

蛍光シルク等を生産する遺伝子組換えカイコの飼育体系

試験研究計画名：組換えシルクの実用生産と高付加価値製品の開発

地域戦略名：遺伝子組換えカイコの実用化による群馬県蚕糸業の再生

研究代表機関名：(研) 農研機構 生物機能利用研究部門

地域の競争力強化に向けた技術体系開発のねらい：

安価な外国産生糸や絹製品の輸入により、生糸等の価格低迷が続き、国内の養蚕は厳しい経営環境に置かれています。養蚕のコスト削減は限界に達しており、繭生産の継続と安定した所得確保には、外国産シルクと差別化され付加価値が大幅に高いシルクを生産できるカイコ品種の導入が欠かせません。そのため、これまでに無かった新しいシルクとして、蛍光シルク等を生産する遺伝子組換えカイコの養蚕農家への導入を図りました（写真1）。遺伝子組換えカイコを養蚕農家で飼育するには、カルタヘナ法に基づいた第一種使用等として、野生生物の生物多様性への影響が生じないことを明らかにしたうえで承認を得る必要があります。カイコは人間が世話をしない野外では生存・繁殖できず管理は容易です。また、養蚕農家で飼育するカイコは成虫が生じる前の繭（蛹）として出荷され、熱乾燥で殺虫されるため、野生種であるクワコとの交雑も考えられません。実際、養蚕農家の周辺でもカイコとクワコの交雑個体は見つかりませんが、その上で、クワコとの交雑による生物多様性への影響を抑制するための飼育管理手法を開発することにより、緑色蛍光シルクを生産する遺伝子組換えカイコについて第一種使用規程の大臣承認を得て、養蚕農家での飼育を可能にすることを目指しました。



写真1 遺伝子組換えカイコが作る蛍光繭

技術体系の紹介：

1. 遺伝子組換えカイコの飼育に用いる施設の整備

通常の方法で遺伝子組換えカイコを飼育しても、遺伝子組換えカイコが野外に逃亡して生存することはありませんし、野生のクワコと交雑する可能性は極めて低いと考えられますが、その上で、緑色蛍光シルクを生産する遺伝子組換えカイコの飼育や繭の形成にあたっては、カイコとクワコの交尾防止に万全を期して、蚕室（幼虫を飼育する部屋）と上蔭室（繭を作らせる部屋）の壁の隙間を埋めたり、窓に網を張ったり網戸を設置することで、外部から蚕室や上蔭室にクワコ成虫が侵入するのを防止しました（表1）。これにより、通常の蚕室や上蔭室を遺伝子組換えカイコの飼育に使用することができると考えられます。

2. 遺伝子組換えカイコの飼育管理手法の確立

緑色蛍光シルクを生産する遺伝子組換えカイコの飼育にあたっては、通常の子組換えカイコと同様に飼育容器の中にとどまって蚕室の外には逃亡しないなど成育や行動の特性に問題がないことを農家の蚕室を模した施設での隔離飼育試験（表2）で確認しています。その上で、農家での飼育は幼虫期の後半（3齢期以降）から繭の形成までに限定するとともに、幼虫などを屋外に持ち出すことを

防止するための措置を執ることとしています。実際には、カイコが屋外に出るのは作業者の身体に付着して持ち出される場合に限られるため、作業者が蚕室や上蔭室から外に出る際に、作業者同士で身体を確認し合うこととしています。それ以外の点では、通常のカイコと同様に桑葉を与えたり繭を作らせたりすることができるので、これまで養蚕に従事してきた農家であれば遺伝子組換えカイコの飼育は難しくありません（表1）。また、遺伝子組換えカイコを飼育する場合は事前に研修を受けることと、毎日の作業の記録を作成することが求められます。

表1 遺伝子組換えカイコの飼育と一般的な非遺伝子組換えカイコの飼育の比較

	一般的な養蚕	遺伝子組換えカイコ
蚕室の構造	プレハブやパイプハウスなど様々	通常の養蚕と同じ。ただし、壁などの隙間がないこと、窓に網を張るなどの初期投資が必要（蚕室の構造によるが数箱規模の蚕室で数十万円程度が想定される）。
幼虫の飼育	毎日2～3回程度の給桑	通常の養蚕と同じ。ただし、退室時にカイコの付着がないかを確認する。
上蔭（繭の形成）	回転蔭を使用	通常の養蚕と同じ。
収繭（繭の収穫）	収繭機を使用して収繭し、繭袋に入れて出荷	通常の養蚕と同じ。
残渣の管理	屋外での堆積や堆肥化など	屋外で堆積する際に、30日間は全体を網で覆っておくなど（網は数万円で購入できる。）

表2 緑色蛍光シルク系統と一般的な非遺伝子組換えカイコ（対照）の飼育成績

	平成28年5月		平成28年7月		平成28年10月	
	緑色蛍光	対照	緑色蛍光	対照	緑色蛍光	対照
飼育数	5,959	5,981	5,881	5,876	5,833	5,871
三眠蚕	0	0	0	0	0	0
容器外						
摂食期	0	1	0	0	0	0
熟蚕期	0	0	0	0	0	0
蔭内						
繭	5,247 (88%)	5,711 (95%)	4,916 (84%)	5,300 (90%)	5,186 (89%)	5,158 (88%)
玉繭	4	23	3	12	12	19
幼虫・死亡	210	119	268	149	189	127
蔭から落下	52	33	124	65	189	127

3. 遺伝子組換えカイコを飼育した後に残る残渣の管理手法の確立

カイコを飼育した後の飼育容器には、桑の枝やカイコの糞などが残渣として残り、その中に幼虫や繭（蛹）が残る可能性があります。この残渣を屋外に持ち出しても、幼虫や成虫はすぐに鳥やアリ等に捕食されます。その上で、緑色蛍光シルクを生産する遺伝子組換えカイコを飼育した後の残渣については、野生のクワコとの交尾防止に万全を期すため、（１）上蔭（繭を作らせる器具にカイコ幼虫を移すこと）の後 30 日間は蚕室内で保管、（２）屋外に残渣を持ち出して全体に 4 mm 目以下の網をかけ、上蔭の後 30 日間保管（写真 2）、（３）上蔭から 9 日後までに粉碎、のいずれかの方法で管理する必要があります。各農家の状況に合わせて、実施しやすい方法を組み合わせることもできます。



写真 2 残渣を網で覆って管理

4. モニタリング

これまでに一般的な養蚕農家の周辺を含む日本各地で調査した結果から、カイコとクワコの交雑個体が野外で見つかったことはありませんが、遺伝子組換えカイコの飼育にあたっては野生のクワコとの交雑防止に万全を期すための管理を実施した上で、野生のクワコとの交雑個体が生じていないかを確認するためのモニタリングを実施します。モニタリングにはフェロモントラップを用います。これは、性フェロモンで雄成虫を誘引して粘着板で捕獲する器具です。調査するのは飼育翌年の 5 月から 7 月頃の 2 か月程度で、この間の毎週 1 回、導入農家は木の枝などに結び付けたフェロモントラップを回収して新しいものを設置し、回収したフェロモントラップを農研機構に送付する必要があります。捕獲された昆虫の調査は農研機構において実施します。なお、モニタリングを実施する地域でのクワコの発生状況を事前に把握するため、モニタリングの前年までに、その地域でクワコを捕獲する調査を実施する必要があります。

技術体系の経済性は：

経営改善効果

近年、生糸等の価格低迷が続いていることから、通常のカイコを飼育する養蚕においては、飼育等に要するコストが繭価格を大幅に超えており、事業の継続が困難な状況にあります。このため、一般財団法人大日本蚕糸会が蚕糸・兼業提携グループを支援しているほか、群馬県等の施策により繭価格

表 3 遺伝子組換えカイコの飼育の経営改善効果（繭生産 200kg のケース）

	一般的な養蚕	遺伝子組換えカイコ
初期投資（既存の蚕室を使用する場合）	特になし	窓に網を設置する等のため、数十万円が想定される（蚕室の構造によって異なる）。
労働コスト（繭 100kg 当たり試算）	25 万円程度	25 万円程度（特段の追加の作業はない。）
繭価格	3,650 円/kg（群馬県の平均、平成 28 年）	一般的な繭の 2 倍以上（これまでの実績）
1 蚕期の収入（繭 200kg を生産した場合）	73 万円程度	140 万円以上（これまでの実績から推定）

（注意：遺伝子組換えカイコの繭の価格は変動します。）

が形成され、養蚕農家の手取りが確保されている状況です。このような中で、平成 29 年 9 月に第一種使用規程の承認を得て飼育が開始された遺伝子組換えカイコが生産する緑色蛍光繭については、通常の繭価格の 2 倍以上で買い取られています（表 3）。一方、この遺伝子組換えカイコの農家飼育にあたっては、蚕室等の窓や戸を閉じておくことや蚕室等から作業者が出るときにカイコの付着がないかを確認すること、残渣を屋外に運び出した後は網で覆っておくこと等、通常のカイコの飼育には無い追加の作業が必要となりますが、管理は比較的容易です（表 1, 3）。蚕室や上蔭室の構造によっては、飼育開始前に壁の隙間等を埋めたり窓に網戸を設置したりする必要があり、これまでの例では初期投資として数十万円程度を要していますが、それでも一般的な養蚕に比べて高い利益が得られると判断します（表 3）。

経済的な波及効果

緑色蛍光シルクを生産する遺伝子組換えカイコの幼虫期の前半（孵化から 2 齢まで）の飼育は、現状では、第二種使用等として飼育が可能な施設が限られているため、このことが飼育規模拡大の制限要因となり、平成 30 年度の緑色蛍光繭の生産量は約 800kg でした。今後は、幼虫期の前半を第二種使用等として飼育する体制の整備が進むと期待され、5 年後には、これから導入される他の遺伝子組換えカイコを含めて、群馬県の年間の繭生産量（約 50 トン）の 10%に相当する 5 トン程度に達すると想定しています。

こんな経営、こんな地域におすすめ：

遺伝子組換えカイコの飼育のための飼料として既存の桑畑をそのまま利用することができます。また、新たに養蚕を始める農家についても、蚕室の構造に留意すれば、通常の養蚕と同程度の初期投資で遺伝子組換えカイコを飼育することが可能です（表 3）。ただし現状では、遺伝子組換えカイコの飼育が農家で可能なのは 3 齢から繭までに限られていて、孵化から 2 齢までの幼虫期の前半はカルタヘナ法上の第二種使用等として拡散防止措置（遺伝子組換え生物を屋外に出さないための管理措置）の大臣確認を受けた事業者が飼育する必要があり、幼虫を遠くまで運搬することは困難ですので、幼虫期の前半を飼育できる施設周辺にある農家で飼育することが想定されています。

技術導入にあたっての留意点：

遺伝子組換えカイコを養蚕農家で飼育するには、カルタヘナ法に基づいて農林水産大臣と環境大臣の承認を受けた第一種使用規程に従う必要があります。特に、蚕室や上蔭室の施設要件と、飼育管理や残渣処理等については、第一種使用規程やそれに付随する飼育等要領に沿って対応することが求められます。ただし、実際の飼育開始前には、農研機構が実施する研修を受けることになっていますので、施設要件や飼育管理等についてもその研修において確認・習得することができます。また、野生のクワコとの交雑個体が発生していないことを確認するためのモニタリングに用いるフェロモントラップは、期間中 1 週間に 1 回、農研機構から送付され、農家ではそれを設置・回収して農研機構に送り返す作業が必要となります。

研究担当機関名：（研）農研機構 生物機能利用研究部門、群馬県蚕糸技術センター

お問い合わせは：（研）農研機構 食農ビジネス推進センター

電話 029-838-7698 E-mail joint_research@naro.affrc.go.jp

執筆分担（（研）農研機構 生物機能利用研究部門 新産業開拓研究領域 富田秀一郎、河本夏雄）