特に記述しない限り *Np_{-A4}* と *Np* の複対立遺伝子を一括して *Np** と略記する）と同じ連関群のこぶ遺伝子 *K* で標識しフダンソウ等による食下確認を省略しても *K* 遺伝子で視覚的に追跡できる系統を作出する。第 2 段階は第 1 段階で作出した *Np* と *K* と同連関群の着色非休眠卵 *pnd* の正常遺伝子 *+pnd* の三つの遺伝子をシス（*Np* と *K* および *+pnd* を同一染色体上に座位する）に持ち、かつ第 5 連関群の *Sek* をホモに持ち、更に第 3 連関群の *Ph**（以後複対立遺伝子 *Ph^B* と *Ph^S* を区別しない場合は *Ph** と略記する）をホモに持つ系統¹²⁾を導入する。そして第 3 段階は *Sek*, *Ph**, *pnd* の 3 対の遺伝子をホモに持つ系統を作出し、これを用いて *Np** 遺伝子をヘテロに持ち *Sek* と *Ph** をホモに持つ個体だけを簡易に毎代得る事が可能な系統を構築する。最後に数種の野菜等を用いて残留農薬等の検定を行う手順で進められた。

実験に供した着色非休眠卵（*pnd*）系統^{16, 17)}は九州大学大学院農学研究院遺伝子資源開発研究センターより分譲を受けたものであり、厚くお礼申し上げる。また実験を遂行するに当たりご指導頂いた蚕業技術研究所所長井上元博士、蚕業技術研究所名誉所長田島弥太郎博士に厚くお礼申し上げる。

材料と方法

材料に用いた食性に関する遺伝子は第 11 連関群の *Np*, *Np_{-A4}* と第 5 連関群の *Sek* および 3 連関群に属する *Ph^B* や *Ph^S* である。これに第 11 連関群の標識としてこぶ遺伝子 *K* を、第 5 連関群の標識として卵色遺伝子 *pe* を、第 3 連関群の標識として虎蚕遺伝子 *Ze* を用いた。また、最終的に目的の遺伝子を有する個体だけを得るために選別には *pnd* を活用した。なお桑粉末が全く含まれていない人工飼料⁵⁾でも良く食下し、二種の広食性遺伝子 *Sek*, *Ph** をホモに持つ *peSPh* 系統（*Ph^B Ze/Ph^S +Ze; pe Sek/pe Sek*）は著者ら¹²⁾

が構築したものである。

結 果

1. 食性異常遺伝子 Np^* をこぶ遺伝子 K で標識する系統の作出

新規系統の構築に必要な食性異常遺伝子 Np^* を容易に追跡出来るよう、 K （こぶ）遺伝子で標識した系統で Np^* と K をシス型 (Np^* と K が同一染色体上に座位する) に持つ組換体の作成を行う。そのため、 K 系統遺伝子型 $K^{Np^*}/+^K +^{Np^*}$ 雌 ($+^{Np^*}$ は + の肩の遺伝子 Np^* に対し正常であることを示す他の遺伝子記号も同様) に Np^* 系統遺伝子型 $+^K +^{Np^*}/+^K Np^*$ の A 系統 (Np_{-A} を持つ) または E 系統 (Np を持つ) 雄を交配し、その F_1 についてフダンソウの食下テスト (3 歳、4 歳) を行い両遺伝子を持つ個体を探した (表 1)。なお K の調査はフダンソウ食下個体のみについて行った。その結果 (K・A), (K・E) の両区ともに約 10% 食下したが、理論値 50% より明らかに低かった。これは K 系統の食性に関する修飾遺伝子⁵⁾ の保有量が少ないからと思われた。いずれにしろ、これら食下 K 個体は K と Np^* の両遺伝子をトランスペテロ (相同染色体の一方には K が有り、他方には Np^* が座乗する) に持つと考えられる。

次に、ここで得られた雄個体を peSPh 系統雌に交配した。なお peSPh 系統の遺伝子組成は第 5 染色体上の卵色遺伝子 pe で標識された広食性遺伝子 Sek をホモに持ち、かつ第 3 染色体上の Ze (虎蚕) 遺伝子で標識された広食性遺伝子 Ph^B と無標識の Ph^S を持つ $pe\ Sek/pe\ Sek; Ph^B\ Ze/Ph^S\ +^{ze}$ である¹²⁾。なお peSPh 系統を交配に用いたのは組換体の検出を行うと共に広食性に関する遺伝子 Sek や Ph^* 遺伝子を導入するためである。そこで、フダンソウの代用とした小松菜を食下する K 個体すなわち組換体 (Np^* と K のシス型) を探した (表 2)。なお、 K の調査は小松菜食下個体のみについて行った。

その結果、SPh (K・A) では組換型 ZeK が 23 頭、 $+^{ze}K$ が 21 頭得られた。また SPh (K・E) では組換型 ZeK が 23 頭、 $+^{ze}K$ が 10 頭得られた。なお K と Np^* 間の組換率は規定値 7.3% とほぼ同じ値 (7.1%, 5.2%) であった。これら組換型個体はいずれも K と Np^* 遺伝子をシスに持つと考えられる個体である。しかし Np^* 遺伝子を保有しない場合でも、僅かにフダンソウを食下する場合のあることが知られている¹³⁾ ので、これら ZeK 個体が Np^* 遺伝子を持つことを確認する必要があった。

そこで、表 2 の小松菜食下 ZeK 個体雌に peSPh 系統を交配して得られた次代の各区 3 蛾区について分離型を調査した。なお、分離した K 個体の一部について小松菜で食下テストを実施し Np^* の有無を調べた (表 3)。これら世代の蛾区は peSPh 系統を戻し交雑されている世代であるので $+^{pe}$ と pe を 1 : 1 に分離しているが、便宜的に混合飼育とした。

表 1. K 系統と Np^* を持つ系統の F_1 のフダンソウ食下率

区名	食下頭数		不食下 頭数	合計	食下率 (%)
	K	+			
(K・A)	33	55	874	962	9.1
(K・E)	52	58	874	984	11.2

表 2. K 系統と Np^* をシスに持つ組換体の検出

記 号	小松菜食下頭数				不食下 頭数	合計	食下 率(%)	組換 率(%)
	Ze	K^{**}	$+^{ze}$	K^{**}				
SPh (K・A)	23	21	306	273	1,496	2,119	29.4	7.1
SPh (K・E)	23	10	317	286	1,245	1,881	33.8	5.2

**は組換型

表3. *K*系統と*Np**とをシス型に持つ組換型と考えられた個体の確認

記号	表現型				合計	<i>K</i> (<i>Ze</i> <i>K</i> または ^{<i>Ze</i>} <i>K</i>)			食下率(%)
	<i>Ze</i> <i>K</i>	^{<i>Ze</i>} <i>K</i>	<i>Ze</i> ^{<i>K</i>}	^{<i>Ze</i>} ^{<i>K</i>}		食下	不食	合計	
(KA) SPh-1	55	59	68	57	239	0	47	47	0.0
(KA) SPh-2	24	64	24	55	167	11	2	13	84.6
(KA) SPh-3	45	55	44	55	199	19	5	24	79.2
(KE) SPh-1	33	43	35	61	172	13	2	15	86.7
(KE) SPh-2	64	74	77	87	302	1	24	25	4.0
(KE) SPh-3	15	35	27	36	113	12	3	15	80.0

その結果、各区とも *ZeK* : ^{*Ze*}*K* : *Ze*+^{*K*} : +^{*Ze*}+^{*K*} をほぼ 1 : 1 : 1 : 1 に分離した。しかし、*K* 個体 (*ZeK* または ^{*Ze*}*K*) 個体の小松菜食下率に大きな差異が認められた。すなわち、(KA) SPh-2 (84.6%), (KA) SPh-3 (79.2%), (KE) SPh-1 (86.7%), (KE) SPh-3 (80.0%) がいずれも高い値を示したのに対し、(KA) SPh-1 (0.0%), (KE) SPh-2 (4.0%) では極めて低い値であった。これらのことから、前者は *Np** と *K* とをシスに持つ組換体であることが確かめられた。一方、後者は *Np** 遺伝子を持たず表型模写体と推定された。故に、前者 *ZeK* 雌個体の遺伝子型は *Ph^B Ze/Ph^S +^{*Ze*} ; pe Sek/pe Sek ; K Np*/+^{*K*}+^{*Np**} と *Ph^B Ze/Ph^S +^{*Ze*} ; pe Sek/+^{pe} +^{Sek} ; K Np*/+^{*K*}+^{*Np**} の 2 種と考えられた。従って、これら雌に peSPh 系統雄を交配し pe 卵のみを分離する蛾区の遺伝子型は前者すなわち *Ph^B Ze/Ph^S +^{*Ze*} ; pe Sek/pe Sek ; K Np*/+^{*K*}+^{*Np**} と考えられた。これを (KA) peSPh および (KE) peSPh と表記する。結果として、2 対の広食性遺伝子をホモに持ち、かつ *Np** 遺伝子を持つ系統が得られたと考えられた。しかし、*Np** は劣性の致死遺伝子を伴っているためホモにできず、毎代正常 (+^{*Np**}/+^{*Np**}) を分離するので、これを実用に用いるには効率面で問題となる。そこで、目的の *Ph^B Ze/Ph^S +^{*Ze*} ; pe Sek/pe Sek ; K Np*/+^{*K*}+^{*Np**} や *Ph^S +^{*Ze*}/Ph^S +^{*Ze*} ; pe Sek/pe Sek ; K Np*/+^{*K*}+^{*Np**} 遺伝子型個体だけを得るには、不要な *Np** を持たない個体 *Ph^B Ze/Ph^S +^{*Ze*} ; pe Sek/pe Sek ; +^{*K*}+^{*Np**}/+^{*K*}+^{*Np**} や *Ph^S +^{*Ze*}/Ph^S +^{*Ze*} ; pe Sek/pe Sek ; +^{*K*}+^{*Np**}/+^{*K*}+^{*Np**} を事前に廃棄すれば良いわけである。そのため *pnd* 遺伝子を用いてこの作業を行うことにした。*******

2. *Sek* と *Ph* および *pnd* をホモに持つ系統の構築

まず、peSPh 系統¹²⁾の *Ph^B Ze/Ph^S +^{*Ze*} ; pe ; Sek/pe Sek 雌（図1 A）に *pnd*（着色非休眠卵）系統 ++/++ ; ++/++ ; ++*pnd*/++*pnd*（図1 C）の雄を交配した。これが F₁ に分離する 2 型の内の虎蚕の遺伝子型（以後簡略のため + 肩の遺伝子記号は略記する場合がある）は、*Ph^B Ze/++ ; pe Sek/++ ; +++/++ pnd* (G2 世代 D) となり、またこの遺伝子型の雌に *pnd* 系統雄を再度交雑すると G3 世代に 8 組の遺伝子型が分離して、この内の着色非休眠卵の虎蚕には *Ph^B Ze/++ ; ++/++ ; ++*pnd*/++*pnd** (G3 世代 E) と *Ph^B Ze/++ ; pe Sek/++ ; ++*pnd*/++*pnd** (F) との 2 種があり、これらの雌に *Ph^S+/Ph^S + ; pe Sek/pe Sek* 雄 (B) を交配した場合には、*pe* を分離する雌親は後者の (F) *Ph^B Ze/++ ; pe Sek/++ ; ++*pnd*/++*pnd** と考えられる。*

この考察に基づくと、この組合せで得られる次代 4 型の内虎蚕 *pe* の卵は *Ph^B Ze/Ph^S + ; pe Sek/pe Sek ; ++*pnd*/++*pnd** (G4 世代 G) であり、この雌に *Ph^S +^{*Ze*}/Ph^S +^{*Ze*} ; pe Sek/pe Sek 雄 (B) を交配して得られる 4 型の内の虎蚕 *pe* 卵雌に対して +^{*Ze*} *pe* 雄を交配すると *pnd* を分離する遺伝子型は *Ph^B Ze/Ph^S + ; pe Sek/pe Sek ; ++*pnd*/++*pnd** (G5 世代 H) と *Ph^S +^{*Ze*}/Ph^S + ; pe Sek/pe Sek ; ++*pnd*/++*pnd** (G5 世代 I) と考えられる。*

それ故、この交配で分離する着色非休眠卵個体の遺伝子型は、*Ph^B Ze/Ph^S + ; pe Sek/pe Sek ; ++*pnd*/++*pnd** (G6 世代 J) と *Ph^S +^{*Ze*}/Ph^S +^{*Ze*} ; pe Sek/pe Sek ; ++*pnd*/++*pnd** (G6 世代 K) と考えられる。図1に示したように、G7 世代には 2 種の広食遺伝子 *Ph** と *Sek* をホモに持ち、かつ *pnd* もホモに持つ遺

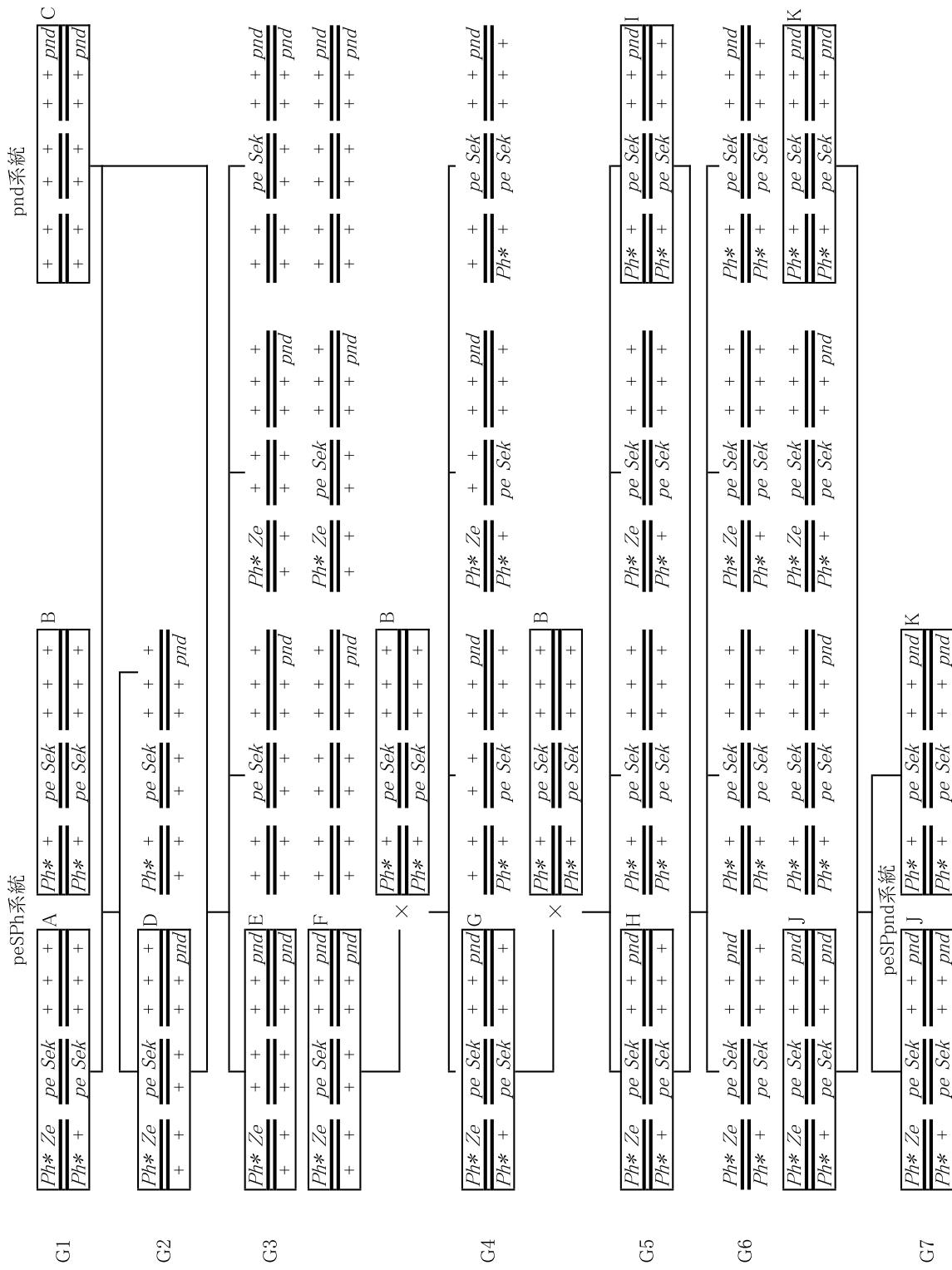


図1. 広食性遺伝子 *Sek* と *Ph**をホモに持つ系統に着色非休眠卵遺伝子 *pnd*を導入する方法□内が次代へ継続した遺伝子型

伝子型 J, K が構築出来るものと考え、この手法によって得られた系統 (G7 世代 J, K) を peSPpnd と表記した。

なお、このような煩雑な交配を行った理由は、交配に用いる雄の自然組換による標識遺伝子の喪失を防ぐためであった。

3. *Np* と *K* をシス型に持つ系統に *pnd* の導入

上述の実験で、食性異常遺伝子 *Np** を *K* で標識しフダンソウ等による食下確認をすることなく *Np** 遺伝子を追跡できる 2 系統 (KA) peSPh と (KE) peSPh を作出したので、この系統雌に広食性遺伝子 *Sek* と *Ph** 遺伝子をホモに持ち、かつ、食性異常遺伝子 *Np** と同一連関群に所属する *pnd* (着色非休眠) 遺伝子をホモに持つ系統 (peSPpnd) 雄を戻し交雑し、*Np** と +^{Np}* 個体の選別に用いる目的で *pnd* 遺伝子の導入を行った。

まず F_1 の分離を見ると表 4 に見られるとおり (KA) peSPpnd, (KE) peSPpnd のいずれも *K Ze*, +^K *Ze*, *K* +^{Ze}, +^K +^{Ze} の 4 型を分離した。また、表 4 の *K Ze* と +^K +^{Ze} 個体について小松菜の食下確認試験を行ったところ、+^K +^{Ze} 個体の食下率は予想どおり低かった (約 9%) が、*K Ze* 個体は小松菜をよく食下 (約 90%) し、*Np** 遺伝子を保有していることが明示された。

次に BF_1 で得られた 15 蛾区をそれぞれ折半して A 区と B 区とし、A 区は即浸処理後掃立した。B 区は浸酸せず催青し孵化したものを B1 とし掃立て調査した (表 6, 7)。なお B 区の休眠性の判断は催青着手約 2 週間後も孵化せず越年卵色を呈している卵を休眠卵とし、休眠卵と考えられた卵 (B2) はその後冷浸処理により休眠を打破し催青掃立し 4 歳で斑紋とこぶ等について調査した (表 6, 7)。

その結果、A 区は表 6, 表 7 とも *Np** 遺伝子を持つと推定される個体 (*K Ze*, *K* +^{Ze}) と *Np** を持たないと考えられる個体 (+^K *Ze*, +^K +^{Ze}) を分離した。これに対して、B1 区 (無浸酸区) は +^K 型 (+^K *Ze*, +^K +^{Ze}) のみを分離し、*K* 個体すなわち *Np** 遺伝子を持つと考えられる個体 (*K Ze*, *K* +^{Ze}) は全く分離しなかったが、B2 区冷浸区からは *K* 個体、すなわち *Np** 遺伝子を持つと考えられる *K Ze*, *K* +^{Ze} の個体のみを分離した。

このことを確認するため、表 6 と表 7 の両 B2 区の休眠 *K Ze* 雌に peSPpnd 系統 (pe Sek/pe Sek; *Ph*^S +/*Ph*^{S+}; ++*pnd*/++*pnd*) 雄を戻し交雫し、得られた次代の休眠卵について斑紋とこぶ等の調査を行った (表 8)。なお蚕種の保護は普通の越年種の保護とした。

その結果、(KA) peSPpnd と (KE) peSPpnd の何れの休眠卵から得られた個体は *K* 個体 (*K Ze*, *K* +^{Ze}) のみで、+^K (+^K *Ze*, +^K +^{Ze}) は全く分離しなかった。このことから、第 11 連関群の食性異常遺伝子 *Np**

表 4. *K* 系統と *Np** をシスに持つ系統雌に peSPpnd 系統雄を交雫した F_1 の分離

記 号	表 現 型					合計
	<i>K Ze</i>	+ ^K <i>Ze</i>	<i>K</i> + ^{Ze}	+ ^K + ^{Ze}		
(KA) peSPpnd	105 (14.1)	293 (39.4)	79 (10.6)	267 (35.9)	744	
(KE) peSPpnd	151 (18.3)	263 (31.9)	147 (17.8)	264 (32.0)	825	

() 内は出現率%

表 5. 表 4 の *K Ze* または +^K +^{Ze} 個体における小松菜食下率

記 号	<i>K Ze</i>		+ ^K + ^{Ze}	
	食下 (%)	不食下 (%)	食下 (%)	不食下 (%)
(KA) peSPpnd	48 (87.3)	7 (12.7)	—	—
(KE) peSPpnd	59 (90.8)	6 (9.2)	9 (9.1)	90 (90.9)

表6. 表5の(KA) peSPpndのK Ze食下雌個体にpeSPpnd系統雄を戻し交雑したBF₁の分離

区名	浸酸処理	遺伝子型	卵数	表現型				合計
				K Ze	+ ^K Ze	K + ^{Ze}	+ ^K + ^{Ze}	
A	即時浸酸	pnd/pnd + ^{pnd} /pnd	1,763	228 (16.8)	466 (34.2)	215 (15.8)	452 (33.2)	1361
B1	無浸酸	pnd/pnd	915	0 (0.0)	431 (53.7)	0 (0.0)	372 (46.3)	803
B2	冷藏浸酸	+ ^{pnd} /pnd	843	213 (57.3)	0 (0.0)	159 (42.7)	0 (0.0)	372

()内は出現率%

表7. 表5の(KE) peSPpndのK Ze食下雌個体にpeSPpnd系統雄を戻し交雑したBF₁の分離

区名	浸酸処理	遺伝子型	卵数	表現型				合計
				K Ze	+ ^K Ze	K + ^{Ze}	+ ^K + ^{Ze}	
A	即時浸酸	pnd/pnd + ^{pnd} /pnd	1,570	182 (19.4)	306 (32.6)	156 (16.6)	296 (31.5)	940
B1	無浸酸	pnd/pnd	843	0 (0.0)	409 (51.6)	0 (0.0)	383 (48.4)	792
B2	冷藏浸酸	+ ^{pnd} /pnd	843	191 (53.5)	0 (0.0)	166 (46.5)	0 (0.0)	357

()内は出現率%

表8. 表6 (KA) peSPpndと表7 (KE) peSPpndのK Ze食下雌にpeSPpnd系統雄を戻し交雑したBF₂の分離

記号	休眠性	遺伝子型	孵化率 (%)	表現型				合計
				K Ze	+ ^K Ze	K + ^{Ze}	+ ^K + ^{Ze}	
(KA) peSPpnd	休眠	+ ^{pnd} /pnd	64.0	260 (55.4)	0 (0.0)	209 (44.6)	0 (0.0)	469
(KE) peSPpnd	休眠	+ ^{pnd} /pnd	62.3	159 (55.4)	0 (0.0)	128 (44.6)	0 (0.0)	287

()内は出現率%

を持ち、かつ第3連閑群のPh*, 第5連閑群のSek広食性遺伝子をホモに持つ個体のみを得る方法が確立できたと考えられた。以降、この新しく構築できた食性変異系統 (KA) peSPpnd の+^{pnd}個体をSPNA とし、(KE) peSPpnd の+^{pnd}個体をSPNE と略記する。

この新しい食性変異系統は特殊な遺伝子組成を持つことから、毎世代 peSPpnd 系統雄を戻し交雑する必要がある。

ところで、表8の(KE) peSPpndのK Ze雌個体にpeSPpnd系統雄を戻し交雑したBF₃の+^{pnd}/pndとpnd/pndの分離は、本来1:1に分離することが期待される。したがって、pnd/pndは約50%分離すると考えられるのに、実際は表9に示したようにかなり少なかった(18.2%)。その要因は孵化率が16.3%と極端に低かったことに起因すると推察された。

この要因を明らかにするため、産下2日後の着色非休眠卵を5°Cに抑制し、催青のため出庫するまでの冷蔵日数と孵化率との関係を各蚕期について調べた(表10)。

その結果、冷蔵日数が10日前後である初秋、晩秋、初冬の飼育期ではいずれも90%以上の高い孵化率を

表9. 表8の(KE) peSPpndのK Ze雌個体にpeSPpnd系統雄を戻し交雑したBF₃の分離

記号	孵化率 (%)	遺伝子型	表現型				分離率 (%)
			K Ze	+ ^K Ze	K + ^{Ze}	+ ^K + ^{Ze}	
(KE) peSPpnd	16.3	+ ^{pnd} /pnd	153 (55.6)	0 (0.0)	122 (44.4)	0 (0.0)	275 81.8
		pnd/pnd	0 (0.0)	36 (59.0)	0 (0.0)	25 (41.0)	61 18.2

()内は出現率%

表10. 着色非休眠卵(pnd/pnd)の5℃抑制日数と孵化率

採種 蚕期	飼育 蚕期	休眠性	遺伝子型	蚕卵 粒数	5℃抑制 日数	孵化率 (%)
初冬	翌年 早春	非休眠	pnd/pnd	1,851	42	9.6
早春	春	非休眠	pnd/pnd	1,240	45	22.0
春	初秋	非休眠	pnd/pnd	1,072	11	92.7
初秋	晚秋	非休眠	pnd/pnd	707	10	94.2
晚秋	初冬	非休眠	pnd/pnd	748	13	92.0

示し、孵化率の低下は認められなかった。これに対し、5℃冷蔵日数が40日以上の早春、春蚕期では極端に孵化率が低下している(早春蚕期9.6%、春蚕期22.0%)。したがって、初冬蚕期に採種したpnd蚕種を翌年春蚕期に掃立てるには、5℃冷蔵日数が150日を越えるとほとんど孵化しないことが考えられ、系統維持が困難になることが予想された。

そこで、*Ze Ph^B/+^{Ze} Ph^S*, *pe Sek/pe Sek*, *K Np^{*} +^{pnd}/+^K +^{Np*} pnd*を翌年初秋蚕期に孵化するように設定し、これに合わせるため+^{Ze} Ph^S/+^{Ze} Ph^S, *pe Sek/pe Sek*, +^K +^{Np*} +^{pnd}/+^K +^{Np*} pnd(休眠卵)で年を越させて春蚕期に飼育し、相互交配を行い次代にpndを分離させ初秋蚕期に待ち受けている*Ze Ph^B/+^{Ze} Ph^S*, *pe Sek/pe Sek*, *K Np^{*} +^{pnd}/+^K +^{Np*} pnd*雌に交配すれば良いことになる。このことを実証するため、+^{Ze} Ph^S/+^{Ze} Ph^S, *pe Sek/pe Sek*, +^K +^{Np} +^{pnd}/+^K +^{Np} pnd系統を相互交配して得られた蚕種を用いて試験した(表11)。

その結果、前年春蚕期に採種した蚕種は、休眠卵(+/+、+/*pnd*)が1,368粒で非休眠卵(*pnd/pnd*)が414粒となり、予想どおり3:1に分離した。ここで得られた休眠卵を翌春蚕期に孵化させた場合の孵化率は93.9%で前年孵化した同蛾区の*pnd/pnd*と同様高い孵化率を示した。この方法により+^{Ze} Ph^S/+^{Ze} Ph^S, *pe Sek/pe Sek*, +^K +^{Np} +^{pnd}/+^K +^{Np} pnd蚕を安定して確保できることとなった。そして、この区の雄を特殊な食性変異系統のSPNAやSPNE雌と交配することにより、本研究において作出された特殊な食性変異蚕系統の維持継代が円滑に行えるようになった。

4. 残留農薬の検出

上述のように、食性異常遺伝子および広食性遺伝子を活用する毒性物質等テスター用に供試得る蚕系統を開発し、蛾区内に分離する個体の中から3種の優性食性遺伝子を持つ個体のみを毎代容易に得る技術が確立された。

そこで、この3種の食性に関する遺伝子を持つ個体を用いて、市販されている野菜等を給与し、それらの摂食性と致死性の調査が毒性物質テスターとして使用可能性を検討した。なお*Sek*, *Ph^B*, *Ph^S*, *Np^{*}*等

表11. 休眠卵と非休眠卵の孵化率

採種 蚕期	次代飼 育蚕期	休眠性	遺伝子型	蚕卵 粒数	5°C冷蔵 日数	孵化率 (%)
春	初秋	非休眠	<i>pnd/pnd</i>	414	9	92.3
	翌年 春	休眠	<i>+/+ +/pnd</i>	1,368	313*	93.9

*:産卵後出庫までの日数

それぞれの遺伝子を単独に持つ系統では、種々の樹木の葉や野草を用いて食下試験を行った¹⁴⁾。

この試験に供した野菜は、アカザ科のホウレンソウを始め、キク科のレタス、アブラナ科のチンゲンサイ、ハクサイ、ブロッコリー、シナノキ科のモロヘイヤ、セリ科のミツバの合計5科7種である。購入先はスーパーA店で行い、必要に応じて産地の異なる野菜をB店で購入した。なお給与する場合には野菜の基部を水を含ませた脱脂綿で覆い萎凋を防いだ。

材料系統は食性変異 SPNA 系統 (*pe Sek/pe Sek, Ze Ph^B/+^{Ze} Ph^S, K Np_{-A4} +^{pnd}/+^K +^{Np-A4} pnd*) を用いた摂食試験の結果を表12に示す。この特殊な蚕系統と比較するため、従来の広食性P系統 (+^{Sek}/+^{Sek} Ph^S/Ph^S +^{Np*}/+^{Np*}) も併用した。なお、必要に応じて産地の異なる同種の野菜も追加した。

特殊な SPNA 系統ではいずれの野菜も程度の差こそあれ食下した。これに対し広食性P系統ではレタスとモロヘイヤの2種のみ食下し、食性に関与する優性遺伝子の量が多いほど摂食する野菜の範囲が広くなる傾向が明らかになった。第12表上段6種の野菜給与試験で、SPNA 系統の各25頭は全く致死しなかった。P系統では僅かに致死する場合もみられたが、大多数は致死しなかった。ところが、C産地のミツバ ***を給与した区では、2蚕系統とも食下、不食下に関わらず、いずれも高い致死率を示した。この場合、食下・不食下に関わらず幼虫は吐液し致死したことから、致死の主要因は野菜自体の成分よりも野菜に残留している農薬の作用により致死したのではないかと考えられた。なお、当該ミツバを食下したSPNA 蚕系統では不食下のP蚕系統よりも明らかに高い致死率(96%)が示された。

そこで、致死の主要因を明らかにするため SPNA 系統について産地の異なるミツバを給与し致死性を調査した(写真1, 2)結果はD産地のミツバでは葉柄以外全部食下されたが全く致死しなかった(写真2)。このことからC産地のミツバには農薬が残留しており、その作用により致死したことが強く示唆された。

このように、特殊な食性変異 SPNA 蚕系統を用いた残留農薬の検出が可能であることが明らかになった。

表12. SPNA 系統と P 系統における各種野菜の給与 6 時間後における摂食性および致死性

野菜名 \ 系統名	食性変異SPNA系統				広食性P系統			
	遺伝子型	<i>Sek/Sek</i>	<i>Ph^B/Ph^S</i>	<i>Np_{-A4} +^{Np-A4}</i>	<i>+^{Sek}/+^{Sek}</i>	<i>Ph^S/Ph^S</i>	<i>+^{Np-A4}/+^{Np-A4}</i>	
ホウレンソウ	+	25	0	0.0	-	15	0	0.0
レタス	+++	25	0	0.0	+++	15	1	6.7
チンゲンサイ	+++	25	0	0.0	-	15	0	0.0
ハクサイ	++	25	0	0.0	-	15	0	0.0
ブロッコリー	+++	25	0	0.0	-	15	0	0.0
モロヘイヤ	+++	25	0	0.0	+++	15	0	0.0
ミツバ***	++	25	24	96.0	-	15	6	40.0
ミツバ	++	25	0	0.0				

***:食性変異SPNA系統で高い致死率を示したみつばは別産(下段)のミツバで再調査した



写真1 給与直後のD産地のミツバと食性変異SPNA系統蚕



写真2 給与6時間後のD産地のミツバとSPNA蚕の状態

図2. D産地のミツバを食下する食性変異SPNA系統

考 察

各種の化学物質の変異原性や毒性（遺伝毒性も含む）を検定する蚕系統の開発を目途に、食性幅の特に広い蚕系統の作出を企画した。

既に、X線照射により食性異常遺伝子 *Np* が作出されている¹³⁾。また、蛹に γ 線照射を行い、種々の食性に関する突然変異を検出することができている¹⁴⁾。しかし、そのうちのいくつかは *Np* と同種の優性の食性異常遺伝子で、何れも劣性の致死遺伝子を伴っている¹⁵⁾。また γ 線照射により誘発された食性異常遺伝子をビートを用いてスクリーニングし、見出した伴性の不完全優性食性異常遺伝子 *Bt*¹⁹⁾ は幼虫形質の軟体性を伴っていた。さらに、第3連閥群に属する優性の食性変異遺伝子 *Nps* (3-2.2)²⁰⁾ も見出されたが、同染色体上の2.2の位置に染色体切断を伴っていた²⁰⁾。このように、理想的な食性変異遺伝子を発見することは容易ではなかったが、これらの遺伝子を上手く組合せ構築することができれば、食性幅が広くて利用価値の高い蚕系統を開発することが可能ではないかと考えられた。

本研究において、食性に関与する遺伝子 *Np* と *Np_{A4}* および *Sek*, *Ph^B*, *Ph^S* を用いて、現在よりも更に食性幅の広い、新しい広食性蚕系統の構築を試みた。またこれら遺伝子の存在有無を知るため、それぞれの遺伝子に標識となる遺伝子をリンクさせてみた。また、雄での自然組換が生起しても標識遺伝子で広食性遺伝子の存在有無が分かるような交配を行い、主たる食性に関与する遺伝子を追跡した。すなわち、*Np^{*}* 遺伝子を *K* 遺伝子で標識した染色体を作り、*Np^{*}* と *K* を同一染色体上に座乗して持つ系統を作出し、これに *pe Sek/pe Sek ; Ze Ph^B/+^{ze} Ph^S* を導入し、*pe Sek/pe Sek ; Ze Ph^B/+^{ze} Ph^S ; K Np+/+++* を作出した（A）。別途、*pe Sek/pe Sek ; Ze Ph^B/+^{ze} Ph^S* の系統に着色非休眠卵遺伝子 *pnd* を導入した *pe Sek/pe Sek ; Ze Ph^B/+^{ze} Ph^S ; ++pnd/++pnd* 系統（B）を作り、この A と B の両者を用いて、毎代 *Sek* と *Ph^{*}* をホモに持ち、かつ *Np^{*}* をヘテロに持つ *pe Sek/pe Sek ; Ze Ph^B/+^{ze} Ph^S ; K Np^{*}/++pnd* または *pe Sek/pe Sek ; +^{ze} Ph^S/+^{ze} Ph^S ; K Np^{*}/++pnd* だけを得ることができる蚕系統を構築することができた。この蚕系統は残留農薬等の検定に使用可能であることが明示された。

摘 要

各種の毒性物質等（遺伝毒性も含む）を検定するバイオアッセイ系開発のため、現在の広食性蚕系統より更に食性幅の広い蚕系統を作出した。

既知の（1）放射線照射により誘発された食性異常遺伝子 *Np* や *Np_{A4}* 遺伝子、（2）桑の全く含まれていな

い人工飼料でも優れた摂食性を示す広食性遺伝子 *Sek* や *Ph^B*, *Ph^S* を活用した。まず *Np** 遺伝子を *K* 遺伝子で標識した染色体を作り、次に *Np** と *K* とを同一染色体上に座乗して持つ系統に、既に作出してある *pe Sek/pe Sek ; Ze Ph^B/+^{ze} Ph^S* を導入し *pe Sek/pe Sek ; Ze Ph^B/+^{ze} Ph^S ; K Np*++/+++* 系統を作出した。別途、*pe Sek/pe Sek ; Ze Ph^B/+^{ze} Ph^S* の系統に着色非休眠卵遺伝子 *pnd* を導入した *pe Sek/pe Sek ; Ze Ph^B/+^{ze} Ph^S ; ++pnd/++pnd* 系統を作り、この両系統を用いて、毎代 *Sek* と *Ph** をホモに持ち、かつ *Np** をヘテロに持つ *pe Sek/pe Sek ; Ze Ph^B/+^{ze} Ph^S ; K Np*++/+++pnd* または *pe Sek/pe Sek ; +^{ze} Ph^S/+^{ze} Ph^S ; K Np*++/++pnd* だけを得ることができる蚕系統を構築することができた。

この蚕系統は残留農薬等の検定に使用できることが明示された。

Summary

We established the broad polyphagous silkworm strain for bioassay of toxic substances. We used several genes concerned on appetite, such as *Np* and *Np_{A4}* of non-preference gene, *Sek*, *Ph^B* and *Ph^S* of polyphagous genes.

Also, several marker were used for detect these genes location on the same chromosome.

We succeeded to select two basic strains as (1) *pe Sek/pe Sek ; Ze Ph^B/+^{ze} Ph^S ; K Np*++/+++* and (2) *pe Sek/pe Sek ; Ze Ph^B/+^{ze} Ph^S ; ++pnd/++pnd*.

Then, the hybrid silkworm race of these two basic strain has genes as *pe Sek/pe Sek ; Ze Ph^B/+^{ze} Ph^S ; K Np*++/++pnd* or *pe Sek/pe Sek ; +^{ze} Ph^S/+^{ze} Ph^S ; K Np*++/++pnd*, and it is able to use as a tester of toxic substances.

引用文献

- 1) 高部真典・石井正市 (1997) : 人工飼料に混入した農作物付着農薬の蚕児に及ぼす影響. 東北蚕糸研究, 22, 16.
- 2) 石井正市・高部真典 (1999) : 広食性蚕の利用による植物中の生理活性物質の検出とホウレンソウに含まれる脱皮ホルモン様物質. 日蚕雑68(5), 381-386.
- 3) 大沼昭夫・田島弥太郎 (1996) : “世界一”に見出された新しい広食遺伝子 *Sek*. 蚕研彙報, (44), 1-13.
- 4) 大沼昭夫 (1997) : 世界一に見出された広食遺伝子 *Sek* の連関検索. 蚕研彙報, (45), 1-6.
- 5) 大沼昭夫 (1999) : 蚕の在来種に潜在する食性突然変異の探索とその遺伝様式. 蚕研彙報, (47), 5-49.
- 6) 真野保久 (1990) : 広食性蚕品種の育成. 蚕糸技術, (139), 33-37.
- 7) 横山忠雄 (1975) : 食性異常蚕沢Jの由来と性質. 蚕研彙報, (24), 27-30.
- 8) 神田俊男 (1987) : 蚕の摂食性と広食性品種の育成. 蚕糸技術, (134) : 28-35.
- 9) 神田俊男・田村俊樹 (1991) : 広食性蚕品種の育成素材の作出. 蚕糸昆虫研報, (3) : 7-16.
- 10) 神田俊男 (1992) : カイコにおける線形計画人工飼料の摂食性に関する遺伝育種学的研究. 蚕糸昆虫研報, (5) : 1-89.
- 11) 田島弥太郎・大沼昭夫 (1992) : 蚕の食性突然変異に関する研究 (第2部) 第14報 広食性遺伝子が蚕の第3染色体上に座位することを証明する実験. 蚕研彙報, (40), 1-6.
- 12) 大沼昭夫・竹村洋子・田島弥太郎 (2002) : 広食性遺伝子 *Ph^B*, *Ph^S* と *Sek* の遺伝子量効果大日本蚕糸会研究報告, (50), 79-87.
- 13) 田島弥太郎・小林義彦・小沢民治・町田勇 (1984) : 蚕の食性突然変異 (*Np*) の研究. 蚕研彙報, (32), 7-32.
- 14) 田島弥太郎・大沼昭夫 (1985) : 蚕の食性突然変異に関する研究 (第2部) 第1報新しい突然変異蚕の研究. 蚕研彙報, (33), 1-19.
- 15) 田島弥太郎・大沼昭夫 (1986) : 蚕の食性突然変異に関する研究 (第2部) 第2報 各種食性突然変異系統の後代追跡と系統間の相互関係. 蚕研彙報, (34), 1-16.
- 16) Katsumata F (1968): Non-maternal inheritance in voltinism, observed in the crossing experiments between Indonesian polyvoltine and Japanese bivoltine race of the silkworm, *Bombyx mori* L. J. Sericult. Sci. Japan, 37 (6), 453-461.
- 17) 山本俊雄・蒲生卓磨・広部達道 (1978) : 着色非休眠卵の遺伝的研究. 日蚕雑, 47(3), 181-185.

- 18) 大沼昭夫・田島弥太郎 (1997) : 広食蚕における寄主植物選択. 日蚕雑, 66(6), 431-437.
- 19) 大沼昭夫・田島弥太郎 (1987) : 蚕の食性突然変異に関する研究 (第2部) 第6報食性突然変異 *Bt* の Z 染色体上の座位について. 蚕研彙報, (35), 17-22.
- 20) 大沼昭夫・田島弥太郎 (1990) : 蚕の食性突然変異に関する研究 (第2部) 第12報食性変異遺伝子 (*Nps*) の第3連関群における座位. 蚕研彙報, (38), 15-22.

白繭における黄白蛍光色について

栗岡 聰・山崎昌良

AKIRA KURIOKA and MASAYOSHI YAMAZAKI: Study on yellowish white fluorescence in the cocoon of *Bombyx mori*

緒 言

家蚕の繭層表面に紫外線を照射すると、繭層は蛍光を発することが知られている。特に黄繭や笹繭などの色繭においては黄色い蛍光色が顕著に認められ、これらの色繭の蛍光は黄繭ではキサントフィルの一種であるルテイン及びビオラキサンチン、笹繭ではフラボノールに由来することが明らかにされている¹⁾。一方、これらの色素を持たない白繭においては主に絹タンパク質から発生する青色蛍光色が認められるが、黄色または白色の蛍光色も認められ、同じ環境で飼育された同一品種であるにもかかわらず繭層の蛍光色は異なる。さらに、繭層の内外層では蛍光色が異なることも報告されている²⁻³⁾。

このように白繭が様々な色調の蛍光色を呈する原因は、繭層の蛍光物質の種類や含有量が異なるためと推測されるが、必ずしも明確ではない。そこで、本報告では白繭における黄白蛍光色が何に起因するのか検討を行ったので、その結果について報告する。

材料と方法

試料調製

実験には、毛羽を除去した「錦秋×鐘和」の繭層を用いた。収繭後、乾燥処理は行わず、使用時まで冷暗所に保管した。無作為に抽出した繭層100粒について蛍光色を調べ、目視観察による蛍光色の違いから繭層をグループ分けした。蛍光物質の繭層部位別分布を調べるために、ピンセットを用いて繭層をおおよそ4層に剥離し、繭層外側から順に剥離層(L-1~4)を調製した。また、繭糸長ごとの蛍光色を比較するために一粒繰りを行い、225mごとに採取した繭糸も調製した。絹タンパク質の蛍光色を調べるために、繭層を精練してフィブロインとセリシンの分画を行った。精練は純水を用いて115°C×30分間処理を2回繰り返し、回収したセリシン水溶液は凍結乾燥して粉末化した。精練後の絹糸は熱水で洗浄後、フィブロイン試料とした。

繭層蛍光物質の抽出は70%メタノールを用いて85°C、24時間の還流加熱抽出を行った。

蛍光観察

試料の蛍光色を観察するため、紫外線照射装置(FUNA UV LIGHT SL-800G)を用いて、波長254nmの1波長照射または波長366nmと254nmの2波長同時照射を暗室にて行い、蛍光色の違いを目視で観察した。

結果と考察

「錦秋×鐘和」繭層の蛍光色

無作為に抽出した「錦秋×鐘和」の繭層100粒について254nmと366nmの2波長同時照射下で蛍光色を観察した結果、濃淡差があるものの青色蛍光を発する繭層が過半数を占め、その他に白色または黄白色の蛍光を示す繭層も確認された。このように、「錦秋×鐘和」繭層の場合も繭層蛍光色には個体差があり、

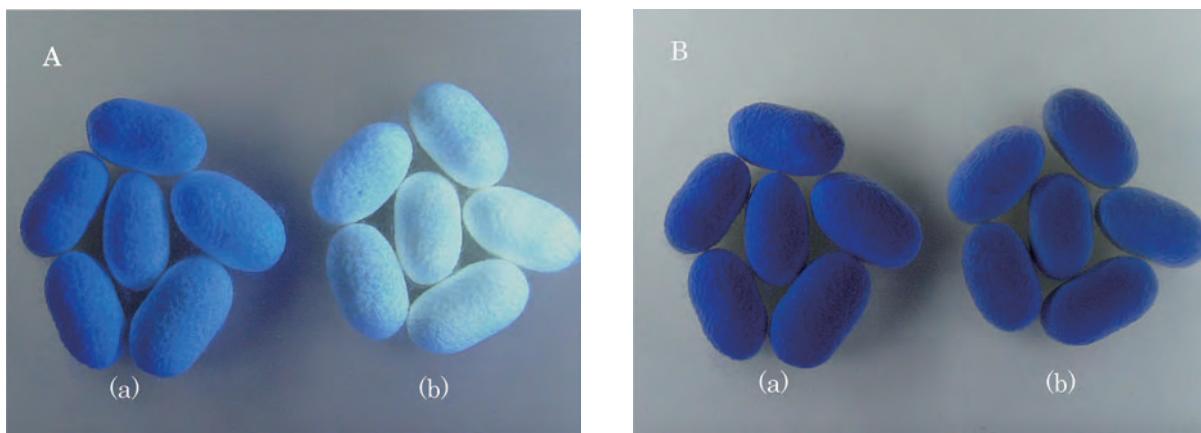


Fig. 1. Color variation in fluorescence of the cocoon shell (Kinsyu x Showa) at 366 nm + 254 nm (A) and 254 nm (B).
(a) Dark blue fluorescent cocoon (F-DB) (b) Yellowish white fluorescent cocoon (F-YW).

少なくとも4種類の蛍光色の判別が目視観察で可能であった。そこで、繭層を濃青色、淡青色、白色及び黄白色の蛍光色群に分類したところ、各群の個数割合はそれぞれ31, 47, 18及び4%となった。本実験ではFig. 1-Aに示す黄白色蛍光繭層(F-YW)と濃青蛍光色繭層(F-DB)の蛍光色に違いをもたらす繭層成分の探索を行った。なお、F-YWとF-DBの照射波長を2波長から1波長(254 nm)に変換させると、Fig. 1-Bに示すようにF-YWとF-DBには顕著な蛍光差が認められなくなった。

絹タンパク質の蛍光色

青色蛍光は主に繭糸タンパク質に由来する蛍光色と考えられ¹⁾、同色の蛍光がアルブミンやカゼイんなどのタンパク質に紫外線を照射したときにも認められた。そこで、繭層蛍光色の違いと絹タンパク質との関係を明らかにするために、F-YWとF-DBの繭層から調製した絹糸フィブロインとセリシン粉末の蛍光色を調べた。その結果、絹糸フィブロインでは両試料ともに青色蛍光色を示した(Fig. 2)。一方、セリシン粉末の蛍光色はF-YWとF-DBとでは明らかに蛍光色が異なり、F-DBのセリシンは青色蛍光を呈したが(Fig. 3, a), F-YWのセリシンは黄白色を呈した(b)。F-YWのセリシン粉末の色素を70%エタノールで抽出すると黄白色蛍光物質は抽出画分に移行し、セリシン粉末自体は青色蛍光を発した。絹糸フィブロイン及びセリシン粉末の試料比較でこのような蛍光色の変化が認められたのはF-YWのセリシンの

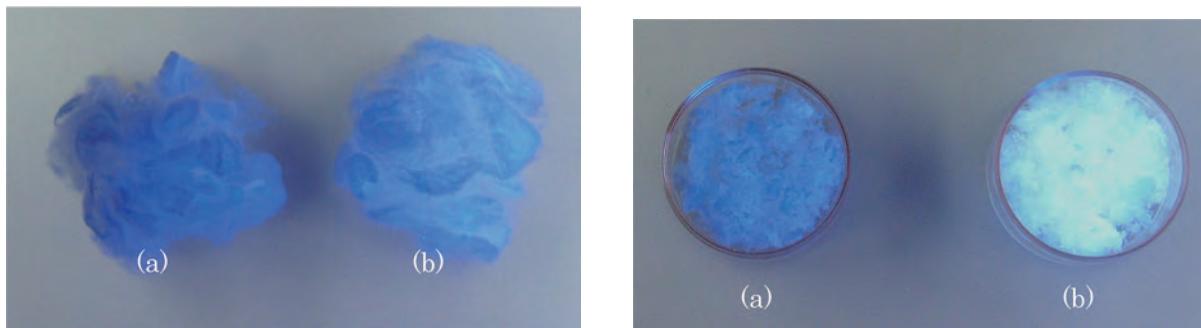


Fig. 2. Fluorescence of fibroin fibers left after sericin was removed from F-DB (a) and F-YW (b).

Fig. 3. Comparison of fluorescence between sericin powders extracted from F-DB (a) and F-YW (b).

みであった。

以上の結果から黄白色蛍光物質はセリシン画分に含まれるが、70%エタノールに溶解する低分子量成分である可能性が示唆された。

繭層の層部位別の蛍光色

黄白色蛍光を発する蛍光物質はセリシン層に含まれていることが明らかになった。UVランプ照射時、黄白色蛍光の色調にムラが認められないことから、蛍光物質は繭層全体に分布しているものと考えられた。そこで、繭層を4層に剥離し、各剥離層の蛍光色から黄白色蛍光物質の分布を調べた結果をTable 1に示す。F-DBではいずれの剥離層も青色蛍光色を示した。一方、F-YWでは剥離層L-1、2及び4は薄青色を呈していたが、L-3では黄白色蛍光色を示した。各剥離層からセリシンを除去した絹糸フィブロインでは、いずれも青色蛍光色を示した。溶出したセリシン試料ではF-YW L-3から調製したセリシンが黄白色であった以外、全ての粉末試料が青色であった。

F-YWから無作為に抽出した4粒(a~b)を4層に分割し蛍光色を比較した結果をFig. 4に示す。F-YWでは供試した全てのL-3が黄色蛍光を発していることが確かめられ、黄白色蛍光物質は比較的内層(75%)に偏在している可能性が示唆された。

一粒繰りで繰出した順に繭糸の蛍光色を測定した結果、繭糸長に換算すると外層から約600~800mに相当する繭糸中に黄白色蛍光が含まれており、この結果は剥離試験の結果とも合致していた。

以上の結果から、蛍光物質は繭層内で均一に分布しているのではなく、繭層内部に局在しており、繭層内層の繭糸に含まれる黄色蛍光物質によって、繭層全体の蛍光色が黄白色に見えることが明らかになった。繭層微量成分の種類やその含有量は繭層位ごとに異なり、例えば、繭層トリプシンインヒビターは毛羽と内層に多く含まれていることから⁴⁾、絹糸腺における黄白色蛍光物質の分泌も複雑であると考えられる。これらの色素には抗酸化活性が認められないことから(未発表)、フラボノールやキサントフィルとは異なる蛍光物質である可能性が高く、現在、黄白色蛍光色素の同定を進めている。

摘要

白繭(「錦秋×鐘和」)から黄白色蛍光および濃青色蛍光を発する繭層を抽出し、両繭層の蛍光色の違いに関与する蛍光成分の探索を行った。その結果、繭糸長約600~800mのセリシン層に黄白色の蛍光色素が存在する場合に繭層の蛍光色は黄白色になることから、家蚕繭層では外層ではなく比較的内層に分布している蛍光物質も繭層全体の蛍光発色に関与していることが明らかとなった。

Table 1. Distribution of fluorescent pigment in peel-off cocoon layers, fibroin, and sericin.

Cocoon	Weight(g)	Fluorescent color		
		Cocoon layer	Fibroin	Sericin
F-DB				
L-1	0.11	Dark blue	Dark blue	Dark blue
L-2	0.127	Dark blue	Dark blue	Dark blue
L-3	0.087	Dark blue	Dark blue	Dark blue
L-4	0.081	Dark blue	Dark blue	Dark blue
F-YW				
L-1	0.133	light blue	Dark blue	Dark blue
L-2	0.09	light blue	Dark blue	Dark blue
L-3	0.1	Yellowish white	Dark blue	Yellowish white
L-4	0.067	Dark blue	Dark blue	Dark blue

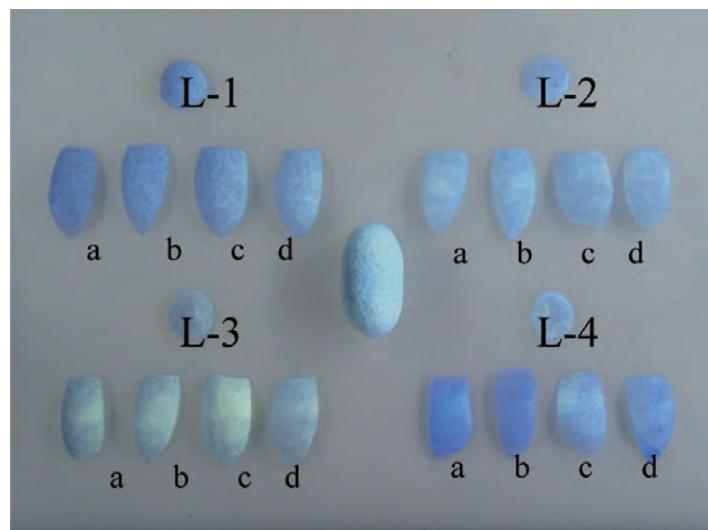


Fig. 4. Detection of fluorescence of four layers (L-1~4) peeled off from 4 shell samples (a-d). L-1, outer layer; L-2, upper middle layer; L-3, lower middle layer; L-4, inner layer.

Summary

Cocoon shells exhibiting yellowish white fluorescence (F-YW) and dark blue fluorescence (F-DB) were selected from a commercial strain (Kinsyu x Showa) under UV excitation, and factor(s) that was responsible for the distinctive color difference between F-YW and F-DB was studied. In F-YW, an methanol soluble material with yellowish white fluorescence was detected in the sericin layer at a length of 600 to 800m from the surface of the cocoon shell whereas no such material was found in F-DB. This result indicated that the yellowish white fluorescent material deposited in the middle layer of the cocoon shell affected the fluorescence of the cocoon shell.

引用文献

- 1) 奥 正巳 (1934) : 家蚕繭糸色素の化学的研究 (第10報) 紫外線による繭の蛍光色と繭糸色素との関係, 農化誌, 10, 1253-1257
- 2) 井上柳梧 (1933) : 絹糸学, 55-62, 興文社
- 3) 高橋栄志 (1982) : 紫外線照射による選別繭の繭質について, 群馬県製糸技術センター報告, 118-121
- 4) A. Kurioka, M. Yamazaki and H. Hirano (2000): Distribution of trypsin inhibitor in the cocoon floss of the silkworm, *Bombyx mori*. J. Seric. Sci Jpn, 69, 163-66.

セリシン加工綿布の洗濯に対する寸法安定性

栗岡富士江・塩崎英樹

蚕糸科学研究所

FUJIE KURIOKA and HIDEKI SHIOZAKI: Dimensional stability for laundering of cotton fabric treated with sericin and citric acid

緒 言

クエン酸のカルボキシル基は、高温下で綿セルロースの水酸基に架橋結合するため¹⁾、クエン酸による綿布の架橋化およびセリシンの結合が可能であると考えられる。クエン酸で綿布を架橋化すると綿繊維の弾性的性能を高め、綿布の防しわ性を向上させるだけでなく、吸水時の寸法変化を抑制し、綿布の寸法安定性の向上が期待できる。

著者らは、綿布の防しわ性および形態安定性の向上を図るとともにセリシンを纖維加工剤として有効活用することを目的とし、クエン酸を架橋剤として綿布にセリシンの固定加工を行った。セリシンとクエン酸の等量混合溶液で固定加工した綿布には、セリシンが固定していることや²⁾、クエン酸が綿布にエステル結合していることを明らかにしてきた³⁾。また、セリシンを固定すると綿布の吸水性が向上することを確認した^{4, 5)}。

本稿では、セリシン加工綿布の防しわ性及び洗濯による寸法変化率の経時的変化を調べ、セリシン加工綿布の寸法安定性について検討したので、その結果を報告する。

報告に先立ち、実験にご助言やご協力をいただいた蚕糸科学研究所の青木昭博士、花之内智彦博士、群馬県繊維工業試験場の職員の皆様に深く感謝致します。

材料と方法

綿布へのセリシン加工方法

オートクレーブ装置を用いて、白繭層に対して20倍量の蒸留水を加え115°Cの高温高圧水で30分間処理し、繭層からセリシンを抽出した。セリシン水溶液と9%クエン酸（和光純薬）および反応触媒として3%次亜リン酸ナトリウム（和光純薬）を混合し、セリシン濃度約1.2%の加工処理液を調製した。あらかじめ糊抜き処理した綿布を、約80°Cに加温した加工処理液に浸漬後、布重量の約2倍に絞り、乾燥後、150°Cで5分間の熱処理を行った。次いで80°Cで30分間のソーピング処理を行い、セリシン加工綿布を作製し、試験区布とした。

対照区布には、9%クエン酸水溶液に浸漬したクエン酸加工綿布および蒸留水に浸漬した未加工綿布を使用した。試験区布のセリシン固定率は6.4%，対照区布のクエン酸加工綿布のクエン酸固定率は4.7%であり、それぞれ加工前と後の布の重量変化率から求めた。

加工綿布の防しわ率の測定方法

加工綿布の防しわ性は、JIS L1059-1モンサント法に準じ、標準および湿潤状態で測定し、防しわ率を求めた。

表1. 加工綿布の諸元

	セリシン加工綿布	未加工綿布
織糸の織度 経糸 (d)	132.8	126.5
緯糸 (d)	151.8	141.8
糸密度 (本/cm)	39.4×28.6	39.4×28.6
厚さ (mm)	0.28	0.27
平面重 (g/m ²)	106.6	102.3
見掛けの比重	0.38	0.38
気孔容積 (%)	75.9	75.9

加工綿布の伸長弾性回復率の測定方法

加工綿布の伸長弾性回復率は、テンション万能試験機（RTM-100型、オリエンテック社）を用い、試幅25 mm、試長100 mm、引張速度10 mm/分の条件で測定した。加工綿布を3%伸長し、直ちに除重した時の回復伸度から伸長弾性回復率を求め、経、緯方向ともそれぞれ3回測定の平均値で表した。

加工綿布の寸法変化率の測定方法

加工綿布の寸法変化の測定は、JIS L1909纖維製品の寸法変化測定方法に準拠した。洗濯処理方法はJIS L0217の洗い方、番号103で行い、洗剤は中性洗剤を使用した。洗濯装置は家庭用電気洗濯機を用いて洗濯一自然乾燥の工程を10回行い、洗濯1, 5, 10回処理布各2枚の寸法変化率を測定し、経と緯方向それぞれの平均値を求めた。また、洗濯1, 10回処理布の厚さを測定し、未洗濯布に対する厚さの変化率を求めた。併せて目視で洗濯じわの状態についても観察した。

結果と考察

防しづ率

加工綿布の諸元を表1に示す。未加工綿布に比べてセリシン加工綿布は、織糸の織度と厚さ、平面重がわずかに増加したが、綿布の諸元に大きな変化は認められなかった。

乾燥状態における各加工綿布の防しづ率を図1に示す。布地が乾燥した状態では、セリシン加工綿布の防しづ率は未加工綿布よりも経、緯方向とも13%高かった。防しづ率の向上が10%以上認められたのは、実用性能の面から大きな効果と考えられる。加工綿布の中で最も防しづ率が高かったのはクエン酸加工綿布であり、未加工綿布と比べると経方向は17%，緯方向では19%と高い防しづ率を示した。

布地が湿潤した状態においても、セリシン加工綿布とクエン酸加工綿布の防しづ率は、乾燥状態と同傾向を示し、両加工綿布とも未加工綿布よりも経方向で8～10%，緯方向で8～9%の防しづ率の向上が認められた。このように、セリシン加工綿布とクエン酸加工綿布の防しづ率が高かったのは、クエン酸が綿セルロース間に架橋結合して纖維の弾性を高め、しわの回復性を良くしたことによるものと考えられる。

加工綿布の伸長弾性回復率

クエン酸が綿布に架橋結合していることは、アルカリ水溶液による溶脱試験により明らかにしたが³⁾、クエン酸の架橋化が纖維の弾性を高めたことを確認するため、各加工綿布を3%伸長した時の弾性回復率を測定し、その結果を図2に示す。

セリシン加工綿布とクエン酸加工綿布とは、ほぼ同程度の伸長弾性回復率を示し、経方向は約70%，緯方向では80%以上の高い回復率が認められた。また、両加工綿布と未加工綿布の伸長弾性回復率を比べる

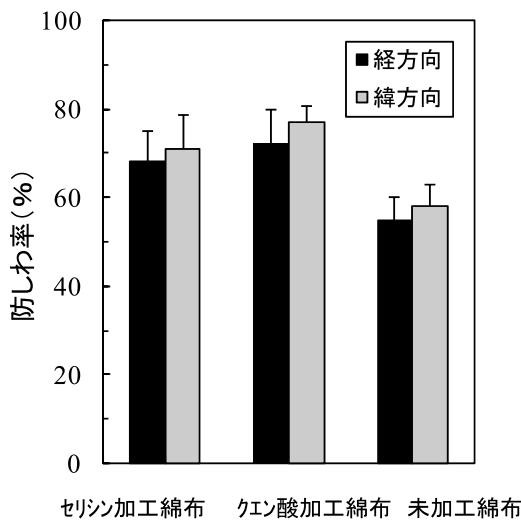


図1. 加工綿布の防しわ率

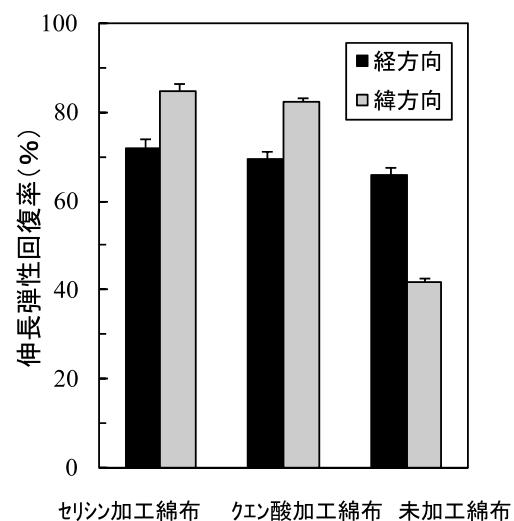


図2. 加工綿布の伸長弾性回復率

と、経方向では約4～6%と僅少の差であるが、緯方向では両加工綿布の方が未加工綿布よりも約40%も高い回復率を示した。このことは、ケン酸が綿布の弾性を高めたことを示唆しており、前項で述べた防しわ性の向上に寄与しているものと推察した。

洗濯による加工綿布の寸法変化率

ケン酸による綿布の架橋化と洗濯に対する寸法安定性や洗濯じわの発生状態との関連性を確かめるため、加工綿布について洗濯処理を10回行った。加工綿布の寸法変化率の結果を図3に示す。

未加工綿布は、経、緯方向とも洗濯回数が増加するのに伴い、寸法変化率も大きくなる傾向を示した。これに対しセリシン加工綿布は、洗濯5回後に一時的に寸法変化率が大きくなったが、未加工綿布よりも相対的に寸法変化率が小さいことが認められ、経、緯方向ともに-0.7%以下であった。ケン酸加工綿布の寸法変化率は加工綿布の中で最も小さく、洗濯を繰り返しても経と緯方向の寸法変化率は-0.5%以下であった。

セリシン加工綿布とケン酸加工綿布では、ケン酸の架橋化によって、水に対して纖維の膨潤やセルロース分子相互のズレを抑制したために、寸法変化が抑制されたものと考えられる。ただし、セリシン加工綿布では、ケン酸とセリシンが共存していたため、一部のケン酸のカルボキシル基がセリン側鎖と結合し、ケン酸加工綿布ほど綿纖維の膨潤や分子相互のズレが抑制されなかったことが推察される。

布地の寸法変化は、布厚さに影響を及ぼすと考えられるため、未洗濯布に対する洗濯処理布の厚さ変化率を調べた(図4)。加工綿布は、洗濯処理によっていずれも厚さが増加する傾向を示したが、セリシン加工綿布は最も厚さの増加が小さく、洗濯1回後と10回後において厚さはほとんど変わらなかった。加工綿布の中で最も寸法変化率が小さかったケン酸加工綿布では、洗濯10回後に未加工綿布と同様に厚さが約8%増加し、寸法変化率と厚さ変化率との連動性は認められなかった。

各加工綿布とも洗濯処理を行うと洗濯じわが認められた。洗濯じわの状態を目視で観察した結果、未加工綿布は深く長いしわが布全体にみられたが、防しわ性や伸長弾性回復率の高かったセリシン加工綿布とケン酸加工綿布は、未加工綿布に比べて縦じてしわが少なく、しわの状態も軽度の傾向が認められた。しかし、モンサント法での纖維軸に対して直角に折る力が加わる場合と、洗濯のように多方向から機械的な力が加わる場合とは、しわ回復のメカニズムが異なることを念頭におく必要がある。

また、セリシン加工綿布のセリシン残存量を定量的に調べるために、纖維の鑑別染料を用いてセリシン加工綿布の染色を行った。その結果を、図5に示す。未洗濯と洗濯10回後において、セリシン加工綿布は絹

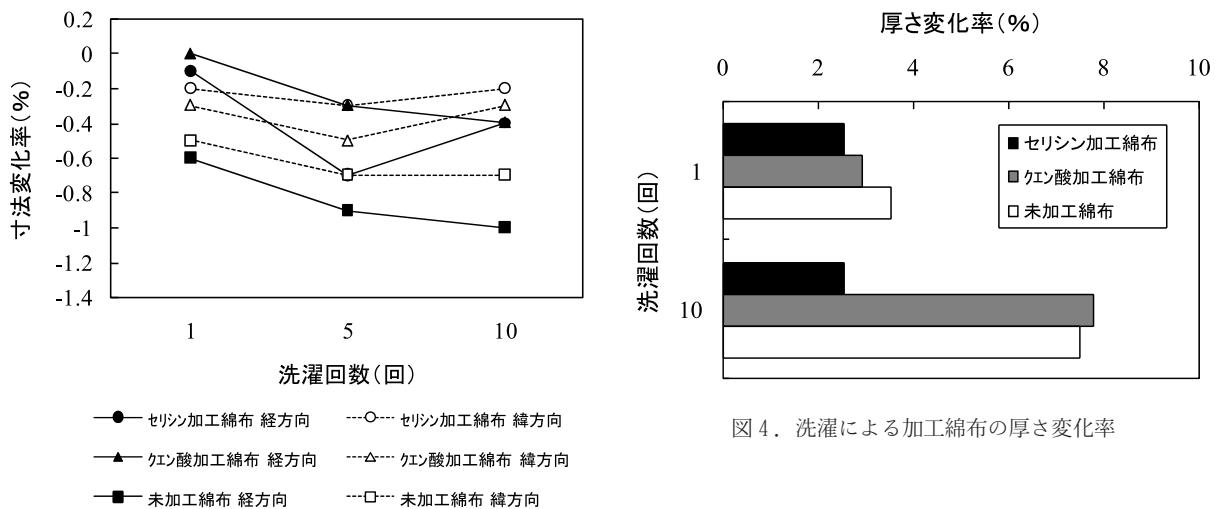


図3. 洗濯による加工綿布の寸法変化率

図4. 洗濯による加工綿布の厚さ変化率

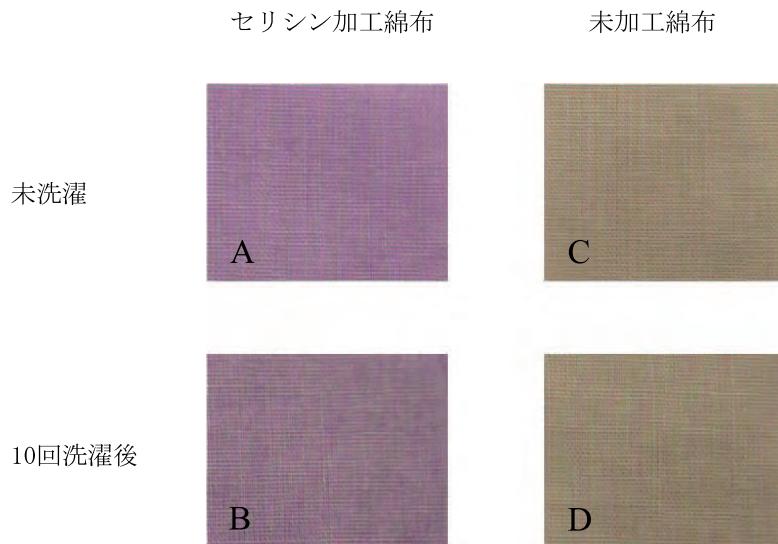


図5. 染色度による加工綿布のセリシン固定量の比較

の付着を示すくすんだ赤紫色に染色され（図5 A, 5 B），未加工綿布ではくすんだ灰黄色に染色された（図5 C, 5 D）。纖維の鑑別染料（ライオン鑑別染料，ライオン家庭科学研究所）で染色した綿は明るい灰黄色を，絹は灰赤紫色を呈することから，洗濯前のセリシン加工綿布にはセリシンが固定されていることと，10回洗濯後も綿布にセリシンが多く残存していることを示している。洗濯処理布にセリシンの残存が認められたのは，ケン酸を介してセリシンが化学的に綿布に固定されているため，洗濯を繰り返してもセリシンの流失が少ないことによるものと考えられる。

以上の結果から，セリシン加工綿布は未加工綿布との比較において，伸長弾性回復性や防しわ性，洗濯に対する寸法安定性が高いことが認められた。また，洗濯を繰り返してもセリシンが流失せず，綿布にセリシンが残存していることが明らかになった。

摘要

綿布の防しわ性および寸法安定性の向上を図るとともにセリシンの有効活用を目的とし、セリシンとクエン酸との混合溶液で、綿布にセリシンの固定加工を行った。セリシン加工綿布について、防しわ率と伸長男性回復率及び洗濯処理を10回繰り返し、寸法変化率を調べた。

セリシン加工綿布は未加工綿布よりも、高い防しわ性及び伸長弾性回復性を示した。10回洗濯後のセリシン加工綿布は経、緯方向とも僅かに収縮が認められたが、未加工綿布よりも寸法安定性が高く、厚さの変化も僅かであった。また、染色度の比較から、10回洗濯後も綿布にセリシンが残存していることが明らかになった。

引用文献

- 1) Lu, Yang, C.Q. (1999) Fabric yellowing by citric acid as a crosslinking agent for cotton. *Text. Ras.J.*, **69**, 685–690.
- 2) 栗岡富士江・栗岡 聰・青木 昭・塙崎英樹 (2005) : クエン酸を架橋剤とした綿布へのセリシン固定加工とその織物特性, 蚕糸会研報, **53**, 23–30.
- 3) 栗岡富士江・塙崎英樹 (2005) : セリシン・クエン酸加工綿布の耐洗濯性と風合い変化, 日蚕雑, **74**, 47–52.
- 4) 栗岡富士江・栗岡 聰・青木 昭・塙崎英樹 (2004) : セリシン・クエン酸による綿布の加工, 日蚕雑, **73**, 83–88.
- 5) 栗岡富士江・塙崎英樹 (2009) : セリシン加工綿布の水分および熱移動特性, 日本シルク学会誌, 投稿中.

アルカリ精練における酸処理が色相に及ぼす影響

花之内智彦・塩崎英樹

蚕糸科学研究所

TOMOHIKO HANANOUCHI and HIDEKI SIOZAKI: Effect of acid treatment on color of alkali degummed silk yarn

緒 言

繭から繰り出した生糸はセリシンが纖維表面を被覆しているので、セリシンを除去する精練を行い、柔らかい風合いと光沢のある絹糸にして用いる。絹の精練法にはアルカリ・セッケン精練および酵素精練などの精練法が考案され、主にアルカリ・セッケン精練が実施されている^{1,5)}。一方、絹はアルカリによって過精練されやすいことや黄褐色変することが知られ、アルカリ精練、アルカリ・セッケン精練などの精練方法とそれより得られた絹糸の黄褐色変との関係について検討し、弱酸性で精練することにより白く黄褐色変し難い絹糸を作製できることを報告している³⁾。また、クエン酸を精練剤に用いた酸精練を行い、クエン酸による歩練り絹糸の調製条件について検討する中で、得られた絹糸が白くなることを報告している⁴⁾。

本報では、アルカリ精練の洗浄工程における酸処理の有無が絹糸の色相に及ぼす影響について、酸処理した絹糸と未処理の絹糸の測色を行い、それらの測色値の比較を行った。

材料と方法

試 料

市販品の27中諸撫り糸を1 g/L 非イオン界面活性剤（ノイゲン HC、第一工業製薬株式会社）で85°C、20分間、浴比1:100の条件で洗浄し、糸に付着している油剤などを除去した後、水洗、風乾した糸をアルカリ精練に用いた。アルカリ精練は0.5%炭酸ナトリウム水溶液で、浴比1:50、90°C、20分間の精練を行った。酸処理はアルカリ精練した試料を軽く水洗した後、0.5%酢酸水溶液に浸漬し、水洗、風乾した。未処理は、アルカリ精練した試料を水洗し、風乾した。

測 色

分光光度計（CM-508i、ミノルタ製）でC光源、2°視野におけるカセ状の試験糸の測色を行い、その色相をL*a*b*表色系値で示した。色差（E*(ab)）は未処理を基準としてL*a*b*表色系値から算出した。さらに、ASTM E313に基づき白色度（ASTM E313 WI）および黄色度（ASTM E313 YI）を算出した。なお、測色値は一試料につき5ヶ所の測色を行い、その平均値を用いて示した。

結果と考察

アルカリ精練絹糸の分光反射率曲線を図1に示す。生糸をアルカリ精練すると全体的に分光反射率が高くなり、さらにアルカリ精練し酸処理した絹糸は、未処理絹糸に比べ波長400~500 nmの青色領域の分光反射率が僅かに高くなった。アルカリ精練絹糸の測色値および色差の結果を表1に示す。生糸をアルカリ精練すると明るさを表すL*値は高くなり、黄味を表すb*値（青（-）⇒ 黄（+））が小さくなる傾向を示した。さらに、アルカリ精練絹糸を酸処理すると未処理に比べ僅かにL*値は高く、b*値は小さく、a*値

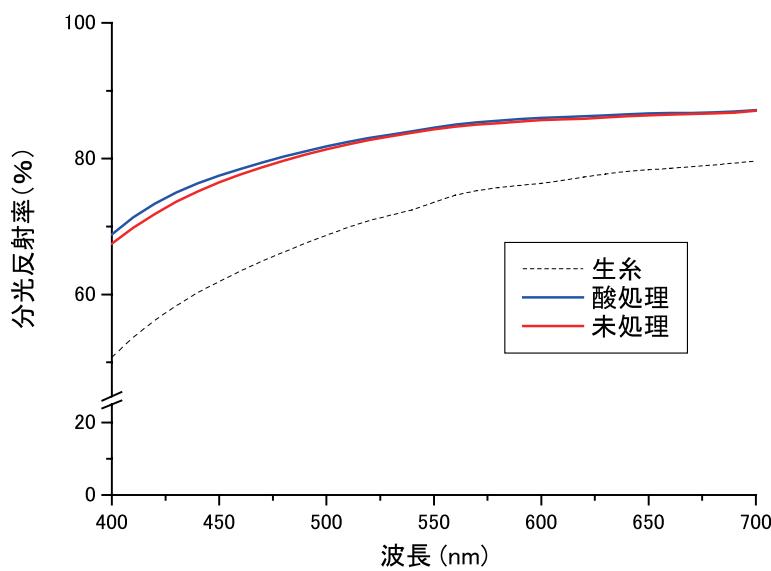


図1. アルカリ精練絹糸の分光反射率曲線

(緑 (-) ⇔ 赤 (+)) は大きくなり、白くなる傾向を示した。

アルカリ精練絹糸を酸処理すると白くなる傾向を示すが、アルカリ精練は黄味がかることが知られていることから、その着色具合を ASTEM E313 に基づき白色度 (ASTEM E313 WI) および黄色度 (ASTEM E313 YI) を算出し評価した (表2)。アルカリ精練し酸処理した絹糸は未処理の絹糸に比べ ASTEM E313 WI が大きく、ASTEM E313 YI が小さいことから、アルカリ精練した絹糸を酸処理すると僅かに白くなることわかった。

栗岡ら²⁾はセリシン粉末の作製の際に、クエン酸精練とアルカリ精練を行い、アルカリ精練し作製したセリシン粉末がクエン酸精練したそれよりやや黄味がかり黄色度が高くなることを報告し、アルカリ精練過程で褐色物質が生成したためと推定している。本実験のアルカリ精練においても精練中に同様な褐色物質が生成し、アルカリ精練絹糸を酸処理することで絹糸に付着していた褐色物質が脱落したため、白色度

表1. アルカリ精練絹糸の測色値

精練方法	後処理	L*	a*	b*	ΔE*(ab)
アルカリ精練	酸処理	93.63	-0.78	5.15	0.6
	未処理	93.49	-1.03	5.66	0.0
生糸	-	88.7	-0.81	9.64	-

表2. アルカリ精練絹糸の白色度および黄色度

精練方法	後処理	ASTM E313 WI	ASTM E313 YI
アルカリ精練	酸処理	58.0	7.8
	未処理	55.2	8.6
生糸	-	29.3	15.0

が高くなったものと思われる。

本試験で酸処理すると絹糸は僅かに白くなることを確認したが、その違いを感覚的に認知できるかを判定するため、未処理を基準にして $E^*(ab)$ を算出し評価した。その結果、 $E^*(ab)$ は0.6と僅かではあるが色の違いがあると判定された。

摘要

生糸のアルカリ精練を行い、その洗浄工程で酢酸水溶液に浸漬し酸処理を行った。酸処理がアルカリ精練絹糸の表面色に及ぼす影響を検討するため、酸処理した絹糸と未処理絹糸の測色値を比較した。アルカリ精練後、酸処理すると未処理に比べ僅かに L^* 値は高く、 b^* 値は小さく、 a^* 値は大きくなる傾向を示した。また、酸処理した絹糸の白色度は高く、黄色度は低いことから、酸処理すると絹糸が白くなることが判明した。

引用文献

- 1) 加藤弘 (1987) 絹繊維の加工技術とその応用, 3-62, 繊維研究社, 東京.
- 2) 栗岡聰・栗岡富士江・山崎昌良 (2004) クエン酸精練セリシン粉末のトリプシン阻害作用, 大日本蚕糸会研究報告, 52, 23-28.
- 3) 宮岡宇一郎・清水融 (1955) 精練方法を異にした練絹と黄褐色変度との関係 (第2報), 繊学誌, 11, 214-217.
- 4) 花之内智彦・塩崎英樹 (2004) :酸精練法による歩練絹糸の調製, 日シ学誌研集録, 13, 128-129.
- 5) 皆川基 (1981) 絹の科学, 57-106, 関西衣生活研究会, 大阪.

太織度低張力糸の特性 —繰糸条件の組合せによる糸の物性試験—

岡島正章・黒川トシミ・天方美帆・清水重人

蚕糸科学研究所

MASAAKI OKAJIMA, TOSHIMI KUROKAWA, MIHO AMAGATA and SHIGETO SHIMIZU: Characteristics of thick less stress silk yarn-Physical properties of silk yarn by combination of reeling condition

緒 言

国内蚕糸業が全体的に衰退する中で、生糸の需要の動向は、高級品質生糸とともに厚物アウター向けやニット向けに200デニール以上の特太生糸、嵩高糸、低張力糸、高伸度糸など特徴あるシルク素材や機能性を高めた複合生糸及び特長を活かしたブランド化された生糸など多様化している。

当所では、このような多様化する生糸の需要に応えるとともに、純国産シルクの特徴を出すため、太織度低張力繰糸機およびその糸による製品開発を行ってきた^{1,2)}。

太織度低張力繰糸機では、小枠と槽回転のそれぞれの原動をコントロールすることにより小枠回転を変えると織度と糸の絡みが大きく変化する等、様々な形状の糸の繰製が可能となる。

本報では、太織度低張力繰糸機を用いて糸を繰製し、繰糸条件の組合せにより糸の物性等に与える影響について調査した。

太織度低張力繰糸機の概要

繰糸機は本体と制御盤（図1）と巻取部（図2）で構成される。繰糸槽（図3）は回転式で、繭糸束に回転による絡みを付与することが可能となり、糸の抱合性の向上とともに甘撫りの効果を得ることが可能となった。キャッチアップアーム（図4）は繭糸束を引き出し、弛んだ繭糸束を巻き取る機構となっており、巻取張力を大幅に低減する効果を持っている。

試験方法

太織度低張力繰糸機を用いて、粒数を150粒に固定し、繰糸速度、繰解部温度、槽回転の3因子について、繰糸速度を2, 5, 10 m/min, 繰解部温度を45, 60, 80°Cの3水準、槽回転を0, 30 r.p.m. の2水準の条件の組み合わせで繰糸を行った。

それぞれの糸について、形状の観察、織度、伸度、強力、ヤング率、嵩高性の測定を行い、分散分析を行った。また、対照区として、検定用繰糸機で、150粒定粒、繰糸速度65 m/min、繰解部温度38°Cの生糸を繰製した。



図1. 本体と制御盤



図2. 卷取部



図3. 繰糸槽



図4. キャッチアップアーム

結果と考察

糸の形状

繰糸速度 2 m/min, 槽回転30回/min の糸は、繭糸の絡みが複雑になっているのが確認できる（図5）。繰糸速度を 5 m/min, 10 m/min と増加させるに従い糸の絡みは小さくなり引き揃えられ、また、繰糸速度 2 m/min と低速とし、槽回転 0 r.p.m. の場合も糸の絡みが小さくなることを確認した。

繰糸速度が同じ場合でも、繰解部温度が80°Cの場合は、八重緒繭や繭糸がまとめて引き出される繭が多く、複雑な糸形状になっていることが観察された。

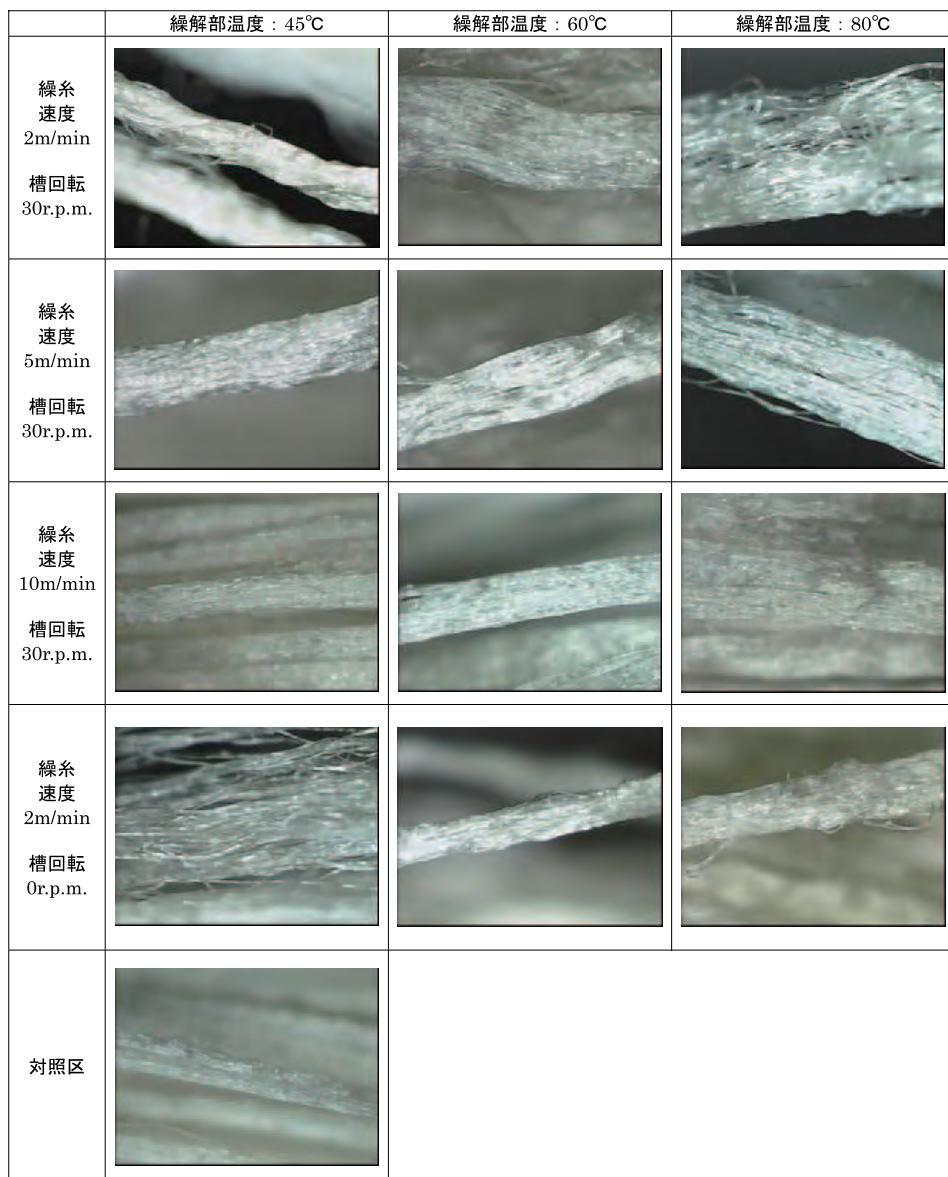


図5. 糸の形状 (100倍)

織度

繰糸速度の低下にともない繭糸の絡みが大きくなり織度が増加した(表1)。また、繰解部の温度を上げると織度が増加する傾向が見られ、本繰糸機による繰製糸は、繰糸速度と繰解部温度の影響を受けることが明らかとなった(表2)。特に繰糸速度2m/min、繰解部温度80°Cの区では織度が大幅に増加した。この原因としては、繰糸速度が遅いため繭が熟煮となり、繭層がはがれのように繰糸されたためと考えられる。

伸度・強力・ヤング率

伸度は、繰糸速度、繰解部温度、槽回転のすべての因子、およびそれら3つの交互作用に影響を受ける(表3)とともに、すべての試験区で対照区と比べ小さい値を示した。これは、対照区の生糸の場合は、

表1. 繰製した糸の纖度・物性値

繰糸速度 m/min	繰解部 温度 °C	槽回転 r.p.m.	纖度 d	伸度 %	強力 g/d	ヤング率 Kg/mm ²	嵩高性 cm ³ /g
2	45	0	435	23.5	2.59	496.7	2.65
		30	526	21.5	2.99	416.8	2.23
	60	0	516	22.5	2.56	259.6	3.08
		30	561	24.2	2.88	411.9	2.61
	80	0	492	22.1	2.17	237.7	3.18
		30	891	32.6	3.62	770.7	2.23
5	45	0	412	19.5	2.59	344.9	2.38
		30	393	21.8	2.87	350.6	2.03
	60	0	423	18.3	2.63	357.1	2.57
		30	448	22.0	2.90	380.2	2.22
	80	0	447	22.1	2.98	634.2	2.30
		30	483	24.1	3.22	700.5	2.25
10	45	0	370	23.8	4.07	1151.6	2.19
		30	369	23.6	4.08	1082.3	2.10
	60	0	408	23.1	3.58	411.9	1.76
		30	423	24.2	3.98	806.3	1.92
	80	0	442	24.1	3.53	770.7	2.29
		30	528	24.4	3.96	1023.1	2.08
対照区生糸			357	28.3	4.37	1248.2	1.29

繭糸がほぼ同時に破断するが、試験区では徐々に繭糸が切れていったためだと考えられる。

強力は、繰糸速度の影響が大きく（表4），繰糸速度を増加し、糸が引き揃えられた場合に大きな値を示した。この場合も伸度と同様に、引き揃えられた糸と比較して、絡みのある糸は切断が均一にならず最大点応力が低下したことが原因と考えられる。

ヤング率も同様に繰糸速度による影響が大きく（表5），繰糸速度の増加にともない大きな値を示すことから、繰糸速度を低下させると糸が柔らかくなることを確認した。

嵩高性

嵩高性は、繰糸速度の影響を受け（表6），繰糸速度を低くし繭糸の絡みを多くすることにより、嵩高性が大きくなった。対照区と比較するとすべての試験区で大きい値を示し、繰糸速度を低くすることにより膨らみのある糸を繰製することが可能であることが明らかとなった。

以上のことから、纖度、物性ともに繰糸速度の影響をもっとも大きく受け、繰糸速度を低下させることによって槽の回転による繭糸の絡みが無い場合でも、空気を含み繭糸のクリンプが残った柔らかい糸の繰製が可能となった。特に繰糸速度 2 m/min で繰糸することで、ヤング率が小さく嵩高性があり、柔らかく膨らみのある糸が繰製できた。テンション等の従来法による物性試験方法は、通常生糸は図6のように同時に破断するのに対し、繭糸に絡みのある太纖度低張力糸は最大点応力での切断後も図7のように残った繭糸が切断されている。そのため、伸度、強力において太纖度低張力糸は低い値を示し、正確に評価することができず、新たな評価方法が必要であると考える。

表2. 分散分析表（織度）

因子	SS	分散成分比
繰糸速度	80263.4	0.342
繰解部温度	51909.8	0.221
槽回転 交互作用	25462.7	0.108
速度×温度	13054.2	0.056
速度×回転	24202.1	0.103
温度×回転	21821.8	0.093
速×温×回	18218.9	0.078
全変動	234932.9	

表3. 分散分析表（伸度）

因子	SS	分散成分比
繰糸速度	32.96	0.234
繰解部温度	26.38	0.187
槽回転 交互作用	20.91	0.148
速度×温度	10.86	0.077
速度×回転	7.34	0.052
温度×回転	13.44	0.095
速×温×回	29.04	0.206
全変動	140.94	

表4. 分散分析表（強力）

因子	SS	分散成分比
繰糸速度	4.283	0.705
繰解部温度	0.079	0.013
槽回転 交互作用	0.802	0.132
速度×温度	0.250	0.041
速度×回転	0.204	0.034
温度×回転	0.190	0.031
速×温×回	0.263	0.043
全変動	6.072	

表5. 分散分析表（ヤング率）

因子	SS	分散成分比
繰糸速度	733807.4	0.516
繰解部温度	213591.5	0.150
槽回転 交互作用	90738.0	0.064
速度×温度	203897.2	0.143
速度×回転	27438.6	0.019
温度×回転	87704.9	0.062
速×温×回	65463.4	0.046
全変動	1422641.0	

表 6. 分散分析表（嵩高性）

因子	SS	分散成分比
繰糸速度	1.123	0.492
繰解部温度	0.052	0.023
槽回転 交互作用	0.414	0.181
速度 × 温度	0.297	0.130
速度 × 回転	0.247	0.108
温度 × 回転	0.026	0.011
速 × 温 × 回	0.125	0.055
全変動	2.284	

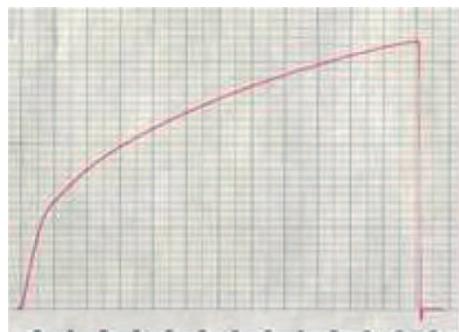


図 6. 通常生糸の引っ張り曲線

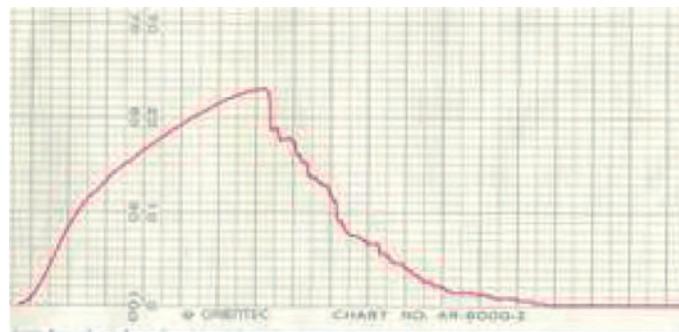


図 7. 太織度低張力糸の引っ張り曲線

摘要

太織度低張力繰糸機では、回転式繰糸槽による織糸の絡み、キャッチアップアームによる巻取張力の大軒な低減により、抱合性の向上と、糸に膨らみを持つことが特徴となっている。

本繰糸機による繰製糸について、繰糸速度、温度等の繰糸条件の組合せによる物性の変化について検討した。その結果、繰糸速度は、織度、各物性に大きく影響を与えることが明らかとなった。繰糸速度を低下させると、織糸の絡みが複雑になり、空気を多く含んだ嵩高性の大きい糸を繰製することが可能となった。ヤング率は繰糸速度を低下させることにより低い値を示し、柔らかい糸になる傾向が得られた。伸度、強力については、対照区と比較すると、太織度低張力糸の切断点が低い応力を示すことから、従来の生糸検査による評価法では難しく、新たな評価方法の検討が必要であると考えられる。

引用文献

- 1) (独)農畜産業振興機構助成事業 平成15事業年度小型繩糸機開発実証事業報告書 (2004)
- 2) (独)農畜産業振興機構助成事業 平成16事業年度小型繩糸機開発実証事業報告書 (2005)
- 3) 岡島正章・清水重人・黒川トシミ・井上アヤ・天方美帆 (2005) 太繊度糸の繰製条件とその特徴. 日シ学集録, 53, 106-107