

論文

初等・中等理科教育における 酵素に関する実験方法の改良に関する一考察

A study of improvement of the experimental method of the enzyme
in elementary and secondary school science

中野 英之

桐蔭横浜大学スポーツ健康政策学部

(2022年3月12日 受理)

I. はじめに

ヨウ素デンプン反応はとても汎用性の高い反応で、小学校、中学校、高等学校の理科や化学や生物のほかに、家庭科などの食品化学などの教科書に引用されることの多い反応である¹⁾。だ液に含まれる消化酵素アミラーゼによるデンプンの消化を確認するためのヨウ素デンプン反応の活用はその代表的なものである。新しい小学校学習指導要領の解説理科編²⁾では、ヨウ素デンプン反応が消化を調べる実験として具体的に取り上げられ、小学校6年生理科「人の体のつくりと働き」の単元では、だ液によるデンプン消化を調べるのにヨウ素デンプン反応が必ず用いられることになった。この実験は水溶液のデンプンにだ液と対照実験となる水をそれぞれを加え、40℃程度で温めた後、ヨウ素液を滴下してヨウ素デンプン反応を確認するものである。この実験の操作は単純なものであるが、基質となるデンプン水溶液の濃度が高すぎるとうまくいかなかったり、実験に使用するだ液を提供することへ抵抗感を持つ児童・生徒がいるという課題もある。

だ液を用いたヨウ素デンプン反応の実験は、

実験そのものについて本質的な問題も指摘されている。西野・瀬戸口³⁾は、だ液にはヨウ素デンプン反応を阻害する低分子物質が存在しており、消化酵素が働いても働かなくてもだ液を用いる限り、ヨウ素デンプン反応は消失することから、だ液を用いたデンプン消化実験でヨウ素デンプン反応は消化の指標に使用できないことを示した。このため、西野⁴⁾は、デンプンの消化をヨウ素デンプン反応を用いずに手応えの変化と肉眼での観察結果から結論を導き出す実験方法を考案している。また、だ液に含まれる主要な消化酵素であるアミラーゼは、炭水化物を麦芽糖（マルトース）に分解することは広く知られている（図1）。しかし、微量ではあるものの、だ液には、ブドウ糖（グルコース）やマルトースなども含まれている^{5,6)}。だ液を用いた消化の実験で

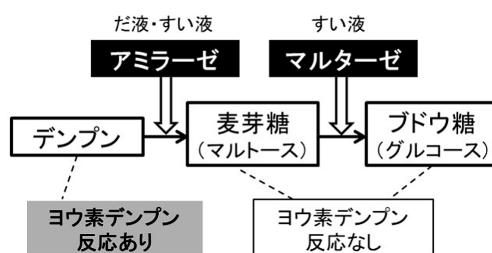


図1 消化酵素によるデンプンの分解過程

は、アミラーゼだけにとらわれていると、想定外の実験結果に混乱する場面も予想される。さらに、コロナ禍においては、だ液を実験で使用するものの安全・衛生面での課題もある。こうした種々の現況から、個別実験の容易なだ液を用いないデンプン消化の教材開発が求められている。西野⁴⁾が開発した方法は、ヨウ素デンプン反応を用いずに、手応えの変化と肉眼での観察に着目した点で非常に興味深い。しかし、試薬のアミラーゼやホットプレートを使用する点など、学校現場で手軽に行うにはハードルは高い。個別実験への対応も難しいといった課題もある。また、色の変化が見られる実験は児童の興味・関心を引きやすいのでヨウ素デンプン反応は実験として取り入れたい要素である。

そこで、本研究では、デンプンとして、ヨウ素デンプン反応を起こさせた不溶性のジャガイモデンプン粒を用い、市販の消化薬による消化の様子を、特に「見た目の変化をとらえる」ことに着目し、デンプン粒が消化される過程を顕微鏡下でその場観察できる教材開発を行った。本稿ではその教材開発について報告するものである。

II. 方法

1. ジャガイモデンプンと消化液

実験に用いるジャガイモデンプンは次の手順により得る。ジャガイモの皮をむいたものをおろしがねですり、すりおろしたジャガイモをガーゼに包む。次に水をはった 300 mL のビーカーの中で 5 分程度、ガーゼに包んだジャガイモをもみほぐすようにしてしぼる。ビーカーからガーゼを取り出し、ビーカーの水を 10 分程度置いたあと、水を 50 mL 程度残し、上ずみを静かに捨てる。

だ液の代わりに消化薬を用いるアイデアは以前から出されており、教育実践も行われている⁷⁾。本研究では、ドラッグストアで容易に入手できるパンシロン 01 プラス（ロート

製薬）を使用する。1 包を 100 mL の温水に溶かしたのちろ紙でろ過したものを消化液として使用することとした。パンシロン 01 プラスにはデンプンを分解するビオザスターゼ 2000 が含まれている。

2. 試験管内におけるデンプンの見た目の変化を捉える実験

スポイトを用いてビーカーの底に沈殿しているジャガイモデンプンを水ごと 3 mL 程度取り出し、試験管に取り分ける。続いて、試験管にイソジンうがい薬を 10 倍程度の希釈したものを 1 滴滴下し、ヨウ素デンプン反応によりジャガイモデンプンを青紫色に着色させる。次に消化液を 3 mL 程度試験管に入れ、試験管を 40℃ の温水の中に入れ温め続け、試験管内のジャガイモデンプンの変化を観察する（図 2）。

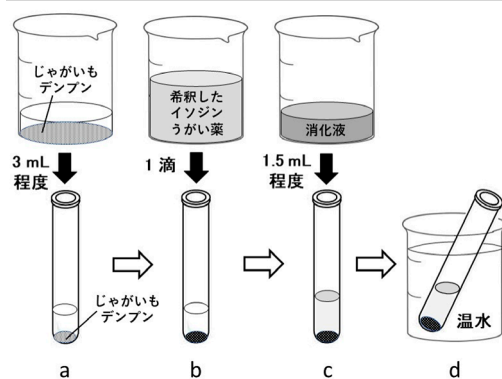


図 2 試験管内におけるデンプンの見た目の変化を捉える実験

3. 顕微鏡下でデンプン粒の変化をとらえる実験

ジャガイモデンプン粒が消化液の作用により分解される様子を顕微鏡下で確認したい。そのために必要になるものが加温のできるプレパラートである。学校現場での使用を考えると費用をかけずに短時間に大量に作成できるものが望ましい。このため、ニクロム線を用いて 40℃ 程度に加熱をしながらデンプン粒を観察するために加熱のできるスライドガラスを作製した。作製方法を図 3 に示した。

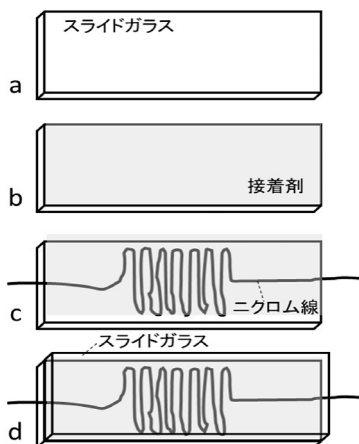


図3 スライドガラスの加工方法

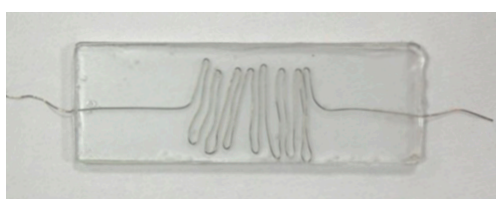


図4 完成した加熱のできるスライドガラス

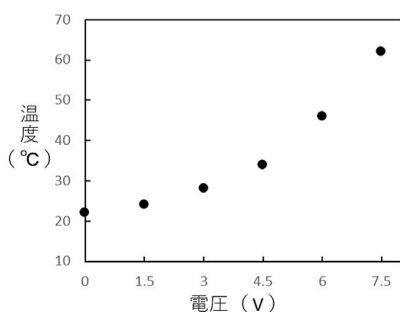


図5 印加電圧とスライドガラス表面の温度との関係

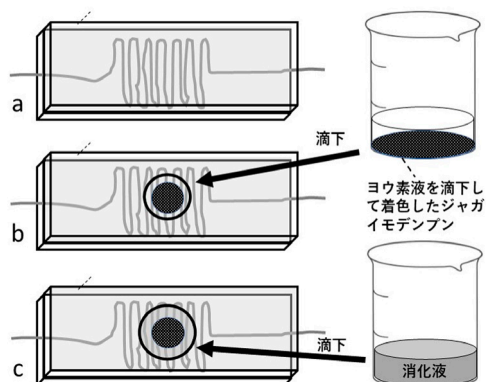


図6 検鏡のためのプレパラートの調整方法

スライドガラス（図3a）の上に接着剤であるセメダインスーパー X（セメダイン）を塗布し（図3b）、太さ 0.5 mm の nichrome 線を折りたたんで加工したものを乗せた後（図3c）、この上にスライドガラスに乗せて（図3d）数個の目玉クリップを用いて 1 日圧着させて作製する。完成したものを図4に示す。nichrome 線の両端に 6 V の電圧をかけるとスライドガラスの表面温度が 40 °C 程度となる（図5）。検鏡の手順を図6に示した。作製した加熱のできるスライドガラス（図6a）にデンプンを 1 滴滴下し（図6b）、その上に消化液を 3 滴程度滴下する（図6c）。その後スライドガラスを加熱しながら 100 倍で検鏡する。なお、カバーガラスは使用しない。

III. 結果

1. 試験管内におけるデンプンの見た目の変化を捉える実験

実験結果を図7に示す。ヨウ素デンプン反応を起こさせたデンプン（デンプン+水）に（図7a）消化液を加えた直後の様子を（図7b）に示す。その後、40 °C 程度の温水で温めると 2 分程度で底に沈殿しているデンプン粒が無色に変化することからデンプンがデンプン以外のものに変わっていることが分かった（図7c）。この間、注意深く観察すると、デンプンのヨウ素デンプン反応は消化液に接している部分から消失していることを観察することができる（図8）。更に 8 分程度温め続けると沈殿物が半透明化のゼラチン状物質に変化し、かさが増している様子を観察することができた（図7d）。明らかにデンプン粒が別のものに変わっていることをはっきり確認することができた。尿糖検出紙のウレアースに図7dの上澄み液を 1 滴滴下したところ、試験紙の色が変化してグルコースを検出することができた。ただし、反応は弱く顕著な試験紙の変化は見られなかった。

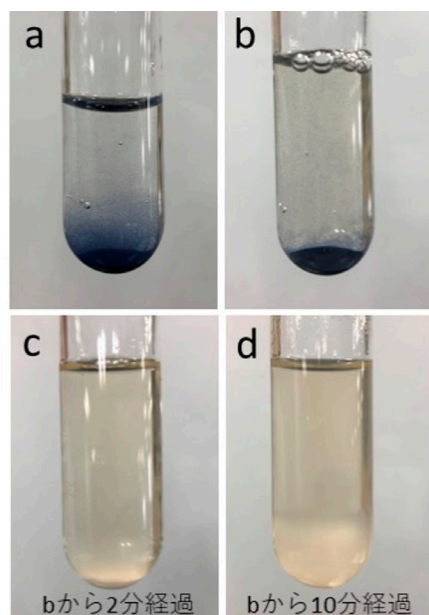


図7 試験管内でのデンプンの見た目の変化

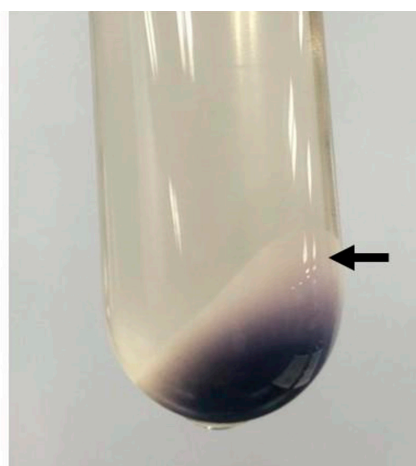


図8 デンプンの表層部分からヨウ素デンプン反応が消失していく様子（矢印）

2. 顕微鏡下でデンプン粒の変化をとらえる実験

実験結果を図9に示す。図は100倍でスマートフォンで動画でコリメート撮影したものを画像で切り出したものである。スケールバーの大きさは0.5 mmである。ヨウ素デンプン反応で着色されたデンプン粒（図9a）が60秒経過すると徐々に無色に変化する（図

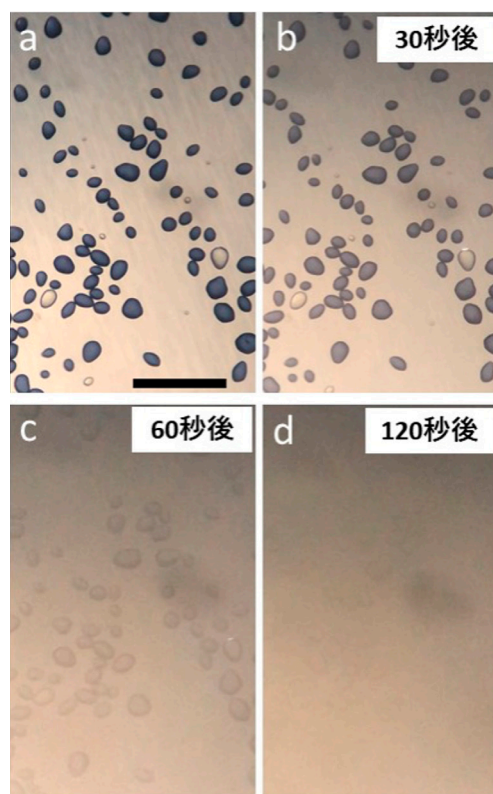


図9 顕微鏡で観察したデンプン粒の変化

9b, 9c)。120秒するとデンプン粒の形が崩れ、デンプン粒の形そのものをほとんど確認することができなくなった（図9d）。図9cから図9dに至る過程で、デンプン粒が膨張しながら破壊されていく様子を確認できる場合もあった。

IV. おわりに

本研究では、デンプンとしてジャガイモデンプンを用い、市販の消化薬による消化の様子をその場観察できる教材開発を行った。試験管内におけるデンプンの見た目の変化を捉える実験では10分程度の実験時間で、ヨウ素デンプン反応が消失し、デンプン粒の沈殿物が半透明の物質に変化する様子を確認できた。この実験は簡単なものであるが、ヨウ素デンプン反応の出現と消失、特に消化液と

接する部分からヨウ素デンプン反応が徐々に消失していく様子を確認できる点が、水溶性デンプンを利用した既存の実験にはない大きな利点である。授業実践では、デンプンが分解された後の半透明の沈殿物のかさが増えた理由を児童・生徒に考えさせるのも面白いかもしれない。顕微鏡下でデンプン粒の変化をとらえる実験では、約2分という短時間にヨウ素デンプン反応を消失しながらデンプン粒の形が崩れて消失していく様子をリアルタイムで観察することができた。この方法の課題は、観察時間が約2分と短いため、デンプン粒の変化をスケッチする時間的な余裕がないことである。

どちらの実験方法も、特に実験操作は難しい点はなく、再現性も極めて良好であり、中学生だけでなく、小学生にも十分行うことができると思われる。仮に実験に失敗しても何度も繰り返し実験を行うことが可能である。本実験は、デンプンが消化の働きによって別の物質に分解されることは視覚的に非常によく理解できるものであるが、デンプンが糖に変化したことを確認する方法については尿糖試験紙を用いた方法の反応性が必ずしも良くないため、別の手段を検討する必要がある。本教材を用いた教育実践はまだ行っていないので、本教材の詳細な評価は児童・生徒を対象とした教育実践を通して明らかにしていきたい。

現在一般的に行われているだ液とヨウ素液を用いた消化の実験には多くの問題が見られる。だ液の働きには消化作用だけでなく、円滑作用、抗菌作用など実に様々なものがある⁸⁾ので、だ液の働きを消化作用のみに拘泥することの問題も考えていく必要があるだろう。だ液に含まれる最も重要な酵素はアミラーゼであるが、たいていの場合、摂取された食物は口腔内では十二分に咀嚼されずに嚥下されてしまうため、口腔内ではデンプンの消化は十分に行われない⁸⁾。だ液によるデンプンの消化を体験的に理解するためには、給食時にごはんを長時間咀嚼させて甘みが増す体験を

させることこそ重要なのではないかと考える。

【参考文献】

- 1) 村田勝夫・西條典子 (2007) ヨウ素デンプン反応の温故知新—インターネット検索からの研究教材抽出—, ぶんせき, 2007年5月号, 239-244.
- 2) 文部科学省 (2018) 小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編, 東洋館出版社, 東京.
- 3) 西野秀昭・瀬戸口真司 (2012) ヨウ素デンプン反応を消失させる唾液中の熱安定性を意識した中学校理科「生命を維持するはたらき」におけるデンプン消化実験の提案, 科学教育研究, 36(2), 241-247.
- 4) 西野英昭 (2019) 小学校6年生理科「だ液のはたらき」においてヨウ素デンプン反応を用いず手応えと状態変化の観察のみによるデンプン消化実験の提案と評価, 福岡教育大学紀要, 68, 1-6.
- 5) 稲垣幸司 (1986) 歯周病患者の唾液中のマルトース、D-グルコース、 α -アミラーゼおよび α -グルコシダーゼについて, 日本歯周病学会会誌, 28(1), 29-38.
- 6) W.M. Edgar, D.M. O'Mullane (編), 河野正司 (監訳) (1997) 唾液・歯と口腔の健康, 医歯薬出版株式会社, 東京.
- 7) 比嘉俊 (2017) 教科書外の実験の追加が生徒の学習理解へ与える影響の一考察: 中学校理科消化実験の教材より, 琉球大学教育学部紀要, 91, 239-247.
- 8) 押鐘篤・覚道幸男 (1983) 唾液のはなし, 口腔保健協会, 東京.