

裸子植物と被子植物の光合成のしくみは異なる



樹木分子遺伝研究領域 宮澤 真一・伊原 徳子・田原 恒・西口 満

森林防災研究領域 深山 貴文

植物生態研究領域 飛田 博順 岩手大学 鈴木 雄二

草本植物や広葉樹は被子植物に分類され、スギやマツなどの針葉樹、イチョウ、ソテツなどは裸子植物に分類されます。これまで、裸子植物の光合成のしくみは被子植物と同じであると考えられてきましたが、光合成の一部である光呼吸という代謝に違いがあることが明らかとなりました。さらに、光呼吸に関わる酵素であるルビスコの性質を調べる新たな手法を開発し、裸子植物のルビスコの性質を初めて明らかにしました。光呼吸は植物のCO₂固定量を左右する代謝です。裸子植物の光呼吸の代謝経路の全容を解明できれば、地球環境の変化に影響を受ける森林のCO₂固定量の予測精度の向上が期待できます。

成果

裸子植物はアンモニアを多く放出する～見えてきた被子植物の光合成との違い

植物の葉は細胞中のアンモニア(NH₃)を放出したり、逆に空気中のNH₃を吸収したりします。葉のNH₃放出のしやすさを示す γ_{NH_3} という指標を計測したところ、ギンドロなどの広葉樹に比べ、スギなどの針葉樹は顕著に γ_{NH_3} が高く、NH₃を放出しやすいことがわかりました(図1a)。この原因を明らかにするため、遺伝子情報などをもとにして、主要なNH₃同化酵素であるグルタミン合成酵素(Glutamine synthetase, GS)の種類を調べることにしました。

GSは2つのタイプに分けられます(図1b)。ひとつは細胞質に存在するGS1(細胞質型)、もうひとつは葉緑体に存在するGS2(葉緑体型)です。様々な植物の葉を材料に、抗体を用いる手法でGSを識別した結果、被子植物にはGS1とGS2の両方が存在していましたが、イチョウを除く裸子植物にはGS1のみしかありませんでした(図2)。また、イチョウのGS2の遺伝子情報を解析したところ、機能が損なわれるような変異が生じていました。葉の細胞で発生するNH₃はGS2により同化されることが通説です。そのため、裸子植物である針葉樹の葉のNH₃が放出しやすいことは、GS2が存在しないためであると考えられました。GS2は光合成の一部である“光呼吸”の代謝経路に含まれることから(図3)、被子植物と同一と考えられてきた裸子植物の光呼吸の代謝経路を見直す必要が生じました。

ルビスコの性質を調べる新たな手法を開発

光呼吸は、CO₂固定酵素であるルビスコがO₂を固定することで誘導される代謝経路で、最終的にCO₂が発生します(図3)。そのため、植物の実際のCO₂固定量は、ルビスコが固定するCO₂量と、O₂固定で誘導された光呼吸から発生したCO₂量との差が重要です。ルビスコのCO₂固定能力とO₂固

定能力は、種によって異なります。この能力の違いは比特異係数という数値で表され、値が高いほど、O₂よりもCO₂を固定する能力が高いルビスコであることを意味します。今回、ルビスコの比特異係数を調べる新たな手法を開発し、これまで未解明であった裸子植物のルビスコの性質を明らかにしました(図4)。その結果、裸子植物であるイチョウのルビスコはCO₂固定の能力が特に低いことが明らかになりました。

本研究は、針葉樹(裸子植物)におけるNH₃発生が被子植物と異なることに注目して始まり、その後の展開により、CO₂固定量に影響を与える光呼吸の代謝経路が、被子植物と裸子植物との間で異なる可能性を示すに至っています。CO₂固定量を予測する数式モデルは被子植物の代謝経路をもとに考案されています。針葉樹は世界の森林面積の約3割を占めることから、今後、裸子植物の光呼吸の代謝経路の全容を解明して、数式モデルの改良を進めることで、CO₂固定量の予測精度の向上が期待できます。

研究資金と課題

本研究は、交付金プロジェクト*「裸子植物・針葉樹における新たなCO₂固定モデルの構築」、JSPS 科研費(JP19H03006)「針葉樹の炭素固定量予測モデルの精緻化に向けた光呼吸代謝の解明」による成果です。

文献

Miyazawa, S.-I. et al. (2018) Low assimilation efficiency of photorespiratory ammonia in conifer leaves. J. Plant Res., 131, 789-802.

Miyazawa, S.-I. et al. (2020) Oxygen response of leaf CO₂ compensation points used to determine Rubisco specificity factors of gymnosperm species. J. Plant Res., 133, 205-215.

*森林総合研究所交付金プロジェクト

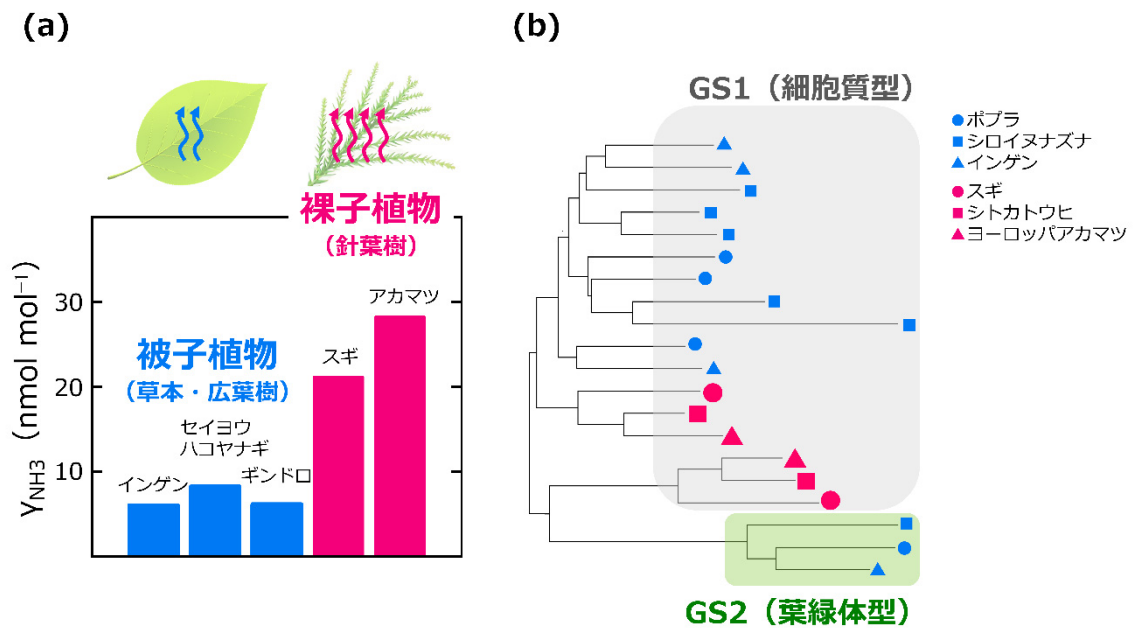


図1 (a) γ_{NH_3} は葉のアンモニア放出のしやすさを示す指標
(b) 遺伝子情報をもとに分類したグルタミン合成酵素 (Glutamine synthetase, GS) (Miyazawa et al. (2018) の図を改変)



図2 抗体を用いたGS1とGS2の検出 (Miyazawa et al. (2018) の図を改変)

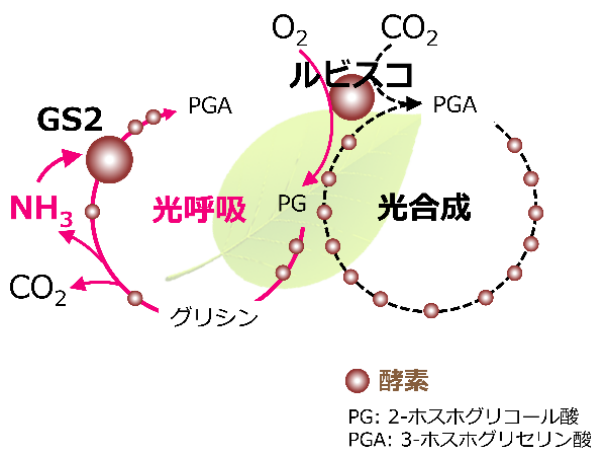


図3 光合成の代謝経路の概略

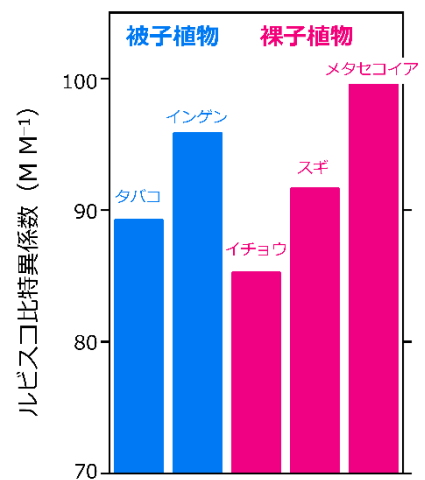


図4 ルビスコ比特異係数の比較 (Miyazawa et al. (2020) より)