

熱ショックタンパク質が熱い

## はじめに

酷暑の夏、温暖化対策も差し迫った感があります。作物の栽培や育種の面からも、対策が望まれます。いろいろな対策がありますが、細菌から高等植物、ヒトを含む多くの生物がもつ暑さ対策の成分といえば、**熱ショックタンパク質**です。

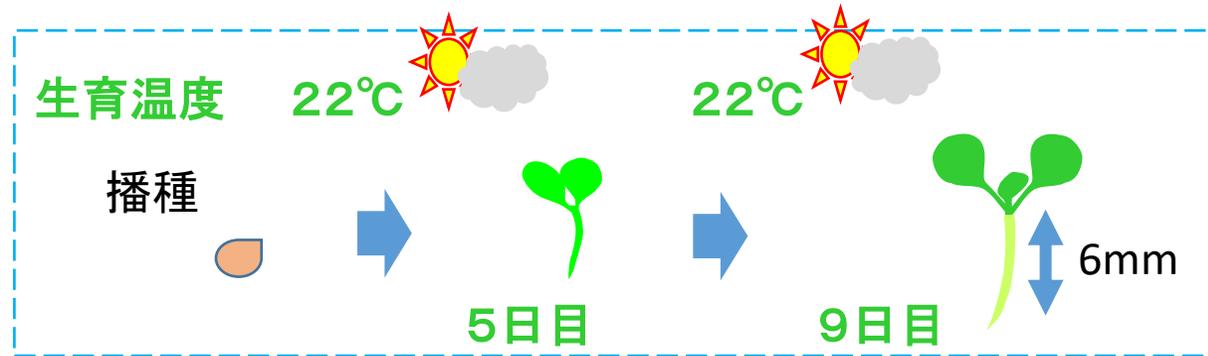
## 熱ショックタンパク質の別の役割

暑さに遭遇すると、生物は通常のタンパク質生合成をいったん止め、いろいろな種類の**熱ショックタンパク質**をつくります。**熱ショックタンパク質は、高温によるタンパク質の変性や凝集を抑え、修復や分解も行います。**

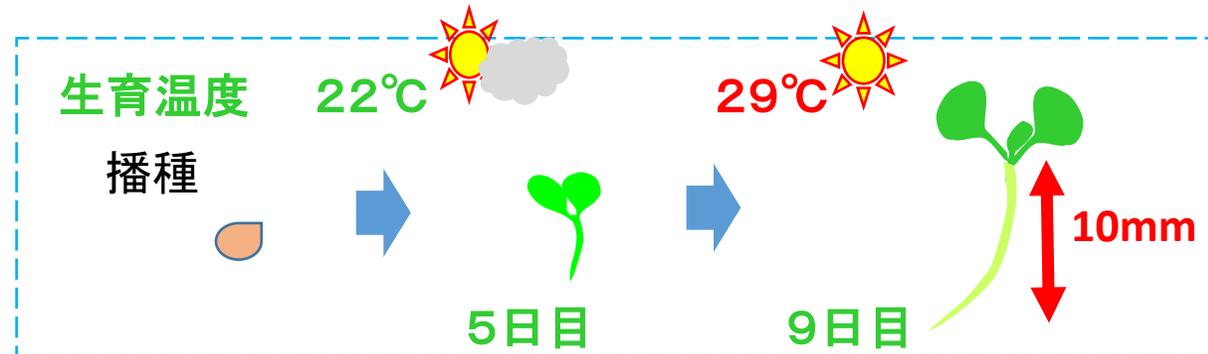
ところで植物は、ある程度穏やかな高温下では、むしろ成長することがあります。その際にも、熱ショックタンパク質が働くことがシロイヌナズナの実験で最近明らかになりました(Nature communications 7:10269, R. Wang et.al., 2016)。

## シロイヌナズナ幼植物体の成長

シロイヌナズナは、一般的には22℃付近で栽培管理されます。22℃で播種後9日には子葉がみられ、胚軸の長さは6mmになります。

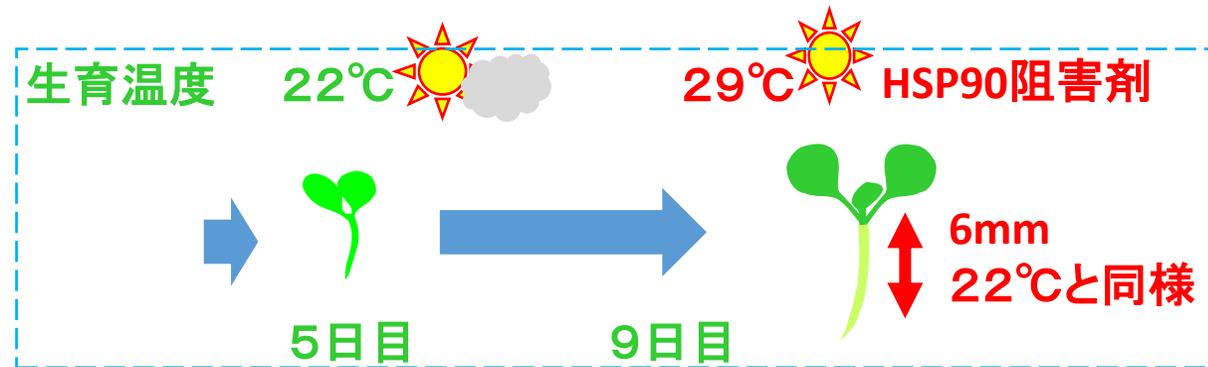


播種後5日目に22℃からやや高温である29℃に移す(ここでは温度シフトと略記します)とより成長し、播種から9日後には10mmになります。



温度シフトと同時に、複数ある**熱ショックタンパク質**（略称**HSP**）の1つである**HSP90**の働きを阻害する物質（**阻害剤**）**ゲルダナマイシン**（略称**GDA**）を与えると、成長促進はみられませんでした。つまり、**温度シフト**による**成長促進**には、**HSP90の働きが必要である**と推測されます。

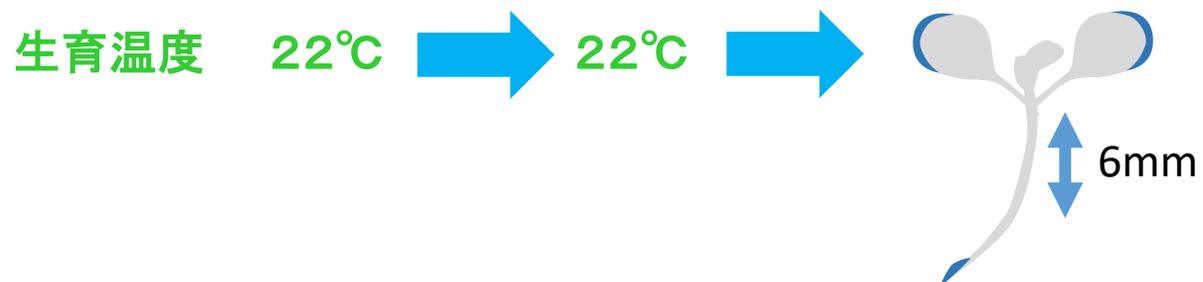
**根の反応も同様**でした。また他の阻害剤（ラディシオール、エピガロカテキンガレート）にも同様の効果があり、試薬の副作用等ではなく**HSP90の働きの有無が重要**であると確認されました。



## HSP90とオーキシンの関係

胚軸や根の成長をこのように短期間で促す植物体の成分となると、植物ホルモンの1種である**オーキシン**がまず挙げられます。

HSP90とオーキシンの関係を調べるため、**オーキシンにより青く染まる遺伝子を導入したシロイヌナズナ遺伝子組換え体**がつくられました。22°Cで生育させた植物体においても、一部がオーキシンに反応して青くなります。



温度シフトすると、幼植物体の成長に関わるより広範囲な部分で、**オーキシンが検出**されました。



しかし、温度シフトと同時に阻害剤GDAを与えると、オーキシンの分布は温度シフトしない場合と同様となりました。



また、オーキシンを幼植物体に与えると温度シフト同様に成長が促進しますが、オーキシンと阻害剤GDAを共に与えると促進されませんでした。

つまり、HSP90はオーキシンを介して、温度シフトによる成長を促していると推測されました。

## オーキシン関与の詳細

オーキシンは一般に、①生合成の増加、次いで②オーキシン受容体との結合、そしてその結合体の遺伝子発現促進という流れで、成長や分化を制御します。

まず、オーキシン生合成遺伝子の発現は温度シフトにより倍増していましたが、阻害剤GDAの添加による発現の減少はありませんでした。つまりHSP90が関わる温度シフトには、①生合成の段階は関与しないことがわかりました。

次いで結合体の調査のため、他の論文も参考にし、オーキシン受容体にオーキシンが結合すると、蛍光を発するような遺伝子組換え体がつくられました。温度シフトをした遺伝子組換え体の幼植物では蛍光が顕微鏡で観られましたが、阻害剤GDAを与えると蛍光は観られませんでした。つまりHSP90は、②オーキシンと受容体との結合体形成に必要ということになります。

## HSP90とオーキシン受容体

温度シフトでは、オーキシン受容体遺伝子の発現は増えず、HSP90の量が増えていました。そして、HSP90は結合体に**直に結合**することが、抗原抗体反応を活用した別の実験で示されました。つまり、**HSP90はオーキシン結合体の安定化などに寄与し、成長に関わる遺伝子発現が促進される**のでしょう。

熱ショックタンパク質の働きがまた1つ、明らかになりました。

## 熱ショックタンパク質の阻害剤

ここからは裏話となります。

本研究では、HSP90の阻害剤が活躍しました。しかし作用機作が明らかで、副作用が少ない阻害剤はそうあるものではありません。

実は本研究以前に、HSP90の働きを阻害するとがん細胞の増殖を抑えることができる、つまりSP90の阻害剤が抗がん剤になるという医学分野での大発見がありました。この大発見のおかげで、植物学でのHSP90の研究も進んだともいえます。

## 今後

植物ホルモンの阻害剤も除草剤や農薬として開発され、植物ホルモンの研究に活用されてきました。私事になりますが、40年以上前に恩師に指導していただき、オーキシン阻害剤を用い不定芽形成に関わる実験をしました。指導のおかげでおもしろいように予想した現象がみられ、きれいな不定芽形成の走査顕微鏡像も観て、植物科学にすっかり魅了され今に至ります。

シロイヌナズナは、熱ショックタンパク質遺伝子は複数もっていて、1つを失活させても他が補助するようになっています。そのため変異により働きを調べるのは難しいのですが、阻害剤により多くのことが明らかになっています。育種へも、これから応用されていくことと思います。