

アクアポリン:作物の成長促進や二酸化炭素回収への期待

岡山大学 学術研究院先鋭研究領域（資源植物）
准教授 森 泉

2025年7月15日

昼寝の効果って、実感できますよね？

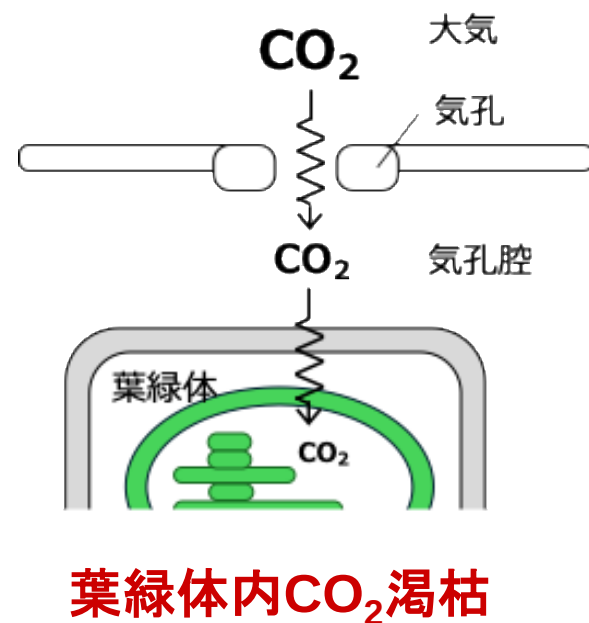
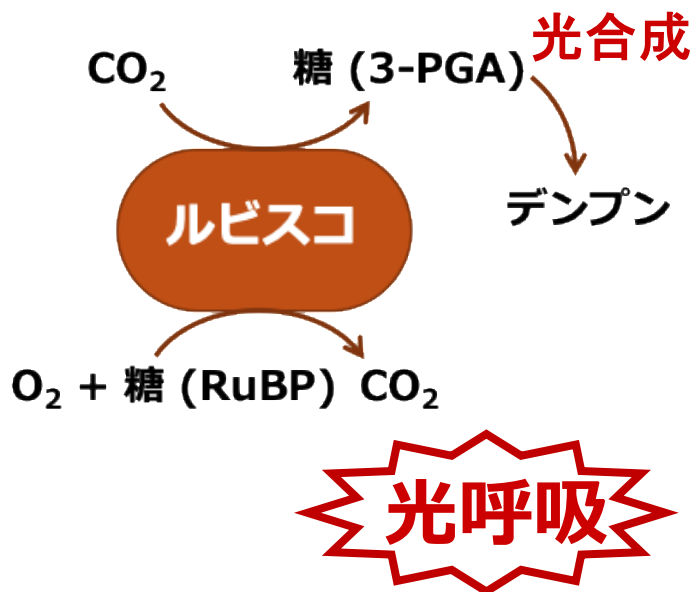
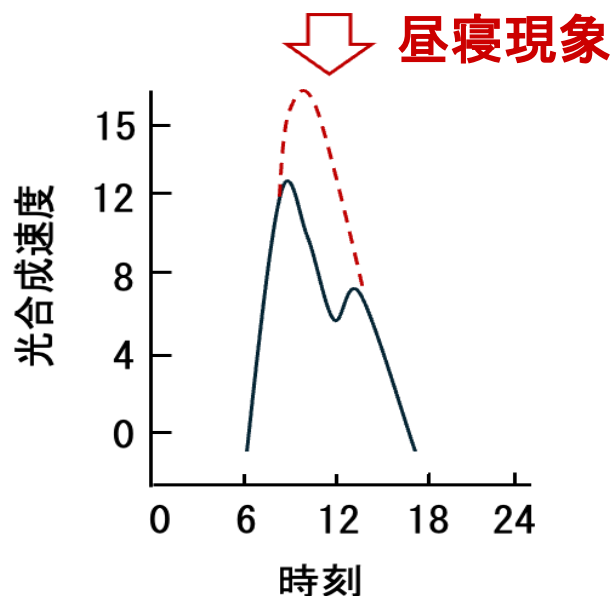
ヒトは短い昼寝をすることで、生産性が上がります。
では、植物はどうでしょう？

なぜ、昼間に植物の 光合成効率がさがるのか？

植物は昼寝(Midday depression)により、生産性が落ちる。

光呼吸による生産性低下は、約30%

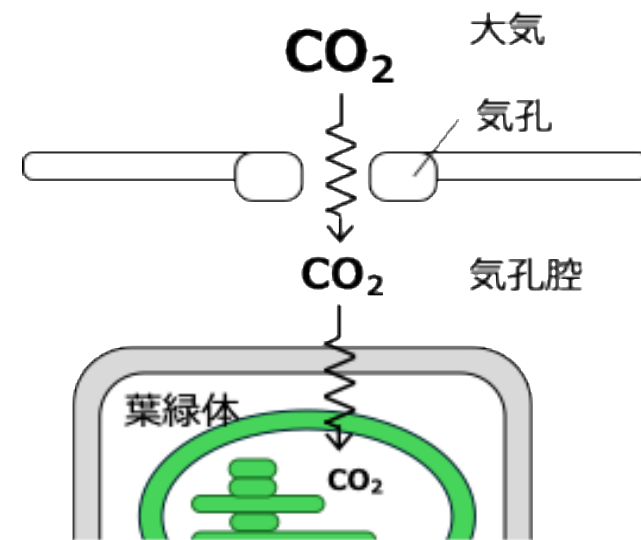
昼間元気に活動しているはずの植物のこの現象に疑問を
持って、研究を始めました



なぜ、昼間に植物の 光合成効率がさがるのか？

光呼吸を抑える方法 3選

1. 一般的な光合成様式である C_3 型光合成を C_4 型光合成に変える
2. 気孔を大きく開いて CO_2 の供給を改善する
3. 葉内の CO_2 拡散効率を向上させる



葉緑体内 CO_2 枯渇

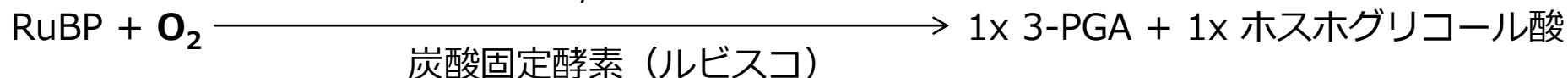
C₃型光合成？C₄型光合成？

C₃型の足枷：光呼吸

カルボキシレーション反応（正常な光合成）

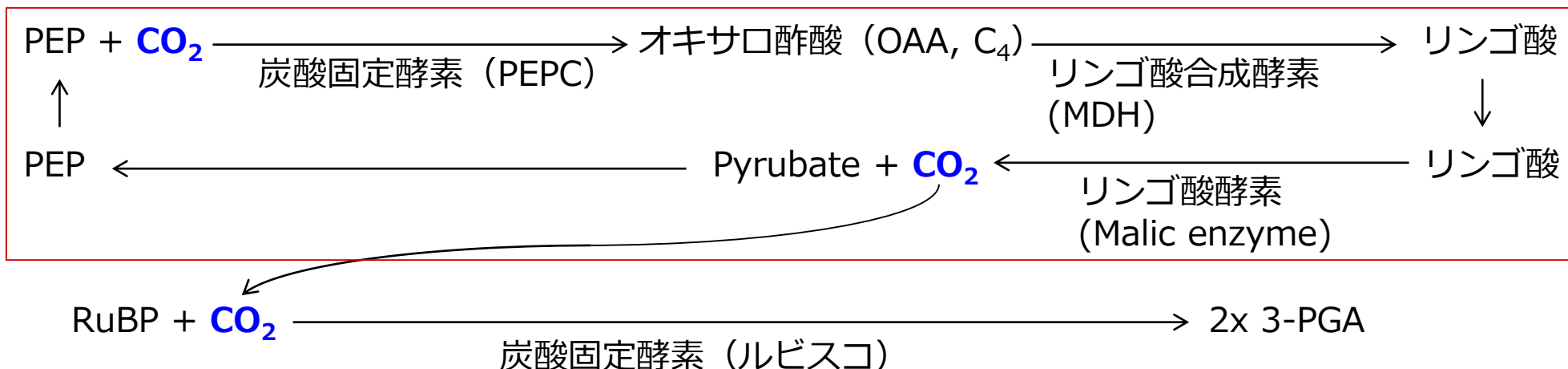


オキシゲネーション反応（困った副反応，光呼吸）



葉緑体内のCO₂濃度が減ると**光呼吸**が無視できなくなる。
光呼吸による生産性の低下：**30%**。

C₄型は光呼吸が顕著に少ない：リンゴ酸経路

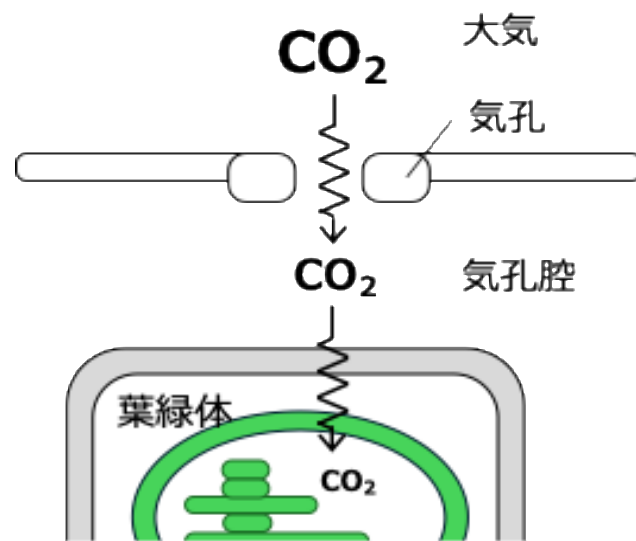


C₄型光合成をする植物は，リンゴ酸合成を介してCO₂を濃縮する機能がある。

なぜ、昼間に植物の 光合成効率がさがるのか？

光呼吸を抑える方法 3選

1. 一般的な光合成様式である C_3 型光合成を C_4 型光合成に変える
2. 気孔を大きく開いて CO_2 の供給を改善する
3. 葉内の CO_2 拡散効率を向上させる



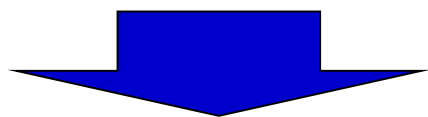
葉緑体内 CO_2 枯渇

従来技術とその問題点

- C_3 植物を C_4 に変える技術
何十年経っても実現していない
残念な意味での夢の技術
- 気孔開口促進技術
理想栽培条件における技術としては問題ない
乾燥に弱い（極めて高い蒸散速度）
感染に弱い（気孔からの病原菌の侵入）

新技術の特徴・従来技術との比較

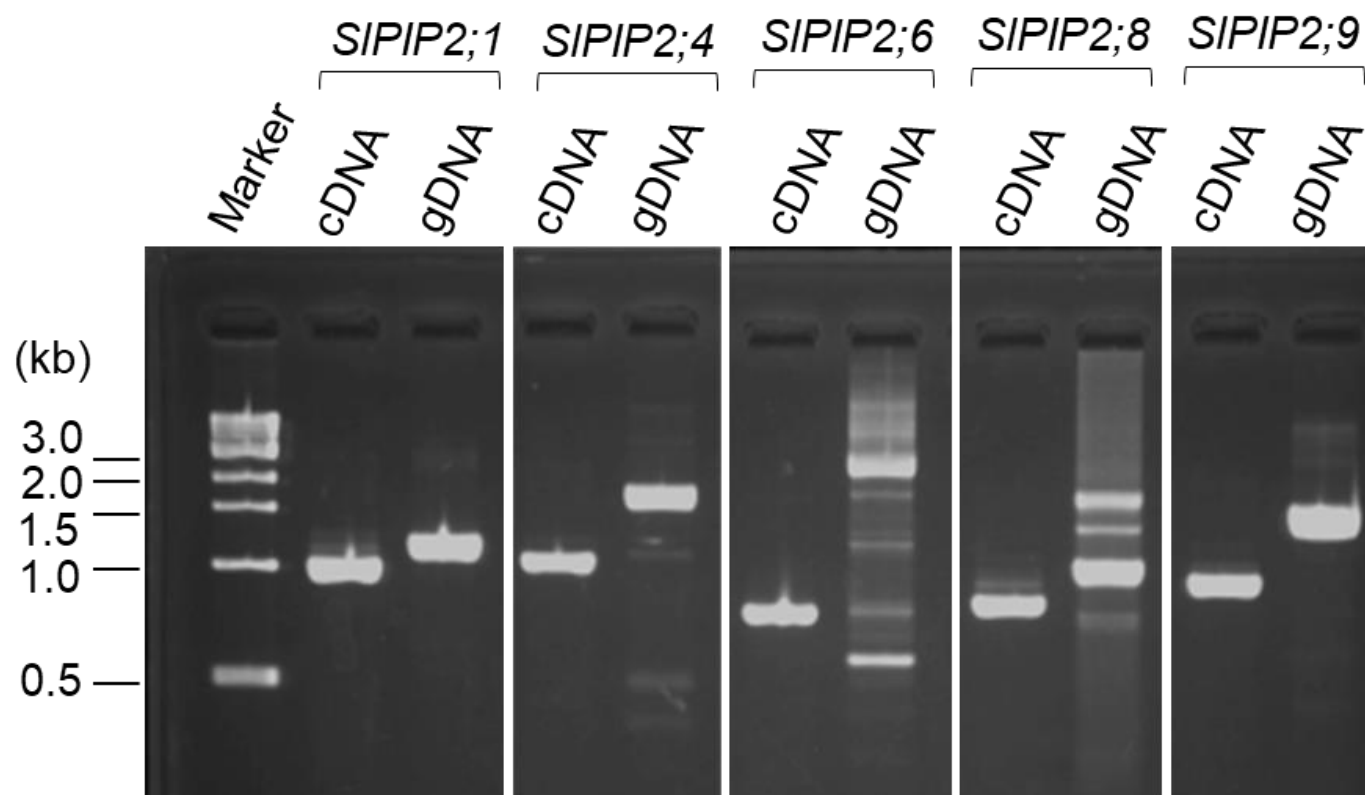
- 葉内CO₂拡散速度を司るタンパク質：アクアポリン
- 通常のアクアポリンはH₂OもCO₂も透過させる
(陸上植物のジレンマ：CO₂は欲しいが、H₂Oを失う)
- 水を透過せず、**CO₂のみ透過させる特別なアクアポリン**を発見！



- **CO₂の透過性のみを改善することができる技術として幅広く活用できるのではないか**

CO₂のみ透過させる特別なアクアポリン

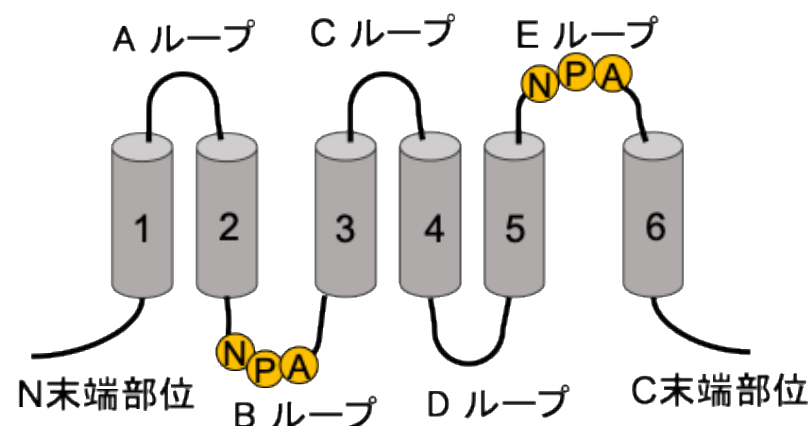
6つのトマトに存在するアクアポリン



CO₂のみ透過させる特別なアクアポリン

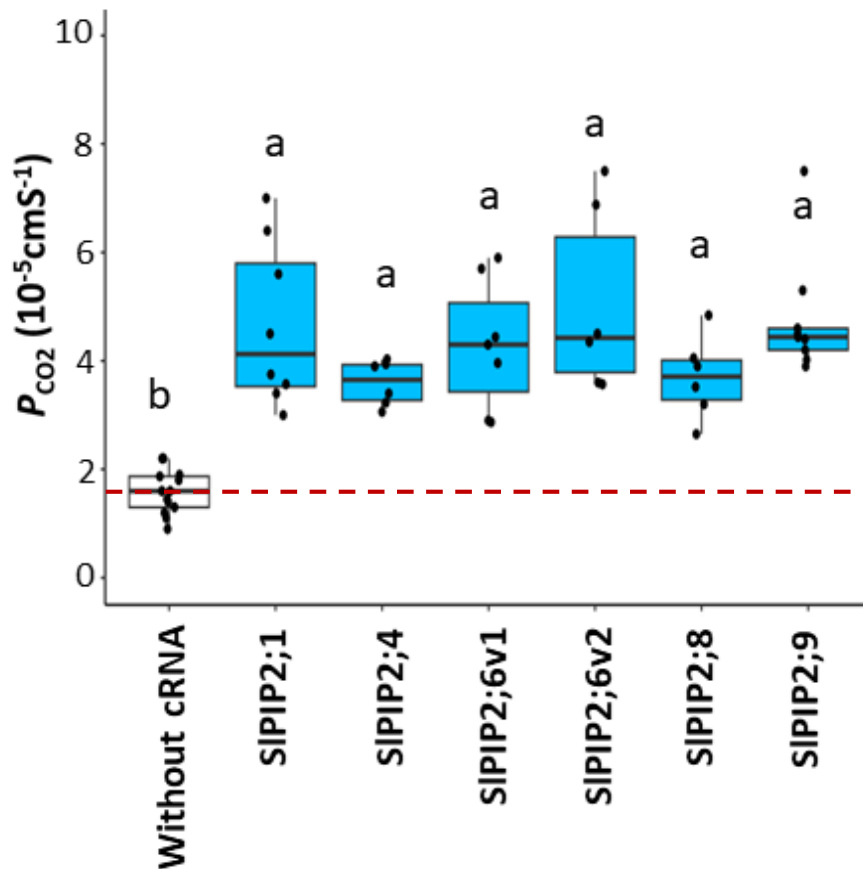
SIPIP2;6には多型がある。

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----



CO₂のみ透過させる特別なアクアポリン

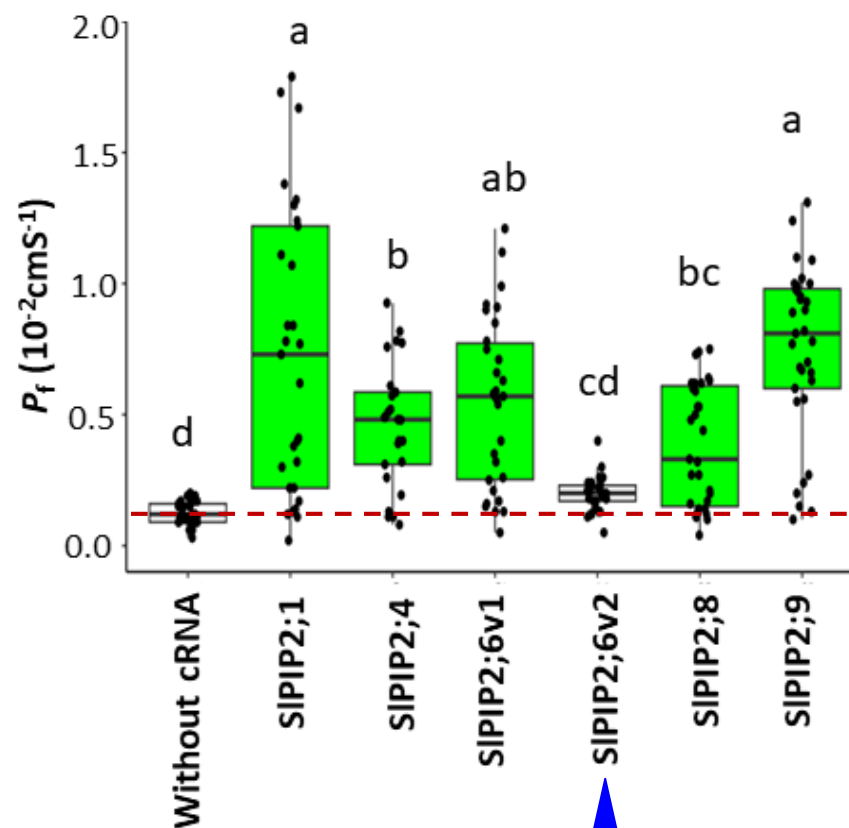
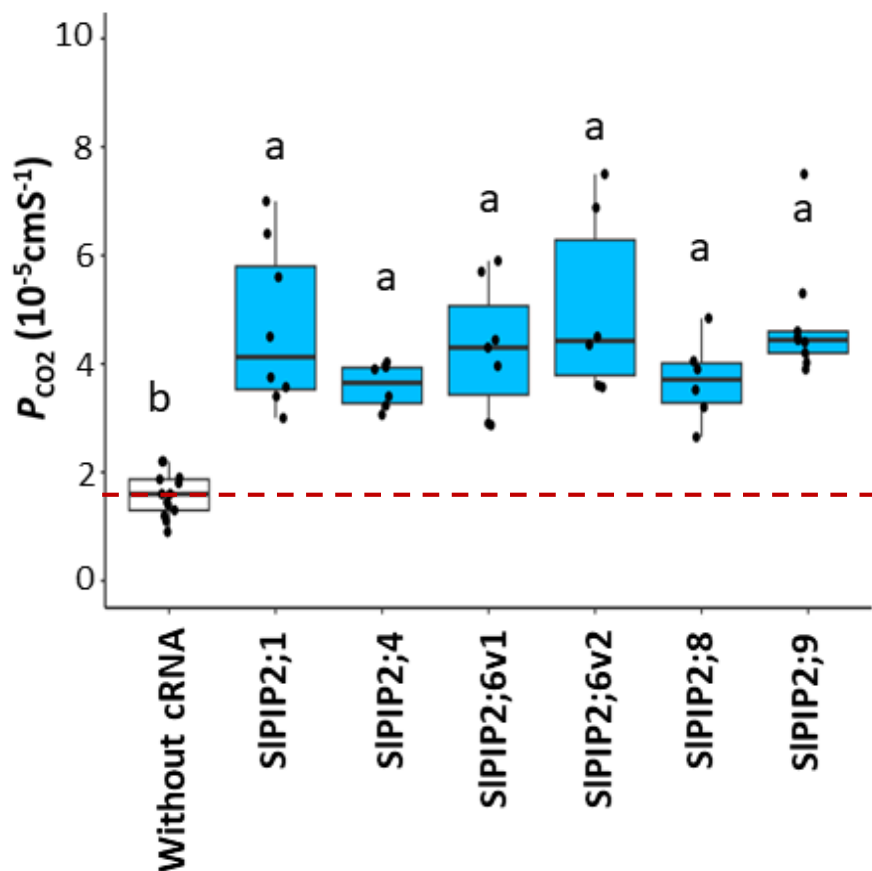
SIPIP2;6のCO₂輸送活性



全てのトマトの2型アクアポリンは
CO₂を透過させる。

CO₂のみ透過させる特別なアクアポリン

SIPIP2;6のCO₂輸送活性

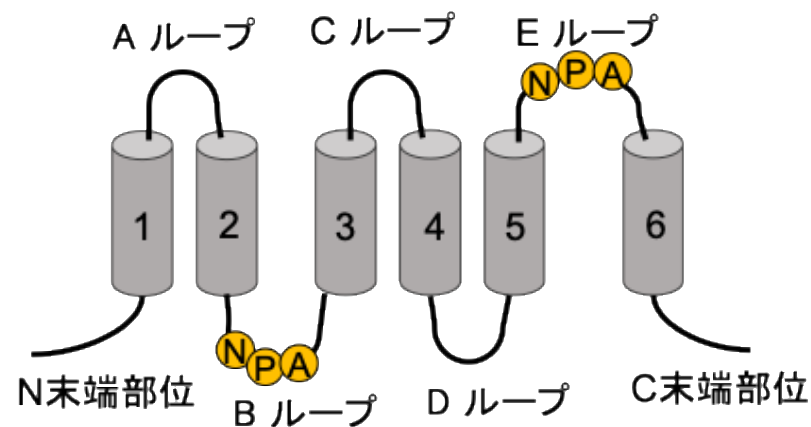


ひとつだけH₂Oを透過させないアクアポリンがある。

CO₂のみ透過させる特別なアクアポリン

SIPIP2;6の多型:N末端部の欠損

		1	
SlPIP2;1	1	MAKDMEVGT----EYAPKDYQDPPAPLIDFEELGKWSFYRAIIAEFIATLLFLYITVLT	56
SlPIP2;4	1	MTKEVTDIFS-----AKDYTDPPPAPLVDFEELRQWSFYRAIIAEFIATLLFLYVTILT	53
SlPIP2;6 v1	1	MTKEVEAAHEQAVEYSADYTDPPPAPLIDFEELTKWSLYRAIIAEFIATLLFLYITILT	60
SlPIP2;6 v2	1	MTKEVEA-----APLIDFEELTKWSLYRAIIAEFIATLLFLYITILT	42
SlPIP2;8	1	MSKEVIEEGQ--VQHGKDYVDPPPAPLLDFAECLKWSFYRAIIAEFIATLLFLYVTVAT	58
SlPIP2;9	1	MSKDVIEEGQ--AHHGKDYVDPPPAPLLDMAELTKWSFYRAIIAEFIATLLFLYVTVAT	58
		2	
SlPIP2;1	57	VIGYKSQSST----DQCGGVGILGIAWAFGGMIFVLVYCTAGISGGHINPAVTFGLFLAR	112
SlPIP2;4	54	VIGYKHQADVDAGGDVCGGVGILGIAWAFGGMIFVLVYCTAGISGGHINPAVTFGLFLAR	113
SlPIP2;6 v1	61	VIGYKHQADVKAGGDI CGGVGILGIAWAFGGMIFVLVYCTAGISGGHINPAVTFGLFLAR	120
SlPIP2;6 v2	43	VIGYKHQADVKAGGDI CGGVGILGIAWAFGGMIFVLVYCTAGISGGHINPAVTFGLFLAR	102
SlPIP2;8	59	VIGHKKLNGA----DKCDGVGILGIAWAFGGMIFVLVYCTAGISGGHINPAVTFGLFLAR	114
SlPIP2;9	59	VIGHKKLNAL----DQCDGVGILGIAWAFGGMIFVLVYCTAGISGGHINPAVTFGLFLAR	114



SlPIP2;6 v1	1	ATGACGAAAGAAGTCGAAGCGGCTCACGAGCAGGCGGTGG	40
SlPIP2;6 v2	1	ATGACGAAAGAAGTCGAAGC-----	20

SlPIP2;6 v1	41	AGTACTCCGCAAAGGATTACACTGATCCACCGCCTGCTCC	80
SlPIP2;6 v2	21	-----TGCTCC	26

SlPIP2;6 v2	223	FNGDKAWDDHNIWFVWGPFVGFAGIAAVYPQYIFRAGAIKALGSPRSNA--	269
SlPIP2;8	235	ADNKNVWDDQNIWFVWGPFVGFAGIAAVYPQYIFRAGAIKALGSPRSNATN	283
SlPIP2;9	235	YGNKIWDQNIWFVWGPFVGFAGIAAVYPQYIFRAGAVKALGSPRSNQTN	283

想定される用途(1)

- ゲノム編集により, アクアポリンのN末端の該当する箇所を欠損させることで, 水を損失することなしに植物のCO₂輸送活性を向上させる.
- これにより, 葉緑体へのCO₂供給が促進される.
- 光呼吸が抑えられ, 最大30%のCO₂吸収量の向上が見込まれる.

想定される用途(2)

- 人工膜にこのタンパク質を埋め込むことで、 CO_2 分離膜として利用することができる。

従来技術とその問題点

- Direct Air Capture (DAC)でのCO₂分離膜
- 有機膜：選択性が低い，安価
- 無機膜：選択性が高い，高価

従来技術とその問題点

二酸化炭素分離の視点で従来技術との比較イメージ

CO ₂ 透過性	高（特定のアクアポリンで確認）	N/A	中～高
選択性（CO ₂ /N ₂ ）	高（アクアポリンの種類による）	高	125～200x
エネルギー消費	低（低圧操作可能）	高（再生に高エネルギー必要）	中（圧力差による）
耐久性	未確定（商用化前）	中（溶媒劣化あり）	高（数年の耐用年数）
技術成熟度	低（研究・開発段階）	高（商用化済み）	中～高（一部商用化）

想定される用途(2)

- 人工膜にこのタンパク質を埋め込むことで、
CO₂分離膜として利用することができる。
- CO₂選択性アクアポリンは、
安価
高いCO₂選択性

実用化に向けた課題

- 現在までに、 $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ 両透過性アクアポリンを CO_2 選択性アクアポリンに改変する技術は確立されている。
- 今後、改変できる領域をしぼることで、狙った通りの改変をしやすいとする。
- 分離膜の素材として使うために、タンパク質の高温耐性を向上させる。

企業への期待

- CO₂分離の研究開発を行っている企業との共同研究を希望。
- 青果物の収量増加の研究開発を行っている種苗企業などとの共同研究を希望。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- 本格導入にあたっての技術指導等

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 二酸化炭素を特異的に透過する新規アクアポリン
- 出願番号 : 特願2024-040015
- 出願人 : 国立大学法人 岡山大学
- 発明者 : 森 泉、光本晏理

産学連携の経歴

- 2007年-2019年 倉敷農業後継者クラブ, きび
じ農業後継者クラブ, 船穂農業後継者クラブ
ブドウのハウス栽培におけるCO₂施肥効果の実
証研究

お問い合わせ先

岡山大学

研究・イノベーション共創機構

知的財産本部

Tel : 086-251-8417

e-mail : chizai@okayama-u.ac.jp

URL : <https://www.orzd.okayama-u.ac.jp>