

# Extended Essay

Biology

リサーチクエスチョン:

異なる濃度(0, 20, 40, 60, 80, 100mmol/L)のカフェイン(1,3,7-トリメチルキサンチン)水溶液を用いてハツカダイコン(*Raphanus sativus* var. *Sativus*)種子を育てることで、それぞれの種子の発芽にどのような違いが見られるのか。

(7762文字)

Candidate Code: kbx007

Session Number: 060743-0004

## 目次

1:紹介 .....	2
1.1:目的 .....	2
1.2:動機.....	2
1.3:リサーチクエスチョン.....	2
2:調査.....	3
2.1:背景 .....	3
2.2:仮説.....	3
2.3:変数.....	4
3:実験方法.....	6
3.1:材料 .....	6
3.2:手順.....	6
3.3:リスクアセスメント.....	8
4:結果 .....	8
4.1:生データ .....	8
4.2:計算.....	10
4.3:95%信頼区間.....	12
4.4:T検定.....	12
4.5:グラフ.....	13
4.6:結論.....	15
5:評価と改善点 .....	15
5.1:方法論の評価.....	15
5.2:今後.....	16
6:参考文献.....	17
7:付録.....	18

## 1:紹介

### 1.1:目的

この研究では、ハツカダイコン種子の発芽がカフェインによってどのような影響を受けるのかを調査した。

### 1.2:動機

カフェインがハツカダイコン種子の発芽へどのように影響を与えるのか調査したいと考えた動機としては、まず私自身、カフェインの持つ覚醒作用を期待しエナジードリンクを愛用しているという点があり、この調査を始めるに至ったきっかけとなった。近年、覚醒作用・興奮作用を目的としてカフェインが利用される場面が増えており、コーヒーやエナジードリンク、栄養ドリンクなどはその一例である。そのようにカフェインはヒトの身体に対しては覚醒作用や興奮作用など、眠気を覚ます効果を持っている。また私たちはカフェインの持つそのような効果に対して利用価値を見出している。私自身も、眠気覚ましとしてエナジードリンクを頻繁に利用している。しかし私は、ヒトに対するカフェインの効果のみでなく、植物の成長に対するカフェインの効果についても興味を湧いた。私の父は農業を副業として営んでおり、私自身も父の農作業を手伝う機会があった。農業的な観点・農業利用を期待する視点から見ても、カフェインが植物の成長に対してどのように影響するのか興味を湧いた。以上の興味をもとにいくつかの文献を調べてみたところ、カフェインは植物の成長を抑制する効果を持つが、与える濃度を調整することによって植物の成長を促進させる効果も期待できる<sup>12</sup>、ということを知ることができた。以上の効果をカフェインが持つことを知ることができたものの、植物の種子の発芽に関してはカフェインが具体的にどのように作用し、どのような傾向を示すのかさらなる興味を湧き文献を通して再び調査した。しかし、文献を探したものの答えを得ることができなかつたため、この機会を通してカフェインが植物の発芽にどのように影響を与えるのか調査することとした。結果として、本論にて扱うリサーチクエスチョンへと至った。

### 1.3:リサーチクエスチョン

異なる濃度(0, 20, 40, 60, 80, 100mmol/L)のカフェイン(1,3,7-トリメチルキサンチン)水溶液を用いてハツカダイコン(*Raphanus sativus* var. *sativus*)種子を育てることで、それぞれの種子の発芽にどのような違いが見られるのか。

---

<sup>1</sup> Farha Quadri. (2016). Study on Effect of Caffeine on Growth of *Vigna radiata* L.

<sup>2</sup> D Shahab. (2009). Studies on the effect of caffeine on growth and yield parameters in *Helianthus annuus* L. variety Modern.

## 2:調査

### 2.1:背景

カフェイン(1,3,7-トリメチルキサンチン)の構造は右のような形をしており、メチルキサンチン類に分類されるアルカロイドの一種であり<sup>3</sup>、ヒトに対しては、中枢神経を興奮させる、心臓に刺激を与える、利尿を促す、気管支を拡張させる、といった効果を持っている<sup>4</sup>。また、発がん物質による発がんのリスクを低下させる効果があることも判明している<sup>5</sup>。そのような効果の存在に対してカフェインは、植物の適切な細胞分裂や細胞壁の発達へ悪影響を及ぼし、植物の成長を妨げる可能性がある。まず、カフェインは細胞内のカルシウム量の調節を妨げる。植物においてカルシウムは、細胞壁や細胞膜、細胞間をつなげる構成成分の一つであり、加えて、細胞内の染色体の構造の維持、新陳代謝で生成された有機酸の中和・無害化<sup>6</sup>など、植物細胞において重要な機能を果たしている。それに対して、カフェインはアデノシン受容体(カルシウム濃度の制御に重要な役割を果たしている)の活動を阻害し、細胞内のカルシウムを細胞外へと大量に放出させてしまい、カルシウム濃度を低下させる<sup>7</sup>。その結果として、カルシウムによって果たしている機能が阻害され、植物の細胞分裂や細胞壁の発達へと悪影響を及ぼす可能性がある。生物は細胞分裂を行うことにより、物理的に体を成長させる、つまり拡大する。もちろん植物もそのように成長している。発芽においても、植物の幼根が成長することで種皮を破り、外へと芽を出す。つまり、細胞分裂への悪影響は発芽そのものへと影響する可能性があり、カフェインは植物の種子の発芽を抑制する効果を持つのではないかと仮説を立てた。

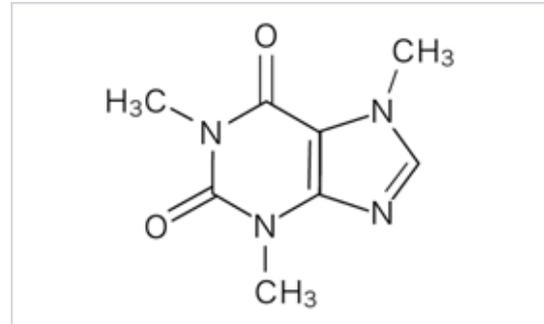


図: カフェインの構造

引用: エステス製薬. (nd). 「薬の成分ディクショナリー: 無水カフェイン」. 『エステス製薬』. <<https://www.ssp.co.jp/dictionary/anhydrous-caffeine/>> (2022年8月30日).

### 2.2:仮説

H<sub>1</sub>: より高い濃度のカフェイン水溶液を用いたハツカダイコン種子ほど発芽数が少ない。

H<sub>0</sub>: カフェイン水溶液の利用によって発芽数は変化しない。

<sup>3</sup> D Shahab. (2009). Studies on the effect of caffeine on growth and yield parameters in *Helianthus annuus* L. variety Modern.

<sup>4</sup> 野村隆英. (2014). 『百年千年の薬たち』. 風媒社.

<sup>5</sup> Kesavan, P.C., (2005). Oxygen effect in radiation biology: Caffeine and serendipity. *Current Science*, 89(2): 318-328.

<sup>6</sup> BSI 生物科学研究所. (nd). 『カルシウムと植物』.

<sup>7</sup> Farha Quadri. (2016). Study on Effect of Caffeine on Growth of *Vigna radiata* L.

## 2.3:変数

独立変数:カフェイン水溶液の濃度

- 0 mmol/L (コントロール)
- 20 mmol/L
- 40 mmol/L
- 60 mmol/L
- 80 mmol/L
- 100 mmol/L

予備実験にて、変数をカフェイン水溶液の濃度をそれぞれ 0mmol/L(コントロール)、0.01mmol/L、0.1mmol/L、1mmol/L、10mmol/L に設定し結果を見たものの、0.01mmol/L、0.1mmol/L、1mmol/L のカフェイン水溶液ではコントロールとの差が出ず、10mmol/L にのみ小さな差が生まれた。予備実験では変数を指数関数的に、つまり変数間の差が大きくなる形で設定したため一つの変数でしか結果が出なかったが、0-100mmol/L へと段階的に変数を設定することで、カフェインが発芽に対してどのように、どれほど影響を与えるのか、また、それはどのような傾向を示しているか評価することができると判断したため、上記のように変数を設定した。

従属変数:経過日ごとに発芽したハツカダイコン(*Raphanus sativus* var. *sativus*)種子の数

制御変数:

テーブル1:制御変数を示す表

制御変数	正当化	制御方法
気温	気温によって種子の発芽が促進・阻害されてしまうため <sup>8</sup> 、発芽率の比較を可能とするには同じ温度下での発芽が必要である。	恒温機内にて種子を発芽させることで気温を完全に制御することが可能であると考えたが、恒温機にて発芽させた場合、カフェイン水溶液が蒸発してしまう可能性があるため、恒温機は使用しなかった。また、マイナビ農業編集部によると、夜と昼の気温の変化により発芽が促進されるため <sup>9</sup> 、恒温機などの機器は特に使用せず、室内で発芽させた。

<sup>8</sup> マイナビ農業編集部. (2018). 「種を発芽させるために必要な温度・光・水の関係とは」『マイナビ農業』.<[https://agri.mynavi.jp/2018\\_09\\_24\\_42063/](https://agri.mynavi.jp/2018_09_24_42063/)>(2022年6月5日参照).

<sup>9</sup> マイナビ農業編集部. (2018). 「種を発芽させるために必要な温度・光・水の関係とは」『マイナビ農業』.<[https://agri.mynavi.jp/2018\\_09\\_24\\_42063/](https://agri.mynavi.jp/2018_09_24_42063/)>(2022年6月5日参照).

光の量	光は発芽と関係しており、光を受けることで発芽が促進される好光性種子と、光を受けることで発芽が阻害される嫌光性種子が存在している <sup>10 11</sup> 。種子へと当たる光の量の違いが発芽の速度へと影響しており、発芽率へも影響する可能性があるため制御する必要がある。	ダイコンの種子は嫌光性であるため <sup>12</sup> 、アルミホイルで包んだシャーレに種子を入れ、暗所にて発芽させた。
水の量	水の存在は発芽の条件の一つであるため <sup>13</sup> 、水の有無や与える水の量によって発芽の速度が変わってしまう恐れがあり、与える水の量を制御する必要がある。	ハツカダイコンをシャーレ内の脱脂綿上で発芽させる際にハツカダイコン種子に与える水の量は25mlのみとする。また、水を与えるのは0日目のみとし、それ以降は水を与えないこととした。
水の種類	水に含まれている成分が種子の発芽へと影響する可能性があり、カフェインを溶かす際に用いる水の種類を変えることによって発芽率が変わってしまう可能性があるため、使用する水の種類は統一する必要があると考えた。	カフェインを水に溶かしカフェイン水溶液を作製した際は水道水のみを使用した。
種子の種類	ハツカダイコンの品種によって発芽の速度が違う可能性があるため、同じ種類のハツカダイコン種子を発芽させる必要がある。	ハツカダイコン種子は全て、同じ商品のパッケージから取り出した。

<sup>10</sup> 株式会社トーホク.(nd).「タネの発芽と光の関係」『話のタネ』.<

<https://tohokuseed.co.jp/topic/hikarihatuga.html>> (2022年6月5日参照)

<sup>11</sup> マイナビ農業編集部.(2018).「種を発芽させるために必要な温度・光・水の関係とは」『マイナビ農業』.<[https://agri.mynavi.jp/2018\\_09\\_24\\_42063/](https://agri.mynavi.jp/2018_09_24_42063/)>(2022年6月5日参照).

<sup>12</sup> マイナビ農業編集部.(2018).「種を発芽させるために必要な温度・光・水の関係とは」『マイナビ農業』.<[https://agri.mynavi.jp/2018\\_09\\_24\\_42063/](https://agri.mynavi.jp/2018_09_24_42063/)>(2022年6月5日参照).

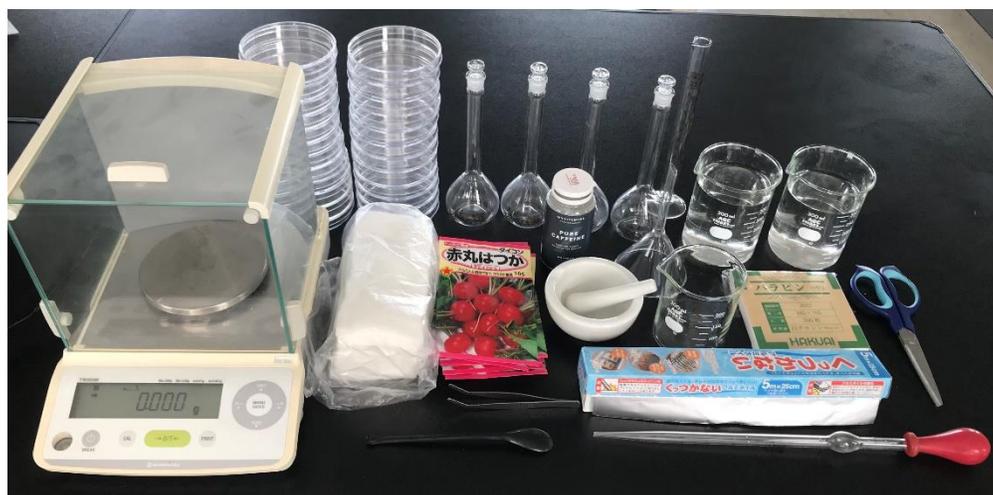
<sup>13</sup> e-taneya.(nd).「種子発芽の生理」『農業・園芸: 豆知識』.<[https://www.e-taneya.com/site/tokushu/minichisiki\\_12.html](https://www.e-taneya.com/site/tokushu/minichisiki_12.html)> (2022年6月5日参照).

### 3:実験方法

#### 3.1:材料

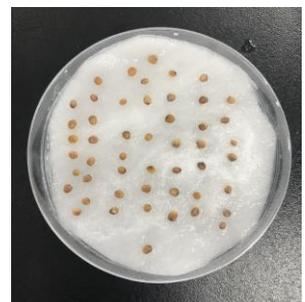
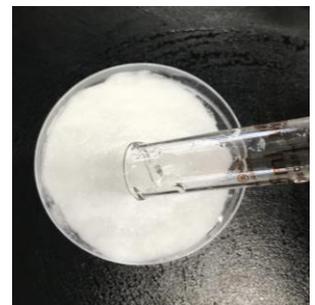
テーブル2:使用した器具と材料を示す表

器具・材料	量・個数	誤差	器具・材料	量・個数	誤差
ハツカダイコン 種子	1200 粒	-	漏斗	1 本	-
カフェイン錠剤 (200mg/錠)	10 錠	-	すり鉢	1 個	-
蒸留水	600ml	-	さじ	1 本	-
電子天秤	1 台	$\pm 0.001\text{g}$	脱脂綿	24 枚	-
葉包紙	5 枚	-	アルミホイル	-	-
シャーレ	24 枚	-	ピンセット	1 本	-
5ml ピペット	1 本	$\pm 0.25\text{ml}$	300ml ビーカー	2 個	-
25ml メスシリンダー	1 本	$\pm 0.25\text{ml}$	200ml ビーカー	1 個	-
100ml メスフラスコ	1 本	$\pm 0.1\text{ml}$	ハサミ	1 個	-



### 3.2:手順

1. すり鉢を用いて、カフェインの錠剤 3 錠を細かくすりつぶし粉状にする。なお、使用した錠剤は一錠あたり 200mg である。
2. 電子天秤の上に薬包紙を置き、電子天秤の表示を 0.000g に合わせる。
3. 電子天秤を用いて、以下に示した分量のカフェインを五回に分けて計り、それぞれを別々の 100ml メスフラスコへ入れる。なお、それぞれの質量はカフェインのモル質量(194.19g/mol)をもとに計算し設定した。また、単位は mol から mmol へと直している。
  - 0.388g (2.00mmol)
  - 0.777g (4.00mmol)
  - 1.165g (6.000mmol)
  - 1.554g (8.000mmol)
  - 1.942g (10.00mmol)
4. それぞれの 100ml メスフラスコに 100ml まで蒸留水を追加する。
5. それぞれの 100ml メスフラスコに栓をし、蒸留水にカフェインが溶けるように混ぜる。以上の手順の結果として、以下の五種類の濃度のカフェイン水溶液を作成した。
  - 20.0 mmol/L
  - 40.0 mmol/L
  - 60.0 mmol/L
  - 80.0 mmol/L
  - 100 mmol/L
6. 脱脂綿がシャーレ内に入るようハサミで切り、それぞれのシャーレに一枚ずつ脱脂綿を置く。
7. それぞれのシャーレ内の脱脂綿にそれぞれの濃度のカフェイン水溶液を 25ml ずつ(5ml ピペットを用いて 100ml メスフラスコから 25ml メスシリンダーに移し計量)染み込ませる。また、そのうち一つのシャーレにはコントロールとして、何も操作していない蒸留水を使用する。
8. それぞれの脱脂綿にハツカダイコンの種を 50 粒ずつ並べて播種する。その際、それぞれの種が十分に吸水できるようにするため、種同士を接触させず間隔を開ける。
9. シャーレに蓋をし、マーカーを用いてシャーレに入れた水溶液の濃度を蓋に記した。
10. ハツカダイコンの種は嫌光性であるため、種が日光に当たらぬようそれぞれのシャーレをアルミホイルで包む。



11. シャーレを暗所に3日間保管しハツカダイコンの発芽を待つ。結果としてそれぞれのカフェイン濃度につき4つずつサンプルを作成し、一つの変数につき50粒×4つのサンプル、つまり合計200粒分を発芽させた。
12. 三日間の間、毎日シャーレのアルミホイルを解き、ハツカダイコン種子の発芽数を数えた。また、数え終わった際にはそれぞれのシャーレを再びアルミホイルで包んだ。なお、ハツカダイコン種子の発芽数を数えた際、「幼根が種皮から1mm以上突き出ること」を基準として、種子が発芽しているか判断した。



### 3.3: リスクアセスメント

安全面: カフェインは食品などにも含まれており、接触したとしても人体へ害となる可能性は小さい。そのため、特に大きな配慮は行わなかった。

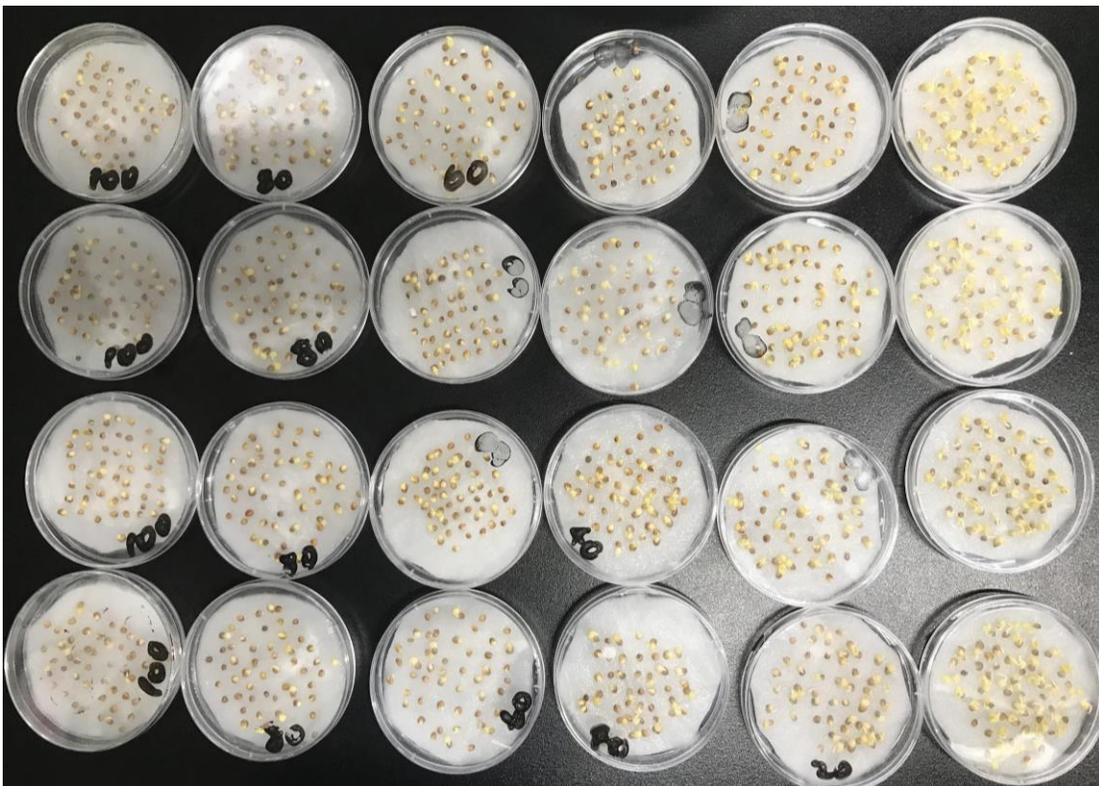
倫理面: この実験を進めるにあたって倫理的な問題はない。

## 4: 結果

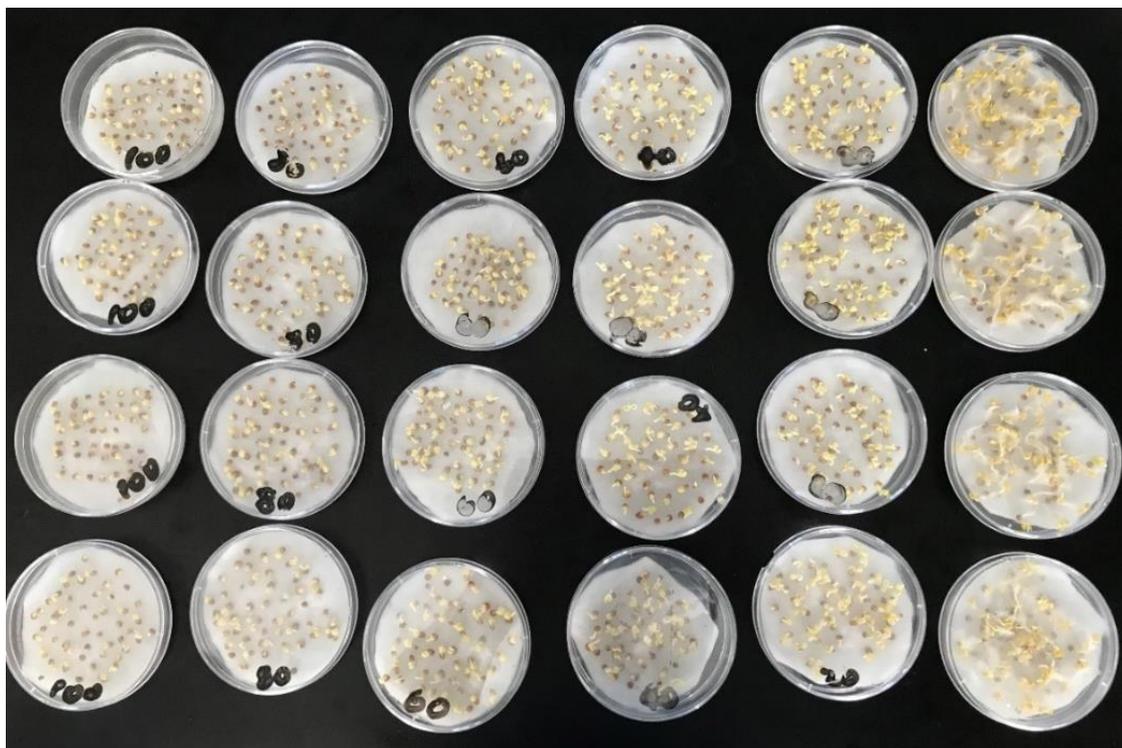
### 4.1: 生データ

実際に得た生データは付録としてまとめて添付している。

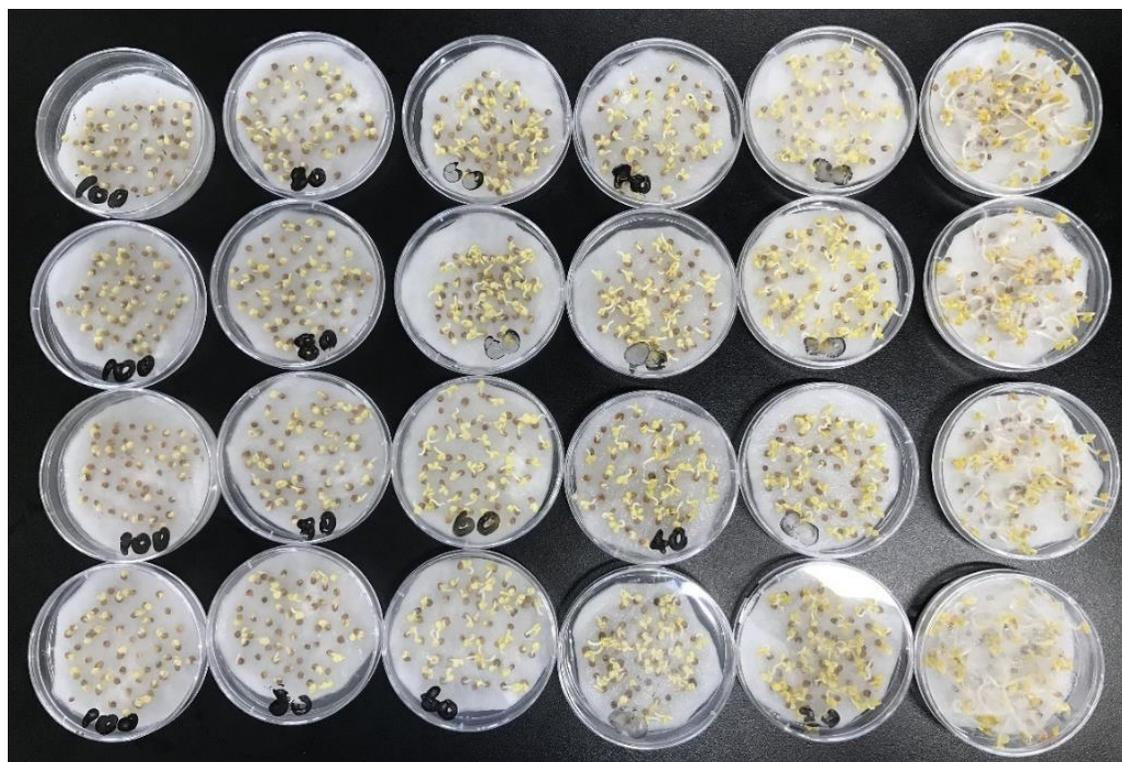
イメージ1: 一日目の発芽



イメージ2:二日目の発芽



イメージ3:三日目の発芽



#### 4.2:計算

実際に得た生データをもとにそれぞれのカフェイン濃度での発芽数の平均値、標準偏差を求めた。

テーブル3:発芽数の平均値・発芽率・標準偏差を示した表

水溶液濃度 (mmol/L)	1日目の発芽			2日目の発芽			3日目の発芽		
	平均値	発芽率	標準偏差	平均値	発芽率	標準偏差	平均値	発芽率	標準偏差
0	49.25	98.5	0.96	49.25	98.5	0.96	49.25	98.5	0.96
20	42.5	85	1.73	47.25	94.5	3.10	47.75	95.5	2.22
40	31.25	62.5	6.55	44.5	89	1.73	46.75	93.5	1.26
60	29	58	1.83	42.25	84.5	2.22	45.75	91.5	1.26
80	21.25	42.5	2.50	38.75	77.5	2.63	43	86	3.37
100	18.25	36.5	3.59	30	60	6.83	39.75	79.5	4.19

なお、平均値と標準偏差を計算した際に用いた式は以下のとおりである。

平均 値	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	$\bar{x}$ ... 平均値 $x_i$ ... 各データの値 $n$ ... データ数
標 準 偏 差	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$	$\sigma$ ... 標準偏差 $\bar{x}$ ... 平均値 $x_i$ ... 各データの値 $n$ ... データ数

また、種子の発芽がカフェイン濃度の変化により影響を受けていることをよりよく表すため、上記の表で求めた発芽数の平均値を用いて発芽率を求めた。発芽率を算出した際に使用した式は以下のとおりである。

$$\frac{\text{発芽数}}{\text{播種した種子の数}} \times 100 = \text{発芽率}(\%)$$

また、使用したカフェイン水溶液の濃度の誤差を計算する。カフェイン水溶液は、電子天秤(誤差±0.001g)を用いて計測したカフェインの粉末を、100mlメスフラスコ(誤差±0.1ml)を使い希釈することによって作成した。そのため、カフェイン粉末の質量のパーセント誤差とメスフラスコのパーセント

誤差を足すことによって、濃度の誤差を計算することができる。なお、パーセント誤差は以下の式を用いて導く。

$$\frac{\text{絶対誤差}}{\text{測定値}} \times 100 = \text{パーセント誤差}$$

テーブル4:パーセント誤差を表す表

カフェイン濃度	カフェイン粉末の質量(g)	絶対誤差(g)	パーセント誤差(%)
20	0.388	0.001	0.258
40	0.777	0.001	0.129
60	1.165	0.001	0.086
80	1.554	0.001	0.064
100	1.942	0.001	0.051

メスフラスコを用いた測定値(ml)	絶対誤差(ml)	パーセント誤差(%)
100	0.1	0.1

カフェイン粉末のパーセント誤差とメスフラスコのパーセント誤差は以上となり、それぞれのパーセント誤差を足すと以下の表のようになる。

テーブル5:カフェイン濃度の誤差を表す表

カフェイン濃度(mmol/L)	パーセント誤差(%)	絶対誤差(mmol/L)
20	0.358	0.072
40	0.229	0.091
60	0.186	0.112
80	0.164	0.131
100	0.151	0.151

以上のように、使用したカフェイン水溶液の濃度自体の誤差は小さく、これらの誤差が結果に与える影響は小さいということが読み取れる。

#### 4.3:95%信頼区間

それぞれの値の信頼性を数値化するために 95%信頼区間を求めた。この際、Google Sheets の関数の一つである”CONFIDENCE 関数”を使用し、95%信頼区間を算出した。以下にそれぞれの値の 95%信頼区間を示す。

テーブル6:発芽数の 95%信頼区間を示す表

カフェイン濃度 (mmol/L)	95%信頼区間		
	1 日目の発芽	2 日目の発芽	3 日目の発芽
0	0.133	0.133	0.133
20	0.240	0.429	0.307
40	0.908	0.240	0.174
60	0.253	0.307	0.174
80	0.346	0.364	0.467
100	0.498	0.947	0.581

#### 4.4:T 検定

また、統計学的にそれぞれの濃度のカフェイン水溶液の影響をコントロールと比較するために、T 検定を用いた。T 検定とは、二つの標本集団の平均を比較する際に使用する検定方法である。この検定方法を使用することで、二つのグループにおける差が統計学的に有意であるか判断することが可能となる。なお、p値を算出する上で、Google Sheets の関数の一つである”TTEST 関数”を利用し、特定のカフェイン濃度の発芽数と、同じ日に計測したコントロールの発芽数を比較した。また、この検定においては片側検定を行うこととし、p値が 0.05 以下の場合に有意差があることとした。

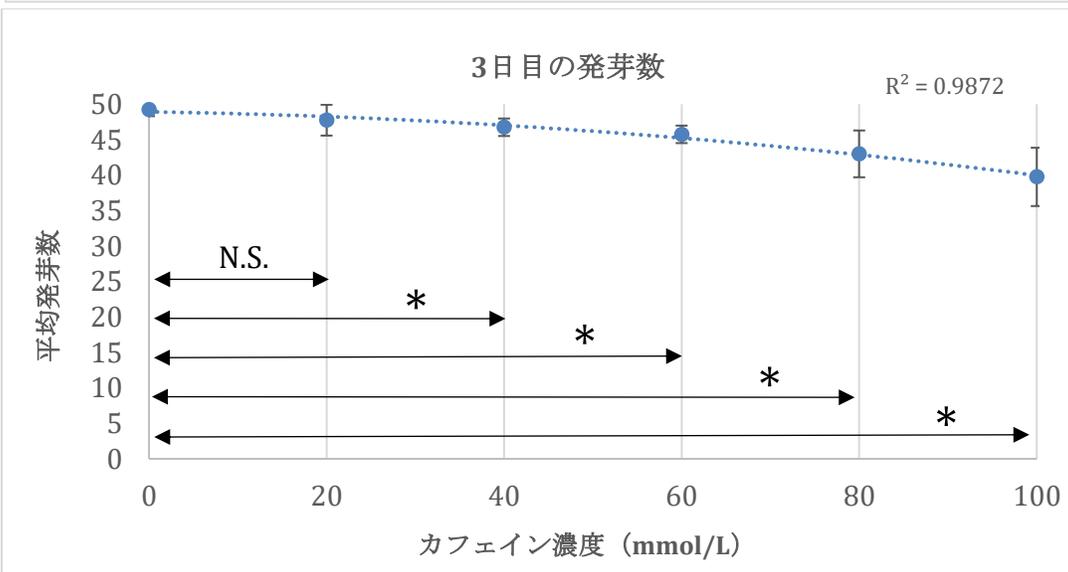
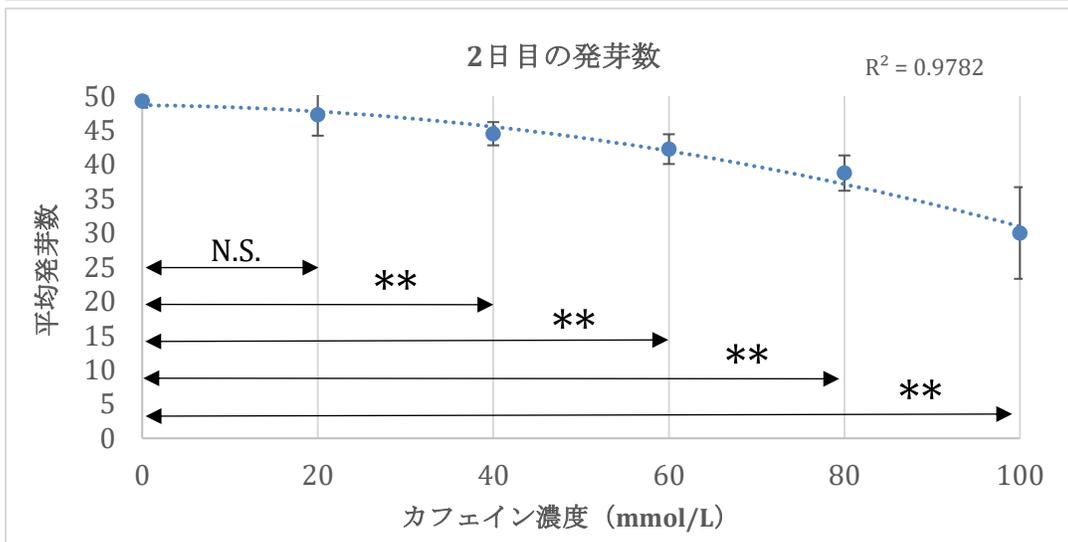
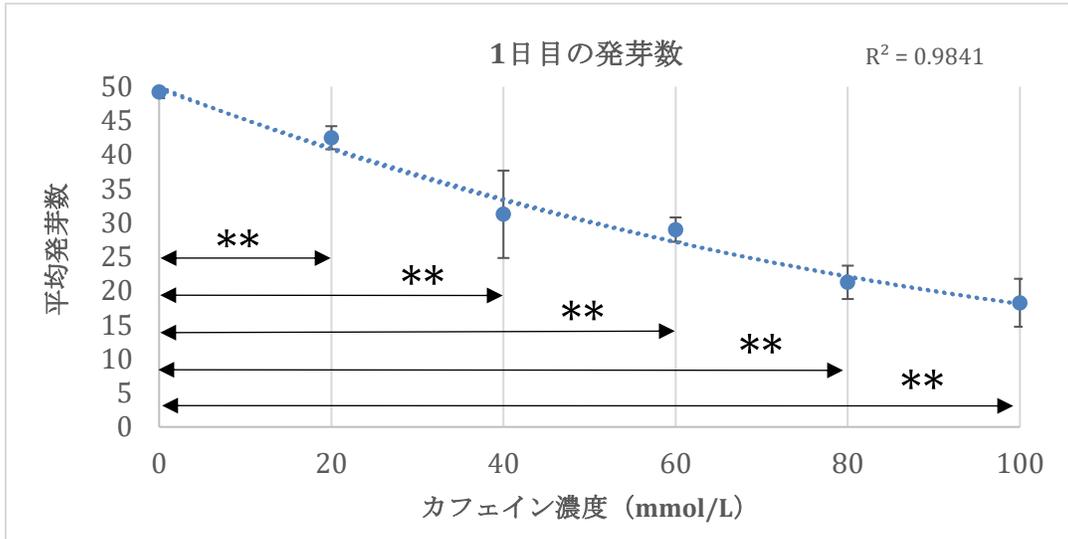
テーブル7:カフェイン水溶液を施したハツカダイコン種子の発芽率とコントロールの比較

カフェイン濃度 (mmol/L)	1日目の発芽		2日目の発芽		3日目の発芽数	
	p値	有意差	p値	有意差	p値	有意差
20	0.00211	あり	0.100	なし	0.0908	なし
40	0.00627	あり	0.00573	あり	0.0316	あり
60	0.0000145	あり	0.00531	あり	0.0136	あり
80	0.00236	あり	0.00398	あり	0.0266	あり
100	0.000175	あり	0.00449	あり	0.0112	あり

#### 4.5:グラフ

以上の計算を経て得た値、T検定の結果をグラフ化した。p値が0.05以下の場合に変数とコントロール間の矢印にてアスタリスク(「\*」)を用いている。また、二重でアスタリスク(「\*\*」)を用いている場合はp値が0.01以下であることを示している。なお、有意差が見られなかった場合は「N. S.」と表示している。

グラフ:各経過日における濃度別平均発芽数



#### 4.6: 結論

仮説の通り、より高濃度のカフェイン水溶液を使用することによって種子の発芽が抑制される可能性があることがこの実験からわかる。各経過日の発芽数において、最も発芽数が高くなったグループは、カフェイン水溶液を施していないグループ、つまりはコントロールとなり、一方で最も発芽数が低くなったグループは、設定した中で最も高濃度のカフェイン水溶液を施したグループであった。また、グラフからもわかる通り、各経過日において、より高濃度のカフェイン水溶液を使用したグループのハツカダイコン種子の発芽数が少ないという傾向にある。加えて、それらの発芽数の差異が実際に有意差なものなのかT検定を用いてp値を算出したが、経過初日にはすべてのグループにおいてコントロールとの有意差がでていた。経過初日から日を迫うごとに、発芽していなかった種子が発芽し、コントロールの発芽数との差が小さくなったものの、高濃度のカフェイン水溶液を施したグループとは有意差が出たままであった。しかし、最も低濃度である 20mmol/L のカフェイン水溶液の場合は、2 日目時点で有意差を失っており、カフェイン水溶液が低濃度の場合、カフェインによる効果があったとしても日が経過することでいずれ種子が発芽することがわかる。また、3日目において全体的に有意差が小さくなっており(p値が上がっており)、日が経過することで種子が発芽することがわかる。そのような点から、カフェインが種子に対して完全に発芽を阻害し、発芽を止めるだけでなく、発芽を抑制し、発芽の速度を遅らせる効果を持つ可能性があることがわかる。

#### 5: 評価と改善点

##### 5.1: 方法論の評価

この実験を通して、カフェインが植物に対して発芽を抑制する効果を持つ可能性があることが分かったが、今後より正確なデータを得るため、この実験における方法論について検討する。

テーブル8: 方法論の課題点

課題点	理由	改善方法
発芽環境が完全に制御できていない点	発芽環境の変化によって、発芽に対するカフェインの影響がどのように変化するのが不明であるのに加え、発芽環境の変化は発芽速度へ影響する可能性があり、再現性において問題があるため。	温度や湿度の設定や調整を行うことのできる機器を用いる。
発芽数を数える際に、種子が光にさらされてしまった点	光の量の違いによって、発芽速度に影響が出る可能性があり、制御変数として設定していたため。	暗所で発芽数を数える。
観察回数が少ない点	この実験においては1日に一回のみしか発芽数を数えなかったが、半日ごとや、6時間ごとに発芽数を数えることでより正確に発芽の傾向を読み取ることができた可能性があるため。	- ビデオカメラを使用し発芽の様子を記録する。 - 観察頻度を増やす。

## 5.2: 今後

今回の実験から、植物の発芽に対してカフェインが抑制効果を持つ可能性があることが分かった。これは、カフェインが植物の成長に対して抑制効果を持つことを示す先行研究から、さらに深く探求されたものであり価値があると言える。また、発芽に対するカフェインの効果のみだけでなく、根や茎、葉などのような植物のそれぞれの器官に対するカフェインの影響を調査することによって、植物に対するカフェインの影響をより深く研究することができるだろう。

ただし、今回の実験の方法論にはいくつか課題点があり、改善が必要である。例えば、発芽環境が完全に制御できていないという、実験の再現性にかかわる大きな問題点もあるため、温度や湿度を調整したうえで実験を行う必要がある。また同様に、制御変数であった光の量も完全には制御されておらず、発芽数を数える際に光にさらしてしまったという点も改善が必要となる。また、今回の実験では、1日に一回のみしか発芽数を数えなかったが、より観察頻度を増やすことによって、正確に発芽の傾向を読み取ることができたと考えられる。次回実験を行う際は、これらの課題点を意識したうえで研究に臨む必要がある。

## 6:参考文献

Kesavan, P.C., (2005). Oxygen effect in radiation biology: Caffeine and serendipity. *Current Science*, 89(2).

D Shahab. (2009). Studies on the effect of caffeine on growth and yield parameters in *Helianthus annuus* L. variety Modern.

野村隆英. (2014). 『百年千年の薬たち』. 風媒社.

Farha Quadri. (2016). Study on Effect of Caffeine on Growth of *Vigna radiata* L.

マイナビ農業編集部. (2018). 「種を発芽させるために必要な温度・光・水の関係とは」『マイナビ農業』.<[https://agri.mynavi.jp/2018\\_09\\_24\\_42063/](https://agri.mynavi.jp/2018_09_24_42063/)>(2022年6月5日参照).

BSI 生物科学研究所. (nd). 『カルシウムと植物』.

e-taneya.(nd).「種子発芽の生理」『農業・園芸:豆知識』.<[https://www.e-taneya.com/site/tokushu/minichisiki\\_12.html](https://www.e-taneya.com/site/tokushu/minichisiki_12.html)> (2022年6月5日参照).

エステス製薬. (nd). 「薬の成分ディクショナリー:無水カフェイン」. 『エステス製薬』.<<https://www.ssp.co.jp/dictionary/anhydrous-caffeine/>>(2022年8月30日).

株式会社トーホク.(nd).「タネの発芽と光の関係」『話のタネ』.<<https://tohokuseed.co.jp/topic/hikarihatuga.html>> (2022年6月5日参照).

## 7:付録

テーブル9:それぞれのサンプルから得られた発芽数を示す生データ

カフェイン濃度 (mmol/L)	1日目の発芽数(/50)			
	サンプル①	サンプル②	サンプル③	サンプル④
0	50	48	49	50
20	45	42	42	41
40	37	36	23	29
60	31	27	28	30
80	18	24	22	21
100	21	19	13	20

カフェイン濃度 (mmol/L)	2日目の発芽数(/50)			
	サンプル①	サンプル②	サンプル③	サンプル④
0	50	48	49	50
20	50	43	49	47
40	43	44	44	47
60	45	43	41	40
80	40	41	39	35
100	29	21	37	33

カフェイン濃度 (mmol/L)	3日目の発芽数(/50)			
	サンプル①	サンプル②	サンプル③	サンプル④
0	50	48	49	50
20	50	45	49	47
40	45	47	47	48

カフェイン濃度 (mmol/L)	3日目の発芽数(/50)			
	サンプル①	サンプル②	サンプル③	サンプル④
60	47	46	46	44
80	44	45	45	38
100	38	37	46	38