

オノゴリの果胞子放出に関する研究：第2報 果胞子放出の機作について

瀬川, 宗吉
九州大学農学部水産学教室

尾形, 英二
大阪市立大学理工学部

沢田, 武男
九州大学農学部水産学教室

<https://doi.org/10.15017/21366>

出版情報：九州大学農学部学藝雑誌. 15 (2), pp.245-254, 1955-03. 九州大学農学部
バージョン：
権利関係：



オゴノリの果胞子放出に関する研究¹⁾

第2報 果胞子放出の機作について

瀬川宗吉・尾形英二²⁾・沢田武男

Studies on the carpospore liberation in *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenfuss

II. On the mechanism of carpospore liberation

Sokichi Segawa, Eizi Ogata and Takeo Sawada

I. 緒 言

第1報(1955)においては、上潮にともなつておこると思われる果胞子放出の過程を、実験室内で蔭干法によつて明かにした。しかし、この研究の最終目的であるところの、どのようにして多量の有効胞子を短時間内に得るかという問題に対する基礎研究としては、これらの現象を知るだけでは充分でなく、更に放出の機作を解明する必要があると思われる。そこで同じオゴノリの囊果を対象として、果胞子放出の機作に関する実験を行つた。

放出の現象のみに関する研究は、第1報緒言に述べたようになりみられるが、放出機構にまでふれた研究は殆どみあたらない。褐藻では、Schreiber (1930) が *Fucus serratus* について、中沢(1953) が *Coccophora Langsdorfii* について、外液の濃度が低まると生殖巣からの卵細胞の放出が促進されることを示唆している位である。この熟した藻体を海水の濃度が低い方へうつしたとき、ほとんどの場合放出が促進される現象(低張効果)は、著者等が数年来の実験で気がついていたのであるが、今度の研究にあつて、この現象と蔭干効果との関係を考えてみた。

蔭干効果にしても低張効果にしても、共通な要因として第一に、藻体と外液の滲透圧の相対的変化が考えられ、従つておそらくこのことが放出促進の機作として重要なものと考えられる。この仮定をたしかめるために、濃度のことなる海水および数種の電解質・非電解質の溶液に藻体をひたしたときの、果胞子放出におよぼす影響をしらべた。

II. 材料および採集方法

第1報と同じく、博多湾東部の多々良川口附近に産する、完熟していると思われる囊果を有するオゴノリを用いた。実験は、1953年の6月に行つた予備実験にもとづいて、1954年の6月から7月にかけて行つた。材料の採集にあつては、主として退潮時にまだ海水

1) 文部省科学研究費による「紅藻胞子の放出に関する研究」の一部。

2) 大阪市立大学理工学部。

にひたつているものをえらび、海水につけたまま研究室にもちかえつた。そしてもちかえつた直後、既知濃度の海水（比重：ca 1.017, 滲透圧：15.9 atm. 20°C）にうつし、30分以上放置して滲透圧的に平衡になつてから実験に使つた。オオノリの生育する海域には海水滲透圧の日変化があるが、その影響をふせぐためにはほぼ同じあるいはやや低い滲透圧をもつときをえらんで採集した。

III. 実験方法

1) 嚢果の放出率算定法

嚢果体の枝を 3 cm 内外に切り、ついている嚢果（約 10~25）のうち、処理によつて放出をおこした嚢果数の%を算定した。処理してから算定までの時間は、第1報の結果から 20 分を適当と考え、すべて 20 分後の放出率を求めた。用いた枝は、一つのシリーズの実験においてはなるべく同一個体から切りとるようにした。以後の実験値は、特にことわらない限り、すべて 3 回以上の測定の平均値である。

2) 用いた溶液

用いた電解質・非電解質の溶液は、第1表のように海水を含めて 6 種である。これらの各に濃度の段階をつけて、その滲透圧が用意した海水（以下基準海水とよぶ）を基準として、それぞれ 2.0, 1.5, 1.0, 0.5, 0.25 倍になるように作つた。たとえば海水の 2 倍の滲透圧をもつ sucrose 液ならば、2.0 sucrose と以下記述することにした。なお滲透圧は氷点降下法で計り、Walter (1936) の補正法により気圧であらわした。

Table 1. Osmotic pressure (atm.) of different solutions used in experiments.

Osmotic Conc. Solutions	2.0 fold	1.5 fold	1.0 fold	0.5 fold	0.25 fold
Sea Water	37.5	23.9	15.9	6.3	3.8
KCl	34.6	18.9	17.2	7.2	4.1
NaCl	36.9	18.9	17.1	6.6	3.9
CaCl ₂	38.9	18.8	17.4	6.9	3.9
Sucrose	38.9	—	17.2	6.6	3.7
Glycerol	35.6	—	17.4	6.7	3.8

IV. 実験ならびに結果

1. 外液の滲透圧およびその溶質の差による影響

材料を基準海水から小型シャーレ中の各溶液（第1表）にうつして静置させ、20 分後に上記の方法で検鏡測定した結果は第1図のようである。

この図からわかるように、生育している所の海水と等張な電解質・非電解質中で、ほぼ sucrose, glycerol, KCl, NaCl の順で放出が促進され、CaCl₂ 中では放出がみられない。等張海水中では当然みられない。高張液中では一般に放出がおこらないものと予想さ

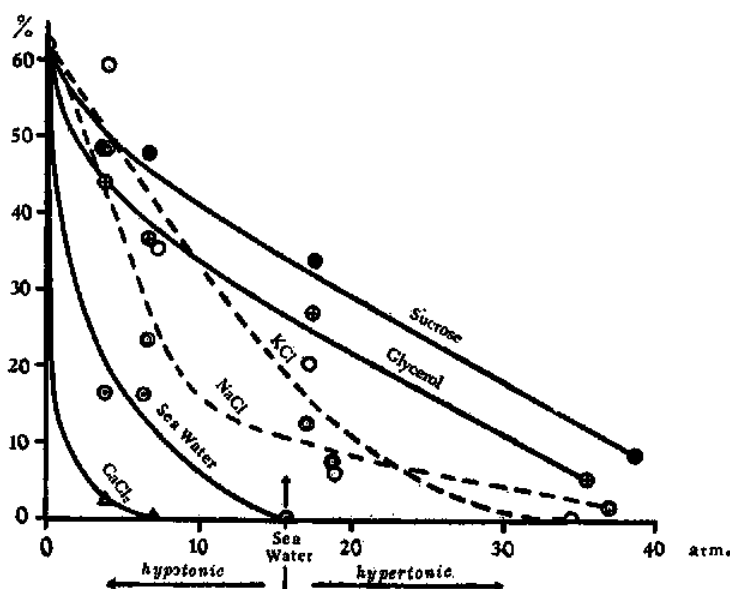


Fig. 1. Ratio (%) of spore shed from cystocarp in the different osmotic concentration of external solutions. (20 min. after immersion).

れていたが、2.0 sucrose, 2.0 glycerol, 2.0 NaCl 等では僅かであるが放出がみられる。

低張液中では更にこの傾向が著しきようになり、浸透圧が低くなるにつれて放出果胞子数の %が増す。なお、低張になるにつれて、%だけではなく1個の囊果からの放出果胞子数も増す傾向があるように見える。CaCl₂ は低張液中でさえ、放出を抑制する作用がある。

海水中では予想されたとおり、高張側で放出せず、等張海水を出発点にして低張になるに従って順次放出が促進される。

この結果からみて、すべての溶液を通じて低張になるほど放出を促進する傾向がみられるが、溶質によりその作用の程度がことなり、大体 sucrose, KCl, glycerol, NaCl 等はこの低張効果の他にそれら溶質独自の促進作用がみられる。CaCl₂ では逆にいちじるしい抑制作用がみられる。

2. 蔭干の影響

蔭干をした藻体を、もとの海水にもどすことによつておこる放出の促進現象については第1報のとおりであるが、この蔭干処理を実験1の処理の前に加えた場合どのような影響があるかをみた。

蔭干の条件を一定にするために、浸透圧が約 37 気圧に相当するような関係湿度をもつ恒湿室を硫酸によつて作った。すなわち関係湿度が約 96.5 % になるように 9.38 % 硫酸をデシケーター中に入れて密室を作り、実験1のようにして用意したオゴノリの枝を、この中で一定時間乾燥させた。

Table 2. Ratio (%) of spore shed cystocarp in the different osmotic concentration of external solutions after desiccation for 20 min. (20 min. after immersion).

Osmotic Conc. Solutions	2.0 fold	1.5 fold	1.0 fold	0.5 fold	0.25 fold
Sea Water	0.0	13.3	20.0	41.7	44.4
KCl	5.0	37.5	62.5	60.0	55.6
NaCl	0.0	6.3	25.0	45.5	30.8
CaCl ₂	0.0	0.0	0.0	11.1	15.4
Sucrose	10.0	—	33.3	60.0	70.0
Glycerol	16.7	—	33.3	50.0	55.6

上記デシケーター中で 20 分蔭干した材料を実験 1 の場合と全く同様にして第 1 表の各溶液にうつし、やはり 20 分後の放出囊果数の % を算定した (第 2 表)。この結果をみると、蔭干をしないで直接に基準海水から各溶液にうつした場合よりも放出が促進されているように思われる。すなわち蔭干による影響があるようである。

3. 拮 抗 現 象

低張でも CaCl₂ は放出に対して抑制的であり、逆に高張でも KCl; NaCl や sucrose, glycerol は促進することから、Ca⁺⁺ と他の溶質間に拮抗現象があるかどうかをみてみた。実験はすべて 0.5 の CaCl₂ と KCl, CaCl₂ と NaCl, CaCl₂ と sucrose の間の作

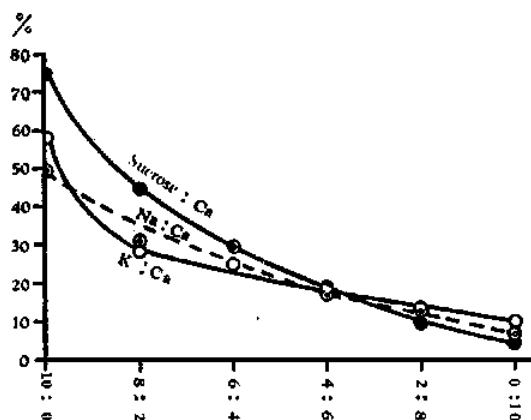


Fig. 2. Antagonistic effect between pairs like KCl and CaCl₂, NaCl and CaCl₂, sucrose and CaCl₂ on the ratio of spore shed cystocarp when algal bodies are transferred from natural sea water (15.9 atm.) to the hypotonic solutions (6.3—7.2 atm.) (20 min. after immersion).

用をみるために、 CaCl_2 と他の溶液の割合を 10 : 0 から 0 : 10 までの間、6段階に混合した溶液を作った。それらの溶液はすべて同じ気圧 (6.3~7.2 atm.) をもつ。処理は実験1と同じように行い、やはり 20 分後の影響をみた (第2図)。これをみると CaCl_2 の割合がますます増えていくにつれて放出が抑制され、あきらかに Ca^{++} と他のものとの間の拮抗現象がみられる。イオン間だけではなく Ca^{++} と sucrose の間にもこの傾向がみられる。図にみられるように、この実験における Ca-effect は高等植物で多くみられる傾向とちがって、効果のあらわれが緩慢である。

4. 高張液の浸漬処理による放出促進

低張液にうつした場合、つねに放出が促進されることは浸透圧の変化にともなう膨圧の

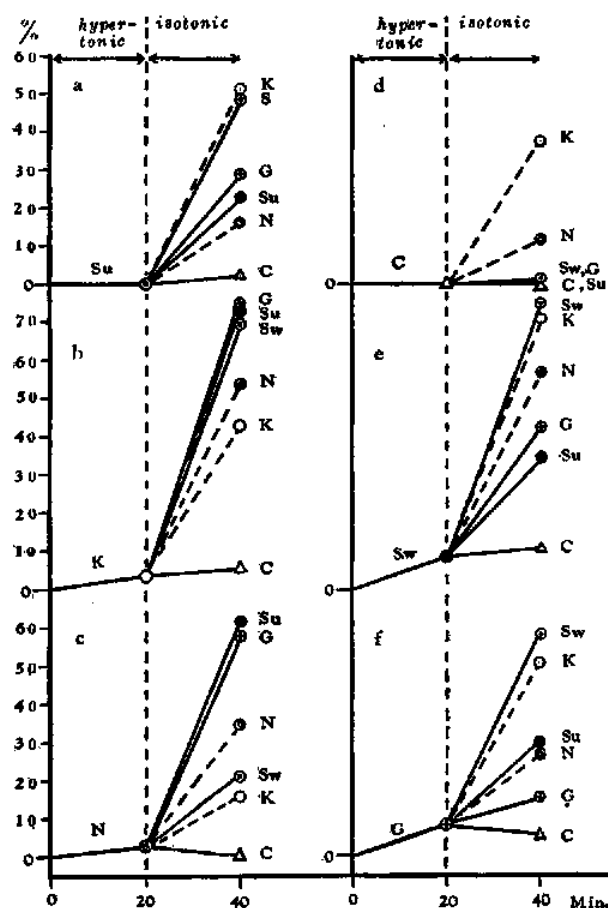


Fig. 3. Effect of different solutes on the ratio of spore shed cystocarp when algal bodies are transferred from the hypertonic solutions (2.0 fold) to ones isotonic with natural sea water (1.0 fold).

Sw : sea water, K : KCl, N : NaCl, C : CaCl_2 , Su : sucrose, and G : glycerol solutions, respectively.

変動にもとづく現象と考えられるが、陰干後藻体を等張液にもどすことによつて放出が促進されることも、脱水にもなる滲透圧の変化がおよぼす作用であると考えられる。藻体を高張液にうつした場合も脱水が考えられるので、各 2.0 溶液の高張液中に 20 分ひたしたものを、等張の各 1.0 溶液にいろいろ組合せをかえてもどし、20 分後に放出の状態をしらべた。その結果は第3図 a～f のようである。最初に各 2.0 溶液にひたしたときにあられる影響は、実験1の各 2.0 溶液にひたしたときの結果と同じようである。このような 2.0 溶液の作用をうけた各材料を、それぞれ 1.0 等張液にもどしたときの結果は、図にみられるように、放出は基準海水から直接 1.0 各溶液にうつしたときより強い影響があられる。このことは高張液にひたすことが乾燥と同じ効果をもたらすことを示している。

5. 外液の濃度と溶質の差が胞子自体ならびに藻体におよぼす影響

基準海水中において果皮をはずし、囊果中からとりだした果胞子に対する各溶液の影響をみた。処理としては、特定の果胞子を顕微鏡下でマークしておき、カバーガラスの下の海水を濾紙で吸いとると同時に各溶液をスポイドでカバーガラスの下に注入して、胞子自体の直径の増減を2分後に測定した。測定は3～4回行い、その平均値を示したのが第3表である。これによると 0.25 sucrose を作用させた場合 29% の直径の増加を示し、増加率は sucrose, KCl, 海水, CaCl_2 の順に小さくなる。この傾向は囊果からの胞子放出促進の傾向とほぼ一致している。低張液のかわりに、2.0 高張液を作用させるとすべて収縮し、 CaCl_2 では特にいちじるしい。

次にオゴノリ藻体に対する影響を、その表皮層の剥片(長さ1～1.5mm)と輪切りにし

Table 3. Elongation or shrinkage ratio (%) of spore diameter in hypo-or hypertonic solutions (2 min. after immersion).

To hypotonic solution	Elongation ratio	To hypertonic solution	Shrinkage ratio
1.0 Sea Water→0.25 Sea Water	13.1	1.0 Sea Water→2.0 Sea Water	-14.2
1.0 Sea Water→0.25 KCl	20.9	1.0 Sea Water→2.0 KCl	-13.6
1.0 Sea Water→0.25 CaCl_2	10.0	1.0 Sea Water→2.0 CaCl_2	-17.8
1.0 Sea Water→0.25 Sucrose	29.0	1.0 Sea Water→2.0 Sucrose	-14.7
1.0 Sea Water→Dist. Water	22.2		

Table 4. Elongation ratio (%) of *Gracilaria verrucosa* thallus by immersion to hypotonic solution (5 min. after immersion).

	Strip of cortex	Diameter of thallus
1.0 Sea Water→Dist. Water	3.0	3.7
1.0 Sea Water→0.25 Sea Water	2.3	1.9
1.0 Sea Water→0.25 KCl	2.7	3.0
1.0 Sea Water→0.25 CaCl_2	2.0	1.6
1.0 Sea Water→0.25 Sucrose	2.5	2.8

た厚さ 500μ 内外の枝（直径 $1\sim 1.5\text{ mm}$ ）についてしらべた。胞子の場合と同様に、カバーガラスの下で溶液をとりかえてその伸長をしらべた。処理してから5分後の測定を3～5回行い、その平均値を求めた（第4表）。両方ともその伸長におよぼす各溶質の作用の傾向は胞子の場合と同様であるが、伸長率は胞子の場合にくらべて非常に小さい。

6. 溶質の差が裸出した胞子集団（仁）におよぼす影響

今までの囊果体における実験は、藻体から突出した囊果の果口から果孢子が放出される現象（第4図）をみていたのであるが、次に第5-a図にみられるような構造の囊果の果



Fig. 4. Liberation of carpospores.
× ca 10.

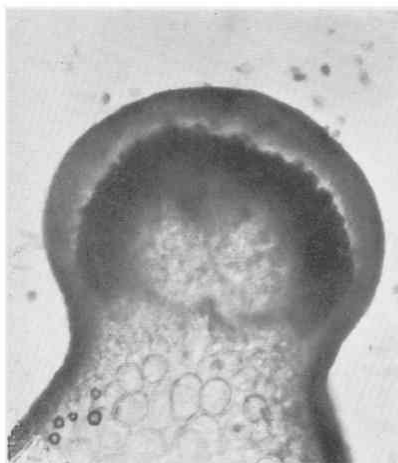


Fig. 5-a. Normal structure of
cystocarp. × ca 30.

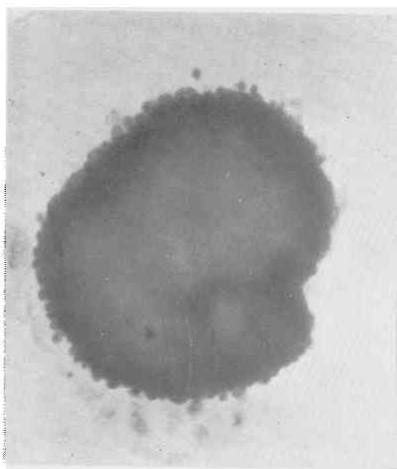


Fig. 5-b. Denuded nucleus. × ca 30.

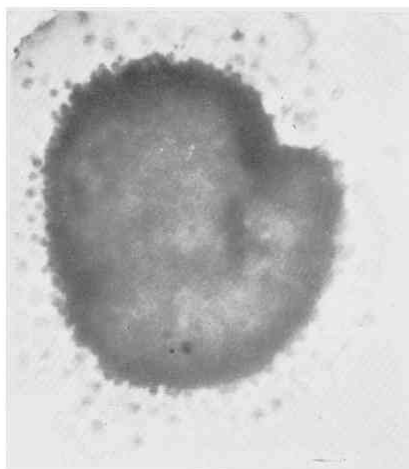


Fig. 5-c. Liberation of carpospore
from denuded nucleus.
× ca 30.

皮をはずして胎座と共にとりだした果胞子の集団に対する影響をみた。とりだした仁は基準海水中では、周囲から熟した2~3個の果胞子をはなれるだけである(第5-b図)。この仁の周囲の海水を、実験5と同様にカバーガラス下で各種溶液といれかえて検鏡した。その結果、量的表現は困難であるが、海水を等張の sucrose, KCl, glycerol 溶液にかえたときには、数秒後から続々と仁からはなれてくる果胞子が観察された(第5-c図)。この傾向は低張溶液では更に促進される。しかしやはり、 CaCl_2 中では抑制される傾向がある。低張液中で游離するときの状態は、果胞子列の前端の果胞子が西洋梨型にふくれ、次に尾をひきながらはなれ、すぐに丸くなる。

7. 実験放出胞子の健全性

いろいろな処理で放出された胞子は、当然その影響をうけるものと考えられる。事実海水の場合でも、低張液にひたすことによつて放出した胞子は膨潤し、数分後に原形質吐出するものがある。そのさいより低張な液中ほど吐出を起す胞子の割合が多く、また起す時間も早い。低張の影響の他に、glycerol, KCl, sucrose, NaCl 等では更に傷害がはなはだしいようである。 CaCl_2 の場合は抑制されるようである。これに反して、一旦高張液にひたしてから等張液にもどした場合は、放出胞子はすべて健全であつた。高張液の処理が約20分の場合、どの溶液で処理された場合も放出胞子には膨潤や吐出がみられず、健全であつた。勿論蔭干処理の場合も同様である。

V. 要 結

オゴノリ果胞子の放出において、蔭干処理による放出促進現象に関する限り、上記各実験の結果からみられるように、一定条件下のミクロな観察では、藻体あるいは胞子の滲透圧および透過性に関する現象が主な放出促進の要因と考えられる。すなわち実験的には、すべての場合藻体を急に濃度のうすい方にうつしたときに放出が促進されるのは、あきらかに滲透圧の差によつて胞子の体積が増し、膨圧が増加することによると考えられる。実験5でみたように、果皮や柔組織の膨脹率は小さく、胞子のそれは非常に大きい。実は囊果の構造と考えあわせてこのことをうらなう。すべて測つた伸長率は一次元であるから、体積の膨脹に換算した場合囊果中の果胞子が低張液中で膨脹する割合は、果皮や柔組織の膨脹率よりははなはだしく大になるために、囊果中に内圧が生じて果胞子の放出を促進する傾向が生ずるものと考えられる。蔭干による処理によつて放出が促進されるのは、乾燥による脱水のために滲透圧の高まつた胞子がもとの海水にもどされて吸水し、脱水以前より膨脹するためと思われる。同じことが基準海水から一たん高張液にひたした後、もとの海水にもどしたときにおこるいちじるしい放出促進についてもいえる。すなわち滲透圧に落差が生じ、相対的に外液の方が低張になつた場合には放出が促進されるものと考えられる。

溶質のちがひによつて、胞子放出促進に差があることは、これら溶質の透過性の差が胞子の膨脹に関係があるためと思われる。すなわち sucrose, glycerol, KCl 等は透過性が高く胞子を膨脹させやすいと考えられる。胞子放出において、 CaCl_2 と KCl, CaCl_2 と NaCl, CaCl_2 と sucrose 各溶液間に拮抗現象がみられることも、イオンあるいは非電解質の透過がこれら溶質が示す独自の放出促進に関係していることを示す。

囊果の果皮をはずした果胞子の集団に対する各溶質の作用をみると、等張の場合でも、sucrose, KCl, glycerol 等は胞子の游離を促進する。この場合は、はじめから胞子が開放された空間にあるために、膨脹による内圧の増加よりも、果胞子間の連絡物質あるいは異物の膨潤によつてはなれやすくなる事の方が游離の原因として妥当と考えられる。

上述の考察をまとめてみると、乾燥あるいは外液の稀釈等によつて生ずる滲透圧の落差による放出の促進は、実験的には外液の溶質の透過性もいちじるしく作用するが、自然海水中においては、外液の滲透圧の変化による果胞子の膨脹と果皮などの藻体の膨脹の差から生ずる囊果内の圧力が果胞子を果口から押し出す第一の原動力になるものと想像される。

海水以外の電解質・非電解質の作用がすべての実験結果において殆ど同じ傾向を示すこと——たとえば sucrose や KCl などのように透過性が高く、又膨潤作用が強いと考えられる溶液中では放出が促進されるということから考えても、ほぼこの仮定が正しいことが想像される。

実験的な急激な滲透圧の変化が、一定条件下のミクロな観察では胞子放出を促進することとはしかであるが、複雑な自然の条件下の紅藻胞子の放出がすべて上述の機作で説明できるとはいえない。たとえばテングサのように日週期のはつきりしたものの日週期的放出の機構は今の所説明できない。オゴノリのように蔭干処理が有効であるものでは、この機作による放出の存在が充分考えられる。少くとも放出の重要な要因の一つであろう。

終にのぞみ、この第2報の研究にいろいろ便宜を与えて下さった内田教授、大阪市大・三木教授ならびに実験にあたつて有益な御助言・示唆を頂いた大阪市大・高田助教授にあつく御礼申し上げる。

引用文献

中沢信午, 1953, スギモク配偶子の人工放出, 科学, 23-12.

Schreiber, E. 1930, Die Fruktifikationszeiten und die Bedingungen der Gametenentleerung bei *Fucus serratus*, Zeitschr. Bot., 23, 273.

瀬川宗吉・尾形英二・沢田武男, 1955, 本研究, 第1報, 蔭干に伴う果胞子放出について, 九州大学農学部学芸雑誌, 16, 235.

Summary

The mechanism of the carpospore liberation under different osmotic conditions was studied.

Results of experiments are as follows:

1. A decrease in the osmotic concentration of the external solutions increases the ratio of spore shed cystocarp (Fig. 1). Only when cystocarps are bathed into hypotonic solution of calcium chloride, the effect of the acceleration is scarcely detectable.
2. The spore liberation from cystocarps occurs when the thallus is immersed into natural sea water after the drying in shaded place. But this ratio of spore shed cystocarp increases more effective in such a solution isotonic with natural sea water as glycerol, potassium chloride and sucrose than in natural sea water (Table 2). The marked antagonism is also observed between pairs like CaCl_2 and KCl , CaCl_2 and NaCl , CaCl_2 and sucrose (Fig. 2).
3. By the transfer to solutions isotonic with sea water after dipping in hypertonic ones, spore shed cystocarps increase in number (Fig. 3).
4. Spore diameter increases in hypotonic solutions, especially of potassium chloride, sucrose and glycerol (Table 4).
5. Algal bodies elongate also in hypotonic solutions, but the ratio is not so much as the case of spores (Table 4).
6. Spore liberation from the denuded spore assembly (nucleus) is accelerated even in isotonic solutions of sucrose, KCl , glycerol etc.

From these results, it is concluded that the change of the osmotic concentration of external solutions has a significant effect of inducing carpospore liberation in *Gracilaria verrucosa*. It seems, therefore, that expansion of spores results in an increment of inner pressure sufficient to cause the liberation from carpostome.