

群馬の農業副産物こんにやく飛粉・キャベツパウダーを与えた カイコ・シルクに関する研究

樹徳高等学校(理科部)

諏訪せりか・岡浜未怜・金井茉結花・浅田峻也・新井優里菜・荒木優花・
新井結月・星野華那斗・小野里咲良・亀井英奈・嵯峨春日菜・長澤香澄・
石井園乃・石井萌絵・阿部理瑛・山本貴裕
指導教諭：広井勉・丹羽良之

【研究概要】

群馬の農業副産物こんにやく飛粉(とびこ)20%配合人工飼料をカイコに与えると生糸の強度が向上することが分かっている。こんにやく飛粉とは、蒟蒻を製造する際にこんにやく芋から生産されるグルコマンナン・デンプン・セルロース等多糖類等を多く含む粉末のことである。本研究において、生糸表面を覆っている親水性アミノ酸を多く含むセリシタンパクの溶解性が低下し、耐熱性が向上することが示唆された。また、群馬の農業副産物キャベツパウダー10%配合人工飼料を新型コロナウイルスワクチン(スパイクタンパク)生産用のカイコ f38 系統に与えると、繭重量(サナギ含む)が最も向上することが分かった。キャベツパウダーとは、ストレス軽減物質 GABA やその他栄養素を多く含み、キャベツの芯を凍結乾燥させた粉末のことである。将来的には低コストで安定的な新型コロナウイルスワクチンの増産につながるかもしれない。

【概念図】

実験Ⅰ. こんにやく飛粉をカイコに与えると生糸の強度が向上する理由

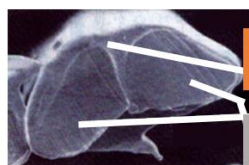


写真:生糸の断面図

セリシン
フィブロイン



生糸表面のセリシタンパクの
溶解性低下(耐熱性向上)

実験Ⅱ. キャベツパウダーがカイコの成育に与える影響



写真:f38系統のサナギ

※新型コロナウイルスワクチン(スパイクタンパク)
生産用のカイコf38系統で確認



繭重量(サナギ含む)の向上

【背景と目的】

本校理科部では、将来的に地元地域である群馬県の養蚕業や桐生市の絹産業の発展に貢献したいと考えており、農業副産物であるこんにやく飛粉(以下、飛粉)をカイコに与える研究を行ってきた。飛粉をカイコに与えると生糸の強度が向上することが分かっている。

群馬県はこんにやく芋以外にキャベツの生産量が多いことが知られている。その生産量は年間約 27 万トンにもなり、農業副産物としてキャベツの芯が約 1.35 万トン生じる。計算上、年間最大約 1,080 トンものキャベツパウダーを生産することが可能である。キャベツパウダーは、ストレス軽減物質 GABA やその他栄養素が豊富に含まれることで注目されている。また、カイコ・シルクの研究は、本来の繊維分野のみならずカイコを用いた創薬(昆虫工場)の研究も盛んに行われるようになってきた。世界中がコロナ禍である現在において、九州大学で進められている遺伝子組換えカイコを利用した新型コロナウイルスワクチンに関する研究は、特に期待されている(参考資料)。

I. こんにやく飛粉をカイコに与える生糸の強度が向上する理由

本研究では、飛粉を与えると生糸の強度が向上する理由を調べるために以下の実験を行った。

実験① 煮繭(繭を煮る工程)の温度を 75℃, および 90℃に設定し、生糸の強度を測定し、その差を調べる。

実験② セリシンリッチのカイコ g33 系統に飛粉を与え、生糸の強度を測定し、その差を調べる。

II. キャベツパウダーがカイコの成育に与える影響

実験③ 群馬オリジナル蚕品種ぐんま 200 にキャベツパウダーを与え、その成育を観察する。

実験④ 新型コロナウイルスワクチンの生産用に研究されているカイコ f38 系統にキャベツパウダーを与え、その成育を観察する。

【実験方法】

I. こんにやく飛粉をカイコに与える生糸の強度が向上する理由

実験① 煮繭(繭を煮る工程)の温度を 75℃, および 90℃に設定し、生糸の強度を測定し、その差を調べる。

実験には群馬県蚕糸技術センターから入手した群馬オリジナル蚕品種ぐんま 200 を用いた。絹糸腺が最も発達する 5 齢 5 日目より前の 3 日目から飛粉 20%配合人工飼料を適量与え、理科室で飼育した。自動化した上州座繰り器で生糸を紡ぎ、自作した引張試験機で強度を測定した。

実験② セリシンリッチのカイコ g33 系統に飛粉を与え、生糸の強度を測定し、その差を調べる。

飛粉のセリシン層への影響を調べるためにセリシン含有率の高いカイコ g33 系統で実験を行った。カイコ g33 系統の卵は、文部科学省主催のナショナルバイオリソースプロジェクト (National BioResource Project, NBRP) から入手した。本研究の前に、アルカリ精練法でカイコ g33 系統のセリシン含有率を調べたところ、一般的な蚕品種の生糸のセリシン含有率は 20~25%であるが、

カイコ g33 系統のセリシン含有率は 38.7%ととても高かった。その他、肉色繭・内層黄繭・黄血（※幼虫体液が濃黄色であり腹肢も黄色に見える）などの特徴をもっている。カイコ g33 系統を卵からふ化させ、約 1 ヶ月間理科室で飼育した。その他、実験①と同様に行った。

II. キャベツパウダーがカイコの成育に与える影響

実験③ 群馬オリジナル蚕品種ぐんま 200 にキャベツパウダーを与え、その成育を観察する。

群馬オリジナル蚕品種ぐんま 200 を用いた。絹糸腺が最も発達する 5 齢 5 日目より前の 3 日目からキャベツパウダーを 0%~12%になるように適量配合した人工飼料を与え、理科室で飼育した。キャベツパウダーは株式会社みまつ食品から提供されたものを用いた。その他、実験 I と同様に実験を行った。

実験④ 新型コロナウイルスワクチンの生産用に研究されているカイコ f38 系統にキャベツパウダーを与え、その成育を観察する。

遺伝子組換えカイコ f38 系統は新型コロナウイルスのスパイクタンパクを最も多く発現することが分かっている。遺伝子組換えする前のカイコ f38 系統を卵からふ化させ、約 1 ヶ月間理科室で飼育した。カイコ f38 系統の卵は、文部科学省主催のナショナルバイオリソースプロジェクトから入手した。絹糸腺が最も発達する 5 齢 5 日目より前の 3 日目からキャベツパウダー配合人工飼料を適量与えた。その他、実験 I と同様に実験を行った。

【結果および考察】

I. こんにゃく飛粉をカイコに与える生糸の強度が向上する理由

実験① 煮繭（繭を煮る工程）の温度を 75℃、および 90℃に設定し、生糸の強度を測定し、その差を調べる。

煮繭 75℃の低温処理において、飛粉 0%のときの生糸の強度が 3.61 gF/d に対して、飛粉 20%のときは 4.17 gF/d となり 1.16 倍に向上した。また煮繭 90℃の高温処理において、飛粉 0%のときの生糸の強度は 3.29 gF/d に対して、飛粉 20%のときは 3.55 gF/d となり、その差は小さくなった。煮繭 90℃の条件においては、生糸の強度が低下し、飛粉の優位性が小さくなることが分かった。これは煮繭 90℃の高温条件では飛粉配合に関係なく、セリシンタンパク自体が変性したことなどが考えられる。

実験② セリシンリッチのカイコ g33 系統に飛粉を与え、生糸の強度を測定し、その差を調べる。

煮繭 75℃の低温処理において、飛粉 0%のときの生糸の強度は 3.31 gF/d になり、飛粉 20%のときは 3.76 gF/d となり、1.14 倍に向上した。カイコの品種が異なっても実験①のときと同様の傾向を示した。ただし、予想していたより強度の差は大きくなかった。これは飛粉を与えたことで生糸表面のセリシン層は強くなったが、それ以上にフィブロイン繊維自体が弱くなってしまった可能性がある（飛粉を与えるとフィブロイン繊維の強度が低下することは 2018 年の高校化学グラウンドコンテストで報告）。また、写真ではわかりにくいですが、飛粉を与えた生糸を観察すると黄色

であった(写真)。一方、飛粉 0%の生糸を観察すると白色であった。一般的に生糸の色素はセリシン層に着色することが知られている。この観察結果と実験①の結果から飛粉が生糸表面のセリシン層に関与している可能性が示唆された。飛粉を与えると生糸の溶解性が低下し、耐熱性が向上したことが考えられる。これはセリシタンパクに多く含まれる親水性アミノ酸に飛粉の成分が結合したり、セリシタンパク自体が密になり結晶化したりしたことなどが考えられる。



写真：飛粉を与えた g33 系統の黄色の生糸

II. キャベツパウダーがカイコの成育に与える影響

実験③ 群馬オリジナル蚕品種ぐんま 200 にキャベツパウダーを与え、その成育を観察する。

キャベツパウダーを与えると 10%条件が最も繭重量(サナギを含む)が向上し、繭の縦の長さ、横の長さも大きくなる傾向があった。

実験④ 新型コロナウイルスワクチンの生産用に研究されているカイコ f38 系統にキャベツパウダーを与え、その成育を観察する。

キャベツパウダー4%~10%と配合量が増加するにつれ、個体差はあるものの繭重量(サナギを含む)が向上する傾向があった。キャベツパウダー0%のときの繭重量 0.91g に対して、キャベツパウダー10%配合人工飼料をカイコに与えるとその繭重量は 1.01g と向上し、サナギが大きくなることが分かった。新型コロナウイルスワクチンはサナギを遺伝子組換えすることで生産される。遺伝子組換えしたサナギを粉末にしたあとに錠剤とし、経口用の新型コロナウイルスワクチンとして生産されることが期待される。将来的に新型コロナウイルスワクチンの増産につながるかもしれない。

【今後の展望】

飛粉のどの成分が生糸のセリシン層の溶解性に影響しているか調べる。また、新型コロナウイルスワクチンの生産用に研究されているカイコ f38 系統の繭重量(サナギ含む)が向上する理由を調べる。具体的にはキャベツパウダーのどの成分がカイコの成長に影響しているか調べる。将来的には低コストで安定的な新型コロナウイルスワクチンの増産に貢献できるかもしれない。

【参考資料】

Fujita R, Hino M, Ebihara T, Nagasato T, Masuda A, Lee JM, Fujii T, Mon H, Kakino K, Nagai R, Tanaka M, Tonooka Y, Moriyama T, Kusakabe T., Efficient production of recombinant SARS-CoV-2 spike protein using the baculovirus-silkworm system., Biochem Biophys Res Commun, 2020, 529(2), 257-262