

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|---|
| 題目(和文) | シロイヌナズナの多面的な環境応答における糖脂質合成の意義に関する研究 |
| Title(English) | |
| 著者(和文) | 村川雅人 |
| Author(English) | Masato Murakawa |
| 出典(和文) | 学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10585号, 授与年月日:2017年6月30日, 学位の種類:課程博士, 審査員:太田 啓之,久堀 徹,田中 寛,駒田 雅之,増田 真二,下嶋 美恵 |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10585号, Conferred date:2017/6/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,, |
| 学位種別(和文) | 博士論文 |
| Category(English) | Doctoral Thesis |
| 種別(和文) | 論文要旨 |
| Type(English) | Summary |

論文要旨

THESIS SUMMARY

| | | | | | |
|-------------------------|--------|----|--|-----------------|------|
| 専攻： Department of | 生体システム | 専攻 | 申請学位(専攻分野)： Academic Degree Requested | 博士 Doctor of | (理学) |
| 学生氏名： Student's Name | 村川 雅人 | | 指導教員(主)： Academic Advisor(main) | 太田 啓之 | |
| | | | 指導教員(副)： Academic Advisor(sub) | | |

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

酸素発生型光合成生物の生体膜は糖脂質が多くの割合を占めており、その他多くの生物の細胞膜が主にリン脂質から構成されていることとは大きく異なっている。植物の葉緑体において、光合成反応を行う場として重要な構造であるチラコイド膜の脂質組成は、モノガラクトシルジアシルグリセロール (MGDG) およびジガラクトシルジアシルグリセロール (DGDG) という 2 つのガラクト脂質が約 80 % を占めている。シロイヌナズナにおいては 3 つの MGDG 合成酵素遺伝子 *MGD1*、*MGD2*、*MGD3* が存在している。これら 3 つのアイソフォームはアミノ酸配列の相同性によって A-type (*MGD1*) と B-type (*MGD2*、*MGD3*) に分類され、細胞内局在や発現部位、ストレスや植物ホルモンへの応答性が異なることが知られている。また、これまでの研究によりリン欠乏・窒素欠乏・乾燥・高温・凍結ストレスなど、さまざまな環境ストレスがシロイヌナズナのガラクト脂質代謝に影響を及ぼすことが明らかにされてきた。本研究では、これまで詳細な解析がなされていなかった「糖過剰条件」と「酸性ストレス」に焦点を当て、これらの要因がガラクト脂質代謝に与える影響を明らかにした。また、得られた結果に基づき、多面的なストレス応答におけるガラクト脂質代謝調節の生理的意義を考察した。

リン欠乏に陥った植物は、B-type MGDG 合成酵素の活性化を介して、葉緑体外の膜のリン脂質をガラクト脂質で代替する膜脂質転換を誘導する。また、糖過剰な条件は植物のリン欠乏応答を増強することが知られている。そこで、リン十分な培地にスクロースを添加してシロイヌナズナ野生株を生育させ遺伝子発現量を解析したところ、スクロース添加に応答した *MGD3* の遺伝子発現上昇がみられた。そこで *MGD3* を恒常的に過剰発現させた遺伝子組換えシロイヌナズナを作出し、野生株および *mgd3* 欠損株との生育比較を行ったところ、スクロース添加時の野生株に対する生育が欠損株では抑制され、過剰発現株では促進された。また、スクロース添加は野生株の膜脂質組成における DGDG の増加を誘導した。さらに、過剰発現株では野生株以上にスクロース添加時の DGDG 含量が増加しており、この DGDG は葉緑体外の膜に蓄積していることが示唆された。さらに、放射性標識したスクロースを取り込ませた実験の結果等より、過剰発現株は根から吸収したスクロースを優先的に糖脂質合成に用いていることがわかった。以上の結果から、*MGD3* を介した DGDG 合成の活性化は、糖の過剰な蓄積を防ぎ、同時に膜を構成する部品を生成することで、糖過剰条件での植物の生育促進に寄与していると考えられた。

糖脂質から構成された膜はリン脂質から構成された膜と比較して、静電ポテンシャルに対する高いバリア機能を有することが示唆されていた。そこで実際に植物試料から糖脂質である DGDG と、リン脂質であるホスファチジルコリン (PC) を精製し、それらを用いて作成したリポソーム膜のプロトン透過性を測定したところ、リポソーム膜中の DGDG 含量が増加するにつれてプロ

トンの透過性が低下した。この結果から、酸性環境は植物のガラクト脂質代謝に影響を及ぼすのではないかと考え、酸性条件で生育させたシロイヌナズナ野生株と *mgd2mgd3* 二重欠損株の脂質解析を行った。その結果、酸性生育時の植物体地上部においては、B-type MGDG 合成酵素依存の経路ではなく、A-type MGDG 合成酵素を介した DGDG 合成が活性化することがわかった。また、この DGDG は葉緑体包膜において増加していることが示唆された。一方、葉緑体が発達していない根においては、酸性ストレスによるガラクト脂質合成の活性化はみられなかった。さらに酸性ストレスとリン欠乏を組み合わせた、酸性リン欠乏条件下で生育させた野生株の脂質組成を解析したところ、植物体地上部においてはリン欠乏に応答した DGDG の増加に加えて、酸性ストレスの影響による DGDG 合成の活性化が相加的に誘導されていた。一方、根においては、リン欠乏時の膜脂質転換が転写レベルとそれに伴う DGDG 増加の両方で抑制されており、酸性ストレスがリン欠乏応答に対して拮抗的な影響を及ぼすことが明らかになった。

ストレス環境下の植物は、限られたエネルギーで生育促進とストレス適応のバランスをとりながら生存していく必要がある。リン欠乏時の根の生育促進には、リンの吸収効率を高めるというメリットがある。一方、酸性リン欠乏時における根の伸長は、低 pH 環境と接する表面積が増大するというデメリットがある。酸性リン欠乏条件の根においてみられた DGDG 合成の抑制は、過度な生育を積極的に抑制することで、複合的な環境ストレスへの適応に寄与していると考えられた。本研究により、植物が外界の複合的なストレス環境や、糖含量という内部の生理環境の変動を感知し、器官ごとに A-type と B-type それぞれの MGDG 合成酵素を介したガラクト脂質合成を巧みに使い分け、個体全体としての適切な生存戦略を選択していることが明らかとなった。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

| | | | | |
|--------------------------|--------|----|--|----------------------|
| 専攻 : Department of | 生体システム | 専攻 | 申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested | 博士 (理学) Doctor of |
| 学生氏名 : Student's Name | 村川 雅人 | | 指導教員 (主) : Academic Advisor(main) | 太田 啓之 |
| | | | 指導教員 (副) : Academic Advisor(sub) | |

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Chloroplast membranes of plants mainly consist of galactolipids, monogalactosyldiacylglycerol (MGDG) and digalactosyldiacylglycerol (DGDG). Biosynthesis of these galactolipids is essential for the photosynthetic capability of plants. Model plant *Arabidopsis thaliana* has three MGDG synthases, MGD1, MGD2 and MGD3, and two DGDG synthases, DGD1 and DGD2. MGD1-DGD1 pathway is responsible for the bulk of galactolipid synthesis in photosynthetic organs, whereas MGD2/3-DGD2 pathway is activated in non-photosynthetic organs under phosphate deficiency and provides DGDG for extraplastidic membranes. It is also known that nitrogen deficiency, high temperature, drought and freezing stresses influence on the galactolipid metabolism, but the physiological significance is not fully understood. In this study, I focused on sugar supplementation and acidic conditions, and analyzed lipid metabolism under these growth conditions.

In the first half of this study, I showed that MGD3 contributes to the plant growth enhancement under sucrose supplementation with maintaining appropriate cellular sugar level. In the last half of this study, I revealed activation of DGDG synthesis occurred under acidic conditions through MGD1-DGD1 pathway. In addition, it is suggested that increased DGDG in acidic conditions mainly accumulated on chloroplast envelopes. I also conducted lipid analysis on the plants grown under phosphate-deficient conditions with acidic environments, and found that acidic environments suppress the increase of DGDG in roots during phosphate starvation.

Under stress conditions, plants adjust their balance between growth and stress adaptation appropriately. Although root growth enhancement during phosphate deficiency is beneficial in acquisition of inorganic phosphate from soil, it is harmful to increase the contact surface with acidic environments. Under phosphate deficiency with acidic environments, suppression of DGDG synthesis in roots contributes to modulate root growth, and accomplishes adaptation to complex stress conditions. This study uncovered the pleiotropic effects of galactolipid metabolism, and demonstrated that plants sense their internal and external conditions, regulate MGD1-DGD1 and MGD2/3-DGD2 pathways appropriately in each organ, and modulate lipid compositions of cellular membranes for adapting to complicated environmental stresses.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).