千葉県立船橋高等学校
理数科課題研究 2017 年

紫外線がジョロウグモの牽引糸に与える影響

The influence of ultraviolet rays on the traction thread of Nephila clavata

千葉県立船橋高等学校理数科 3 年
大草　三起

目的

牽引糸はクモが常に糸疣から出している糸であり,命綱としての役割を担っている。そのため 7 種類あるクモの糸の中で最も高い引っ張り強度を有する。本実験ではメスの成体のジョロウグモから牽引糸を採取し,牽引糸に紫外線を照射した後に糸の引っ張り強度と伸びを測定して紫外線がジョロウグモの牽引糸にどのような影響を与えるかを調べる。

方法

見かけ上 1 本に見えるジョロウグモの牽引糸は 2 本の糸から成っているが(図 1),両方とも常に等しい直径及び引っ張り強度を持っているとは限らない。そのため今回は 2 本で構成されている状態の見かけ上 1 本に見える糸を本研究での 1 本の糸とし,断面は完全な円であるものとした。また実際のジョロウグモの牽引糸 1 本の持つ直径が 4~5μm であるので本実験で 1 本として扱う牽引糸の直径を 8μm とおいて引っ張り強度を計算した。牽引糸のサンプルはメスの成体のジョロウグモから採取した。紫外線ライトはアズワンの LUV-16 と UVG-54 を用い,牽引糸から 36cm の距離で照射した(図 2)。

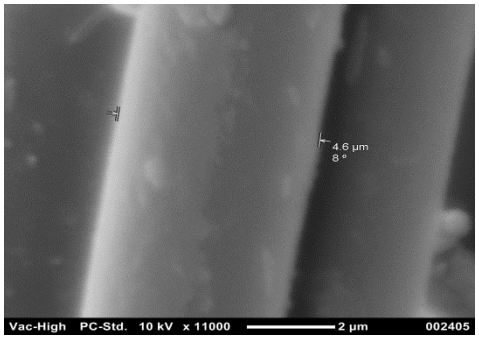


図 1　牽引糸の構造（SEM 像）

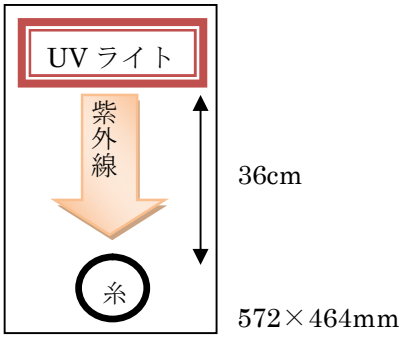


図 2　紫外線の照射方法

実験 1

365nm の紫外線を照射時間を 24 時間,48 時間,72 時間に分けてそれぞれ照射した後牽引糸の引っ張り強度を測定した。また 254nm の紫外線を照射時間を 24 時間,48 時間に分けてそれぞれ照射し同様に引っ張り強度を測定した。対照として紫外線を照射しない場合の引っ張り強度も測定した。引っ張り強度は以下の式で算出した。

引っ張り強度 ＝ $(1/2\times gx\times 10^{3})/\pi\ (4\times 10^{-6})^{2}$ [Pa]

x：引っ張り強度の測定値［g］　　g：重力加速度　　π：円周率

ループ状にした牽引糸の一端に錘を取り付け,ループにナイロンの糸を通してそれを一定速度で引っ張ることによって引っ張り強度を測定した(図 3)。牽引糸が破断した時の錘の重さを読み取り,その値を上記の式の x に代入した。伸びは等しい長さに束ねた牽引糸の一端を板で挟んで固定し,もう一端を引っ張ることで測定した(図 4)。

図 3　引っ張り強度の測定装置

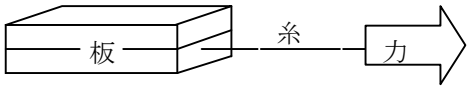
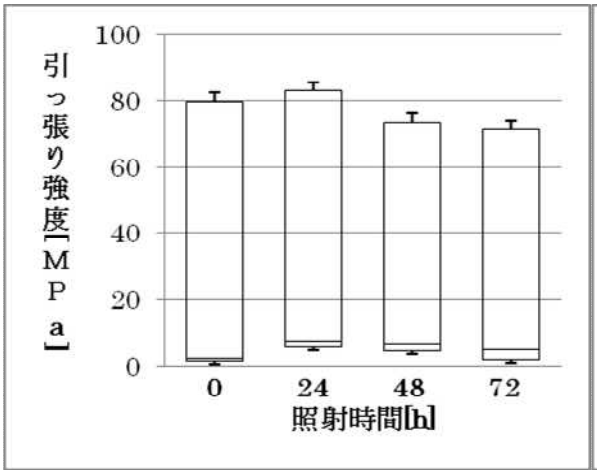


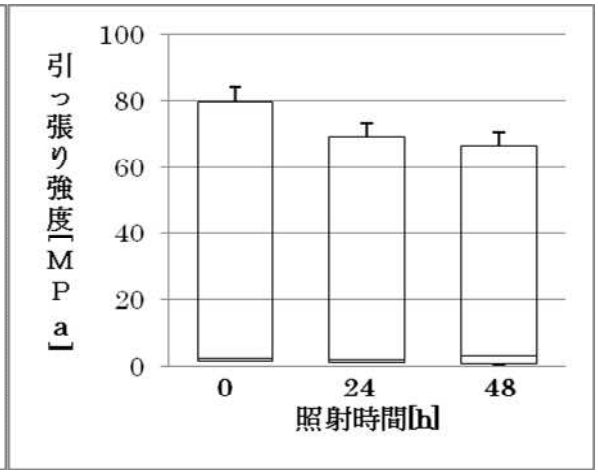
図 4　伸びの測定方法

結果 1

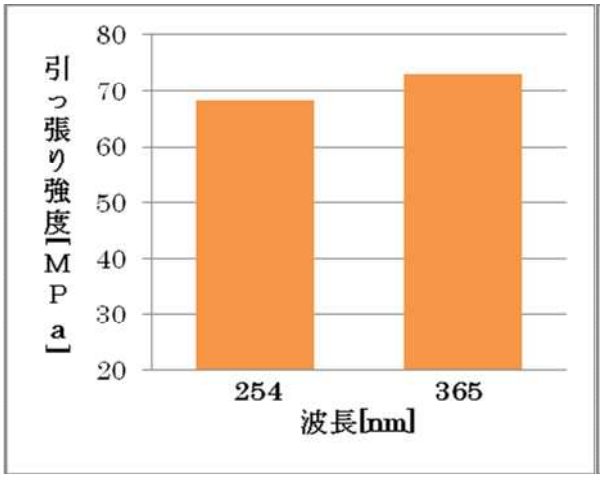
365nm,254nm の紫外線はともに牽引糸の引っ張り強度を減少させ,その傾向は紫外線の照射時間が長い方が強くなった(グラフ 1,2)。同じ紫外線の照射時間の下では 365nm の紫外線より 254nm の紫外線の方が牽引糸の引っ張り強度を減少させた(グラフ 3,4)。



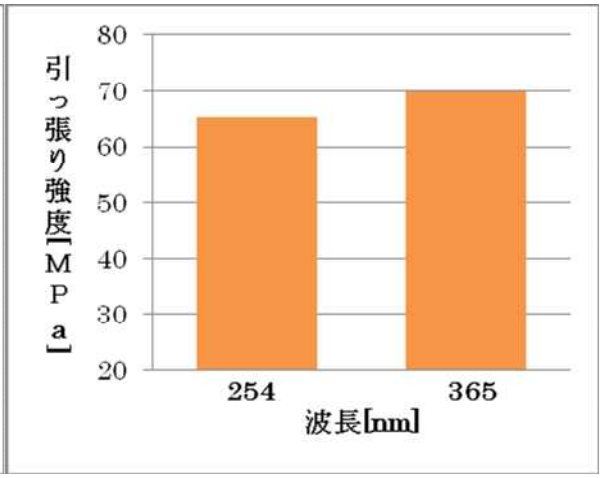
グラフ 1　365nm 照射における引っ張り強度



グラフ 2　254nm 照射における引っ張り強度



グラフ 3　24 時間照射時における引っ張り強度



グラフ 4　48 時間照射における引っ張り強度

考察 1

365nm の紫外線を 24 時間照射した場合は引っ張り強度の減少はみられないが,48 時間照射した場合にはみられる。これはジョロウグモが 2 日ごとに巣の張り替えを行う理由の 1 つであると考えられる。また同じ紫外線の照射時間の下で 254nm の紫外線の方が 365nm の紫外線より牽引糸の引っ張り強度を減少させることから,254nm の紫外線の方が 365nm の紫外線より牽引糸を構成するタンパク質の変性に影響を与えやすいと考えられる。

実験 2

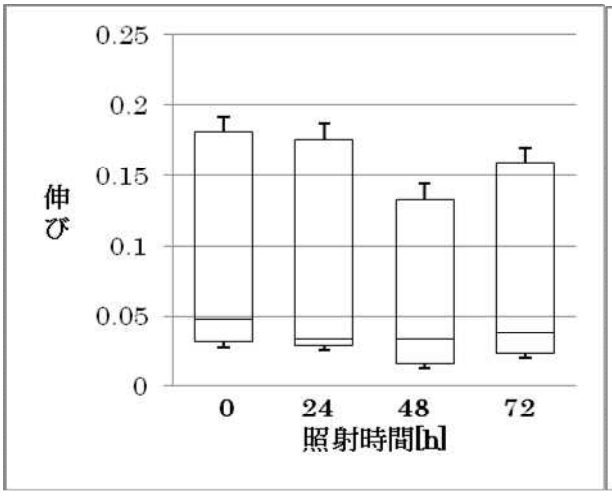
365nm の紫外線を照射時間を 24 時間,48 時間,72 時間に分けてそれぞれ照射した後牽引糸の伸びを測定した。また 254nm の紫外線を照射時間を 24 時間,48 時間に分けてそれぞれ照射し同様に伸びを測定した。対照として紫外線を照射しない場合の伸びも測定した。伸びは以下の式で求めた。値は測定前の糸の長さに対する破断時の長さの割合であり，単位はない。

伸び = $(L-L_0)/L_0$

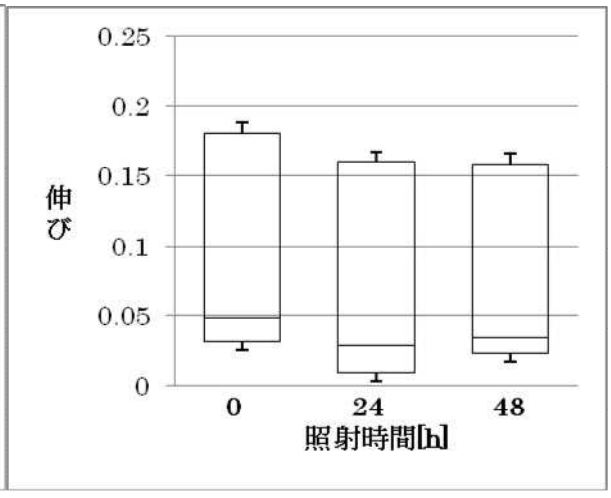
L_0 ：元の糸の長さ　　L：破断時の糸の長さ

結果 2

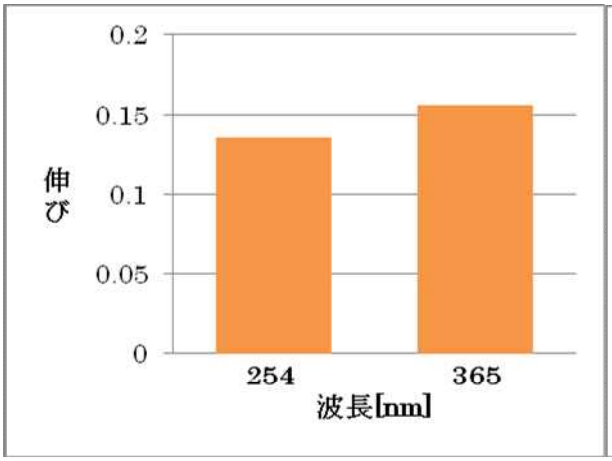
365nm,254nm の紫外線はともに牽引糸の伸びを減少させた(グラフ 5,6)。365nm の紫外線を照射した場合において 72 時間照射した時の伸びは 48 時間照射した時の伸びよりも高い値が得られた(グラフ 5)。紫外線を 24 時間照射した場合において 254nm の紫外線の方が 365nm の紫外線を照射した時よりも低い値が得られ,48 時間照射した場合においては 254nm の紫外線の方が 365nm の紫外線を照射した時よりも高い値が得られた(グラフ 7,8)。



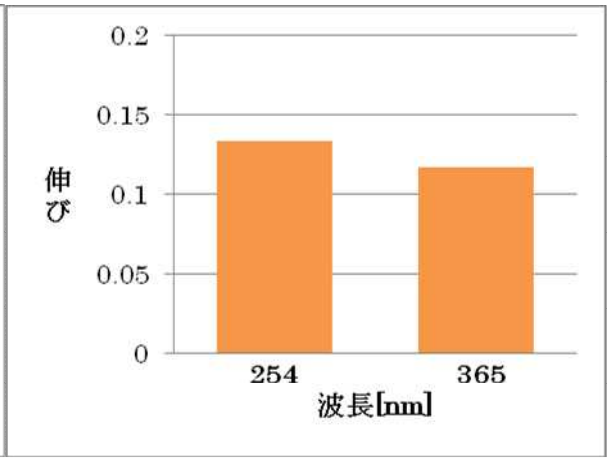
グラフ 5　365nm 照射における伸び



グラフ 6　254nm 照射における伸び



グラフ 7　24 時間照射における伸び



グラフ 8　48 時間照射における伸び

考察 2

365nm の紫外線を 24 時間照射した場合は糸の伸びの減少はみられないが,48 時間照射した場合にはみられる。このことからジョロウグモの巣の張り替えの周期に関して考察 1 と同じ仮説を立てられる。グラフ 5 において 72 時間照射の時の伸びが 48 時間照射の時の伸びよりも高い値が得られ,またグラフ 8 において 254nm の紫外線照射の時の伸びが 365nm の紫外線照射の時の伸びよりも高い値が得られたが,これらの理由はおそらくデータ不足によるものであり,そのためにばらつきが生じやすくなったと考える。

結論

365nm,254nm の紫外線はジョロウグモの牽引糸の引っ張り強度を減少させ,その程度は紫外線の照射時間が長い方が大きくなる。また同じ紫外線の照射時間の元では 254nm の紫外線の方が 365nm の紫外線より牽引糸の引っ張り強度を減少させる。これらは紫外線が牽引糸を編成しているタンパク質を変性させること及びその程度は 254nm の紫外線の方が 365nm の紫外線よりも強いということを裏付ける。また 365nm,254nm の紫外線はジョロウグモの牽引糸の伸びを僅かに減少させるが,今回の実験からは紫外線の照射時間及び波長と牽引糸の伸びとの関係が読み取れず,伸びと引っ張り強度との関係も読み取れなかった。

今後の課題

ジョロウグモから牽引糸のサンプルを採取するのが難しく,実験データを僅かしか得られなかった。そのためデータの傾向を読み取りづらく,また結果の信頼性も低くなってしまった。実験 2 については,伸びの測定方法に改善の余地が多くみられる。実験を手動で行ったため一定速度で糸を引っ張ることができなかった。またはじめの糸の長さが短かったため伸びの細かい値を出すことができなかった。今後はデータ数を増やしてより信頼できる結果を出した上で伸びと引っ張り強度との関係を調べてグラフ化したい。さらに牽引糸を構成するタンパク質のアミノ酸配列やそれらのタンパク質同士の結合の関係などを調べてクモの牽引糸の引っ張り強度を裏付ける原因について研究したい。