

気孔開度制御による植物の光合成活性と生産量の促進

名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所・教授 木下 俊則

広島大学大学院理学研究科・准教授 島田 裕士

背景

植物は光合成を行うことにより、私たちに農作物を提供するだけでなく、CO₂を吸収し、地球環境を整えています。植物における唯一のCO₂取り込み口となっているのが、植物の表面に存在する気孔と呼ばれる孔（あな）です。気孔は、太陽光下で開き、光合成に必要なCO₂を取り込んでいます（図1）。

植物が太陽光のもとで盛んに光合成を行っているとき、多くのCO₂を必要とします。植物の光合成活性を向上させ、バイオマスを増やすためには、気孔の開度を促進し、CO₂取り込み効率を増大させる事が1つの解決法として考えられます。しかし、これまで人為的に気孔の開度を大きくする技術は開発されていませんでした。そこで私たちは、植物が本来持つ遺伝子の発現量を気孔特異的に増加させ、気孔をより開くことを試みました。さらに、気孔開口に影響を与える化合物の探索、植物の光合成能の増強にも取り組んでいます。

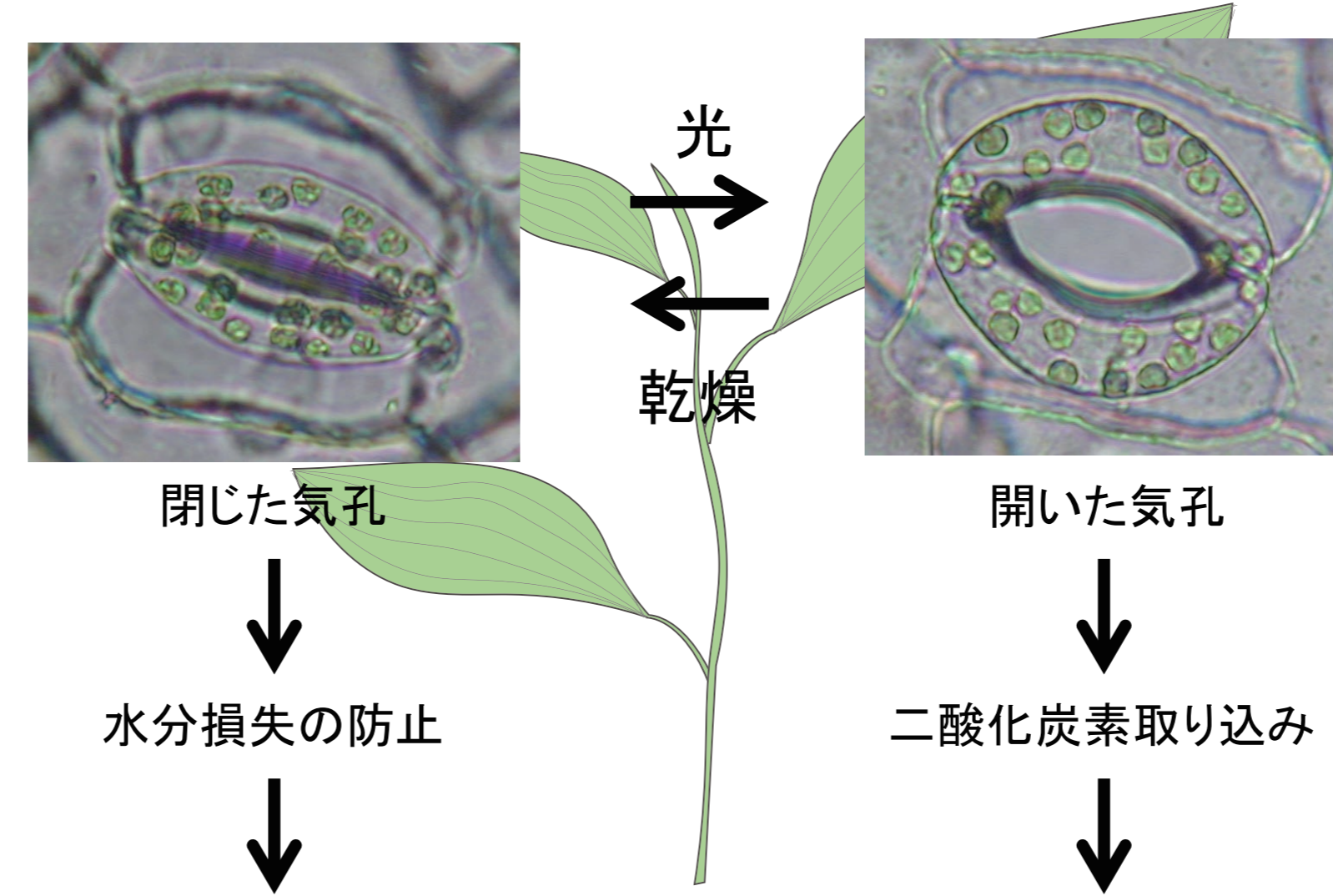


図1 ツユクサ表皮の気孔の写真と気孔の働き

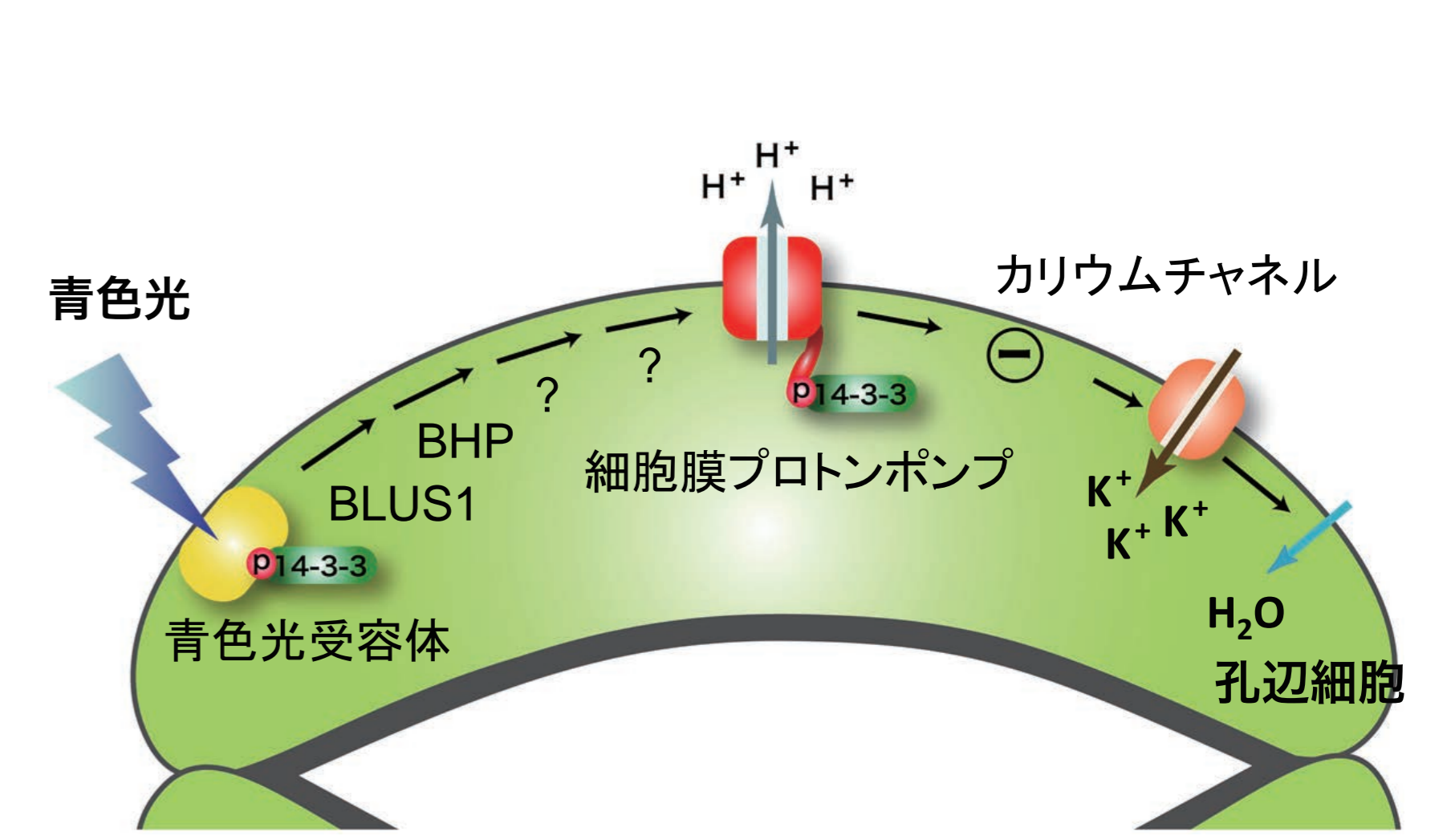


図2 光による気孔開きの分子メカニズムモデル

研究成果

1. 二酸化炭素取り込み促進による植物バイオマス増産技術

植物の気孔が開く時に機能する事が知られている細胞膜プロトンポンプ（図2）を、気孔を構成する孔辺細胞のみで発現を誘導する、植物由来であるGC1プロモーターを用い、孔辺細胞内のみでその量を増加させ気孔開度を促進させることができるかどうかを調べました。その結果、光による気孔開度が通常よりも25%大きくなることを発見しました（図3）。さらに、プロトンポンプ過剰発現株では、CO₂吸収能力（光合成活性）が約15%増加しており（図4）、植物の生産量が1.4~1.6倍増加することがわかりました（図5）。

以上の結果は、気孔開度が光合成活性の上昇とバイオマス増加の制限要因であることを実証する初めての成果となりました。さらに、本研究により、人為的に気孔の開度を大きくすることで植物の生産量を増加させることに世界で初めて成功しました。

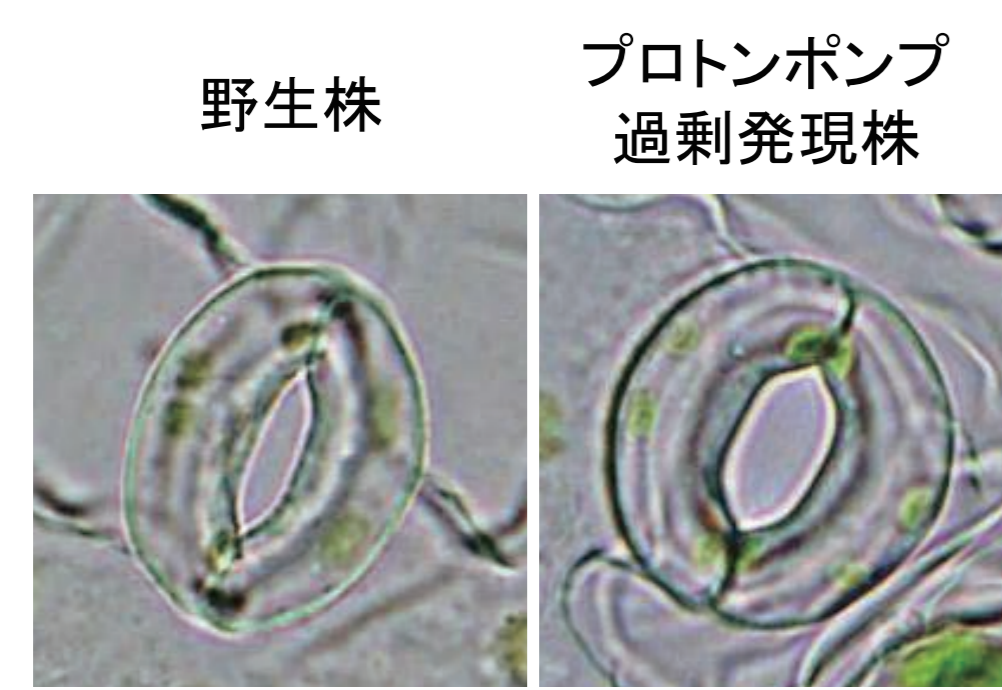


図3 典型的な気孔の写真

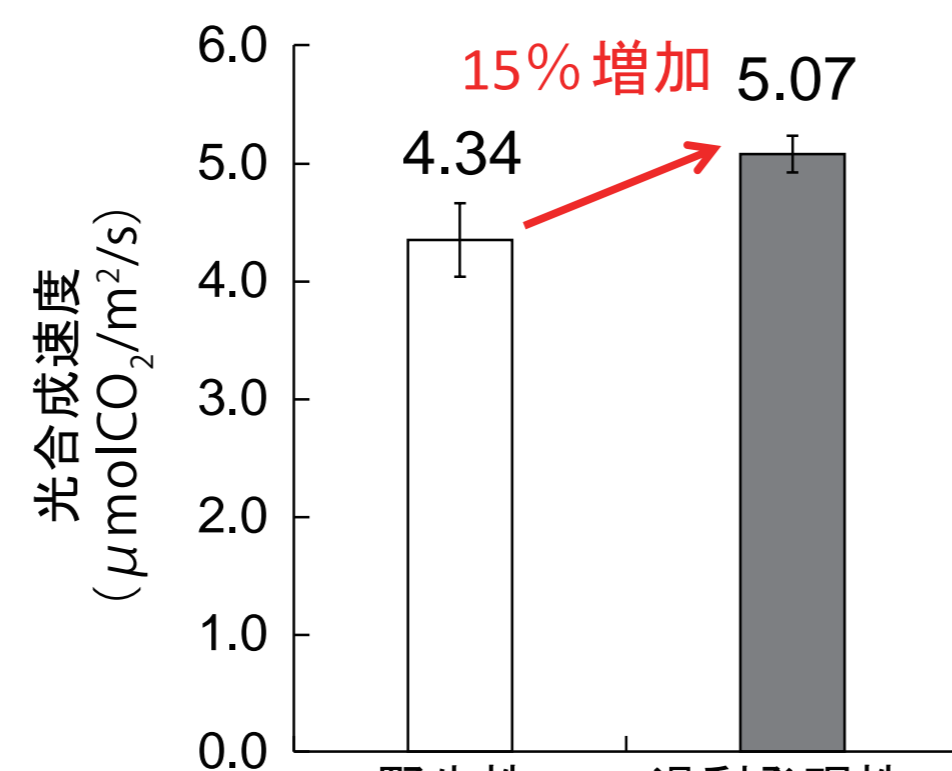


図4 光合成活性の比較

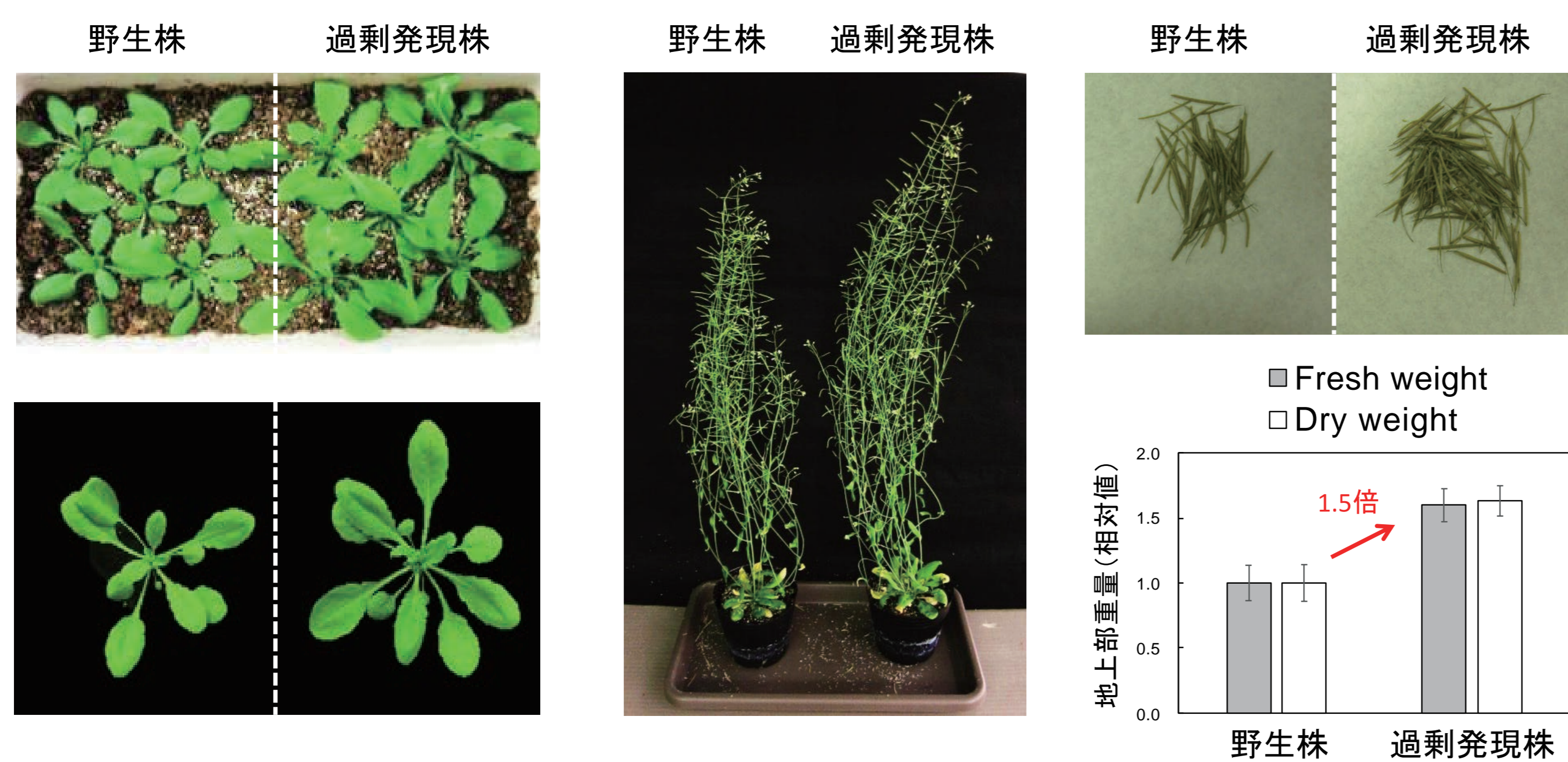


図5 植物生産量の比較

[左、中央; 植物体、右上; 莢(収量& 右下; 植物体の相対重量)]

Wang et al. PNAS (2014), PCT/JP2014/057021

Q. 気孔がより開くプロトンポンプ過剰発現株は乾燥に弱くなるのではないですか？

A. 過剰発現株では、気孔を閉鎖する能力は損なわれておらず、野生株と同様の乾燥耐性が見られます

Q. 今回の技術は実際に他の植物種に適用できるのですか？

A. 気孔開きのメカニズムは多くの植物に共通しているため、今回私達が開発した技術は、他の植物種への応用の可能性が極めて高いと考えています。実際にいくつかの植物種において、遺伝子組換え作物の作出を目指しており、本技術の汎用性の評価を試みています。

2. 気孔開度制御化合物の開発

気孔開度を制御できる化合物をつかうことで、除草剤などの農薬の開発や、光合成活性促進剤、乾燥耐性付与剤などの成長調節剤としての有用性が見込まれます。現在、当研究室では、植物ホルモンとは異なる、非常に副作用の少ない気孔開度調節剤の開発を行なっています。実際に、気孔を開かせる化合物（図6）や気孔を閉じさせる化合物（図7）をすでに開発しており、現在その有用性や安全性を検証しています。

これまでの検証の結果、これらの化合物のいくつかは、少なくとも、単子葉（マルバツユクサ、エンバク）や双子葉（シロイヌナズナ、タバコ、ハクサイ、バラ）、また木本（ポプラ）の気孔に効果があることを確認しています。

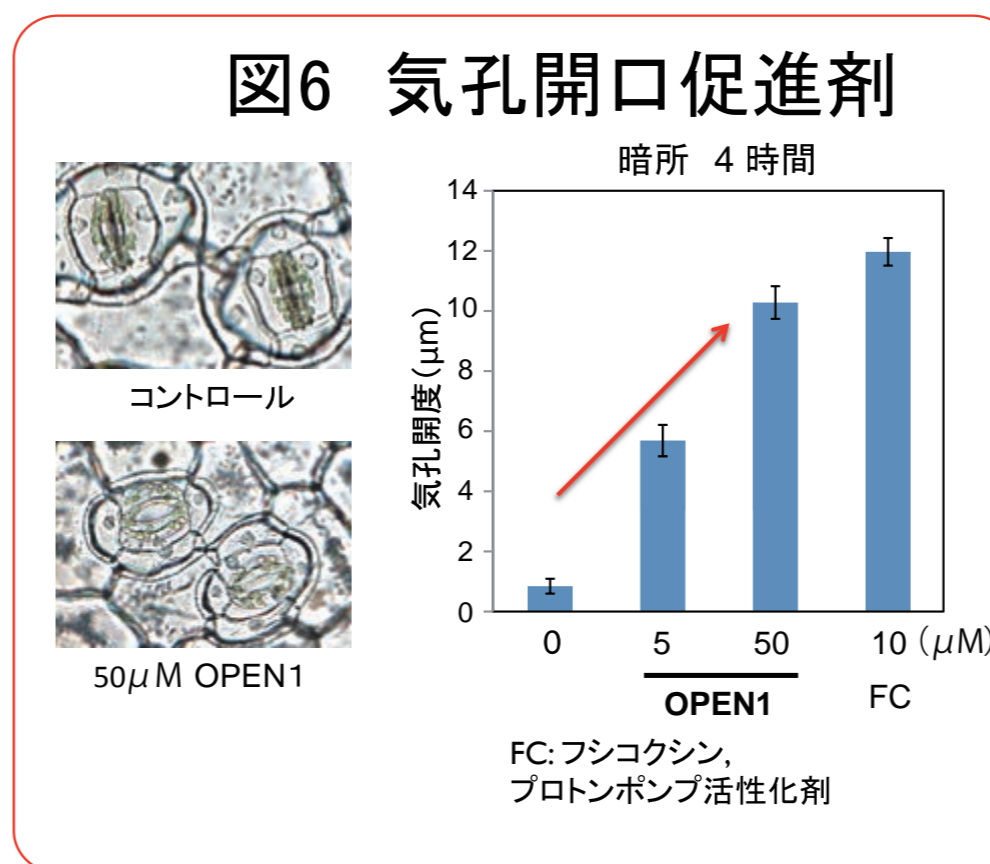


図6 気孔開度促進剤

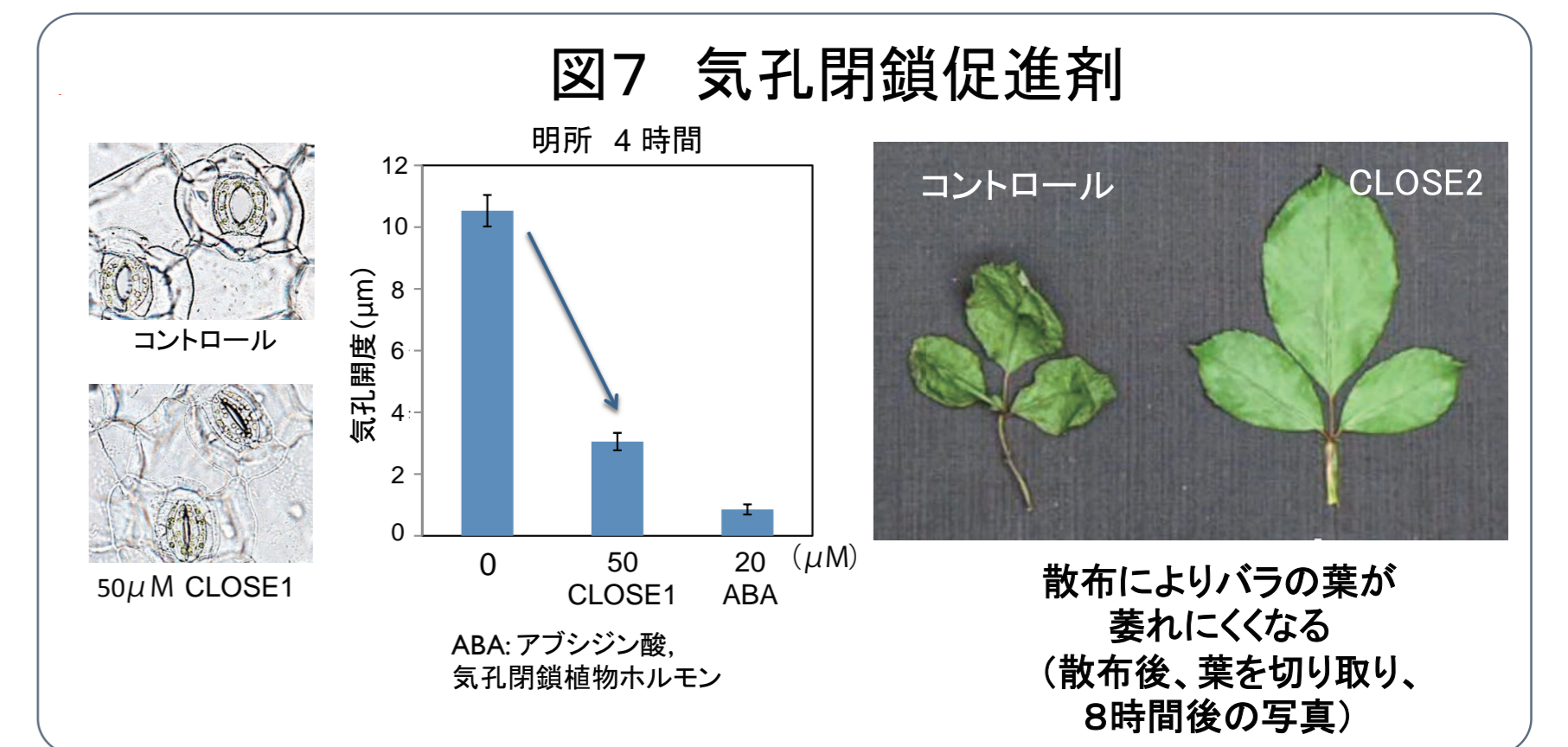


図7 気孔閉鎖促進剤

Plant Cell Physiol. (2018), 特願2016-194748

3. 光合成タンパク質の酸素失活を防ぐことによる植物バイオマス増産技術（島田G） 特許6114580号

葉緑体内では光合成によって酸素分子が発生しており、光合成タンパク質を含む多くの生体内物質が酸化失活の危機にさらされています。酸化失活タンパク質を還元活性化させる植物由来の酵素（CYO1 と CYO2）を植物の葉緑体内で過剰発現させ光合成活性とその植物バイオマスを調べました。その結果、CYO1 と CYO2 どちらの過剰発現株においても、CO₂吸収能力（光合成活性）が増加しており、植物バイオマスも増加することがわかりました。

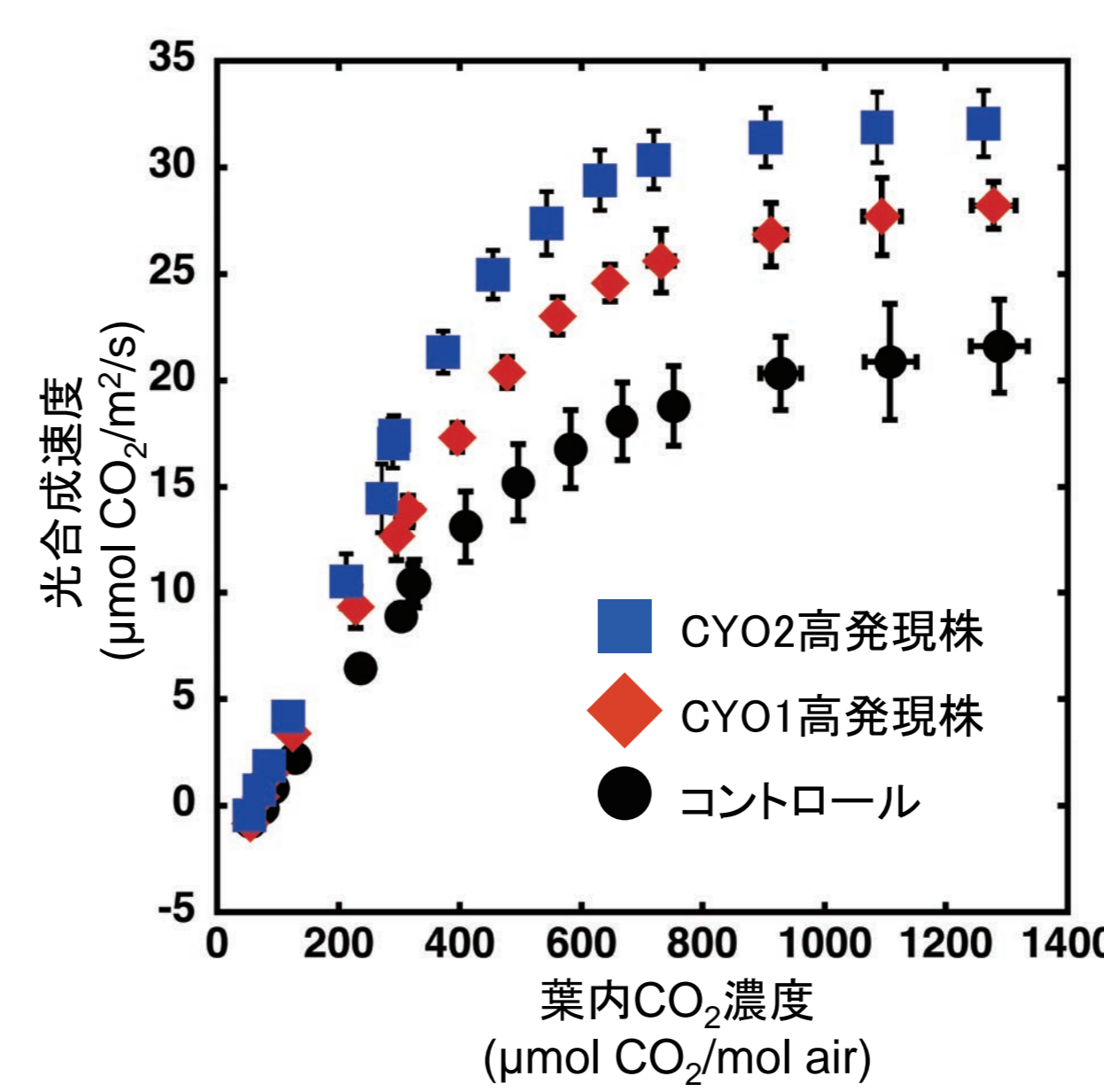


図8 光合成活性の比較

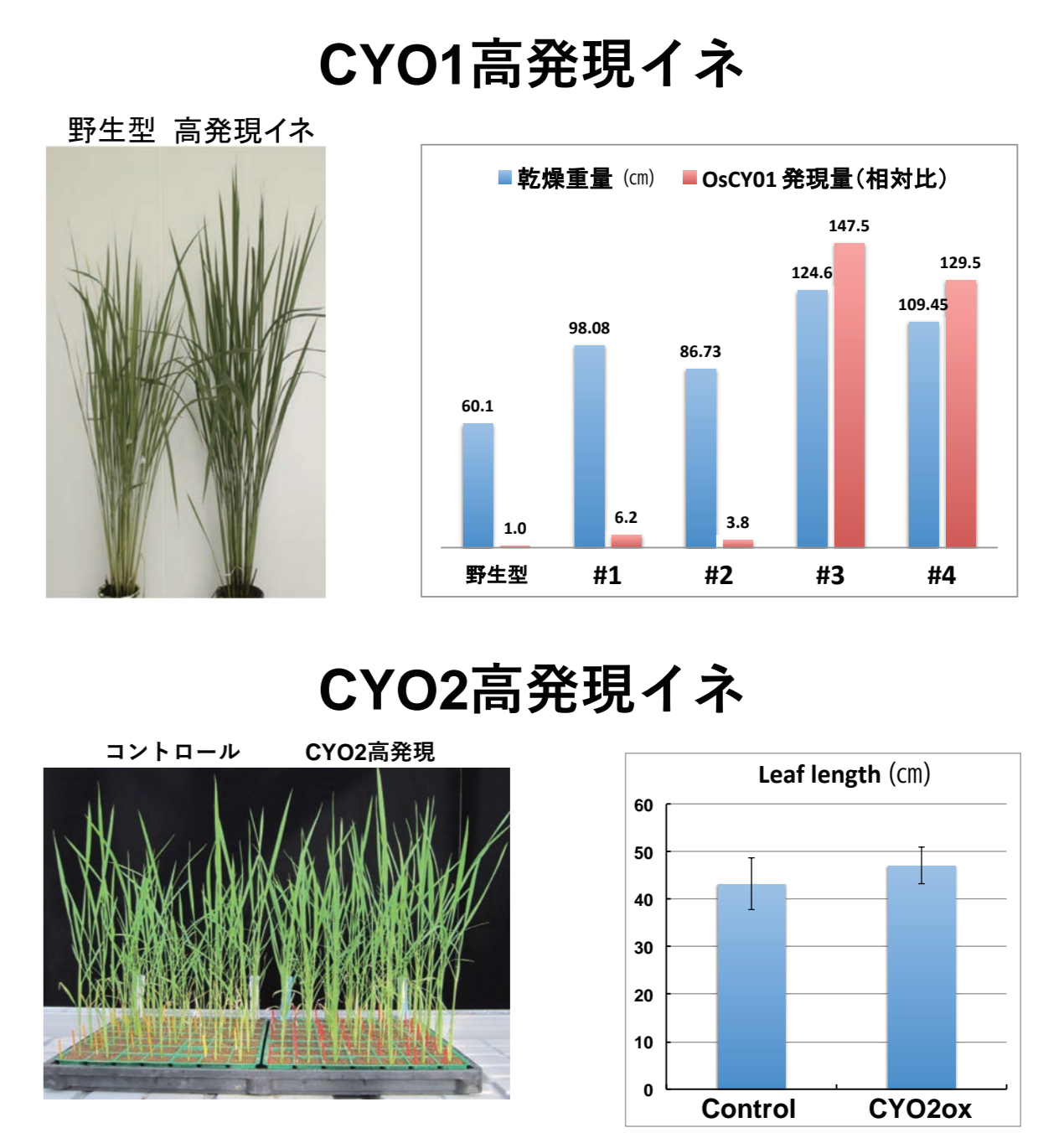


図9 植物生産量の比較

企業との共同研究例

- ・ 商業作物におけるプロトンポンプやCYO過剰発現株の作出。
- ・ 育種的手法(非遺伝子組換え技術)を用いた、気孔がより開く作物品種の作出。
- ・ 切り花、生け花や農作物の乾燥耐性付与剤の開発。

お問い合わせ先/参照HP

木下俊則 kinoshita@bio.nagoya-u.ac.jp
島田裕士 hshimada@hiroshima-u.ac.jp
<http://www.bio.nagoya-u.ac.jp/~plant4/index.html>

共同研究者

高橋優一(基生研)、
相原悠介、Wang Yin、戸田陽介(名古屋大)
富永淳(広島大)