

亜鉛欠乏した植物の根において蓄積するデンプンの生理的意義

Physiological significance of starch accumulation in roots of Zn-deficient plants

立命館大学生命科学部 深尾陽一郎

亜鉛は植物の生育にとって必須微量元素である。このため亜鉛が不足すると植物の生育は阻害される。これまで植物の亜鉛欠乏耐性機構は、転写因子 (bZIP19 と bZIP23) が亜鉛輸送体の発現量を上昇し、細胞内への亜鉛取込量を増加する仕組みを中心に理解されてきた。また過度な亜鉛欠乏による生育阻害は、単に亜鉛を補因子とするタンパク質の活性が落ちた結果であると考えられてきた。そのような中、我々は亜鉛欠乏条件で生育したモデル植物シロイヌナズナの根において、複数の Defensin-like (DEFL) family protein の発現量が増加することを見出した (Nakayama et al., 2020)。このうち5種類の DEFL は、亜鉛欠乏時の根において細胞分裂や細胞伸長を抑制することで個体を小さく維持し、エネルギー消費を抑えている可能性を提唱した (Kimura et al., in press)。さらに DEFL203 の細胞内局在を解析する過程において、DEFL203 が細胞壁および細胞膜に局在すると共に、直径 5 μm 以下のオルガネラと考えられる構造にも局在することが示唆された。各種オルガネラの GFP 蛍光マーカーを用いた顕微鏡観察により、プラスチドマーカーとして用いられる CT-GFP 株では、明視野でも確認できる構造体を GFP 蛍光が囲っているように観察された。この構造体は亜鉛欠乏したシロイヌナズナの根端に近い分裂領域や伸長領域の細胞で多く観察され、亜鉛濃度が十分に存在するとまったく観察される事はない。次にこの構造体の正体を突き止めるいくつかの検証を行ったところ、デンプンであることが判明した。デンプンは亜鉛濃度が低いと蓄積し、高くなると分解されることから、デンプン量は亜鉛濃度に応じて変化する。根におけるデンプンについては、根冠の平衡細胞に存在するプラスチドにデンプンが蓄積し、重力方向を感知する機能をもつことがよく知られている。平衡細胞におけるデンプンは貯蔵型であり、我々の実験でも亜鉛濃度に応じてデンプン蓄積量は変化しなかった。このことから、亜鉛欠乏誘導型のデンプンは重力応答に関与しないと結論づけられた。また亜鉛欠乏誘導されるデンプンは、明所では蓄積し、暗所では分解する。これは葉の葉緑体 (プラスチドの一種) におけるデンプン蓄積パターンと類似した一過的蓄積である。すなわち、葉緑体では日中に光合成によりスクロースを合成し、一時的にデンプンとして蓄積する。夜間は光合成を行わないため蓄積したデンプンを分解して得られたスクロースを生長に利用する。このことから、亜鉛欠乏でプラスチド内に蓄積するデンプンは、葉緑体のデンプンと同様に、光の明暗によって調節されていることが示された。根においてデンプンが蓄積する生理的意義は今のところ不明であるが、植物が意図してデンプンを蓄積しているのか、亜鉛欠乏による障害を受けた結果としてデンプンが蓄積しているのかにより、この解釈が異なる。これまでの解析では、暗所ではデンプンの分解が進むことから、亜鉛欠乏条件により分解過程が阻害された結果、デンプンの蓄積量が増加したとは考えにくい。以上のことから、この現象は植物が積極的にデンプンを蓄積する反応であり、これまで知られていない亜鉛欠乏耐性機構の1つである可能性がある。現在は、植物が生長を抑制する代わりにデンプンを蓄積し、亜鉛欠乏が解消された後に生長を再開するためのエネルギー源として利用している可能性を検討している。

【参考文献】

- Nakayama S. et al., "Manganese treatment alleviates Zinc deficiency symptoms in Arabidopsis seedlings." *Plant Cell Physiol.*, 61(10), 1711-1723, 2020.
- Kimura S. et al., "Zinc deficiency-induced defensin-like proteins are involved in the inhibition of root growth in Arabidopsis." *Plant J.*, in press, 2023.