

植物ホルモン・オーキシンによる植物の伸長生長のメカニズムを世界で初めて発見
ー細胞伸長制御による農作物増産やバイオマス増大への応用に期待ー

【ポイント】

～植物が伸びるメカニズム解明～

植物の成長促進因子として知られる植物ホルモン・オーキシンが植物細胞を伸長させる分子メカニズムを明らかにしました。今後、植物細胞の伸長制御による農産物の収量増大やバイオマス増大に向けての応用が期待されます。

【背景】

植物幼茎は図1に示されるように、短い時間で著しく伸長生長します。この現象は、植物ホルモンであるオーキシンが細胞体積を増大させることによって引き起こされます。オーキシンは130年ほど前にダーウィンらがおこなった光屈性現象の研究を端緒として、植物の屈曲(偏成長)や伸長を誘導する物質として発見された初めての植物ホルモンです。最近の研究により、植物の生活環全般にわたって極めて重要な働きを担っていることが明らかとなってきました。

オーキシンによる植物の伸長生長の初期過程は、1970年代初頭に、オーキシンが細胞からの水素イオン(プロトン)放出を促進することで細胞壁を酸性化して細胞壁のゆるみを引き起こすことによる、と提唱されました。「酸成長説」と呼ばれるこの説は、酸性条件下で細胞壁のゆるみを引き起こすタンパク質(エクспанシンなど)の発見や、水素イオン放出にともなう細胞膜の電位変化がカリウムイオンチャネルを介したカリウムイオンの取り込みを促し、その結果、細胞への水流入と細胞体積の増大を誘導することが実験的に示されてきたことなどから、現在、広く受け入れられています。しかしながら、オーキシンがどのようにして細胞膜を介した水素イオン放出を引き起こしているのか、これまで明らかになっていませんでした。

【研究の内容】

本研究では、シロイヌナズナの黄化芽生え(もやし)から単離した胚軸切片を用いて、オーキシンによる伸長生長の詳細な解析を進めました。その結果、胚軸切片にオーキシンを与えると、伸長生長の促進に先立って細胞膜プロトンポンプと呼ばれる酵素が、リン酸化されることによって活性化され、水素イオンを放出していることを発見しました。さらに、細胞膜プロトンポンプのリン酸化を阻害する薬剤で処理するとオーキシンによる伸長生長も抑制されたことから、細胞膜プロトンポンプが間違いなく、オーキシン誘導性伸長生長に必要であることが確かめられました。また、オーキシンによる細胞膜プロトンポンプのリン酸化は、近年、オーキシン受容体であることが明らかとなった TIR1 を介さずに起こることも明らかとなり、新規のオーキシン受容体やシグナル伝達経路を介する制御機構が存在することが示唆されました。

これらの結果により、今から130年ほど前にダーウィンらの研究を端緒とする成長促進物質オーキシンによる植物の伸長生長の分子機構が初めて明らかになりました。

【成果の意義】

植物ホルモン・オーキシンの代表的な生理作用である伸長生長において、中心的な役割を果たす細胞膜プロトンポンプの関与とその活性化メカニズムが明らかとなり、これまで混沌としていた植物の伸長生長の分子機構を明確に説明できるようになりました。今後、植物生理学の教科書が書き換えられていくものと思われます。さらに細胞膜プロトンポンプの活性化は、既知のオーキシン受容体を介さずに起きていることが示されたことから、新規のオーキシン受容体やシグナル伝達経路を解明する手がかりを得ることができました。

オーキシンによる伸長生長が細胞膜プロトンポンプのリン酸化によって制御されることが明らかとなったことから、細胞膜プロトンポンプのリン酸化レベルや活性状態を人為的に調節することで植物の細胞伸長を制御することにより、農産物の収量増大やバイオマス増大に向けての応用も期待されます。

【用語説明】

- ・ オーキシン: 植物で最初に発見されたホルモンであり、アミノ酸であるトリプトファンから合成される。ギリシア語の「増加」や「成長」を意味する *auxein* にちなんで名付けられた。
- ・ 細胞膜プロトンポンプ: 植物細胞の細胞膜上に存在する膜タンパク質。ATPの加水分解エネルギーを利用して細胞内から細胞外へ水素イオン(プロトン)をポンプのように汲み出す。植物にとって必須の酵素。
- ・ リン酸化: 有機化合物にリン酸基を付加する化学反応。タンパク質のリン酸化は代表的な翻訳後活性調節機構のひとつであり、タンパク質の構造変化を引き起こすことで活性を調節する。可逆的にリン酸基を付加したり取り除いたりすることで、酵素活性の分子スイッチとして働く。
- ・ 黄化芽生え: 暗所下で生育させた幼植物。一般に「もやし」とも呼ばれる。
- ・ 胚軸: 植物の芽生えの子葉と根に挟まれた部位。
- ・ シロイヌナズナ: アブラナ科の一年草で、ゲノムサイズが小さく、世代期間が短く、室内での栽培が可能で、形質転換が容易などモデル生物としての利点を多く備えているため、植物のモデル生物として盛んに研究に用いられている。2000年に植物として初めて全ゲノム解読が終了した。

【論文名】

Auxin activates the plasma membrane H⁺-ATPase by phosphorylation during hypocotyl elongation in *Arabidopsis thaliana*

「シロイヌナズナの胚軸伸長は、オーキシンによる細胞膜 H⁺-ATPase のリン酸化を介した活性化によって引き起こされる」

Takahashi K, Hayashi K, and Kinoshita T. (2012) *Plant Physiology*, in press

【図】



図1、シロイヌナズナ黄化芽生え(もやし)の伸長生長。黄化芽生えの伸長生長は、子葉と根に挟まれた胚軸を構成する細胞の体積が増大することによって起きる。この現象は、植物ホルモン・オーキシンの代表的な生理作用のひとつである。

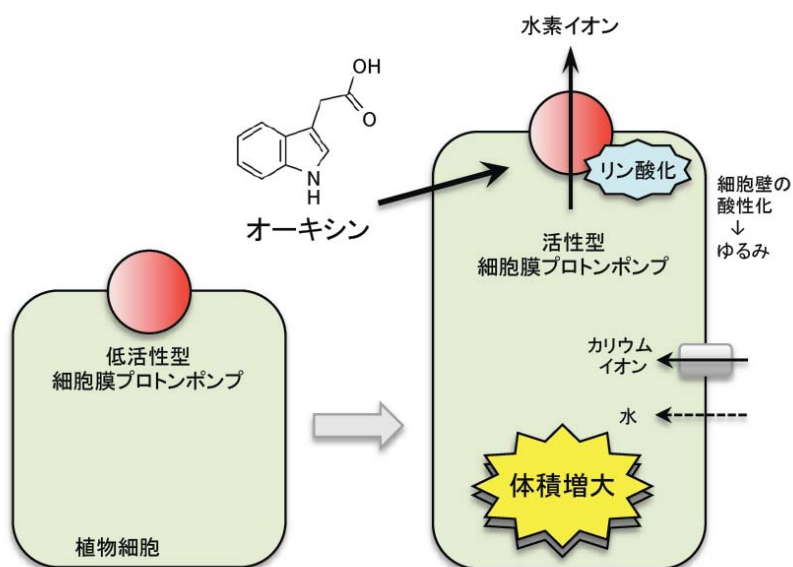


図2、オーキシンの細胞膜プロトンポンプの活性化機構の模式図。オーキシンは、細胞膜上に存在する細胞膜プロトンポンプのリン酸化レベルを上昇させ、触媒活性を増大させる。細胞膜プロトンポンプの活性化により細胞外へ水素イオンが放出され、酸性化による細胞壁のゆるみと細胞膜の電位変化によるカリウムイオン流入とそれに伴う水流入が起こり、細胞体積が増大する。これらの結果、植物組織の伸長生長が誘導される。