

岩手大学農学部の作物学実験「イネ科作物の環境応答－土壌水分とイネ科作物－」の紹介

松波麻耶

岩手大学農学部

要 旨：岩手大学農学部植物生命科学科では学部3年生を対象とした作物学実験で、「イネ科作物の環境応答」という回を設け、イネとコムギを異なる土壌水分条件でポット栽培し、生理形態的な違いを調査する実験を行っている。根長測定を行うことで、土壌水分の違いが地上部だけではなく根の発達にも影響を及ぼすこと、さらにその影響は同じイネ科作物でもイネとコムギでは異なることを実感することができる内容としている。岩手大学の作物学実験について、準備物や実験のねらい、調査・実験の流れ、学生の反応などをできるだけ詳しく紹介し、根を対象とした教育例として参考にしていきたい。

キーワード：イネ、コムギ、根長測定、土壌水分、ライン交差点法。

1. はじめに

筆者が岩手大学に着任し、初めて担当したのが農学部植物生命科学科3年生を対象とした作物学実験である。2019年時点で、植物生命科学科では学科を構成する6分野が学生実験を担当し、2年生後期の植物生理学実験に始まり、3年生前期になると毎日午後に作物学・園芸学・植物育種学・植物病理学・応用昆虫学実験が行われている。各実験には14回割り当てられる。1回につき時間割上は150分だが、各実験内容により時間は前後する。作物学実験では受講生およそ

40～45名に対し、教員とティーチングアシスタントの大学院生2名程度で実験を進める。資料として、各実験のねらいや手法、調査用紙をまとめた“作物学実験マニュアル”を作成し、初回に配布している。また、毎回数枚のパワーポイントスライドを準備し、実験を始める前に関連する農業の話題、実験の目的や進め方などを確認してから作業に移る。

作物学実験は第1表に示すように、大まかに3つのテーマと、近隣の研究所の見学、プレゼンテーション等で構成している。「イネの収量と品質」では、前年に収穫した稲株を各班（およそ7、8名で6班編成と

第1表 2019年の岩手大学農学部の作物学実験の日程と内容

1	4月11日(木)	・イネの収量と品質1(イネの収量調査法)
2	4月12日(金)	・イネの収量と品質2(玄米外観品質)
3	4月22日(月)	・イネの収量と品質3(食味官能試験)
4	4月24日(水)	・イネ科作物の環境応答1(ポット栽培試験の準備・移植)
5	5月24日(金)	・イネ科作物の環境応答2(蒸散量測定・サンプリング)
6	5月27日(月)	・イネ科作物の環境応答3(地上部形態)
7	5月28日(火)	・イネ科作物の環境応答4(根長測定)
8	6月12日(水)	・フィールドでの生育調査1(分けつ期)
9	6月13日(木)	・フィールドでの生育調査2(分けつ期)
10	7月3日(水)	・フィールドでの生育調査3(幼穂形成期)
11	7月4日(木)	・フィールドでの生育調査4(生長解析法)
12	7月5日(金)	・データのまとめ
13	7月8日(月)	・見学 多様化するイネの栽培技術(東北農業研究センター)
14	7月11日(木)	・プレゼンテーション

2019年11月26日受付 2019年12月17日受理

*連絡先 〒020-8550 岩手県盛岡市上田3丁目18-8 岩手大学農学部作物学分野
Tel: 019-621-6117 E-mail: mayanami@iwate-u.ac.jp

している)に配り、収量調査の一連の過程、すなわち穂数計測、脱穀、塩水選、粳摺り、重量測定等を行い、品種や栽培環境の違いが収量や収量構成要素に及ぼす影響を考察してもらう。また、各産地の銘柄米や、時には飼料米・インディカ米を食味試験し、コメの食味の違いを体感してもらっている。また、「フィールドでの生育調査」では、大学構内にある水田で生育調査(茎数、草丈計測)を行い、実験室にサンプルを持ち帰り、葉面積や葉色値、バイオマス重量を測定し、生長解析法を学ぶ。このように地上部を扱った実験が主体ではあるが、何とか学生に根にも触れる機会を作りたいと思い、設けたのが「イネ科作物の環境応答」の回である。

2. 実験のねらい

「イネ科作物の環境応答」の初回は、植物にとって水とは何か、という学生への問いかけから始まる。その概要は以下の通りである。

“水は非常に便利な溶媒として、細胞内や細胞間の分子のやり取りの媒体となり、また生体内のあらゆる反応に関わる。植物は1gの同化産物を合成するために、その数百倍の量の水を根から吸収し、体内を輸送し、大気中に放出する。水の吸収と損失のバランスの調節は、陸上植物がその生命を維持し、繁殖し続けるために極めて基幹的であるとともに、食用作物としてみれば、収量や品質の良否にかかわる重要なポイントである。一方で、水は植物の生長を著しく阻害する物質ともなりうる。ダイズやムギなどの畑作物では、多量の降雨や排水性の悪い圃場などで湿害が発生し、著しく収量を損なうことがある。イネは土壤水分には幅広い適応性を示し、湛水条件でも畑条件でも生育できるが、土壤の水分欠乏に対する感受性は畑作物に比べると高い。また、イネでも洪水などによる冠水被害では著しい生育阻害が起こる。このように水は諸刃の剣として世界の食糧生産を左右している。”なお、これらの内容は「テイツザイガー植物生理学－第3版－」の3. 水と植物細胞 (Holbrook, 2004), 「H₂O の生命科学 細胞生命のしくみ」の2. 液体としての H₂O 分子のありさま (中村, 2004), 「湿地環境と作物 - 環境と調和した作物生産をめざして -」 (坂上ら, 2010) を参考にした。

以上のことを導入とし、水というのは良くも悪くも植物の生長に大きく影響するということを頭に入れてもらい、実験の内容に入っていく。同じイネ科に属する主要穀物であるイネとコムギの土壤水分に対する適応性の違いに焦点をあて、ポット栽培試験の基礎と植物体の生理形態的特性の調査法について理解を深めるのが「イネ科作物の環境応答」の回のねらいである。

3. 実験内容

3-1. ポット栽培実験と材料の育成

学生実験室で実験のねらいを確認したのちに、全員で温室に移動し、材料を育成するためのポットの準備と植物の移植を行う。ポットは1/10,000 aのプラスチックポット(φ=12.7 cm, 深さ19.8 cm)を使用する。これを各班に4つずつ配り、それぞれに肥料入りの育苗培土を充填してもらう。ポット底には排水用の穴が開いているため、新聞紙を5 cm四方に切って底に敷いた上で、土を入れる。なお、毎回灌水した途端に新聞紙が破けてポットを作り直しになる班があるので、3枚程度重ねて敷くように注意している。

材料はイネとコムギである。品種には特にこだわりのないが、今のところイネは“あきたこまち”、コムギは“ゆきちから”を用いている。初回が4月下旬となるため、あらかじめ3月の最終週に播種をし、温室内で適宜灌水しながらおよそ1か月セルトレイで育苗する。生育が良好な苗をイネ、コムギそれぞれ2個体ずつ各班に配り、ポットに移植を行う。イネ、コムギで2ポットずつ出来るため、それぞれ1ポットは湛水、もう1ポットは畑条件とし、温室内で栽培を行う。灌水は、湛水区は大きなコンテナに全班分のポットを入れて常湛水するように、また畑区は土壤表面が乾いたときに上からジョーロで散水するように指示している。土壤水分量などの細かい指示は出していない。そのため班によって、心配になって念入りに水をやる班と、土壤がすっかり乾燥している班があり、性格が出ているようで面白い。ちなみに「サンプルを枯らしたら単位も枯れる」という忠告しているので、今のところ土壤をカラカラにして植物を枯らせた班はない。初回から2回目まではおよそ1か月空く日程となっているので、初回に茎数と草丈の調査法を教え、その後は各自で週に1度生育調査を行い、記録していく。

3-2. 蒸散量の測定

初回からおよそ1か月経過し、2回目の実験の日の昼休みに、各ポットの重量を計測する。そのため、前日の夕方に湛水区のポットはコンテナから取り出し、ゴム栓をしておく。1回目の重量測定から1時間程度経過したところで、もう一度ポットの重量を測定する。測定開始と終了時刻を記録し、その間の重量変化から、蒸散速度を求める。なお、本来であれば植物体を植えていないポットを準備し、土壤表面からの蒸発量を差し引くべきであるが、2019年度は準備を忘れたため、蒸発散量を蒸散量とみなして計算させた。



第1図 異なる土壌条件で栽培したイネとコムギの様子。左からイネ湛水、イネ畑、コムギ湛水、コムギ畑。

3-3. 地上部の解体調査ならびに根のサンプリング

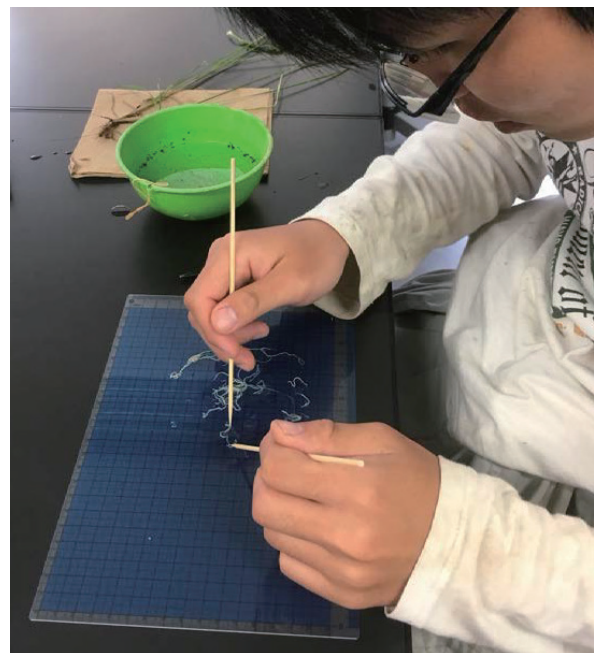
蒸散量を測定した後、ポットを並べて写真撮影し（第1図）、地上部の様子を記録する。その後、ポットから植物体を根ごと取り出し、バケツの溜め水やザルを使って丁寧に土壌を除去する。ここで初めて学生は根系の様子を目の当たりにして、その明らかな見た目の違いに感激してくれるので、一番うれしい瞬間でもある。

植物体は実験室に持ち帰り、ハサミを用いて根を基部から丁寧に切り取る。根はポリ袋に入れて、根長測定まで冷蔵保存する。地上部は葉身を切り離し、自動面積計（AAM-9、林電工株式会社、日本）で葉面積を測定する。葉身、葉鞘および茎は新鮮重を測定する。

3-4. 根長測定

根長測定の回では、まず、ライン交差点法やルートスキャナー法、画像解析法について、それぞれのメリットやデメリットを紹介する。これらの内容は「根の事典」の第10章 10.2. 根の生育の研究方法に基づくものである（山内, 1998）。学生実験では全員が手を動かして、しかも特別な機器を必要としないライン交差点法を採用している。

格子には5mm角のラインが引いてあるプラスチックの下敷きを用いている（第2図）。また根を広げるための竹串を各自2本と交点を数えるためのカウンターを各自1個、水を適宜垂らして根を広げやすくするためのスポイト、ハサミなどを各班に数セットずつ配布す



第2図 ライン交差点法による根長測定実施の様子。

る。実際の根を測る前に、およそ10cm程度に切った糸を配布し、交点を数えて、正しく長さが計測できるか練習する。根長を求める式は、「根の事典」に記載されているとおり、

$$R(\text{根長}) = N(\text{交点数}) \times G(\text{格子定数})$$

とし、本実験でのGは0.393で計算する。

糸の長さがある程度精度よく測ることが出来て、作

業を理解した上で、いよいよ根を測る。大体二人一組になり、イネ湛水、イネ畑、コムギ湛水、コムギ畑を分担し、1時間ひたすら交点をカウントする。一次側根までは頑張ってカウントすること、根に沿ってカウントするのではなく、まずは縦、次に横というようにラインを追いながらカウントするように指示している。後ろから覗いてみると、根の広げ方も数え方も個性が出て、正確な測定ができていとは決して言えないが、交点を数えるというシンプルながらも気の遠くなる作業に真剣に取り組んでいる。40余名がカチカチとカウントすると皆途中から気が減入ってしまうので、BGMを流しながら作業を進める。必ず流す曲目は中島みゆきの「糸」(縦の糸、横の糸という歌詞がマッチするから)、同じく中島みゆきの「麦の唄」(材料がムギだから)、スガシカオの「Progress」(NHKのプロフェッショナル仕事の流儀のテーマ曲。辛い作業がなんだかプロの仕事をしているように感じられるから)などである。また学生から希望を取って好みの曲を流す。ちなみに2019年度のリクエスト曲で最も印象的だったのは、打首獄門同好会の「日本の米は世界一」というロックミュージックであった。根長測定は筆者が担当する実験の中で、唯一、学生から「あれは辛かった」と言われる回ではあるが、そこで根にあまり悪い印象を持たないように工夫しているつもりである。

1時間カウントを続けても全量を測りきれない事が多いので、その場合は測定した根と未測定の根に分けてキムタオルで表面の水気を取り、新鮮重を測定し、その重量比で全体の根長を推定する。なお、この水気の取り方については、酪農学園大学の亀岡笑氏が第49回根研究集会で発表されたサラダスピナーを用いた手法を今後参考にしたいと思っている(亀岡・鈴木, 2018)。

第2表に2019年の測定結果の集計を示した。交点のカウント自体は不評ではあるが、根長を算出し、イネとコムギの根が土壌水分に応じて地上部以上に大きく異なることが数値となって表れると、学生の反応は非常に大きいと感じている。また根長が長いもので数

十mにもなることに対して驚きの声も上がる。あの小さなポットで、それほど大きくない地上部ではあるが、根が想像以上に長いことを実感することは貴重な体験だと思う。

3-5. 結果のまとめとレポート作成

一連の調査で得られた結果を、各班のデータを一反復として計6反復を集計し、エクセルで図表を作成する。移植から1週間おきに調査した草丈と茎数のデータを用いて、それぞれの推移図を作成したり、蒸散速度と葉面積のデータを用いて散布図を作成し、作物種や土壌水分の違いでどのようにプロットが分布するか調べてもらう。自分で調べたデータをどのような図として表したらよいかについても学生実験で学んでもらうことが重要と考えている。また、イネとコムギの地上部形態や根長、バイオマス量が土壌水分処理に対してどのように変化したか、なぜそのような応答性の差が出るかについて、文献などの情報も含めて考察する内容のレポートを課している。通気組織などの内部形態や生理機能の差にまで言及してレポートをまとめる学生は稀にしかいないが、同じイネ科でも土壌水分に対する応答が違うことについては十分に体感してもらえる実験内容となっている。

【レポートより感想の抜粋】

- ・世界で最も広く大量に栽培されている作物であるイネとコムギは、水分条件が異なると、生育状況が異なることが分かり、たいへん興味深かった。比較的乾燥しているアメリカやヨーロッパなどではコムギが多く栽培され、雨の多い東南アジアなどではイネが多く栽培されている理由はこういうことなのかと興味深かった。
- ・今回は葉や根の成長を見ただけだったが、実際にこの4つの条件で育てたそれぞれを収穫した際に、収穫量や味や見た目にどのような違いがでるのか気になった。

第2表 2019年の学生実験における測定結果の一部抜粋

	蒸散速度 (g/h/plant)	葉面積 (cm ²)	全根長 (cm)
イネ・湛水	13.73 ± 0.79	199.7 ± 8.6	1642 ± 217
イネ・畑	7.99 ± 1.32	205.0 ± 31.3	2868 ± 557
コムギ・湛水	11.01 ± 0.84	261.2 ± 31.9	2285 ± 716
コムギ・畑	17.30 ± 1.76	757.9 ± 55.6	6198 ± 1173

全6班分の平均値 ± 標準誤差で示した。

- ・イネやコムギの茎数を数えるのは初めてだったので大変苦労したが、イネとコムギの違いを学ぶことができた。
- ・食用作物学 I (座学) では、葉身や葉鞘をスライドでしか見たことがなく、よく分かっていなかったが、解体調査を行って実際に見て触ることができて勉強になった。また、根長測定は交点数と根長に相関関係があることが不思議でならなかったが、実際に試してみると本当に相関があって驚いた。とても細かい作業であったが、楽しんで取り組めたので良かった。

4. おわりに

大学での座学や学生実験は、学生が初めて触れる研究の世界への入り口である。そのため、いかに研究に興味をもってもらえるような授業・実験内容にしているかは教員として工夫すべき点であり、責任を感じる部分でもある。全国の農学系の教育現場でどのような授業が行われているかは、筆者が非常に興味を持っているところであり、より有意義な授業・実験・実習を行うために情報共有していければと思っている。ぜひ、他大学で、作物に限らず樹木でも、根に関する教育をどのように行っているか、情報をお寄せいただきたい。

当大学では、学部で卒業して就職する学生が大部分を占め、博士課程やその後研究職を目指す学生は極めて少ない。それでも大学で学んだことを少しでも記憶にとどめ、Water Crisis が叫ばれる現状で、今後の農業や食糧生産の在り方、その中で水資源といかに付き合っていくのかについて時々でも考えてほしい。食糧の輸入に伴い世界中から流入する大量のバーチャル・ウォーターで溢れた日本の食卓であるからこそ、少なくとも農学部で学んだ学生たちには、農作物と水資源の関係により一層心を傾けてほしいと願っている。

引用文献

- Holbrook N. M. 2004. I 編 水と溶質の輸送 3. 水と植物細胞. L. テイツ, 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. 培風館, 東京. pp. 33-46.
- 亀岡笑・鈴木弘隆 2018. 水稻根系の新鮮重測定法の提案. 根の研究 27: 116.
- 中村運 2004. 2 液体としてのH₂O分子のありさま. H₂Oの生命科学 細胞生命のしくみ. 培風館, 東京. pp. 14-42.
- 坂上潤一・中園幹生・島村聡・伊藤治・石澤公明 2010. 坂上潤一・中園幹生・島村聡・伊藤治・石澤公明 編著 湿地環境と作物—環境と調和した作物生産をめざして—. 養賢堂, 東京. pp. 264.
- 山内章 1998. 10.2 a 3) 根の測定法. 根の事典編集委員会編 根の事典. 朝倉書店, 東京. pp. 380-382.