

Mesembryanthemum crystallinum L. のベンケイソウ 型酸代謝の誘導因子に関する研究

齋藤, 和幸
九州大学農学部栽培学講座

窪田, 文武
九州大学農学部栽培学講座

縣, 和一
九州大学農学部栽培学講座

<https://doi.org/10.15017/23589>

出版情報：九州大学農学部學藝雑誌. 51 (3/4), pp.137-144, 1997-03. 九州大学農学部
バージョン：
権利関係：



Mesembryanthemum crystallinum L. のベンケイソウ型 酸代謝の誘導因子に関する研究

齋 藤 和 幸・窪 田 文 武・縣 和 一

九州大学農学部栽培学講座

(1996年11月29日受付, 1996年12月17日受理)

Factors for Induction of Crassulacean Acid Metabolism in the Facultative Halophyte *Mesembryanthemum crystallinum* L.

Kazuyuki SAITOU, Fumitake KUBOTA and Waichi AGATA

Laboratory of Pratical Botany, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 812-81

緒 言

Mesembryanthemum crystallinum L. は, 400 mM NaCl で塩ストレスを与えると C_3 型光合成から CAM 型光合成への変換が起こる。Winter (1973b) は, CAM 型光合成の誘導因子を検討するため, NaCl, KCl, Na_2SO_4 及び K_2SO_4 を用いて *M. crystallinum* に塩ストレスを与えたところ, いずれの場合も C_3 型光合成から CAM 型光合成への変換が起こり, CAM 型光合成の誘導にはナトリウムイオンあるいは塩素イオンの特異的な効果がないことを報告した。更に, *M. crystallinum* を強光かつ低湿度条件下に置くと, 塩ストレスを与えなくても暗期にリンゴ酸が蓄積されること (Winter 1973a), 水耕液を 10℃ に冷却する, あるいは, 水耕液中に空気を供給しないで塩類に無関係な水ストレスを与えた場合にも C_3 型光合成から CAM 型光合成への変換が起こること (Winter 1974) などから, Winter らは, *M. crystallinum* の CAM 型光合成の誘導因子は水ストレスであると結論づけた。

一方, Bloom (1979a) は, ポリエチレングリコール 6,000 を用いて *M. crystallinum* に水ストレスを与えた場合, 暗期と明期の間で滴定酸度の変動が認め

られなかったこと, 及び, 葉身の滴定酸度と葉身の水ポテンシャルの間に明確な関係が認められないことから CAM 型光合成の誘導過程における塩類の重要性を指摘した。更に, Bloom (1979b) は, CAM 型の *M. crystallinum* の葉肉組織で滴定酸度の日変化に対応したカリウムイオン及びナトリウムイオンのレベルの変化がみられることから, CAM 型光合成で生産されたリンゴ酸に対してカリウムイオンやナトリウムイオンがチャージバランスを保つ役割を果たしており, CAM 型光合成を維持するためにはこれらのイオンが多量に必要であることを報告した。また, 塩ストレスを与えて *M. crystallinum* を C_3 型光合成から CAM 型光合成へ変換させると葉緑体のストロマの pH が上昇する。これは, 葉緑体のストロマ内にナトリウムイオンやカリウムイオンを取り入れると同時にストロマ内の水素イオンを葉緑体外に出すことによってストロマの pH を上げ, リン酸トランスロケーターからの三炭糖リン酸の流出を抑えて炭素の分配をデンプンの合成方向に向け, CAM 型光合成を維持しているためと考えられている (Deming and Winter, 1983)。これらの結果は, *M. crystallinum* が CAM 型光合成を維持するためには 1 価の陽イオンが必要であることを示しており, 塩類が存在しない水ストレス条件下で *M. crystallinum* が CAM 型光合成を維持しようとするれば重大な調節不適応を起こすことが考えられる。これを回避するため, *M. crystallinum* では塩類が CAM 型光合成を発現する際の調節因

略語: CAM, ベンケイソウ型酸代謝; NADP, β -ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリン酸; Na_2 -EDTA, エチレンジアミン四酢酸二ナトリウム; PEP, ホスホエノールビルビン酸。

子として作用している可能性が考えられる。

これまでの *M. crystallinum* の CAM 型光合成の誘導因子に関する研究では、炭酸ガス交換速度や滴定酸度の日変化を調べることによって C_3 型光合成から CAM 型光合成への変換を評価してきた。しかし、炭酸ガス交換速度や滴定酸度の日変化を指標とした CAM 型光合成の誘導が必ずしも CAM 型光合成関連酵素の誘導と一致しないことが考えられる。つまり、塩類が存在しない水ストレスによって CAM 型光合成関連酵素は誘導されるが、塩類が存在しないために CAM 型光合成を駆動させることができず、リンゴ酸が蓄積されないことも考えられる。本研究では、PEP カルボキシラーゼの活性、NADP-リンゴ酸酵素の活性及び暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量を CAM 型光合成の指標とすることにより CAM 型光合成の誘導因子と CAM 型光合成の駆動因子とを区別し、 C_3 型光合成から CAM 型光合成への変換の因子を明らかにする目的で行った。

材 料 と 方 法

1) 植物材料

植物材料はすべて12時間日長で光強度 $25 \mu E \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、温度 20°C 、相対湿度70%に設定したグロースキャビネット内で生育させた他は、以前に記述したのと同様の方法 (Saitou *et al.*, 1991) で生育させた。

2) 酵素活性の測定

NaCl 処理を開始する前に完全に展開していた上から3番目の葉身を酵素の抽出に用いた。明期の終わり

にコルクボーラーで 0.4 cm^2 の円盤を3枚打ち抜き、200mM ヘブス水酸化ナトリウム緩衝液 (pH 8.0)、5 mM ジチオスライトール、10mM MgCl_2 、1 mM $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 及び0.5% (w/v) 不溶性ポリビニルピロリドンを含む1,154 μl の氷冷緩衝液を加えて磨砕した。10,000 x g、 4°C で3分間遠心分離後、すぐに上清を酵素活性の測定に用いた。PEP カルボキシラーゼの活性、NADP-リンゴ酸酵素の活性及びリンゴ酸含量の測定は、以前に記述したのと同様の方法 (Saitou *et al.*, 1991) で行った。

3) 水ポテンシャルの測定

葉身の水ポテンシャルは、NaCl 処理を開始する前に完全に展開していた上から3番目の葉身から12時にコルクボーラーで 0.2 cm^2 の円盤を打ち抜き、サーモカップルサイクロメーター (Wescor 社製) を用いて測定した。

結 果

1) 各種の塩処理と CAM 型光合成の誘導との関係

NaCl 処理による *M. crystallinum* の C_3 型光合成から CAM 型光合成への変換に対して、ナトリウムイオンあるいは塩素イオンに特異的な効果があるのかを明らかにするため、水耕液に NaCl, KCl, Na_2SO_4 及び CaCl_2 を加え、単位葉面積当たりの PEP カルボキシラーゼの活性、NADP-リンゴ酸酵素の活性、暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量及び葉身の水ポテンシャルを比較、検討した (Fig. 1, 2)。暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量は、コントロール

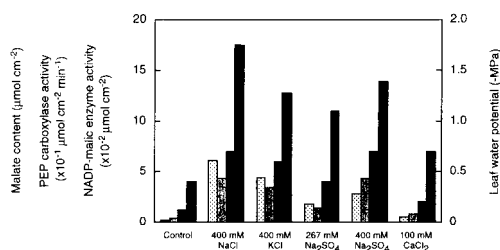


Fig. 1. Malate contents at the end of dark period (■), PEP carboxylase activities (□) and NADP-malic enzyme activities (▨) in leaves of *M. crystallinum* and the leaf water potential (■) on the seventh day after the different salt treatments.

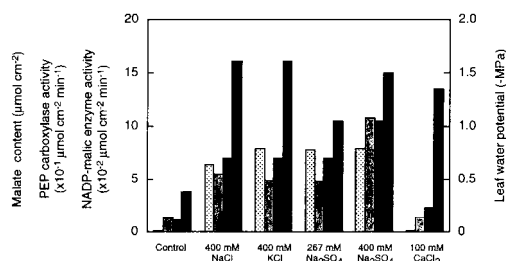


Fig. 2. Malate contents at the end of dark period (■), PEP carboxylase activities (□) and NADP-malic enzyme activities (▨) in leaves of *M. crystallinum* and the leaf water potential (■) on the fourteenth day after the different salt treatments.

区の $0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{cm}^{-2}$ に対して 400mM NaCl 処理区では $6 \mu\text{mol} \cdot \text{cm}^{-2}$ と著しく多かった。 400mM NaCl 処理区の PEP カルボキシラーゼの活性はコントロール区に比べて10倍以上高く、 400mM NaCl 処理区の NADP-リンゴ酸酵素の活性はコントロール区に比べて7倍高く、CAM 型光合成への変換が認められた。この時の葉身の水ポテンシャルはコントロール区の -0.6MPa に対して 400mM NaCl 処理区では -1.6MPa で、NaCl 処理によって大きな水ストレスを受けていることが分かった。

400mM KCl 処理区での暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量は、 400mM NaCl 処理区に比べて処理後7日目ではやや少ないが、処理後14日目では僅かに多くなった。 400mM KCl 処理区の PEP カルボキシラーゼの活性及び NADP-リンゴ酸酵素の活性は 400mM NaCl 処理区とほぼ一致し、 400mM KCl 処理によっても 400mM NaCl 処理と同様に CAM 型光合成へ変換することが分かった。 400mM KCl 処理区での葉身の水ポテンシャルは、処理後7日目では 400mM NaCl 処理区に比べて僅かに高かったが、処理後14日目では一致し、 400mM KCl 処理によっても大きな水ストレスを受けていることが分かった。

267mM Na_2SO_4 処理区での暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量は、処理後7日目ではコントロール区に比べて10倍多かったが、 400mM NaCl 処理区に比べると $1/3$ であった。処理後14日目になると 400mM NaCl 処理区よりもやや多くなった。 267mM Na_2SO_4 処理区の PEP カルボキシラーゼの活性は、処理後7日目ではコントロール区に比べて3倍高かったが、 400mM NaCl 処理区に比べると $1/4$ であった。処理後14日目になると 400mM NaCl 処理区とほぼ一致した。 267mM Na_2SO_4 処理区の NADP-リンゴ酸酵素の活性は、処理後7日目ではコントロール区に比べて4倍高かったが、 400mM NaCl 処理区に比べると約 $1/2$ であった。処理後14日目になると 400mM NaCl 処理区と一致し、 267mM Na_2SO_4 処理によっても 400mM NaCl 処理と同様に CAM 型光合成へ変換することが分かった。 267mM Na_2SO_4 処理区での葉身の水ポテンシャルは、処理後7日目及び14日目ともコントロール区に比べて2倍以上低かったが、 400mM NaCl 処理区に比べると高く、CAM 型光合成への変換の程度が葉身の水ポテンシャルの程度と必ずしも一致しないことが分かった。

400mM Na_2SO_4 処理区での暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量は、処理後7日目ではコントロール

区に比べて14倍高かったが、 400mM NaCl 処理区に比べると $1/2$ であった。処理後14日目になると 400mM NaCl 処理区よりも僅かに多くなった。 400mM Na_2SO_4 処理区の PEP カルボキシラーゼの活性は処理後7日目では 400mM NaCl 処理区と一致していたが、処理後14日目では 400mM NaCl 処理区よりも2倍高くなった。 400mM Na_2SO_4 処理区の NADP-リンゴ酸酵素の活性は処理後7日目では 400mM NaCl 処理区と一致していたが、処理後14日目では 400mM NaCl 処理区よりも1.5倍高く、PEP カルボキシラーゼの活性と同様の傾向が見られた。 400mM Na_2SO_4 処理区での葉身の水ポテンシャルは、処理後7日目では 400mM NaCl 処理区に比べて僅かに高かったが、処理後14日目では一致し、これは CAM 型光合成関連酵素の活性の程度とは一致しなかった。

100mM CaCl_2 処理区での暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量、PEP カルボキシラーゼの活性及び NADP-リンゴ酸酵素の活性はコントロール区とほぼ一致し、CAM 型光合成への変換が認められなかった。 100mM CaCl_2 処理区の葉身の水ポテンシャルは、処理後7日目ではコントロール区に比べて僅かに低い程度であったが、処理後14日目ではコントロール区に比べて4倍高く、 400mM NaCl 処理区とほぼ一致した。

2) 水ストレスと CAM 型光合成の発現との関係

水耕液に塩類を加えた場合、植物体には水耕液の浸透圧の増加に伴う水ストレスと塩類自身の影響によるストレスがかかることになる。そこで、M. crystallinum の C_3 型光合成から CAM 型光合成への変換が水ストレスだけで起こり得るかを明らかにするため、水耕液に $140\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ のポリエチレングリコール6,000を加えた試験区 ($140\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ PEG 処理区)と水耕液の組成を変化させずに水面を根の先端まで低下させて水ストレスを与えた試験区 (水ストレス区)を設けて比較検討した (Fig. 3, 4)。

$140\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ PEG 処理区の暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量は、処理後7日目ではコントロール区に比べると4倍多かったが、 400mM NaCl 処理区に比べると $1/8$ であり、処理後14日目ではコントロール区に比べると10倍多かったが、 400mM NaCl 処理区に比べると $1/6$ であった。 $140\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ PEG 処理区の PEP カルボキシラーゼの活性は、処理後7日目ではコントロール区に比べて4倍高かったが、 400mM NaCl 処理区の約 $1/3$ であり、処理後14日目ではコントロール区に比べて9倍高かったが、 400mM NaCl 処理区の

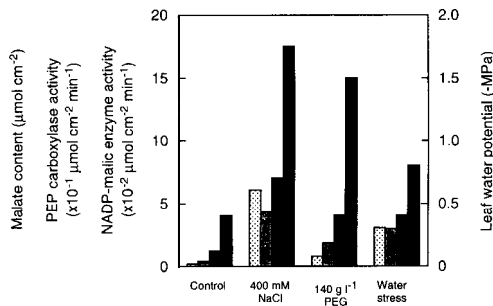


Fig. 3. Malate contents at the end of dark period (□), PEP carboxylase activities (▨) and NADP-malic enzyme activities (■) in leaves of *M. crystallinum* and the leaf water potential (■) on the seventh day after different treatments. The water stress was caused by lowering the culture solution to the tips of roots. PEG, Polyethylene glycol 6,000.

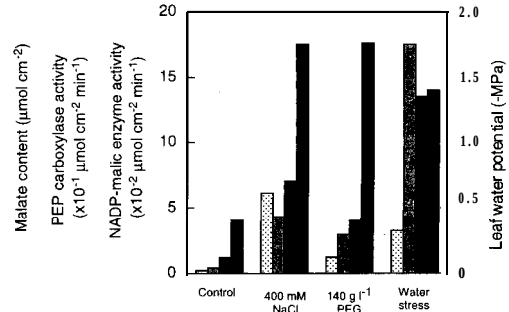


Fig. 4. Malate contents at the end of dark period (□), PEP carboxylase activities (▨) and NADP-malic enzyme activities (■) in leaves and the leaf water potential (■) of *M. crystallinum* on the fourteenth day after different treatments. The water stress was caused by lowering the culture solution to the tips of roots.

1/2にとどまった。140g・l⁻¹ PEG 処理区の NADP-リンゴ酸酵素の活性は処理後7日目及び処理後14日目のいずれにおいてもコントロール区に比べて4倍高かったが、400mM NaCl 処理区の約1/2であった。この時の140g・l⁻¹ PEG 処理区の葉身の水ポテンシャルは400mM NaCl 処理区とほぼ一致した。

水ストレス区の暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量は、処理後7日目ではコントロール区に比べると15倍多かったが、400mM NaCl 処理区に比べると1/2であり、処理後14日目ではコントロール区に比べて31倍多かったが、400mM NaCl 処理区に比べると1/2であった。水ストレス区の PEP カルボキシラーゼの活性は、処理後7日目ではコントロール区に比べて7倍高かったが、400mM NaCl 処理区の約1/2であった。しかし、処理後14日目では400mM NaCl 処理区約3倍に達した。水ストレス区の NADP-リンゴ酸酵素の活性は、処理後7日目ではコントロール区に比べて4倍高かったが、400mM NaCl 処理区の約1/2であった。処理後14日目では400mM NaCl 処理区の約2倍に達した。水ストレス区の葉身の水ポテンシャルは、処理後7日目では400mM NaCl 処理区に比べて2倍高かったが、処理後14日目ではほぼ一致した。

3) 塩類が存在する水ストレスと CAM 型光合成の発現との関係

140g・l⁻¹ PEG 処理区は、400mM NaCl 処理区に比べて葉身の水ポテンシャルはほぼ一致していたが、暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量、PEP カルボキシラーゼの活性及び NADP-リンゴ酸酵素の活性はいずれも400mM NaCl 処理区を下回った。そこで水耕液に100mM NaCl と105g・l⁻¹ ポリエチレングリコール6,000を加えた試験区(100mM NaCl + 105g・l⁻¹ PEG 処理区)と水耕液に200mM NaCl と70g・l⁻¹ ポリエチレングリコール6,000を加えた試験区(200mM NaCl + 70g・l⁻¹ PEG 処理区)を設けて、葉身の水ポテンシャルが低い場合に CAM 型光合成の発現に及ぼす NaCl の効果を比較検討した (Fig. 5, 6)。

100mM NaCl 処理区及び200mM NaCl 処理区の葉身の暗期の終わりのリンゴ酸含量は、処理後7日目ではコントロール区とほぼ一致し、処理後14日目ではコントロール区に比べて多くなったが、400mM NaCl 処理区の1/3以下であった。100mM NaCl 処理区及び200mM NaCl 処理区の葉身の PEP カルボキシラーゼの活性は処理後7日目及び14日目ともコントロール区とほぼ一致した。100mM NaCl 処理区及

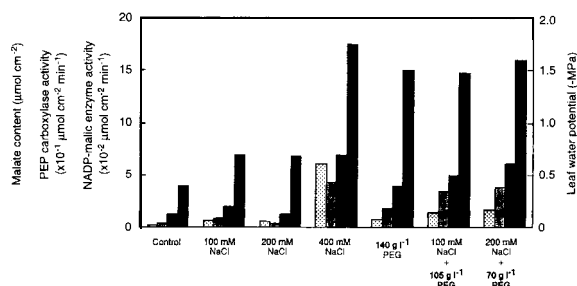


Fig. 5. Malate contents at the end of dark period (□), PEP carboxylase activities (▨) and NADP-malic enzyme activities (▩) in leaves of *M. crystallinum* and the leaf water potential (■) on the seventh day after the different treatments. PEG, Polyethylene glycol 6,000.

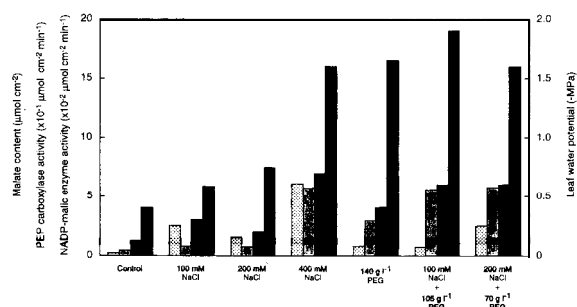


Fig. 6. Malate contents at the end of dark period (□), PEP carboxylase activities (▨) and NADP-malic enzyme activities (▩) in leaves of *M. crystallinum* and the leaf water potential (■) on the fourteenth day after the different treatments. PEG, Polyethylene glycol 6,000.

び200mM NaCl 処理区の葉身の NADP-リンゴ酸酵素の活性は、処理後 7 日目ではコントロール区とほぼ一致し、処理後 14 日目ではコントロール区に比べてやや高かったが、400mM NaCl 処理区の 1/2 以下であった。100mM NaCl 処理区及び 200mM NaCl 処理区の葉身の水ポテンシャルはコントロール区に比べてやや低かったが、400mM NaCl 処理区に比べて 2 倍以上高かった。

100mM NaCl + 105g · l⁻¹ PEG 処理区の葉身の暗期の終わりのリンゴ酸含量は、処理後 7 日目及び 14 日目とも 140g · l⁻¹ PEG 処理区とほぼ一致した。100mM NaCl + 105g · l⁻¹ PEG 処理区の葉身の PEP カルボキシラーゼの活性は、処理後 7 日目及び 14 日目とも 140g · l⁻¹ PEG 処理区の約 2 倍に達し、400mM NaCl 処理区と一致した。100mM NaCl + 105g · l⁻¹ PEG 処理区の NADP-リンゴ酸酵素活性

は $140\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区に比べて高く、処理後14日目では 400mM NaCl 処理区とはほぼ一致した。 100mM NaCl + $105\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区の葉身の水ポテンシャルは7日目及び14日目とも 400mM NaCl 処理区及び $140\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区とはほぼ一致した。

200mM NaCl + $70\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区の暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量は、処理後7日目では $140\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区とはほぼ一致した。処理後14日目では $140\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区に比べて2倍多かったが、 400mM NaCl 処理区の1/2以下であった。 200mM NaCl + $70\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区の葉身のPEPカルボキシラーゼの活性は処理後7日目及び14日目とも $140\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区の約2倍に達し、 400mM NaCl 処理区と一致した。 200mM NaCl + $70\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区のNADP-リンゴ酸酵素の活性は $140\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区に比べて高く、処理後14日目では 400mM NaCl 処理区とはほぼ一致した。 200mM NaCl + $70\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区の葉身の水ポテンシャルは7日目及び14日目とも 400mM NaCl 処理区及び $140\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区とはほぼ一致した。

考 察

400mM NaCl, 400mM KCl, 267mM Na_2SO_4 及び 400mM Na_2SO_4 処理区では、処理後14日目にはコントロール区に比べて暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量は60倍以上、葉身のPEPカルボキシラーゼの活性は11倍以上、葉身のNADP-リンゴ酸酵素の活性は7倍以上高く (Fig. 2), *M. crystallinum* の C_3 型光合成からCAM型光合成への変換の因子としてナトリウムイオン及び塩素イオンに特異性が認められなかった。この結果は、Winter (1973a) 及びBloom (1979a) の結果と一致した。

Bloom (1979a) は、ポリエチレングリコール6,000を用いて *M. crystallinum* に水ストレスを与えた場合、暗期と明期の間で滴定酸度に変動が認められなかったことを報告している。本研究においても、 $140\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区の葉身の水ポテンシャルは 400mM NaCl 処理区とはほぼ一致しているにもかかわらず $140\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区の暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量は、 400mM NaCl 処理区に比べると1/6であった (Fig. 6)。しかし、 $140\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区の葉身のPEPカルボキシラーゼの活性及びNADP-リンゴ酸酵素の活性はコントロール区に比べて4倍以上高かった。これは、水ストレスによってCAM型光合成関連酵素は誘導されるが、葉身のリンゴ酸含量は酵素活性の変

化に加えて *in vivo* でのメタボリックコントロール (Winter 1982) や気孔の開閉など更に多くの調節作用を受けているため、CAM型光合成のパラメーターとしての暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量とPEPカルボキシラーゼの活性及びNADP-リンゴ酸酵素の活性の結果がよく一致しなかったと考えられる。水耕液の水位を根の先端まで下げることによって水ストレスを与えた場合にも、葉身の水ポテンシャルは 400mM NaCl 処理区とはほぼ一致しているにもかかわらず暗期の終わりの葉身のリンゴ酸含量は低く、PEPカルボキシラーゼの活性及びNADP-リンゴ酸酵素の活性は 400mM NaCl 処理区よりも高かった (Fig. 4)。この結果はポリエチレングリコール6,000を用いて水ストレスを与えた場合と一致し、CAM型光合成への変換の因子となるのは水ストレスであることを示している。

267mM Na_2SO_4 処理区の処理後14日目の葉身の水ポテンシャルは 400mM NaCl 処理区に比べて高かったが、PEPカルボキシラーゼの活性及びNADP-リンゴ酸酵素の活性は 400mM NaCl 処理区とはほぼ一致した (Fig. 2)。 400mM Na_2SO_4 処理区の処理後14日目の葉身の水ポテンシャルは 400mM NaCl 処理区とはほぼ一致したが、PEPカルボキシラーゼの活性及びNADP-リンゴ酸酵素の活性は 400mM NaCl 処理区に比べて2倍高かった。これは、 400mM Na_2SO_4 処理区の方が 400mM NaCl 処理区よりも2倍多くのナトリウムイオンが含まれており、CAM型光合成への変換の程度がイオンの影響を受けていることが考えられる。

$140\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区の葉身の水ポテンシャルは 400mM NaCl 処理区とはほぼ一致したが、 $140\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ PEG 処理区のPEPカルボキシラーゼの活性及びNADP-リンゴ酸酵素の活性は 400mM NaCl 処理区の約1/2であった (Fig. 6)。ところが、ポリエチレングリコール6,000を用いた処理にそれだけではPEPカルボキシラーゼの活性及びNADP-リンゴ酸酵素の活性にあまり影響がない 100mM NaCl 処理あるいは 200mM NaCl 処理を同時に加え、かつ葉身の水ポテンシャルを 400mM NaCl 処理区とはほぼ同じにした場合、PEPカルボキシラーゼの活性及びNADP-リンゴ酸酵素の活性は 400mM NaCl 処理区とはほぼ一致した。これは水ストレスによって *M. crystallinum* のCAM型光合成関連酵素の活性が高まるが、葉身の水ポテンシャルが同じ程度に低い場合には塩類によってCAM型光合成関連酵素の発現が促進されることを示

している。

100mM NaCl 処理区の処理後14日目の葉身の水ポテンシャルは400mM NaCl 処理区とほぼ一致したが、100mM CaCl₂ 処理区の明期の終わりの葉身のリンゴ酸含量、PEP カルボキシラーゼの活性及びNADP-リンゴ酸酵素の活性はコントロール区とほぼ同じであった (Fig. 2)。これは、100mM CaCl₂ 処理区では *M. crystallinum* の葉身に白い斑点の発生が認められ、カルシウムイオンによる特異的な障害のためであると考えられる。

要 約

水耕栽培した C₃ 型 *Mesembryanthemum crystallinum* L. の根に400mM NaCl, 400mM KCl あるいは Na₂SO₄ を用いて塩ストレスを加えると塩の種類に関係なく暗期にリンゴ酸が合成されるとともに PEP カルボキシラーゼ及び NADP-リンゴ酸酵素の活性が増加し、CAM 型光合成へ変換した。しかし、400mM Na₂SO₄ 処理した植物体の葉身の水ポテンシャルは400mM NaCl や400mM KCl で処理した植物体の葉身の水ポテンシャルとほぼ一致していたにもかかわらず、PEP カルボキシラーゼ及び NADP-リンゴ酸酵素の活性は、400mM NaCl や400mM KCl で処理したものより高かった。また、ポリエチレングリコール6,000 (PEG) を用いた処理や水耕液の液面を根の先端まで低下させることによって水ストレスを与えても PEP カルボキシラーゼ及び NADP-リンゴ酸酵素の活性が高まった。しかし、PEG 処理に葉身の水ポテンシャルを同じにして更に NaCl 処理を加えると、PEG だけを用いて水ストレスを与えた場合に比べて PEP カルボキシラーゼ及び NADP-リンゴ酸酵素の活性が高まった。以上の結果より *M. crystallinum* の CAM 型光合成への変換の因子は水ストレスであるが、葉身の水ポテンシャルが低い場合には塩によって CAM 型光合成関連酵素の誘導の程度が大きくなることが明らかとなった。

文 献

- Bloom, A. J. 1979a Salt requirement for crassulacean acid metabolism in the annual succulent, *Mesembryanthemum crystallinum*. *Plant Physiol.*, 63 : 749-753
- Bloom, A. J. 1979b Diurnal ion fluctuations in the mesophyll tissue of the crassulacean acid metabolism plant *Mesembryanthemum crystallinum*. *Plant Physiol.*, 64 : 919-923
- Demmig, B. and K. Winter 1983 Photosynthetic characteristics of chloroplasts isolated from *Mesembryanthemum crystallinum* L., a halophilic plant capable of crassulacean acid metabolism. *Planta*, 159 : 66-76
- Saitou, K., Y. Nakamura, Y. Kawamitsu, M. Matsuoka, M. Samejima and W. Agata 1991 Changes in activities and levels of pyruvate, orthophosphate dikinase with induction of crassulacean acid metabolism in *Mesembryanthemum crystallinum* L. *JPN. J. Crop Sci.*, 60: 146-152
- Winter, K. 1973a CO₂-Fixierungsreaktionen bei der Salzpflanze *Mesembryanthemum crystallinum* unter variierten Außenbedingungen. *Planta*, 114: 75-85
- Winter, K. 1973b Zum Problem der Ausbildung des Crassulaceensaurestoffwechsels bei *Mesembryanthemum crystallinum* unter NaCl-Einfluß. *Planta*, 109 :135-145
- Winter, K. 1974 Effect of water stress on phosphoenolpyruvate carboxylase activity in *Mesembryanthemum crystallinum* (L.) *Planta*, 121 : 147-153
- Winter, K. 1982 Properties of phosphoenolpyruvate carboxylase in rapidly prepared, desalted leaf extracts of the crassulacean acid metabolism plant *Mesembryanthemum crystallinum* L. *Planta*, 154 : 298-308

Summary

In *Mesembryanthemum crystallinum* L. leaves exhibiting C₃ photosynthesis, crassulacean acid metabolism (CAM), as characterized by high PEP carboxylase and NADP-malic enzyme activities and malate synthesis in the dark, was induced by exposure to 400 mM NaCl, 400 mM KCl or 400 mM Na₂SO₄ in the nutrient medium over two weeks.

However, the activity of PEP carboxylase and NADP-malic enzyme in the 400 mM Na_2SO_4 -treated plants were higher than those in the 400 mM NaCl - or 400 mM KCl -treated plants, though the leaf water potential in the 400 mM Na_2SO_4 -treated plants was almost identical to that in the 400 mM NaCl - or 400 mM KCl -treated plants. The activities of PEP carboxylase and NADP-malic enzyme increased by exposing the plant roots to $140 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ polyethylene glycol 6,000 (PEG) or by lowering the culture solution to the tips of roots as well. However, the enzymatic activities in plants which were exposed to $105 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ PEG plus 100 mM NaCl were higher than those in the $140 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ PEG-treated plants, though the leaf water potential in the $105 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ PEG plus 100 mM NaCl -treated plants was almost identical to that in the $140 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ -treated plants. These results show that *M. crystallinum* shifts its mode of carbon assimilation from the C_3 pathway to CAM in response to water stress, but this effect of water stress was enhanced by salt if the leaf water potential is low.