

9224 淡水・海水および汽水と植物成育

助成研究者:古在 豊樹(千葉大学 園芸学部)

共同研究者:原 道宏(岩手大学)

:加藤 茂(東京農業大学)

:杉 二郎(東京農業大学)

本研究の目的は、(1)汽水-特にNaCl濃度-に対する植物の適応、(2)単色光励起された水に対する組織培養植物の成育反応、および(3)組織培養におけるゲル培地中のNaClの拡散、について実験的に検討を加えることである。以下では、各実験について方法、結果、考察および今後の課題について要約する。

実験1:汽水に対する適応性 サンゴソウ *Salicornia europaea* をワグネルポットで砂耕栽培し、栽培液のNaCl濃度(0.75, 1.5, 2.25, および3.0%)に対する植物体内の物質濃度応答について検討した。栽培液中のNaCl濃度を高めると、植物体内の Na^+ 、 Cl^- 、シュウ酸、リンゴ酸、フルクトース、グルコースおよびスクロースの濃度は上昇した。これらことから、栽培液中のNaCl濃度上昇と共に植物体内にNaClが取り込まれ、これに対応して体内に有機酸および糖が合成され、その結果、細胞内浸透圧あるいは水ポテンシャルがほぼ一定に維持されていると考察された。

実験2:光励起された水に対する組織培養植物の成育反応 バレイショ *Solanum tuberosum* cv. Benimaruの単節をMurashige & Skoog(1962)の糖無添加液体培地(支持材はポリエステル繊維)で、気温 23°C 、明期16時間/暗期8時間、白色蛍光灯、光合成有効量子束 $90\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の下で、ガラス製試験管を用いて20日間培養した。培養植物の生長量および葉クロロフィル濃度は、培地調整の際に用いたイオン交換・蒸留水を加圧滅菌前に光合成有効波長の範囲内の特定波長の単色光を照射処理した場合、無処理水を用いた場合の約1.5倍となった。

実験3:組織培養におけるゲル培地中の塩分拡散 粉末寒天(濃度4-32g/l)ゲルを濃度0.1%食塩水で作成し、そのゲル上に純水を注ぎ、その水の電気伝導度を一定時間間隔で測定し、その他の測定および観察の結果も加えて、塩の拡散係数(cm^2/d)を算定した。塩の拡散係数は、寒天濃度により多少異なったが、概ね自由水中の値($1.3\text{cm}^2/\text{d}$)と同等であり、またゲル培地中のショ糖および酸素の拡散係数値ともほぼ同等であった。すなわち、ゲル培地中での塩類の拡散係数は、糖や酸素と同様に、小さく、これら物質の移動は制限され、組織培養中の培地におけるこれら濃度の分布は不均一になっていることが推察される。以上、淡水・海水および汽水における植物の成育および植物体内物質濃度は、栽培環境における塩分濃度ならびに水の光励起状態により大きく影響されることが示された。

9224 淡水・海水および汽水と植物育成

助成研究者:古在 豊樹(千葉大学 園芸学部)

共同研究者:原 道宏(岩手大学)

:加藤 茂(東京農業大学)

:杉 二郎(東京農業大学)

本研究の目的は、(1) 汽水-特にNaCl濃度-に対する植物の適応、(2) 単色光励起された水に対する組織培養植物の育成反応、および(3) 組織培養におけるゲル培地中のNaClの拡散、について実験的に検討を加えることである。以下では、各実験について方法、結果、考察および今後の課題について要約する。

実験1: 汽水に対する適応性 サンゴソウ *Salicornia europaea* をワグネルポットで砂耕栽培し、栽培液のNaCl濃度(0.75, 1.5, 2.25, および3.0%)に対する植物体内の物質濃度応答について検討した。栽培液中のNaCl濃度を高めると、植物体内のNa⁺、Cl⁻、シュウ酸、リンゴ酸、フルクトース、グルコースおよびスクロースの濃度は上昇した。これらのことから、栽培液中のNaCl濃度上昇と共に植物体内にNaClが取り込まれ、これに対応して体内に有機酸および糖が合成され、その結果、細胞内浸透圧あるいは水ポテンシャルがほぼ一定に維持されていると考察された。

実験2: 光励起された水に対する組織培養植物の育成反応 バレイシヨ *Solanum tuberosum* cv. Benimaruの単節をMurashige & Skoog(1962)の糖無添加液体培地(支持材はポリエステル繊維)で、気温23°C、明期16時間/暗期8時間、白色蛍光灯、光合成有効光量子束90 μmol/m²/sの下で、ガラス製試験管を用いて20日間培養した。培養植物の生長量および葉クロフィル濃度は、培地調整の際に用いたイオン交換・蒸留水を加圧滅菌前に光合成有効波長の範囲内の特定波長の単色光を照射処理した場合、無処理水を用いた場合の約1.5倍となった。

実験3: 組織培養におけるゲル培地中の塩分拡散 粉末寒天(濃度4-32g/l)ゲルを濃度0.1%食塩水で作成し、そのゲル上に純水を注ぎ、その水の電気伝導度を一定時間間隔で測定し、その他の測定および観察の結果も加えて、塩の拡散係数(cm²/d)を算定した。塩の拡散係数は、寒天濃度により多少異なったが、概ね自由水中の値(1.3cm²/d)と同等であり、またゲル培地中のショ糖および酸素の拡散係数値ともほぼ同等であった。すなわち、ゲル培地中での塩類の拡散係数は、糖や酸素と同様に、小さく、これら物質の移動は制限され、組織培養中の培地におけるこれら濃度の分布は不均一になっていることが推察される。以上、淡水・海水および汽水における植物の育成および植物体内物質濃度は、栽培環境における塩分濃度ならびに水の光励起状態により大きく影響されることが示された。

1. 汽水に対する適応性

1 まえがき

21世紀中葉には、世界人口が約100億人を越えるであろうと多くの研究者が報告している。人口増加にともない確実に問題とされるのは、食糧の不足である。多くの先進国では、豊富な資金による大規模農業を進め効率の良い農業生産性を追求してきたが、一方では、灌漑農業による土壌の塩性化が進み農耕地としての機能が低下しその1/3が作物生産の出来ない農地となり、終局的には放棄される土地が徐々に増加している。

作物の塩類過剰障害を軽減し、塩類土壌における農業の生産性を増大させるために様々な方法、例えば灌漑、排水（暗渠）設備の設置、溶脱あるいは耐塩性作物の導入、除塩作物の栽培などが考えられ実施されてはいるが究極の解決法ではない。

塩生植物の一種であるサンゴソウ（アッケシソウ、*Salicornia* spp.）は、海水の出入する湖沼や感潮河川域、また塩田跡地に分布が見られるがその生育地は住宅地として或は工場建設などにより、現在確実に減少している。サンゴソウは、アカザ科の植物でありホソバノハマカザとならび塩生植物である。サンゴソウの分布は、北半球に多く見られる。サンゴソウは、一年生草本であり、草丈は15~20cm位となり主茎は直立し、多生した多数の分枝を形成する。茎は濃い緑色で多肉、円柱形で多数の節からなる。秋には、この植物体全体が紅くなることからサンゴソウと称せられている。日本では、北海道釧路厚岸のカキ島で最初に発見され、次いで愛媛県新居浜で発見された。

サンゴソウ（アッケシソウ、*Salicornia* spp.）の種子発芽についての報告はあるが、塩と生育についての報告は殆どなされていない。本報告は、北海道網走市能取湖周域に分布している種、*Salicornia europaea* L.（別名：ヤチサンゴ、ハママツ）を用いて、塩に対する生理的応答について検討を進めたものである。

2. 試料および方法

2.1 サンゴソウと栽培方法

供試サンゴソウ、*Salicornia europaea* L.は、北海道網走市能取湖において網走市の特別許可のもと採集し供試した。サンゴソウは、1/5000a ワグネルポットを用い砂耕法によりたえず通気をおこないながらガラス温室内で栽培を行なった。栽培条件は、昼間30℃、夜間25℃、自然光、相対湿度50-70%に調節した。基礎栽培液として大塚液肥（大塚化学社製）No.1とNo.2を指定濃度に調整した溶液をF-0区と設定し、

そのイオン組成について表-1に示す。その他の栽培区として表-2に示すように D.W., F-25 (0.75%NaCl), F-50 (1.5%NaCl), F-75 (2.25%NaCl), F-100 (3.0%NaCl) をそれぞれ設定した。4か月の栽培期間中2週間ごとにそれぞれの植物体（各栽培区、10個体）の伸長を計測した。また、栽培液は、2週間隔で取り換えた。

2.2 分析試料の調整

4か月栽培後の各植物体は、特に根を傷めないように注意しながら植物体を丁寧に蒸留水で洗浄した。植物体（地上部、地下部）全体の一定量を精秤後、蒸留水とともにホモジナイズした。このホモジナイズ調整液について各種無機イオン、有機酸及び糖類の分析を行なった。

2.2.1 各種無機イオンの分析

各種無機イオンの分析には、ShimadzuイオンクロマトグラフHIC-6A型（島津製作所製）を用いた。1 価陽イオン (Na^+ , NH_4^+ , K^+) の分析には、5mM- HNO_3 （電気伝導度約 $2500 \mu\text{Scm}^{-1}$ ）を移動相として使用した。分析用カラムとして、Shim-pack IC-C1を用いた。2 価陽イオン (Mg^{++} , Ca^{++}) 分析には、移動相として 4mM-酒石酸と2mM-エチレンジアミン溶液（電気伝導度約 $800 \mu\text{Scm}^{-1}$ ）を使用した。分析用カラムには、Shim-pack IC-C1を用いた。陰イオン (F^- , Cl^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , NO_3^- , Br^- , SO_4^{2-}) の分析には、移動相として1mM p-Hydroxybenzoic acid と1.1 mM Diethylethanolamine溶液（電気伝導度約 $130 \mu\text{Scm}^{-1}$ ）を用いた。分析用カラムとして、Shim-pack IC-A1を用いた。これらの移動相の調整および試料調整には、Milli-Q Water Reagent System（日本ミリポア・リミテッド社製）で精製した水を更に脱気処理を行ない使用した。

2.2.2 有機酸の分析

高速液体クロマトグラフ、Shimadzu HPLC-6A型（島津製作所製）に分析用カラムとして、ULTRON C-18 (Shim-pack) 装着し、0.1M- KH_2PO_4 (pH:2.20~2.21) 溶液を分離液とし1ml/min.で分析した。UV（紫外部）検出器を用い、検出波長として210nmで行った。分析は、40℃で行った。

2.2.3 糖類の分析

高速液体クロマトグラフ、Shimadzu HPLC-6A型（島津製作所製）に分析用カラムとして、CLC- NH_2 (Shim-pack) 装着し、Acetonitrile : H_2O (7 : 3) 混合溶液を分離液とし1ml/min.で分析した。検出器としてRI（示差屈折）検出器を用いた。分析温度は、30℃で行った。

3 結果及び考察

3.1 サンゴソウの生育

サンゴソウ植物体が3~5cm のものを、それぞれの栽培条件のポットに移植した。移植後、約2か月を経過した時点において、各栽培区ともに植物体の生育が顕著な個体とそうでない個体の差が大きくなった。栽培終了時には、各栽培区ともにサンゴソウ植物体が消失し、10個体栽培したものが2~3個体へと減少していた。栽培液中のNaCl濃度の高濃度区の個体が、初期生育は旺盛であったが徐々に高濃度の塩の影響が見られ衰弱が認められた。栽培終了間近の9月には、各栽培区の個体にはそれぞれ開花が見られた。詳細な結果を得ることは出来なかったけれども、栽培液中のNaClが存在している条件の生長が良好であった。各個体の生長に大きな差が認められたり、死滅して消失する個体を無くすためには直播きによる栽培の方が良いことが推察された。

塩とサンゴソウ生育との詳細な検討を加えるためには、種子を直接栽培ポットに撒き、移植をしないで検討することを第2年度して計画準備している。

3.2 各種塩濃度栽培後の植物体内の無機イオン濃度

各塩濃度栽培後のサンゴソウ体内の無機イオン濃度については、図-1に示す。栽培液中のNaCl濃度が高くなると共に、サンゴソウ内に分布していた Na^+ イオンと Cl^- イオン濃度は上昇した。植物生育に必須要素である K^+ イオンはF-0区で最も高い値を示したが、栽培液中のNaCl濃度が高くなると共に徐々に植物体内に分布する濃度は減少した。 Ca^+ イオン及び Mg^+ イオンは、栽培液中のNaCl濃度に余り関係なくほぼ一定濃度で分布していた。一方、アニオンでは、F-0区の NO_3^- イオンが約10meqと高い濃度を示した。3%NaCl (F-100区)でも約4meqと比較的高い濃度であった。 PO_4^{3-} イオン及び SO_4^{2-} イオンは、ほぼ一定濃度で分布していた。これらのアニオン類が細胞内イオンのままで分布していたことは、植物体内に取り込んだものの過剰塩のもとでこれらの生育必須要素の活用が行われないのか、単にイオンバランスの上から取り込んでいるのかは今後の検討課題である。

3.3 各種塩濃度下栽培後の植物体の有機酸について

各塩濃度栽培後のサンゴソウ体内の有機酸濃度について、図-2に示す。栽培液中のNaCl濃度の上昇と共にシュウ酸の分布濃度は、直線的に上昇した。また、リンゴ酸が次いで分布濃度が高く、F-50区では4meqと高濃度であった。特にこの2種の有機酸は、NaCl濃度が生育環境に存在する場合には、細胞内の浸透圧を調節上からも必要とされていることからこのSalicornia europaea L.も栽培液中の塩濃度が上昇すると共に浸透圧調節のためにこれら有機酸類の合成を促進して浸透圧の調節に寄与しているものと思われる。

3.4 各種塩濃度下栽培後の糖類について

過剰塩類の条件下で生育すると多くの植物は、細胞内浸透圧調節のために有機酸類と共に糖類を蓄積し過剰塩の取り込みに対応していることが知られている。また、寒冷地方で生育する植物は、細胞の破壊を避けるためにグリセリンを細胞内へ蓄積することが報告されていることからこれについても合わせて分析を行った。分析結果について、図-3に示す。グリセリンとマルトース（糖）は、検出されなかった。図に示した3種の糖類（フラクトース、グルコース、ショ糖）は、栽培液中のNaCl濃度上昇と共にその分布濃度は上昇していた。この結果から、根から吸収され細胞内に取り込まれたNaClに対応し浸透圧を調節するためにこれら3種の糖類濃度を上昇したことが推察される。グリセリンが検出されなかったことは、栽培終了時が東京の9月でありこの時点では寒さに対応するための植物側の対応がまだ必要ではなかったことが推察される。次回の検討項目として、塩と寒冷について実施したい。

要約

サンゴソウを用いて、植物の塩に対する応答について検討した。栽培は、直播きを実施しなかったことから良い成績ではなかった。栽培液中の塩濃度上昇と共にサンゴソウ体内へ取り込まれたNa⁺イオンとCl⁻イオン濃度は、上昇した。2種の有機酸（シュウ酸とリンゴ酸）濃度は、栽培液中の塩濃度上昇と共に高い値を示した。3種の糖（フラクトース、グルコース、ショ糖）についても、栽培液中の塩濃度上昇と共にその分布濃度は上昇した。これらのことから、栽培液中の塩濃度上昇と共に植物体に取り込まれた過剰のカチオン類に対処するために、或は過剰塩の蓄積に対応するために有機酸類や糖類の合成を促進し、細胞内浸透圧を調節維持していることが推察される。

Table 1 Ion components and concentrations in standard cultural solution

Ion	Concentration
Na	0
NH ₄	33
K	210
Mg	50
Ca	170
Cl	10
PO ₄	45
NO ₃	640
SO ₄	210

(unit : ppm)

Table 2 NaCl concentration in cultural solution

Condition	Fertilizer*	NaCl%	NaCl ratio
D.W.**	-	0	0
F-0	+	0	0
F-25	+	0.75	× 1.0
F-50	+	1.5	× 2.0
F-75	+	2.25	× 3.0
F-100	+	3.0	× 4.0

* : Ohtsuka liquid fertilizer No.1 + No.2(1 : 1).

** : De-ionized water.

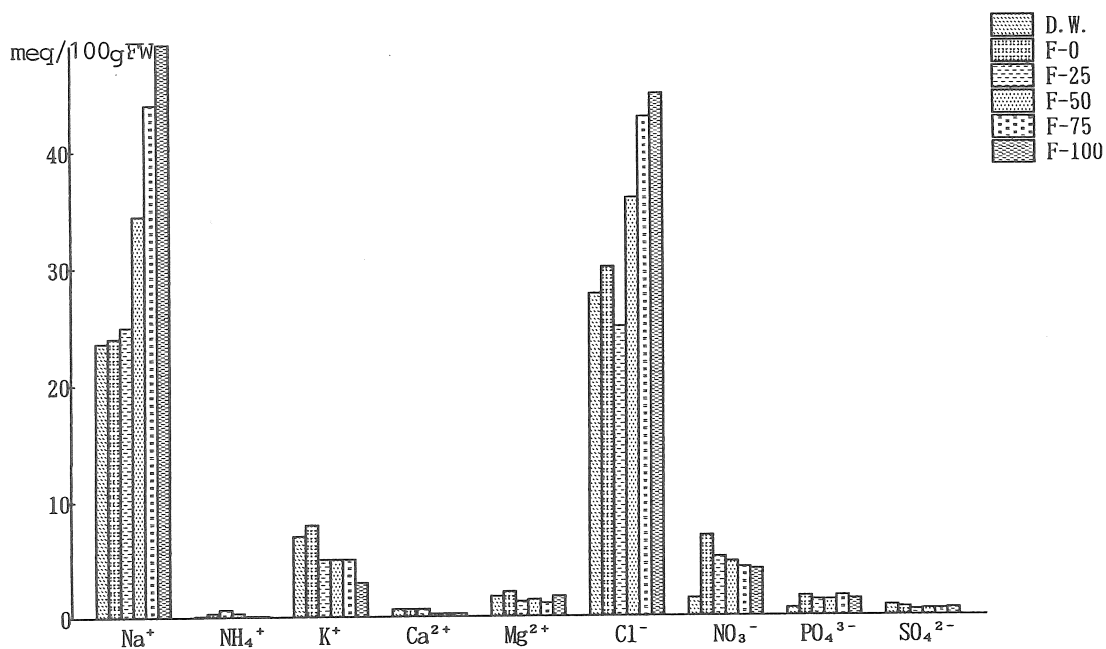


Fig.1 Ion concentrations in cultured *Salicornia europaea* L.

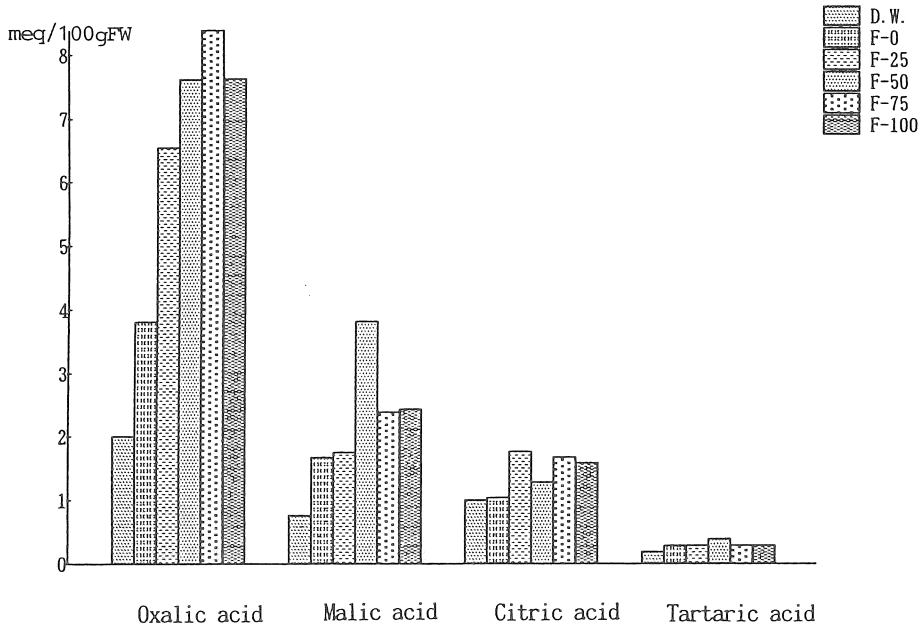


Fig.2 Organic acid concentrations in cultured *Salicornia europaea* L.

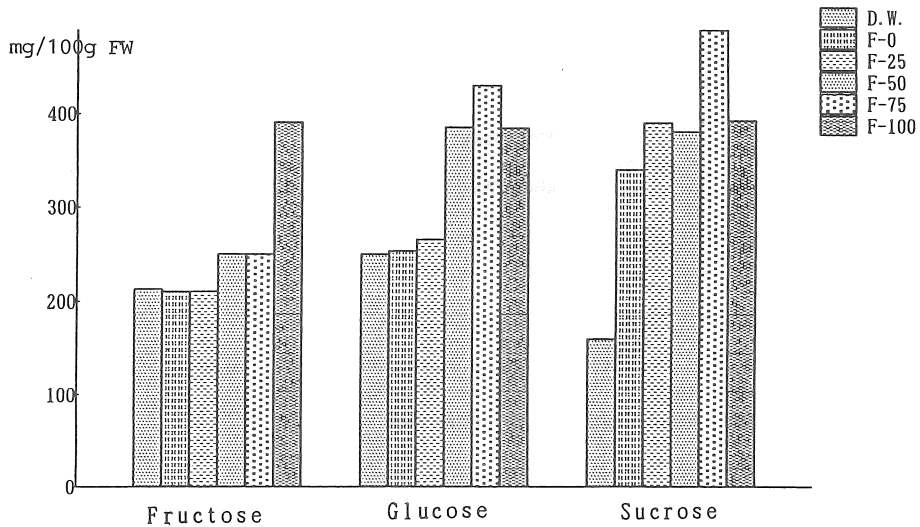


Fig.3 Saccharide concentrations in cultured *Salicornia europaea* L.

2. 光励起された水に対する組織培養植物の成育反応

1. はじめに

水が光励起されると、水の化学的な性質には変化がないものの、水の物理的な性質は変化する可能性が考えられる。特に、波長300–800 nmの範囲で水を光励起すると、照射光の波長に応じて、水の酸化・還元反応に関する活性が異なり、ひいてはその水が植物体内に吸収されたときに、植物体内での糖、アミノ酸、グリセロールなどの生成量が異なることが予想される。本研究では、光照射した純水もちいて植物組織培養をおこない、その生長、葉のクロロフィル含量への影響を実験的に検討した。

2 方法

1 材料および方法

1.1 培養条件および試験区

Table 3に示す培養条件下で試験を行なった。培地に添加した人工水以外の培地の溶媒は蒸留水とした。試験区に特有の条件をTable 4に示す。添加した人工水の違いおよび培地のシロ糖の有無により5試験区を設け、その他に対照区として培地に人工水を添加しない区を設けた。試験期間は20日間であった。

Table 3 General description of experimental conditions.

Plant material	Potato (<i>Solanum tuberosum</i> L. cv. Benimaru)
Explant	Single node cutings with a leaf
Medium	
Basal composition	Murashige & Skoog (1962)
Growth regulator	0 g l ⁻¹
Agar	0 g l ⁻¹
pH	5.8 before autoclaving
Amount per vessel	10 ml
Supporting material	Fiber polyester cubes
Artificial water ⁽¹⁾	1 ml l ⁻¹
Vessel	Glass test tube (47 ml) with a plastic cap
Culture room	
Air temperature	23°C
CO ₂ concentration	400 μmol mol ⁻¹
Photoperiod	16 h d ⁻¹
PPFD ⁽²⁾	90 μmol m ⁻² s ⁻¹
Light source	Fluorescent lamp

⁽¹⁾ See Table 4

⁽²⁾ Photosynthetic photon flux density on the empty culture shelf

Table 4 Description of treatment code, artificial water, sucrose concentration.

Treatment code	Artificial water	Sucrose concentration (g l ⁻¹)
H1s	H1	20
H1n	H1	0
X1s	X1	20
G4s	G4	20
H4s	H4	20
Cont	---	20

1.2 測定

外植体植え付け後20日目に小植物体の生体重、葉面積および葉部クロロフィル含量を測定した。生体重測定後の小植物体を恒温乾燥器内で乾燥させ、乾物重を測定した。測定に際し、ビトリフィケーションをおこした小植物体は除外した。葉部クロロフィル含量は分光光度計を用いて得た値を、Arnonの式に代入することにより算定した。算定した葉部クロロフィル含量を葉面積で除し、葉面積当りの葉部クロロフィル含量(以下、クロロフィル含量)とした。

3 結果

Fig.4に試験開始後20日目の小植物体の生体重を示す。生体重はH1s区で最大となった。H1s区と他の試験区間においてDuncanの多重検定により5%レベルで有意差(以下、有意差)が認められた。また、培地にショ糖を加えなかったH1n区の生体重は、H1s区およびCont区のそれらより小であったものの、X1s区、G4s区およびH4s区のそれらとは有意差が認められなかった。

Fig.5に試験開始後20日目の小植物体の乾物重を示す。乾物重はH1s区において最大となり、H1s区以外の試験区との間で有意差が認められ、H1s区の乾物重はCont区、H1n区、X1s区、G4区およびH4区のそれぞれのそれぞれ1.9倍、2.1倍、1.9倍、1.9倍および2.0倍であった。H1n区の乾物重は無糖培地であるにもかかわらず、H1s区を除くすべての試験区の乾物重と有意差がなかった。

Fig.6に試験開始後20日目の小植物体のクロロフィル含量を示す。クロロフィル含量はH1s区で最大となり、次いでH1n区の順であった。その他の試験区では、ほぼ同値であった。培地にH1の人工水を添加することにより、小植物体のクロロフィル含量が増加することが明らかとなった。H1s区のクロロフィル含量がCont区のその2倍であったことは注目される。

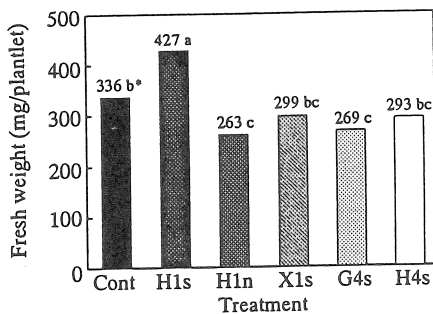


Fig. 4 Fresh weight of the potato plantlet on day 20.
 Cout: Value is mean of 18 plantlets.
 H1s, G4s: Value is mean of 19 plantlets.
 H1n, X1s, H4s: Value is mean of 20 plantlets.
 * Different letters indicate significantly different at the 5% level of Duncan' multiple range test.

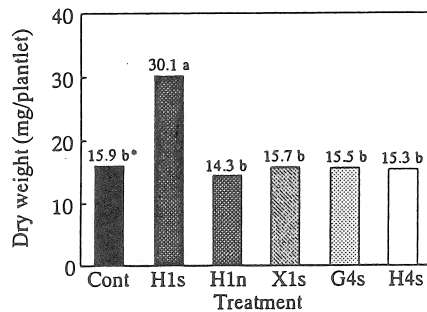


Fig. 5 Dry weight of the potato plantlet on day 20.
 Cout: Value is mean of 18 plantlets.
 H1s, G4s: Value is mean of 19 plantlets.
 H1n, X1s, H4s: Value is mean of 20 plantlets.
 * Different letters indicate significantly different at the 5% level of Duncan' multiple range test.

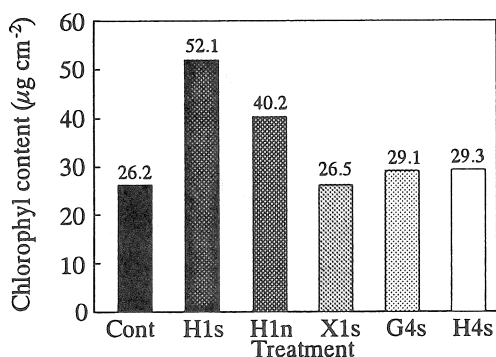


Fig. 6 Chlorophyll content of the potato plantlet on day 20.
Each value is mean of 5 plantlets.

4. 考察

本実験においては、特定波長の光を照射して光励起した水をもちいてバレイショの組織培養を行い、光励起された水がバレイショ培養植物の生長およびクロロフィル含量に有意な影響をおよぼすことを示した。これが再現性のある事実であるとする、その理学的、農学的意義は大きい。今後、追実験を重ね、またその因果関係を明らかにする必要がある。

3. 培地中における塩分の拡散について

はじめに

培地中における物質の拡散は、培地中に生育する生物への養分の供給や排せつ物の除去において大切な物理過程である。従って、拡散係数の大小は生物の生育環境のダイナミックな“質”の良否を決定する。植物の組織培養などでは寒天などのゲル化剤が用いられ、水や空気は自由な流動が妨げられた状態にある。土壌は多孔質であり、水や空気は孔隙内を制約を受けながら移動する。筆者らは、地表に塩分の集積する塩類土壌における塩分(NaCl)の拡散係数を測定したが、その値は自由水中のその 1/10 ないし 1/27 という、非常に小さな値であった(Hara and Sugi, 1993)。このように拡散係数の値が小さければ、生物生育の動的環境の質は劣悪とならざるを得ず、問題は深刻で検討を要する。そこで、筆者らは土壌および寒天を始めとする生物の生育に用いられる培地中における物質の拡散係数を測定し、実態を把握することとした。ここでは、寒天中における塩の拡散係数についての研究結果を報告する。

材料および方法

(1) 測定 寒天粉末を食塩水(濃度0.1%)で溶解し、円筒型透明プラスチック容器で冷却固化した寒天培地を作った。この培地上に純水を所定量そそぎ、2層試料を得た。上層の水は十分攪拌し、一定時間毎に EC メータにより水の塩濃度を測定した。一定時間

経過後、水は除去し、寒天培地を取り出し、水平に 3 mm 厚にスライスし、十分量の温水で再溶解し、冷却後、それぞれの塩濃度を EC メータにより測定した。 (2) 可視化

寒天培地内における拡散を可視化するため、別途、ウラニン色素を水に加え、寒天培地内における色素の拡散を肉眼で観察し、また写真撮影した。 (3) 拡散係数の推定

有限体積の十分攪拌された液体に接する有限体積の固体内における拡散過程に対する解析解を用い、測定値からのカーブフィッティング法によって次の方法 1 により拡散係数を推定し、方法 2 により培地内の塩分布を推定した。

(方法 1) 水の塩濃度の時間経過から、式 [1] (Crank, 1956) により推定。

(方法 2) 寒天培地内の残存塩分の分布を、式 [2] (Carslaw and Jaeger, 1959) により推定。

$$\frac{C(t)}{C(\infty)} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\alpha(1+\alpha)}{1+\alpha+\alpha^2q_n^2} \exp\left(-\frac{Dq_n^2t}{L^2}\right) \quad [1]$$

$$\frac{C(x,t)}{C(\infty)} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\alpha(1+\alpha)}{1+\alpha+\alpha^2q_n^2} \exp\left(-\frac{Dq_n^2t}{L^2}\right) \frac{\cos(q_n \cdot x/L)}{\cos(q_n)} \quad [2]$$

ただし、C: 塩濃度、D: 拡散係数、L: 寒天の長さ、a: 水の厚さ、 $\alpha = a/L$ 、
t: 経過時間、x: 底からの距離、 q_n は $\tan q_n = -\alpha q_n$ の正根。

結果および考察

(1) 拡散係数の推定値 寒天濃度を 0.4 % から 3.2 % まで変化させ測定した結果から、方法 1 により推定した NaCl の拡散係数の値を表 5 に示す。寒天濃度が 0.8 % 以下の場合には自由水中の値 (1.30 cm²/day) 以上であるが、1.6 % および 3.2 % ではそれ以下のほぼ一定した値を示した。すなわち、寒天濃度が高くなっても培地内の拡散係数の値に大きな差が見られなかった。また、その値も自由水中の値の 80 % 前後の比較的大きな値に留まった。このような結果は、ショ糖 (石田・長野, 1990) および酸素 (山内, 1993) についての測定結果と符合するものである。このことから、寒天培地は種々の物質の拡散に対し、類似した性質を示すよううかがえる。なお、方法 2 による残存塩分の濃度分布の推定値は測定値とパターン的一致をみた。

Table 5 Diffusion coefficients of NaCl
in agar culture medium (Unit:cm²/day)

Run	agar concentration			
	0.4 %	0.8 %	1.6 %	3.2 %
1	0.705	1.781	0.957	0.993
2	1.740	1.812	0.957	1.242
3	1.505	1.589	1.227	0.818
Ave.	1.317	1.727	1.047	1.018
σ	0.543	0.121	0.156	0.213

(2) 色素拡散の観察 ウラニン色素拡散を観察した結果、色素が培地内で極めて均等に拡散していくことが明らかになった。すなわち、土壤中における水の正圧浸透においてしばしば見られる、いわゆる“チャネリング(部分流)”が寒天培地内では発生しなかったことが示された。このことは、今回の測定が正に拡散係数の測定になっていたことを保証するものであるといえる。

文献

- 1) Hara, M. and J. Sugi. 1993. Salt accumulation process near the soil surface induced by soil water evaporation: measurements and analyses. Pro. Seventh Symp. Salt, Vol. II:569-575.
- 2) Crank, J. 1956. Diffusion from a stirred solution of limited volume. In J. Crank "The Mathematics of Diffusion", Oxford: 52-56.
- 3) Carslaw, H. S. and J. C. Jaeger. 1959. The slab with one face in contact with a layer of perfect conductor or well-stirred fluid. In H. S. Carslaw and J. C. Jaeger "Conduction of Heat in Solids", Oxford: 128-130.
- 4) 石田朋靖・長野敏英. 1990. 固体培地の物質移動特性について 農気1990生環28回合同大会講要: 168-169.
- 5) 山内千津子. 1993. 植物組織培養用培地の酸素拡散係数に及ぼす寒天濃度・ショ糖の有無及び培地基礎成分の有無の影響(個人的通信による)。

Plant Growth as Affected by Fresh, Brackish and Sea Water

Toyoki Kozai (Chiba University), Michihiro Hara (Iwate University),
Shigeru Kato and Jiro Sugi (Tokyo University of Agriculture)

Summary

Objectives of the present research is to give some consideration on (1) the adaptation of *Salicornia europaea* to brackish water, (2) growth response of potato (*Solanum tuberosum*) plantlets in vitro to water excited by monochromatic visible light, and (3) diffusion of NaCl in gelled culture medium in plant tissue culture, based upon the corresponding experimental results.

Experiment 1: Adaptation of *Salicornia europaea* to brackish water

Salicornia europaea was cultivated at different NaCl concentrations in solution for irrigation, using pots with sand. Concentrations of Na⁺, Cl⁻, fructose, glucose, malic acid and oxalic acid in the plant body increased with increasing the concentrations of NaCl in culture solution. These result may be explained by the regulatory mechanism of water potential in plant cells exposed to different NaCl concentrations in the sap.

Experiment 2: Growth response of potato plantlets in vitro to water excited by monochromatic visible light

Water excited by a specific monochromatic visible light promoted the growth of potato (*Solanum tuberosum* cv. Benimaru) plantlets in vitro. Leafy single node cuttings of potato explants cultured in vitro for 20 days on Murashige and Skoog (1962) sugar-free medium at an air temperature of 23 C, photoperiod of 16 h/d with fluorescent lamps, photosynthetic photon flux density of 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. The dry weight and chlorophyll content of the plantlets were 1.5 times greater in the treatment with excited water than in the control treatment with non-excited water.

Experiment 3: Diffusion of NaCl in gelled culture medium in plant tissue culture

Diffusion coefficients of NaCl in agar culture medium for plant tissue culture were measured at different agar concentrations (4–32 g/l). The diffusion coefficients were not affected significantly by agar concentration and were comparable to that of NaCl in free water (1.3 cm^2/d) and to those of sucrose and oxygen in free water. From this result, we can conclude that transportation of nutrients and oxygen around the roots of plantlets in agar medium should be largely restricted by the low value of diffusion coefficient in agar medium.