

理科（生物）学習指導案

学 校 名 広島県立呉宮原高等学校
職 ・ 氏 名 教 諭 大野 佑二郎

1 日時・場所 令和元年 11 月 18 日（月） 3・4 限目 生物教室
2 対 象 第 2 学年 5 組 生物選択者 16 名
3 単 元 名 呼吸と発酵

4 単元について

（1）教材観

本単元は、高等学校学習指導要領の「第7節 生物 （1）生命現象と物質 イ 代謝 （ア）呼吸」に位置付いている。ここでは、関連する資料や実験結果に基づいて、呼吸や発酵の仕組みをエネルギーの流れと関連付けて理解させることがねらいである。また、呼吸における各過程（解糖系・クエン酸回路・電子伝達系）の反応を扱い、発酵についてはアルコール発酵と乳酸発酵を取り上げ、筋肉における解糖にも触れる必要がある。

呼吸における各過程は、目に見えない複雑な反応が連続的に起きており、反応を実感させながら理解させることが難しい。しかし、各過程についての実験は小規模な設備で行えるものもあり、その内容によっては生徒自身が実験を計画する題材として扱える。ここでは、生徒自身に実験計画・実践を行わせることで、目に見えない複雑な反応への理解を深めるとともに、科学的に探究する力のうち特に「仮説を基に実験計画を立てる力」「実験結果からの確に判断する力」を身に付けることも期待できる。

（2）生徒観

「生物基礎」では、「（1）ア（イ）細胞とエネルギー」で、呼吸の概要について学習している。しかし、過半数の生徒が、「呼吸とは何か？」との問いに対して「酸素を吸って二酸化炭素を吐くこと」と答えたり、「ATP がなぜエネルギーの通貨と称されるか？」との問いに答えられなかったりと、生物基礎で学んだ内容に関する知識・理解が不十分であると言える。

授業態度は、授業者の話を聞いたり考えたりはするが、話し合ったり発表したりする活動が活発になりにくい。そのため、2年次から探究の過程を通して学習する機会を増やしている。酵素を学習する場面では、変数の操作方法と、データを収集する力を身に付けることを目的とした活動を行った。しかし、仮説検証のために実験計画を立てた経験はなく、「見通しをもち、検証できる仮説を設定し、それを確かめるための観察・実験の計画を評価・選択・決定する力」や「仮説の妥当性を検討したり、考察したりする力」はほぼ身に付いていない。

（3）指導観

生物基礎で学んだ内容に関する知識・理解が不十分なので、生物基礎で取り扱う内容の振り返りを交えながら授業を進めていく。

主体的で対話的な学習場面を提供するため、パフォーマンス課題や話し合う場면을積極的に設定する。パフォーマンス課題は探究の過程を一通り体験できるようにし、生徒が探究し、実践することで自分なりに結論を出せるものにする。また、パフォーマンス課題に取り組むことで、該当範囲の知識・理解が深まるだけでなく、探究の過程を体験しながら科学的に探究する力も高まるものにする。

本時の授業では、パフォーマンス課題として「二つの白い粉“フマル酸”と“リンゴ酸”を見分けよ！」を設定した。クエン酸回路においてフマル酸がリンゴ酸に変化する経路に脱水素酵素は働かない。フマル酸とリンゴ酸を基質として、それぞれに酸化型メチレンブルー（青色）滴下条件下で脱水素酵素を働かせると、リンゴ酸を基質としたものがフマル酸を基質としたものよりも速く還元型メチレンブルー（無色）になるはずである。生徒は既習事項を復習しながら実験計画を立て、その計画にしたがって実験をすることで自らの仮説を検証していく。

この活動を通して、生徒はフマル酸とリンゴ酸に注目するので、クエン酸回路が有機物から脱水素反応を繰り返す反応系であると強く認識し、呼吸の本質に迫りつつ、実感を伴った理解につなげることができる。また、科学的に探究する力として、特に「見通しをもち、検証できる仮説を設定し、それを確かめるための観察・実験の計画を評価・選択・決定する力」や「仮説の妥当性を検討したり、考察したりする力」の育成を指導の重点とする。なお、これらの力に関する評価規準は国際バカロレアの評価規準を用い、生徒にも周知し、指導と評価の一体化を図る。国際バカロレアは生徒が身に付けるべき資質・能力を指定している。その点で学習指導

要領と多くの共通点をもつが、資質・能力の内容がより具体的に示されている。国際バカロレアの評価規準をベースに資質・能力の具体化を進めれば、より段階的に評価して指導に生かすことができ、科学的に探究する力の向上がより確実になると考え指導に取り入れることにした。本単元における国際バカロレアの評価規準は、「7 指導と評価の計画」中に示した。

5 単元の目標

呼吸や発酵に関連する資料や実験結果に基づいて、呼吸や発酵の仕組みをエネルギーの流れと関連付けて理解する。また、科学的に探究する力のうち、「見通しをもち、検証できる仮説を設定し、それを確かめるための観察・実験の計画を評価・選択・決定する力」や「仮説の妥当性を検討したり、考察したりする力」を身に付ける。

6 単元の評価規準

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
代謝（呼吸・発酵）に関心をもち、意欲的に探究する態度を身に付けている。	代謝（呼吸・発酵）に関する実験において、仮説を基に実験計画を立て、実験結果から的確に思考、判断している。	代謝（呼吸・発酵）に関する実験において、正しい技能を身に付けている。	代謝（呼吸・発酵）の仕組みをエネルギーの流れと関連付けて理解している。

7 指導と評価の計画（全9時間）

時	内容	評価				
		関	思	技	知	評価規準（評価方法）
1	代謝とエネルギー ・脱水素酵素 ・補酵素 ・酸化還元反応		○		◎	◎代謝に関わる ATP などの基礎的な内容に加え、「脱水素酵素」「補酵素」「酸化還元反応」について理解し、知識を身に付けている。（ワークシート） ○ATP がエネルギーの受け渡しにくり返し働いていることを ATP の性質から読み取り、自身の体内で起きている現象を論理的に説明することができる。（ワークシート）
2	呼吸 （解糖系・クエン酸回路）				◎	◎呼吸の解糖系、クエン酸回路について理解し、知識を身に付けている。（ワークシート）
3	呼吸 （電子伝達系・まとめ）				◎	◎呼吸の電子伝達系について理解し、知識を身に付けている。（ワークシート）
4	発酵と解糖 呼吸基質		○		◎	◎発酵と呼吸基質について理解し、知識を身に付けている。（ワークシート） ○気体発生の実験データを呼吸商の式にあてはめ、その結果をもとに呼吸基質を推定することができる。（ワークシート）
5	脱水素酵素 （ツンベルグ管使用）			◎	○	◎アスピレーター、ツンベルグ管の操作を的確に行っている。（行動観察） ○アスピレーター、ツンベルグ管の原理を理解し、知識を身に付けている。（ワークシート）

6	脱水素酵素 パフォーマンス課題 A 「アスピレーターと ツンベルグ管を使用 せずに脱水素酵素の 実験を計画し、実行 せよ！」（ポリ袋使 用）	○	◎		◎アスピレーターとツンベルグ管の働きを理解 した上で、前時の実験と同様の条件を別の器具 で再現するように実験計画を立てることができる。 （ワークシート） [国際バカロレア評価規準] ・科学的調査を計画することができる。 ○実験計画、実験実践に興味・関心をもち、積 極的に活動できる。（行動観察）
7	探究 パフォーマンス課題 B① 「二つの白い粉“フ マル酸”と“リンゴ 酸”を見分けよ！」 の実験計画	○	◎		◎脱水素反応開始時間に差が生じるという仮説 を設定し、“フマル酸”と“リンゴ酸”を見分 けるための実験計画を決めることができる。 （ワークシート） [国際バカロレア評価規準] ・科学的合理性に基づいて検証可能な仮説の概 要を述べるすることができる。 ・科学的調査を計画することができる
8	探究 パフォーマンス課題 B② 「二つの白い粉“フ マル酸”と“リンゴ 酸”を見分けよ！」 の実験計画～実験 本時1時間目				○実験計画、実験実践に興味・関心をもち、積 極的に活動できる。（行動観察）
9	探究 パフォーマンス課題 B③ 「二つの白い粉“フ マル酸”と“リンゴ 酸”を見分けよ！」 の実験～考察 本時2時間目				◎クエン酸回路のしくみと実験の結果から得た 情報から考察、判断し、“フマル酸”と“リン ゴ酸”を見分けることができる。（発表・ワー クシート） [国際バカロレア評価規準] ・科学的調査の結果に基づいて仮説の妥当性を 論ずることができる。

※7～9時は班ごとの活動のため進度に差を生じるが、8時終了までには全班が計画した実験を開始できるようにする。なお、机間指導中に各班の状況に応じた助言を与える

8 本時の展開

（1）本時の目標

パフォーマンス課題B「二つの白い粉“フマル酸”と“リンゴ酸”を見分けよ！」に取り組ませることで、「見通しをもち、検証できる仮説を設定し、それを確かめるための観察・実験の計画を評価・選択・決定する」ことや、「仮説の妥当性を検討したり、考察したりする」ことができるようにする。

（2）観点別評価規準

[1時間目]

- ・脱水素反応開始時間に差が生じるという仮説を設定し、“フマル酸”と“リンゴ酸”を見分けるための実験計画を決めることができる。[思考・判断・表現]
- ・実験計画、実験実践に興味・関心をもち、積極的に活動できる。[関心・意欲・態度]

[2時間目]

- ・クエン酸回路のしくみと実験の結果から得た情報から考察し、“フマル酸”と“リンゴ酸”を見分けることができる。[思考・判断・表現]
- ・実験計画、実験実践に興味・関心をもち、積極的に活動できる。[関心・意欲・態度]

○ [関心・意欲・態度]の評価の基準

	A	B	C
実験計画, 実験実践に興味・関心をもち, 積極的に活動できる。	実験計画のアイデアを率先して提案し, 改善しながら何度も実験を行っている。	実験計画の話し合いに積極的に参加し, 何度も実験を行っている。	自分の意思を示さず, 他生徒に合わせて実験を行っている。

不十分な評価 (C) となる生徒に対しては, 机間指導中に助言し積極的な参加を促す。

○ [思考・表現] 国際バカロレアの評価基準に基づき評価を行う。
(評価の基準は他校の教員の協力を得て作成したため, 本稿では省略する。)

(3) 準備物

フマル酸ナトリウムとリンゴ酸ナトリウム (pH 等の条件を整えるためにナトリウム塩を用いる), メチレンブルー, 酵素液 (ドライイースト懸濁液), アスピレーター, ツンベルク管, チャック付きポリ袋, 温度計, 乳鉢, ロート, ロート立て, ろ紙, その他生徒が実験をする上で必要と考える器具等 (事前に申し出させる)

(4) 本時の授業の工夫点

- ・探究の過程を一通り体験できるパフォーマンス課題を設定した。生徒が探究し, 実践することで自分なりの結論を出せるものにした。
- ・パフォーマンス課題に取り組むことで, 該当範囲の知識・理解が深まるだけでなく, 科学的に探究する力の高まりも期待できるものにした。
- ・国際バカロレアの評価基準を使用して身に付けるべき資質・能力を明確にし, 段階的に評価できるようにした。
- ・評価基準を生徒に周知し, 指導と評価の一体化を図った。

(5) 学習の展開

[1 時間目]

時間	生徒の学習活動 ○発問, □説明・指示 ●生徒から引き出したい事項・活動	指導上の留意点 指導のポイント	評価基準 (評価方法)
50分	パフォーマンス課題 ○「二つの白い粉“フマル酸”と“リンゴ酸”を見分けよ！」		
	・パフォーマンス課題に対する仮説を検証するための実験計画を立て, さらにその計画の改善を行う。 □パフォーマンス課題について実験計画を立て, 予備実験をすることで実験計画の改善をしよう。(本単元で学んだ知識を活用して計画立案すること) ●クエン酸回路の“フマル酸”と“リンゴ酸”の間に脱水素酵素が働いていないことに気づく。 ●仮説設定「“フマル酸”と“リンゴ酸”を基質とした場合, “リンゴ酸”のほうが“フマル酸”よりも脱水素酵素が働くまでの時間が短い。」 ●“フマル酸”と“リンゴ酸”を用いて脱水素酵素の実験を行い, メチレンブルーの色が変化する時間を測定する実験計画を立てる。	・白い粉である“フマル酸ナトリウム”, “リンゴ酸ナトリウム”は予め水溶液として用意しておく。 ・各班に配るフマル酸ナトリウムとリンゴ酸ナトリウムの水溶液入りのビーカーのラベル表示を全て変えることで, 他の班の結果を参考にできないようにする。 ・ツンベルク管かポリ袋のどちらを使用してもよいようにしておく。 ・解決法を考えられない生徒に対して, クエン酸回路のしくみに注目させ, 脱水素酵素の関わりの有無を確認させる。	・実験計画, 実験実践に興味・関心をもち, 積極的に活動できる。(行動観察) ・脱水素反応開始時間に差が生じるといふ仮説を設定し, “フマル酸”と“リンゴ酸”を見分けるための実験計画を決めることができる。(ワークシート)

[2 時間目]

時間	生徒の学習活動 ○発問, □説明・指示 ●生徒から引き出したい事項・活動	指導上の留意点 指導のポイント	評価規準 (評価方法)
33分	パフォーマンス課題 ○「二つの白い粉“フマル酸”と“リンゴ酸”を見分けよ！」 ・計画に基づいて実験を行う。 □実験を行い, 実験結果から仮説の妥当性を述べられるようにしよう。 ●“フマル酸”と“リンゴ酸”を用いて脱水素酵素の実験を行い, メチレンブルーの色が変化する時間を測定する実験を行う。		・実験計画, 実験実践に興味・関心をもち, 積極的に活動できる。(行動観察)
12分	・どちらが“フマル酸”でどちらが“リンゴ酸”なのかを根拠とともに発表する。 □各班, どのような仮説をたて, どのような結果が得られ, どのような結論になったかを発表してください。 ●実験結果から, 脱水素酵素が働き始める時間に差があることを明らかにし, “フマル酸”と“リンゴ酸”を基質とした場合, “リンゴ酸”のほうが“フマル酸”よりも脱水素酵素が働くまでの時間が短いという仮説の妥当性を論じる。		・クエン酸回路のしくみと実験の結果から得た情報から考察, 判断し, “フマル酸”と“リンゴ酸”を見分けることができる。(発表・ワークシート)
5分	・まとめを行う。 □正解は“フマル酸”がこっち(一方)で“リンゴ酸”がこっち(他方)でした。 ☆目指す生徒の姿(イメージ) クエン酸回路の“フマル酸”と“リンゴ酸”の間に脱水素酵素が働いていないことに気づき, “フマル酸”と“リンゴ酸”を基質とした場合, “リンゴ酸”のほうが“フマル酸”よりも脱水素酵素が働くまでの時間が短いという仮説を設定し, 実験計画を立案する。 そして, 2種類の物質を基質とした脱水素酵素の実験により, 脱水素酵素が働き始める時間に差があることを明らかにし, 仮説が妥当であったことを述べる。その上で2種類の物質(白い粉)を同定する。	・自らの判断と正解が違った場合, その原因が何なのかを考えさせる。	