

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：11302

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23501003

研究課題名(和文)ファストプランツを共通生物教材とする小・中・高で一貫学習プログラムの創設

研究課題名(英文)New Educational Programs by Using Fast Plants as an Experimental Material Common to Science Classes from Elementary School to University

研究代表者

石澤 公明 (ISHIZAWA, Kimiharu)

宮城教育大学・教育学部・総務担当理事

研究者番号：10125495

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：小学校から大学までの共通植物教材として、ファストプランツ(FP)を使用した学習プログラムを開発した。それには、FPの自家不和合性を利用した他家受粉と自家受粉の種子形成率の違い及びアニリンブルーやコットンブルーで染色された花粉管が花柱から胚珠に達する様子の顕微鏡観察等から受粉と受精の違いを学習すること、また、主根成長に対する塩ストレスや重金属イオンの効果、紫外線による子葉成長の阻害効果、植物栄養と成長の関係等の解析が含まれる。小・中学校でのFPを使った授業実践では、生徒が自分の手で短い期間で栽培できることから、植物の成長や生殖に理解を深めることが出来る優れた教材であることが示された。

研究成果の概要(英文)：I developed new educational programs by using Fast Plants (FP) as an experimental material common to science classes from elementary school to university. Moreover, class activities using FP were carried out in elementary and secondary school. First, to learn the difference between pollination and fertilization, I studied on different rates of seed formation by autogamy and allogamy in FP showing self-incompatibility and observation of pollen tubes which penetrate through a style to reach an ovule in an ovary. Second, effects of salt stress and heavy metal ions on root elongation were examined. Third, damage by ultraviolet rays was quantified by a degree of curling of cotyledons. Fourth, relationships between plant nutrition and growth were analyzed. Class activities in elementary and secondary school showed that FP is a good experimental material because each schoolchild can easily grow FP and observe a total process of plant development during a relative short period.

研究分野：植物生理学

 キーワード：ファストプランツ 自家不和合性 植物栄養 植物の成長 植物の生活環 生物教材 問題解決型学習
初等・中等・高等教育

1. 研究開始当初の背景

ファストプランツ (FP) は、米国のウィスコンシン大学の P. H. Williams 博士により教育用として選抜されたアブラナ科の植物 (*Brassica rapa* L.) で、米国の学校で教材植物として多くの活用報告例がある。FP は教材として様々な特性をもっているが、特に生活環が短いことが特徴である。同様の性質を持ち、優れた学術上のモデル植物であるシロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana* L.) を教育教材とする試みがある。しかし、必ずしも成功していない。その主な理由は、種子が極めて小さく、また幼植物も小、中学生が扱うには小さすぎることにありとされる。また、学校現場でシロイヌナズナを室内で栽培することは、学校教員にとって容易なことではない。それに対して、FP の種子は小学生が何とか取り扱える大きさであり、栽培についてもシロイヌナズナに比べれば容易である。これらのことから、我が国でも FP を生物教材として普及できる可能性があると考えた。2006 年に P.H.Williams 著の FP 取り扱い教科書の翻訳を出版した¹⁾。その後 FP の教育教材としての活用に取り組む、多彩な学習課題に FP を活用することで、小学校から大学までの理科・生物教育において、同じ学習課題をそれぞれの教育レベルに応じて取り上げ、FP を共通の生物教材とすることで、従来とは異なる大きな教育効果を挙げられる可能性があるかと期待した。

2. 研究の目的

(1) 学習プログラムの開発

我が国の理科・生物教育で取り上げられている学習課題の中から、FP の特性を生かした新たな学習プログラムを開発することを第一の目的とした。我が国の生物教育の中で、植物を対象とした学習内容で、小学校の理科から大学の生物学において、遺伝、生殖、成長及び光合成は極めて重要な課題である。これらの課題を扱うために、FP を教材として

使用することで、児童・生徒が自ら交配実験を行ったり、その成長を記録、解析することが出来るものと考えた。

本研究では、「生殖と遺伝」に関連する学習課題として、FP の自家不和合性を活用した受粉と受精を学習テーマとして取り上げた。次に、「発生と成長」に関する学習課題として、外部刺激(塩ストレス、重金属毒性、そして紫外線障害)及び無機栄養の成長に対する影響を調査した。そして、これらの研究成果を学校教育で取り上げられている学習課題のより深い理解に繋がる学習プログラムとすることを目的とした。

(2) 学校現場での実践

学習課題の開発に加え、学校現場で教材として FP を使用するためには、室内での栽培と、児童・生徒に取り扱わせる時に生ずる問題を検討しなければならない。そこで、小学校と中学校で、実際に FP を授業で活用する取り組みを行い、学校現場で生ずる問題を検討することとした。

3. 研究の方法

(1) 学習プログラムの開発

学習プログラムの開発研究は、宮城教育大学大学院修士課程と学部生の修士論文及び卒業研究の課題として実施した。

FP 種子は、小林ハードウェア株式会社 (ファストプランツ日本総代理店) から購入したスタンダードを使用した。FP の栽培は、23 度の恒温室内で、40 W 東芝プラントルックス 4 本を光源として、クレハ培養土 (呉羽化学) を入れたビニール製ポットを使用して行った。

(2) 学校現場での実践

小学校での実践は、研究協力者である宮城県大崎市立岩出山小学校菊田淳教諭、そして中学校の実践は、研究協力者である宮城教育大学附属中学校の高橋智美教諭の担当する授業で行った。

4. 研究成果

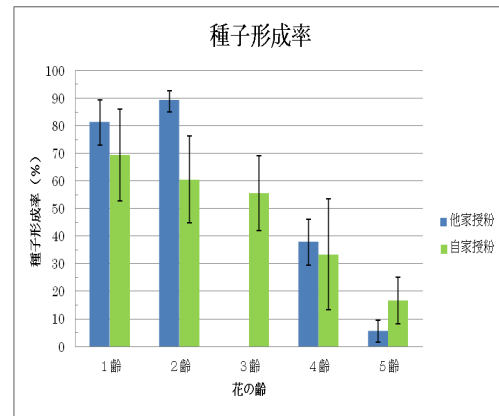
(1) 受粉・受精過程の解析

FPの自家不和合性についての解析を行った。種子の形成率、花粉の発芽率、花粉管の伸長量の計測を花の齢ごとに他家受粉と自家受粉で比較した。種子形成率では自家受粉したものは他家受粉と比べ、若干割合が低くなるが、大きな差は見られず、FPの自家不和合性は不完全で弱いものであった。若い花では自家不和合性がほとんど働かず、少し齢が進むと強くなるが、花の齢が進むと種子形成率そのものが低下した。

アブラナ科の自家不和合性は、花粉の発芽及び花粉管伸長の抑制が起こることが知られている。花粉の発芽率を比較すると、他家受粉に比べ自家受粉ではあまり大きな抑制が見られず、25 μm 以上伸長した花粉管の割合が、他家受粉に比べて自家受粉では大きく低下した。このことから、FPにおける自家不和合性は、花粉管の伸長抑制により生ずる可能性が高いと考えられた。また、自家不和合性に関係する遺伝子についても調査した。FPには、他の *Brassica* に存在している SRK 遺伝子のホモログが存在し、若い花の雌蕊で発現が確認できた。

柱頭で発芽した花粉管が、花柱を通り子房内の胚珠に達する様子を観察する方法を確立した。アニリンブルー染色による蛍光顕微鏡観察が最も良いが、コットンブルー染色による普通顕微鏡による観察も可能となった。

以上の研究結果から、小学校・中学校では、児童・生徒による交配実験により、自家・他家受粉による種子の形成率の違いを学ぶ教材として、また、高校や大学では花粉管の伸長の観察や、遺伝子発現についての実験にFPを活用できる可能性が得られた。



(2) 塩ストレスと銅イオンによる根の伸長阻害効果

植物の成長に及ぼす環境要因の一つとして、無機塩の効果を調査した。根の成長は外部環境に敏感である。そこで、アガロースゲルを湿布したプラスチック板を傾斜させ、その上にFP種子を播種して発芽させ、ゲル上を這う主根の成長に対する塩類の効果を調査することにした。主根の伸長は、NaClの濃度上昇と共に阻害され、同様の阻害がKClや非イオン性の糖アルコールであるマンニトールでも生じた。従って、ここで見られる塩類による伸長阻害は、主に浸透的作用によるものと考えられた。また、その伸長阻害は、細胞分裂ではなく、細胞伸長の抑制によることも明らかになった。

次に、重金属ストレスとして CuSO_4 の作用を調べたところ、 $3\mu\text{M}$ CuSO_4 で強い阻害が見られた。 10mM NaClの塩ストレス下で CuSO_4 を処理すると CuSO_4 の伸長阻害が解除されることが分かった。このNaClの効果は浸透的な働きではなく、 Cu^{++} の取り込みを抑制する作用によると推測された。

その結果、中学、高校、大学で、様々な環境要因が植物の成長に与える影響の解析を、FPの主根成長を教材として実施出来るようになった。

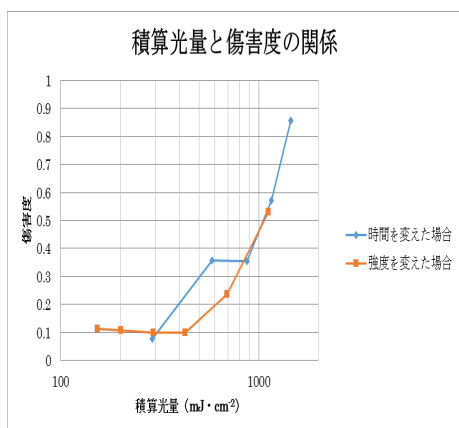
(3) 子葉に見られる紫外線障害の定量化

近年、オゾン層破壊による紫外線の増加が地球環境の破壊の一つとしてクローズアッ

づされていることから、紫外線の植物に対する影響を調べることにした。播種後 12 日間育てた FP に UV-C を照射して 1 日ごとに観察したところ、子葉と本葉が徐々にしおれて白化し、1 週間後には枯れることが分かった。子葉に紫外線を照射した前後をデジタルカメラで撮影して葉面積の変化を記録し、その葉面積減少速度から子葉の「傷害度」を定義した。

UV-C の照射強度を一定にして照射時間を変化させた場合と、照射時間を一定にして照射強度を変化させた場合の葉面積の変化を調べた。その結果、光刺激量である光強度と照射時間の積の対数に対して、応答量「障害度」が比例すること、更に、光強度と照射時間の積が一定であれば、応答量も一定になることが示された。即ち、ブンゼン-ロスコーの法則(相反法則)が、紫外線による FP の子葉で生ずる傷害においても成立していることを示すことができた。また、紫外線が引き起こす子葉の白化が、細胞死によることをエバンズブルーの染色により観察することが出来た。

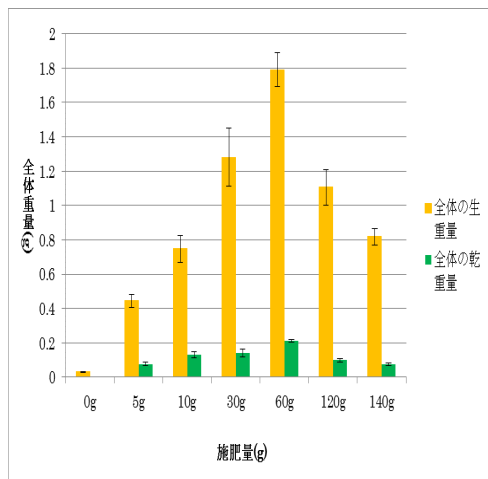
これらの実験結果から、FP が、生物学と物理学を総合する学習の教材として利用できることを示すことが出来た。



(4) 植物の成長と無機栄養

植物の生育に肥料が必要であることを小学校理科で学ぶ。しかし、その後の理科教育において肥料についての十分な取り扱いはない

されていない。そこで、FP を使って、施肥量と植物の生育について考察を試みることにした。実験では、0g、5g、10g、30g、60g、120g、140g の培養土(クレハ培養土)を用意した。FP をそれぞれの培養土で 20 日間生育させ、地上部(草丈)、葉の表面積(縦横の最大値)、開花数(開花時期も観察する)を観察し、20 日目に地上部と地下部の生重量と乾重量を測定した。その結果、FP の草丈、葉の表面積、重量は、施肥量が 60g まで上昇するに従って増加するが、それ以上の施肥量になると寧ろ生育は阻害された。これらの実験結果から、植物の生育には土の量が関係することが示された。この研究に先行して宮城教育大学紀要で報告した水耕栽培²⁾を組み合わせることで、小学校から大学までの授業、実験で、植物の生育と無機栄養の関係を学習できるものと考えられる。



図：全体の生重量と乾重量

(5) 小学校及び中学校での実践

岩出山小学校での授業実践では、一つ目は、一人ずつ FP を育て、種子を取ることに、二つ目は一人 1 課題を選び、植物について学んできたことについて FP を使って確かめること、そして三つ目はその課題について分かったことをまとめ、発表し合うことを行った。課題として、第一にファストプランツのからだのつくりを調べよう(3年生・5年生)、第

二に発芽に必要なものは何か(5年生), 第三に植物が成長するには何が必要か(5年生), 第四に花粉がめしべの先についたときと、つかないときとで、実のでき方にちがいがあるのか(4年生), 第五に植物は日光とどのようにかかわっているのか(6年生), 第六に植物は空気とどのようにかかわっているのか(6年生), そして, 第七に水は植物のどこを通るのか(6年生)を与えた。そのそれぞれ課題で, 第一ではファストプランツの一生をとおした観察記録を行う(花粉の観察もふくむ), 第二では発芽するためには, 水、空気、適当な温度が必要なことを調べる, 第三では植物が成長するには, 水のほかに何が必要なのか調べる, 第四では受粉によってめしべのもとが実になり、中に種子ができることを調べる, 第五では葉に日光が当たるとでんぷんができるか調べる, 第六では植物が酸素を出しているのか調べる, そして, 第七では植物のからだには水の通る決まった道があることを調べる, ことを学習内容とした。これらの実践から, FPを教材とすると, 小学校で学ぶ植物の知識の振り返りが容易になることが明らかとなった。

中学校での実践は, 宮城教育大学附属中学校1学年(4学級、159名)全員で, 2つの鉢に種子を3粒ずつ播種し, 休日以外は毎日水やりと観察を行った。

本葉2枚程度, 蕾形成, 開花, 開花~結実, の各ステージで, さまざまな部位(根・茎・子葉・本葉・蕾・がく・花弁・おしべ・めしべ)のデンプンの有無を, ヨウ素デンプン反応により調べさせた。根以外の部位ではいずれかのステージで反応が観察された。光合成が行われている部位を考察させ, その検証実験を生徒たちに考えさせたところ, 第一に花と葉を切り取った植物に光照射し茎の光合成能を確かめる実験、第二に葉を切り取り茎にアルミホイルを巻いた植物の花に光照射し花の光合成能を確かめる実験、第三に茎や

がく, 花弁, おしべ, めしべの葉緑体の有無を顕微鏡で確かめる観察、等が提案された。

これらの観察実験を実施させた結果, 茎や花の光合成能と葉緑体の存在が確認された。これにより, 生徒全員が「デンプンのあるところでは光合成が行われている」という結論を得た。また, 葉緑体と光合成の関係について, 花の形成と光合成の関係についてなど, 新たに134の課題を作り出すことができた。

全員がFPを栽培することで, 生徒の問題意識が醸成され, 論理的な仮説と問題解決の方法が考えさせる実験を行うことが出来た。

<参考文献>

1) 佐藤茂, 石澤公明, 吉岡俊人共訳, 「ファストプランツで学ぶ植物の世界」(P. H. Williams 著「Spiraling through Life with Fast Plants」を翻訳)2006年 In The Woods. Books

2) 石澤公明, 熊坂知世, 佐藤絵美, 安達真ファストプランツの水耕栽培を用いた植物栄養解析システムとその教材化
宮城教育大学紀要 45 巻 39 - 51, 2011

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

Shigeru Satoh, Kimiharu Ishizawa, Yu Mitsui, Kazuya Minato, Growth and above-ground biomass production of a willow clone with high productivity, *Salix pet-susu* clone KKD, Journal of the Japan Institute of Energy, 査読有, 99 巻, 2012, 948-953

〔学会発表〕(計3件)

高橋知美, 齋藤広大, 西川洋平, 小林恭士, 石澤公明, 田幡憲一, 茎も花も光合成をする - ファストプランツの全員栽培を通し

た，探究活動 - ，日本生物教育学会第 90 会
年会，2014 年 01 月 08 日～2014 年 01 月 09
日，筑波大学(茨城県つくば市)

佐藤 愛湖、石澤 公明，ファストブラ
ンツ子葉で観察される紫外線傷害の定量化
とその生物学習教材の開発，東北植物学会第
2 回大会，2012 年 12 月 15 日～2012 年 12 月
16 日弘前大学農学生命科学部棟(青森県弘前
市)

馬淵敦士，小松原幸広，岡唯理，内山晃
司，佐藤愛湖，石澤公明，高等学校における
遺伝子リテラシー教育の教材開発ーイネ種
子のアミラーゼ遺伝子発現ー，日本生物教育
学会第 92 回全国大会，2014 年 1 月 7 日～平
成 24 年 1 月 7 日，兵庫医療大学(兵庫県神
戸市)

〔図書〕(計 1 件)

Kimiharu Ishizawa, Springer, Low
Oxygen Stress in Plants, Editors: J.T. van
Dongen and F. Licausi, 2014, 59-74

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://plants.miyakyo-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石澤 公明 (ISHIZAWA Kimiharu)

宮城教育大学・教育学部・総務担当理事

研究者番号：10125495

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

菊田 淳 (KIKITA Jun)

高橋 知美 (TAKAHASHI Tomomi)

岡 唯理 (OKA Yui)

内山 晃司 (UCHIYAMA Koji)

佐藤 愛湖 (SATOU Aiko)

鈴木 亮介 (SUZUKI Ryosuke)