

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K03246

研究課題名（和文）植物の表現型可塑性に着目した環境教育教材開発のための基礎研究

研究課題名（英文）Fundamental Research on Environmental Education Teaching Materials Focusing on Plant Phenotypic Plasticity.

研究代表者

佐野 史（Kumagai-Sano, Fumi）

群馬大学・共同教育学部・教授

研究者番号：30313018

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,500,000円

研究成果の概要（和文）：オオカナダモの表現型可塑性を環境教育の教材として活用する方策を見いだすため、基礎研究として、オオカナダモが表現型可塑性を示す条件を特定することを目的として研究を行った。“休眠芽”の形成条件は特定することができなかったが、頂芽の除去と通気によって発根を促進できることがわかった。またこの研究の過程で、オオカナダモが体細胞分裂の観察実験や頂芽優勢の実験など、さまざまな分野の教材に活用できる材料であることが見いだされた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境教育の一環として、外来生物の「強さ」を実感させることは重要であると考え、実験的に実感できる教材はあまり見られない。本研究では理科の実験用植物として子どもに身近であり、一方で重点対策外来種にもリストアップされているオオカナダモを環境教育の教材として活用できる可能性を検討するため、オオカナダモが表現型可塑性を示す条件を検討した。結果として、頂芽の除去やアクアリウム用のエアポンプによる通気という、学校現場でも扱いやすい方法で発根を促進できることがわかったことから、今後、講義部分からの展開も含め、外来生物の「強さ」を実験的に実感できる新たな環境教育の授業パッケージに発展させられると考える。

研究成果の概要（英文）：In order to identify strategies for utilizing the phenotypic plasticity of *Egeria densa* as educational material in environmental education, we conducted research with the aim of determining the conditions under which *E. densa* exhibits phenotypic plasticity. Although we were unable to specify the conditions for the formation of “turions”, we found that root growth can be promoted by removing apical buds and ensuring proper aeration. Furthermore, during the course of this study, it was discovered that *E. densa* can serve as valuable material for various educational purposes, including observing cell division and studying apical dominance.

研究分野：植物細胞学

キーワード：オオカナダモ 発根 休眠芽 教材 環境教育

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

学校での環境教育の必要性は年々高まっており、子どもたちに生物多様性やそれを維持するための環境保全の重要性を認識させる方策が求められている。理科の生物分野においては、環境教育の方策の一つとして、学校内外で野外活動を行い、生物の存在そのものや近隣地域における生物の多様性を改めて認識させることがしばしば行われる。その過程では、外来生物を見つけることも多くあると思われる。

外来生物については、特に近年ヒアリやセアカゴケグモなどヒトに害を及ぼす外来生物の問題が報道されていることから、子どもにも「外来生物は危険なもの」という認識があると考えられる。しかしヒトに害を及ぼすことは外来生物の問題の一部に過ぎず、別の大きな問題として、地域本来の生態系を破壊し、生物多様性に影響を与える危険性が挙げられる。このことを子どもに認識させる方策の一つとしては、外来生物の『強さ』を子どもたちに示すことが考えられる。しかし、外来の植物が激しく繁茂している様子を野外で確認する試みはあっても、実験的に実感する教材の報告は乏しかった。

2. 研究の目的

外来生物の「強さ」を実験的に実感する教材として、身近な外来生物が表現型可塑性（環境に合わせて遺伝子の改変を伴わずに表現型を変化させること）を示して生き延びようとする様子を観察する教材が考えられる。そこで本研究では、理科の実験用植物として小中学校の多くで栽培されており、子どもにとって馴染み深い外来植物の一つであるオオカナダモ (*Egeria densa*) を環境教育の教材として応用するために、オオカナダモが表現型可塑性を発揮する条件を特定することを目的とした。

オオカナダモはもともと理科の実験用植物として南米から日本に持ち込まれたのち野生化しており、環境省および農林水産省が作成した「生態系被害防止外来種リスト(2015年3月26日版)」において「重点対策外来種」に選定されている『強さ』を持つ外来生物であるが、子どもの実感としては“理科室の水槽の中にある植物”であり、外来生物としての認識はあまりないと考えられる。そのような植物の「強さ」を実験的に実感することができれば、野外での調査において外来生物が繁茂する様子を見た際に、より危機感をもって接するようになることが期待される。

オオカナダモは切れ藻による栄養繁殖のみで旺盛な増殖を示し、多少の環境変化は“休眠芽”を形成して乗り切ったり、水中の二酸化炭素の存在状態に合わせて光合成様式を変えたりするなど、さまざまな表現型可塑性を示す。本研究では、当初、“休眠芽”の形成、切れ藻の定着のための発根、光合成様式の変化の3点について、表現的可塑性を示す条件を特定することを予定していたが、結果的に前2点について主に研究することとなった。

3. 研究の方法

オオカナダモが示す表現型可塑性として、環境の変化に応じて(1)“休眠芽”を作ること、(2)発根することを中心に、学校現場でも可能な方法で変化を誘導できる条件を特定するため、以下の方法で実験を行った。

実験材料には、ペットショップで「アナカリス」として販売されているオオカナダモを用いた。購入したオオカナダモは北側の明るい窓際(5月の光量子束密度は約 $30 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)に置いた水槽に浮かべ、適宜水を取り替えながら栽培した(以下、「通常栽培」と呼ぶ)。研究全体を通じて光量子束密度の測定には IKS-27(小糸工業)、水温の測定にはサーモクロン G タイプ(KN ラボラトリーズ)を用いた。

(1) 休眠芽の誘導条件の検討

オオカナダモは冬季及び夏季に“休眠芽”と思われる、通常の葉よりも幅が広くて色が薄い葉を、茎に沿う向きに密につける形態に変化することがある(図1、赤矢印より先端側)。この変化の誘導条件を検討するために、人工気象器(LM-120S、日本医科)内で明暗周期と温度を変化させて観察を行った。また、通常栽培において生じたオオカナダモの“休眠芽”と通常の成長時の葉について、光合成測定装置(miniPPM-300、EARS P2M)を用いて光合成の特徴を調べた。

(2) 発根の誘導条件の検討

オオカナダモの発根は、切れ藻となる際に生じることが予想された。そこで腋芽を生じやすくするために、個体を切断して栽培し、発根が起こるかどうかが観察した。また、流れを経験させるために円形の水槽に入れ、ダブルシェーカー(NR-3、タイテック)で旋回振とうしながら栽培した。通気しながら栽培する際にはアクアリウム用のエアポンプ(eエア-1000SB、ジェックス)を用いた。明るさのみを制御して栽培する際には育成棚(CR-300L、トミー精工)を用いた。

4. 研究成果

(1) “休眠芽”の誘導条件の検討

予備的な観察から、オオカナダモは冬季と夏季に“休眠芽”を形成することがあることがわか

っていた。そこでまず、人工気象器内で人為的に冬季の環境を模倣することを試みた。しかし、通常の形態を示していた個体を 12 で明暗 12 時間ずつの条件、12 で明 10 時間-暗 14 時間の条件、18 で明 10 時間-12 で暗 14 時間など、実験室内の冬季を模した条件で栽培しても“休眠芽”は形成されず、オオカナダモが冬季と感じる環境を再現することができなかった。

そこで今度は夏季の環境を模倣するために、通常栽培において“休眠芽”が形成されていた 8 月に水槽の水温を測定したところ、一日の中で 25 から 32 の間を推移しており、水温のピークが 16 時から 19 時にあることがわかった。しかし、人工気象器で 30 、連続光照射条件で栽培したが、“休眠芽”は形成されなかった。

また、通常栽培中に水深が浅い水槽でのみ“休眠芽”が形成されていたことから、人為的に水深を浅くしてみたが、“休眠芽”は形成されず、水深だけでは誘導されることがわかった。

以上のように、今回の研究では、“休眠芽”を誘導できる条件を見いだすことができなかった。

そこで、オオカナダモの“休眠芽”が通常の葉を持つ部分とどのように違うのかをあらためて把握し、誘導条件の特定の手掛かりを得たいと考えた。オオカナダモの“休眠芽”は通常の個体の頂芽がそれまでと異なる葉をつけることで生じる(図 1、赤矢印より先端側)。“休眠芽”といっても成長が完全に止まるわけではなく、色は薄い緑色を示しており、光合成も行っている可能性がある。そこで図 1 に示した個体で“休眠芽”と通常の葉の部分における光-光合成曲線を調べてみたところ、光合成活性がピークとなる光強度が両者の間で若干違うことがわかった。今後、計測数を多くして、違いを確認したいと考えている。

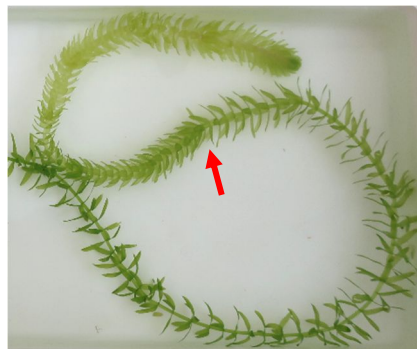


図 1 通常栽培中の冬季に生じた“休眠芽”

(2)発根の誘導条件の検討

オオカナダモを水槽で栽培していると、腋芽が存在する位置で時折発根が認められる。オオカナダモの腋芽は全ての節には見られず、8~11 節に 1 カ所の割合で肉眼でも認識可能な数 mm の葉が閉じた状態で存在するため、通常売られている 20 cm 程度の個体には 3、4 個の腋芽が認められる。通常栽培のもとでは全ての腋芽の場所から発根していることはほとんどなく、何らかの誘導条件があることが考えられる。

オオカナダモは沈水性の植物であり、周囲に水は潤沢にあるため、発根する理由は吸水のためとは考えにくい。そのため、発根する理由を切れ藻が適当な環境のところに定着するためと仮定して実験を行った。

まず切れ藻の状態を再現するために、5 個体を半分に分断し、頂芽を含む断片(上半分)と含まない基部側の断片(下半分)とを別の水槽に分けて通常栽培を行った。すると 1 カ月半後には、下半分では 5 個体中 4 個体で発根していたが、上半分で発根していたのは 1 個体のみであった。この結果から、人為的な個体の切断によって切れ藻の状態は再現できたが、上半分では頂芽優勢が働いて腋芽が成長できないために発根が抑えられていたことが考えられた。

また、切れ藻は栄養繁殖の手段であるため、生息域を広げるために、水流があると発根が促進されるのではないかと考え、旋回振とうによって水流を経験させてみたが、旋回振とうを経験していない個体と比べて発根に大きな違いは見られなかった。

一方、本研究の一環として光合成様式の変化の誘導方法を特定するために、明暗 12 時間の光条件のもと、エアープンプで通気して栽培したところ、全ての腋芽の位置に発根していることを見いだした。しかも通気していた場合、1 カ所から数本の根が生じることも多く、成長した腋芽に二次的に生じた腋芽の部分から発根していることもあった。さらに連続光(70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)照射下で通気しながら栽培したところ、23 日後には 1 カ所から最大 8 本の根が生じていた(図 2)。なお、図 2 で根が縮れているのは、この実験の際にたまたま浅い水槽を用いていたため、根の先端が水槽底に到達して接触屈性を示したためと考えられる。



図 2 通気、連続光条件で誘導された根

これらの結果を受けて、先端から 1 cm までを除去して頂芽優勢を打破した状態の個体を用意し、連続光(180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)照射下で通気しながら栽培したところ、栽培開始 6 日後には数 cm の根が腋芽 1 カ所に 1 本ずつ生じ(図 3a)、栽培開始 10 日後には腋芽 1 カ所につき 2 本以上の根が生じていた(図 3b)。以上のことから、オオカナダモでは、個体を切断し、通気することによって発根が促進されることがわかった。今回の通気には一般的なアクアリウム用のエアープンプを用いており、学校現場でも十分応用できると考えられる。

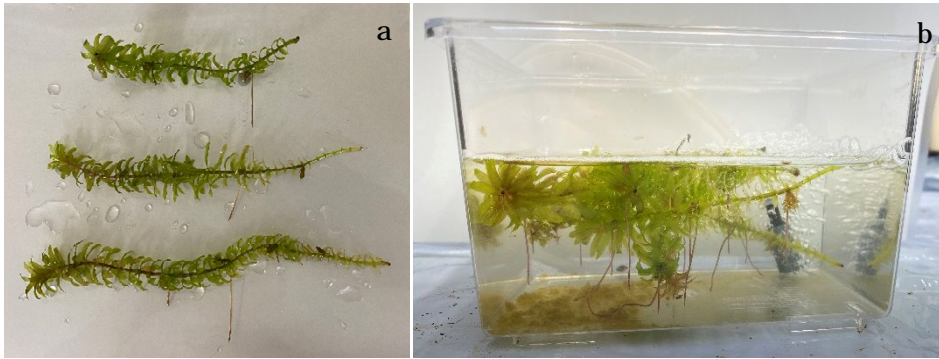


図3 頂芽優勢打破、通気、連続光照射条件で生じた根 a：栽培開始 6 日後の個体における発根の様子、b：栽培開始 10 日後の水槽の様子

一方、興味深いことに、頂芽の部分除去して栽培したにもかかわらず、通気による発根誘導は必ずしも腋芽の成長を伴うものではなかった(図3a)。また前述したように、頂芽を除去しなくても発根は認められた。当初、腋芽が切れ藻となる際に、適当な環境のところに定着できるように発根するのではないかと考えていたが、腋芽の成長と発根とがリンクしていないことから、発根の意義を考え直す必要があるであろう。

また、通気による影響には酸素や二酸化炭素などの溶存量の増加の他、泡がぶつかることによる物理的な刺激などさまざまなことが考えられ、それらのうち何が発根を促進したのかは不明である。今後、条件を切り分けることができるか、検討したい。

(3)その他

(1)(2)の実験を行う過程で、派生していくつか理科や生物の教材が開発できる可能性が出てきた。ここではそれらについて述べる。

(3)-1 発根した根の体細胞分裂の観察材料としての教材化の検討

(2)で述べたように、エアープンプによる通気がオオカナダモの発根を促すことがわかった。図3bの水槽では、4個体から15本以上の根が出ていることがわかる。通気だけでこれだけ多くの根を得ることができることから、この根を体細胞分裂の観察実験に使えるのではないかと考えた。酢酸バイオレットによる染色では細胞核があまりよく染まらなかったが、酢酸バイオレットと1M塩酸の混合割合を1:1に変更したところ、染色像が少し改善された(図4)。ネギなどを用いた体細胞分裂の観察実験では根が伸びすぎると分裂細胞が減ることが問題となるため、根の長さとの関係性を調べたところ、根の伸長にしたがって分裂割合は低くなるものの、10 cmを超えても数%の割合で分裂中の細胞を観察できることがわかった(図5)。これらのことから、染色方法をもう少し改善できれば、オオカナダモの根を体細胞分裂の観察実験の材料にできると考えられる。この実験ではネギの播種やタマネギの水栽培などによって材料となる根を得ることが多いが、普段から栽培しているオオカナダモの水槽にエアープンプを入れるだけで済むのであれば作業が簡便化されることが期待される。

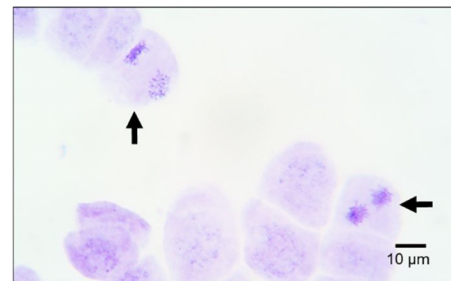


図4 オオカナダモの染色像

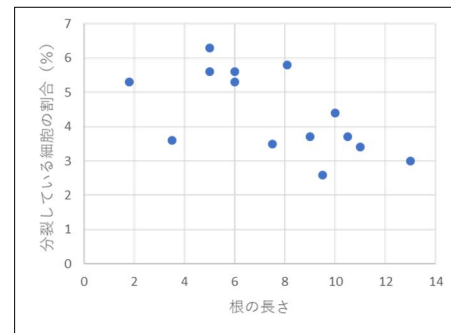


図5 根の長さとの関係

(3)-2 頂芽優性の教材化

頂芽優勢は高校生物において紹介される現象であるが、実験的に確認する教材は見当たらない。予備的な実験では、オオカナダモの頂芽を切断し、切断部分にオーキシンあり、なしの軟膏をつけることで腋芽の成長が変わることが見いだされたことから、新たな教材となる可能性がある。

(3)-3 通気した葉における葉緑体への同化デンプン蓄積の教材化

オオカナダモの葉は葉緑体への同化デンプン蓄積を確認するために用いられるが、葉全体の葉肉細胞で同化デンプン蓄積が確認されないことが多い。通気した葉では葉全体がヨウ素デンプン反応で青紫色に染まるのが観察されたため、この実験の教材としての応用も検討したい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田村圭、佐野（熊谷）史
2. 発表標題 体細胞分裂の観察実験のための新たな観察材料の提案
3. 学会等名 日本生物教育学会第108回全国大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------