

音は幼葉鞘の伸長を促進するのか

青木未有 井垣雄一朗 鶴飼諒一 大崎智仁 室文子 森井桜 龍航太
兵庫県立神戸高等学校 総合理学科2年

植物を育てるときに音楽を聴かせると、その成長は促進されると言われているが、音という環境下での植物の研究は少ない。そこで私たちは植物の「伸長」に着目し、先行研究の結果と比較しながら、音の音圧、周波数によってどのように幼葉鞘の伸長が変化するかを調べた。

1. はじめに

1.1 研究目的と動機

植物は、音楽を聞かせると成長が促進されると言われているが、それらの研究は科学的根拠に欠けているものや、実験条件が十分にそろっていないものが多い。そこで本校 73 回生による先行研究^[1]で得られた結果を基にして、私たちは植物の伸長に注目し、音圧と周波数に焦点を当てることで音による促進作用を明らかにしようと考えた。なお、以下の理由のため、幼葉鞘(单子葉類の芽生えを保護する円筒状の鞘)を実験対象にした。

1.2 先行研究と本研究の特徴

上記の先行研究では、「本葉が出て、長さが 10 cm 前後になったエンバクに 400Hz の音を当てると伸長が促進された」という結果が得られ、「植物細胞の吸水成長を促すホルモン (IAA) の合成経路の反応が促進されること」が音による伸長のメカニズムであるという可能性を示している。そのメカニズムが正しければ、吸水成長でのみ伸長する^[2]幼葉鞘に音を当てれば、本葉(吸水成長だけでなく細胞分裂によっても伸長する)に音を当てるよりも顕著に伸長に差が見られるのではないかという私たち独自の発想の下、幼葉鞘を用いて実験を行った。また、先行研究での音による促進効果は音が空気を対流させることで光合成が盛んになった結果によるものだとも考えられるが、光合成を行わない幼葉鞘においても促進作用が見られるならば、音がそれ以外の方法で伸長を促進するとも言えることも幼葉鞘を用いる利点である。

2. 予備実験

2.1 実験方法

まず、検体として用いるエンバク (*Avena sativa*) に適した生育条件(光の有無)、および幼葉鞘での実験が可能な期間を調べるために暗条件と明条件とで比較した。エンバクの胚を下にした状態でスポンジ (スポンジは、一列に 10 個体植えられるものを暗条件、明条件でそれぞれ 4 列ずつ用意した) に乗せるように撒き、水道水(途中から脱塩水)を張ったトレーにそれを浮かべた。毎日水をやり各個体の成長段階 (未発芽、幼葉鞘、本葉) を記録した。ここで暗条件とは光が遮断され、設定温度 25°C のバイオトロン内、明条件とは照明が点灯していて、同様に設定温度 25°C の人工気象器内にそれぞれ 24 時間設置することである。



図 1 : 人工気象器



図 2 : バイオトロン

2.2 結果と考察

表 1 は種子を撒いてから 4 日、5 日経過した際の発育段階を示したものである。アルファベットは列名 (明条件が A~D、暗条件が E~H) を、1~10 の数字は各列の手前から何番目に植えられている個体かを表している。また、水色が発芽前、オレンジが幼葉鞘、白が本葉を示す。

表 1 : エンバクの発育段階の変化

4日目								
	明条件				暗条件			
	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

5日目								
	明条件				暗条件			
	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

明条件では 5 日たってもほとんど発芽しなかった。一方、暗条件ではほとんどの種子が発芽し、4 日目から 5 日目にかけて本葉が幼葉鞘を突き破って出てくるのが分かった。

従って、暗条件で発芽させるのがよいと判断した。また、実験期間が生育 4 日目にさしかかると、一部の個体から本葉が出てきてしまう恐れがあると考え、本実験では、種子を撒いてから 2 日経ったエンバクのうち、発芽して同程度に育った幼葉鞘に、24 時間音を当てることにした。

3. 本実験 I

3.1 仮説と実験の目的

先行研究で効果のあった 400Hz の音をエンバクの幼葉鞘に当てるとその伸長を強く促進するという仮定のもと、音を当てたときと当てなかったときの条件において伸長に差が出るのかを調べることにした。

3.2.1 実験方法

キッチンペーパーを敷いたシャーレの上に、乾燥状態で 0.02~0.03 g (有効数字一桁、電子天秤で測定) の種子を万遍無く 120 粒ほど撒き、暗条件で 2 日間育てた。2 日後、同程度に生育した個体選び、水漏れを防ぐためにラップをまいたケース (12 個×4 ケース分) に敷き詰めたスポンジの上に植え替え、「音あり」条件、「音なし」条件それぞれのインキュベーター内に設置した。ここで「音あり」とは、400Hz の音 (アプリ WaveGene を使用し、インキュベーター内のスピーカ

ーから出力された約 100 dB の正弦波) をエンバクの幼葉鞘に 24 時間当て続けることである。また、「音なし」とは 24 時間全く音を当てないことであるが、インキュベーター内で音圧を計測したところ、50 dB 近い値が検出された。なお、幼葉鞘は通常地下に存在し、光合成を行わない^[2] ため、インキュベーター内は光を遮断し、設定温度は 25℃ とした。さらに、インキュベーター内部に吸音材を設置した。実験前と実験後に背景に方眼紙を設置した状態で、一眼レフカメラでエンバクを撮影し、アプリ ImageJ を使って画像解析を行い、実験の前後での長さの変化を計測した。

3.2.2 画像解析の方法

幼葉鞘の付け根部分から先端までを折れ線でなぞることでその長さを計測した。このとき背景の方眼紙 1 マス分を 1cm として計測を行った。以下、

$(\text{伸長[cm]}) = (\text{実験後の計測値[cm]}) - (\text{実験前の計測値[cm]})$ と定義した。

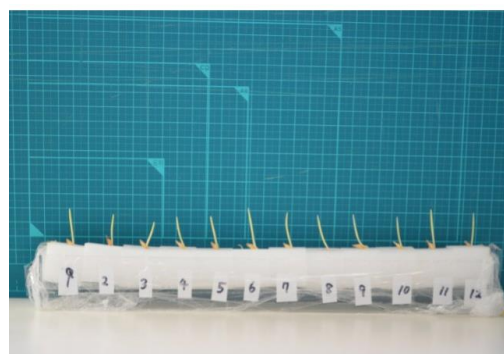


図 3 : カメラで撮影したエンバク

3.3 結果と考察

全 7 回分 (一回あたり 48 個体) の実験での各個体の伸長 [cm] の条件ごとの平均値および分散は表 2 のようになった。

表 2 : 全 7 回 (48 個体×7 回分) データの代表値

	平均	分散
音あり	0.98	0.335
音なし	0.92	0.368

条件間で差が見られないため、昨年度の研究において本葉で伸長が促進する周波数 400Hz の音は、幼葉鞘の伸長には効果を示さないと考えられる。このこと及び下に示す植物全般、そして幼葉鞘に関する特性から新たに仮説を立てた。

- ・幼葉鞘は細胞の吸水成長で伸長する^[2]
- ・植物は固有振動数を持っていて、その振動が植物体

に当たると、共振現象が起こり、道管を通過する水量が多くなる^[3]

- ・植物の共振現象が建物の共振現象と同様のものと見なすと、固有振動数は長さが小さいほど大きくなる^[4]

私たちは、音が植物に当たると植物が共振現象をし、吸水が盛んになることで伸長が促進される。この際、固有振動数の変化に伴って音の最適な周波数も変化するため、先行研究で用いられた 10 cm 前後の個体では周波数 400Hz の音はその伸長を促進したが、本研究で用いた 2 cm 前後の個体では周波数 1000Hz～3000Hz の間に最適な周波数がある、と考えた。

なお、冒頭で述べたように IAA の合成促進によって伸長が促進された可能性は否定できないが、学校の設備では IAA の定量が困難であること、本実験 I において周波数 400Hz の音が幼葉鞘の伸長を強く促進しなかったことからその可能性は低いと判断したことの 2 点により、本研究ではその仮説には焦点を当てないことにした。

3.4 補助実験

3.4.1 実験目的と方法

エンバクの幼葉鞘は光合成を行わず、種子内の養分によって成長する。そのため種子の質量が大きいほど伸びが大きくなるという可能性がある。それを検証するために補助実験を行った。本実験 I では、事前に質量を測った上で実験に使用する種子を決めていたが、有効数字 1 桁という範囲であった。今回は有効数字 3 桁の範囲で種子の質量を計測したエンバクの種子を 24 粒用意した。それらを仕切りのあるプラスチック容器に脱塩水を入れて 1 区画につき 1 粒ずつ浮かべた。2 日後同程度に生育した 18 個体を 1 ケースにつき 9 個体ずつ本実験 I と同様の手順で植え替え、音なし条件で実験を行った。

3.4.2 実験結果と考察

種子の質量と伸長の関係を図 4 に示す。

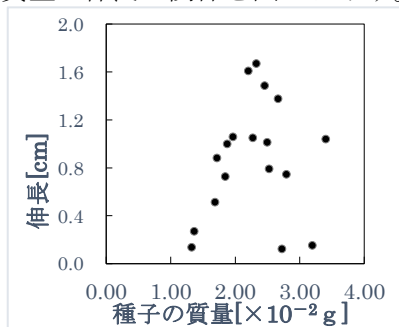


図 4：種子の質量と伸長

個体差はあるが、質量が大きくなるほど伸長が大きくなるという相関は確認されなかった。よって種子の質量の差異による伸長への影響はなく、本実験 I と同様の有効数字 1 桁で 0.02～0.03g の種子を使用するので問題はないことが分かった。

4 本実験 II

4.1 実験目的と方法

本実験 I の考察を踏まえ、幼葉鞘の伸長を促進する音の音圧及び周波数を絞り込むことを目的とする。音圧は 60 dB、80 dB の 2 通りで、周波数は 1000Hz、2000Hz、3000Hz の 3 通りを組み合わせた 6 通りと音なしを含めた 7 通りの実験系を組んだ。

前述の通り、無音のインキュベーター内で音圧を計測すると 50 dB に近い値が検出されたため、音圧は 60 dB と 80 dB に設定した。実験方法は本実験 I と同様である。なお画像解析を行う際に平面的に画像を捉えることが出来るように、実験前後に一眼レフカメラで写真を撮影する際は、2 枚の亚克力板でエンバク個体を挟み、前後の湾曲を矯正した。

4.2 実験結果と考察

音圧と周波数の 7 通りの実験系より音圧別、周波数別に試料の伸長分布を図 5、図 6 に示す。

図 5 より音圧別に見た際、80 dB に比べると 60 dB の方が幼葉鞘の伸長を促進する効果がやや高い。よって音圧は、小さい方に伸長を促進する効果が高い可能性があるが、その差は微々たるものであり、現段階では音圧が植物の伸長に与える影響は不明である。

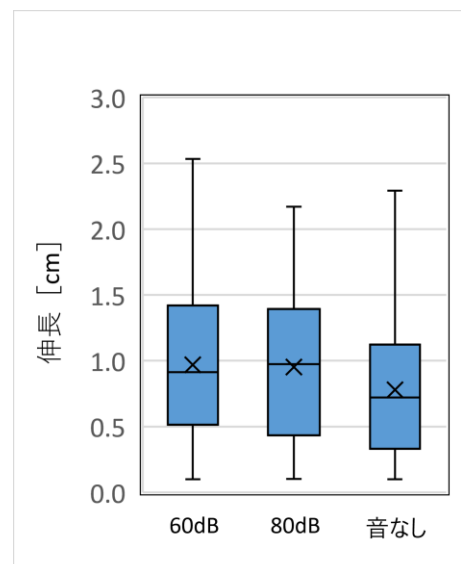


図 5：音圧別の伸長の分布

伸長の平均値、中央値、第一四分位数、第三四分位数において 60 dB、80 dB とともにその値は音なしの値よりも大きいことから、60 dB、80 dB の音は伸長を促進すると考えられる。また、60 dB、80 dB のそれぞれの平均値の間にほとんど差が見られないことから、60 dB、80 dB の音の伸長促進効果に差はないと考えられる。

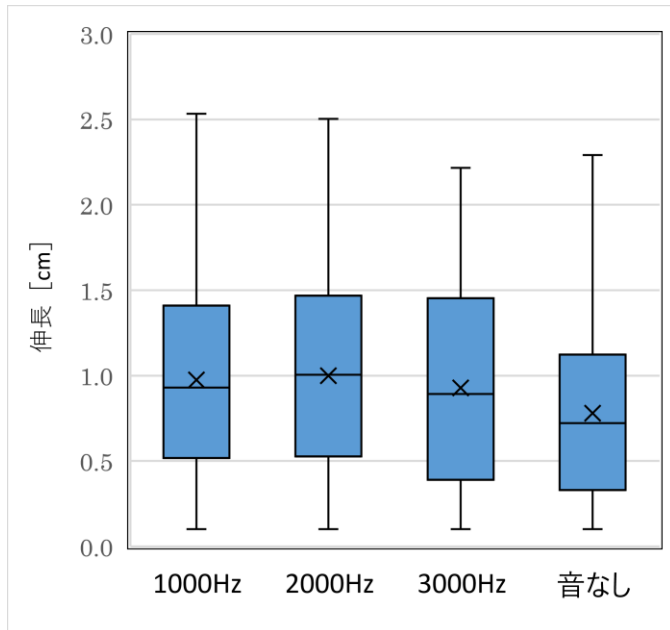


図 6：周波数別の伸長の分布

図 6 より、伸長の平均値、中央値、第一四分位数、第三四分位数において、1000、2000、3000 Hz とともにその値は音なしの値よりも大きいことから、これらの周波数の音は伸長を促進すると考えられる。また、周波数ごとに比較すると、2000 Hz でこれらの値が最大になっていることから、周波数 2000 Hz 付近の音が最も幼葉鞘の伸長を促進すると予想される。

また、光合成を行わない幼葉鞘においても音はその伸長を促進したことから、音による作用は空気の対流だけにはとどまらず、植物内部に及んでいる可能性が高いと考えられる。

5. 結論

音はエンバクの幼葉鞘の伸長を促進すると考えられる。また、伸長促進に適した音の周波数は幼葉鞘期では 2000 Hz 付近にあるとみられ、これは先行研究で効果の見られた周波数 400Hz よりも大きい。よって植物の成長段階の変化に伴い適する周波数も変化すると考えられ、そのメカニズムとして「音が植物に当

たると植物が共振現象をし、吸水が盛んになることで伸長が促進される」というものが考えられる。

6. 展望

本実験 II において音圧と伸長の関係がはっきりと見られなかったのは、インキュベーター内で音が反射することで測定値との誤差があったことが考えられる。そのため、シミュレーションで音の広がり方を確認し改善策を模索したい。また、道管の観察を行うなどして、伸長促進のメカニズムの解明に向けた取り組みを、今後行っていきたい。

7. 謝辞

本研究においてご指導いただいた本校教諭の千脇久美子先生、繁戸克彦先生、本校サイエンスアドバイザーの皆様には心から感謝の意を表します。また、論文や実験器具を譲渡して下さった 73 回生の先輩方には深く感謝申し上げます。

【参考文献・参考 URL】

- [1] 兵庫県立神戸高等学校,2020, 音の植物の伸長への影響とそのメカニズム
- [2] 幼葉鞘-Wikipedia, <https://ja.wikipedia.org/wiki/子葉鞘>
- [3]]音楽効果を利用した植物栽培とそのメカニズムの究明 U-CORE, <https://core.ac.uk/download/pdf/61359663.pdf>, (2021/01/25)
- [4] 共振現象の恐怖：建物と地盤の固有振動数・固有周期の関係, https://www.bakko,hakase.com/entry/092_kyoushin, (2021/01/25)