

枯草菌の芽胞の伸縮について

神戸高校総合理学科 2年
石原田豪・岩木悠乃・大塚俊輔・小濱晴天・町田宇弥・村山元気

目的

芽胞シートの条件と伸縮率の関係と伸縮方向を制御する方法を探る。

結果

塗布した芽胞の量と芽胞シートの長さの関係式を出すことができた。また、伸縮方向も制御することができた。

予備実験

実験内容

枯草菌の芽胞から芽胞液を作成してシートに塗布し、伸縮作用を調べる。

実験方法

i. 芽胞液の調製

液体培地をまいた三角フラスコをシェイカーにいれ3~5日間程度培養した。それを遠心分離し採取した芽胞を脱塩水で薄め芽胞液とする。

ii. 伸縮性の確認

芽胞液を入れたシャーレでシートを乾燥させた。

実験結果

確かに湿度を変化させると伸縮した。通常の外気中では収縮して、息を吹きかけると伸びた。

本実験1-1

実験内容

芽胞液の芽胞の量を変化させ、シートの伸縮率を計測してそれとどのような相関にあるかを調べる。

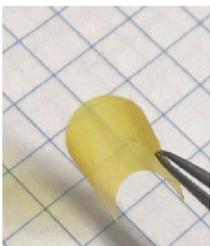
実験方法

i. 芽胞テープの作成

- 採取した芽胞を電子天秤を用いて0.1 g~0.5 gまで0.1 g刻みで量り取った。
- 全体が15 mlとなるように脱塩水を入れ芽胞液を作成した。
- シートを12 mm四方の大きさに切ったものを50枚用意した。
- シャーレを5個用意し10枚ずつシートを入れ、その上に芽胞液を入れて浸した。
- 3日程度放置し、乾燥したことを確認し、シートをはがした。

ii. 伸縮率の測定

- 数分空気中(相対湿度45~50%)でシートを放置し、縮むことを確認した。
- 縮んだシートをラボノートに置き、上から写真を撮った。
- 写真を用いて曲率半径を測った。

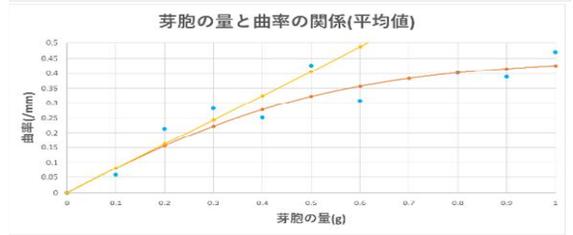
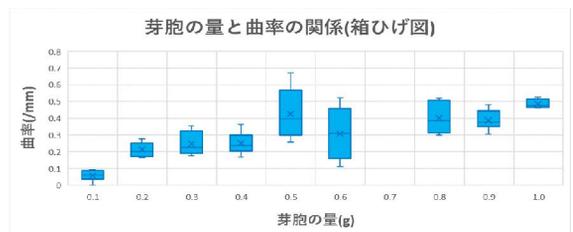


縮んでいる芽胞シート



伸びている芽胞シート

実験結果



上の図で0.7gのデータは実験の失敗により得られなかった。また下の図で、黄色の直線の式は $y = 0.8123x$ で、 R^2 値は0.9134である。オレンジのグラフの式は $y = 0.5 \tanh(2 \cdot 0.8123x)$ である。

考察

図から芽胞の量と伸縮率には正の相関があること、そして下図の黄色の直線から、芽胞の量が0 gから0.5 gの間では比例関係にあることがわかる。しかし、芽胞の量が0.5 gを超えると比例関係が崩れている。これは、ある程度シートが縮んだ後は曲げるために必要な力が急激に増加し芽胞の量が増加したとしても曲率が増加しにくくなるためであると考えられる。また、オレンジ色の式すなわち $\tanh x$ の式で近似できる理由を裏付けるための理論はまだ構築できていない。

本実験1-2

実験内容

塗布する湿度と曲率の関係を調べる。

実験方法

本実験1-1で作成した、芽胞を0.3 g含む芽胞液で浸して作ったシート二枚を真空デシケータ内に固定して行った。

i. 空気中の湿度より湿度を上げる場合

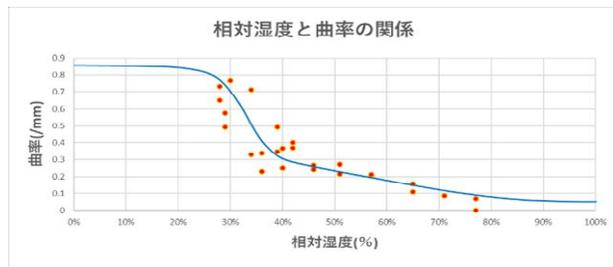
水を入れたシャーレをデシケータ内に入れた。

ii. 空気中の湿度より湿度を下げる場合

デシケータ内を真空にした。

このようにして湿度を調整し、シートを写真に収めて本実験1-1と同様の方法で曲率半径を測定を行った。

実験結果



機械の都合上、湿度0%~27%、78%~100%の間の測定はできなかった。図の青いグラフは結果から予想した関係である。

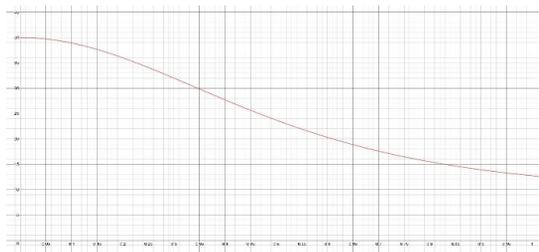
考察

図10より湿度と曲率には負の相関があることがわかる。しかしその関係は複雑であり、線形近似は通用しない。それは実験1-1で芽胞の量を増やしても曲率が増加しなくなったことと同じように、湿度を20%以下にしても曲率が変化しないことが見込まれるからである。このことは湿度が80%以上のときも同様である。このことから我々は青いグラフに従うのではないかと考えたが、そのグラフを数式化することはできなかった。曲率が大きく変化している範囲は湿度が30%から40%のときである。これはこのシートが空気中の湿度から10%ほど操作することで大きく伸縮することを示しており、実用化に適していると考えられる。

実験1まとめ

芽胞の量 m と伸縮率 α の関係式は、湿度が約45%のとき $\alpha = 0.5 \tanh(2 \cdot 0.8123m)$ とあらわすことができる。また、伸縮率とシート全体の長さの関係式は(1)式であらわすことができた。従って芽胞の量とシートの長さの関係式は以下ようになる。

$$L(m) = \frac{4n}{\tanh(2am)} \sin\left(\frac{l_0}{4} \tanh(2am)\right) \quad (a = 0.8123)$$



本実験2-1

実験内容

芽胞シートの伸縮方向を制御する。

実験方法

8 mm四方の正方形を12個交互に塗布したばね型芽胞シート(1)を作成し、湿度を変化させることで収縮させた。

実験結果・考察

芽胞の伸縮によって予想していた方向にシートは歪んだが、先行研究のように蛇腹状に伸縮することはなかった。芽胞シートには伸縮にかかるエネルギーが少ない方に曲がる性



(1)

質があり、正方形を連結させたばね型芽胞シートが正方形の対角線を通るように曲がるのは自然である。これを踏まえて新たな形状を模索し、本実験2-2を行った。

(2)

本実験2-2

実験内容

芽胞シートの伸縮方向を制御する。

実験方法

40 mm×10 mmの長方形を交互に4個塗布したばね型芽胞シートを作成し、収縮させた。この形状ではシートは長方形の短辺で曲がると予想した。また、本実験2-1と同様に対角線で曲がったとしても正方形の場合と異なって歪みは小さくなると考えた。



(2)

実験結果・考察

シートは予想していた方向に伸縮し、歪みも見られなかった。ばね型芽胞シートではシートの形状を工夫することで全体としての伸縮方向を制御することができた。

追実験

実験内容

ばね型芽胞テープの張力を測定する。

実験方法

40 mm×10 mmを8個交互に塗布したばね型芽胞シート(i)、40 mm×10 mmを4個交互に塗布したばね型芽胞シートを用いて張力を測る実験を行った。まず、段ボール箱を用いて密閉空間を作った。その中でばねばかりをスタンドに吊り下げ、その先端にシートを取り付けた。この時、シートは三枚並列に束ねたものを一枚のシートとした。次に密閉空間内で電気ポットを用いて水を沸騰させることで湿度を90%以上とした。伸び切ったシートの下端をテープで固定し段ボール箱を外し、湿度を室内同じと約45%し、シートを収縮させ、ばねばかりの目盛りをよんだ。



実際の段ボール箱

実験結果・考察

(i)では平均1.7 g w、(ii)では平均1.6 g wであった。これより、ばね型芽胞シートでは長さを変化させても張力に大きな変化が見られないことが分かった。実験で用いたばねばかりでは測定を精密にすることはできなかった。また、今回の実験系ではテープの下端を止めるときの作業で人為的な影響があった可能性があるため、別の方法を考えるべきである。

謝辞

本研究を遂行するにあたって、温かく見守って下さり、また貴重なアドバイスを下さった中澤先生、繁戸先生、サイエンスアドバイザーの皆さん、本当にありがとうございました。

参考文献

- (1) Scaling up nanoscale water-driven energy conversion into evaporation-driven engines and generators
<https://www.nature.com/articles/ncomms8346>
- (2) 芽胞(細菌孢子)の微細構造
https://www.jstage.jst.go.jp/kenbikyo1950/23/1/23_1_9/_pdf