


リービッヒの最小律の基礎となる植物栄養情報統合システムの解明

	研究代表者	東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・教授 柳澤 修一（やなぎさわ しゅういち） 研究者番号:20222359
	研究課題情報	課題番号：22H04977 キーワード：植物、肥料三要素、栄養シグナル、遺伝子発現制御、リービッヒの最小律 研究期間：2022年度～2026年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

● 研究の全体像

植物は根を張った土地の栄養環境に応じた成長を示します。窒素、リン、カリは肥料三要素と呼ばれ、植物栄養素の中でも必要量が大きく不足しやすい栄養素です。種々の栄養素の中で、最も不足している栄養素のみが植物の成長速度や成長量に影響するという説（リービッヒの最少律）が提唱されて150年以上が経ち、広く受け入れられていますが、リービッヒの最少律の基となる、様々な栄養情報を統合している仕組みは明らかになっていません。また、窒素の獲得量と光合成量や作物収量の間には高い正の相関があることから、この情報統合の仕組みは地上部の栄養関連情報も統合していることが予測されます（図1）。本研究では、イネとシロイヌナズナを用いて、リービッヒの最少律を裏打ちする栄養情報の統合の仕組みを明らかにし、多様な栄養環境で植物はどのようにして肥料三要素の獲得と成長の最適化を行なっているかを解明します。

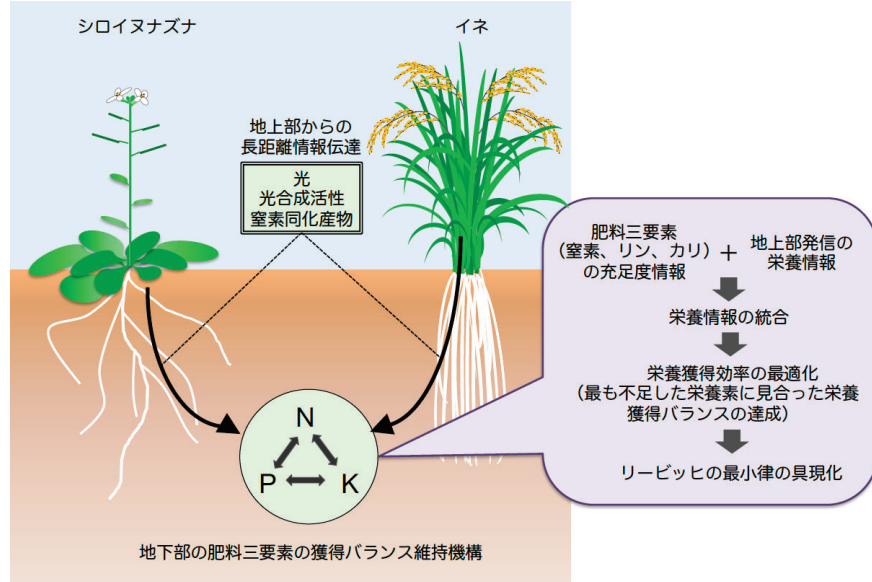


図1 植物における栄養獲得効率の最適化のイメージ図

● 植物栄養シグナル

栄養状態に関する情報は栄養シグナルとして伝達されます。例えば、窒素に関しては硝酸イオンが栄養シグナルとして働いています。硝酸イオンは窒素栄養の取り込みを担うタンパク質（輸送体）や窒素同化を担う酵素などの遺伝子の発現を促進する因子（NLPタンパク質）を活性化して、窒素利用を促進することを明らかにしてきました。また、NLPタンパク質は、窒素利用を抑制する因子（NIGT1）の遺伝子の発現も促進し、アクセルとなるNLPとブレーキとなるNIGT1の働くタイミングの時間差によって窒素獲得が精密に調節されていることも明らかにしています。硝酸イオンが不足するとNIGT1の発現量が減少し、これによって窒素獲得機構が活性化されることも明らかになっています。

● 窒素栄養獲得とリン栄養獲得の相互制御

窒素栄養獲得とリン栄養獲得の相互制御の仕組みは、これまでに明らかにしています。硝酸獲得抑制を担う遺伝子（NIGT1）の発現をリン欠乏応答を担う遺伝子発現促進因子PHR1が促進することで、リン欠乏時には硝酸態窒素の獲得が抑制されます。PHR1活性は、リンが十分に存在する時にはSPXタンパク質と複合体を形成することで抑制されていますが、リンが不足すると、この複合体が乖離し、PHR1活性が誘導されて、リン欠乏応答に関わる遺伝子の発現が誘導され、リン獲得の促進が起こります。NIGT1はSPX遺伝子の発現を抑制することで、硝酸イオンが十分にある時にリン獲得を促進します（図2）。このようにリービッヒの最小律は実在する分子メカニズムに導かれていることがわかってきました。

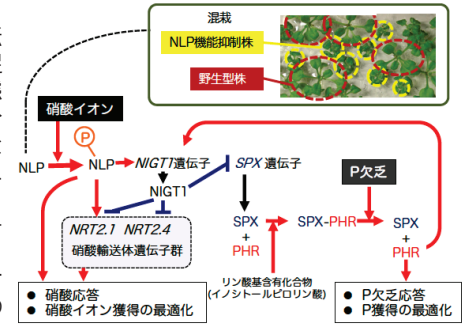


図2 窒素獲得とリン獲得の巧妙な相互制御のモデル図

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

本研究では、肥料三要素の獲得の相互制御に焦点を当て、シロイヌナズナとイネを用いてリービッヒの最少律の基礎となる分子メカニズムを解明します。

● 窒素応答の仕組みの全貌解明

窒素は栄養応答の中心となる栄養素です。硝酸イオンが正の制御因子として窒素応答を引き起こす仕組みは明らかになりつつありますが、硝酸センサーがまだ確定していません。また、硝酸応答と窒素飢餓応答の関係性が不明確です。これらの課題を解決し、窒素応答の包括理解を達成します。

● 肥料三要素の獲得の相互制御機構の解明

硝酸態窒素が存在するとカリウムの吸収が促進されることが知られていますが、その分子メカニズムは不明です。このメカニズムを明らかにするとともに、カリウム欠乏が窒素やリンの獲得に及ぼす影響を精査し、肥料三要素の獲得バランスを維持する仕組みを解明します。

● 長距離シグナル伝達による肥料三要素の獲得制御メカニズムの解明

葉の生理反応も根における肥料三要素の獲得に影響を及ぼすと考えられますが、地上部のどのような生理機能が特に重要であるかは不明です。そこで新たなアプローチにより、これを解明します。発現パターンの類似している遺伝子を整理することで、これまでに、根における窒素飢餓応答を制御している遺伝子の同定に成功しています（図3）。そこで、この手法を拡張して、地下部と地上部における遺伝子の発現パターンの相関を精査し、地上部での発現が、N,P,K獲得に大きな影響を与える遺伝子を同定し、また、その発現が重要な理由も解明します。

肥料三要素の獲得制御ネットワークの解明は、多様な栄養環境で作物生産の向上に貢献することが期待されます。例えば、窒素応答関連因子を用いて、窒素栄養が乏しい環境における光エネルギー効率の向上に成功しています（図4）。

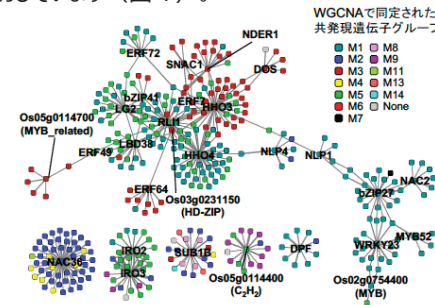


図3 イネにおける窒素飢餓応答のための遺伝子発現制御ネットワーク

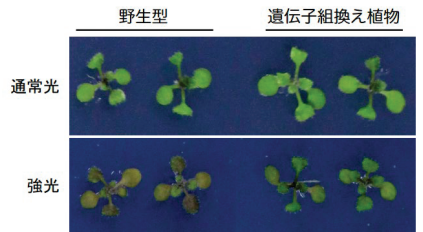


図4 低窒素環境での光利用を強化した植物