

「染色の化学」を深める科学探究活動の実践

－ 食物繊維による合成着色料の吸着阻害 －



実施担当者 国立大学法人奈良女子大学
附属中等教育学校
教諭 松浦 紀之

1 はじめに

着色料は食品や化粧品などを色付けするために用いられ、見た目を良くする効果がある。しかし、人体に有害な着色料もあり、法律や規則で使用できなかつたり、摂取量が制限されたりしている¹⁾。食物繊維は海藻類、豆類、野菜類、きのこ類、果実類などに多く含まれており、他の物質を吸着しやすいが、それ自身はヒトの体内に吸収されにくいという性質がある²⁾。

そこで生徒の探究活動として、食物繊維の吸着力を利用することで、合成着色料の体内への吸着阻害が期待できないかを確認する研究を行った。タンパク質からできた繊維（羊毛や絹）を消化器内壁とみたとて、合成着色料がどの程度、体内に吸着されるかのモデル実験を行った。体内に吸収されにくい食物繊維と羊毛や絹とを共存させて着色実験を行い、食物繊維による合成着色料の吸着阻害の効果について検討した。

2 実験

2-1 合成着色料による多織交織布の染色

様々な繊維に対する合成着色料の染着の程度を調べた。赤色 102 号（ニューコクシン）、青色 1 号（ブリリアントブルーFCF）、黄色 4 号（タートラジン）の水溶液 60 mL（着色料を 0.00125% 含む pH 4.7 のリン酸緩衝液³⁾）が入ったビーカーに、幅 15 mm に切断した多織交織布（横糸にポリエステル、縦糸に綿、ナイロン、アセテート、羊毛、レーヨン、アクリル、絹、ポリエステルが織り込まれたもの）を 6 枚入れた。40°C の水浴中で加熱しながら 5 分ごとに取り出し、純水で軽く洗い流し自然乾燥させた（図 1）。

2-2 食物繊維存在下での合成着色料による羊毛の染色

消化器内壁にみたてた羊毛に食物繊維を共存させて着色実験を行うことで、食物繊維による合成着色料の羊毛への吸着阻害の影響を調べた⁴⁾。塩酸で pH 1.7 に調整した赤色 102 号、青色 1 号、黄色 4 号の各水溶液 60 mL を入れたビーカーを 5 つ準備し、長さ 3 cm の毛糸⁵⁾を 6 本ずつ入れた。さらに、食物繊維（セルロース、キチン、キトサン、アルギン酸ナトリウム）を 0.50 g ずつ加え、

残り 1 つのビーカーには何も加えなかった。40°Cの水浴中で加熱しながら 5 分ごとに毛糸を取り出し、純水で軽く洗い流し、自然乾燥させた。すべての毛糸を取り出したあと、ろ過して、食物繊維がどの程度着色されたか観察した。

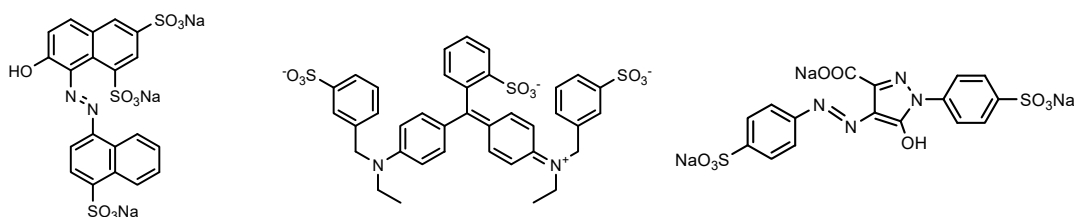


図 1. 実験で用いた合成着色料の構造 (左: 赤色 102 号, 中: 青色 1 号, 右: 黄色 4 号)

3 結果と考察

3-1 合成着色料による多織交織布の染色

実験で用いた合成着色料 (赤色 102 号, 青色 1 号, 黄色 4 号) は, スーパーマーケットなどの食品売り場で販売されている食用色素の成分である⁶⁾。pH 4.7 酢酸緩衝溶液中, 多織交織布を 3 種類の合成着色料でそれぞれ染色した。染色溶液中の濃度は 0.00125% と非常に低いが, これは実際の食品に含まれる着色料の濃度に相当している。結果は, 染色時間が長くなるにしたがってタンパク質からなる羊毛や絹, 合成繊維のナイロンは染色され, 30 分で染色の濃さは一定になった。この実験条件では, 着色料の繊維に対する吸着・脱着が 30 分で平衡状態に達していることが分かった。

他の繊維は 30 分間の染色でも, ほとんど染色されなかった⁷⁾。これら 3 種類の合成着色料は酸性染料に分類される。他の酸性染料であるオレンジ II, フロキシシン B, インジゴカルミンによる染色でも同様の染色性が見られた。酸性染料に分類されるこれらの分子構造中には, 強酸性の基であるスルホ基のナトリウム塩 $-\text{SO}_3\text{Na}$ が含まれており, 水溶液中ではスルホナト基 $-\text{SO}_3^-$ となっている。一方, 羊毛や絹はタンパク質からできた天然繊維であり, 構造中にはアンモニオ基 $-\text{NH}_3^+$ が存在している。これらの基どうしの静電的な引力により, 着色料分子と繊維分子とが比較的強く結合するため, 濃く染色されたと考えられる⁸⁾。一方, 塩基性溶液中での染色実験の結果, 赤色 102 号, 青色 1 号, 黄色 4 号のすべてで, どの繊維にも染色されなかった。

3-2 食物繊維存在下での合成着色料による羊毛の染色

食物繊維は他の物質を吸着しやすいが, それ自身はヒトの体内に吸収されにくいという性質がある。そこで, 食物繊維の吸着力により, 合成着色料の体内への吸着阻害が起こるのではないかと考え, 実験により確認することにした。タンパク質からできた羊毛を消化器内壁とみたとて, 合成着色料がどの程度繊維に吸着されるかのモデル実験を行うことにした。

合成着色料の酸性溶液中, 羊毛 (毛糸) と食物繊維を共存させて毛糸の染色実験を行った。選んだ食物繊維は, 身近な食品に含まれているセルロース, キチン, キトサン, アルギン酸ナトリウム, の 4 種類である。実験の結果, 合成着色料をよく吸着する食物繊維はキチンとキトサンであった (図 2, 表 1)。

3-3 食物繊維による合成着色料の吸着阻害の効果

2-2 の実験より, 羊毛と食物繊維に対する合成着色料の染着性の違いについて分かった。しかし, どの程度毛糸に色素が吸着されたのかを定量できていない。一般に, 染色された繊維の色の評価する方法として, 色差計を用いて分光反射率を測定する分光測色法や撮影して得られた画像を画像処理ソフトを用いて色情報を比較する方法などが知られている。しかし今回は, 羊毛が塩基性溶

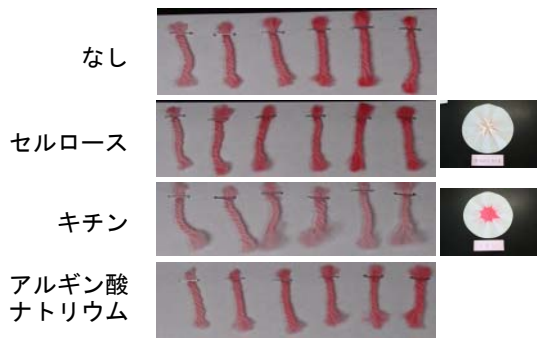


図2. 赤色 102 号と食物繊維とを共存させて行った染色実験の結果（ろ紙は、ろ過したあとの食物繊維）

表 1. 食物繊維存在下での合成着色料による羊毛（毛糸）の染色

加えた食物繊維	どちらに吸着されるか	赤102	青1	黄4
セルロース	毛糸	◎	◎	◎
	セルロース	△	△	△
キチン	毛糸	△	△	△
	キチン	◎	◎	◎
キトサン	毛糸	△	○	△
	キトサン	※	※	※
アルギン酸ナトリウム	毛糸	○	○	○
	アルギン酸ナトリウム	※	※	※

◎, ○, △: 吸着の程度 (◎は強く染着されたことを表す)
※: 水に溶解した

液中ではほとんど染色されない性質を利用して、この抽出液の吸光度を測定することで定量化することにした。

pH 1.5 の塩酸中、赤色 102 号の水溶液を入れたビーカーを 6 個準備し、長さ 30 cm (0.170 ± 0.01 g) の毛糸を 4 本ずつ入れた。さらに、食物繊維を構成する単糖類単位の数揃えるために 2.5×10^{-3} mol に揃えた食物繊維（セルロース、キチン、キトサン、アルギン酸ナトリウム、メチルセルロース）をそれぞれ加え、残り 1 つのビーカーには何も加えなかった。40°C の水浴中で 30 分加熱した。3.0 mol/L アンモニア水 10 mL を入れた試験管に、合成着色料で染色された毛糸を入れ、沸騰水中で 15 分間加熱することで、合成着色料を抽出した。各試験管内の抽出液の体積と 500 nm の吸光度の値の積（羊毛に吸着している合成着色料分子の物質質量に相当する）を求めた。結果、共存する食物繊維がセルロース、メチルセルロース、アルギン酸ナトリウム、キトサン、キチンの順で、羊毛の染色の程度が小さくなるのが分かった（図 3）⁹⁾。最も吸着阻害の効果が大きかったキチンを加えたときは、食物繊維を加えないときに比べ、羊毛への合成着色料の吸着は 22.5% に抑えられることが分かった（図 4）。キチンは構造中に $-\text{NH}-\text{CO}-$ の構造を持ち、分極している。一方、合成着色料中のスルホ基 $-\text{SO}_3\text{H}$ は pK_a がとても低いため、pH 1.7 の溶液中でもスルホナト基 $-\text{SO}_3^-$ となっており、負の電荷となっている。これらの分子間の静電的な引力から、合成着色料はキチンにより強く吸着したと考えた。

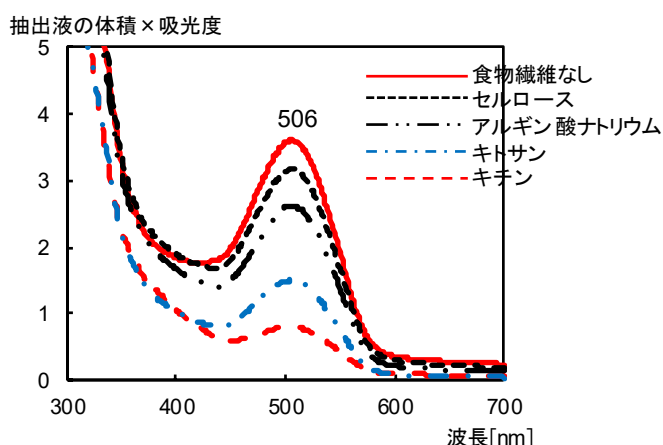


図 3. 毛糸に吸着した色素(赤色 102 号)の抽出

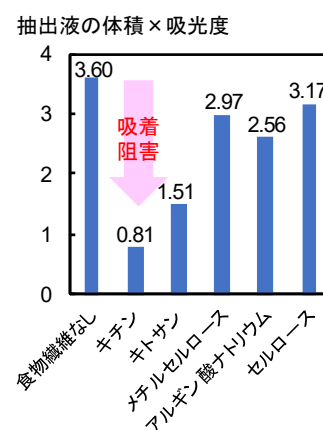


図 4. 食物繊維による吸着阻害の程度

一方、キトサン分子は、pH 1.7 の酸性溶液のときアンモニオ基 $-\text{NH}_3^+$ の構造となっており、電荷を持つため水に溶解したと説明できる。負の電荷を持つ合成着色料との静電的な引力が働くため合成着色料の吸着阻害はあるが、キチンほど高くなかった。これは、キチンは不溶性のため、静電

的な引力のような化学結合の他に、固体のキチンの隙間に着色料が入り込む物理吸着も起こっていることが示唆される。また、アルギン酸ナトリウムは構造中にカルボキシ基（ $-\text{COOH}$ ）を、セルロースは構造中にヒドロキシ基 $-\text{OH}$ を持ち、どちらも pH 1.7 の酸性溶液中で H^+ が結合し無電荷となっている。このため、負の電荷を持つ合成着色料の吸着は起こりにくいと言える。

なお、セルロース構造中のヒドロキシ基 $-\text{OH}$ の合成着色料との水素結合の形成の効果をみるために、セルロースの $-\text{OH}$ の部分を $-\text{OCH}_3$ に置き換えたメチルセルロースを用いて比較実験を行った。結果、水素結合の効果はほとんどないことが分かった。

3 まとめ

生徒が行った課題研究「食物繊維による合成着色料の吸着阻害」は、合成着色料で着色された食品を食べると、口の中や舌が色づいた生徒自身の経験が研究のきっかけとなった。生徒らは研究活動を行う中で、メチレンブルーなどの色素が消化管の色素内視鏡検査で活用されていること、一部の種類のアゾ染料は、還元反応により発がん性物質（特定芳香族アミン）を生成する可能性があるために使用禁止になっていることなどを知った。生徒らは活動の中で主体的な学びの姿勢の獲得、考えるプロセスの楽しさを実感することができたようだ。なお、本研究は第 63 回日本学生科学賞中央最終審査において発表を行い、入選 1 等を受賞することができた（図 5）。

成果普及として、京都府精華町の小中学校新規採用者及び理科教育推進委員の教員を対象に、化学実験研修会を開催した。この研修は京都府精華町教育委員会と本校との連携により実施し、本校化学科教員（松浦）が講師をつとめた（図 6）。小中学校の理科の授業で取り扱う「水溶液の性質」を題材に、様々な薬品に対する反応性から水溶液のなかま分け行う実験を行った。加えて、助成テーマである「染色の化学」に関して、中学生向けに開発した教材を実際に体験し、研修参加者の学校で授業にどの様に活用できるかについて、校種を超えた情報交換の場となった。



図 5. 第 63 回日本学生科学賞中央最終審査（入選 1 等）



図 6. 京都府精華町の小・中学校教員を対象とした化学実験研修会

謝 辞

本研究は、公益財団法人中谷医工計測技術振興財団の助成を受けて実施することができました。得られた成果は、課題研究における実践モデルとして教育現場に還元していきたいと思えます。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献・注釈

- 1) 日本では合成着色料の安全性は食品衛生法第 10 条により規定されている。
- 2) 瀬尾利弘, 化学と教育, 1995, 43, 236.
- 3) 澤田清, 大森大二郎, 緩衝液その原理と選び方・作り方, 講談社, 2009.
- 4) 井上正之, 現代化学, 2008, 48. (2018 年 12 月号)
- 5) 毛糸は, ダイヤエポカメリノウール 100% (ダイヤ毛糸) をジエチルエーテルで脱脂した。
- 6) 市販の食用色素には, 合成着色料を希釈するためにデキストリンが含まれている。デキストリンの効果を除くため, 実験用試薬を用いた。
- 7) 中性付近でも pH 4.7 と同様の結果であった。
- 8) 矢部章彦, 林雅子, 新版染色概説. 光生館, 1979, pp.135-142.
- 9) 染色した羊毛をカラースケール X-rite Colorchecker PASSPORT PHOTO とともに, デジタル一眼カメラで撮影し, 画像処理ソフトで処理することで得た RGB 値から求めた簡易の色差は, アンモニア水抽出の実験結果とほぼ一致した。