

①繭糸分離細繊維発生抑制に再挑戦

繭糸分離細繊維は、絹の主成分であるフィブロインの表面に付着した、直径約数マイクロメートルの微細繊維。蚕が繭をつくるときにフィブロインから分かれてできる（図1矢印）。アルカリ溶液中で繭を加熱すると、繭糸分離細繊維はフィブロインから離れ（図2）、フリーになったこれらの繊維はラウジネス（図3A）になりやすい。ラウジネスは繭糸分離細繊維が絡まった小さな白い毛玉のこと。顕微鏡でラウジネスを拡大すると繭糸分離細繊維が絡まった状態がよくわかる（図3B）。



図1. 繭糸分離細繊維(矢印)が発生した繭糸断面

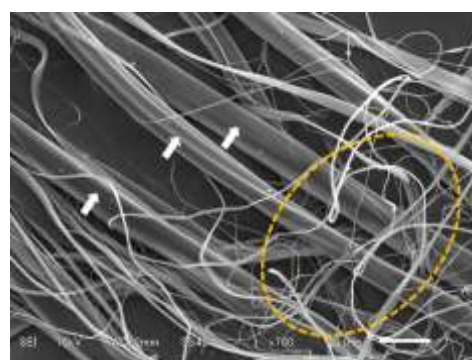


図2. アルカリ処理後に離れた繭糸分離細繊維（点線枠付近：矢印はフィブロイン）

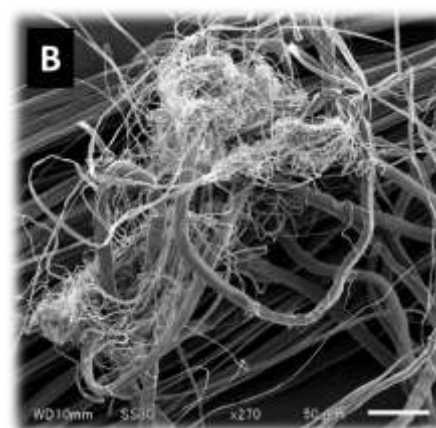
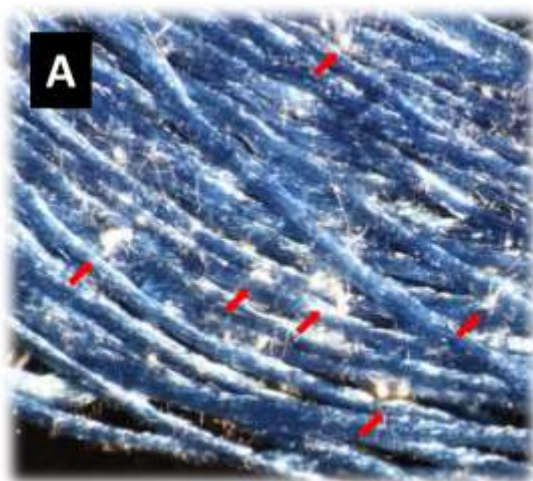


図3. 絹糸表面に発生したラウジネス(A:矢印) とラウジネスの拡大画像(B)

ラウジネスは絹の品質を著しく低下させる。そのためラウジネスの原因となる繭糸分離細繊維の発生は好ましくない。繭糸分離細繊維には遺伝性があり、蚕の品種により発生量に差がある。実用蚕品種のほうが原種に比べて繭糸分離細繊維の発生量が多い傾向にあるが、その発生過程はまだわからないことが多い。繭糸分離細繊維の効果的な抑制と絹糸質の向上を視野に入れて、その遺伝的なメカニズムの解明に再び挑む。

栗岡 聡・持田裕司・代田丈志・池嶋智美・(2021)実用蚕品種における繭糸分離細繊維の発生状況の調査. 蚕糸会研報, 68, 53-60.

②繭糸分離細繊維の簡便測定法を開発

繭糸分離細繊維が発生している繭層微小片を、ある条件のもと試験管内で撹拌すると（図 1）、繭糸分離細繊維（A:黄矢印）が絡まり、微繊維の集合体（Fine Fiber Assembly:FFA）が形成される（B:緑矢印）。繭糸分離細繊維がもつこのような絡まりやすい特性を利用し、従来よりも簡便に繭糸分離細繊維量を測定できる FFA 法を開発した。繭糸分離細繊維が段階的に増加（図 2:A～D）すると、FFA の測定値（E）も高くなる。そのため、FFA 法では繭糸分離細繊維の定量的な測定が可能だ。

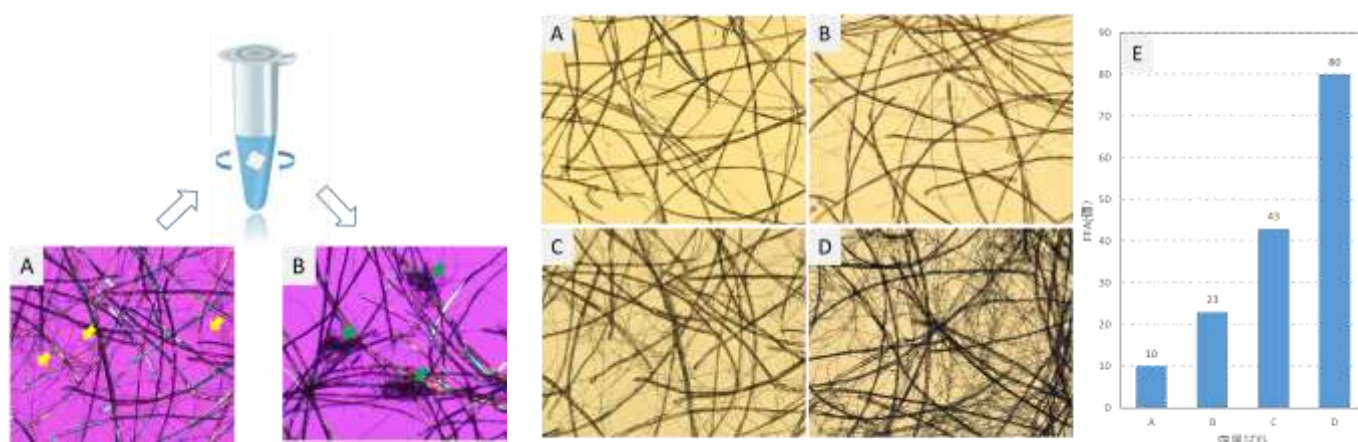


図 1. 撹拌による繭糸分離細繊維の集合化

図 2. 定量性の高い FFA 測定値

品種間で FFA 測定値を比較すると、国産実用蚕品種（緑色）と外国産実用蚕品種（黄色）では高く、200 以上。一方、原種（青色）の測定値は低く、最も低い「セヴェンヌ白」では僅か 2。FFA 法では品種別の数値化のみならず、個体間の比較も可能なため、遺伝解析に必要な蚕系統の効率的選抜において、FFA 法の応用が期待される。

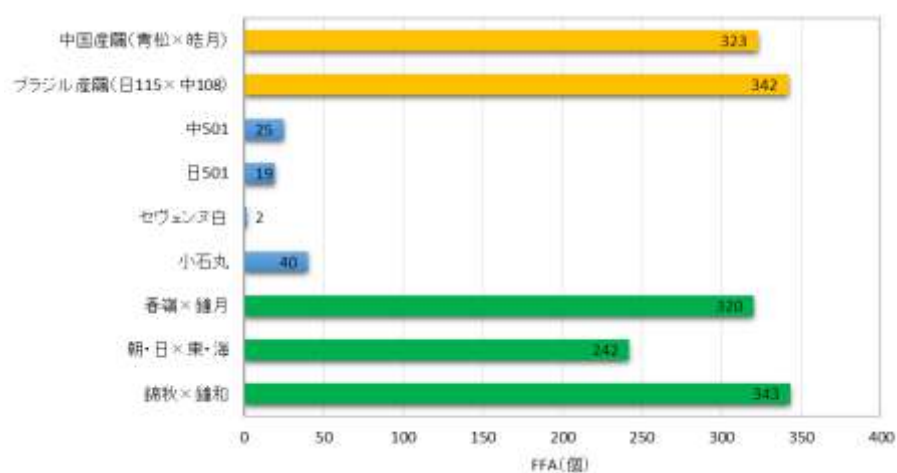


図 3. 品種別の FFA 測定値の比較（各品種繭 20 個分の合計値）

Kurioka, A. and Ikejima, S.(2021) A simple and effective method for measuring the number of fine fibers separated from the cocoon filament of the silkworm, *Bombyx mori*, based on counting fine fiber assemblies. J. Insect Biotechnol. Sericol., **90**, 1-9

③繭糸分離細繊維の遺伝解明への第一歩

絹の品質低下につながる繭糸分離細繊維を簡単に数値化する FFA 法を利用して、FFA が多い系統と少ない系統を選抜しながら世代を重ね、それぞれの特性を強めた育種に成功した。選抜を開始してから 4 世代目で選抜の効果が安定して認められ、FFA が多い F7 系統では、FFA の発生量が 1 世代目の約 2 倍に増加。一方の FFA が少ない CV 系統では、FFA が劇的に減少し、1 世代目の約 1/8 に。

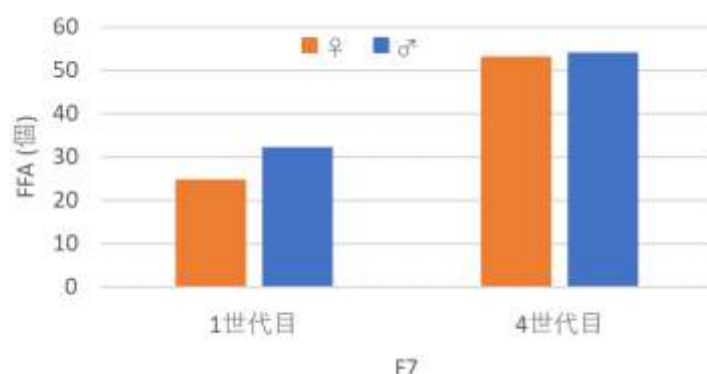


図1 FFA が多い系統（F7）の選抜効果

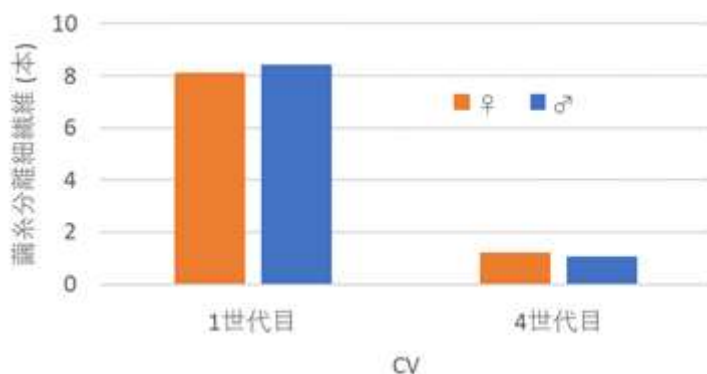


図2 FFA 少ない系統（CV）の選抜効果

選抜育種して準備した FFA が多い系統と少ない系統をまずは交配することが、分離細繊維の発生に関与する遺伝子を探るための第一歩。将来的にその遺伝子を明らかにすることができれば、既に備わっている優良形質を維持したまま、繭糸分離細繊維の発生だけを抑制できるようになるかもしれない。絹糸質を改良したカイコの育種の可能性が広がる。

④製糸原料繭に潜むラウジネスを予測

FFA 法は、繭糸分離繊維の発生量を個体別に比較するために開発した方法。しかし、その定量性を活用すれば、製糸用原料繭（図 1）の品質検査への応用が可能。統計解析の結果、繭 30 粒を抜取り調査すると（図 2）、原料繭ロットの FFA 平均値を高い精度で予測できることがわかった。



図 1 繭袋に詰められた原料繭



図 2 繭の抜取り調査

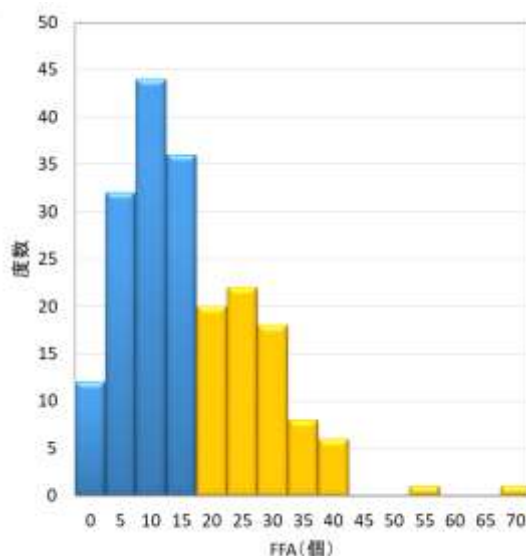


図 3 FFA発生度合の分布図

ある実用蚕品種繭におけるFFAの発生度合を表した分布図（図 3）では、右側の裾野（黄色部）に FFAが高い繭が分布している。FFAが 20 個以上の繭を品質の低い繭とすると、この集団の発生割合は、原料繭に潜むラウジネスの発生リスクを予測する有効な指標になる。実際に約 7 キログラム（約 8000 粒、品種名：「春嶺×鍾月」）の原料繭から抜取り調査を行った結果では、FFAの平均値は 12、低品質繭の割合は 23%と推定された。FFA法は新規な繭質検査法として今後の利用が期待される。

⑤「朝・日×東・海」の分離細繊維発生源を探る

「朝・日×東・海」は、もともになる4系統（朝、日、東、海）の掛け合せから始まり、「朝・日」と「東・海」の交配（図1）で作られる。「朝・日×東・海」は、交配種にありがちな繭糸分離細繊維が発生しやすい。そこで、その発生源を段階別に調べた結果、緑系で示した朝日系統（図1）のほうが青系の東海系統（図3）よりも繭糸分離細繊維が多く発生する傾向がみられた。「朝・日×東・海」の糸質改良では、まずは朝日系統を改質することで、繭糸分離細繊維の抑制効果が期待できそうだ。

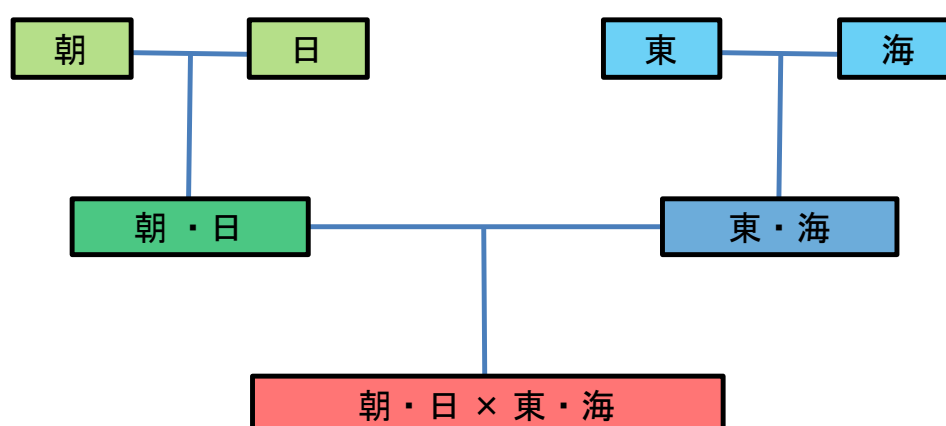


図1 「朝・日×東・海」の交配形式

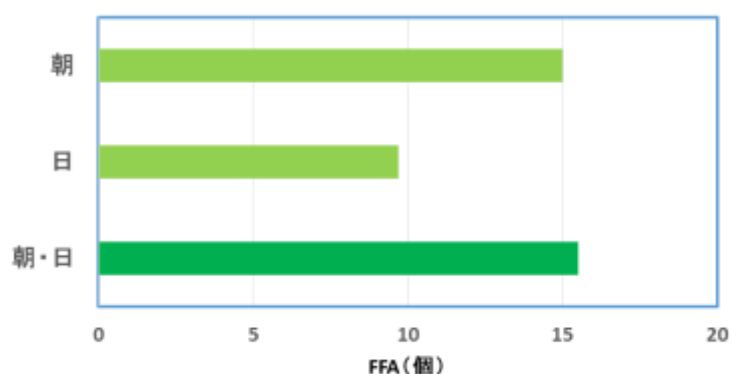


図2 朝日系統のFFA平均値

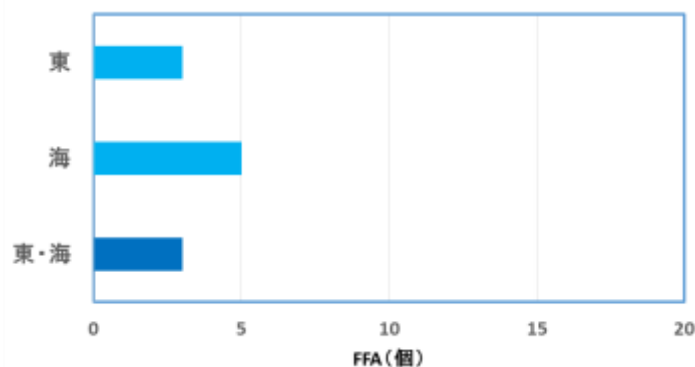


図3 東海系統のFFA平均値

⑥「朝・日×東・海」の糸質改良... 交雑原種の選抜が鍵か

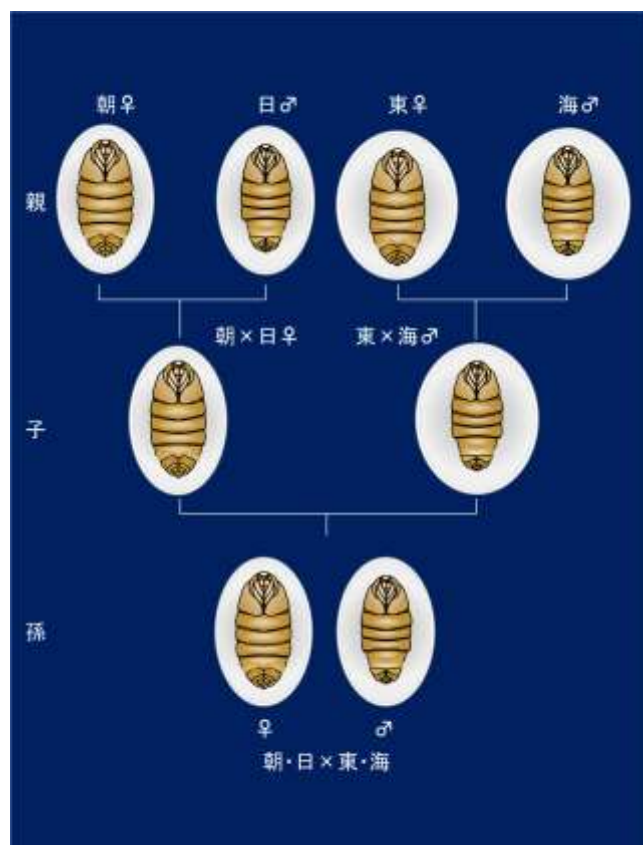


図1. 朝・日×東・海の系譜

「朝・日×東・海」の繭糸分離繊維発生量が交配を経てどのように変動してきたのか？親から孫への系譜をたどって調査した（図1）。

各世代のFFA値の変化は図2のとおり。親世代（原々種）のうち、朝日系統では「朝」のメスでは26、「日」のオスでは27。一方で東海系統では「東」のメスでは11、「海」のオスでは4。この調査でもFFA値は東海系統よりも朝日系統の方が高い傾向が認められた。

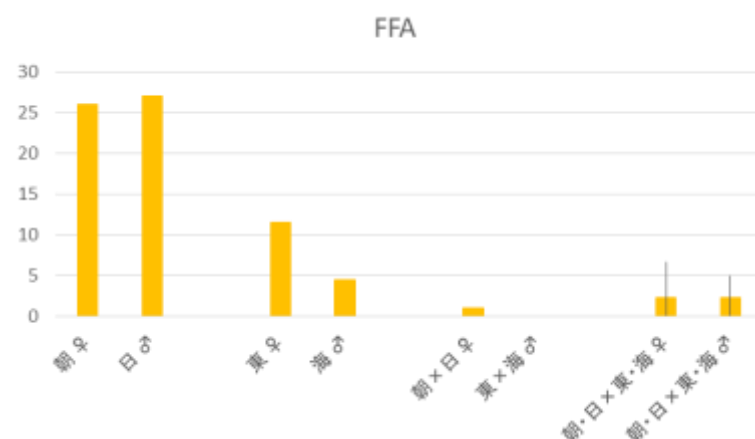


図2. 3世代における FFA 値の比較

「朝」メスと「日」オスの交配と、「東」メスと「海」オスの交配で生まれたそれぞれの子世代（交雑原種）の個体群から、「朝×日」のメスではFFA値が1、「東×海」のオスではFFA値0の個体を選んだ。これらを交配して生まれた孫世代（交雑種）の「朝・日×東・海」のFFA平均値は2.3であった。

今回の選抜交配で生まれた「朝・日×東・海」のFFA平均値は、これまでに調査した「朝・日×東・海」のFFA平均値（10程度）の約5分の1となり、2段目の交雑原種においてFFA値の低い個体を選抜することで、交雑種における繭糸分離繊維の発生量を抑えることができそうだ。

⑦ 繭糸分離細繊維の発生条件を解明する…セヴェンヌ白の活用

繭糸分離細繊維の発生には、遺伝的要因のほかに、上簇時に使用する簇の種類も影響する。農家用の回転簇では、研究用途の山型簇に比べ、繭糸分離細繊維が多く発生する。遺伝的に繭糸分離細繊維が発生しやすい品種でこの現象は確かめられた。回転簇ではカイコが徘徊しやすく、繭作りの開始が遅くなるためだ（図1）。



図1 回転簇に入らず徘徊するカイコ

カイコの品種のなかには、繭糸分離細繊維が発生しにくい系統がいる。このような遺伝的特徴をもつ「セヴェンヌ白」に平板上で糸を吐かせて、繭を作らせないようにすると（図2）、糸に繭糸分離細繊維が確認された（図3）。繭を作れない異常な環境では、遺伝的に繭糸分離細繊維を作りにくい品種でも、繭糸分離細繊維が発生する。



図2 平板で吐糸するセヴェンヌ白

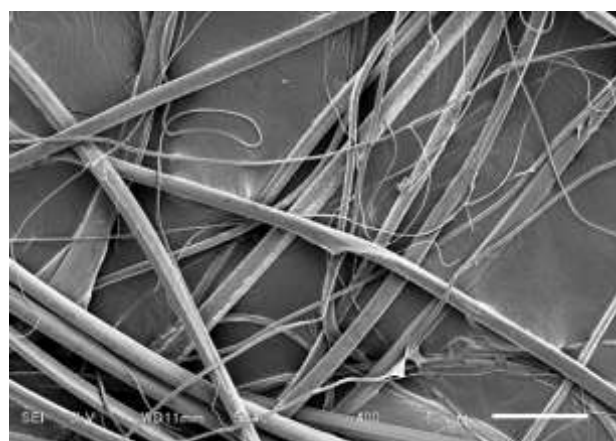


図3 セヴェンヌ白で発生した繭糸分離細繊維

繭糸分離細繊維のない高品質繭を得るためには、ストレスを与えずに繭を作らせることが重要だ。「セヴェンヌ白」をうまく活用すれば、繭糸分離細繊維発生を引き金となる条件が明らかになるだろう。

⑧ストレスを減らして繭糸分離細繊維の発生を抑える！？

遺伝的に繭糸分離細繊維が発生しにくい品種でさえ、繭を作れない異常な環境下におかれると繭糸分離細繊維が発生してしまう。それでは、繭糸分離細繊維が発生しやすい品種ではどうになってしまうのだろうか？

ストレスを与えるため、通常の上簇から 24 時間後、過熟になってから上簇したカイコでは、繭糸分離細繊維の量（FFA 数）が通常約 2.3～2.9 倍にまで増加した。さらに、5 齢期の餌の量を極端に少なくして未熟なまま上簇したカイコでは、通常約 2.1～2.6 倍に増加した。一方、5 齢期の餌の量を極端に多くして飽食にしたカイコでは、繭糸分離細繊維が極端に多くなることはなかった。



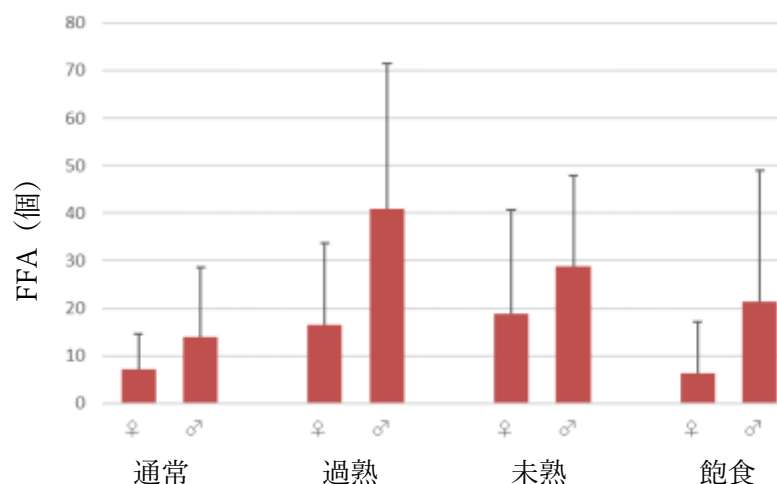
過熟カイコ



未熟カイコ



飽食カイコ



このように、ストレスを与えると繭糸分離細繊維は多くなることから、その発生を最小限に留めるためには、しっかり餌を与えて、適期に上簇し、ストレスの少ない環境をカイコに提供することがとても重要だ。

池嶋智美・栗岡 聡 (2024) 飼育条件が繭糸分離細繊維の発生量に及ぼす影響について, 蚕糸会研報, 71, 15-20.