

春の紅葉からみた植物の生育戦略の授業 ～教員養成学部における授業実践とその分析～

柴田 勝・栗田克弘・森戸 幹*

Plant biology lesson on the basis of growth strategy observed by colored leaves in spring
～ The teaching and analysis to improve understanding of plants in the education
department ～

SHIBATA Masaru, KURITA Katsuhiko, MORITO Miki

(Received September 29, 2017)

はじめに

植物は、様々な環境変化に適応するために、巧みな生育戦略をとっている。その一つとして植物の環境適応機構などがあり、身近な植物では「植物のつくりとはたらき」や「植物と環境とのかかわりあい」として観察することができる。新学習指導要領では、生物と環境とのかかわりあいについての見方や考えを養うこと（文部科学省2017a）、校庭や学校周辺の生物観察や身近な自然環境について調べ、様々な要因が自然界のつくりあいに影響していることを理解することが述べられている（文部科学省2017b）。実際に自然を観察して理解することにより、多種多様な環境要因が身近な自然のつくりあいに影響することを学ぶことができる。しかし、理科教員であっても、観察結果を理解し、児童生徒に十分な説明を行うことができていない場面が見られている。生物は環境に順応した柔軟な生育戦略により生きているが、小中学校で学ぶ生物は、単純な生物モデルや理想環境・生物との作用・反作用のみを扱うことから、学習で得られた知識と野外で観察された結果が一致しないことがある。また、植物について「春には紅葉しない」、「常緑樹の葉は落ちない」など、日常経験の感覚からくる誤った認識も一部で定着している。このような事実と異なる認識が起きる原因に基本的な植物についての理解不足があり、代表的なものとして植物の光合成の環境応答が挙げられる。光合成は、植物代謝で最も良く知られた反応であるが、多様な変化を示す自然環境で光合成を維持するには、様々な環境ストレスに適応する必要があり、現在でも盛んに研究が行われている（Kurepin *et al.* 2015, Yoshida *et al.* 2011）。

一方、教育課程における光合成の学びは、小学校では植物の葉への光照射によりデンプンができること、中学校では水や栄養分の移動や貯留などについて「葉・茎・根のつくりとそのはたらき」から基本的な特徴を理解し、それらを光合成、呼吸、蒸散に関係づけた内容となっている。さらに、色素により吸収された光とデンプン合成、葉への物質の出入りについて関係していることが理解できる構成となっている。高校では、光合成器官である葉緑体や電子伝達反応、炭酸固定のカルビンベンソン回路など、化学反応に基づいた代謝を学習している。このように光合成の化学反応式（ $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ）で示すことができる物質の出入りについて、小学校で基礎的な二酸化炭素の吸収、デンプン合成を学び、中学校ではこれら現象を「光合成」という言葉により結びつけられ、高校では生物学基礎を通じて葉による太陽光の受容から還元力生成過程の明反応と炭酸固定の暗反応に分別し、より分子的な理解ができるようになっている。これらの光合成の学びは、個別の反応や現象を理解することに重点が置かれており、実際に野外で植物を観察した時に見られる様々な環境条件下での現象を説明しようとしているわけではない。校庭などの植物を観察する場合、日陰よりも日向に育つ植物の方が大きいのにもかかわらず、日陰の植物の葉の緑色が濃いなど、児童・生徒が疑問を感じる点が数多くある。光合成を行うために光が必要であると学習することから、光が強いほど植物の葉の緑色が濃くなると考えてしまうが、観察結果はその反対に薄くなる場合が多い。このような既習事項から導き出された結論と観察結果の矛盾点を論理的に説明するには、環境変化による植物の応答を考える必要がある。しかし、

* 山口大学教育学部附属山口小学校

植物の光合成と光との関係は、野外植物の観察結果を理解するために重要であるにもかかわらず、ほとんど考慮されていない。実際に教員養成学部の大学生が校舎の南側と北側（日向と日陰）の葉の緑色の深さや形態、生理応答についての違いなどを認識し、観察結果を説明する力が十分とは言えない。さらに、理科の教員には、知識のみならず実験や観察の結果を中心とした考察などを論理的に体系付けて説明する力が求められている。これらのことから、理科を教える教員を目指す学生は、小中学校の履修事項と共に身近な自然の観察結果と知識とを関連付けて整理し、論理的に理解しなければならない。

植物を理解するには、俯瞰的な視点から植物を捉え直すことが有効である。このために単なる知識の羅列ではなく、植物本来の命題である生き残りのための生育戦略の一つとして植物の応答を捉えることで、身近な植物の現象を論理的に説明できる素養を身につけることができると考えられる。これらのことから、現状のような個々の現象を学習して積み上げていく内容に加えて、植物が生き残るためにどのような応答が必要かを逆算的に考えることで、学習で得られた知識と野外で観察された結果を矛盾なく、論理的に説明できるかについて検討を行った。

最初に、小学校・中学校・高校で学んできた光合成に関係する基礎的な事柄の理解度と植物の環境応答を論理的に考えることができるかを調べるために、質問紙調査を実施した。次いで、個々の知識から植物の応答などを考える積み上げ的思考のみではなく、「生物が生き残るために環境応答する」という基本原理からの逆算的思考ができるような授業を行った。植物の環境適応から光合成をとらえ直す授業を行うために、実験・授業に身近な植物の「春の紅葉」を取り上げ、植物が生き残るため（最終目標）の生育戦略の一つとして光合成を位置づけ直し、説明を行った。そして、授業後に植物についての質問紙調査を再度実施し、理解度の変化から、「春の紅葉」などを逆算的に考えることで、従来の知識から身近な植物の環境応答や野外観察の結果を矛盾なく論理的に説明できるかについて検討を行った。

質問紙調査の方法、分析の方法

山口大学教育学部3、4年生の38名（理科選修学生以外）に対して、質問紙による植物の理解度調査を行い、その正答率から現在の光合成に対する知識の定着・理解度を明らかにした。さらに、授業を受けたことにより、植物の環境応答と光合成に対する論理的な思考が獲得されたかについて調べた。調査に質問紙法（二者択一、記述）を用い、授業の前後2回について同じ質問紙により調査を行った（表1）。ただし、授業後の質問には、実

際に身近で観察することができる植物の形態と光合成についての記述式の質問事項を加えた。質問紙では、1～32問を設定し、小学校での学習内容16題、中学校での内容12題、高校（生物基礎レベル）以降に履修する内容4題からの構成とした。さらに、質問項目の内容を4つに大別し内容項目で判断できるように設問1～12は「身のまわりの植物」について、設問13～17は「光合成のはたらき」、設問18～22は「葉のつくりとはたらき」、設問23～32は「葉と色と光の関係」の理解を計る内容とした。回答方法として、「各項目について知っているものには○をつけてください」という指示を行い、制限時間内に回答を求めた。

講義内容

1. 『光エネルギーは炭酸固定以外にも積極的に利用されている』

植物は受ける太陽光はすべてを光合成に使用することはできない。受けた光の一部が葉の表面で散乱され、平均70～90%程度が吸収されている（樹種により大きく異なる）。さらに、吸収された光エネルギーのすべてが光合成に使用されておらず、熱などの非光合成反応に使用されている（Giles & Johnson 2000）。その結果、光合成活性が低い針葉樹などは、太陽光の30%程度しか炭酸固定に使用されていない（M. Kayama *et al.* 2007）。実際に植物は、光呼吸などの反応により、エネルギーロスを積極的に行っており、光合成を維持するために光エネルギーの制御が重要となってくることを解説した。

2. 『植物にちょうどいい光の強さはどれぐらい？』

光合成に使用できるエネルギー量が決まっていることから、日向では光が強く、日陰や曇りの日では光が弱くなる。このため、日陰ではより効率的に光を受ける応答をし、日向では効率的に光エネルギーを熱などにより放出するように応答している。そして、植物にとってこの光利用効率の制御が生き残りのために重要な環境応答となることを説明した。

3. 『強光があたり続けると植物はどのようなになるのか？』

植物にとって光合成に利用可能な光エネルギー以上の強い光が照射された場合、過剰な光エネルギーは光合成の阻害要因となり、最終的に植物は枯死（光障害）に至る（N. Murata *et al.* 2007）。このため、葉が強い光を受けた場合、どのようにエネルギーを光合成（炭酸固定）以外に迂回させ、植物を保護しているのかが重要となる。葉の内部で光エネルギー消去機構の代表的なものとして、過剰となった光エネルギーを熱に変換する機構（キサント

春の紅葉からみた植物の生育戦略の授業

講義の前・後

アンケート実施日 2017年7月14日

学年	選修(学科)				アルファベット3文字	
高校のときに履修した理科の科目に丸(○)をつけてください	物理	化学	生物	地学		
	物理基礎	化学基礎	生物基礎	地学基礎		

以下の文章が正しければ○、正しくない場合は×をつけてください。

番号	質問	解答欄	正答
1	植物の体は、根、くき、花からできている。		×
2	植物は肥料だけあれば成長できる。		×
3	日なたで育てたジャガイモの葉は、日かげのものよりもよくしげっている。		○
4	植物の養分(デンプン)は、主に緑の葉でつくられている。		○
5	日光がよく当たったジャガイモの方がたくさんイモができる。		○
6	葉にできたデンプンは、水にとけやすいものにかえられ、茎を通して体全体に運ばれていく。		○
7	根から取り入れられた水は、茎や葉の中の細い管を通して、植物の体のすみずみまで運ばれている。		○
8	根からくきを通してきた水は、おもに葉から湯気となって空気中でていく。		×
9	植物のからだの中の水が湯気となって出ていくことを蒸発という。		×
10	植物の葉には、水蒸気が出ていく小さな穴がある。		○
11	植物は日光が当たると空気中の酸素を取り入れ、二酸化炭素を出している。		×
12	植物は、動物と同じように絶えず呼吸によって酸素を取り入れ二酸化炭素を出している。		○
13	植物の光合成は、主に葉で行われている。		○
14	葉の細胞に緑色の葉緑体があるために、葉が緑色に見える。		○
15	光合成を行わせた葉の細胞をヨウ素デンプン反応で染めると、葉緑体と核が青紫に染まる。		×
16	植物の葉は、太陽光があたると二酸化炭素を吸収し、酸素を放出する。		○
17	光合成は、太陽光を用いてデンプンから水と二酸化炭素を作り出すはたらきである。		×
18	多くの植物の葉は、裏面と表面で異なっている。		○
19	二酸化炭素、酸素、水蒸気は、気孔から出入りしている。		○
20	気孔から蒸散されている水は、根から吸い上げられ、茎を経て葉脈を通り葉にとどいている。		○
21	葉の縦断面は、表側からは、表皮→きれいに並んだ細胞(柵状組織)→乱雑に配置された細胞(海綿状組織)→表皮(裏)の順となっている。		○
22	茶色くなった落葉は、光合成を50%以上保持している。		×
23	秋に紅葉する葉の多くは、落葉する。		○
24	秋の紅葉は、生育環境とほとんど関係ない。		×
25	多くの樹種で、春に新しく展開する葉は緑色の他に赤い葉(紅葉)が見られる。		○
26	春に若葉が紅葉する葉は、すぐに落葉する。		×
27	植物の葉の紅葉と光合成は密接に関係している。		○
28	植物の葉が白いところ(斑入り)に光があたっても、デンプンのはできる。		×
29	植物の葉は、上から見るとお互いに重ならないように付いている。		○
30	植物はお互いができるだけ重なり合わないように生育している。		○
31	日陰の植物より日向の植物の方が、緑色が濃い。		×
32	葉の色は、その植物の生育光環境と光合成の関係に強く依存する。		○

図1 植物についての質問紙および正答表

トフィルサイクル)があり、光合成を行う重要な反応中心の保護を行っている(Verhoeven *et al.* 1997)。実際に、熱放散の機構が働かない植物(*npq1*変異体)は、弱い光では生育することができるが、太陽光などの強い光で生育が強く抑制され、枯死することが知られている(N.Murata *et al.* 2007)。過剰なエネルギーを制御できないと植物の生育に不利になること、普段の太陽光でも植物にとっては十分に強い光であることを説明した。

4. 『植物にとって光はエネルギー源であり、最大のストレス源にもなる』

学校では、植物にとって光は必須であるが、ストレスにもなることを学んでいない。このため、キュウリの低温光阻害(PSI阻害)などを例に、最大の環境ストレスの一つが光であることを説明した。葉緑体で生成する還元力により二酸化炭素と水から有機化合物を作ることができるが、光合成で消費しきれない還元力は、酸素と反応(または直接酸素を励起)して、生体にとって毒性の強い活性酸素(ラジカルなどの分子種)となり、タンパ

ク質や脂質などを酸化させ、最終的に植物を枯死させる。適度な光の強さは植物にとってエネルギー源にもなるが、過剰な光は強いストレスとなることを解説した。

5. 『日中の光は、植物にとって強い光？弱い光？』

光合成での炭酸固定のカルビンベンソン回路は酵素反応であるために、利用できる光エネルギー量（還元力）は、温度により変化する。このために、生育温度が低いときは炭酸固定によるエネルギー消費が少なく、高いときと多くなる傾向がある。また、塩や乾燥などの環境ストレスでも光合成活性が抑えられることから、同じ光強度でも、環境条件により受ける光が強光や弱光となる。また、芽吹いたばかりの葉やまだ完全に展開していない未熟な葉は、光合成を行う葉緑体が未発達のために、成熟した葉の葉緑体よりも光合成活性が低い。このために、比較的、弱い光であっても、光阻害を起し枯死する場合がある。樹種によっては葉の生長ステージにより、光阻害が起こりやすく、遮光しなければ生育できないような場合がある。植物は、葉の層状構造や階層構造を利用して葉の内部を保護するために表面に光をさえぎる色素を含む細胞を並べるか、他の成熟した完全展開葉の陰になるように配置するなどにより受ける光の量を調節していることを説明した。

6. 『紅葉と光と光合成の関係』

紅葉とは、落葉樹の葉が黄色や赤色に呈する現象である。温帯地域の落葉樹は、秋季に葉を黄色や赤などの鮮やかに変色させ、その後落葉する。さらに、身近な樹木の紅葉には、カエデ類の紅葉やイチョウの黄葉などの秋季の紅葉以外に、春や夏にも紅葉する樹木が数多くある。実際に春の若葉が、緑色ではなく、赤色を呈しているものが校庭や街路樹、庭木などの身近な樹木にも見ることができる。小中学校や公園に植栽されている樹木が、秋以外に春や夏にも紅葉している、「紅葉は秋のみ」との考えから「春の紅葉」はほとんど認識されていない。さらに、「紅葉後に落葉する」との思いから、春や夏などの紅葉を認識しづらくなっている。しかし、紅葉が光合成と環境が密接に関係していることから、光合成を光との関係で捉えなおすことで、秋だけではなく春の紅葉を理解することができることを説明した。春の紅葉は、葉の内部に強い光が入るために起こる光合成の光阻害を防ぐために、葉の表面のみを赤色色素で覆い、内部に光が届かないようにしている。春紅葉の横断面を観察すると表面の柵状組織の一層目に赤色色素であるアントシアニンが蓄積し、より内部の柵状組織や海綿状組織の細胞は緑である。このように生育段階に応じて環境条件に最適化された光合成の機構維持が行われている。しか

し、既習の知識では「これから大きくなる葉では光合成活性が高いとよい」と考えるために、若葉は赤色ではなく、より深い緑色をしていなければならないと考えてしまう。このように自然環境で身近に観察される現象との違いを説明するために、植物の光合成には光が必要だが、強すぎる光は細胞を破壊するストレスになること、そして、葉に照射される適切な光の強さをどのように調整すればよいかを考える視点を重要であることを説明した。

結果と考察

理科は他の教科に比べて教科書の知識のみならず実験結果などを基に考察を行う必要がある。特に生物学では野外観察により得られた知見から、生物と環境とのかかわりあいなどについて学ぶことが多い。教員養成学部の大学生が、小学校、中学校、高校（以上）で学ぶ光合成についての理解と、それらを関連付けて論理的に思考できているかを調べるために質問紙調査を行った。さらに、現状のような個々の現象を学習して積み上げていく内容に加えて、植物が生き残るためにどのような応答が必要かを逆算的に考えることで、学習で得られた知識と野外で観察された結果を矛盾なく、論理的に説明できるかについて検討を行った。

質問紙調査を表2および表3にまとめた。表2は、小学校、中学校、高校以上で履修する科目の学習内容の定着を問う設問であり、表3は各学年の単元内容に沿った区分に対する設問として、授業前後の正答率およびその変化を示している。学生は小学校および中学校で学習する内容のおよそ80～90%を理解し、授業の前後においてもその理解度に違いは見られなかった（表2）。これは、大多数の学生では小学校、中学校での学習の理解が保障されていたこと、そして、少数の基礎的な理解度の低い学生に授業の効果が得られなかったことを示している。実際、予備調査として小学生6年生に葉の色と環境、光合成との関係について1時間授業を行ったところ、ほとんどの生徒で春の紅葉の現象を認識し、説明できるようになっていた。表1の高校以上の知識・考え方を必要とする設問では、その正答率は授業前で 0.53 ± 0.90 と低かったが、授業後は 0.90 ± 0.21 と上昇し、小・中学校の設問と同程度までの正答率を示した。これは、植物が自然界で生き抜くための適応を考えることで、光合成や葉の特徴を論理的に逆算思考ができ、実体験に沿った身近な植物と矛盾することなく理解できたと考えられる。そして、理解度が得られなかった学生は、中学生までの学習理解が不十分なために、論理的な思考自体ができなかった。さらに、他学部において理科の教員を目指す学生においても同様の結果が得られた。

学校の設問1題（設問8）、中学校の設問2題（設問15, 31）、高校以上の設問3題（設問25~27）であった。この6題のうち設問8（小学）のみが正答率が低く、授業前後で変化がみられなかった。設問8「根から茎を通ってきた水は、おもに葉から湯気となって空気中に出ていく」は、植物の蒸散についての理解を計る設問である。葉からの水蒸気の放出が常温で行われているが、本設問の「葉から湯気」は蒸気の温度が高いことを示している。このため、一部の学生は、内容を正確に読みとれていない、または、葉が太陽光により温まり水蒸気が出ているとの誤認識から正答率が低くなった可能性がみられた。設問15（中学）はヨウ素デンプン反応で染まるオルガネラを問う設問である。授業前の正答率が46%であり、回答に正答率の期待値が0.5であることから、葉緑体以外にミトコンドリアもヨウ素で染色されると考える学生がいることが分かった。また、授業後に正答率が46%から35%と大きく低下したことから、この低下はもともとヨウ素デンプン反応が葉緑体の同化デンプンを呈色させることを理解していない、または、葉緑体ではデンプンが合成されるが、核ではされないという理解が不十分なまま回答したと考えられる。さらに、授業前の調査で本設問の不正解の学生が授業後に正解することはなく、葉緑体とミトコンドリアの機能的な差異を基本的に認識していなかった。設問31（中学）は、「日陰の植物より日向の植物の方が、緑色が濃い」であり、授業前の正答率は38%、授業後77%と上昇していた。この設問は、光合成の光阻害や光環境に対する適応を理解しなければ答えられない問題である。光合成にとって太陽光が必要であることは知っているが、光を吸収する植物の緑色色素（葉緑素、クロロフィル）が濃いほど、光合成活性が高いと間違えた認識をする児童・生徒（小中学生）が一定数いることが分かっている。同種の植物を観察した場合、日陰の植物の緑色のほうが濃いのは、日陰に生育した植物はより効率的に多くの光を集める必要があるために、色素量を増加させている。一方、日向の植物は光合成で利用される以上の光が葉で吸収されないように、日陰の植物ほど色素を大量に蓄積しない。このように、今まで学習してきた植物と光の関係からでは、植物の色ですら説明できなかったが、植物がどのように光を集めて、効率的に利用するかを考える視点を持つことで、十分に理解、説明できる内容になることが明確となった。

設問25~27は、紅葉を題材として光合成と光、身近な葉の季節適応について問いかけている。設問22~24の高い正答率から、多くの学生は落葉樹が秋に紅葉し、その後に落葉することを知っている。しかし、同じ紅葉でも「春の紅葉」は、普段見かける樹木にも観察できる身近な現象であるが、「紅葉は秋」という固定概念が形

成されているために、春の展開途中の葉や未成熟な葉が赤くなっていることに気がつきにくくなっていた。このため、授業として学内の樹木の観察を行い、ハマヒサカキ、トウカエデ、ニシキギ、アセビ、アベリアなど一部の葉が、多くの場合、表面は赤色であるが裏面は緑であること、葉をかき分けた樹冠部奥の新しく出ている葉は表面に出ている赤色の葉とは違い、緑色であることなどを観察し、それらの違いについて光合成と光の関係から説明を行った。光エネルギーを利用して炭酸固定を行うには、様々な酵素、電子伝達反応を行うために葉緑体構造（膜のスタッキングなど）やタンパク質の配置（スーパーコンプレックス構造など）が必要となることから、未発達な構造や色素・タンパク質がアンバランスな葉緑体では、受光したエネルギーを効率よく光合成で利用できず、野外の光は幼葉にとって非常に強い光となる（N.Murata *et al.* 2002 & 2007）。その結果、多くの光エネルギーが過剰エネルギーとなり、光合成の阻害（光阻害）が起きやすい状態となる。つまり、春に新しく萌芽する新梢の幼葉では、十分な光合成活性能力が得られていないために、野外の光は幼葉にとって非常に強い光となり、光合成の阻害（光阻害）が起きやすくなっている。早春の幼葉を保護するために、葉に入射される光の量を減らす必要がある。このために葉の表層の柵状組織に色素を蓄積させることで、その下にある重要な内部組織に入射される光強度を低下させ、葉の内部（葉肉組織）に強い光が入らないように光量をコントロールしている（Y. Manetas *et al.* 2002）。葉に入る光を軽減させるための遮光ネットの傘としての赤色のアントシアニンが合成されているために、葉の表面だけが赤く見える（Karageorgou *et al.* 1997）。また、アントシアニンとクロロフィルの吸収スペクトルは光合成有効波長（400~700nm）とオーバーラップし、効率的な減光フィルターとして機能することが知られている（大谷 1985）。このような一連の流れにより、春の紅葉とともに秋の紅葉との違いについて観察およびその論理的な展開を学ぶことで、野外植物の現象を論理的に理解できるようになっていた。ただし、「秋の紅葉」は秋季しか採取できないために、ホルトノキの紅葉が秋の紅葉と同じ状態を示すことから、「秋の紅葉」としてホルトノキ、「春の紅葉」としてトウカエデ（またはアベリア）を観察し比較を行った。「春の若葉の紅葉」は落葉せず、葉が完全に展開し葉緑体が発達したのちに緑色に変化する。このため、春の紅葉は、これから生きようとする植物が自分を守るために獲得した環境応答の一つであり、冬を越すための「秋の紅葉」とは異なる植物の巧妙な生き方である。このような観察を含めた授業を行うことで、設問25~27の正答率は約90%にまで上昇した。

一方で、授業により正答率が5%以上低下した設問3, 5, 15, 17, 23, 24, 28があった。特に正答率の低下が大きい設問5「日光がよく当たったジャガイモのほうがたくさんのイモができる」は、身近な植物の光合成が多様であり、植物種により光合成活性が大きく異なることを考慮しない場合に、間違える可能性がある。授業前は、太陽光が光合成にとって必要であり、光合成活性が高いほど多くのデンプンが合成され、イモがたくさんできると考えていたが、授業では強すぎる光は植物の枯死原因にもなることを理解したことから、露地でのジャガイモの葉も強光による光阻害が起こりやすい状況だと考えていた。しかし、ジャガイモのような光合成活性が高く、糖転流の活性も高い植物が光をより多く要求する植物は、樹木のような光合成活性の低い植物に比べて、強光が照射されても光阻害が起こりにくい。授業を受けることで正答率が低下したその他の設問も同様に、光が植物にとってストレス因子になることが理解されていた結果、間違えたと考えられる。このような授業を受けることで学生の理解が混乱することを防ぐために、樹木は光合成活性が草よりも低いとすることで、論理展開の矛盾を抑えることができる。実際に春の紅葉の代表的なものすべて樹木である。

植物の身近な環境応答である「春の紅葉」「日陰の緑」などは、小中学校で学習する光合成の原理に環境・植物の関係を加え、逆算的に考えることで、野外での観察をある程度、論理的に考え、説明できることが分かった。生物と環境について身近な自然環境について調べ、様々な要因が自然界のつりあいに影響していることを理解することが求められていることから、「春の紅葉」などの生物の環境応答を理解することは有効だと考えられる。

まとめ

理科で扱う内容については、教科書の知識のみならず実験結果などから論理的に考察を行う必要がある。特に生物学では野外観察により得られた知見から、生物と環境とのかかわりあいなどについて学び論理的に思考することが多い。身近な自然環境について調べ、様々な要因が自然界とのつりあいに影響していることを理解するために、小学校から大学までの長期にわたり学習する光合成について注目した。植物分野において主要な代謝である光合成について、教員養成学部の大学生が、小学校、中学校、高校（以上）の内容をどの程度理解し、それらに関連付けているかを明らかにするために、質問紙調査を行った。

教員養成学部の学生への質問紙調査の結果から、光合成のためのガス交換や太陽光、デンプン合成について理

解の定着が認められた。しかし、「秋の紅葉」は幅広く認識されているが、萌芽期における「春の紅葉」については、身近な植物の光合成の応答にもかかわらずあまり認識もされていなかった。さらに、観察して得られた結果を論理的に思考する力が弱い学生が目立った。このため、授業で小学校から高校までの光合成にかかわる簡単な学習項目について授業を行い、再度、質問紙調査を行った。その結果、小中学校で学習する光合成の原理に環境・植物の関係を加えて、植物が生き残るためにどのような応答が必要かを考慮することで、大学生は従来の知識から身近な植物の環境応答や野外観察の結果を矛盾なく論理的に説明できることが分かった。

理科の教員には、知識のみならず実験や観察の結果を中心とした考察力や論理的に体系付けて説明する力が求められている。そのために教員を目指す学生は、知識のみならず、身近な自然に見られる植物の観察結果との関係を整理し、理解しなければならない。その一つの方法として、個々の現象を学習して積み上げていく内容に加えて、植物が生き残るためにどのような応答が必要かを逆算的に考えさせることが有効であり、従来の知識から身近な植物の環境応答や野外観察の結果を矛盾なく論理的に説明できることが明らかとなった。

引用文献

- Giles K.M. & Johnson N., Chlorophyll fluorescence - a practical guide, *Experimental Botany*, 51, pp659-668, 2000.
- Kayama M., Kitaoka S., Wang W., Choi D. & Koike T., Needle longevity, photosynthetic rate and nitrogen concentration of eight spruce taxa planted in northern Japan, *Tree Physiology*, **27**, pp1585-1593, 2007.
- Karageorgou P. & Manetas Y., The importance of being red when young: anthocyanins and the protection of young leaves of *Quercus coccifera* from insect herbivory and excess light, *Tree Physiology*, 26, pp613-621, 2006.
- Kurepin LV, Ivanov A, Verhoeven A.S., Demmig-Adams B. & Adams III W. W., Enhanced Employment of the Xanthophyll Cycle and Thermal Energy Dissipation in Spinach Exposed to High Light and N Stress, *Plant physiology*, **113**, pp817-824, 1997.
- Manetas Y., Petropoulou Y., Psaras G.K. & Drini A., Exposed red (anthocyanic) leaves of *Quercus coccifera* display of shade characteristics, *Functional Plant Biology* **30** (3) 265-270, 2007.
- Manetas Y., Drinia A., Petropoulou Y., High Contents of Anthocyanins in Young Leaves are Correlated with Low Pools of Xanthophyll Cycle Components and Low Risk of Photoinhibition, *Photosynthetica*, **40**, pp349-354, 2002.

- Murata N., Takahashi S., Nishiyama Y., Allakhverdiev S.I.,
Photoinhibition of photosystem II under environmental stress,
Biochimica et Biophysica Acta – Bioenergetics, **1767**, pp414-
421, 2006.
- Sprgeon S. L. & Porter J.W., in “The Biochemistry of Plants”,
vol.4, ed. By P.K. Stumpf, Academic Press, New York, 1980,
p419.
- Yoshida K., Watanabe CK, Hachiya T, Tholen D, Shibata
M, Terashima I, Noguchi K., Distinct responses of the
mitochondrial respiratory chain to long- and short-term
high-light environments in *Arabidopsis thaliana*, *Plant Cell
Environment*, **34**, pp618-628, 2011.
- Zaman M, Pharis RP, Allakhverdiev SI, Hurry V, Hüner NP,
Stress-related hormones and glycinebetaine interplay in
protection of photosynthesis under abiotic stress conditions
Photosynthesis Research, **126**, pp221-235, 2015.
- 文部科学省 (2017 a) 『小学校学習指導要領』
[http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/___
icsFiles/afieldfile/2015/03/26/1356250_1.pdf](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/___icsFiles/afieldfile/2015/03/26/1356250_1.pdf)
- 文部科学省 (2017 b) 『中学校学習指導要領』
[http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/___
icsFiles/afieldfile/2015/03/26/1356251_1.pdf](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/___icsFiles/afieldfile/2015/03/26/1356251_1.pdf)
- 大谷俊二, 紅葉の化学, 化学と生物, 23 (11) , 701-708, 1985.