

葉のでんぷん検出が確実にできる実験の要点

深谷 秀次
山田 俊樹

摘要：小学校6年生理科で指導する葉にできるでんぷんの検出にはヨウ素デンプン反応を用いるが、満足のいく実験結果が得られにくいことがある。A市の公立小学校8校の実態を調べた結果、6年生で実際に指導した教員の約半数が実験結果にやや不満或いは不満と回答があった。そこで、検定教科書に掲載の実験方法を検討し、葉にできたでんぷんを確実に検出するには、ヨウ素液を浸み込ませるために葉をよくゆでること、水で冷やすこと、ヨウ素液の濃度は濃い紅茶程度の色のものを用いることの3点を要点として得た。試料とする葉は、特に若い葉を選ばなくてもよいこと、晴天でなくても日中数時間以上経っていれば十分な呈色反応があること、前日の午後に採取した葉で十分な呈色反応が出ることも確かめられた。でんぷんの有無をヨウ素液による変色で判断するのであれば、葉をゆでてヨウ素液に浸ける簡便な方法で十分であり、反応色の青紫色をとらえさせるのであれば、ろ紙にはさんでのたたき染め、塩素漂白、水洗い後にヨウ素液を滴下する方法が非常に明瞭であるという結果も得られた。これらの方法で葉のでんぷん検出実験が確実にできることを報告するものである。

キーワード：小6理科 葉のでんぷん検出実験の要点 ヨウ素デンプン反応
葉の採取 ヨウ素液の濃度 青紫色

I 問題の所在と研究目的

現行の小学校学習指導要領理科6年生の学習内容には、B区分 生命・地球(2)植物の養分と水の通り道において「植物の葉に日光が当たるとでんぷんができること」が示されており、このことをヨウ素デンプン反応によって調べることになっている。この内容は、昭和52年改訂学習指導要領で一旦4年生の扱いとなったが、昭和33年改訂の学習指導要領以来、平成29年改訂の新学習指導要領まで変わっていない¹⁾²⁾。

一般に、でんぷんの検出はヨウ素デンプン反応を用いれば、簡単な操作で鋭敏で明確な結果が出る。したがって主食であるご飯やパン、イモなどにでんぷんがあることやイモから抽出したでんぷんをヨウ素デンプン反応で調べることは、かつての小学校4年生や現行学習指導要領における小学校5年生で扱ってきた。この反応について、でんぷんにヨウ素液をつけると青紫色またはこい青紫色に変わると児童には指導する。でんぷんのりやごはん、パンなどでは明瞭な青紫色が確かめられ、児童にとって納得のいく結果が得られる。

しかし、6年生で扱う葉にできたでんぷんの検出では、反応が十分でなく変色が明瞭でなかったり、反応しても色が黒っぽくなったりして、児童が納得する結果が見られないことが往々にしてあった。加納ら(2015)は、教科書の方法に従ってエタノール脱色法で実験を行ったところ、葉全体が紫色になることはなく、切り込みを入れた切り口だけが紫色を呈したと指摘し、実験がうまくいかないことを経験して、児童が切り込みを入れた葉の切り口の紫色から気づく授業の進め方を指導できればと述べている³⁾。山崎(2015)は、教員が一定の知識・技能を備えていても、教科書に掲載されている観察・実験の中には、実施が容易でないものや期待通りの結果が得られないものがあるとして、第6学年「植物の養分と水の通り道」の単元、葉にでんぷんができていることを調べる実験では、操作が難しく明確な結果を得にくいと指摘し、葉を電子レンジでゆでる下処理やチャック付きポリ袋でのエタノール脱色、乾燥による葉の保存などを提案している⁴⁾。また、神奈川県立総合教育センター小学校理科Q&A集⁵⁾、富山県総合教育センターデジタル理科室⁶⁾、静岡県総合教育センター小学校理科観察・実験集⁷⁾などでも、小学校におけるでんぷんの検出実験の難しさが指摘され、これに対するアドバイスがまとめられているところであるが、それぞれ、葉を柔らかくするためのお湯の温度管理やヨウ素液の濃度と保管の仕方、一般的な検出方法の紹介などにとどまっている。

葉にできるでんぷんのヨウ素デンプン反応による検出実験は、小学校で50年以上の歴史を持つ指導事項である。年数を考えれば、これまで数々の実践が積み重ねられ改善もされていると思われるが、上記の指摘を見ると実際はそこまで至っていないようである。そこで、改めて現在の授業における実験の満足度を調べるとともに、現行教科書掲載の実験方法について検討し、葉のでんぷん検出を確実にするための要点を明らかにしようと考えた。

II 方法

1. でんぷんの検出実験の指導結果について

実験の指導結果については、2017年度に小学校6年生理科を担当し実際に指導した教員にアンケートを行った。対象者は愛知県名古屋近郊のA市公立小学校教員で、2017年7月に配布し8月までに回収した。アンケートの質問項目は下記のとおりとした。

- 1 中学校あるいは高校理科の教員免許の保有
- 2 葉にできたでんぷんの検出実験の授業での実施者
- 3 授業で行ったでんぷんの検出実験の方法

- 4 でんぷんの検出実験における呈色反応の満足度
 - ア 満足 (明瞭な青紫色を示した)
 - イ やや満足 (葉の色の変化があり、でんぷんの有無を児童が捉えられた)
 - ウ やや不満 (葉の色の変化はあったが発色がよくなく、色の変化やでんぷんの有無について児童の結果の把握が十分でなかった)
 - エ 不満 (多少の葉の色の変化はあったが、思ったような呈色反応ではなかった)
- 5 実験結果がやや不満、不満の場合の児童への補足方法 (複数選択可)
- 6 実験に使用した葉の植物名
- 7 実験に使用した葉の採取時期
- 8 でんぷんの検出実験での苦労や工夫

2. 教科書掲載の実験方法の検討について

2017年度に小学校で使用されている東京書籍⁸⁾、大日本図書⁹⁾、学校図書¹⁰⁾、教育出版¹¹⁾、信州教育出版社¹²⁾、啓林館¹³⁾発行の教科書掲載の実験方法について検討した。なお、アンケート実施地区の採用教科書は東京書籍であった。

調査項目は、5年生の植物の発芽におけるヨウ素デンプン反応の扱いと反応色の説明、6年生の唾液の働きにおけるヨウ素デンプン反応の指導時期、葉にできるでんぷんの検出実験の方法と結果の記述、試料とする植物、試料採取についての留意事項、その他補足内容とした。

Ⅲ 結果及び考察

1. でんぷんの検出実験の指導結果 (表 I 参照)

2017年度のA市公立小学校で6年生の理科を指導した教員26名のうち22名から回答があった。そのうち、理科の教員免許を持つ者は2名であった。特に専門性が高い教員が担当しているのではなく、一般の教員が理科を担当し指導している実態からのアンケート結果といえる。

でんぷんの検出実験は、22名の教員のうち21名が実施した。児童実験を15名、演示実験を9名が行い、うち3名は児童実験と演示実験の両方を行っている。教師の演示実験のみというのが6名あったが、天候に左右されて児童に実験させることが難しかったことや試料の用意が難しかったことが理由となっており、学年合同で演示実験をした例や3種類の検出実験に取り組んだ例もあり、指導した教員の苦労が見て取れた。

実験方法はエタノール脱色法に21名全員が取り組んでおり、たたき染め脱色法を併用した教員が2名、葉をすりつぶしてでんぷんを抽出する方法に取り組んだ教員が1名いた。エタノール脱色法は調査対象地域の採用教科書に主たる実験方法として掲載されている方法である。このため、実験を行った教員は全てこの方法に取り組んだものと思われる。

でんぷんの検出実験の満足度は、満足が4名、やや満足が7名、やや不満が6名、不満が4名であった。実験結果を踏まえ、各教員は、教科書の写真、NHK for schoolなどの視聴覚教材

表1 でんぷんの検出実験の指導結果

番号	理科免許		実験者			実験方法							実験結果の補足							試料植物				試料採取														
	理科免許保有	理科免許なし	児童実験	教師実験	実験せず	ポイル法	エタノール脱色法	たたく染め法	たたく染め脱色法	しぼり汁沈殿法	顕微鏡下染色法	その他	満足	やや満足	やや不満	不満	言葉	写真	演示実験	視聴覚溶剤	反応色の確認	顕微鏡	臭臭自校から	ヨウ素液による	その他	ジャガイモ	ゴーヤ	シロツメクサ	ミント	前日朝	前日昼	当日朝	当日午後	当日午後				
1	1				1																																	
2	1	1				1									1	1	1	1							1										1			
3	1	1				1							1												1											1		
4	1			1		1							1												1	1			1									
5	1			1		1							1												1	1			1							1		
6	1		1			1							1																							1		
7	1	1				1								1			1								1					1								
8	1	1				1								1			1								1					1								
9	1	1				1								1			1								1				1									
10	1	1				1									1		1								1										1	1		
11	1	1				1								1		1	1		1						1										1			
12	1			1		1							1												1												1	
13	1			1		1							1												1											1		
14	1	1				1									1		1	1	1						1												1	
15	1			1		1							1												1				1									
16	1	1				1								1											1												1	
17	1	1				1								1			1	1							1												1	
18	1			1		1								1											1												1	
19	1	1		1		1								1											1												1	
20	1	1		1		1								1											1												1	
21	1			1		1		1			1				1									1		1	1								1	1	1	
22	1			1		1		1						1											1		1										1	
合計	2	20	12	6	3	1	0	21	0	2	0	0	1	4	7	6	4	2	8	0	4	0	0	1	0	1	0	1	20	2	1	2	4	1	1	8	9	1

を用いたり既習事項の確認をしたりして補足を行っており、児童の学習に滞りが無いよう丁寧な指導を進めている様子が見られた。一般に、教科書で示されている実験を行えば全てうまく結果が出るというわけではないが、指導に当たった半数近くの教員が望ましい実験結果が得られず、児童に実験をさせるべきところを学年合同の教師実験の演示に取り組むといった例があるような実験は、小学校では他にあまりないのではないと思われる。

試料に使った葉は、ジャガイモが19名、ゴーヤ（ツルレイシ）の併用が2名、シロツメクサの併用が1名、ミントの併用1名とミントの単独使用が1名であった。教科書ではジャガイモを扱っているため、最も多い。5年でインゲンマメを扱っていることから、教科書にインゲンマメでもよいとしてあるが使用の例はなかった。また、発展的な扱いとして紹介されているシロツメクサ、オオバコ、ホウセンカ、ゴーヤを使った例はミントを入れて4例しかなかった。学習の中心として扱ったジャガイモの実験結果が思わしくないことが影響しているのかもしれない。

試料の採取について、実験の前日に採取した例が6件。そのうち結果が思わしくないのが4件で、そうでないものが2件あった。教科書では日の出から4～5時間後に採取などと指示が与えられる（後述：表2参照）。それでも、前日に試料を採取しているのは、次の日の授業が午前中であつたり試料を準備する時間がなかったりしたためであろう。教科書では実験当日の採取を前提としているが、実際には前日採取で2件の成功例がある。

一方、当日採取の例は18件あり、結果が思わしくないものは9件でそうでないものは9件であった。当日朝に採取した試料でやや満足以上の結果が得られているのは4件、そうでないものが

3件。当日昼ごろから午後採取の試料では、やや満足以上の結果が得られているのが5件、そうでないものが6件であった。試料は昼から午後採取のものがでんぷんの合成が十分されていて結果がよいはずであるが、そうっていない。試料採取の時期よりも実験方法に何らかの問題があったのではないかとと思われる。

このでんぷんの検出実験の苦労や工夫についての意見は次の通りであった。

- ・明瞭な青紫が得にくい。
- ・この実験は難しく、満足がいく結果が出ない。
- ・うまく反応したことがなく、苦労しています。
- ・湯につける時間やエタノールを温める時間が分からなかった。
- ・エタノールではなかなか色が脱けない。漂白剤がいいと聞いた。
- ・ジャガイモの色がうまく脱けない。
- ・エタノール脱色において、ウオーターバスがあると良い。
- ・一部の班は脱色がうまくできず、タイミングを見極めるのが難しい。
- ・3回実験したが、3回とも満足がいく結果が出ない。
- ・以前たたき染めをしたときは葉がくしゃくしゃになった。
- ・天候次第もあるので、準備が大変。
- ・天気予報を見て実験を行っているが、うまくいかないことも多く、子どもたち全員で実験させることが難しい。
- ・前の単元を教育課程通りに行くとジャガイモの葉が枯れる手前で大変だった。
- ・やわらかい新しい葉が良いと言われた。
- ・演示実験を学年合同で行った。
- ・ゴーヤの葉を使うなど確実にできる方法を併用するのが良いと思う。

これらの意見をみると実験結果が思うように得られない状況がよくわかる。

問題の一つは、実験の各手順の操作である。湯につける時間やエタノールを温める時間、脱色のタイミングなど実際の操作の具体的なところがよく分からない。このことが「脱色がうまくできない」「葉がくしゃくしゃになった」「明瞭な青紫色が出ない」「うまく反応したことがない」「この実験は難しい」といったことにつながっているようだ。

二つ目に、天候の問題がある。よく晴れて日光が十分当たらないと葉のでんぷんの形成が十分でないからよい結果が得られないと言われている。教科書にも「晴れた日」と本文中に指定してあるものが3社ある。このことから、晴れの日を選んで実験日を定めることや、天気予報を見て、前日にアルミ箔で葉を覆う指導をして、できるだけ昼近くか午後の授業になるように時間割を組むといった苦労が生ずる。しかし、植物の葉の光合成は、晴れの日でなくても行われており、梅雨時や秋雨などの雨や曇天続きのときであっても植物の成長は著しい。「日光が当たると」とい

うことを児童に明確に意識づけるには晴れの日が望ましいかもしれないが、曇りであるからでんぷんの合成がわずかで、検出実験がうまくいかない程の合成量であるというのは、疑問である。

三つ目に、試料そのものの問題である。葉がやわらかく新しいものが良いというアドバイスがあり、教師用指導書にそう書いてあるものもある。やわらかいということは、ヨウ素液を浸み込ませやすくしたりたたき染めを容易にさせたりする要件としてはわかる。確かに若い葉であれば生き生きとしていて光合成も盛んであろうと想像される。だが、成熟して緑濃く茂っている葉ほど葉緑体も多くでんぷんの合成も盛んにしているはずである。これも疑問な点である。

2. 現行教科書掲載の実験方法について

全国で使われている6社の検定教科書で扱っているでんぷんの検出実験とその関連内容について調べた。その結果が表2である。

表2 現行教科書のでんぷん検出実験に係る内容

教科書	ヨウ素デンプン反応の既出の有無			葉にできるでんぷんの検出					
	5年植物の発芽	6年唾液の働き	反応色の説明	実験方法	検出の判断	結果の写真的色	試料	採取の指示	補足・発展
1 東京書籍	有り	有り	青むらさき色	①エタノール脱色法 ②たたき染め湯洗い法	変色	エタノール脱色法は青紫色たたき出しは黒っぽい	ジャガイモ(シロツメクサ、オオパコ)	午後になって	他の植物への発展的扱い
2 大日本図書	有り	無し:葉のでんぷん検出実験後の単元で扱う	青むらさき色(5年)	○ポイル法 別法紹介:エタノール脱色法(試験管)	変色	両方とも褐色に近い色	ジャガイモ(インゲンマメ、アサガオ)	4~5時間後	葉からのデンプン抽出
3 学校図書	有り	有り	こい青むらさき色	○たたき染めエタノール脱色法 ○エタノール脱色法	青紫色の呈色	両方とも青紫色	ジャガイモ(インゲン、シロツメクサ、ヨモギ)	4~5時間後	
4 教育出版	有り	有り	こい青むらさき色	①エタノール脱色法 ②たたき染め法	変色	エタノール脱色法は黒っぽい紫色たたき染めは写真なし	インゲンマメ(ジャガイモ、シロツメクサ)	午後になって	
5 信州教育出版社	有り	有り	青むらさき色	○たたき染め漂白ぬるま湯洗い法	青紫色の呈色	青紫色	シロツメクサ(インゲンマメ、ズッキーニ)	日光が当たって3時間後	
6 啓林館	有り	有り	青むらさき色	○ポイル法(エタノール脱色法) ○たたき染め反応後水洗い法	青紫色の呈色	ポイル法は黒っぽい色 たたき染めは青紫色	ジャガイモ(ホウセンカ、インゲン、ヨモギ、シロツメクサ、アジサイ、マツ)	4~5時間後	新しいいものデンプン粒の呈色反応結果

まず実験方法であるが、大きく分けて次の3方法が用いられている。

(1) ポイル法

小学校理科の教科書採択シェア上位3社と言われるうちの2社が採用している。葉を湯でゆでから水洗いしてヨウ素液に浸ける方法である。ヨウ素液に浸ける前の処理が葉をゆでるだけなので、本研究ではポイル法と呼ぶことにした。最も簡単な実験方法である。

(2) エタノール脱色法

葉の緑色をエタノールで抜いて、ヨウ素デンプン反応による呈色を明確にとらえようとする実験方法である。葉のでんぷん検出では最もよく知られた方法であるが、ヨウ素液に浸す前に葉をやわらかくする、湯煎でエタノールによる脱色をする、脱色後の葉を水や湯で洗うといった処理があり、エタノールの加熱に係る安全配慮が必要な方法である。

(3) たたき染め法

ろ紙に葉をはさみ、ゴムマット上で木づちなどでたたいて葉の成分をろ紙にしみ込ませたものにヨウ素液を滴下する方法である。脱色をしなければ、加熱や湯、エタノールを使わないので比較的安全で簡便な方法である。

実験方法は、1社を除いてどの教科書も複数の実験方法を紹介している。教科書で実験方法の別法を掲載する内容はそう多くない。教員の選択の自由度が増す意味では、教師用指導書での紹介で十分足りるところであるが、児童の使う教科書にあえて併記してある。また各教科書の主たる実験方法は、ボイル法2社、エタノール脱色法2社、たたき染め法2社で分かれている。また、同類の実験方法でも、湯煎をビーカーで行うか試験管を用いるかとか、葉の洗いが水洗いかぬるま湯洗いかと細かなところで違いが見られる。これらのことは実験方法の多様性というよりは、実験の確かさの点であいまいさを残しているようにとらえられる。

葉のでんぷん検出実験におけるヨウ素デンプン反応の結果について、青紫色になることを述べているのは3社、青紫色になることを明記せずヨウ素液で変色したことをもって検出とする教科書が3社である。ヨウ素デンプン反応の既出としては、5年生における発芽に必要な養分の学習で扱っている。どの教科書も、でんぷんがあればヨウ素液で青紫色に変色すると明記している。また、6年生の葉のでんぷん検出の前に人体の働きの単元を配置し、唾液の働きでヨウ素デンプン反応を扱い、反応による呈色を青紫色と示しているのが5社ある。

葉のでんぷん検出では葉の色やでんぷんを含む細胞の重なりから反応後の呈色が色濃くなり、かなり黒っぽくなることからすると、ヨウ素デンプン反応の5年生での初出に加え、葉のでんぷん検出の直前に人体の学習でヨウ素デンプン反応を扱うのは、児童が反応の有無を見極めるには有効な配置といえる。それにもかかわらず、葉のでんぷんの有無をヨウ素液で青紫色を示すか否かで判断とせず、反応により変色したか否かで判断するとした教科書があるのは、葉を使った実際の実験では、明確に青紫色とは言い難い青黒い色や褐色に近い色を示す結果を考慮してのことと思われる。指導する教員にとっては、ヨウ素デンプン反応＝青紫色の呈色というのが頭にあるから、児童の実験の結果、変色によるでんぷん検出が認められたとしても、やや不満な結果ということになるのではないだろうか。

試料の採取については、いずれの教科書も日光が当たってから3時間後、あるいは4～5時間後、午後になってからとあり、実験当日の十分日光が当たってからの採取の指示となっている。このことは授業の実施が天候により左右される教員の悩みのもととなっている。

実験結果については、どの教科書も写真を掲載し、実験が不調に終わった場合でも結果をきちんと把握できるようにしている。また、発展的な扱いや補足的な扱いの記事、実験結果の紹介がされているものもあった。

3. 葉のでんぷん検出実験の検討

葉にできたでんぷんの検出をする実験は、先行研究での指摘や本研究のA市公立小学校の教員

アンケート結果から明らかなように現時点でも難しいものである。また、教科書掲載の実験方法の多様さや記載の仕方、単元の配置等から難しさがうかがわれるところである。しかし、教科書掲載の実験は、相当数の実験を重ね、実際の学校の教員のモニタリングを経て掲載される安全で確かなものであるといわれている。そこで、教科書掲載の実験について検討した。

(1) 葉の下処理（やわらかくなるまで煮る、熱湯につけてやわらかくする）

ボイル法あるいはエタノール脱色法では、ヨウ素液に浸ける前に下処理として、葉をやわらかくなるまで煮る、あるいは葉を熱湯の中に入れてやわらかくするとある。これについて、2~3分煮るといふものもあるが、どの程度までという指示のない教科書がほとんどである。湯につけて煮たりする実際のねらいは、葉にヨウ素液が浸み込みやすいようにするためである。このことをきちんと教科書に書き、指導する教員にも児童にも理解してもらうことが必要と考える。いわゆる教師用指導書にはそのように書いてあるものもある¹⁴⁾¹⁵⁾。

葉は表皮細胞で雨水をはじき埃や他の物質から内部を守っている。直接ヨウ素液を滴下しても、はじかれて何の反応も見られない。ヨウ素デンプン反応を見るためには、ヨウ素液を葉の内部のでんぷんがあるところまで浸み込ませる必要がある。したがって、煮るあるいは熱湯につける目安は、葉にヨウ素液が浸み込める程度までということになる。煮るあるいは熱湯につけても、葉が形を保っていたり表皮に油膜があるように見えたりしている間は反応が望めない。逆に言えば表皮細胞が壊れて葉内の物質が外に出てくるような状態が望ましく、葉緑素が染み出て湯が少し緑がかるころまでゆでることが目安となる。このヨウ素液が浸み込めるようにゆでる操作がヨウ素液による葉のデンプン検出実験の最も重要な要点である。

(2) エタノールでの脱色

エタノール脱色法では、熱湯で下処理した後、70~80℃くらいの湯で温めたエタノールに葉を入れて脱色する。エタノールに引火する危険を避けるため直接火で温めたり近くで火を扱ったりしないように厳しい注意書きが各社ともある。しかし、エタノールの沸点近くでないと葉の脱色は行われぬ。したがって湯が少量であるとすぐに冷めてしまい脱色がうまくいかない。そのため、湯を注ぎ足したり大量の熱湯をあらかじめ用意したりする必要がある。試験管での湯煎は、お湯を足したり加熱しなくてもエタノールの温度があまり下がらずに済むが、葉の出し入れが難しい。実験用ガスコンロで葉をゆでた後の湯を利用すれば、大量の湯の用意や注ぎ足しをしなくてもよい。

(3) 湯で洗う、水で洗う、水で冷ます

ボイル法では葉を煮たあと水で洗うか水で冷ますとある。水で煮た後の水洗いに何の意味があるのか。エタノール脱色法でもエタノールから取り出して湯で洗うあるいは水で洗うと指示がある。洗うというのは葉の油分や汚れ、エタノールを除くということであろうが、水や湯で洗わず、そのままヨウ素液に浸しても反応は起こる。だが、煮た後に葉を取り出すと葉が折れ曲がり、形を整えるのに苦労する。またエタノールで脱色した後は、葉が脱水状態でパリパリになり、壊れやすく形を整えることが難しい。さらに、高温では葉の中のでんぷんの構造が変化しヨウ素液で

の呈色反応がすぐに出ない。放っておけば葉は冷めるのでヨウ素液に浸しておけばよいが、多少の時間はかかる。このことから、この手順は、洗うというよりは高温の処理から葉を冷やして、外形と中身を整えて反応を見やすくするものにとらえた方がよい。教師用指導書にはそう書いてあるものもある¹⁴⁾。湯を使う必要はない。

(4) ヨウ素液に浸ける、滴下する

写真1 (左: ビール、中: 20倍、右: 10倍)

教科書にはうすいヨウ素液に浸すあるいは滴下するとある。ていねいな教師用指導書では、市販のヨウ素液を10~20倍に薄めるとし、それはビールの色程度と説明してある¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾。しかし実際に0.05mol/Lのよう素溶液を20倍に希釈すると写真1に示すようにビールの色よりはずっと濃い色になる。10~20倍では希釈する色の目安は紅茶の濃い色程度と説明したほうがよい。教科書の写真を見ると、どの教科書もペトリ皿のヨウ素液の色はビールの色よりも濃い色である。NHK for schoolの動画でのヨウ素液は原液かと思われるほど濃い色をしている¹⁸⁾。



(5) たたき染め

葉を熱湯に浸けてやわらかくしてからたたき染めをするのが2社。たたき方では、木の板を敷いた上にアクリル板でろ紙をはさんでたたき方法1社、ゴムの板とビニルシートの間でろ紙をはさんでたたき方法1社、平らな板の上で二つ折りのろ紙を直接たたき方法1社、段ボール紙を敷き、ろ紙を直接たたき方法1社、プラスチック板でろ紙をはさみたたき方法1社とそれぞれである。たたき道具はいずれも木づちである。漂白剤で脱色してヨウ素液滴下が1社、エタノール脱色が1社で、他は脱色せずに反応を見るようになっている。

しかし、たたき染めでは、ろ紙にはさんだ葉からむらなく葉の成分を染め出すことが必要である。そのためには、固いものではさむよりは少しやわらかいものの方が木づちの力が伝わりやすい。また、直接ろ紙をたたくのは、ろ紙が破れやすい。どの程度たたけたかが児童にわかることも大切な要件である。そこで、ゴムマットや折りたたんだ新聞紙の上で、葉をはさみ込んだろ紙をさらに無色透明のクリアファイルに入れ、それを木づちやゴムハンマーでコンコンとたたき方法を勧める。ろ紙が破れず、染まり具合もクリアファイル越しに見える。ジャガイモの葉であれば、2分程もたたくと十分に染め出すことができる。次にヨウ素デンプン反応の青紫色の呈色を見るため、市販の塩素漂白剤を5~10倍ほど希釈したものに浸け脱色する。エタノールによる脱色は湯やビニル袋の用意など手間が多い。漂白剤脱色後、水洗いをして紅茶の濃い色程度に薄めたヨウ素液を滴下する。漂白、水洗いはバットを使うと便利で比較的安全にできる。

4. 検討を踏まえた葉のでんぷん検出実験

これまでの検討を踏まえ、要点を整理して葉のでんぷんの検出実験を試みた。

指導に当たっている教員が困っている点の一つ目は実験の各手順の要点である。二つめは試料の採取に当たり晴天の当日に行う問題である。三つ目は試料とする葉の選択の問題である。

試料については、先に述べたように前日採取での成功例がある。また、晴天でなくとも葉の呼吸量を上回る一定のでんぷんの合成は見込まれる。試料の選択は、特に若い葉を探さなくても一定の成熟した葉であれば当然光合成の量は多いはずである。このことから、あえて葉は任意に選択し、晴天でない日の午後に試料採取をし、検出実験は翌日に行った。試料は実際の児童実験で最も多く使われるジャガイモとした。

実験の要点は、ボイル法、エタノール脱色法とも、最初の下処理は「ヨウ素溶液を浸み込ませるためにゆでる」こと、その際の目安は「ゆで湯が緑がかるまで行う」こと、下処理あるいはエタノール脱色後の洗いは、「葉の形を整え冷やすために水を使う」こと、「ヨウ素液は濃い紅茶の色程度に薄めたものを使う」こととした。以下がその実験結果である。

(1) 試料採取及び実験の時期、天候と場所

2017年10月20日(金)7時 曇り 場所 長野県南木曾町 葉をアルミ箔で部分的に覆う

2017年10月20日(金)16時 曇り 試料の葉を茎から摘み取り、ビニル袋に保管

2017年10月21日(土)13時 雨 場所 愛知県尾張旭市名古屋経営短期大学内

(2) ボイル法の結果

写真2



写真2は、葉を実験用ガスコンロで、湯が緑がかるまでゆで、水で冷やし、濃い紅茶の色のヨウ素液(10倍)に浸し、水洗いしてキッチンペーパーの上に取り出したものである。光に当たった部分が明瞭に変色している。葉は縦8cm程の成熟したものである。

(3) エタノール脱色法

写真3



写真3は、縦10cm程の成熟した葉を湯が緑がかるまでゆで、実験用ガスコンロの火を止め、エタノールにゆでた葉を入れて湯煎。脱色できたら(2~3分)水洗いで冷やし、濃い紅茶の色のヨウ素液に浸し、それを水洗いしてキッチンペーパーの上に置いたものである。光の当たった部分のヨウ素液による変色が明らかである。反応色が濃いため脱色をしても青紫色が判別しにくい、これをスライドガラスに貼り付けて光に透かすと、青紫色がはっきり認められる。



写真4

(4) たたき染め法

写真5



写真5は、葉をろ紙にはさみ、クリアファイルに入れたものをゴムマット上で木づちでたたき、葉の形が現れたところでろ紙から葉をはがし、塩素漂白剤で脱色をしたのちヨウ素液を

写真6 滴下、水でゆすいだものである。ヨウ素液滴下と同時に鮮やかな青紫色が表れてくるため感動的である。写真6はたたき染め法でのインゲンの葉の呈色状況である。



IV 結論

小学校における葉にできたでんぷんを検出する実験は、指導に当たる教員にとって、期待通りの結果が得られにくく、天候や葉の選択の問題から授業の計画が難しいものである。

しかし、本研究の実験で示したように、晴れた日でなくとも葉にでんぷんは形成され、ヨウ素デンプン反応で検出は可能である。また、実験の前日に葉を採取しても茎から切り離していれば検出ができる。葉の選択は特に若い葉でなくても日光が当たっていれば検出に問題はない。このことから教員は天候や葉の選択で惑うことなく授業計画が立てられる。

教科書掲載の実験は、ボイル法、エタノール脱色法とたたき染め法に大別されるが、教科書はそれぞれの手順における操作の意味を実験の要点として指導者にも児童にもきちんと知らせるべきである。ボイル法、エタノール脱色法では、下処理の「煮る、熱湯につける」は「ヨウ素液を浸み込ませるためにゆでる」こと、その際の目安は「ゆで湯が緑がかかるまで行う」こと、下処理あるいはエタノール脱色後の洗いは、「葉の形を整え冷やすために水を使う」こと、ヨウ素液の10～20倍希釈はビールの色でなく「濃い紅茶程度の色に薄めたもの」とするのがよい。これに沿って行った実験では、本文掲載以外の28回の予備実験でもでんぷんの検出が確実にできた。

たたき染めでは、まんべんなくろ紙に葉の成分を浸み込ませることが肝要である。力が伝わりやすく、浸み込み具合が分かりやすく、ろ紙が破れない方法として、ゴムマットあるいは折りたたんだ新聞紙の上で試料の葉をはさんだろ紙をクリアファイルに入れてたたくのがよい。漂白剤で脱色後のヨウ素液滴下では、実に鮮やかな青紫色の呈色を見ることができる。ただ、このろ紙の色は退色してしまうので、ノートに貼って保存することはできない。

ゆでたり、色を抜いたり、ヨウ素液を浸み込ませたりするには、それぞれ数分を要するが、全体では15分程、手間がかかっても20分ほどで実験は完了できる。しばらく待てば必ず反応が出るので、瞬時の反応を期待しないことである。葉のでんぷんの有無をヨウ素液による変色で判断するのであれば、ボイル法で十分であり、反応色の青紫色をとらえさせるのであれば、たたき染

め脱色法が非常に明瞭である。エタノール脱色法で反応色が濃い場合は、スライドガラスに葉を貼りつけて光に透かして見ると青紫色が認められることを申し添える。

謝辞

本研究の調査にご協力いただいた教員の皆様及び関係諸機関に対し深く謝意を表します。

【参考文献】

- (1) 国立教育政策研究所「学習指導要領データベースインデックス」
<https://www.nier.go.jp/guideline/>(2017年6月29日閲覧)
- (2) 文部科学省(2017)「小学校学習指導要領」(平成29年3月公示)
- (3) 加納一輝・田中愛由菜・荒木雅・池田久士・佐藤節子(2015)「小中学校理科教科書に写真で示される実験の実際」『岐阜大学教育学部研究報告(自然科学)』第39巻 pp.19-25
- (4) 山崎光洋(2015)「小学校理科における授業改善の試み」『岡山大学教師教育開発センター紀要』第5号 pp.62-72
- (5) 神奈川県立総合教育センター(2003)『小学校理科Q&A集』p.7
- (6) 富山県総合教育センター デジタル理科室 小学校6学年の教材 B(2)植物の養分と水の通り道 エタノール脱色法で確実にジャガイモの葉のデンプンを検出する方法
<http://digirika.el.tym.ed.jp/>(2017年7月4日閲覧)
- (7) 静岡県総合教育センター(2006)小学校理科 観察・実験集 第6学年 生物と環境
「葉にあるデンプンの検出」<http://www.center.shizuoka-c.ed.jp/>(2017年7月4日閲覧)
- (8) 東京書籍(2017)『新編新しい理科5』、『新編新しい理科6』
- (9) 大日本図書(2017)『新版たのしい理科5年』、『新版たのしい理科6年』
- (10) 学校図書(2017)『みんなと学ぶ小学校理科5年』、『みんなと学ぶ小学校理科6年』
- (11) 教育出版(2017)『未来をひらく小学理科5』、『未来をひらく小学理科6』
- (12) 信州教育出版社(2017)『楽しい理科5年』、『楽しい理科6年』
- (13) 啓林館(平成29年)『わくわく理科5』、『わくわく理科6』
- (14) 大日本図書(2015)『新版たのしい理科6年 教師用指導書朱書編』
- (15) 啓林館(2015)『わくわく理科6 指導書第二部詳説要点編』
- (16) 東京書籍(2015)『新編新しい理科6 教師用指導書朱書編』
- (17) 東京書籍(2015)『新編新しい理科6 教師用指導書資料編』
- (18) NHK for school 「ふしぎがいっぱい(6年)[理科小6] 葉のでんぷん調べ～アルコール法～」
<http://www.nhk.or.jp/rika/fushigi6/>(2017年7月4日位閲覧)

深谷秀次 (名古屋経営短期大学 教授)

山田俊樹 (愛知県尾張旭市教育委員会教育研究室 研究員)