

# 遺伝子組換え実験を取り入れた実験の授業

農業科 石井克佳

生物資源・環境科学系列では平成17年度教育課程改訂に伴い、2年次系列選択科目として「農業実験」を設置し、遺伝子リテラシー教育と組換えDNA実験を取り入れた。実験前後に生徒の意識調査を行ってきたところ、遺伝子組換え食品に対する意識の変化をとらえることができた。

キーワード：遺伝子リテラシー教育 遺伝子組換え 高大連携

## 1. はじめに

生物資源・環境科学系列では平成17年度教育課程改訂に伴い、2年次系列選択科目として「農業実験」を設けた。履修単位は2単位で、毎週水曜日3～4時限に実施した。この科目を設置した目的は、生徒が2年次に農業や環境の分野を学ぶにあたり、栽培植物の観察、実験実習の基礎の徹底、実験結果の整理、レポート作成を通して、農業や環境に関する科学的な見方や考え方を身につけることである。

この科目は定員20名であるが、例年希望者が多い。平成20年度26名、21年度25名、22年度39名、23年度24名が選択している。そのため、分野を作物栽培分野と生物工学分野の2つに分けて2名の教員が担当している。

## 2. 指導目標

### (1)科目の目標

まず科目全体の目標として次の2点が挙げられる。①農業や環境の分野で大切な実験・観察の方法を通して、農業や環境に関する科学的な見方や考え方を身につける。②微生物や農業作物の培養・栽培に関する実験と観察を通して動物・植物・微生物の特性と取り扱い方を学ぶ。

つぎに生物工学分野では、遺伝子リテラシー教育を指導目標の一つに掲げ、実験・実習や体験をもとに教育を進めている。

遺伝子リテラシー教育とは「書物ばかりでなく実験を通じて遺伝子やタンパク質に直接接触し、生命科学の魅力や正しい理解を促すリテラシー教育」のことである。\*1

すなわち、生物工学に関する実験・実習を通して「生命科学に対する見方・考え方の常識」を養うことと理解

している。

\*1大藤道衛 バイオテクニシャン(2005)Vol.13 No.1

### (2)年間の学習計画

この科目は2単位科目で、年間の授業時数は60時間程度である。作物栽培分野では、果菜・葉菜・根菜類の栽培・観察を中心に栽培実験を行っている。生物工学分野では、細胞観察、遺伝子実験、微生物培養等の実験を行っている。生物工学分野では、次に示す通り年間指導計画を立てて、授業を行っている。

## 3. 生物工学分野の指導内容

### (1)1学期

#### ①顕微鏡の操作

内容は中学校の復習を含んでいるが、中学校で顕微鏡観察を経験したレベルに個人差が見られる。1人1台で数時間かけて観察を行った生徒もいれば、班に1台の顕微鏡を共有しあまり時間をかけずに学んだ生徒もいる。また、本校入学後1年次で理科(生物)を履修した生徒と、2年次になってから理科(生物)の学習を始めた生徒がいる。そのため、中学校や高校1年次ですでに十分な顕微鏡観察を行った生徒に対しては復習の時間として、まだ十分な観察を行っていない生徒に対してはこの科目の導入として取り入れた。

#### ②細胞の観察

顕微鏡の操作と同時に、植物細胞と動物細胞のプレパラートを作り、観察を行う。植物細胞としてタマネギの表皮細胞を、動物細胞として生徒の頬の内側表皮細胞を、各自プレパラートを作成し、染色し観察する。

#### ③植物の観察

校内に豊富にある樹木の中から、10種類ほど選び葉を

を採取する。2週間ほどかけて押し葉を作り、搾葉標本に仕上げる。

#### ④標本づくり

十分乾燥させた搾葉を台紙に貼り付け、和名・学名を記入し、図鑑から特徴を調べ標本として完成させる。

### (2) 2学期

#### ①バイオテクノロジーの基礎

生物の教科書では「遺伝」の単元で扱っている項目であるが、前述の通りその内容をまだ学習していない生徒がいる。そのため、DNAとRNAについて基本事項を2時間で学習している。生物の教科書やビデオ教材等を用いてDNAとRNAの構造と役割、遺伝子とタンパク合成のしくみを学習する。それらに続いて、2時間でタマネギを用いたDNA抽出実験を行っている。

#### ②遺伝子組換えの基礎

日本植物細胞分子生物学会の「GM教育支援プログラム」により、pGLO遺伝子組換え実験を行っている。事前学習(2時間)、実験(2時間)、事後学習(4時間)の計6時間充てている。

#### ③事前学習の内容は次のとおりである。

- ・生物学・医学・農学における遺伝子組換え技術の意義と目的
- ・遺伝子組換えの原理と方法
- ・文部科学省「組換えDNA実験指針」ならびに「カルタヘナ法」の内容
- ・高等学校における実験の実施条件(物理的封じ込め、生物学的封じ込め)
- ・実験に際しての注意事項
- ・実験操作練習(マイクロチューブやマイクロピペットの取り扱い方)

#### ④実験内容

- ・バイオ・ラッド社製pGLOバクテリア遺伝子組換えキットを用いて、大腸菌にオワンクラゲの遺伝子を組み込む。
- ・実験翌日に、遺伝子組換えが起こったことを確認する。

#### ⑤事後学習の内容

- ・各班の実験結果を集め、班ごとに形質転換効率を求める。
- ・レポート作成についての説明。
- ・バイオテクノロジーの歴史を学習する。(細胞融合、組織培養、バイオリクター、遺伝子組換え)
- ・農業における遺伝子研究の紹介(イネゲノムの解読、ムギの高品質化)

- ・バイオテクノロジーに関する文献を読んでまとめる。

### (3)3学期

#### ①酵素の働き

唾液アミラーゼによるデンプンの分解

#### ②微生物の培養

稲わらを利用した納豆菌の培養

#### ③PCRによる遺伝子組換え食品の検定

平成21年度と22年度は「唾液アミラーゼによるデンプンの分解」に代わり、再度筑波大学遺伝子実験センターと連携した実験を実施した。PCRと電気泳動により、米国産の食品に含まれる遺伝子組換えされた遺伝子の検知実験を行った。このような1年間の授業内容をもとに、生徒に実験目的、実験方法、観察と記録、結果の整理、考察の書き方等の指導を行っている。特に、安全面や衛生面の徹底、実験目的と実験内容が合致していることの理解、実験区と対照区の設定と観察のポイントなどについては、事前事後学習の中で繰り返し指導している。また、この科目を選択した生徒が3年次に卒業研究を行う際に、調査や実験をする生徒が多く見られる。そのため、記録の取り方、レポートの書き方にも配慮している。

#### (4)評価方法

毎回の実習時には実習記録用紙を配布し、授業中に記入させ1週間以内の提出を課している。大きな実験を実施した際には、レポート提出を課している。作物栽培分野と共同で定期考査を年間2回程度実施している。

主な評価項目は、定期考査、授業態度(特に実験中の態度)、忘れ物(白衣、爪を切る等)、実習記録、レポート提出である。これらをもとに、作物栽培分野と生物工学分野の評価を合算し評価している。

### 4. 遺伝子実験の事前学習

この科目では、実験キットを用いた遺伝子組換え実験を平成15年度から試行的に実施した。平成17年度の教育課程改定に伴い、この単元の位置づけも安定し、2学期に行われる遺伝子組換え実験はこの科目の中心的な存在となった。生徒にとって遺伝子組換え実験を行うことはこれが初めての経験であるため、多くの生徒が高度な実験を行うことに期待している一方で、実験の理論や仕組み、方法の理解が追いつかない場合がみられる。そのため、十分な事前学習が欠かせない。バイオテクノロジーの歴史や手法に関する学習を導入として、現代や近未来への展望も含めて事前学習を行い、遺伝子組換え成立の経緯や位置づけを学ぶように配慮している。

実験実施直前の週には、実験に用いる器具の使用方法

やこの実験特有の操作を実物の実験器具と画像で示し、リハーサルを行う。また、爪を切る、飲食物の持ち込み制限などの注意事項を確認する。実験には、バイオ・ラッド社の教育用実験キットを使用しており、安価で必要最小限の器材・試料・薬品が揃う。また、使用する大腸菌や試薬等の安全性が確認されている。

この実験は、物理的封じ込めP1レベルの実験施設内で実施している。P1レベルとは通常の微生物学実験室と同程度の設備を示し、使用する装置は、オートクレーブ、クリーンベンチ、インキュベータ、実験台、手洗器である。また、生物学的封じ込めはEK1で、宿主として毒性がない大腸菌を用いている。この大腸菌は、自然条件下での生存能力が低く、ベクターとして接合能力がなく他の菌に伝達されないため安全性が高い。

教育を目的とした遺伝子組換え実験のための国内規則として文部科学省の「組換えDNA実験指針」が規定されていた。平成16年からは「カルタヘナ法(遺伝子組換え生物等規制法)」が施行され、国際的に定められたルールに基づき実施している。所属長の許可と保護者への連絡、廃棄物処理を行うとともに、これらの手続きは筑波大学遺伝子実験センターの支援を得ることで円滑に行うことが可能となった。

## 5. 遺伝子組換え実験

### (1)実験の概要

この実験は、オワンクラゲのGFP(緑色蛍光タンパク質)遺伝子を大腸菌に導入し形質転換を行う。宿主として大腸菌(HB101株)、ベクターとしてpGLO (pBR322由来)、DNA供与体としてオワンクラゲ(*Aequorea victoria*)を用いる。封じ込めレベルはP1, B1(EK1)である。



画像1 組み換えDNA実験の様子

### (2)実験の様子

画像1に見られるように、生徒たちは注意事項を守り指示通り真剣に取り組んだ。近年日本人のノーベル化学賞受賞が話題になり「オワンクラゲ」の知名度が高まったため、この実験への関心の高さが感じられるようになった。事前学習、実験の実施、事後学習を含めて、全部で8時間にわたる内容であるが、生徒たちは大変意欲的であった。



画像2 オワンクラゲのDNAを組み込んだ大腸菌(紫外線を当てると蛍光発色する。)

### (3)実験結果

組換えが起きた大腸菌は、アラビノースを含む培地上で紫外線を照射すると緑色に発光する。すべての班で組換えが確認された。発光しない大腸菌と比較対照することで、実験の意味を理解することができた。

## 6. 遺伝子組換え実験の事後学習

実験結果をもとに各班でデータを整理し振り返りを行った。画像2に見られるとおり、どの班も暗室内で紫外線を当てると緑色に蛍光発色する大腸菌を見ることができ、実験は成功した。事後学習では遺伝子組換えの転換効率を計算することで、成功の度合いを測ることができた。各班の転換効率を知ることにより、実験成功の度合いを数値的に捉えることができた。

## 7. 生徒の変容

平成22年度に実施した事前・事後アンケート調査をもとに、生徒の変容をとらえた。

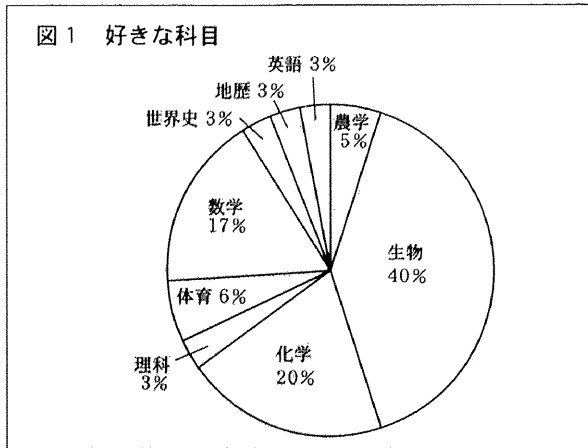
調査1 2010年9月1日 事前アンケート

調査2 2010年11月10日 事後アンケート

2班に分け、10月13日と10月27日に遺伝子組換え実験を実施した。この実験に参加した生徒は、18名と19名の計37名だった。そのうち、35名から有効な回答を得た。有効回答率は94.6%だった。

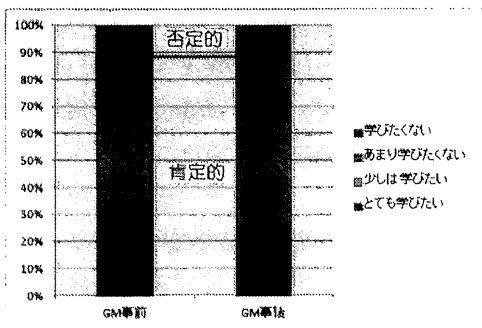
(1)生徒の特性

生徒の好きな科目(図1)から生物や化学への興味が高いことがわかる。このほかの特性として、実験や観察、作業に意欲的に取り組む。出席状況は良好で忘れ物は少ない。一部の生徒で、レポート等提出物の遅延が見られる。男子21名、女子18名を男女混合の班編成とし、どの班も協力して実験に取り組んでいる。



(2)バイオテクノロジーについて授業で学びたいですか。

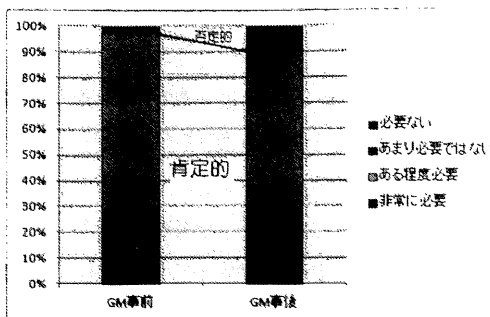
図2 バイオテクノロジーについて学校の授業で学びたいと思いませんか



肯定的89%→89%(変化なし)  
否定的 11%→11%(変化なし)

(3)バイオテクノロジーについて学ぶことは重要であると思いませんか。

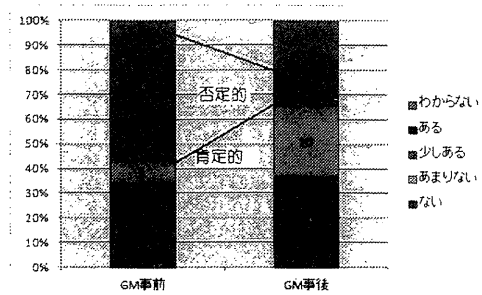
図3 今後バイオテクノロジーについて学ぶことは重要であると思いませんか



肯定的 97%→91%(-6ポイント)  
否定的 3%→9%(+6ポイント)

(4)遺伝子組換え食品を食べることに抵抗はありますか。

図4 そのような遺伝子組換え食品を食べることに抵抗はありますか

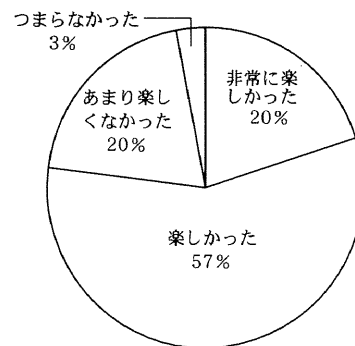


肯定的 43%→66%(+23ポイント)  
否定的 51%→14%(-37ポイント)  
中立的 6%→20%(+14ポイント)

否定的な回答の理由として、次のような意見があった。  
なんか気持ち悪い。やはり心配である。後々(20~30年後)人体に害が出る可能性も否定できない。体に悪い。固定観念がなかなか治らない。

(5) 遺伝子組換え実験は楽しく取り組みましたか(事後アンケートのみ)

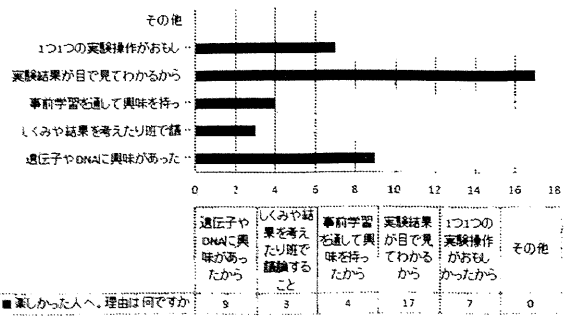
図5 遺伝子組換え実験は楽しく取り組みましたか



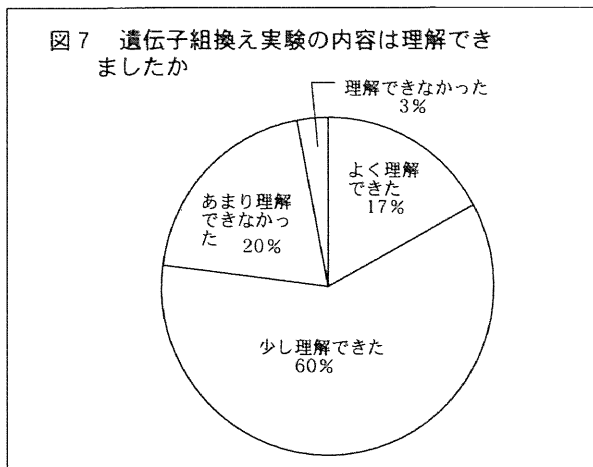
肯定的77%、否定的23%

楽しかった理由として、図6のような意見があった。「実験結果が目で見えてわかるから」は17名と全体の約半数を占めた。

図6 楽しかった人へ、理由は何か

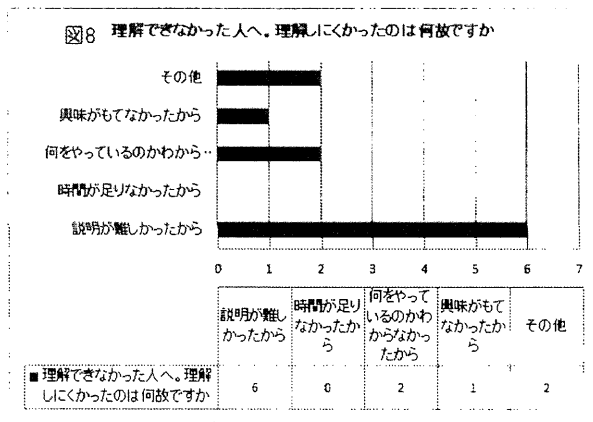


(6) 遺伝子組換え実験の内容は理解できましたか。(事後アンケートのみ・図7)



肯定的77%、否定的23%

理解できなかった理由として、図8のような意見があった。



「説明が難しかったから」が6名、「何をやっているのかわからなかったから」が2名、「興味を持てなかったから」が1名だった。

(7)事後アンケートの自由記述欄には、次のような意見や感想が書かれていた。( )内は人数。

#### ①肯定的な意見・感想

- ・いい経験をした。(3)
- ・遺伝子組換えが簡単にできることを知り驚いた。(2)
- ・もっと組換え実験をしてみたい。(2)
- ・いろいろ学べた。(2)
- ・遺伝子組換えについて興味を持つことができた。(2)
- ・実験を通して遺伝子組換えや他のバイオテクノロジーの理論を理解したい。(2)
- ・とても難しかったが、理解できると楽しい。(2)
- ・予想以上に楽しく実験ができた。(1)
- ・大腸菌の発光は、映画(アバター)のシーンの緑色発光によく似ていた。(1)

- ・よく理解できた。(1)
- ・DNAにはたくさんの可能性があると思った。(1)
- ・教師の指導がとてもわかりやすかった。(1)
- ・とても楽しかった。(1)
- ・遺伝子組換えが自分たちにできると思っていなかった。(1)
- ②否定的(あるいは建設的)な意見・感想
  - ・なぜ組換えがおこるのかよくわからない。(2)
  - ・配布プリントの質問が難しい。(1)
  - ・アラビノースについてもう少し詳しく教えてほしい。(1)
  - ・内容がいきなり難解だったので、基礎的な知識を事前に学ぶべきだと思う。(1)
  - ・もう少し時間をかけてほしい。
  - ・もっとわかりやすくしていけばいい。(1)
  - ・高校授業の一環に反映させていくべき。(1)

#### 8. まとめ

アンケート結果からみると、89%の生徒がバイオテクノロジーについて授業で学びたいと答えている。選択科目であるためか、実験前から学ぶ意欲が高かったことがこの集団の特徴である。実験を通してこの高い割合が変化しなかった一方で、学びたいとは思わない生徒が一定数存在した。

バイオテクノロジーについて学ぶことは重要であると思うかという質問に対しては、「あまり重要でない」が事後2名増加した。生物に関する基礎知識が必要なこと、内容の難しさ、高度な実験操作等が影響していると考えられる。

実験を通じて遺伝子組換えに対する基本的な知識・技術を身につけたということが出来る。遺伝子組換えの技術が高校生物で学ぶDNAの構造や遺伝の仕組みをもとに応用されたものであることを、約8割の生徒は理解した。生徒はこの実験を通して、遺伝子組換えの長所・短所をより身近にとらえることができたと考える。

遺伝子組換え食品の取り扱いについては、国内でさまざまな議論が繰り広げられている。今回の実験は食品を扱ったものではないが、アンケート結果をみると肯定的な意見を持つ生徒が15名(42.9%)から23名(65.7%)に増え、中立的な生徒が2名(5.7%)から7名(20.0%)へと若干増加した。否定的な生徒は18名(51.4%)から5名(14.3%)へと大幅に減少した。このように、遺伝子組換え食品のイメージが、実験以前は食べることに抵抗がある物、実験後は抵抗のない物へと変化していくことが確認できた。

最後に、高度な実験を行う際の、指導者への研修、実験実施に至るまでの支援など、大学との連携が欠かせない。筑波大学遺伝子実験センターの協力を感謝する。連携なくしては、このような授業を行うことはできなかったであろう。

近年、この実験キットを日本植物細胞分子生物学会の協力で無償配布してもらうことが可能となったことを感謝する。