

第3 1回衛星設計コンテスト

ジュニア概要書（3 ページ以内）

応募区分 ジュニアの部

1. 作品情報・応募者情報

作品名（20文字以内）

自分の髪を肥料にして宇宙で野菜を育てよう

副題（自由記入）

生命を愛でて宇宙生活に潤いを

学校名

広島県立西条農業高等学校

2. ミッションの概要（プレスリリース等で使用するのので、200 字程度でわかりやすく表現して下さい。）

ニュース等で宇宙飛行士が散髪している様子を見ることがある。宇宙にある有機化合物は貴重であるため、髪もリサイクルするべきだと考えた。そこで、髪を細菌に分解させ、生じた分解産物で野菜を育てることを考えた。野菜の栽培は工場で行うのではなく、小型の装置で行う。自分の髪を養分として育つ野菜を愛でることでストレスの緩和になり、食物が命であることを再確認できるだろう。

3. 目的と意義（目的・重要性・技術的意義等）

(a) 目的（今回考えたアイデアを何に利用するか等）

月または火星での居住で排出される髪を窒素資源としてとらえ、細菌の力で肥料にリサイクルして植物を育てる。また、自分の髪を栄養素として植物を一から育てる家庭菜園を宇宙での趣味として行い、宇宙滞在におけるストレスを緩和する。そして、命ある食物をいただいていることを再認識する。

(b) 重要性・技術的意義等

ニュースや新聞等でしばしば宇宙飛行士が散髪している様子が取り上げられる。髪は年間で平均 14cm ほど伸び、年間で 101.8g になる。ISS では一般のゴミと一緒に大気圏で燃やされているようだ。月または火星での居住ではどのようにすればよいだろうか。人が 1 日に排泄する総窒素量の 80～90% を占めるのは尿素で、1 日に約 30g 排出しており（中西, 2010）、尿素に比べて毛髪の割合は低いように感じる。しかし、宍戸(2022)は「宇宙施設に持ち込んだ有機化合物は完全なリサイクルを目指すだけでなく、人間の尿や糞、呼吸後の二酸化炭素もリサイクルに回さなければならないだろう。」と述べている。髪もリサイクルすることが重要であるとする。また、「地球上の植物工場のように植物が必要とする養分と水だけを使い、極力微生物を避けるような栽培方法では、完全な有機物リサイクルは達成できない」と述べている。微生物使用の際は安全性を考慮して管理する必要があるが、髪は 85% がタンパク質であるため、少ない種類の微生物で分解でき、管理がしやすいと考える。



引用：野口聡一さん（公式）Twitter

宇宙では微小重力、閉鎖環境等のさまざまなストレスがかかり、身体症状や自律神経症状につながる。私たちもコロナ禍の行動制限時に定められた場所に居続けなければならない、自由に外出できない単調な生活にストレスを感じた。宇宙での生活はそれ以上のストレスだと想像できる。ストレスコーピングとして趣味で気分転換する方法がある。タキイ種苗が行った調査では、家庭菜園実施者のうち、3 割がコロナ禍 2 年目に家庭菜園を始めており、家庭菜園を始めた理由の 1 位が「趣味として楽しむため」、2 位が「新鮮な野菜を食べるため」であった。宇宙滞時に家庭菜園を行い、自分の髪をもとに育ていく野菜を毎日愛でることで生活に楽しみが増え、新鮮な野菜が得られることは意義があると思う。また、野菜を収穫して食べる体験は、命をいただいて生きていることを再認識できるため重要だと考える。

参考文献) 宍戸雅宏：土壌微生物と宇宙農業、土と微生物、Vol. 76No. 1、pp. 3(2022)

4. アイデアの概要

○ 自分の髪を肥料にして宇宙で野菜を育てる携帯装置



図1. イメージ

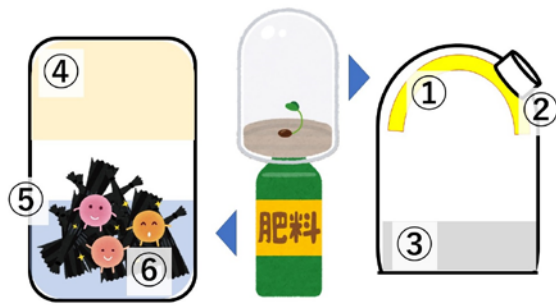


図2. 携帯装置の内部

- ① 光源：LED ライトを設置。手回し発電機で発電した電気で光る。
- ② ガス交換口：呼気を吹き入れて二酸化炭素を供給することができる。また、植物から発生した酸素はここから出ていく。ただし、水蒸気は出られない構造になっている。
- ③ 根が伸びる場所：多孔質になっており、根が自由に伸びることができる。根腐れを防ぐ。
- ④ フィルター：細菌を通さず、水と水に溶けた養分だけを通す構造になっている。
- ⑤ 水：最初に入れた水以外を補給する必要はない。密閉されているので携帯装置外に水は出ていかない。細菌を制御して根腐れを起こさないようにする。
- ⑥ 肥料：細菌が少しずつ髪を分解するので効果が長持ちする。

コマツナ栽培は、窒素成分が5 kg/10a と言われており、令和2年度の作付面積は 7550ha で出荷量は 109400t であった。これは、1m²あたりの作付け1回（年6回として計算）に換算すると、窒素成分が5g でコマツナ 240g 出荷できる計算となる。コマツナ1株 40g 前後なので6株分となる。1回の散髪で 10g の毛髪が入手できたとして、毛髪のタンパク質が80%とすると、コマツナ 9.6 株分収穫できる計算となるので、装置の中で1株育てるのに十分であると考えられる。

○ 試作機（本校自作クリノスタットへの装着を想定）

本校自作クリノスタットのモーターを強化したことで積載可能重量が大幅に向上した。この自作クリノスタットに装着できる装置を試作した。

植物の光屈性を起こさせないために、回転している装置内の植物に真上から光を照射する必要がある。そのためには、独立した電源と光源が必要になる。そこで、電源としてモバイルバッテリー（太陽光電池付き）、光源としてLEDモジュールを使用することにした。

また、植物は明期と暗期のサイクルがないと成長しない。電源タイマーは大型でありコンセントへ接続する必要があるため使用できなかった。そこで、Arduino（アルドゥイーノ）を使用してプログラミングに挑戦し、LEDモジュールを16時間明期、8時間暗期のサイクルで点滅するようにした。水耕栽培では回転時に水漏れが多発したので、液体肥料を寒天で固めて無菌播種を行うことにした。LDEモジュールのショートをドライバで防いだり、発熱を放熱プレートで防いだりして試作品が完成した（図3）。そして、本校自作クリノスタットに装着して回転させた状態でLEDモジュールを16時間明期、8時間暗期のサイクルで点滅させることに成功した（図4）。今後は装置を用いて実際に植物を栽培していく。

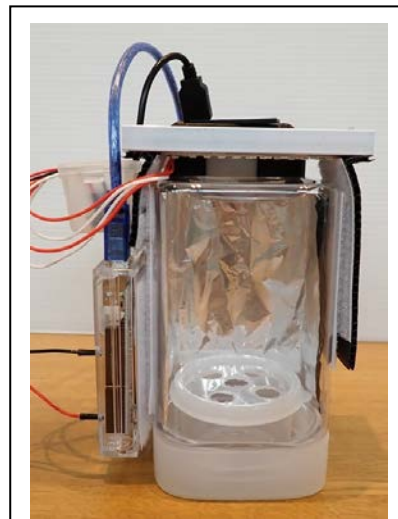


図3. 栽培装置試作機

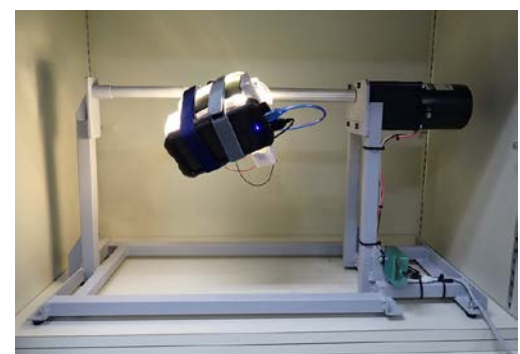


図4. 自作クリノスタットへの装着

○ 使用する細菌について (→補足資料 実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ)

私たちは硬質タンパク質であるケラチンを分解する細菌を研究している。これまでの研究で校内の土壌からウマの毛やニワトリの羽毛を分解するケラチン分解細菌を4種発見して属まで同定している(実験Ⅰ)。そして、これらの細菌を組み合わせが一番分解する組み合わせを明らかにした(実験Ⅱ)。

私たちは、ウマの毛を分解する細菌がトリの羽毛も分解した経験から、ケラチンでできているヒトの毛髪も発見した細菌で分解できると考えた。山下ほか(2005)は宇宙農業での微生物生態系の適用にむけた開発・検証課題としていくつかの課題を示している。課題の一つとして「微生物生態系による循環物質は栽培植物に可給的な科学的形態(作物に吸収されやすい簡単な化合物)であたえられるか」というものがあり、毛髪の分解産物が植物に吸収される物質(アンモニア態窒素化合物、硝酸態窒素化合物)にまで分解されているのか、実際に植物が育つのか明らかにすることを目的とした(実験Ⅲ)。毛髪を入れた液体培地に細菌を植菌して培養することで分解産物を生成し、希釈してEC値を調整した後pHを調整した。調製した分解産物を土壌分析装置で測定したところ、アンモニア態窒素化合物が多く、硝酸態窒素化合物が少ないことが明らかになった(表1)。そこで、硝化菌(SUPER BICOM78)添加の条件を変えて栽培実験を行った。結果として、毛髪の分解産物に硝化菌を加えたものが液体培地に比べて有意に伸長していた(図5)。また、個体数推移は、液体培地を与えたものは播種から5週間、毛髪の分解産物を与えたものは6週間、毛髪の分解産物に硝化菌を添加したものを与えたものは7週間後に全て枯れた(図6)。このことから、私たちが発見したケラチン分解細菌はアンモニア態窒素化合物まで分解できており、さらに植物に吸収される物質にするためには硝化菌を添加する必要があることが分かった。今後、校内の土壌から硝化菌の単離や濃度の調整をするなど改良して実用化を目指す。

表1. 分解産物の窒素成分

	アンモニア態窒素	硝酸態窒素
毛髪	41.2	0.1
液体培地	27.1	0.1

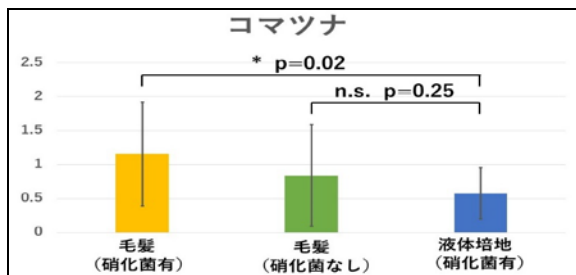


図5. コマツナの葉の伸長

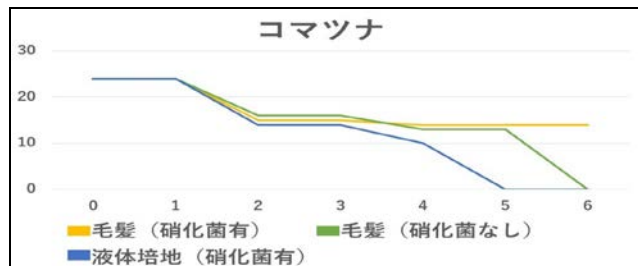


図6. コマツナの個体数推移

参考文献) 山下雅道ほか：宇宙農業における微生物生態系の利用とその工学的課題、Biological Sciences in Space, Vol. 19 No. 1(2005):25-36

5. 得られる成果

宇宙では微小重力、閉鎖環境等のさまざまなストレスがかかる。そのストレスを発散する娯楽も少ない。趣味や生きがいとして愛玩動物を飼う人がいるが、宇宙では難しい。そこで、私たちのアイデアを宇宙で利用すると、種からの芽生え、成長をずっと近くで愛でることができて癒されてストレスを軽減することができる。しかも自分の髪で成長するので自分の分身のように感じることができる。

また、宇宙での食事は人工的な料理が多い。例えば人口肉やフードプリンターで作ったような食事である。現在でも加工済みの料理がスーパーに並び、魚のものも形を知らなかったり、命をいただいているという意識が減ったりしている。宇宙ではその感覚がさらに進むのではないかと考える。そこで、私たちのアイデアを宇宙で利用すると、野菜を育てることで命を身近に感じられ、収穫して食べることで命をいただいている感覚が得られる。結果的に食べ物を大切に、命を大切にする気持ちが得られる。

6. 主張したい独創性または社会的な効果

独創性は、自分の体の一部である髪を与えて野菜の生長を身近で観察できることである。また、分解する対象ごとに細菌を特定することで、細菌の管理ができる。社会的な効果は、日本は化学窒素肥料原料の95%を輸入に頼っており、世界情勢の影響を大きく受ける。農林水産省は「みどりの食料システム戦略」の中で2050年までに化学肥料の使用量30%低減を目標に掲げている。毛髪の100%肥料利用が実現すれば、日本人が現在の髪型を維持するよう散髪すると、年間12千トン廃棄となり、化学肥料の使用量を4%低減することができる(年間国産尿素量17千トン)。

■ 実験Ⅰ プロテアーゼ生産細菌の単離とケラチン分解細菌の特定と同定

目的: 校内の土壌からケラチン分解細菌を発見する。

方法: 羽毛 1g をだしパック (120mm×110mm) に詰め、土壌に埋めた (図 1. ①)。次に、土に埋めた羽毛を 2 週間後に回収し、滅菌水に羽毛を漬けて懸濁液を作成した (図 1. ②)。希釈した懸濁液をスキムミルク培地に塗布して培養し (図 1. ③)、目視で区別できるプロテアーゼ生産細菌のコロニーそれぞれを単離した (図 1. ④)。次に、プロテアーゼ生産細菌のなかからケラチン分解細菌を見つけるために、単離した細菌を羽毛のみが炭素源となるよう調製した液体培地で培養した (図 1. ⑤)。細菌が増殖すると液体培地は濁る。濁りが観察できた培養液を平板培地に塗布して継代培養を行った。

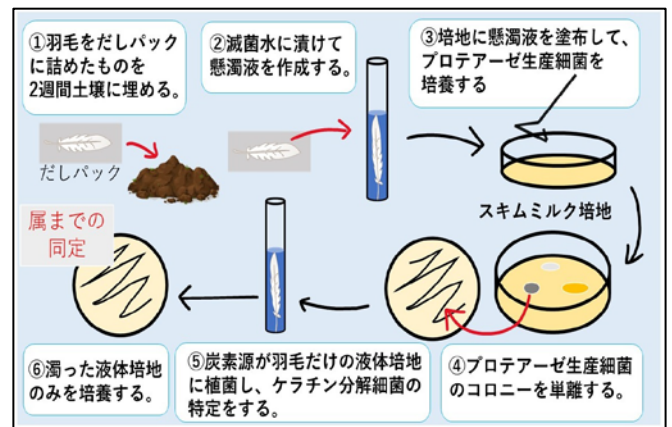


図 1. プロテアーゼ生産細菌の単離とケラチン分解細菌の特定と同定方法

濁りが観察できた培養液を平板培地に塗布して継代培養を行った。16SrDNA 配列の前半部分を PCR によって増幅し、配列情報による細菌の属までの簡易同定を行った。

結果: プロテアーゼ生産細菌 (図 2) を 14 種 (コロニー A~N) 発見し、4 種 (コロニー C、K、L、M) が炭素源を羽毛にした液体培地を濁らせ、ケラチン分解細菌を特定した (図 3)。4 種の細菌は、*Enterobacter* sp. が 3 種 (コロニー C、L、M)、および *Chryseobacterium* sp. 1 種 (コロニー K) であることが明らかになった。この細菌を 2 週間ごとに継代培養している。



図 2. プロテアーゼ生産細菌のコロニー

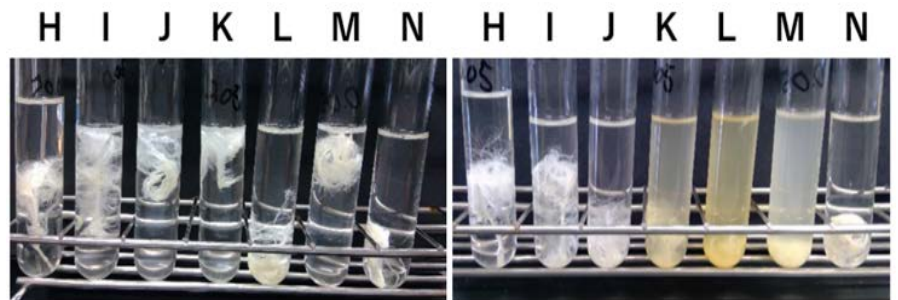


図 3. 炭素源を羽毛のみにした液体培地に植菌した前 (左)、と培養後 (右)

■ 実験Ⅱ 液体培地の濁度とタンパク質濃度の測定

目的: ケラチン分解の有無を見た目の濁りで判断できるか検証する。また、細菌を単独または組み合わせて培養した液体培地のタンパク質濃度を比較することで、細菌のケラチン分解能力を明らかにする。

方法: 液体培地の濁度とタンパク質濃度を分光光度計で測定して数値化した。使用する細菌は実験Ⅰで属まで同定した 4 種の細菌を使用した。細菌を液体培地で 3 週間培養した後 (図 4. ①)、分光光度計を用いて測定した。濁度は液体培地をセルに 3 mL とり、波長 660nm で測定した (図 4. ②)。タンパク質量は液体培地 1 mL を遠心分離 (1400 回転、3℃、10 分) した後、上澄み 0.8mL

を蒸留水 4.5mL で希釈 (6.625 倍希釈) し、セルに 3mL とり、波長 280nm で測定した (図 4.③)。

結果: 濁度とタンパク質濃度の関係を比較し、濁りでケラチンの分解を確認できるか検討した。タンパク質濃度は希釈 (6.625 倍希釈) した値を用いた。細菌を培養した液体培地は見た目で見ると濁っており、測定した濁度は菌なしよりも 2 倍以上高い値を示した。タンパク質濃度も細菌を培養した液体培地はどれも菌なしよりも 1.8 倍以上高い値を示した (図 5)。次に、細菌を単独で培養した液体培地のタンパク質濃度を比較した。様々なタンパク質を含んだ粗タンパク質溶液の場合、1cm の光路長の光学セルを用いて測定した時の吸光度のとき、その溶液中のタンパク質濃度はおおむね 1mg/mL となることから、希釈前のタンパク質濃度を求めた。希釈前のタンパク質濃度は、コロニー-L が 2.08mg/mL で一番高く、コロニー-C が 1.19mg/mL で一番低かった。菌なしは 0.62mg/mL であった。最後に、細菌を組み合わせて培養した液体培地のタンパク質濃度を比較する図を作成した。コロニー-C とコロニー-L を組み合わせたもののタンパク質濃度が一番高かった (図 6)。



図 4. 液体培地の濁度とタンパク質濃度の測定方法

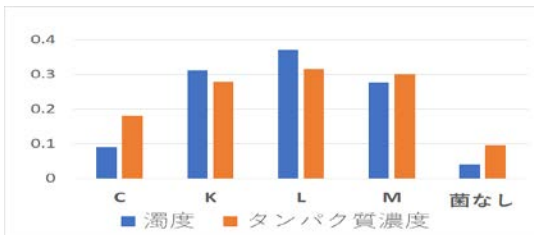


図 5. 細菌を単体で培養した液体培地の濁度とタンパク質濃度



図 6. 細菌を単体または組み合わせて培養した液体培地の希釈前のタンパク質濃度 (mg/mL)

■ 実験Ⅲ 毛髪の分解産物を与えた植物栽培実験

目的: 毛髪の分解産物が植物に吸収される物質 (アンモニア態窒素化合物、硝酸態窒素化合物) にまで分解されているのか、実際に植物が育つのか明らかにする。

方法: 液体肥料の作成

毛髪 10g を液体培地に浸し、細菌 C と細菌 L を同量加えて 30°C で 1 か月培養した (図 7. ①)。培養した液体培地の上澄みをろ過し、蒸留水で希釈して EC 値が 1.0 になるよう調整した。その後、pH6.5 に調整した (図 7. ②)。希釈後に EC 値と pH を調整した毛髪の分解産物と液体培地の成分を土壌分析装置で測定した。土壌分析装置は 100g 乾土あたりの成分量

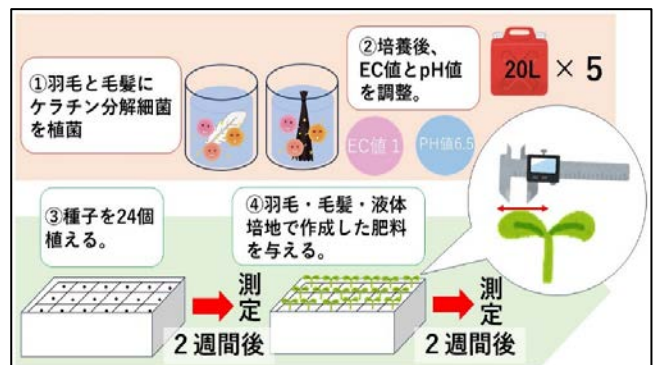


図 7. 液体肥料の作成方法と植物の栽培方法

(mg) を測る装置である。資料は水耕栽培の液体肥料を使用するので、今回は正確な数値を求めるためではなく、毛髪の分解産物が液体培地と比較して窒素化合物が上昇しているかどうかの判断に使用した。

植物の栽培方法（水耕栽培）

毛髪の分解産物以外の影響を除くため水耕栽培で研究を行った。800mL タッパーに水耕栽培用スポンジを入れ、タッパー1つあたり 24 個の種子を植えた（図 7. ③）。種子には番号をふり、種子ごとの伸長を測定できるようにした。発芽までの期間（約 2 週間）は水だけで栽培し、発芽後に EC 値と pH を調整した毛髪の分解産物を与えた（図 7. ④）。調整した分解産物を与える前と、与えて 2 週間経過した植物の葉の縦の長さをデジタルノギスで計測した。水耕栽培用の循環装置がないため、ポリ容器にそれぞれ調整した分解産物を 20L 用意し、3 日に一度タッパー内の調整した分解産物を入れ替えた。(a) 分解産物添加の有無、(b) 分解産物に加えて硝化菌（SUPER BICOM78）の添加の有無の条件を変えて植物を栽培した。植物はサニーレタスとコマツナを使用した。ハウレンソウも栽培したが、水耕栽培に失敗した。

結果：液体肥料の作成

分解産物の窒素成分は、液体培地よりもアンモニア態窒素化合物の値が高かった。しかし、硝酸態窒素化合物の値は液体培地と同じであった（表 1）。また、リンやカリウムは植物が育つ条件を満たしていた。

表 1. 分解産物の窒素成分

	アンモニア態窒素	硝酸態窒素
毛髪	41.2	0.1
液体培地	27.1	0.1

植物の栽培方法（水耕栽培）

サニーレタスに毛髪の分解産物を与えたものの伸長は硝化菌の添加に関係なく液体培地との有意差が見られなかった（図 8）。

コマツナに毛髪の分解産物を与えたものの伸長に液体培地との有意差は見られなかったが、毛髪の分解産物に硝化菌を添加したものの伸長に液体培地との有意差が見られた（図 9）。

個体数推移は、液体培地を与えたものは播種から 5 週間、毛髪の分解産物を与えたものは 6 週間、毛髪の分解産物に硝化菌を添加したものを与えたものは 7 週間後に全て枯れた（図 10）。

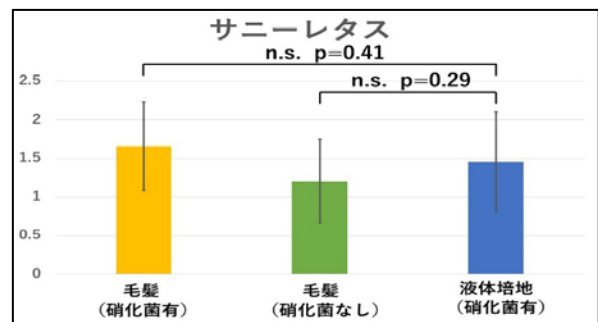


図 8. サニーレタスの葉の伸長

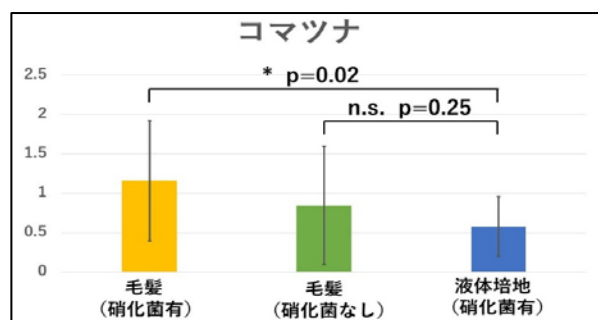


図 9. コマツナの葉の伸長

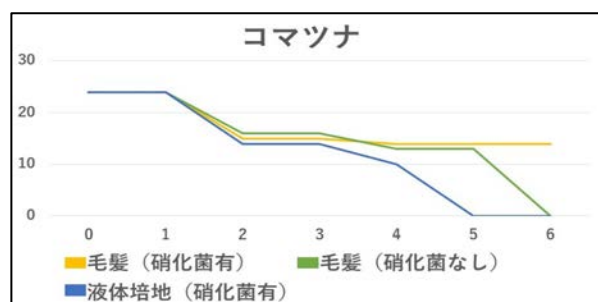


図 10. コマツナの個体数推移