

熱を利用して土を使わずに植物を育てよう！

茨城大学大学院 理工学研究科 機械工学専攻 神永・松村研究室
代表 鈴木博大、大原俊弘

1. 土を使わない「水耕栽培」

水耕栽培とは土壌を必要とせず、液肥だけを使用して野菜を育成する栽培方法である。近年一般的な家庭でも普及し始めており、東日本大震災後は塩害対策の一環として作物の栽培に用いられている。また、水耕栽培の中には気温や日光といった環境をすべて人工的に制御して植物を育てる「植物工場」と呼ばれる開発が進められている。これにより、作物を悪天候・害虫などから守り、安全な作物を栽培することができる。しかし、光熱費・維持費が高いため採算の合う作物は限られている。そのため、植物の生育を効率化することで、植物工場で育てられる品種を増やそうとする研究も始められている。



図1 環境制御型の水耕栽培

2. HS プロテイン (HSP) とは？

HS プロテインとは、細胞が熱等のストレスを受けたときに細胞を保護する目的で生成されるたんぱく質の一種である。細胞が HS を受けると、生命活動に必要な酵素等のたんぱく質が構造的に不安定になり、不活性化や変性が生じ、その結果分解する。HSP は不安定になったたんぱく質が壊れてしまわないよう、それに付き添って元に戻す役割をする。

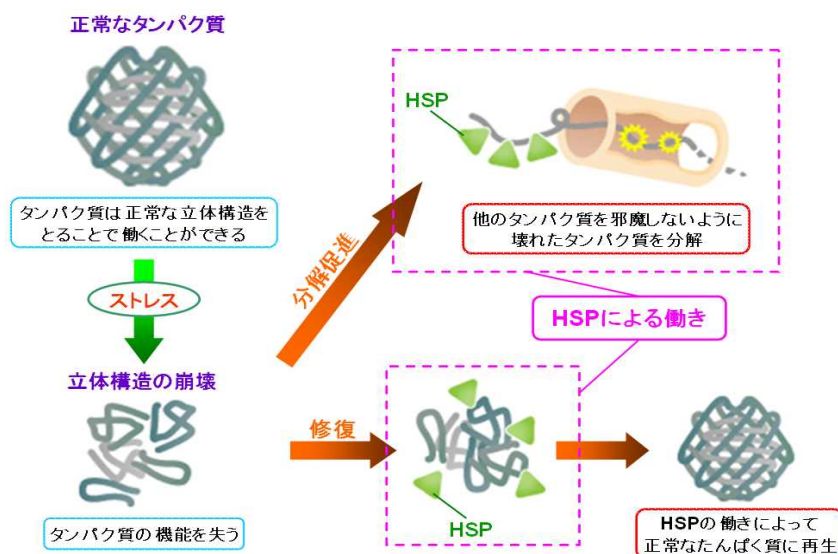


図2 HSPの働き

HSPは美容などで注目されており、HSP入浴やお湯での洗顔といった方法で体内のHSPを増加させることで、体や肌の健康を保つことができる。

一方、HSPは人の細胞だけでなく植物にも存在することがわかっている。「野菜の50℃洗い」と呼ばれる方法があり、日の経ったレタスなどの野菜を高温のお湯で洗うと、熱ショックによりHSPが生成されて細胞が活性化し、レタスのシャキシャキ感が戻るという効果が確認されている。

3. 光による植物の育成変化

植物は太陽光によって光合成をして成長をするが、実際のところ太陽光に含まれているすべての光が使われているわけではない。太陽光の中には、赤、橙、黄、緑、青、藍、紫、紫外線などの光が含まれており、これが合わさって白色の光に見える。そして、この中でも植物の成長に必要な光は赤色と青色であると言われている。

光合成の促進には様々な波長の光が使われているが、その中でも620～750nmの赤色の光が使われている。この光合成に必要な波長は、赤色のLEDの波長とほぼ一致しているため、赤色のLEDを照射させることで植物の生育を左右する光合成反応が期待できる。

また、植物の葉が成長したり茎が太くなったりする成長過程のことを「形態形成」という。形態形成には450～495nmの青色の光が必要と言われている。

4. 研究背景・目的

近年、植物に関するHSPの研究が行われるようになり、ヒートショック（以下からHSと省略する）によるきゅうりの灰色カビ病抵抗性に関する研究¹⁾などが報告されている。これらの研究から、植物にHSを与えることによってHSPが増殖し、病原菌に対する抵抗が強くなることが認識されてきた。このことから、熱を植物に与えることは、植物の成長に何かしら良い影響を与えるのではないかと考えられる。しかし、植物の生育に対するHSの研究はまだ少なく、様々な種類の植物に対して、HSが生育にどのような影響を与えるのかまだ解明されていない。従って本研究では、植物に熱を加えることによって植物の生育に影響するのか、また、HSPの生成が生育に影響を与えるのか調べる。

5. 研究方針

5.1 実験装置の考案 (HS)

前回の実験では、図 3 のように容器を密閉してしまったことにより育てていた植物が根腐れをしてしまった。そこで、前回の失敗を参考に今回の実験では図 4 のような溶液循環型の装置を考案した。本研究で使用した植物は、栽培容器の一区切りサイズのスポンジで茎を保護する。また、根腐れを避けるために、貯水タンクと発泡スチロールを繋ぐ循環ポンプを用いる。

また、貯水タンクと発泡スチロールに循環させる水の温度調整を行うためにヒーターを用いる。

植物の成長に合わせて水位を調節できるように、水位調節可能な排水口を設ける。



図 3 前回の実験に使用した容

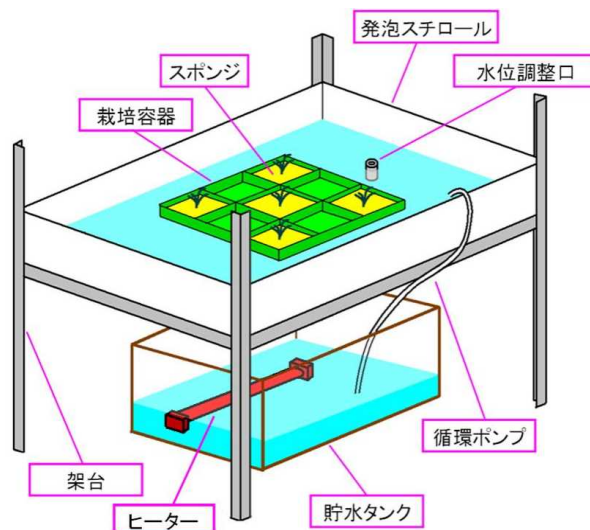


図 4 実験装置 (HS)

5.2 実験装置の考案 (LED)

HS の実験の比較対象として、光の波長の違いによる植物の成長の違いについての実験を平行して行う。図 5 に本実験の水耕栽培の実験装置を考案した。日光 (可視光) における光の波長を 3 等分し青色 (450~495 nm)、緑色 (495~620 nm)、赤色 (620~750 nm) の光を植物に当てて成長過程を比べる (波長比較のパターンは変更する場合がある)。装置では植物の

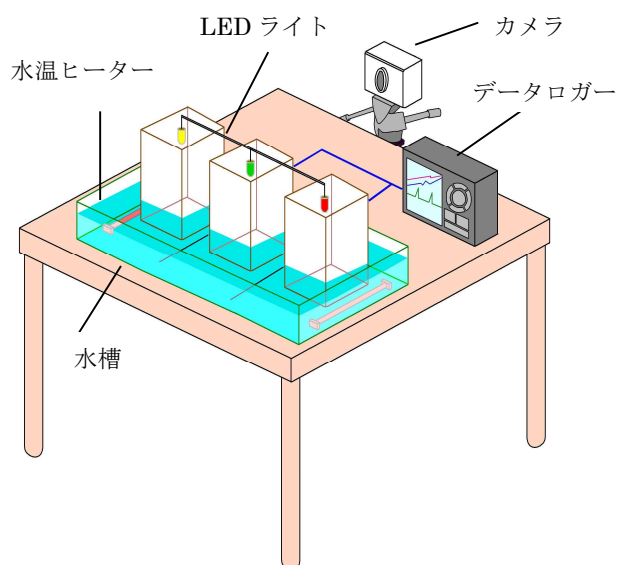


図 5 実験装置 (LED)

周りを容器で覆い、LED ライトを用いて光を照射する。温度管理をするために浅く水を張った水槽を用意し、水温調節用のヒーターを水槽の中に設置する。温度管理は植物の成長に最適であると考えられている 20~23℃を基準として温度を一定にする。

5. 3 植物の選定

本研究では、実験に用いる植物として花を採用する。花を選択した理由としては、過去の HS における文献で報告例がほとんど無いこと、また、HS によって花の咲き方にも違いがでるかを評価するためである。また、実験期間と開花時期、本実験装置の体系が水耕栽培であることを考慮して、花の品種はパンジー（トゥールブルー）を採用した。



図6 パンジーの苗

6. 実験装置の作製

図7に実験装置の概要を示す。実験装置は HS と LED の実験を同時に行えるように作製した。また、実験装置は溶液循環型の水耕栽培となっている。貯水タンクから循環ポンプで水（液肥）をくみ上げ、発泡スチロール容器に流出し一定水位になると水位調整口から水が貯水タンクに流下していく。また、水温はヒーターによって調節する。この装置は液肥の循環と濃度調節により、水の交換をしなくても植物に最適な水環境を保つことができる。それにより、**根腐れの防止**ができることが最大の利点となる。

LED の実験では図7の右図のように黒いカバーで覆い、LED の光だけが照射されるように設置する。また、HS を与えるパンジーと通常のパンジーはスタンドライトの蛍光灯の光を照射する。

（実験装置考案からの変更点）

実験装置の考案の段階では、水温を調節するためにヒーターを用いる予定だったが、室内で栽培するため水温が 20℃でほとんど変化が無かったため、ヒーターを用いずに常温（20℃程度）とした。温度計測に熱電対を用いる予定だったが、今回は図8に示す温度センサーを用いて温度を計った。測定方法として、一日水温を3回計り、その平均値を出した。

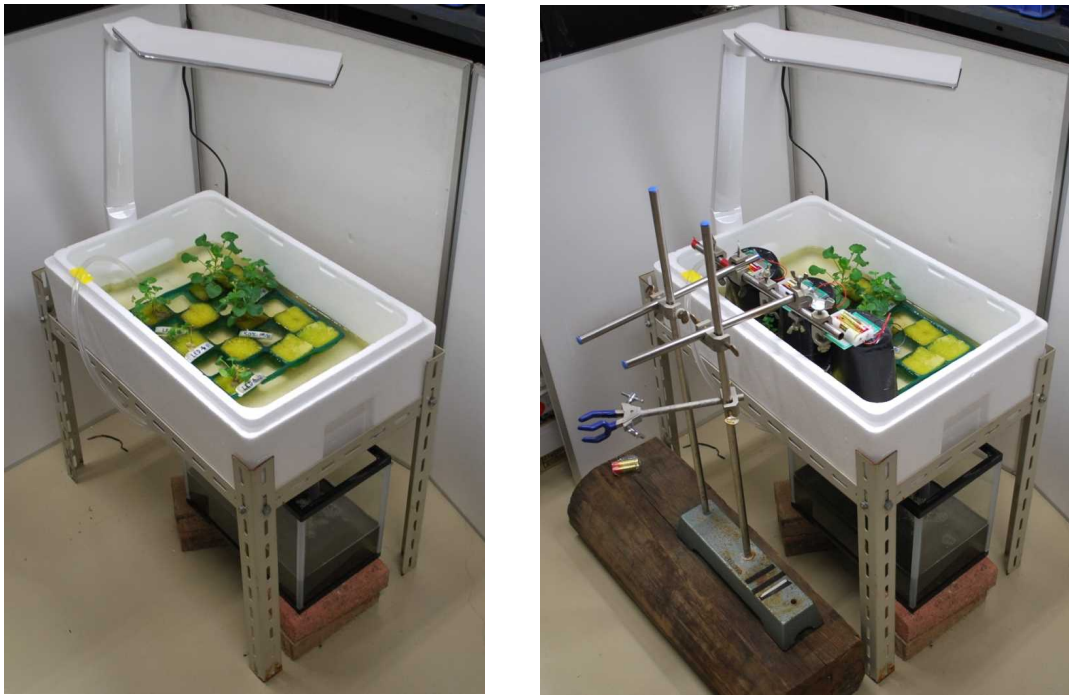


図7 実験装置の概要図



図8 LED、温度計、スタンドライト

7. 実験条件

7. 1 温水の投与

HS の実験では温水を植物に投与する。植物に投与するのに最適な温度は現時点では解明されていないため、投与のパターンは以下の表に示す 4 パターンで比較を行う。植物にストレスを与えすぎないように投与間隔は 3 時間以上とする。

表 1 温水の投与パターン

投与する温水の温度 (°C)	1 日に投与する回数
50	1
50	3
70	1
70	3

7. 2 ライトの照明

赤、青、緑の LED ライトをそれぞれ一つの苗に、全体に照射する光源はスタンドライト（蛍光灯）を用いる。ライトの照射はすべて 24 時間とし、LED は光が弱くなったと判断し次第、電池を交換することで光量を一定に保つ。

7. 3 栽培容器の配置図

図 9 に栽培容器の配置図を示す。

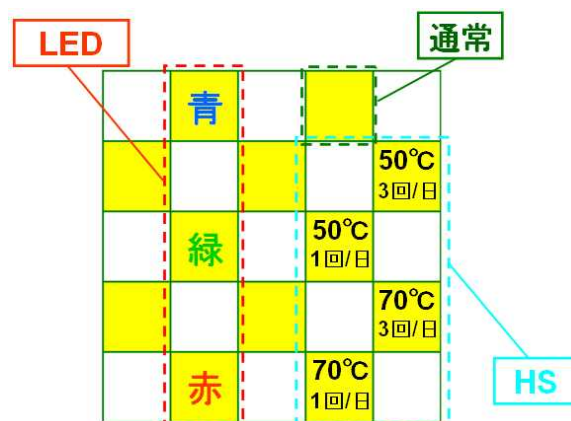


図 9 栽培容器の配置図

8. 実験結果

8. 1 植物の成長経過

<10月25日> 水温：22.0℃

実験装置全体図1を図10に示す。全体図左側には、青・緑・赤のLEDライトを照射させて育てる苗、右下にはHSの実験を行って育てる苗、右上には通常通り水耕栽培をしている苗を配置している。

この日は実験開始日となっている。

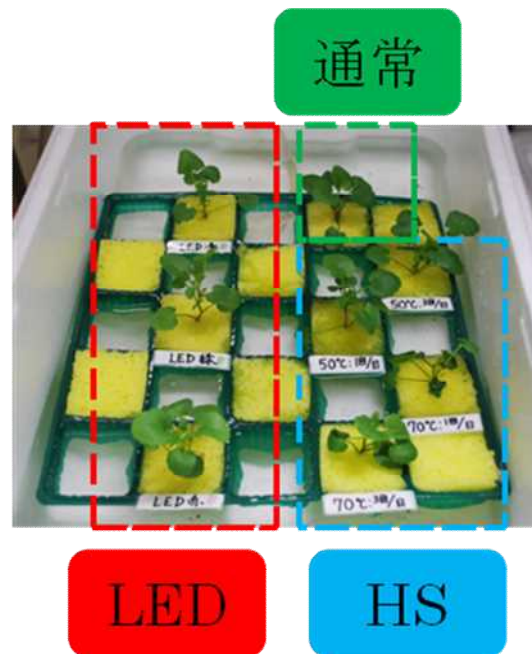


図10 実験装置全体図1

<11月1日> 水温：20.2℃

図11に11月1日の実験装置全体図2を示す。

10月25日から11月1日にかけて、HSの70℃の水を与え続けていた苗が枯れ始めていた。この苗にとって70℃の水はヒートショックをするのに高温過ぎたために、くたくたになっていた。

50℃の方は、少し成長していた。

LEDの方は、10月25日と比べると全体的に色素が少し薄くなっていた。

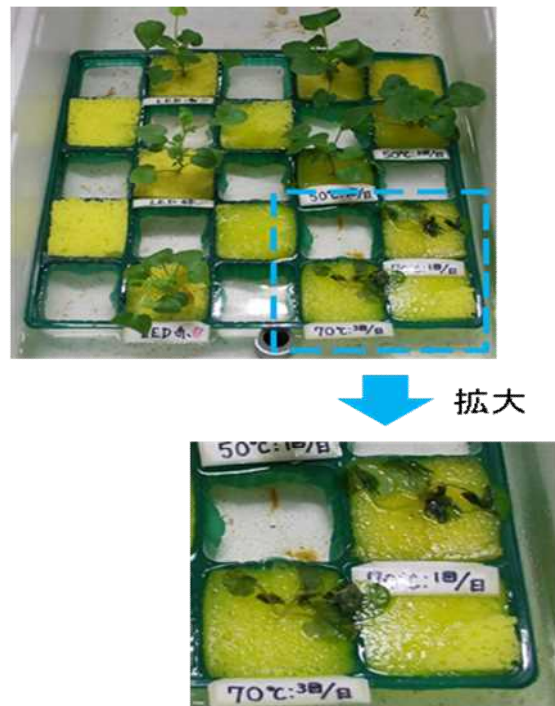


図11 実験装置全体図2

<11月6日> 水温 19.2℃

図12に11月6日の実験装置全体図3を示す。

11月1日から11月6日にかけて、HSの70℃は完全に枯れてしまっていた。

LEDの方は色素が薄くなり、LEDの色の違いによる成長の変化が見られるようになった。特に、緑色のLEDの苗は他の色のLEDに比べて茎が細長く伸びていた。

HSの50℃と通常の水耕栽培のパンジーは順調に成長している。この時点では2つのパターンに成長の差は見られない。

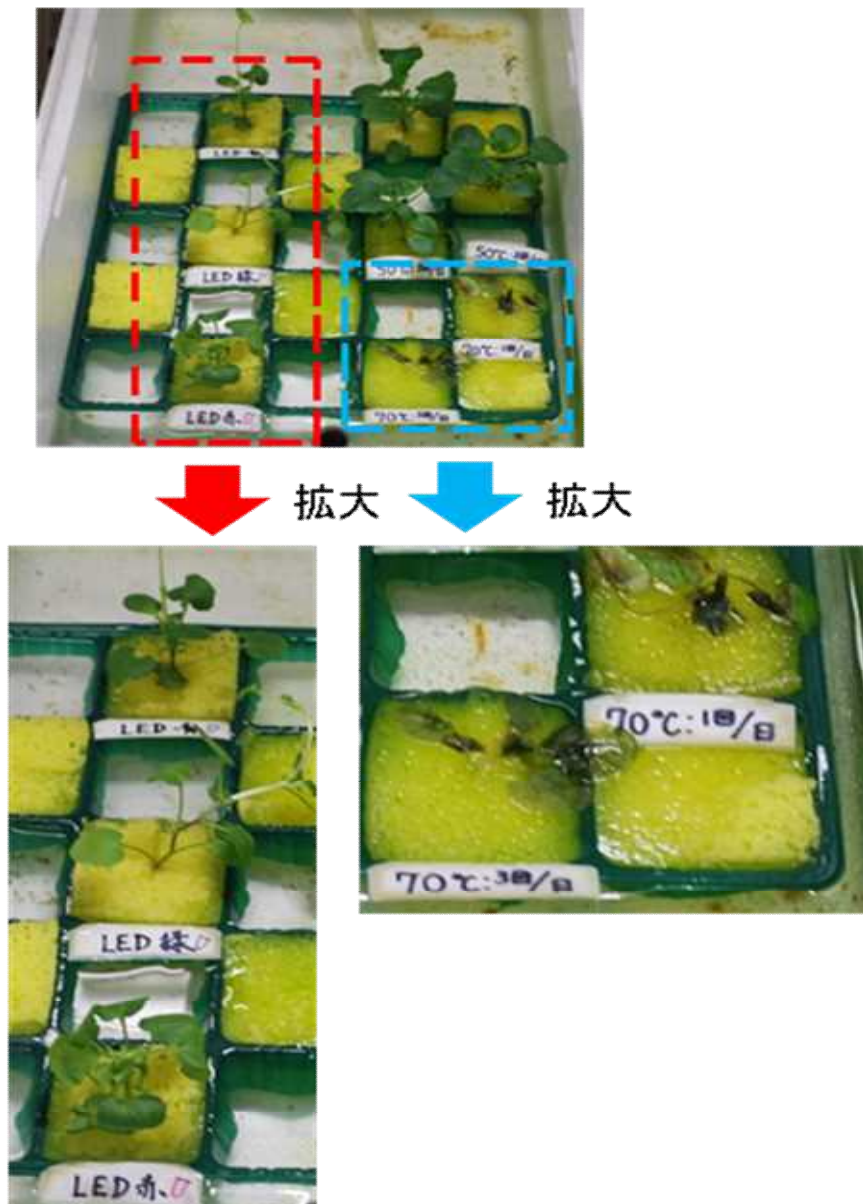


図12 実験装置全体図3

<11月12日> 水温 18.3℃

図13に11月12日の実験装置全体図4を示す。

11月6日から11月12日にかけて、LEDの苗はLEDの色に関係なく全体的に色素が薄くなっていた。加えて、HSと比べて葉の色は薄く、大きさも小さく、成長の速度が遅くなっていることが分かる。

通常の苗は茎が長くのびのびと成長しているのに対して、HSの50℃の苗は茎は短く横に広がって成長しているところが観察された。

HSの70℃の苗は枯れてしまったために実験を終了した。

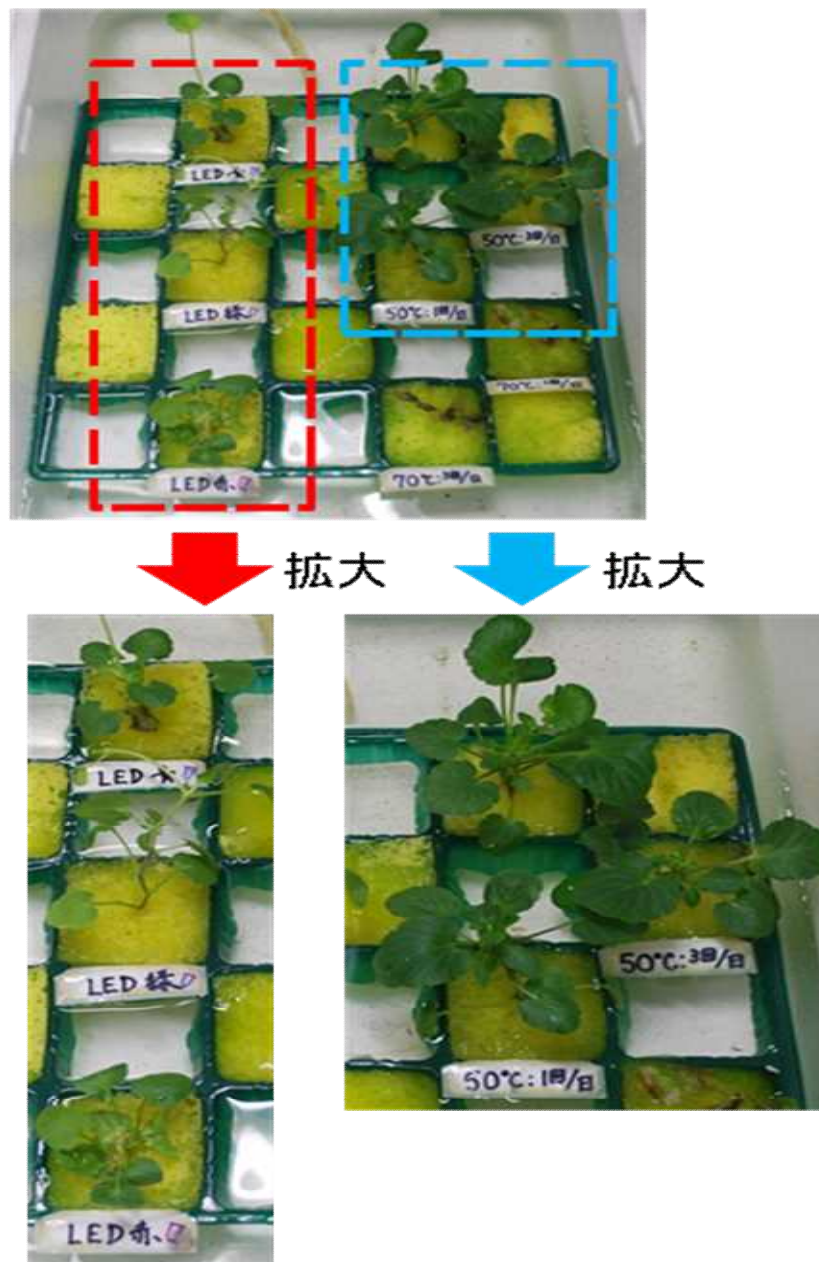


図13 実験装置全体図4

<11月25日> 水温 18.3℃

図14に11月25日の実験装置全体図5を示す。11月12日から11月25日にかけて、HSの50℃の苗に蕾が観察された。これは通常の苗には見られなかった。このことより、**HS**をすることにより**開花時期を促進させるのではないかと**考えられる。

LEDの苗はHSの50℃の苗と比べると成長が乏しかった。しかし、LEDの苗の中では赤色と青色のLEDの苗が比較的によく成長していた。

今回の実験において、開花時期に合わせて実験を開始したが、パンジーの花を咲かせることができなかった。水耕栽培をすることと植物を育てることの難しさを知った。

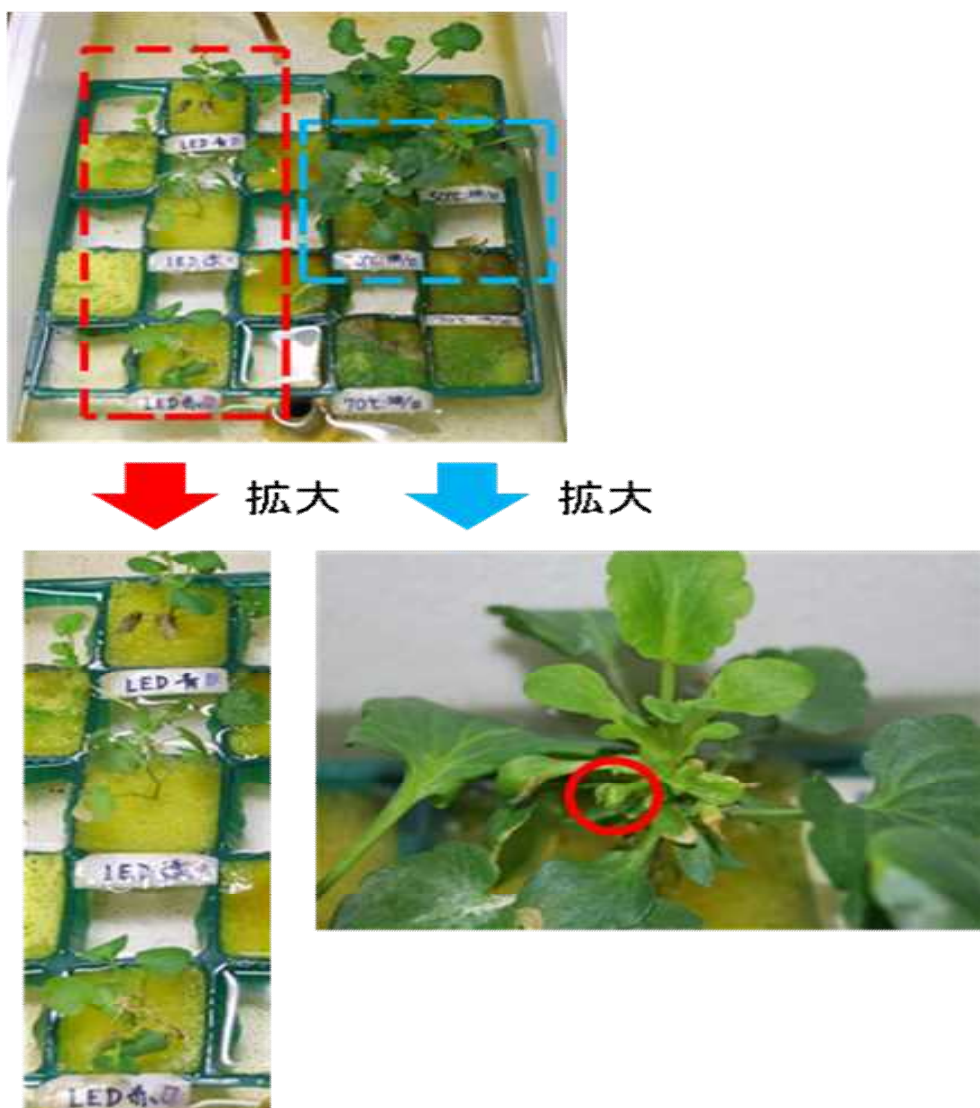


図14 実験装置全体図5

8. 2 葉色の比較

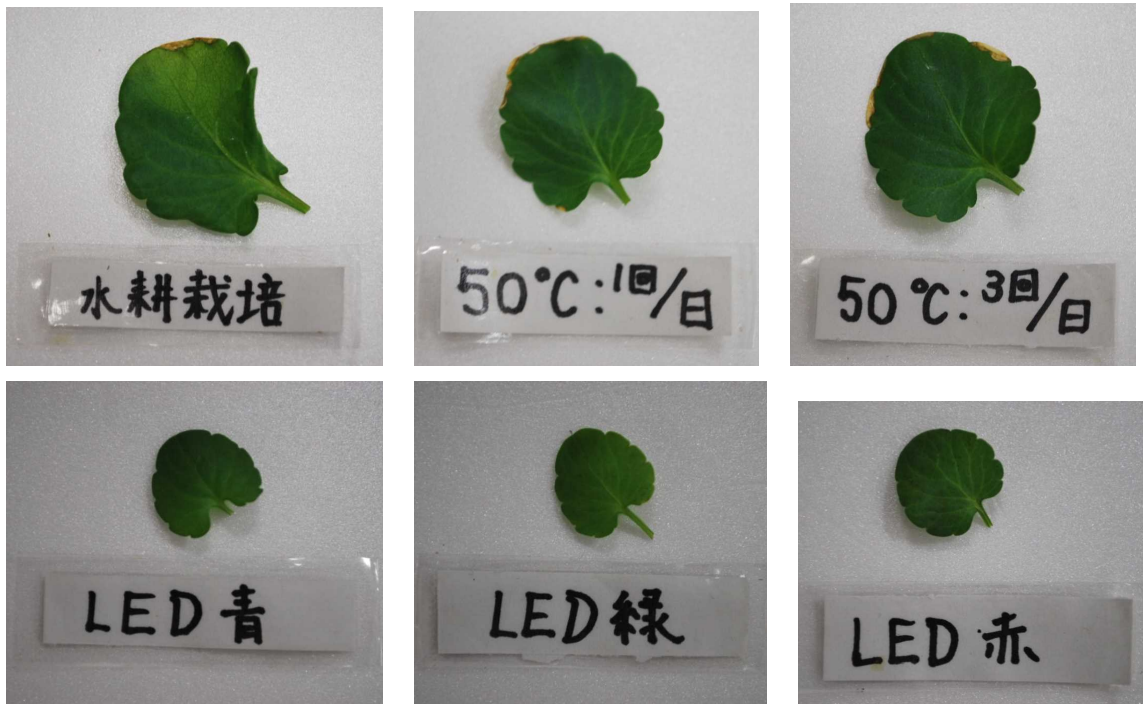


図 15 条件ごとの葉の色の比

図 15 は各実験条件でのそれぞれの葉の様子である。

実験条件が LED の葉の色は、緑色 LED の葉の色が最も薄くなり、赤色・青色 LED は比較的に葉の色が濃い結果となった。これは、葉の色素のもとであるクロロフィルが増加したものと考えられる。赤色の波長は光合成反応においてクロロフィルの吸収ピークと同じ 660nm 近辺であるため、成長の促進に繋がる。クリプトクロムやフォトトロピンといったたんぱく質は、青色の波長と同じ 450nm 近辺に吸収ピークがあり、これも成長の促進に繋がる。これらによって、LED が赤色と青色の光の葉が濃くなったと考えられる。

HS の 70°C は枯れたため採取してないが、**HS の 50°C の葉は水耕栽培の葉と比べ色が濃くなっている**ことが分かる。この理由としては、熱を投与することによって **HSP が生成され、細胞が保護され復元されることにより、クロロフィルが増えたため**と考えられる。また今回の実験では、HS の回数によって大きな変化は見られなかった。

文献によると LED の赤と青の光が特に成長を促すことが明確にされていた。しかし本実験で HS を行うことにより、LED の赤色、青色の光を照射した葉の色と同じような葉の色になっており、水耕栽培の葉の色より濃いため、HS の効果は出ていたと考えられる。

8. 3 根の比較

図 16 に HS を与えたパンジーと通常に水耕栽培をしたパンジーの根を示す。これらを比較すると、通常に水耕栽培したパンジーが最も大きく成長しているのに対して、**HS を与えたパンジーの根のほうが普通のパンジーの根より長く成長している**ことが分かる。HS を与えた同士で比較すると 1 回/日のほうが太く成長しており、3 回/日のほうは細長く成長していた。この結果はパンジーの苗の個体差も考慮しなければならないが、両方の HS を与えたパンジーにその傾向が見られたことから、**HS によって根の成長が促進したのではないかと**考えられる。



図 16 パンジーの根の比較 (HS)

また、図 17 は LED の色の違いによる根の比較を示したものである。根の成長の違いについては、茎や葉と同様に HS と比較して成長が少ない。また、LED の色毎に比較すると、目立った変化はあまり見られないが、青色の LED が最も根が長く成長しているように見える。



図 17 パンジーの根の比較 (LED)

9. 要約

今回の実験では、HS によって通常の水耕栽培と比較して成長の違いが見られた。そのなかでも、HS のほうが根の成長が著しかったこと、あるいは、花のつぼみが付く時期が早かったことから **HS によってパンジーの生育が助長された**と考えられる。また、通常の水耕栽培をしたパンジーと HS を与えたパンジーの育ち方を比較すると、通常のパンジーは茎がのびのびと成長したのに対し、HS を与えたパンジーでは茎は短く、葉が青々と育っているという特徴がみられた。この結果については LED の実験における **赤色 LED** の成長過程と類似していた。

一般的には植物に最も有用な光は**赤色**の波長といわれている。HS によって赤色の LED の成長過程と類似していたことは、**HS によって植物の成長に必要なエネルギーを効率よく与えることができている**ことを示している。つまり、**HS をうまくコントロールすることで植物をさらに効率よく育てることが可能になる**のではと推測できる。

今回の実験では HS の温度は 50℃、植物はパンジーという条件での結果が得られたが、45℃・40℃といったさらに低い温度や、野菜などの違った植物においても条件の違いで新たな実験結果が得られるかもしれない。本実験ではそのような違った条件での実験ができなかったので、機会があればそちらの実験もしてみたい。

10. 謝辞

本実験は、(株)八光電機より助成を賜りました。加えて、知識を高める貴重な場を提供して頂き、ここに感謝の意を評します。また、テーマ考案の際にアドバイスを下さった先生方、研究室の皆さんに心より感謝を申し上げます。

11. 参考文献

(1) 野菜中クロロフィルの熱分解に関する研究

丸山悦子、安田明美、梶田武俊、山本善男 : 調理科学 Vol. 9 No. 2

(2) キュウリに病害抵抗性を誘導する熱ショック処理方法の改良と処理装置の試作

佐藤達雄、芳野未央子、小谷博光 : 園芸学研究 Vol. 11 (2012) No. 1 p121-126

(3) 植物栽培用 LED の設計

https://pub.nikkan.co.jp/uploads/book/pdf_file516df870f3b55.pdf#search='LED+%E6%A4%8D%E7%89%A9+%E3%82%AF%E3%83%AD%E3%83%AD%E3%83%95%E3%82%A3%E3%83%AB'