

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 20 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350205

研究課題名(和文) 初等・中等教育課程を通じた化学，生物領域が連携した理科教育教材の開発研究

研究課題名(英文) Development of science education teaching materials that has cooperated with chemistry and biology for elementary and junior high school students.

研究代表者

大橋 淳史(Ohashi, Atsushi)

愛媛大学・教育学部・准教授

研究者番号：50407136

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では，学校で用いることのできる化学と生物の連携性を実感できる教材の開発を行った。具体的には，小・中学校のpHの実験で用いられるアントシアニンに注目し，アントシアニン含有植物の栽培を通じた生物領域への興味関心を高め，植物からアントシアニンを抽出してpHやイオンの実験を行うことで化学領域への興味関心を高める教材の開発を検討した。栽培する植物としては紫カイワレ大根に注目した。紫カイワレ大根は水耕栽培で簡単に栽培が可能であること，4～10日で栽培が可能であること，アントシアニンの含有量が豊富で，抽出が容易であることが特徴である。本研究の成果は東京書籍(株)の中学校理科の自由研究として採択された。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a teaching materials that can feel the chemistry and biological of cooperation of which can be used in school. More specifically, focusing on the anthocyanin, which is used in the experiment of the pH of the elementary and junior high schools, increase the interest interest in the biological area through the cultivation of anthocyanin-containing plant, the experiment of pH and ions are extracted anthocyanins from plant We examined the development of teaching materials to enhance the interests of the chemical area by performing. Examples of the plant to grow and focus on the purple radish sprouts. That purple radish sprouts can be easily grown in hydroponic cultivation, it is possible grown in 4 to 10 days, is rich in content of anthocyanin, it is a feature extraction is easy. The results of this research was adopted as a free study of junior high school science of Tokyo Shoseki Corporation.

研究分野：化学教育

キーワード：化学教育 アントシアニン 初等教育 中等教育 pH イオン

1. 研究開始当初の背景

自然界における物質のさまざまな変化を知るうえで、色の変化は重要な役割を果たしている。たとえば、生命領域では、植物は色とりどりの花を咲かせ、果実は色の違いで成熟しているかどうかを知ることができる。また、粒子領域では、物質を構成している分子は目で見ることはできないが、分子の構造の変化でもたらされる色の変化は目で見るることができる。そのため、色を用いた実験は、生命領域と粒子領域が連携し、生徒が実感を伴った理解を得やすい教材の開発が可能となる。そこで、生命領域と連携しやすい色を基準とした粒子領域の実験の素材として、アントシアニンに注目した。アントシアニンは、多くの植物に含まれる色素であり、pH によって多彩な色の変化を観察できることが知られている。アントシアニンを含む植物としては、紫キャベツやマロウブルー、ブルーベリーなどが有名であり、それらを利用した酸・アルカリの呈色実験が報告されている (Kanda・Asano・Itoh, 1995; 木村憲喜ら, 2011; 黒河伸二・有尾真寿美・古賀孝, 1988)。このうち、アントシアニン抽出植物として、もっともよく用いられているのが紫キャベツである。現在出版されている小中学校の教科書の「酸・アルカリに関する実験」では、ほとんどの出版社で発展として紫キャベツを用いた水溶液の液性を調べる実験が紹介されている。

そこで本研究では、生命領域と粒子領域が連携した教材として、紫キャベツに代わる新たなアントシアニン抽出用植物の選定と、それを用いた教材および実験方法の開発を計画した。

2. 研究の目的

教材選定では、平成 24 年度の全国学力・学習状況調査の結果を踏まえた詳細分析 (国立教育政策研究所, 2012) で得られた課題を満たす植物について検討を行った。詳細分析では、「科学的な思考力や表現力の育成」の中で「問題を見だし、観察、実験を計画する学習活動」「観察、実験の結果を分析し解釈する学習活動」「科学的な概念を使用して考えたり説明したりするなどの学習活動」が課題として挙げられている。また、「基礎的・基本的な知識・技能の習得など」では、「観察・実験の結果を、表にまとめたり、数値を処理したり、グラフ化したりする」が挙げられている。これらを整理し、教材植物として必要な条件を、(a) 短期間で栽培観察できること、(b) 1 人 1 人が栽培できること、(c) 観察結果を数値化・グラフ化できること、(d) それらと比較し分析・解釈が可能であることの 4 条件とした。そして、これらの条件を満たす植物として、スプラウトの一種である紫カイワレ大根に注目した。紫カイワレ大根は、葉や茎が赤紫色をしており、この赤紫色がアントシアニンを含む部分である。紫カイワレ大根の特徴は、栽培が容易で約 1 週間でアントシ

アニン抽出するのに十分な大きさに成長する点にある (条件 a)。教材としては、生命領域 (中学校第 1 学年) と粒子領域 (中学校第 3 学年) との連携性を意識するために、「植物の世界」単元の振り返りとして紫カイワレ大根を栽培観察し、栽培した紫カイワレ大根からアントシアニンを抽出して、「化学変化とイオン」単元に用いることを計画した。化学変化とイオンでは、アントシアニン水溶液の陽イオンによる色の変化によって、「科学的な思考力や表現力の育成」の改善を検討した。

3. 研究の方法

1. 紫カイワレ大根の栽培法の検討

紫カイワレ大根 (商品名: サンゴかいわれ大根, 中原採種場) の種子は、35 mL が 270 円で販売されている。1 人あたり 20 粒の種子で栽培をすると 1 袋で 2 クラス分に相当する。紫カイワレ大根を含むカイワレ大根の栽培には、一般に水耕栽培が用いられており、栽培容器も数多く市販されている。しかしながら、水耕栽培は、水の汚濁化が速く毎日水替えを必要とすること、容器転倒によって水が漏出すること、市販容器はコストが高いことの 3 つの問題点があった。そこで、本研究では、水替えを必要とせず、転倒による漏出が起こらず、低コストで 1 人 1 つずつ栽培できる新たな栽培用培地として、植物栽培用透明ポリマー「めばえジェル」(株式会社ベネッセコーポレーション) に注目した。めばえジェルは、植物の成長に必要な栄養素を添加することが可能なポリマーであり、ジェル上に種子をのせ、霧吹きで水を与えるだけで、さまざまな植物を成長させることが可能である。また、プラスチックコップなどを栽培容器にすることで、1 人 1 つずつの栽培が可能である (条件 b, 図 1)。ジェルは適度な粘性をもっているため、容器を転倒させても培地が流れ出す速度は遅く、すぐに元に戻せば栽培を継続することができ、万が一培地が漏れ出しても広がらないため、水のように周囲を汚損する心配はない。めばえジェルの価格は約 800 円/kg であり、35 人分を 1 kg で賄うことができる。めばえジェルを用いた栽培は以下の通りである。

(1) めばえジェルをプラスチックコップに約 30 g 入れた。

(2) めばえジェルに水を霧吹き 1~2 回分加えた。

(3) 種子をジェルに埋めないように 20 粒蒔いた。

(4) 霧吹きで種子を湿らせるように水を与えた。

(5) 平均温度 20 以上の暗所に置き、毎日霧吹き 1~2 回分水を加えた。

紫カイワレ大根の栽培における注意点は、明条件下では発芽しないということである。また種子をジェルに埋めると空気が遮断され発芽しない。これらは、小学校第 5 学年「植物の発芽と成長」単元における発芽条件調べの振り返り学習となるだろう。以上の結果よ

り、めばえジェルは水耕栽培の欠点を克服し、かつ発芽条件の振り返り学習が可能で、1日1回の給水で栽培が可能な培地であることが明らかとなった。

2. 紫カイワレ大根の栽培結果と利用法

めばえジェルでの栽培結果について図1に示す。(A)は、暗条件で1週間栽培した結果である。平均10cmに成長し、抽出には十分な大きさである。(B)は根の観察のために別途2週間栽培した結果である。

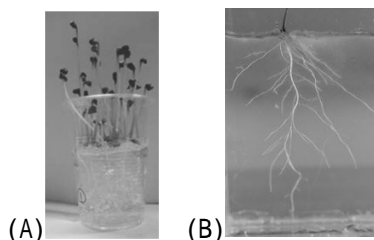


図1. 栽培結果(A)1週間後、(B)根の成長(2週間後)

図1Bより、めばえジェルは透明であるため、根の成長観察を行うことができた。根の成長は極めて速く、発芽から4~5日間は数時間で1mm成長した。また、この間は、主根のみが成長し、6日間前後で初めて側根が成長し始めた。側根は、地表側から成長すること、主根が栽培容器の底につくと主根全体から成長が始まるのが観察できた。土壌中では、植物は土に主根を深く伸ばして茎を固定するが、その観察は難しい。しかしながら、めばえジェルを用いることで根がどのように培地中に伸びていくかを容易に知ることが可能となった。以上の結果より、めばえジェルは根の成長の観察に適していることが明らかとなった。

3. 観察記録冊子

生命領域と粒子領域の連携性を理解するために、植物の成長を実感し、生命領域への興味関心を高めることを目的として、栽培の注意点、栽培時に観察すべき点をまとめた観察記録冊子の開発を行った(図2)。本冊子は、授業実践の前週に、紫カイワレ大根の種子、めばえジェル、栽培容器と共に生徒に配布し、生徒は本冊子にしたがって、紫カイワレ大根の成長を記録した。観察記録は観察のポイントを掲載し、生徒に何をどのように観察するのかを示した。また、記録した茎と根の長さは、冊子に別途設けられたグラフに書き込み、茎と根の成長比較を行うようにした。これにより、条件c、dを満たすことができる。

4. アントシアニンの抽出

栽培した紫カイワレ大根からアントシアニンを抽出する方法について検討を行った。小中学校教科書(東京書籍, 2011)では、いずれも紫キャベツからのアントシアニンの抽出法として、はさみで細かく刻み、湯で抽出

する方法が提示されている。そこで、同質量(100g)の紫キャベツと紫カイワレ大根を用いて同手法で抽出を試みた。実験方法は以下の通りである。

(1)紫カイワレ大根100g(紫キャベツ100g)を、はさみで細かく刻み、200mLビーカーに入れた。

(2)蒸留水100mLをビーカーに加え、5分間煮沸し、アントシアニンを抽出した。

得られた抽出液を20倍希釈した水溶液を紫外可視吸光度計で測定し、ふたつの水溶液のpH=7における max (560nm)の吸光度を比較した(図3)。図3の縦軸は吸光度、横軸はnmである。紫カイワレ大根の吸光度は、紫キャベツの max における吸光度の約1.8倍であった。以上より、紫カイワレ大根は、アントシアニン含有量が紫キャベツの約1.8倍であることが明らかとなった。

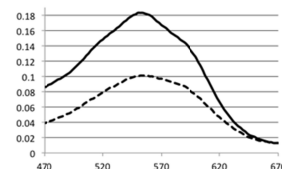


図3. pH=7における紫カイワレ大根(黒線)と紫キャベツ(灰線)の max の吸光度比較

5. アントシアニンのpHによる呈色

アントシアニンの構造には多くの類縁体が存在する。置換基として、グルコース、ガラクトースを始めとする様々な糖やコハク酸やマロン酸などの有機酸が結合している場合もある。基本構造となるアントシアニジンにも6種類の構造があり、これらの構造の違いによって発色が異なる(Kondo, T., et al., 2005; Yoshida, K., et al., 2005; Yoshida, K., et al., 2008)。そのため、アントシアニン含有植物であれば、同条件で同色になるとは限らない。そこで、紫カイワレ大根と紫キャベツのアントシアニン水溶液の呈色について比較を行った。吸光度測定に利用した水溶液を、pH=0, 1, 2, 3, 4, 7, 10, 11, 12, 13の水溶液を加えて、紫外可視吸光度計で測定した(図4, 5)。図4, 5の縦軸は吸光度、横軸はnmである。各pHの max を比較すると、紫カイワレ大根から抽出したアントシアニンは、紫キャベツよりも吸光度が強く、紫キャベツに対する紫カイワレ大根の max の相対誤差は平均1.2%であった。また、目視でも呈色に差は認められなかった。アントシアニジンは、pHが小さいときには短波長の光を吸収して赤に見え、pHが大きくなるにしたがって長波長の光を吸収する。450nm以下の短波長の吸収は有機酸に由来しており、紫カイワレ大根と紫キャベツは、アントシアニジン構造は同じで、有機酸の構造が異なっていると推測される。

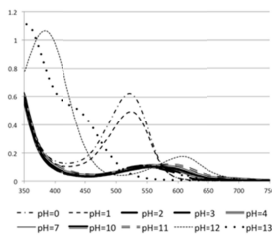


図 4. 紫キャベツの呈色

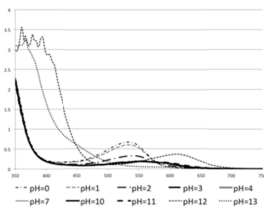


図 5. 紫カイワレ大根の呈色

6. アントシアニンの陽イオンによる呈色

アントシアニンは1価の陽イオンとは錯形成しないが、2価以上の陽イオンと錯形成することが知られている(Kondo, T., et al., 1992).そこで、1価の陽イオンであるナトリウムイオン、カリウムイオン、リチウムイオンの水溶液と、2価の陽イオンであるカルシウムイオンを用いて、アントシアニンの陽イオンによる色の变化を測定した.具体的には、ナトリウムイオン、カリウムイオン、リチウムイオン、カルシウムイオンの2 mol/L水溶液を、アントシアニン水溶液(1.5 mL)に対して2 mL加えて、紫外可視吸光度計で測定した(図6).図6は、縦軸は吸光度、横軸はnmである.

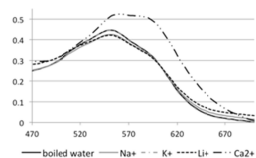


図 6. 陽イオンとアントシアニンの水溶液

図6より、1価の陽イオンのナトリウムイオン、カリウムイオン、リチウムイオンを蒸留水と比較すると、いずれも、 λ_{max} は変化していない.一方、2価の陽イオンであるカルシウムイオンを加えると590 nmに新たな吸収が現れ、水溶液は青色に呈色した.アントシアニンは1価の陽イオンとは錯形成しないため吸収に変化はないが、2価の陽イオンと錯形成するため吸収が変化し、これによって色が紫色から青色に変化することを確認した.

4. 研究成果

本研究では、開発した教材を用いて、2014年7月11日に松山市内のH中学校2年生13名を対象に、総合的な学習の時間を用いて実践を行った.実践では、前週に種子と

めばえジェル、栽培容器、観察記録冊子を配付し、栽培上の注意点について確認した.その後、事前アンケート(1名未提出)調査を行った(表3).

表 3. 事前アンケート回答(N=12)

	肯定的評価	否定的評価	両側検定
質問1	9名	3名	p=0.1460
質問2	0名	12名	p=0.0005
質問3	7名	5名	p=0.7744
質問4	3名	9名	p=0.1460

アンケートの質問項目および回答を以下に示す.質問1「栽培が好きだ」、質問2「アントシアニンを知っている」、質問3「酸性には弱酸性と強酸性があることを知っている」、質問4「イオンを知っている」.4択回答(1:全く当てはまらない,2:どちらかと言えば当てはまらない,3:どちらかと言えば当てはまる,4:非常に当てはまる).回答4と回答3を肯定的評価,回答2と回答1を否定的評価として、直接確率計算(正確二項検定)を行った.

質問2は有意差が認められたが、それ以外の質問については有意差がなかった.本実践では中学校2年生を対象にしたため、イオンやpHの実験に関しては、未習の内容であったことが質問3,4への回答のバラつきに影響しているのだろう.

生徒は、栽培容器と種子とジェル、観察記録冊子を持ち帰り、自宅で個別に栽培を行った.実施時に確認した栽培成功率は92%(12/13名)であった.栽培に失敗した生徒は、種子を埋めてしまったことが原因であった.実施者が栽培状況を確認しながら行う場合は、こうしたケアレスミスは容易に排除が可能である.

実践では、まずアントシアニンを含有する植物としてソライロアサガオとアジサイを紹介し、「ソライロアサガオとアジサイの色は、どうやって決まっているのだろう」という疑問を提示した.ソライロアサガオは花卉のpH変化により、つぼみ(赤紫色)が開花すると青色になる(Yoshida, K. et al. 2005).一方で、アジサイは土壌中のアルミニウムイオンの濃度によって、萼の色が赤紫色から青色に変化する(Kondo, T. et al., 2005; Yoshida, K. et al., 2008).そこで、このふたつの植物の色の秘密を解明するために、実験を行うことを説明した.

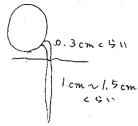


図 8. 生徒 A の観察記録：3 日目

まず，生命領域について学習するため，栽培した紫カイワレ大根と観察記録冊子を用いて，植物の成長の振り返りを行った(栽培失敗した 1 名には，予備として栽培しておいた紫カイワレ大根を配付した)。「植物の発芽と成長」について振り返り，栽培時に気をつけた点について確認した。また，「葉，茎，根のつくりとはたらき」について振り返り，根の形状を観察し，根の成長について観察記録冊子を確認した(図 8)。そして，紫カイワレ大根の根が主根・側根であること，葉が双葉であり，葉脈が網目状であることを確認し，紫カイワレ大根が双子葉類であることを確認した。次に，茎と根の成長の速度について確認し，なぜ根が速く伸びるのか，また主根と側根とでは主根が 5 cm 以上伸びてから側根が伸び始める理由についてグラフ化した図を比較し，解釈について分析，考察した。

次に粒子領域について学習するため，11 章 4 節の手法で，アントシアニン抽出した。抽出後の紫カイワレ大根の葉は，普通のカイワレ大根と同じ緑色になるのを確認して，アントシアニンの抽出が完了したことを確認した。得られたアントシアニン水溶液に pH=2, 4, 7, 10, 12 の水溶液を加え，pH による呈色を確認した。その後，身近な物質である，お酢，炭酸水，砂糖水，食塩水，レモン果汁，スイカ果汁，石灰水，コンニャクの汁の液性について予想し，呈色実験を行った。対象者は「水溶液とイオン」については未習であるため，pH=2, 4, 7, 10, 12 を，強酸性・弱酸性・中性・弱アルカリ性・強アルカリ性として，身近な物質を 5 つに水溶液を分類させた。次に，「化学変化とイオン」の内容である陽イオンとの錯形成について実験した。蒸留水，食塩水，塩化カリウム水溶液，コントレックス，温泉水 MgNa を示し，液性の実験では色の変化が起こらないはずの水溶液が何色になるのかを予想した後，アントシアニン水溶液に加えて，陽イオンによる色の変化を観察し，実験の結果を分析し，科学的な概念を使用して考察した。

以上の実験を通して，アントシアニンは pH および陽イオンによって色が変わること，そしてソライロアサガオとアジサイの色の違いは，pH とアルミニウムイオンによること，私たちは植物の花や萼の色の秘密の一端を解き明かしたことを解説した。実践後に行ったアンケート結果(1 名未提出)を以下に示す(表 4)。

表 4. 事後アンケート回答(N=12)

	肯定的評価	否定的評価	両側検定
質問 1	10 名	2 名	p=0.0386
質問 2	10 名	2 名	p=0.0386
質問 3	11 名	1 名	p=0.0063
質問 4	10 名	2 名	p=0.0386

質問項目および，回答は以下の通りである。質問 1「栽培が好きになった」，質問 2「アントシアニンに興味を持った」，質問 3「pH による液性の区別について理解できた」，質問 4「イオンについて理解できた」。回答 1：全く当てはまらない，回答 2：どちらかと言えば当てはまらない，回答 3：どちらかと言えば当てはまる，回答 4：非常に当てはまる。以上の回答について，回答 4 と回答 3 を肯定的評価，回答 2 と回答 1 を否定的評価としてまとめ，直接確率計算(正確二項検定)を行った。

その結果，質問 1~4，すべてにおいて肯定的評価と否定的評価に有意差が認められた。事前アンケートでは，知識のなかったアントシアニンについても，観察実験を通して学習することで興味を持ったことが明らかとなった。また，未習内容であるため回答に差があった，水溶液の液性の区別やイオンについても肯定的評価が増加した。以上の結果より，生命領域と粒子領域とが連携した教材を用いることで，生命領域，粒子領域，それぞれについて生徒の肯定的評価が増加した。また自由記述では，「栽培は今まであまり好きじゃなかったけど，今回紫カイワレ大根の栽培をしてみて楽しくて，栽培が前よりも好きになりました」「アントシアニンについては知りませんでした，自分たちが育てた紫カイワレ大根で実験をしているいろいろなものをわけることができました。簡単にできておもしろかったです」「pH やイオンでわける実験では予想と結果がちがっていたものが多かった」などの回答が得られた。実践により，本教材の目的である「科学的な思考力や表現力の育成」や「基礎的・基本的な知識・技能の習得など」への正の影響が示唆された。

引用文献

Kanda, N., Asano, T., & Itoh., T.: Preparing "Chameleon Ball" from Natural Plants. *J. Chem. Edu.* 72(12), 1131-1132, 1995.

木村憲喜・佐竹昇・暁竜二・四方田大樹・溝川彩・中村文子：身近な pH 指示薬の探索と授業実践，和歌山大学教育学部紀要，第 62 巻，第 2 号，7-16，2011。

国立教育政策研究所：理科の学習指導の改善・充実に向けた調査分析について(報告書) Retrieved from <http://www.nier.go.jp/science-rpt/index.html>

Kondo, T., Yoshida, K., Nakagawa, A., Kawai, T., Tamura, H., Goto, T.: Structural basis of blue-colour development in flower petals from *Commelina communis*. *Nature*, 358, 515-518, 1992.

Kondo, T., Toyama-Kato, Y., Yoshida, K.: Essential structure of co-pigment for blue sepal-color development of hydrangea. *Tetrahedron Letters*, 46, 6645-6649, 2005.

黒河伸二・有尾真寿美・古賀孝：赤キャベツの酸・塩基指示薬としての利用，化学と教育，第36巻，第2巻，190-193，1988。

東京書籍：新しい理科，2011。

東京書籍：新しい科学，2011。

Yoshida, K., Ito, D., Shinkai, Y., Kondo, T.: Change of color and components in sepals of chameleon hydrangea during maturation and senescence. *Phytochemistry* 69:3159-3165, 2008.

Yoshida, K., Kawachi, M., Mori, M., Maeshima, M., Kondo, M., Nishimura M., Kondo, T.: The involvement of tonoplast proton pumps and Na⁺(K⁺)/H⁺ exchangers in the change of petal color during flower opening of morning glory, *Ipomoea tricolor* cv. Heavenly Blue. *Plant Cell Physiol.*, 46, 407-415, 2005.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

大橋淳史，紫カイワレ大根を用いた生命領域と粒子領域が連携した中学校理科教材の開発，科学教育研究誌，査読有，科学教育研究，39巻1号，11-18，2015。

〔学会発表〕(計5件)

大橋淳史，Purple sprout as a new teaching material in chemistry and biology，The Sixth Network of Inter-Asian Chemical Educators，2015年7月30日，日本科学未来館(東京)

吉金みのり，大橋淳史，日本化学会第95回春季年会，紫カイワレ大根を用いた化学教育教材の研究，2015年3月11日，千葉大学(千葉)

段王里菜，大橋淳史，日本化学会第94回春季年会，植物・食品から抽出した色素を使った水溶液の性質の実験，2014年3月12日，名古屋大学(名古屋)

段王里菜，大橋淳史，日本化学会中国四国支部大会，生物と化学の領域横断型教材の研究(紫カイワレ大根の栽培方法の改良と実践について)，2013年11月16日，広島大学(広島)

段王里菜，大橋淳史，日本理科教育学会第63回全国大会，植物の色素を使用した教材研

究と実践報告：紫カイワレ大根を使用した酸・アルカリに関する実験の授業実践，2013年8月10日，北海道大学(北海道)

〔図書〕(計1件)

自由研究，新しい科学，東京書籍，平成27年度

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

大橋淳史(OHASHI Atsushi)

愛媛大学教育学部理科教育講座(化学)准教授

研究者番号：50407136

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：