

群 教 ゼ	G04 - 04
	平15.215集

## 簡単に確認！「好気呼吸」の仕組み

主 題 「好気呼吸」の理解を深めるための  
実験指導の工夫  
- 脱水素酵素実験の工夫とワークシートの活用 -

特別研修員 住谷 裕志 (群馬県立藤岡高等学校)



研究の概要 生物 B「好気呼吸」の学習内容に対する興味・関心・意欲を高め理解を深めるために、脱水素酵素実験とワークシートを工夫し、単元の導入段階で活用した。実験は、従来のメチレンブルーとツンベルク管を用いる代わりに指示薬INTを使用して簡便化を図った。ワークシートは、実験目的の意識化・基礎的知識の確認・興味や関心を高める内容を盛り込み、実験の前後に導入した。

キーワード 【理科 - 高 生物 好気呼吸 脱水素酵素 実験観察 授業研究】

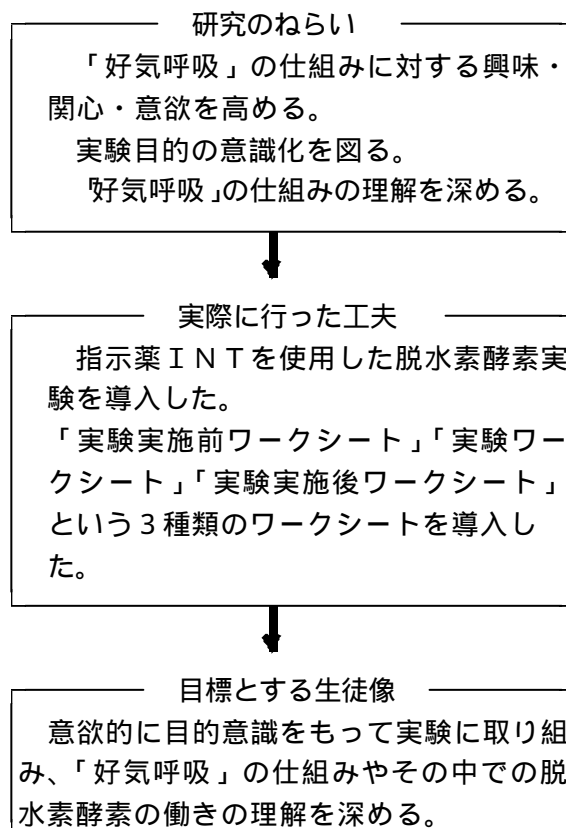
### 生物実験によって生命現象の理解が深まっているのか

生物教育では、実験・観察等を行い、自然の事物・現象についての理解を深めていくことが必要とされる。そのため、教科書・実験書にも様々な実験や観察が掲載されており、実験・観察教材は豊富に存在している。

しかし、本校で実験や観察を行ってみると、「実験や観察をすることは楽しいが、何のためにやっているのかよくわからない。」という声をよく聞く。特に、「好気呼吸」の単元における脱水素酵素の働きを調べる実験のように、理論と実験内容が直接結びつきにくい場合は、ただ実験を行っただけでは、好気呼吸の現象に対する生徒の理解を深めることが難しい。

そこで本研究では、生物 B「好気呼吸」の単元の始めに、指示薬INTを使用した脱水素酵素の働きを調べる実験と、それに用いるワークシートを工夫し導入することで、生徒の「好気呼吸」の仕組みに対する興味・関心・意欲を高め、実験目的の意識化を図り、「好気呼吸」の内容の理解を深めようと考えた。

### 研究の流れ



## 実際に行った工夫

### 1 脱水素酵素実験の工夫

脱水素酵素実験は、INT（アゾ色素の一種、図2）を指示薬に使い、試験管で行えるものを導入した。（詳細は資料編参照）

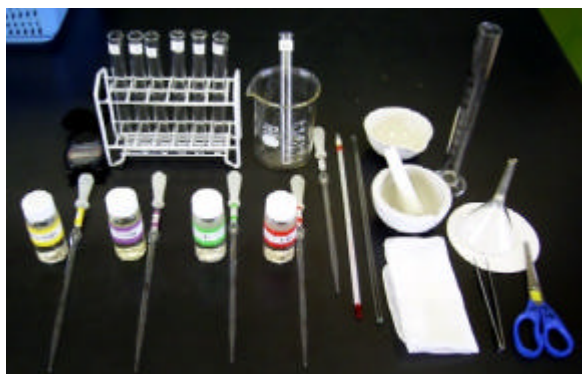


図1 実験器具一式

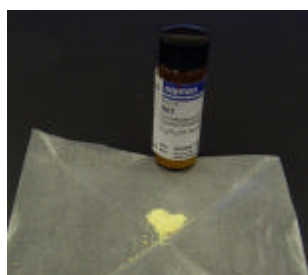
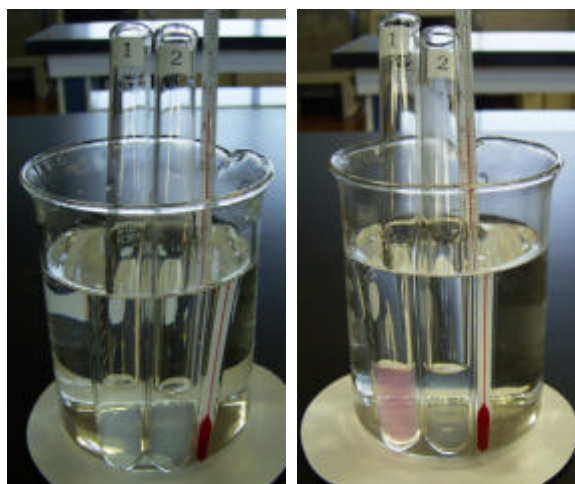


図2 INT

この方法は、従来のメチレンブルーを指示薬に使い、ツンベルク管を用いる実験に比べて次のような利点がある。

実験装置が簡単、操作が単純  
アスピレーター等で酸素を除く必要がない  
反応が速く安定している  
経費があまりかからない  
脱水素酵素の働きにより水素が取り出される反応を「発色」で確認できる  
（従来の実験では、メチレンブルーの青色が「消える」ことで反応を確認していた）



反応開始時

20分後

図3 INTを利用した脱水素酵素実験(一部)

試験管1・・・ 基質、INT + 脱水素酵素

試験管2・・・ コントロール

(基質なし、INT + 脱水素酵素)

- ・試験管1では、時間が経つにつれて、脱水素酵素の働きのため基質(有機物)から水素が取り出され、INTと結合して赤紫色に変わる。
- ・試験管2では、基質がないため、脱水素酵素が存在しても水素は取り出されず、変色しない。

### 2 ワークシートの工夫

～ 実験実施の前・後にもひと工夫を～  
(ワークシート内容の詳細は資料編参照)

#### (1) 実験実施前ワークシート

生徒が「好気呼吸」の定義や基本的な知識を理解するとともに、脱水素酵素の働きと関連づけて考えられるようなワークシートを作成し、実験実施前に導入した。

ワークシートには、以下に示す3点の内容を盛り込み、効果的な活用を図った。

普段の生活と「好気呼吸」の仕組みを関連づけられるような質問

(例) あなたが生きていくために、毎日欠かさずに体内に取り入れる必要のあるものは何でしょうか。

「好気呼吸」反応の理解につなげられる  
 ような中学校での学習内容の復習  
 (例) 水の電気分解反応

脱水素酵素の働きを「好気呼吸」の仕組みと関連づけられるような質問  
 (例) 燃焼と脱水素酵素反応の違い(図4)

V. 次に、有機物からエネルギーが取り出される仕組みを考えてみましょう。有機物と酸素はどのように反応するのでしょうか。

ここで、一般的な「燃焼」(炎を出して燃えること)と、「生物体内で行われている反応」を比較しておきましょう。

①「燃焼」…… 有機物と酸素(O<sub>2</sub>)が、直接的・急激に反応します。  
 → エネルギーが急激・大量に放出されます。 炎(熱や光)が発生します。

有機物(食べ物) + 酸素 O<sub>2</sub> → 二酸化炭素 CO<sub>2</sub> + 水 H<sub>2</sub>O

急激・大量にエネルギーが放出される。  
炎が出る。燃える。

②「生物体内で行われている反応」…… 下図のようになります。□内に通語を入れて下さい。  
 → エネルギーは少しずつ取り出され(放出)されます。取り出されるエネルギーが少しずつのため、生物の体(細胞)は燃えたりせずすむのです。

有機物(食べ物) C, H, O

脱水素酵素 → H

酸素 O<sub>2</sub>

9 □

10 □ (虚線)

11 □

少しずつ取り出される…

図4 実験実施前ワークシート(一部抜粋 :燃焼と脱水素酵素反応の違い)

(2) 実験ワークシート  
 脱水素酵素実験ワークシートには、次の4点の内容を盛り込み、実験の原理が理解できるように工夫した。

具体的で明確な実験目的(資料編 実験ワークシート参照)

実験を通して検証しようとする「好気呼吸」の仕組みをイメージしやすいような、擬人化した実験理論イメージ図(図5)

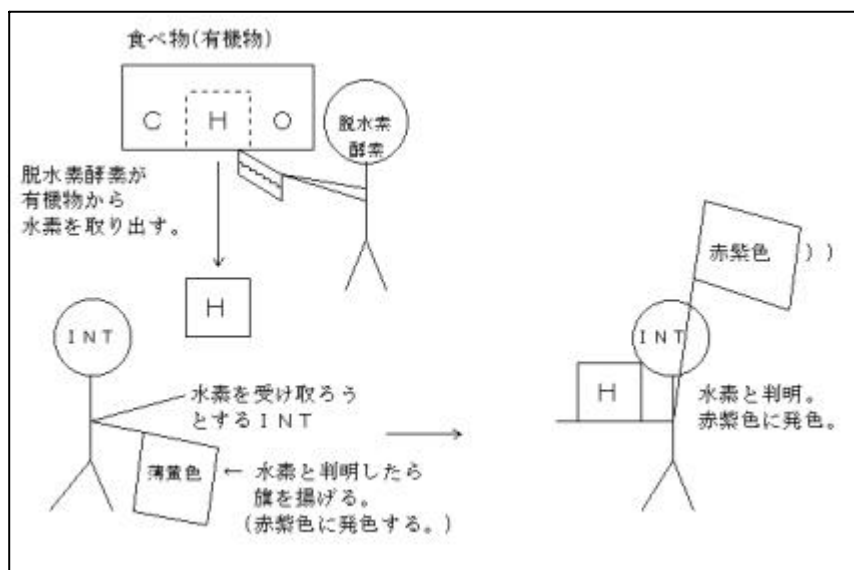


図5 実験理論イメージ図

実験装置・材料・操作等をできるだけ具体的に示した図（資料編 実験ワークシート参照）

有機物に対する脱水素酵素の働きかけを段階的に考察していけるような質問（資料編 実験ワークシート【考察】参照）

(3) 実験実施後ワークシート

実験のまとめと発展的な学習として、次の2点の内容を盛り込んだワークシートを作成し、実験実施後に活用することで、実験内容の理解の定着と深化を図った。

実験結果をふり返ることで「好気呼吸」の仕組みを確認できるような質問

(例) 我々生物は「なぜ食べ、呼吸するのか」を、中学生にも理解できるように説明して下さい。


「好気呼吸」について、さらなる探究心や疑問点を問いかけるような質問




(例) 「好気呼吸」について、もっと追究したいことや疑問に思うことは何ですか。

なお、ワークシート・実験ワークシートの作成については、高教研 生物部会 編『新生物実験書』を参考にした。

**学習指導計画及び実践記録（全4時間）** （指導案は、資料編を参照）

- (1) 単元名 「好気呼吸」
- (2) 期間 平成15年11月上旬～11月中旬
- (3) 対象 群馬県立藤岡高等学校 3年2組(サイエンスクラス)  
(生物 B選択生徒 男子17名)
- (4) 学習指導計画

学習目標	学習活動
<p>&lt; 第1時間目 &gt;</p> <p>「好気呼吸」の定義や基礎的な知識を復習し理解する。</p> <p>好気呼吸では脱水素酵素が働いており、有機物から水素を奪っていることを理解する。</p> <p>好気呼吸の仕組みを脱水素酵素の働きと関連づけて整理し理解する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・好気呼吸に関係する日常的な現象や中学校での学習内容を振り返る。</li> <li>・好気呼吸の定義をまとめる。[ 実験実施前ワークシート ]</li> <li>・脱水素酵素の存在と働きを知る。</li> <li>・好気呼吸での脱水素酵素の働きを理解する。 [ 実験実施前ワークシート ]</li> <li>・好気呼吸における生物体内での有機物の分解過程と脱水素酵素との関係を理解する。 [ 実験実施前ワークシート ]</li> </ul> <div data-bbox="997 1473 1329 1727" style="text-align: right;">  </div> <p style="text-align: right;">ワークシートに取り組んでいる様子</p>

学習目標	学習活動
<p>&lt; 第2時間目 &gt;</p> <p>脱水素酵素の働きを実際に確認するために実験を行うこと(実験の目的)を理解し、実験の概要を把握する。</p> <p>酵素液の抽出法や試薬の中身と働きを理解する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験の目的を理解する。[ 実験ワークシート ]</li> <li>・実験理論イメージ図(図2参照)を見て実験の概要を把握する。[ 実験ワークシート ] (実験班に分かれて実施)</li> <li>・酵素液の抽出操作(演示実験)を見る。試薬の中身を見て、その働きを知る。</li> </ul>  <p style="text-align: center;">酵素液の抽出</p>
<p>&lt; 第3時間目 &gt;</p> <p>目的意識をもち、結果を予想しながら実験準備・操作を行う。</p> <p>実験結果の記入を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験道具・実験材料等を準備する。(班別実験) [ 実験ワークシート ]</li> <li>・実験結果を予想する。</li> <li>・酵素液・試薬を試験管に取り分け、実験を行う。</li> <li>・実験ワークシートに結果を記入する。余裕があれば、考察も行う。[ 実験ワークシート ]</li> </ul>  <p style="text-align: center;">実験操作の様子</p>
<p>&lt; 第4時間目 &gt;</p> <p>実験結果の考察を通して、実験目的が達成されたかを判断する。</p> <p>実験の確認を通して、「好気呼吸」の仕組みに対する理解を深める。</p> <p>授業や実験で得た知識をもとに、好気呼吸を簡潔にまとめる力や、発展的な知識や理論を追究する意識を高める。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験結果をもとに考察を行う。[ 実験ワークシート ]</li> <li>・自分の考察を他の生徒と比較し、実験内容についてさらに深い理解につなげる。</li> <li>・実験目的が達成できたかを考える。</li> <li>・実験のまとめを記入し、好気呼吸の仕組みを確認する。[ 実験実施後ワークシート ]</li> <li>・好気呼吸の仕組みを簡潔にワークシートにまとめる。[ 実験実施後ワークシート ]</li> <li>・好気呼吸の場や詳しい仕組みについて考える。</li> </ul>  <p style="text-align: center;">実験のまとめを行っている様子</p>

## 評価のめやす

	十分満足できる状態 (A)	おおむね満足できる状態 (B)
自然事象への関心意欲態度	<ul style="list-style-type: none"> <li>好気呼吸に関する日常的な現象や中学校での学習内容から、定義や仕組みまでを進んで振り返っている。</li> <li>実験の目的を把握した上で、主体的に実験操作や結果の記録、考察に取り組んでいる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>好気呼吸に関する日常的な現象や中学校での学習内容を振り返っている。</li> <li>実験操作や結果の記録、考察に地道に取り組んでいる。</li> </ul>
科学的な思考	<ul style="list-style-type: none"> <li>脱水素酵素実験の目的を理解し、実験結果を検証するとともに好気呼吸の仕組みと関連づけて考えることができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>脱水素酵素実験の目的を理解し、実験結果をもとに検証ができる。</li> </ul>
観察実験の技能表現	<ul style="list-style-type: none"> <li>メスシリンダー・ピペット等を適切に操作して、安全・的確に実験し、その結果を図・表等にまとめ、自分の言葉で発表することができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>メスシリンダー・ピペット等を適切に操作して、安全・的確に実験することができる。</li> </ul>
自然事象についての知識理解	<ul style="list-style-type: none"> <li>好気呼吸の基礎的な仕組みと脱水素酵素の働きを関連づけて理解するとともに、さらに詳しい仕組みやエネルギー代謝等まで理解を深めている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>好気呼吸の基礎的な仕組みや脱水素酵素の働きについて理解している。</li> </ul>

## 結果と考察

### 1 生徒の興味・関心・意欲を高めることができたか

#### (1) 興味・関心

< 生徒の記述から >

- 化学も物理も生物もあまり得意ではないが、それなりに興味をもって学ぶことができたと思う。
- なかなか楽しめた。楽しい実験だった
- 自分は、生物向きなのかも！？

上記のように、積極性に差はあるが、どの記述も興味・関心が高まった様子がうかがえる。逆に、興味・関心がもてなかった等の記述は全く見られなかった。

また、実験実施後の自己評価では、興味・関心を「もてた」が79%、「もてなかった」が21%であった。本教材を取り入れる以前は、興味・関心を「もっている」が約30%だったことから考えて、生徒の興味・関心を高められたといえる。

#### (2) 意欲

< 生徒の記述から >

- 嫌気呼吸とかもやりたい。
- 細胞内やミトコンドリア内に入ってから有機物や酸素の変化・反応をもっと詳しく知りたいと思う。
- エネルギーとの関係についてもっと調べられればいいと思う。
- ATPとの関係を知りたい。
- 食塩水を用いたのはなぜだろう。

上記のように、具体的な内容を挙げながら学習意欲を示す記述が見られた。

また、好気呼吸の仕組みをさらに追究したいかという質問に対して、生徒全体の71%が「もっと追究したい」と答えていた。「そうは思わない」に回答した生徒の記述にも、疑問として発展につながる内容が含まれていた。全体的には、発展的な内容につながる思考や学習意欲を高める支援ができたと考える。

この他、これまで欠席がちで授業への取り組みも弱かった生徒が、今回の実践を通して自信をもち、率先して実験操作を行うとともに

に「自分は、生物向きなのかも!？」と感想を記すようになった。この生徒の実験後に実施したテストの得点は、実験実施前の2倍近くになった。このような意欲・行動の変化がはっきりと現れた生徒が他にも数名見られた。

## 2 実験目的を理解して実験を行うことができたか

実験中に机間巡視をしながら生徒一人一人に実験目的を質問したが、正確に答えられる生徒が多かった。実験理論イメージ図(図5)を示しながら目的を答える生徒もあり、実験目的を言葉だけでなく、イメージとして理解することまで支援できたと考える。生徒の記述にも、次に示すように、反応の速度を見通したものなどがあり、実験理論のイメージ化ができたことがうかがえる。

< 生徒の記述から >

- ・もっと反応が早いと思ったら、ゆっくりと反応が起こったのでショックだった。

実験実施後の自己評価でも、「理解して行えた」が86%と高い値を示した。

実際に、実験目的を記述させるテストを実験後に行ったところ、76%の生徒が実験目的を正しく捉えているような解答をしていた。

## 3 生徒の「好気呼吸」の仕組みに対する理解を深めることができたか

< 生徒の記述から >

- ・実験は好気呼吸の過程のごく一部を確認するにすぎなかったけど、普段、何気なく活動している自分達の体の中で、常にこのような反応が行われているのを改めて実感し、すごいと思った。
- ・こんなことが体内で起こっていると思うと不思議に思う。
- ・酵素の働きや水素、INTの反応などが分かってなかなか面白かった。酵素自体の量は同じでも、コハク酸ナトリウムの量によって反応の強弱があって、色の違いも面白かった。
- ・自分の体の中でこんなに細かい現象が起こることは、すごいことだ。

- ・まとめのしかたが面白かった。
- ・教科書に書いてあることが本当かどうか自分の目で確認できてよかった。

上記のように、好気呼吸の仕組みや脱水素酵素反応に対して、実感を伴った理解が進んだことがうかがえる感想が多数見られた。生徒の自己評価でも、「理解が深まった」が86%と高い値を示した。また、脱水素酵素の働きと好気呼吸の関係についても「理解できた」が86%と高かった。

実際に、実験実施後ワークシートの「好気呼吸の仕組み」を説明する記述を見ても、79%の生徒が好気呼吸の基礎的な仕組みや脱水素酵素の働きについて評価B(おおむね満足できる状態)まで理解していることがうかがえた。

また、表現力も高まった。次の図6は生徒の一人が「好気呼吸の仕組み」を説明したものであるが、抽象化した図柄と簡潔な説明でありながらポイントをよく現している。今回の実践以前は、このような図を使った表現を行う生徒がほとんどいなかったが、今回は64%の生徒が図を使った表現を行った。

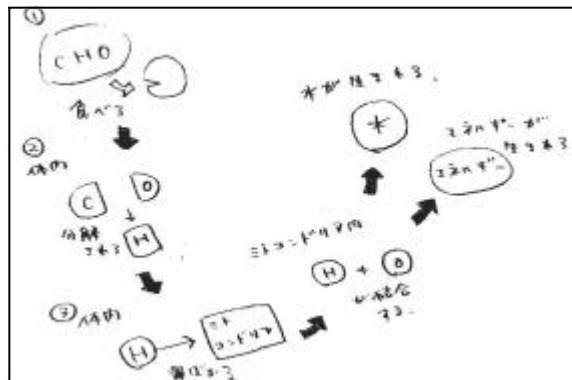


図6 生徒が「好気呼吸の仕組み」を説明した図

以上のことから、好気呼吸の仕組みに対する理解を深めるというねらいがおおむね達成できたといえる。

## おわりに (研究の成果と今後の課題)

今回の実践の結果、本校では約8割の生徒の「好気呼吸」に対する興味・関心を高め、約7割の生徒の学習意欲を高めることに成功

した。加えて、懸案であった「楽しいけれど、わからない。」「実験が理解につながらない。」という点も、約8割の生徒が評価B（おおむね満足できる状態）に到達することができた。

実験も以前より活気が出てきた上、おとなしかった生徒が教師側からの問いかけに、自信をもって答える機会が増えた。

このような変化を目にすると、実験内容の工夫やワークシートの作成は、ある程度時間や手間がかかるが、取り組んでみる価値は十分にあると感じた。同時に、今後そのような努力を引き続きしていかななくてはならないということも痛感した。

今回作成した実験教材やワークシートは、好気呼吸の基礎的な内容に的を絞っている。このため、クエン酸回路全体やATPの合成

等の内容は省略し、これらを発展的な学習内容とした。したがって、この教材を他校にて活用する場合、発展的な内容についての調整を各校の実態に合わせて行う必要がある。そしてこのことは、実験実施前ワークシートの内容を変更することで対応できると考えている。

今後は、この発展的な学習内容を取り入れた実験実施前ワークシートも作成していきたい。

#### < 参考文献 >

群馬県高等学校教育研究会 生物部会 編  
『新生物実験書』 (1995)