

バイオマス増産を可能にする 高効率CO₂吸収型次世代植物の開発

門田慧奈, 秀野智紀, 中江聡子, 東馬場徳, 馬淵敦士, 柘宜淳太郎, 射場厚 (理学研究院生物科学部門)
Email: monda.keina.401@m.kyushu-u.ac.jp

世界の環境・エネルギー問題



化石燃料の大量消費



地球規模の環境変動
化石燃料の枯渇



バイオエコミーを軸にした
循環型低炭素社会の実現



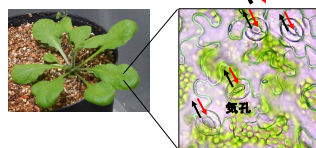
バイオエネルギー源となる
植物のバイオマス増産

CO₂吸収の
効率化が必要

アプローチ1 超薄クチクラによる栄養取り込みの劇的促進

背景

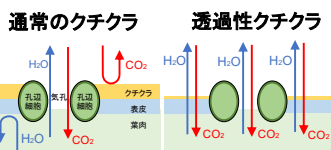
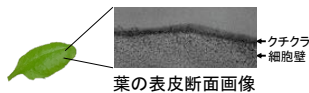
陸上植物はCO₂を
気孔から取り込む



しかし気孔は葉の表面全体に対して約2%しか存在しない¹

【疑問】なぜ陸上植物は非効率な手法でCO₂を取り込むのか

陸上植物は乾燥した大気から身を守るため、気孔を除く地上部表面のほとんどをクチクラという保護膜で覆っている。そのため、気孔以外からはほとんどCO₂を取り込むことができない



クチクラの透過性レベルが上昇して葉全体でCO₂を取り込めるようになった場合、CO₂取り込みの効率が向上するかを検証

I) クチクラ透過性レベルの上昇はCO₂取り込みを促進する^{2,3}

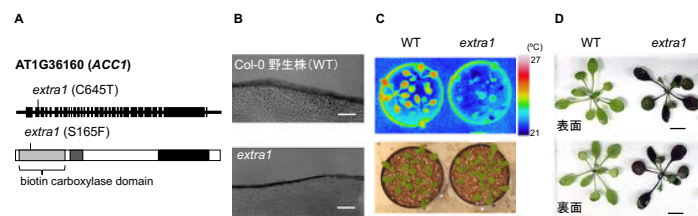


Fig. 1 *extra1* (excessive transpiration 1)変異体はクチクラ透過性レベルの上昇により過剰な蒸散を示す。野生株(WT)に、常に気孔を開く*extra1*変異体は脂肪酸合成の鍵酵素をコードするACC1遺伝子に変異を持つ。(B) *extra1*変異体では野生株(WT)よりもクチクラが薄くなっている。スケールバーは100 nm。(C) *extra1*変異体では激しい蒸散により葉面温度が低下している。(D) *extra1*変異体のクチクラは水溶性染色液(0.1%トルイジンブルー)を弾かないので葉が染まってしまう。スケールバーは1 cm。

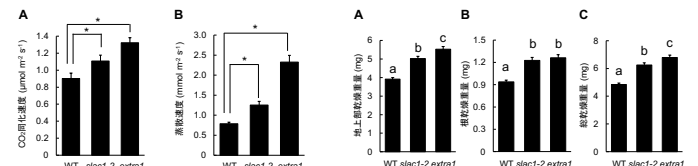


Fig. 2 クチクラ透過性の上昇はCO₂同化速度を上昇させる。野生株(WT)に、常に気孔を開く*extra1*変異体およびクチクラ異常変異体*extra1*におけるCO₂同化速度(A)および蒸散速度(B)。測定には乾燥ストレスを与えないように飽和水蒸気条件下で3週間育成した。土壌を1週間湿度60%条件下で育成した物を用いた。また強光ストレスを与えないよう、育成条件と同じ光強度である光合成有効放射30 µmol m⁻² s⁻¹で測定を行った。データは平均±SE (n ≥ 20)。異なるアルファベットがつけられたデータ間には有意差があることを意味する (P < 0.05, Tukey-Kramer test)。

References
1 Willmer C and Fricker M, *Stomata*, 2nd ed., 1996
2 Monda K et al., *Plant Physiology*, 2020
3 Monda K et al., *Plant Signaling and Behavior*, 2021

II) クチクラ透過性レベルの上昇は根からの栄養取り込みを促進する

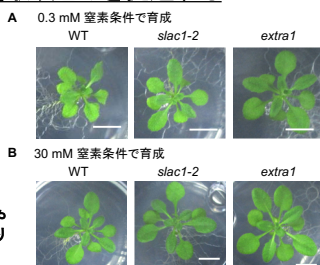


Fig. 4 クチクラ透過性の上昇は高栄養環境下での高成長に寄与する。栄養濃度0.3mM (A) の低栄養条件および30 mM (B) の高栄養条件下で育成させたときの植物写真。どちらの栄養条件においても*extra1*変異体は野生株(WT)および常に気孔を開く*slac1-2*変異体よりも植物サイズが大きくなっているが、特に高栄養条件下ではその差が顕著である。各植物は、乾燥・強光ストレスを与えないよう飽和水蒸気条件下かつ光合成有効放射30 µmol m⁻² s⁻¹で春化処理解除後3週間育成させた。スケールバーは1 cm。

バイオマス増産に
繋がる可能性

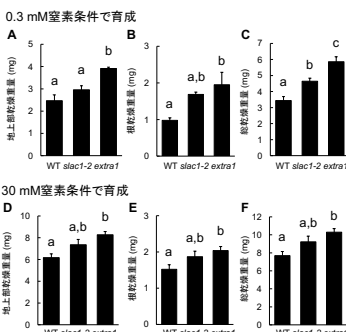


Fig. 5 クチクラ透過性の上昇は高栄養環境下でのバイオマス増産に寄与する。栄養濃度0.3mM (A-C) の低栄養条件および30 mM (D-F) の高栄養条件下で育成させたときの植物地上部(A, D), 根(B, E), 地上部+根(C, F)の乾燥重量。どちらの栄養条件においても*extra1*は野生株(WT)よりも乾燥重量が大きい。特に高栄養条件下ではその差が広がっている。測定には、乾燥・強光ストレスを感じない飽和水蒸気条件下かつ光合成有効放射30 µmol m⁻² s⁻¹で春化処理解除後3週間育成させた植物を用いた。データは平均±SE (n ≥ 4)。異なるアルファベットがつけられたデータ間には有意差があることを意味する (P < 0.05, Tukey-Kramer test)。

アプローチ2 多様なストレス環境下でのCO₂取り込み最大化

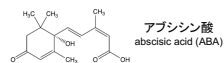
背景



CO₂吸収効率化にはCO₂取り込み口(気孔)の開口能力改変が必要

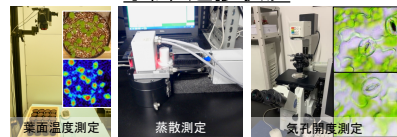
単純な気孔開口(またはクチクラ改変)はストレスに曝されるリスク

【理想】
CO₂応答特異的な気孔閉鎖能力の改変
ストレス応答の要であるアブシジン酸応答と独立したCO₂応答機構に着目

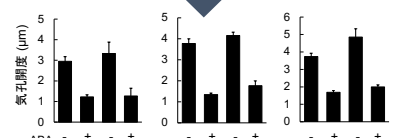


アブシジン酸 (ABA)
植物ホルモンの一種で、乾燥・強光などの様々なストレス、高CO₂、暗闇などに応答して合成され、気孔閉鎖を誘導する

手法・進捗状況



【1次選抜】葉面温度・蒸散速度・気孔開度の測定によってCO₂に対する気孔開閉応答に違いのあるシロイヌナズナ系統を選抜



【2次選抜】アブシジン酸に反応して正常に気孔閉鎖を行う系統を選抜

アブシジン酸応答が正常でありながらCO₂応答に違いがある系統を3系統選抜することに成功

【今後の予定】

- 単離系統のCO₂応答性の違いをもたらす原因遺伝子の同定および機能解析
- 同定遺伝子の改変によって植物のCO₂吸収能力を向上させた次世代植物の開発