

高温の記憶を利用した高温耐性強化

はじめに

地球温暖化の影響か、春から夏への気温の変化が大きくなりました。急な暑さは、私たちの体力を消耗させます。農作物にとっても、急な暑さは大きなダメージとなります。

植物にとっても、徐々に高温にした方がダメージが小さいことが経験的に知られており、実験でも報告されています。最近さらに進んで、植物が**高温を経験するとそれを覚えていて、次の高温に対処するしくみ**が備わっていることが明らかになりました。

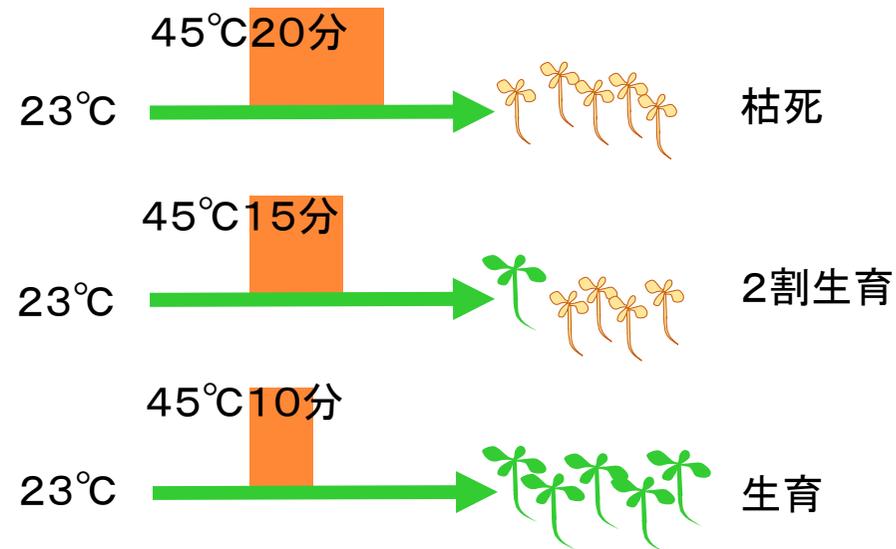
高温耐性の調査法

今回の実験材料も、モデル植物のシロイヌナズナです。

シロイヌナズナの幼植物体の高温による生育へのダメージは、これまでも多数報告されています。試験設定の参考になる最近の報告を、まず紹介します (Silva -Correia *et al.*, Plant Methods 2014,10;7)。

播種後数日の、ごく小さなシロイヌナズナ幼植物体が順調に生育する適温は23°C付近で、これが生育の適温です。しかし23°Cで生育させている幼植物体を急に45°Cに移し、20分置くと、その後適温に戻してもほとんどが回復せず、枯死します。

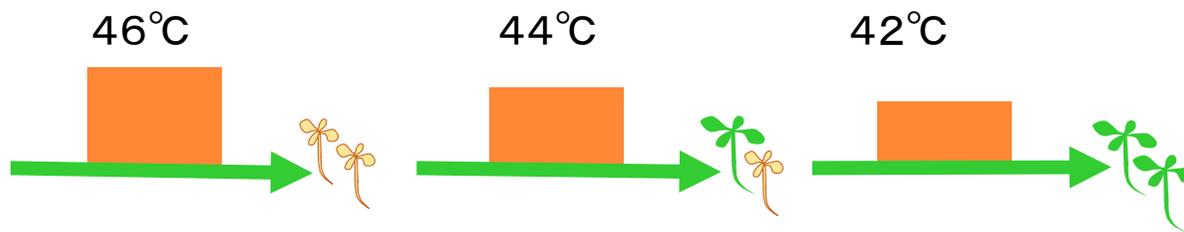
急な高温でも時間が短ければダメージは小さく、45°C10分間の場合はほとんどが回復し、本葉なども育っていきます。45°C15分間では2割しか回復せず、分単位で高温による生死が決まることがわかります。



温度処理の難しさ

高温にさらされる時間を20分と固定すると、42°Cまではその後の適温下でほとんどが回復します。44°Cでは半分が回復し、46°Cではほとんど回復しません。生死を分ける温度域も小さいことがわかります。

このように、高温処理は、1分、1°Cの差が影響します。しかし、培地も含めた植物体全体に急な温度変化を与えるのは、容易ではありません。



幸いこの時期のシロイヌナズナ幼植物体は、人工培地を入れた直径9cm、高さ2cm程度のシャーレで生育させることができます。

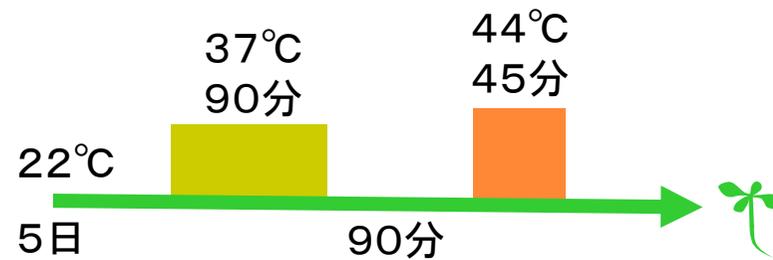
45°Cにする場合は、**シャーレの蓋をパラフィン製テープで封じ、シャーレ全体を45°Cのお湯に沈めています。**シャーレの培地量や植物体数は、同じにします。その後シャーレを適温に設定した照明付き恒温器(温浴ではない)に移し、'栽培'します。高温のダメージが少なければ、回復して本葉などが育ちます。

このような試験は、通常の作物栽培からはやや奇異に思われるかもしれませんが。しかし、不確定な条件を省き、再現性の高い実験系(プロトコール)を用いることで、限られた条件変化に伴う関連遺伝子の単離などを研究することができます。

高温の記憶

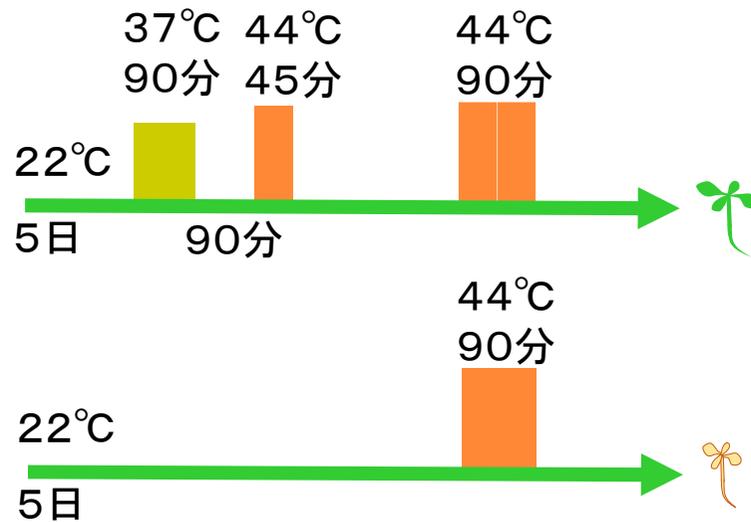
シロイヌナズナ幼植物体を用い、高温耐性、高温への慣れ、いわゆる順化や、経験の効果に関わる遺伝子レベルの研究が進められています。

2016年の報告では、播種後22°Cの適温で生育させた5日目のシロイヌナズナ幼植植物を用い、37°Cに90分、適温90分、44°C45分、そして適温というような処理を行っています(Nature 2016、DOI: 10.1038/ncomms12439)。

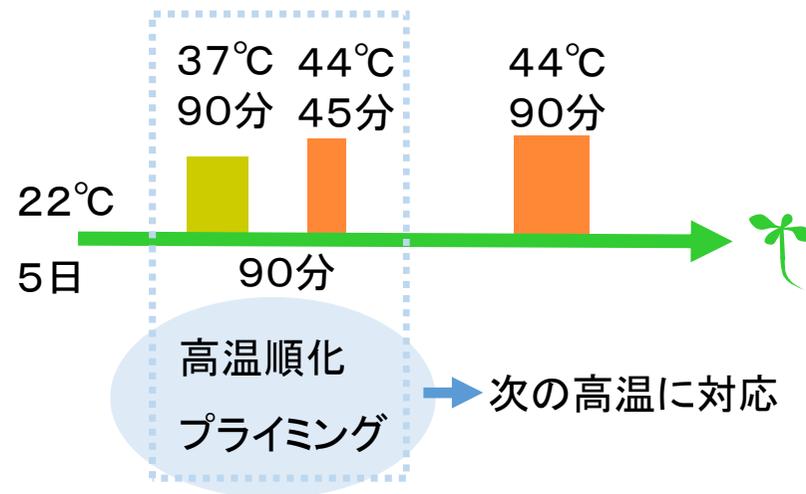


まず37°Cで高温に慣れ、ついで45°C45分に耐える、という経験をします。

そのようにして44°Cを経験させた幼植物体を、再度44°Cに90分に置き、適温に戻します。高温のダメージのため、4日で葉緑体が分解されて白くなりますが、7日後には茎頂部分から緑色の本葉が出始め、14日後にはほとんどの個体が回復しました。一度も44°Cを経験せず、44°C90分におくと、その後適温に戻しても白くなったまま回復しません。

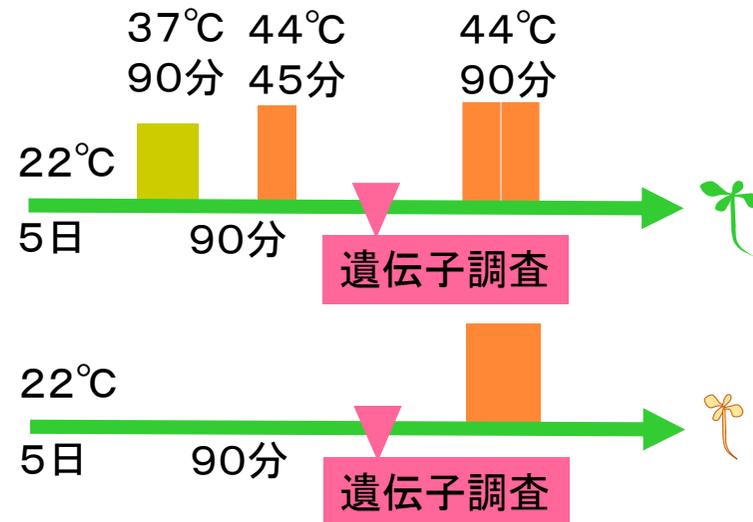


最初の44°C45分の処理は、高温順化またはプライミング処理といいます。二度目の44°C処理に耐性があったのは、プライミング処理による高温の経験を覚えていて、うまく対応したと考えられます。



高温の記憶の実体

プライミング後適温に置き、2日目の幼植物体で発現する遺伝子を調査しました。同時期に、ずっと適温で生育させた幼植物体で発現する遺伝子よりも発現量の多い遺伝子は、高温の記憶に関連していると考えられます。



そのような遺伝子は60個あり、そのうちの17個は、**熱ショックタンパク質**という高温処理で作られる有名なタンパク質グループの遺伝子でした。その中でも、21番は特に多く発現していました。この**熱ショックタンパク質21番**は、**根や葉の葉緑体(正確には色素体)**にありました。

この**タンパク質遺伝子が過剰生産する遺伝子組み換え体**は、2度目の高温処理の後、より早く回復しました。逆にこの**タンパク質遺伝子を不活化させると**、野生株よりも高温のダメージが大きくなりました。

熱ショックタンパク質21番

このような遺伝子組み換え体の結果から、少なくとも高温の記憶の実体の1つは、熱ショックタンパク質21番であることは確実と思われる。

シロイヌナズナのいろいろな系統(Accessions)を調べると、熱ショックタンパク質21番が元々多い系統N13があり、その系統では高温耐性が高いことがわかりました。

また、この熱ショックタンパク質21番を分解する酵素(プロテアーゼ)も同定されました。このプロテアーゼが働くと、熱ショックタンパク質21番が分解され、高温を経験したことを忘れられると考えられます。系統N13では、このプロテアーゼ活性が低いいため熱ショックタンパク質が分解されず、高温の記憶が維持されることも示されました。

今後

こうして明らかになった遺伝子は、育種により高温耐性を高めるための新たな手段となることでしょう。