

児童生徒にできる葉脈を用いた転流糖, 無機養分の検出実験 ～植物維管束の働き理解のために～

高田みゆき*¹・坂本祐輔*²・正元和盛*³

Development of New Experimental Methods by Using Veins of a Leaf for Detection of Sugar and Inorganic Nutrients — For Understanding of the Function of Vascular Bundles —

Miyuki TAKADA, Yusuke SAKAMOTO, Kazumori MASAMOTO

(Received October 3, 2011)

We developed new experimental methods for detection of sugar in sieve cells of photosynthetic products and for detection of nitrate ions in vessels by using leaf veins, in order to promote the understanding on function of plant vascular bundles, that is, to learn photosynthesis and “water pathway in plants” in elementary and lower secondary schools. We used leaf veins from petioles of several herbaceous species including annual fleabane, *Erigeron annuus*. Those leaf veins were easily isolated from the petioles, and used as the samples for detection of nitrate ions in them with using kits for examination of water. Nitrate ions in soil were also detected with those kits. If these experiments were introduced in “water pathway in plants” of the learning unit in science classes, then realistic understanding by these experiments on function of transportation of inorganic nutrients in plant vessels would be promoted. The sucrose content in the vein samples was compared with that in mesophyll-cell samples. It was measured with a photometer using a glucose detection reagent on the market, after conversion of sucrose into glucose by invertase. The sucrose content in the petiole veins of annual fleabane was higher than that in leaf mesophyll-cells. The detection method of sucrose was simplified for usage in elementary and lower secondary school science classes, and would promote the understanding of the conversion of starch into sugar. Those methods for detection of sucrose and nitrate ions in the veins of petioles provide new teaching materials for learning translocation of sugar in sieve tubes and translocation of inorganic nutrient in vessels.

Key words: sucrose, nitrate, leaf vein, sieve tube, vessel

I はじめに

陸上植物とヒトのような動物との共通性を見たとき、デンプンを糖に変えて輸送するシステムとそのための構造を持っている。このような生物共通の仕組みを理解することは、植物も動物も基本的に同じ仕組みで生きているという生物概念の学習のために有意義だと考える^{1), 2)}。小・中学校において、植物は光合成で生成したデンプンを糖に変え、維管束の篩部の篩管を通じて運び、成長や繁殖・貯蔵のために使っている^{3), 4)}こと

を、実感を伴って理解させることは、植物の構造と機能の理解のためには大切であると考えられる。

小学校では⁵⁾、5年生の「植物の発芽、成長、結実」の中で種子やジャガイモの中にデンプンが含まれること⁶⁾、6年生の「植物の養分と水の通り道」⁷⁾で光合成により葉でデンプンが作られることを学習する。デンプンが転流糖となり篩管を通じて根や種子などに運ばれ、デンプンとして蓄えられるという輸送のための構造については、発展として教科書にモデル図で養分の流れ

*¹熊本大学大学院教育学研究科 *²・*³熊本大学教育学部理科生物

が示され説明されている⁷⁾。中学校では⁸⁾、第1学年の「葉・茎・根のつくりと働き」で光合成のしくみや維管束の働きについて学習する。教科書には「葉でできたデンプンは、水に溶けやすい物質になり、体の各部に運ばれ、」とある⁹⁾。また、水が道管を通過して植物の体全体に運ばれることは、着色液などを使った吸水実験で確かめられている。けれども、上述のように師管の中を養分(糖)が通ることについては、実験によって確かめられることはなく、図や文章によって説明されるだけである。

転流糖の検出については、ショ糖試験紙を使った実践^{10), 11)}があるが、測定のための試料としての植物葉師部からの抽出液の調整が難しい。また、糖の検出に、ショ糖をインペルターゼで分解してブドウ糖を生成させ、そのブドウ糖を糖発色試薬で検出する実践例^{11), 2)}がある。この時の植物試料としては茎全体をすりつぶしたのを使っているため、師部のショ糖を測定しているという実感が持ちにくい。そこで本研究では、その方法を発展させ葉脈を試料に用い、転流糖の検出実験法を開発した。

植物は光合成産物を糖として師部を通して植物体全体に輸送するが、一方、木部の道管を通して、根から吸収された水や無機養分を蒸散流に伴って植物体全体に輸送する^{3), 4)}。

小学校では、学習指導要領の改訂で水の通り道、蒸散の学習が追加された⁵⁾。教科書⁷⁾でも、発展としてデンプンが水に溶けやすい糖となり師管を通過して運ばれること、水や水に溶けた肥料が道管を通過して運ばれることが記載されており、植物の輸送系の学習について、より詳しい理解が求められている。中学校では、第2分野「植物の体のつくりと働き」の中で、葉、茎、根のつくりの特徴や光合成、蒸散、呼吸について学習する^{8), 9)}。特にこの学習に際して、「茎や根の働きについては、水が根で吸収されること、水は根や茎にある維管束の中の道管を上昇することなどを茎などの断面の観察や実験の結果から理解させる」⁸⁾とあり、効果的な実験が求められている。ただ、教科書に提示されている実験は、色水を使った吸水実験や蒸散量など道管を通る水が中心で、無機養分については、詳しく触れられていない⁹⁾。しかし植物の輸送系を理解する上で、道管を通る無機養分検出実験を行うことは大切であると考えられる。

今回の実験法の開発では、植物が要求する主な無機

養分であること、タンパク質の同化に使われること、窒素循環という自然界でのサイクル面からの理解が得られることなどから、無機養分の中でも窒素に着目して、植物が利用できる硝酸イオン³⁾の検出を行うことが効果的であると考えた。

専門的には、植物体内の硝酸イオン蓄積量測定¹²⁾や、土壌中の硝酸イオンとそこに生えている植物体内の硝酸イオン蓄積量の関係を調べている例¹³⁾があるが、これらは道管を通る硝酸イオンではなく、植物体内における蓄積量を測定したものである。教材活用として、無機養分の植物体への吸収について、水中の硝酸イオン濃度とオオカナダモの生育との関係について調べた報告¹⁴⁾もあるが、この例も硝酸イオンの植物体への取り込みを水中の硝酸イオン濃度の減少で示している。植物体内の輸送系での硝酸イオン量については調べられていない。また、シリコンチューブによる吸水量測定実験とパックテストによる土壌養分の検出により、無機養分の植物体内への取り込みについて学習する実践¹⁵⁾もあるが、これも土壌養分の吸い上げを蒸散と結びつけて類推させた実践であり、道管を通る輸送系については実験で示されていない。

そこで本研究では、植物の無機養分輸送系の理解として、道管の働きについて実感を伴った理解を図るため、葉脈を材料に用いた実験の開発を行った。

II 材料と方法

1 葉脈の採取

(1) 材料

ヒメジョオン(*Erigeron annuus*)の根生葉(8月採集)を用いた(オオバコ(*Plantago asiatica*)の葉(8月採集)、ムラサキカタバミ(*Oxalis corymbosa*)の葉柄(9月採集)でも可)。これらの植物は、身近に見られる植物で入手しやすく、児童・生徒にとってもなじみのある植物である。葉脈を取っていない葉柄の切片(図1A)に比べ、取り去った後の葉柄の切片(図1B)では、維管束の部分がきれいに脱けている。葉脈を使うことで、この実験が植物の輸送系である維管束について調べているという実感を児童・生徒が持つことができる。と考える。

(2) 葉脈の採取方法

オオバコやヒメジョオンの根生葉の葉柄を持ち、軽く引っ張るようにちぎると切り口から葉脈が2~3本出る(図2A)。出てこない場合は、切り口近くに軽く切り

目を入れて、切り口の方向に引っ張るとよい。出てきた葉脈をつまみ、葉の方にゆっくり引っ張り上げると葉脈を取ることができる(図2 B)。

ムラサキカタバミの場合は、葉に近い部分の葉柄に切れ目を入れる。その後、葉脈を切らないように下に引っ張ると、葉脈がとれる(図3)。ヒメジョオンやオオバコ、ムラサキカタバミの葉脈は強く、周りの組織と離れやすい。そのためこの方法で行うと、小学生でも簡単に葉脈を採取することができる。

2 ショ糖検出実験

(1) 試料の作成法

- 1) 葉脈を取り出す(II-1-(2))。葉肉切片は、主葉脈が無い部分から1cm²ほど切りとった。
- 2) 取り出した葉脈、葉肉切片の生重を電子天秤(METLOR TOLEDO AB204 日本ヘイベルヘグナー(株))で量る。
- 3) 葉脈、葉肉切片それぞれをマイクロチューブに入れ、蒸留水0.2mlを加える。
- 4) マイクロチューブの中ですりつぶし、上澄みを他のマイクロチューブに移す。
- 5) 遠心分離器(チビタン HF-120 MILLIPORE)に1分間かける。
- 6) マイクロチューブの底に沈殿がある時は、その上澄みを別のマイクロチューブに移す。
- 7) 保冷剤の上で冷やしておく。

(2) 基本測定法²⁾

- 1) A測定(ショ糖+ブドウ糖測定)：試料0.033ml、インベルターゼ0.02ml(3mg/ml(20%グリセロール))、0.1M酢酸0.02ml、蒸留水0.027ml、をマイクロチューブに入れる(計0.10ml)。

B測定(ブドウ糖測定)：試料0.033ml、0.1M酢酸0.02ml、蒸留水0.047mlをマイクロチューブに入れる(計0.10ml)。

- 2) 恒温器に入れ、37℃で15分間保温。
- 3) 糖発色試薬(グルコースCII-テストワコー、和光純薬)0.9mlを入れ、恒温器37℃、10分間保温。
- 4) 吸光度を測定(分光光度計SP-300, OPTIMA(株))し、検量線を使って糖濃度を計算する。

3 転流糖の検出の簡易実験法

II-2の実験結果から、葉脈ではブドウ糖の含量よりもショ糖の含量の方が高いので、転流糖の検出を小・中学校で実施できるように、試料の作成法や試薬の加え

方、保温処理を簡略化して行う簡易実験法に改良した。小・中学校の段階では、ショ糖とブドウ糖の区別を明確にして実験の意義を理解させる必要はなく、デンプンが糖に分解されて運ばれることを実験で実感し、理解できればよいと考える。そこで、葉脈試料を用いてA測定だけ簡略化して行い、糖発色試薬による色の変化でショ糖の検出を行うことも可能である。

(1) 準備

下記I~III液を調製し、児童・生徒が試薬を加えやすいように、ポリ滴瓶(10ml用)に入れて準備しておく。

- 1) I液：インベルターゼ2ml(3mg/ml(20%グリセロール))、0.1M酢酸2ml、蒸留水6ml。
- 2) II液：0.1M酢酸2ml、蒸留水8ml。
- 3) III液：糖発色試薬。

(2) 実験方法

A測定

- 1) ヒメジョオンの葉柄から、葉脈を2~3本程度取り出し、マイクロチューブに入れる。
- 2) そのマイクロチューブにI液をポリ滴瓶から1滴(約0.05ml)加え、爪楊枝などを使って葉脈が液の中によくつかないように押し込む。
- 3) マイクロチューブを手の中で2分程度温める。
- 4) III液をポリ滴瓶から5滴(約0.25ml)加えて、再び手の中で2分程度温める。

B測定

A測定(2)で、I液の代わりにII液を加える以外は、A測定と同じ。

4 植物葉脈中の硝酸イオンの検出方法

(1) 材料

ヒメジョオン根生葉から葉脈を採取した。生重は、電子天秤(METTLER TOLEDO AB204 日本ヘイベルヘグナー(株))で測定した。

硝酸イオンの検出には、水質検査用パックテスト(簡易水質測定器WAK, WAK-NO₃, 共立理化学研究所)(以後、パックテストと表記)および、簡易水質検査試験紙(アクアチェックN, シーメンスヘルスケア・ダイアグノスティックス(株))(以後、試験紙と表記)を使用した。ともに、付属の標準色表を使用して、濃度を決定した。

植物体への無機養分吸収の液としては、微粉ハイポネックス(ハイポネックスジャパン)(以後、BHと表記)を用いた。

(2) 準備

1) 微粉ハイポネックスの上澄み液の調整

植物に吸収させる液体肥料としてBH液を使用した。これは、一般的な液体ハイポネックスが青色に着色されているため、児童・生徒に肥料の中の無機養分(硝酸イオン)の色は青色であるという誤解を招く心配がある。そこで、無色透明なBH液を使用した。それを以下のように調整した。

- a) BH2.7g(付属スプーン大で、すり切り1杯)に蒸留水100ml加える。
- b) かき混ぜた後、静かに一晩おく。
- c) 透明の上澄み液を別容器に取り分ける(沈殿物は0.4gであった)。

2) ヒメジョオンの水切り

吸い上げ実験に使用するヒメジョオンは、事前に採取し水切りした後、蒸留水につけしばらく置いておく。

(3) パックテストによる硝酸イオンの検出

BH液を吸水させたヒメジョオン根生葉の葉脈を試料とし、硝酸イオンの検出を行った。

- 1) 水切りしたヒメジョオンの根生葉を、マイクロチューブに入れた蒸留水、1/10BH液溶液、BH原液につけ、室内で1時間ほど置く(図4)。
- 2) BH液がつかないように、葉柄をマイクロチューブの口の付近で切って採取する。
- 3) それぞれの葉脈を取り出し、新しいマイクロチューブに入れる。
- 4) 蒸留水を1ml入れ、すりつぶして試料を作る。
- 5) 試料をスポイトでパックテストの中に入れ、硝酸イオンを検出する。

(4) 試験紙による硝酸イオン検出

BH液を吸水させた根付きのヒメジョオンの葉脈を試料として、硝酸イオン検出を行った。

- 1) 根付きのヒメジョオンを採取し、根についている土を洗い落とし、1日蒸留水につけて置く。
- 2) 1)のヒメジョオンを、蒸留水、1/10BH液溶液、BH液の原液につける。
- 3) 葉を採取するときにBH液がつかないように、容器の口をパラフィルムでまく(図5)。
- 4) そのまま室内に置く。
- 5) それぞれの根生葉から葉脈を採取し(2時間、3時間、1日後)、マイクロチューブに入れる。
- 6) 蒸留水を0.25ml(ポリ滴瓶5滴)入れ、すりつぶして試料を作る。

7) 試料の中に試験紙をつけ、硝酸イオンの検出をする。

(5) 葉柄切口のスタンプによる硝酸イオン検出

葉柄切口のスタンプから、硝酸イオン検出をパックテスト中の粉末と試験紙を使って以下の手順で行った。

1) パックテストの中の粉末を使った検出

- a) パックテスト1本中の粉末を蒸留水0.5mlに加えて溶かし(以後、試薬Aと記述)、ポリ滴瓶に入れる。
- b) 水切りしたヒメジョオンの根生葉を、マイクロチューブに入れた蒸留水、1/10BH液溶液につけ、1時間ほど置く。
- c) 葉柄をマイクロチューブの口の付近で切って採取する。
- d) 葉柄の切り口を押しつけて、ろ紙にスタンプする。
- e) スタンプした場所に試薬Aを、ポリ滴瓶1滴(約0.05ml)落として、その色の変化から硝酸イオンを検出する。

2) 試験紙を使った検出

- a) 上記b)c)の手順に、同じ。
- b) 葉柄の切り口を、試験紙に押しつけてスタンプし、硝酸イオンを検出する。

5 土壌中の硝酸イオン検出の方法

自然界の植物は、土壌に含まれている硝酸イオンを吸収して成長していることを示すために、土壌中の硝酸イオン検出を以下の方法で行った。

(1) コーヒーフィルターを使った試料の抽出法

- 1) 土を200g採取し、ドリップのコーヒーフィルターに入れる。
- 2) 蒸留水を少しずつ上から加え、20ml程度の試料を抽出する。
- 3) 抽出した液を硝酸パックテストで調べる。

(2) マイクロチューブを使った試料の調整法

- 1) 採取し、ふるいした土を、2日間乾燥させる。
- 2) 土1gをマイクロチューブに入れる。
- 3) 爪楊枝でかき混ぜながら、マイクロチューブに蒸留水1.5ml入れる。
- 4) 上澄み液に試験紙をつけて、硝酸イオン濃度を測定する。

(3) 土採取場所での硝酸イオン量と植物葉脈内の硝酸イオン量の関係

熊本大学構内の数カ所で、土とそこに生えているヒメジョオンの硝酸イオンを検出した。

1) 採取場所(4カ所)

表1. 葉脈を使ったシヨ糖検出のシヨ糖含量

種類	生重(g)	A測定	B測定	A-B	mgシヨ糖/g組織*
オオバコ* ¹					
葉脈	0.009	0.424	0.093	0.331	14.0
葉身	0.059	0.941	0.741	0.200	1.3
ヒメジョオン* ²					
葉脈	0.005	0.145	0.060	0.085	6.4
葉身	0.025	0.237	0.193	0.044	0.7
ヒメジョオン* ³					
葉脈	0.002	0.259	0.020	0.239	45.5
葉身	0.036	0.484	0.377	0.107	1.1
ムラサキカタバミ* ⁴					
葉脈	0.018	0.919	0.122	0.797	16.8
葉身	0.067	0.706	0.595	0.112	1.6

* mgシヨ糖/g組織：測定条件での試料の吸光度の平均値と組織の生重から計算した。505nmで測定(分光光度計 SP-300)した。*¹：オオバコ(8月採取 曇り)，*²：ヒメジョオン(8月採取 曇り)，*³：ヒメジョオン(10月採取 晴れ)，*⁴：ムラサキカタバミ(11月採取 晴れ)の各3回のサンプルで測定し、平均した。

A：教育学部裏駐車場横，B：音楽棟前花壇，C：運動場トラック脇の草地，D：法・文学部前ツツジ植え込みの下。

2) 実験方法

a) 採取してすぐ、ヒメジョオンの根生葉の葉脈を使ってⅡ-2-(1)に示した4)~7)の手順で試料を作成し、試験紙で硝酸イオン検出を行う。

b) 採集した土をⅡ-5-(2)の手順で、硝酸イオン検出を行う。

Ⅲ 結果と考察

1 シヨ糖検出実験

葉脈と葉肉の生重量あたりのシヨ糖濃度を発色の吸光度として比べると、葉脈の方が高く、葉脈には葉肉の部分より生重あたりにして多くのシヨ糖が含まれていることがわかる(表1)。このことは、葉脈のシヨ糖を検出することで葉脈(維管束)での転流糖の証明になることを示している(ヒメジョオンの測定；図6)。なお、オオバコの葉脈のシヨ糖量は14.0 mgシヨ糖/g組織、葉肉のシヨ糖量は1.3であった。ムラサキカタバミの葉脈のシヨ糖量は16.8、葉肉のシヨ糖量は1.6であった。季節、生育場所、採集時の天気、植物個体によって数値の違いは見られたが、いずれのサンプルも葉肉切片に比べ葉脈での値が大きかった。

葉肉試料の実験ではA測定とB測定の糖発色試薬の

反応の色の違いが、目視でははっきりしない。それに対し、葉脈試料の実験では、A測定とB測定の発色に差があることがわかる(図6)。このことより、葉脈にはブドウ糖のみでなく、シヨ糖が多く含まれることを目視で感じることもできる。また、葉脈を使うことで、取り出した維管束について調べたこととなるので、光合成産物の転流糖輸送の構造理解にもつながると考える。

2 転流糖検出の簡易実験法(図7)

試料の作成法や試薬の加え方、保温処理を簡略化した簡易実験方法でも、A測定では十分に赤く反応し目視することができる(図8)。この時、葉脈試料の量がⅡ-2に示した実験(表1)より多いため、より赤く反応することができるので、児童生徒にとってシヨ糖が含まれていると実感するには適切であると考えられる。また、B測定との違いも明確である(図8)。実験方法や実験器具の取り扱いも簡単であり、約10分程度の短時間で終わらせることができ、小中学校の45分授業の中で十分行うことができる。

葉脈ではブドウ糖の含量よりもシヨ糖の含量の方が高いので、小学校段階では、A測定だけ行えばシヨ糖があることを確認できると考える。また、中学校段階では、より正確な実験を行わせたい場合にはB測定を行うこともできる。

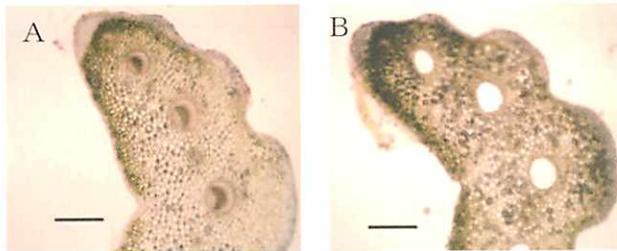


図1 オオバコ葉柄切片

A:無処理. B:葉脈取り去り後. バーは, 0.5mm.

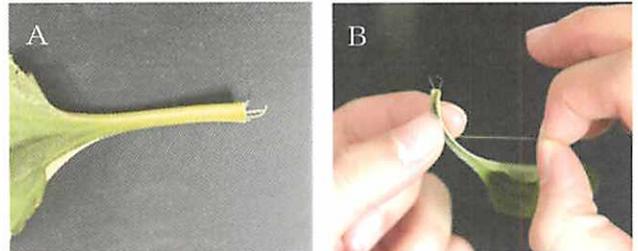


図2 根生葉の葉柄からの葉脈の採取

A:切り口から出ている葉脈. B:葉脈を取り出しているところ.

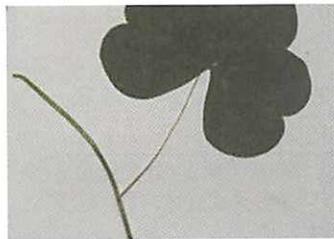


図3 ムラサキカタバミの葉脈

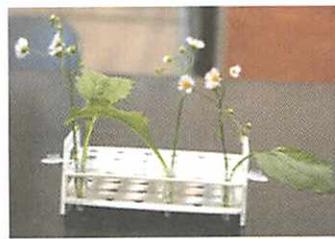


図4 切り挿しヒメジョオンでの無機養分吸い上げ実験

蒸留水(右), 1/10BH液溶液(中), BH原液(左).



図5 根付きのヒメジョオンでの無機養分吸い上げ実験

蒸留水(右), 1/10BH液溶液(中), BH原液(左).

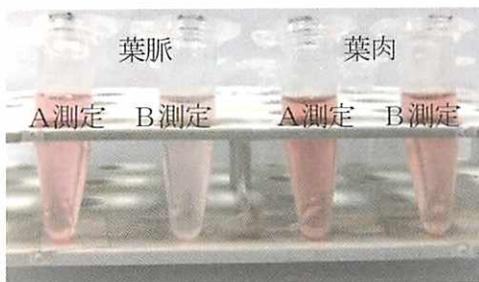


図6 葉脈(ヒメジョオン)を使ったショ糖検出

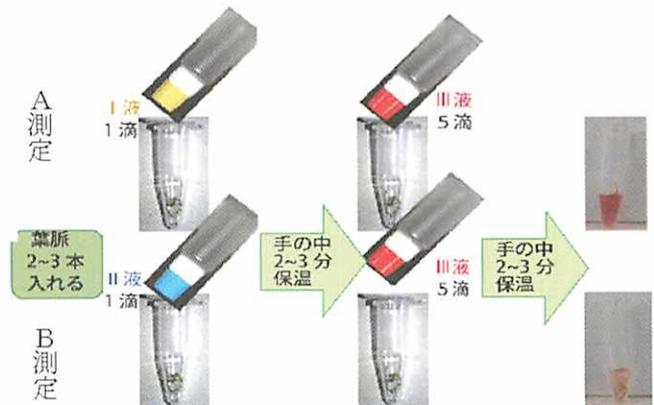


図7 ショ糖検出の簡易実験法

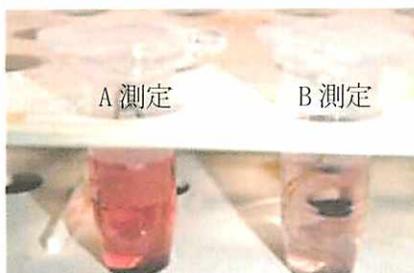


図8 ショ糖検出の簡易実験法(ヒメジョオン葉脈)

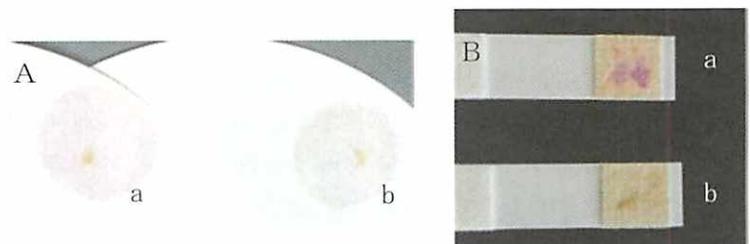


図9 葉柄切り口のスタンプによる硝酸イオン検出

A:試薬A(II-4-(5)参照)を使った検出, B:試験紙による検出. (a:1/10BH溶液に挿したヒメジョオンの葉柄切口をスタンプした. b:蒸留水に挿したヒメジョオンの葉柄切口をスタンプした.)

3 植物葉脈中の硝酸イオンの検出

(1) パックテストによる硝酸イオン検出の実験

BH液に1時間挿したヒメジョオン根生葉の葉脈の生重量あたりの硝酸イオン量を比べると、蒸留水につけたものよりBH液につけたものの方が、硝酸イオンを多く含んでいる(表2)。定性的にも明確な発色が見られ、目視で判断できる。このことより、硝酸イオンが植物体の中の道管を通して輸送されることが推定できる。1時間程度挿しておく結果が確認できるため、朝に挿しておくことで授業で実験ができる。BH液に挿した葉を採取する際に、その葉にBH液が付着すると測定値が高く出るので、付着しないように注意する必要がある。

(2) 試験紙による硝酸イオン検出の実験

根付きのヒメジョオンでも、上記検出実験結果(III-3-(1))と同様硝酸イオンを検出することができ(表3)、硝酸イオンが植物体の中の道管を通して輸送されることが推定できる実験といえる。挿しておく時間が、根無しの茎葉での検出実験と比べ長くかかるので、実験の前日に準備しておくことよい。根付きにしたことで、植物が根から水や無機養分を吸収するという学習内容により近い形で実験でき、より理解しやすい。また、容器の口をパラフィルムでまいたことで、葉を採取す

表2. パックテストによる葉脈の硝酸イオン検出

	葉脈生重(g)	測定量(ppm)	検出量(ppm*)
蒸留水	0.008	10	1200
1/10 BH液	0.014	20	1500
BH液原液	0.011	45	4000

1時間液に挿したヒメジョオン根生葉の葉脈を使って試料1mlを作り(II-4-(3)参照)検出し、測定量はパックテスト付属の標準色で判断した。*1:抽出量1mlと生重から計算。

表3. 試験紙による葉脈の硝酸イオン検出

	硝酸イオン検出量(ppm*)		
	2時間後	3時間後	1日後
蒸留水	0	0	0
1/10 BH液	0	390	250
BH液原液	410	910	2200

根付きのヒメジョオンで実験した。根生葉の葉脈を採取して検出し、測定量は試験紙付属の標準色で判断した。*1:抽出量0.25mlと生重から計算。

る際にBH液が付着するのを防ぐことができる。以上のことから、小学校で実験授業する際は、この方法が適切だと考える。

(3) パックテストと試験紙による葉脈中の硝酸イオン検出の比較

パックテスト、試験紙ともに明確な反応が見られ硝酸イオンの検出ができた。検出濃度については多少違いがあり、硝酸イオン濃度が低い場合は、試験紙の方がパックテストより低い値を示す傾向がある。また、生育場所、季節、植物個体によって数値の違いが見られた。パックテストに比べ試験紙は、操作が簡単で少量の液で検査できる。また、少量であるため試料の色による影響をあまり受けない。使用単価は、パックテストが1本約80円で試験紙が1枚約64円である。これらのことより、小・中学校での実験には、試験紙の方が簡便と考える。

(4) 葉柄切口のスタンプによる硝酸イオン検出実験

パックテスト中の粉末で作った試薬A(II-4-(5)-1)-a)と試験紙の両方で硝酸イオンの検出を行うことができた(図9)。葉柄の切り口を押しつけるだけなので、とても簡単である。特に、試験紙は試薬の調製もなしにすぐ使えるので手軽である。ただ、この実験は植物体内の硝酸イオンの検出であり、維管束に限定されているわけではない。しかし維管束にこだわらず、植物体内の硝酸イオンの検出を行うのを目的とするならば、活用できる。例えば、小学校第5学年で植物の成長と肥料の関係を学習する⁶⁾が、実際に植物が肥料を体内に取り込み成長していることを実感する実験として、このスタンプによる検出は有効であると考える。

表4. 土壌中の硝酸イオン量とそこに生えていたヒメジョオンの葉脈中の硝酸イオン量

場所	土(ppm* ¹)	葉脈(ppm* ²)
A	1.0	2.0
B	2.0	5.0
C	0.0	0.0
D	2.0	2.0

測定値は試験紙付属の標準色で判断した。*¹:抽出量1.5mlと土の重量から計算。*²:抽出量0.25mlと生重から計算。A:教育学部駐車場横、B:音楽棟花壇、C:運動場トラック横の草地、D:法文学部前ツツジ植込みの下。

4 土壌中の硝酸イオン検出

コーヒーフィルターを使って土を水で抽出した試料でも、マイクロチューブを使って調製した試料でも、土壌中の硝酸イオン検出を行うことができた。コーヒーフィルターでの抽出の場合は、蒸留水の加え方などが難しいので、教師が抽出した試料を児童に分けて与え、検出するとよいと考える。また、マイクロチューブの場合は、土の量が少なく操作が簡単で使い捨てできるという点は優れているが、土が少なすぎて硝酸イオンの量が検出限界量に満たないことがある(表4)。そこで、実際に授業で行うときには、プリンカップや紙コップなどを使い、土の量を多くして調製するとよいと考える。

また、土壌中の硝酸イオン量が多いと植物葉脈中の硝酸イオン量も多くなる傾向がある(表4)。このことは、土壌中の硝酸イオン量が多いところに生えているツルクサ中の硝酸イオン量が多くなるという結果^{1,3)}と一致している。従って、自然界の植物は、土壌中に含まれている硝酸イオンを吸収して成長していることを、授業の中で示すには、場所Bのように硝酸イオン量の高い場所を選んで提示した方が効果的であると考える。

IV まとめ

小・中学校理科生物領域での植物維管束の働き理解のために、簡便な実験系として、葉脈を用いて、児童生徒でも可能な光合成産物転流糖(ショ糖)の検出実験法の教材開発、また、植物の「水の通り道」理解のために、道管を通る主要な無機養分である硝酸イオンの検出実験法の教材開発を行った。ヒメジョオンなどの草本の葉柄からは簡単に葉脈を取り出すことができ、その葉脈を試料として用い、そこに含まれるショ糖量を測定し、葉肉部分のショ糖量と比較した。ショ糖をインペルターゼで分解してブドウ糖を生成させた後、ブドウ糖を市販のブドウ糖検出試薬を用いて、光度計で検量できた。ヒメジョオンの葉脈でのショ糖含量は、葉肉部分のそれに比べ、高い値を示した。本実験法を用いることにより、師管を通して運ばれる転流糖(ショ糖)を検出できることがわかった。本実験方法は、小・中学生でも扱えるように簡便な方法で行うことで、小・中学校の授業でも使用可能であり、葉でできたデンプンが糖になり師管を通して輸送され、実や種などに貯蔵されることを推察する実験として導入できると

考える。

また、葉脈を試料として用い、そこに含まれる硝酸イオンを水質検査に使うキットで検出できることがわかった。さらに、土壌中の硝酸イオンも同様に検出できた。これらの実験を「水の通り道」の学習に取り入れることにより、植物の「水の通り道」の働きについて、実感を伴った理解へとつなぐことができると考える。

葉脈ショ糖検出簡易実験法、および葉脈硝酸イオン検出簡易実験法は、葉脈を使うことで維管束を調べているということが実感できる。但し、その部位が師部の師管であることは、補足的に教師が説明する必要がある。また、試料の採取も児童・生徒だけで簡単に短時間で行うことができる。その上で、糖発色試薬による発色の程度を視覚により定性的に確認することもでき、また吸光度計で測定すれば、検量線を使って定量的に測定することもできる。硝酸イオンの定量実験にも同様な発展の展開ができる。

以上のことより、葉脈を使った光合成産物転流糖の検出法は、維管束を通して転流糖(ショ糖)が運ばれるということ、また硝酸イオン検出法は「水の通り道」である維管束(道管)を通して無機養分が運ばれるということ、を検証できる有効な方法であるといえる。また、簡易実験法を用いることで、小・中学校でも実施可能な実験方法でもある。実際、「葉で作られたデンプンは糖に変わり、養分の通り道(葉脈)を通して運ばれる」という学習の検証実験を行った(熊本県荒尾市立A小学校第6学年、平成22年6月実施)。児童は、意欲的に実験を行い、児童の書いたワークシートの中にも「オオバコの実験から、デンプンは糖に変わって葉脈の中を通過していることがわかった。」などの記述が見られ、学習内容を理解できていた。硝酸イオン検出実験法についても、同様な実践検証が求められる。

今回試薬として用いたインペルターゼは酵素であるため、学校現場での調整や取り扱いには多少困難な面があるが、教育センターや理科中核教員などが調整し、近隣学校に配布するという形を取ることで解消できるのではないかと考える。

葉脈を用いた光合成産物転流糖の検出法、無機養分検出法を光合成の学習や水の通り道などの植物の体のはたらきを学習する単元に組み込み指導することは、植物がデンプンを糖に変えて輸送するための構造について、また植物の蒸散と水輸送、無機養分輸送の理解を深める上で有意義であるといえる。さらに、この学

習内容を動物の消化の学習と関連付けることで、植物と動物がともにデンプンを糖に変えて吸収することやその輸送のシステムなどの共通性に気付くことができ、生物を多面的で総合的にとらえることができると考える。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金(基盤研究(C)課題番号22500815)の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 福島恵美子・正元和盛:「小学校における「生き物と養分」の理解を深める光合成と消化の授業構成」, 理科教育学研究, Vol. 48, No. 2, pp. 149-157, 2007.
- 2) 福島恵美子・正元和盛:「デンプン検出のたき染め法と糖の検出法の改良」, 理科の教育:Vol. 56, No. 9, pp. 62-65, 2007.
- 3) テイツ, L., E. ザイガー編(西谷和彦, 島崎研一郎 監訳):「テイツザイガー植物生理学第3版」, 2004, 培風館.
- 4) 福原達人:「植物形態学」, <http://www.fukuoka-edu.ac.jp/~fukuhara/index.html>.
- 5) 文部科学省:「小学校学習指導要領解説理科編」, 平成20年, 大日本図書.
- 6) 有馬朗人ほか:「たのしい理科5年-1」, pp. 18-39, 2010, 大日本図書.
- 7) 有馬朗人ほか:「たのしい理科6年-1」, p. 60, 2010, 大日本図書.
- 8) 文部科学省:「中学校学習指導要領解説理科編」, pp. 63-66, 平成20年, 大日本図書.
- 9) 戸田盛和ほか:「理科の世界1年」, pp. 30-49, 2011, 大日本図書.
- 10) 鈴木隆「小・中学校での光合成産物の移動を検証させる実験系の開発-シヨ糖試験紙を利用するための実験系-」, 理科教育研究, Vol. 27, No. 2, pp. 27-31, 1986.
- 11) 原田美和子:「シヨ糖試験紙を使った実験-同化物質の移動に気付かせる工夫-」, 理科の教育, Vol. 37, No. 11, pp. 50-53, 東洋館出版社, 1988.
- 12) 米山忠克ほか:「植物生体液溶出濃度, 汁液栄養診断の基礎」, 農業及び園芸, Vol. 70, No. 9, pp. 951-957, 1995.
- 13) 愛知真木子:「環境中の硝酸イオンがツユクサ(*Commelina communis* L.)の硝酸イオン蓄積量に及ぼす影響」, 生物機能開発研究所紀要, No. 3, pp. 23-27, 2003.
- 14) 芹田陽, 正元和盛:「熊本市環境水の無機態窒素濃度と水生生物への影響に関する教材開発」, 熊本大学教育学部紀要, 自然科学, 第55号, pp. 9-13, 2006.
- 15) 葛貫裕介, 中西史:「蒸散による水の吸い上げに注目した小学校理科授業の実践」, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, 第8号, p. 169, 2010.