

学習内容の関連を踏まえた思考力・判断力・表現力の育成
～第2学年生物「呼吸基質と呼吸商」の実践を通して～

加 治 木 高 等 学 校

教 諭 上之園 広志

1 単元の概要

(1) 単元名「第1編 生命現象と物質 第2章 代謝 第4節 異化」

(2) 単元について

本単元「代謝」では、「生物基礎」で概要を学習した呼吸・光合成について、その詳細な仕組みを理解させる。呼吸については、各過程の反応を学習し、有機物が分解されエネルギーの通貨といわれるアデノシン三リン酸（ATP）が合成されること、光合成については、各過程の反応を学習し、光エネルギーが化学エネルギーに変換されることを理解させる。呼吸の材料となる呼吸基質として用いられる物質には、炭水化物・タンパク質・脂肪があるが、教科書にあるような実験装置を使って呼吸商を求めることで、どの呼吸基質を使って生命活動のエネルギーを得ているかを推定できるようにする。

呼吸における学習内容である「呼吸基質と呼吸商」と学習関連が深い既習単元として、「細胞膜を介した物質の移動」が挙げられる。内容の系統性の面では、両単元とも生命現象と物質を基にした考察が必要であり、細胞レベルでの水、酸素、二酸化炭素などの物質の移動に伴う生命現象について関連がある。また、科学的な思考力・表現力の段階性の面では、両単元とも細胞の浸透圧や気体の吸収・放出について、それぞれの向きや大きさを、矢印を用いて図示させることで、イメージをつかませ、思考・表現する能力を高める指導が行われる点で関連がある。

(3) 生徒の実態

本校は、普通科で1学年8学級、全体で24学級がある。本授業は、第2学年の理系の選抜クラスと普通クラスの生物選択者の混合クラスで実施した。両クラスとも進路意識は高いが、普通クラスの方は進路目標に対しての努力が不十分であるのが実態である。

最近の傾向として、計算問題に苦手意識をもっている生徒が多く、なかなか筋道立てて考えることができない。このことは、本時で授業を行うクラスの生徒にも当てはまるため、実験装置内で起こっている現象を図式化してイメージをつかませ、思考や計算問題の補助にしていきたい。

異化の代表的な反応である呼吸は、生物が生きていくために必要な生命現象であり、生徒は身近な問題として興味・関心が高い。吸収した酸素に対する放出した二酸化炭素の割合は呼吸商（RQ）として定義され、教科書にある発芽種子が行う呼吸実験装置で測定ができる。後述する装置を用いることで、吸収した酸素の体積と放出した二酸化炭素の体積を求めることができ、まず、その装置の仕組みと気体の出入りを考察させたい。また、与えられた問題の数値を単に利用するのではなく、数値や気体の移動の方向を図に矢印で書き込ませ、思考の補助として用いた。

このように、実験装置内で起こっている現象を可視化し理解させることで、呼吸商（RQ）を正しく計算し、その結果を基に、それぞれの発芽種子の呼吸基質が何であるかを推定できるように指導した。図式化により、思考を深める指導は、既習内容である「細胞膜を介した物質の移動」で試みていることから、学習内容の関連を踏まえ、科学的な思考・表現についての「判断基準」を設定し、それを基に補充指導や深化指導を行った。

2 学習内容の関連を踏まえた「判断基準」の設定

(1) 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
生命現象と物質に関する事象に関心や探究心をもち、意欲的にそれらを探究するとともに、科学的態度を身に付けている。	生命現象と物質に関する事象の中に問題を見だし、観察、実験などを行うとともに、実証的、論理的に考えたり、分析的・総合的に考察したりして、事実に基づいて科学的に判断し表現している。	生命と物質に関する事象を科学的に探究する方法を身に付け、観察、実験の過程や結果及びそこから導き出した自らの考えを的確に記録、整理することができる。	観察、実験などを通して、生命現象と物質に関する事象についての基本的な概念や原理・法則を理解し、知識を身に付けている。

(2) 指導計画（全 10 時間）

単元	学習事項	時間	目標
第1編 生命現象と物質 第2章 代謝	代謝とエネルギー代謝	1	- 生物は、代謝によって生命活動に必要なエネルギーや物質を得ていることについて興味・関心をもつ。【関心・意欲・態度】 - 代謝には同化と異化があり、同化はエネルギーを吸収する反応で異化はエネルギーを放出する反応であることを理解する。【知識・理解】 - 代謝に伴うエネルギーの出入りを、エネルギー代謝といい、ATPを仲立ちとして行われていることを考える。【思考・判断・表現】
	同化	3	- 葉緑体のチラコイド膜には光合成色素が存在し、光エネルギーを吸収していることを理解する。【知識・理解】 - 種子植物の緑葉に含まれる光合成色素を分離する実験を行い、その結果と資料から、分離した色素の種類を判断することができる。【観察・実験の技能】 - 光合成の過程は、チラコイドで起こる光化学系Ⅰ及び光化学系Ⅱ、ストロマで起こるカルビン・ベンソン回路があり、これらの仕組みについて意欲的に考察しようとする。【関心・意欲・態度】 - 独立栄養を営む細菌類である、光合成細菌や化学合成細菌の炭酸同化の過程を理解する。【知識・理解】
	窒素同化	2	- 大気中の窒素を無機窒素化合物に変える窒素固定、それを行う窒素固定細菌について理解する。【知識・理解】 - 無機窒素化合物が、窒素同化の作用によって有機窒素化合物に変わっていく流れを意欲的に考察しようとする。【関心・意欲・態度】 - 窒素化合物から窒素を遊離する脱窒素細菌の脱窒という反応があることを理解する。【知識・理解】

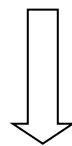
	異化	4 本時 4/4	・ 有機物を分解してエネルギーを取り出し、生命活動に利用する働きを異化といい、酸素を用いない発酵と酸素を用いる呼吸があることについて興味・関心をもつ。 【関心・意欲・態度】 ・ 発酵にはアルコール発酵と乳酸発酵、動物の組織で起こる解糖があり、その仕組みを理解する。 【知識・理解】 ・ 呼吸は解糖系とクエン酸回路、水素伝達系の三つの過程からなり、それぞれの過程の仕組みを理解する。 【知識・理解】 ・ 呼吸基質には炭水化物・タンパク質・脂肪があり、それらの分解経路を意欲的に考察しようとする。 【関心・意欲・態度】 ・ 実験で、測定した呼吸による気体の出入りを、矢印の向きと長さとして表現することができる。矢印を書き加えることで表現した図から、吸収した酸素の体積と放出した二酸化炭素の体積を求めることができる。 【思考・判断・表現】 ・ 酸素の体積と二酸化炭素の体積の比から、呼吸商を求めることで、生物が呼吸基質として利用している物質を推定することができる。 【思考・判断・表現】
--	----	----------------	---

(3) 「判断基準」の設定

本時では、発芽種子を用いて呼吸商とその値を基にした呼吸基質の推定をするが、実験で得られた値が何の体積の増減を表しているかを考察することがポイントとなってくる。よって、それぞれの値を図式化することで思考しやすくすることを考慮して「判断基準」を設定し、それに基づく補充指導、深化指導を行う。

既習単元「第1編 生命現象と物質 第1章 細胞と分子 第2節 細胞膜を介した物質の移動」

○ 細胞の浸透圧・外液の浸透圧の大きさ → 矢印による圧力の向きと大きさのイメージ

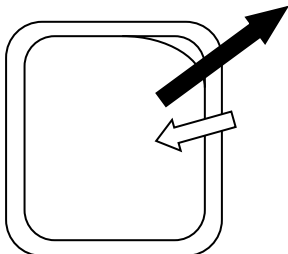
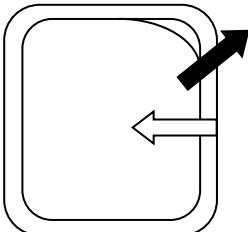
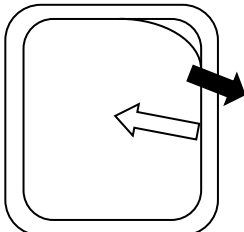
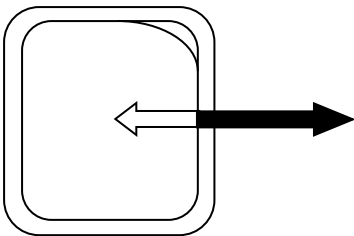
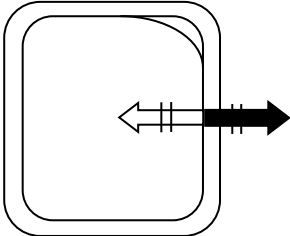
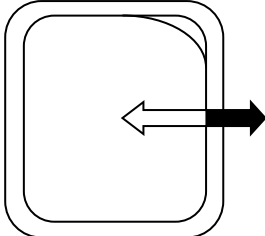


本時「第1編 生命現象と物質 第2章 代謝 第4節 異化 問題 呼吸基質と呼吸商」

① 実験装置内での気体の出入り → 図に矢印を記入、気体の増減の図式化

② 呼吸商の計算と呼吸基質の推定 → 実験結果の数値の活用、呼吸商と呼吸基質の関係

ア 既習単元「第1編 生命現象と物質 第1章 細胞と分子 第2節 細胞膜を介した物質の移動」の学習で設定した「判断基準」

評価規準（思考・判断・表現）	
細胞の浸透圧・外液の浸透圧について、その向きと大きさを模式図中に図示している。	
思考・判断に基づく表現内容（評価の対象）	
表現方法（模式図中への圧力のかき込み）	
判断の要素	
矢印の向き、矢印の長さ	
判断基準 B	
細胞の浸透圧・外液の浸透圧の向きと大小を、それぞれの矢印の向きと長さの違いで表現することができる。	
【予想される生徒の表現例】 ←…細胞の浸透圧 ←…外液の浸透圧 高張液  等張液  低張液 	
C 状況生徒への指導（補充指導）	
浸透圧の違いは、矢印の向きや長さの違いで表現できることを確認させる。	
判断基準 A	
（判断基準 B に加えて） 細胞の浸透圧・外液の浸透圧を示す矢印が平行になっている。	
【予想される生徒の表現例】 ←…細胞の浸透圧 ←…外液の浸透圧 高張液  等張液  低張液 	
B 状況生徒への指導（深化指導）	
細胞の浸透圧・外液の浸透圧を示す矢印が平行になっている。細胞の浸透圧と外液の浸透圧を平行にして、矢印の長さの違いで差を分かりやすくして比較させる。	

イ 本時「考察問題 呼吸基質と呼吸商」の「判断基準」

① 実験装置内での気体の出入り

評価規準（思考・判断・表現）	
炭水化物が呼吸基質として最も多く用いられるが、脂肪やタンパク質も呼吸基質として用いられる。教科書に示されている実験装置を使った実験値から、フラスコ内で O_2 と CO_2 がどのように移動しているのかを考え、表現している。	
思考・判断に基づく表現内容（評価の対象）	
表現方法（発言、模式図中への気体の移動のかき込み、計算）	
判断の要素	
矢印の向き、矢印の長さ	
判断基準 B	
種子に着目し、呼吸による O_2 の移動と CO_2 の移動を矢印の向きと長さで正しく表現できる。実験装置 A では、 CO_2 の移動を示す矢印が CO_2 吸収剤である KOH 溶液の方向へ向いている。	
【予想される生徒の表現例】 ←····· O_2 の移動 ←····· 着色液の移動 (O_2) ←····· CO_2 の移動 ←····· 着色液の移動 (CO_2) 着色液の移動 着色液 KOH溶液 (CO_2 を吸収) 発芽種子 A 温度計 B 活柱（実験中は閉じる） 恒温槽（温度を一定） 水	
C 状況生徒への指導（補充指導）	
吸収した O_2 の移動を示す矢印と放出した CO_2 の移動を示す矢印の向きが平行でないことを確認させる。副室に KOH 溶液を用いた実験装置 A では、副室へ向かう矢印をかき込ませる。	
判断基準 A	
（判断基準 B に加えて） 着色液についても着目しており、着色液の移動はフラスコ内の気体の体積変化に伴うことを推論し、実験装置 A では吸収された O_2 の体積、実験装置 B では $O_2 - CO_2$ の体積に相当することを、矢印を用いて表現できる。	
【予想される生徒の表現例】 ←····· O_2 の移動 ←····· 着色液の移動 (O_2) ←····· CO_2 の移動 ←····· 着色液の移動 (CO_2) 着色液の移動 着色液 KOH溶液 (CO_2 を吸収) 発芽種子 A 温度計 B 活柱（実験中は閉じる） 恒温槽（温度を一定） 水	
B 状況生徒への指導（深化指導）	
実験装置 A では、放出した CO_2 がすべて KOH 溶液に吸収されることを確認する。さらに、実験装置 A, B それぞれの着色液に着目させ、その移動方向や移動量のもつ意味を考えさせる。	

② 呼吸商の計算と呼吸基質の推定

評価規準（思考・判断・表現）											
実験値から、吸収した O_2 の体積と放出した CO_2 の体積の比（ CO_2/O_2 ）である呼吸商を求め、利用している呼吸基質を推定している。											
思考・判断に基づく表現内容（評価の対象）											
表現方法（発言，計算式）											
判断の要素											
呼吸商の求め方 CO_2/O_2 ，実験値の利用											
判断基準 B											
実験装置 A と B の値が何を示しているかを表現することができるとともに、その値を利用して CO_2 の体積を計算し、呼吸商を求めることができる。											
【予想される生徒の表現例】 <実験値> 各フラスコ内における気体の減少量が、次の表のようになった場合 <table border="1"> <thead> <tr> <th>フラスコ</th><th>コムギ</th><th>トウゴマ</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A（KOH 溶液を入れる）</td><td>982mm³</td><td>1124mm³</td></tr> <tr> <td>B（KOH 溶液を入れない）</td><td>20mm³</td><td>326mm³</td></tr> </tbody> </table> <表現例> A（KOH 溶液を入れる）…O_2 の体積 （実験値：コムギ：982mm³，トウゴマ：1124mm³） B（KOH 溶液を入れない）…$O_2 - CO_2$ の体積 （実験値：コムギ：20mm³，トウゴマ：326mm³） コムギ：CO_2 の体積 = A - B（計算式：982 - 20 = 962 計算値：962mm³） トウゴマ：CO_2 の体積 = A - B（計算式：1124 - 326 = 798 計算値：798mm³） コムギ：呼吸商（CO_2/O_2）…（計算式：962 ÷ 982 = 0.98 計算値：1.0） トウゴマ：呼吸商（CO_2/O_2）…（計算式：798 ÷ 1124 = 0.71 計算値：0.7）			フラスコ	コムギ	トウゴマ	A（KOH 溶液を入れる）	982mm ³	1124mm ³	B（KOH 溶液を入れない）	20mm ³	326mm ³
フラスコ	コムギ	トウゴマ									
A（KOH 溶液を入れる）	982mm ³	1124mm ³									
B（KOH 溶液を入れない）	20mm ³	326mm ³									
C 状況生徒への指導（補充指導）											
副室に KOH 溶液を入れた A の実験値が、 O_2 の体積のみを示していることを確認させる。 副室に水を入れた B の実験値が $O_2 - CO_2$ の体積を示していることを確認させる。											
判断基準 A											
（判断基準 B に加えて） 計算で求めた呼吸商の値から、発芽種子の呼吸基質を推定することができる。											
【予想される生徒の表現例】 コムギの呼吸商は 1.0，トウゴマは 0.7 であることから、コムギは主に炭水化物を、トウゴマは主に脂肪を呼吸の材料、すなわち呼吸基質として利用している。											
B 状況生徒への指導（深化指導）											
呼吸商の値と呼吸基質との関係を想起させる。											

3 検証授業の実際

(1) 本時の目標

実験装置内の気体の様子を、矢印の向きと長さで表現することができる。それを基に、吸収した酸素の体積と放出した二酸化炭素の体積を求めることができる。【思考・判断・表現】

酸素の体積と二酸化炭素の体積の比から呼吸商を求め、生物が呼吸基質として利用している物質を推定することができる。【思考・判断・表現】

(2) 本時の実際（45分の短縮で実施）

過程	時間	学習活動	指導上の留意点
導入	10分	○ 呼吸基質について復習する。 ○ 呼吸商（RQ）について 呼吸商（RQ）：吸収した酸素の体積と放出した二酸化炭素の体積の比 (CO_2/O_2) 炭水化物：1.0，タンパク質：0.8，脂肪：0.7 炭水化物 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$ $\text{RQ} = 6/6 = 1.0$ 脂 肪（トリステアリン） $2\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6 + 163\text{O}_2 \rightarrow 114\text{CO}_2 + 110\text{H}_2\text{O}$ $\text{RQ} = 114/163 \approx 0.7$ アミノ酸（ロイシン） $2\text{C}_6\text{H}_{13}\text{O}_2\text{N} + 15\text{O}_2 \rightarrow 12\text{CO}_2 + 10\text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_3$ $\text{RQ} = 12/15 = 0.8$	○ 呼吸基質には炭水化物、タンパク質、脂肪があり、家庭科等で習う三大栄養素と同じであることを確認させる。 ○ 呼吸基質として、何を使っているかは、CO_2/O_2を求めることで推定できることを確認させる。 ○ 実際の化学反応式を用いて、呼吸商がいくらになるかを計算して確認する。
展開①	10分	○ 教科書に示されている実験装置を使った測定値から、フラスコ内で酸素と二酸化炭素がどのように移動しているのかを考察し、プリントの図中に矢印で記入させる。記入後、近くの生徒と比較させる。 ○ KOH 溶液は CO_2 吸収剤であることを確認する。 ○ 模範例を確認する。	○ 気体の出入りを矢印で表現させる。 【思考・判断・表現】 ○ 実験装置 A では、放出した CO_2 が全て KOH 溶液に吸収されることを理解させる。 ○ 模範例をプリントの図中に記入させ、気体の移動を理解させる。



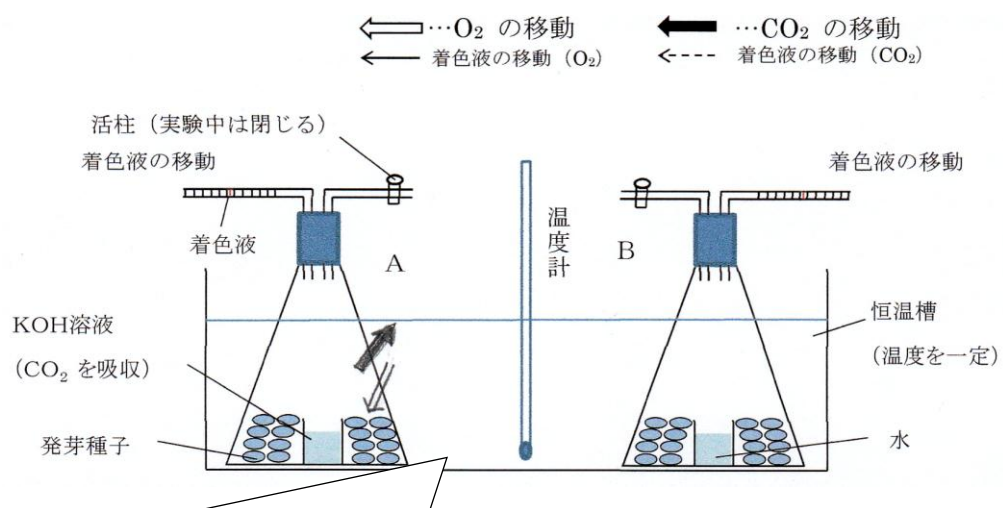
展開②	20分	○ 展開①で利用した実験値を用いて、吸収した O_2 の体積と放出した CO_2 の体積を求める。 ○ コムギの発芽種子を用いた場合とトウモロコシの発芽種子を用いた場合の呼吸商を求めさせる。	○ 副室に KOH 溶液を入れた A の実験値が O_2 の体積のみを示していることを思考させる。 ○ 副室に水を入れた B の実験値が $O_2 - CO_2$ の体積を示していることを思考し、表現させる。 【思考・判断・表現】
まとめ	5分	○ コムギはパンの材料として用いられる炭水化物であることから、呼吸商は 1.0 に近くになることを推定させる。 ○ トウモロコシからゴマ油がとれることから、三大栄養素である脂肪を連想させる。	○ 家庭科で学んだ知識を活用することで、実験材料から呼吸基質や呼吸商の近似値を推定できることを確認させる。

(3) 「判断基準」を生かした指導

「判断基準」による評価の結果とその後の指導

ア 実験装置内での気体の出入り

(ア) 検証授業時の表現例：平成 26 年 9 月 26 日（判断基準 C）

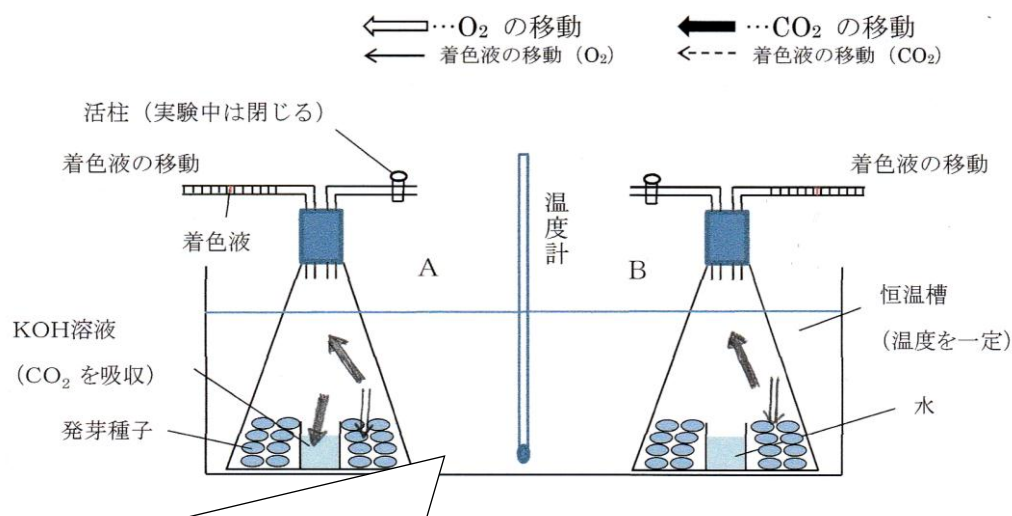


Bでは O_2 と CO_2 の矢印がかかれていない。Aでは、 O_2 と CO_2 の矢印が正しい向きにかかれていないのに加えて、 KOH 溶液に対する CO_2 の矢印がかかれていない。

【補充指導】

発芽種子が呼吸を行うので、発芽種子に向かう O_2 の矢印と発芽種子から放出される CO_2 の矢印をかく必要があることを確認させる。また、 KOH 溶液は CO_2 吸収剤なので放出した CO_2 は全て KOH 溶液に吸収されることを確認させる。

(イ) 検証授業後の表現例：平成 26 年 9 月 30 日（判断基準 B）

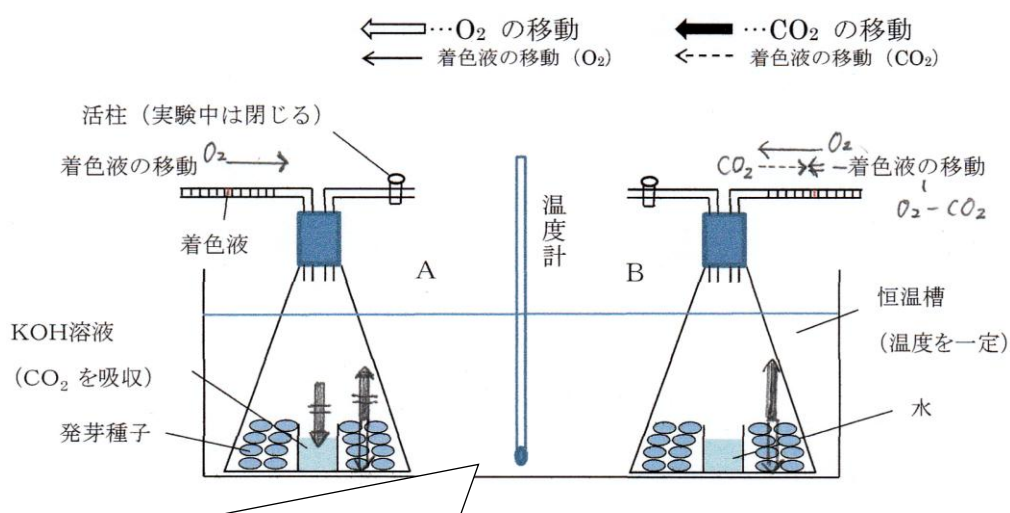


種子に着目し、呼吸による O₂ の吸収と CO₂ の放出を矢印の向きと長さで正しく表現している。実験装置 A は CO₂ の放出を示す矢印が CO₂ 吸収剤である KOH 溶液の方向へ向いている。

【深化指導】

矢印はかくことができたが、その矢印と実験値とを関連付けることができなかった。そのため、種子からの矢印に加えて着色液がどのように移動したかをかかせるようにして、実験値に対する具体的な気体の移動を図示させるようにした。

(ウ) 検証授業後の表現例：平成 26 年 10 月 3 日（判断基準 A）



種子に着目し、フラスコ A、B のそれぞれに O₂ と CO₂ の矢印が正しくかけられているとともに、着色液の移動量についても、矢印の向きと長さが示され、それぞれを図の着色液の近くに O₂ と CO₂ の体積の差の矢印として表現されている。

この表現方法をとる方が、それぞれの気体の体積の増減をイメージしやすいという感想であり、実験値を使った計算まで正確に行うことができた。

検証授業時と、検証授業後の生徒の表現に関して、まず、検証授業時の表現を①に示した。フラスコA、Bともに O_2 と CO_2 の矢印が正しくかき込まれていないので C 状況と判断した。この C 状況であった生徒について指導による変化を追跡したところ、4 日後に行った小テストの結果②においては、 O_2 と CO_2 の移動はよく分かっており、B 状況と判断した。②の 3 日後の小テストの結果③では、フラスコA、B のそれぞれに O_2 と CO_2 の矢印が正しくかかれていたとともに、着色液の移動についても、矢印の向きと長さを考慮し、それぞれを図の着色液の近くにかき込んでいるので、A 状況と判断した。

以上のように、設定した補充指導、深化指導により、生徒の表現に高まりを確認することができた。

イ 呼吸商の計算と呼吸基質の推定

検証授業やその後の指導を通して、アに関する学習内容の定着を図った。約 2 か月後、呼吸商の小テストを予告なしで行い、定着度を検証した。

(ア) 体積の変化を表す値が何を表すかを問う問題

副室が KOH 溶液の場合：正解…23/33 (69.7%)

副室が水の場合：正解…20/33 (60.6%)

誤答例は、内容を全く理解していないものがほとんどで、答えていても副室が水の場合を「 CO_2 の体積」という解答が多かった。

(イ) 呼吸商を求める問題

コムギの場合：正解…20/33 (60.6%)、トウモロコシの場合：正解…22/33 (66.7%)

コムギの場合：計算間違い…8/33 (24.2%)、トウモロコシの場合：計算間違い…8/33 (24.2%)

* このことについて、①の正解率を②が上回っていることに矛盾を感じるが、検証授業後の中間考査でこの単元を出題しているため、考査と演習で計算方法だけは覚えていた生徒が多かったことが考えられる。しかし、実験データを基に考察する力を定着させるには、①の正答率を上げる必要があるため、今後も数回にわたり補充指導や深化指導により定着を図る必要がある。

4 研究の成果と課題 (○…成果, ●…課題)

(1) 学習内容の関連を踏まえた指導について

- 「細胞膜を介した物質の移動」において、細胞の浸透圧と外液の浸透圧を図示させる指導を試みた。水が浸透する際の圧力の方向と大きさを意識させ、矢印を用いて図にかかせることにより、様々な浸透圧の溶液に浸した細胞における細胞と外液のそれぞれの浸透圧を、具体的に表現できるようになった。
- 今回、検証授業を行った分野は、「細胞膜を介した物質の移動」と「呼吸基質と呼吸商」という異なる分野であったが、それぞれ圧力や気体の移動について、矢印を用いて図で表現できる内容であった。そこで、「細胞膜を介した物質の移動」で圧力のかかる向きと大きさ进行思考・判断・表現させたことと関連付けて、「呼吸基質と呼吸商」の「判断基準」を設定したところ、理解が深まることが分かった。

- 板書をかき写すことに関しては慣れているが、与えられた図などに間違っただけをかくことに対してかなりの抵抗感があると思われる。そのために自分の予想と模範例をかく欄を設けたが、理解できていなければ正解を待つ生徒が多く、生徒が図をかき始めるまでに時間がかかった。間違っている様子を見取ることができるから授業中の理解度が分かり、状況に応じた補充指導や深化指導ができるので、授業中は失敗しても構わない場であるという意識付けをしたい。

(2) 「判断基準」を基にした指導と評価について

- (1)の指導が定着していたと感じた点は、呼吸を行う発芽種子に着目し、矢印がかかれていたことであった。しかし、副室に KOH 溶液を入れた場合の実験で、放出した CO_2 が全て副室に吸収されることをなかなかイメージできなかったことから、フラスコ内の体積の増減を着色液の移動に着目させ矢印でかかせたところ、体積の増減を理解できる生徒が増えた。
- 「判断基準」を設定するために、生徒の表現例をあらかじめ想定しておくことは、これまでの授業における教材研究とは異なる新しい取組であった。「判断基準」を設定することで、生徒のワークシートやノートの表現例、小テストの結果など、授業中での見取りの機会が増え、効率的に指導が行えると感じた。生物の学習内容は増加しているだけでなく、大きく深化していることから、数値データを用いた計算や考察問題に対応できるよう、学習内容の関連を踏まえた思考力・判断力の育成を、「判断基準」を利用して継続的に行うことは非常に有効であると考えられた。
- 今回、検証授業を行ったクラスは理系の選抜クラスと普通クラスの混合クラスであった。実力考査等では平均点に 15～20 点ほど差があるため、「判断基準」の設定をどのレベルにするかが難しかった。「判断基準」に基づいた授業を展開するためには、生徒の実態を把握していなければならない。新教育課程になり専門の生物の内容も増加し、深まっていることから、試行錯誤しながら生徒と向き合い、「判断基準」を用いた授業に取り組んでいきたい。