HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Studies on cellular signaling mechanisms regulating plant responses to nutrient deficiency and energy starvation [an abstract of entire text]
Author(s)	久保, 晃生
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。【担当：理学部図書室】 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(生命科学)
Dissertation Number	甲第16284号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95513
Type	doctoral thesis
File Information	Akio_Kubo_summary.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 の 要 約

博士の専攻分野の名称　博士(生命科学)　氏　名　　久 保 晃 生

学 位 論 文 題 名

Studies on cellular signaling mechanisms regulating plant responses to nutrient deficiency and energy starvation
(植物の栄養欠乏およびエネルギー飢餓応答を制御する細胞内シグナル伝達機構の研究)

動くことのできない植物は、自身が生育する環境の中で、生育と成長に必要なエネルギーと栄養源を得る必要がある。しかし、絶えず変化する環境の中で常に十分なエネルギーと栄養源を確保することは難しく、断続的なエネルギー飢餓および栄養欠乏に見舞われる。そのような環境に適応するために、植物は細胞内恒常性を維持するための複雑なシグナル伝達機構を発達させてきた。植物はこのような複雑なシグナル伝達経路を用いて、細胞の代謝状態や遺伝子発現のダイナミックなリプログラミングを行う。しかしながら、様々な環境下で生じるエネルギー飢餓応答を制御する分子機構は十分に理解されていない。そこで本研究では、シロイヌナズナを用いた細胞内恒常性の維持に重要なキナーゼの機能制御機構の解析とイネ浸水発芽における浸水ストレス耐性向上に関わる化合物および分子経路の同定を行った。

1. シロイヌナズナのエネルギー飢餓および窒素栄養欠乏応答における SnRK1 キナーゼによる制御機構の解析

エネルギーと栄養のバランスは植物の生育と成長を決める重要な要因である。特に光合成と無機窒素栄養を用いた窒素同化を行う植物にとっては、糖と窒素栄養の供給バランスは重要である。SNF1-RELATED KINASE 1 (SnRK1) キナーゼは真核生物に広く保存されたエネルギーセンサーであり、細胞内のエネルギー状態と栄養状態を感知し、細胞恒常性の維持に寄与する。SnRK1 は触媒作用をもつαサブユニットと調節作用をもつβサブユニットおよびγサブユニットからなるヘテロ三量体として機能する。SnRK1 は細胞内の糖および窒素の利用可能性により活性が制御されており、糖代謝と窒素代謝のクロストークに関わる重要な調節因子として考えられている。しかし、糖シグナルおよび窒素シグナルに応じた SnRK1 の機能調節機構は明らかになっていない。そこで本研究では、SnRK1 調節サブユニットであるβサブユニットに着目し、糖欠乏および窒素欠乏応答におけるβサブユニットによる SnRK1 の機能制御機構を解析した。作出した SnRK1βサブユニットの変異体を用い、糖飢餓と窒素欠乏に対する応答を調べた。その結果、snrk1β1/2 二重変異体は糖欠乏に耐性を示した。また、snrk1β2 および snrk1β1/2 二重変異体は通常の窒素条件下で花成の早期化を示し、snrk1β2 変異体は窒素欠乏に対して非感受性を示した。snrk1β1/2 二重変異体を用いた RNA-seq によるグローバルな遺伝子発現変動解析から、SnRK1β1/β2 が SnRK1α の機能を抑制しており、糖飢餓条件では SnRK1β1/β2 の機能が抑制され、窒素欠乏条件では促進されることが示唆された。一方で、ACC レポーター系を用いた解析から、SnRK1β1/β2 は SnRK1 の基本的な活性には必要であり、糖飢餓および窒素欠乏条件における SnRK1 の機能制御には、SnRK1β1/β2 の存在と糖欠乏および窒素欠乏シグナルによる SnRK1β1/β2 を介した機能制御が重要であることが示された。本研究により、βサブユニットはそのアイソフォームごとに糖飢餓または窒素欠乏応答に対する応答性が異なることが示された。また、SnRK1β1/β2 では糖飢餓および窒素欠乏シグナルに対する応答性が異なったことから、糖飢餓および窒素欠乏シグナル受容における SnRK1β1/β2 の機能的重要性が明らかになった。

2. イネ浸水発芽におけるクエン酸事前処理による子葉鞘伸長促進効果についての解析

水没による酸素欠乏は、細胞のエネルギー飢餓を引き起こし、ほとんどの植物種の成長を著しく

制限する。イネ(*Oryza sativa* L.)は、水浸下における酸素欠乏環境を生き抜くための様々な適応機構を有している。その１つである浸水発芽は、酸素欠乏条件における種子貯蔵デンプンの分解と嫌気性呼吸によるエネルギー生産により、発芽や発芽後の初期成長における子葉鞘伸長を誘導する。しかし、植物生理や農業生産への影響を理解するためには、水浸耐性機構をさらに解明することが重要である。そこで本研究では、イネ浸水発芽における水浸耐性機構を理解するために、イネ浸水発芽における浸水ストレス耐性向上に関わる化合物および分子経路の同定を行った。浸水発芽実験により、イネ種子をクエン酸や乳酸などの有機酸で前処理すると、水浸下での子葉鞘伸長を促進し、その後の水浸下での苗の生育が改善されることを見出した。さらに、クエン酸処理した種子の胚では、嫌気性呼吸とフェニルプロパノイド生合成に関連する遺伝子の発現が水浸下で活性化されたが、デンプン分解酵素とシグナル伝達因子をコードする遺伝子の発現には有意な影響は見られなかった。加えて、胚乳中のデンプンと可溶性糖の量はクエン酸塩前処理によって変化しなかった。これらの結果は、クエン酸前処理が、おそらくフェニルプロパノイド代謝に関連する未知のメカニズムを通じて、嫌気的エネルギー生産に関連する遺伝子の転写制御を介して、水浸下のイネ種子の小葉の伸長を促進することを示唆している。

本学位論文を通して、糖飢餓および窒素欠乏応答に対してβサブユニットのアイソフォームごとに機能差があること、また、糖飢餓および窒素欠乏シグナル受容における SnRK1β1/β2 の機能的重要性が明らかになった。加えて、イネ浸水発芽において、発芽前のクエン酸処理が嫌気性呼吸とフェニルプロパノイド生合成に関連する遺伝子の発現を活性化させ、イネ浸水発芽における子葉鞘伸長を促進することを明らかにした。