天然海域におけるノリの生育と 養殖環境の関係—II.

アマノリの干出時の光合成能と生長*

今田 克・斎藤祐一・前木 樹

(1970 年 1 月 10 日受理)

Relationships between the Growth of *Porphyra tenera* and its
Culturing Condition in the Sea—II.

Influence of Atmospheric Exposure on Photosynthesis,
Growth and Others on *Porphyra* fronds

Osamu IMADA, Yuichi SAITO, and Shigeki MAEKI**

Exposure of the *Porphyra* culture net to atmosphere is called "Kanshutsu" in Japanese.

The exposure occurs during the daily change of the tides, and is utilized for the improvement of the culture of the fronds.

The Photosynthesis of the leafy fronds during exposure and any restrain in growth or injury caused by the exposure were studied. Photosynthesis was measured by CO₂ absorption using a gas-chromatograph, growth by weighing, and injury by staining with erythrosine pigment.

The Photosynthetic ability of the fronds at saturated moisture conditions was equal to that in underwater. But in dry air, the ability decreased gradually in relation to the water content in the fronds, and about 50% of the original activity remained until the water content decreased to 25~20%. During exposure and in the day-light period, the fronds get dry and are gradually affected by wind and sunshine.

But in natural conditions the water content of the fronds are found to remain higher than 20%. Therefore it appears that more than 50% of the photosynthetic ability of the fronds in the sea is retained.

For studying about growth and injury to fronds, samples were exposed in saturated humid air for the light period (8 hrs), and suspended in sea water for the dark period (16 hrs).

As control, a sample was cultured in sea water all the time.

The growth rate of the exposed fronds was only 63~78% of the control ones estimated by calculating R in the formula given below.

$$S_n = a(1+r)^{n-1} \quad R = r(\text{sample})/r(\text{control})$$

S_n ; n day's frond's weight

a ; initial frond's weight

r ; specific growth rate per day

n ; days

In the exposed fronds the color tone and luster were excellent and the degree of injury was very slight, only 10% of that of the control ones.

緒 言

アサクサノリ *Porphyra tenera* をはじめとするアマノリ属 *Porphyra* の海藻を自然海面で養殖する際

* 昭和 44 年 4 月 日本水産学会年会において講演済み。

** 協和醸酵工業 (株) 東京研究所 (Kyowa Hakko Kogyo Co., Ltd., Tokyo Research Laboratory, Machida-shi, Tokyo, Japan)

に、その葉状体及び葉状体の着生している海苔網が海面より気中に露出する現象を干出という。この干出は海中に立てられた支柱（主として竹）の一定高さに固定して張られた網が潮汐の変化によつて気中に露呈する現象であるが、アサクサノリをはじめ多くのアマノリ類が比較的乾燥に対して強い耐性を有する¹⁾ 所から夾雑附着せる他の藻類や病原性バクテリアの除去、回避といった養殖上の一つのテクニックとして従来から利用されている²⁾。更に近年では葉状体に対する施肥、あるいは薬剤撒布の機会とててもこの時間帯が利用されるようになり³⁾、その重要性を高めている。しかしこの干出時におけるアマノリの生理については詳細な検討が少なく、尾形らが呼吸について検討し乾燥の程度によつて著しく呼吸量が変化することを述べているに過ぎない^{4,5)}。これらアマノリ属の海藻は自立栄養的に生育し、したがつて時期には当然光合成を行つてゐるが干出時におけるこの能力の有無は生長の良否に極めて重要な影響を及ぼすものと考えられる。例えば海苔養殖場において張網の高低はノリ葉状体の生育に深く関係して一般に干出時間の長い場合は生長速度がおそく、干出時間が短いとその逆になる傾向がみられるが、その理由は明らかでない⁶⁾。著者らはこれらの点につき二、三の実験を試み、干出時に光合成能は乾燥が進むと共に低下すること、またその影響が何程であるか、また生長に干出がどう影響するか、について二、三の結論を得たのでここに報告する。

材料及び方法

光合成量の測定 実験手法として光合成量の測定に関し Fig. 1 のごき装置を考案した。即ち従来のワールブルグ検圧計などでは照射光を葉状体表面に均一に照射し、あるいは湿度を一定にすることに困難があるので、透明メタクリル樹脂にて密閉容器を作り、この密閉容器内の気相の組成変化を求めて光合成量を測定することとした。容器寸法は直径 190 mm, 内容積 850 ml, 内部にステンレス (SUS 32) 金網を敷きこの表面に試料を乾重で約 500 mg 一様に拡げてあたかも貼布するように配置した。容器下部にはマグネットスターラーの回転子を設備し、磁力によつて回転して容器内の気相の均一化をはかった。照明は 20 W 白色蛍光灯を束ねて用い試料のおかれた金網表面で 10 klux になるようにした。温度は全装置を 18~20°C の恒温室内におき均一調節した。試料の葉状体は人工海水にて人工的に培養したアサクサノリを用いた。

光合成に関係するであろう因子として、葉状体の水分含量、葉状体の日令が考えられる。このため葉状体日令は 40~60 日のものを適宜選び、水分含量は容器内の空気湿度を飽和状態から 40% 迄変化させてその影響を調べた。葉状体の水分含量とそれに平衡している空気の相対湿度については予め密閉容器内に小型の

Fig. 1. Apparatus for measuring the photosynthesis of *Porphyra* sp. during the exposure in air.

Fig. 2. Relation between water content of *Porphyra* fronds and equilibrated relative humidity of air.
(—•— by us, ---×--- Ref. 7)

電気抵抗式湿度計(エース研究所製鋭感湿度計 AH-P 型)の検出端を挿入し、これと水分含量との関係求めて置き、これから逆に水分含量を推定することとした。葉状体水分含量とこれに平衡な空氣の相對湿度に関しては既に報告があるが、それと実測値はほぼ一致している⁷⁾。

実験の手順としては予め所定湿度及び所定炭酸ガス濃度になるごとく乾燥空氣、飽和湿度空氣、炭酸ガスの三流量を流量計にて調節して作成した調湿空氣を容器に 5 l/min にて導入し、葉状体水分含量が平衡に達する迄 (約) 分乃至 1 時間放置し、しかる後容器を密閉し、更に湿度変化のないことを確認後照明を点じ、以後一定時間毎に注射器には容器内のガスを採取しガスクロマトグラフにて炭酸ガスの消長を追跡した。ガスクロマトグラフのカラム充填剤は methoxyethoxy 2-2 bis-ether を用いた。

生長の測定 葉状体の生長を測定する目的に対

しては、Fig. 3 のごとく内容積 12 l の槽内に 32 mesh のステンレス (SUS 32) 製金網を水平に設け、これが上下できるように設備した通気槽を用い、時期には網を培養海水より引上げて葉状体が水面より約 5 cm 上に露呈した状態に放置し、暗期には網を槽底迄下げて葉状体が水中で浮遊するようにした。更に対照区として常時浮遊培養している無干出試験区を設け、前期干出試験区と対比せしめた。培養温度 18~20°C、培養日数 7 日間 (日令 35~42 日)、明期 8 時間/日、水中平均照度 10 klux、サンプル葉体は人工海水にて人工培養せるチシマクロノリ *Porphyra umbilicalis* を用いた。通気空氣中には明期に 0.05~0.4% の炭酸ガスを添加し暗期はこれを除き、通気量は明期 5 l/min、暗期 1 l/min、とし槽底のエアストーンによつて

Fig. 3. Apparatus for measuring the growth change of *Porphyra* sp. caused by the exposure in air.

微細化し供給した。従つて全干出試験区は明期常に飽和湿度の空氣にさらされている状態となるわけである。培養海水は人工海水 ASP-6 を須藤の処方にしたがつて改変したものを用いた⁸⁾。

結 果

光合成能 干出状態におかれた葉状体の光合成能は実験の結果 Table 1 のごとくであり、これを整理して図示したものが Fig. 4 である。これらの結果をみるに葉状体の光合成能は干出時といえどもなお充分認められる。更に詳しくは光合成能は日令 46~55 日の葉状体の間ではほとんどその差は認められず日令に

Table 1. Photosynthesis of *Porphyra* sp. during the exposure in atmosphere.

Age of fronds	Equilibrated relative humidity	Water contents, of fronds	CO ₂ concentration in vessels	Photosynthesis (absorption) (vol. of CO ₂)	Remarks
(days)	(%)	(%)	Initial~final (%)	(CO ₂ ml/g(dry)hr)	L = light period D = dark period
52	100	86	2.38~1.84 1.84~1.33	37.4 35.6	L
52	100	86	2.41~1.83 1.83~1.31	40.4 36.2	L
52	100	86	1.34~0.98 0.98~0.55	25.2 29.9	L
52	100	86	1.50~1.05 1.05~0.67	31.4 26.4	L
52	100	86	1.52~1.09 1.09~0.67	30.1 26.5	L
53	80	34	1.04~0.64 0.64~0.36	28.4 19.9	L
53	80	34	1.90~1.36 1.36~0.90	37.9 33.0	L
54	60	16	1.44~1.19 1.19~0.93	18.7 17.5	L
54	60	16	1.90~1.59 1.59~1.31	20.0 18.0	L
54	60	16	1.85~1.58	18.2	L
55	40	8	1.27~1.27 1.27~1.27	0 0	L
55	40	8	1.47~1.47 1.47~1.47	0 0	L
51	100	86	1.20~1.20 1.20~1.20 1.20~1.20	0 0 0	D
46	100	86	1.210~0.388	28.6	L
47	70	24	0.970~0.490	21.0	L
48	55	13	0.960~0.606	12.3	L
49	40	8	1.050~1.040	0.50	L

Fig. 4. Relation between water content of *Porphyra* fronds and photosynthesis. (○—○ CO₂ 2% age 52~55, ○---○ CO₂ 1% age 52~53, ×---× CO₂ 1% age 46~49)

量で比較すると、対照区の 0.64~0.71 にしか達していない。しかしながらこのような明期を全干出するといつた苛酷な条件下でも葉状体は充分生育し、更にエリスロシン染色による障害率をみると、その結果は対照区の値に比して著しく低く、いわゆる健全な葉状体になっていることがわかった。

考 察

天然の漁場でアマノリが養殖される場合に干出の有無、乃至はその必要性、あるいは張網の高低による生長率の相異はしばしば論議されるところである。天然海域での干出にはしかし単に気相中に葉状体が露出するということと、気相中で日射、通風により風乾されるということが常に混在し、したがって干出の結果がいずれの理由に基くものか不明で、またこれを分別解析する手段もなかつた。しかし本実験の結果からを検討するに次のように考えられる。

葉状体は飽和湿度中ではほぼ水中と同等の光合成能を有しているが、乾燥によつて逐次その能力は低下する。例えば Table 1 及び Fig. 4 より飽和湿度中の炭酸ガス吸収能は 40 ml/g(dry)hr 程度であるが、一方見らが天然海域で求めた水中での光合成量も日令による相違はあるが日令 40~50 日前後では 30 ml/g(dry)hr であり大略上記飽和湿度気中の値と一致する⁹⁾。即ち干出中といえども飽和湿度下の状態では光合成能は水中とかわらない。しかるに葉状体が乾燥してその水分含量が低下し、40% 附近まで乾燥すると光合成能は急激に低下し 20~25% 程度では飽和湿度下の値の半量にまで低下する。このことは尾形らが呼吸について求めたものと大体類似している⁵⁾。ところで天然海域での干出時のアサクサノリ葉状体の水分含量は著者らが前報で報告したように有明海においては Fig. 5 のごとくであつて、図からもわかる通り天候、気象風力などによつて差はあるが、大体干出後 2~3 時間を経ると水分含量 20~25% を割り、したがって光合成能はこの時点でほとんど失われると考えられる。逆に言えば干出後時 2~3 間の範囲内では光合成はなおかなり持続し得たと推定されるわけで、干出時間を平均 4 時間とするならばその大半は光合成能は残存し、炭酸ガスの吸収は行われていたと考えられる。干出時間は潮汐の大小、地方差などによつて一定でないが有明海では大略 4 時間前後であつたし、その他の地方では比較的これより短いのが通常であるので光合成能の残存は更に大きな割合で存在したと考えられる。勿論、葉状体が相互に重なり合つて光線の到達を阻害するとか

よる差はこの限りでは無視できる。しかるに葉状体の水分含量が変化すると、光合成能は著しく変化し、水分含量が 10% 以下では全く炭酸ガスの吸収は認められないが 20~25% 程度までは飽和時の約半分的能力を維持している。また気相中の炭酸ガスの濃度によつても変化し Table 1 の各項でみるに、炭酸ガス濃度の間で濃度の高い上段と濃度の低い下段の平均をとつてみると、上段は濃度が 1.71~1.30% でこの時の炭酸ガス吸収量は 29.98 ml/g(dry)hr、一方下段は濃度が 1.30~0.89% で炭酸ガスの吸収量は 28.11 ml/g(dry)hr と高濃度になると吸収はやや高まる。

生長 全明期期間中を気相中に放置した干出試験区の葉状体と対照区の無干出試験区葉状体のそれぞれの生長経過を示すと Table 2 のとおりである。この結果を調べると、生長は干出試験区の 2 例とも供給空気中の炭酸ガス濃度の相違によつて若干日生長率に差があるが、いずれも対照区の無干出浮遊培養のものに比して悪く 7~8 日培養した後の乾燥重

Table 2. The change of the growth and injury of *Porphyra* sp. caused by the exposure in atmosphere.

		Test No. 1				Test No. 2					
		Test culture*		Control culture		Test culture				Control culture	
		light	dark	light	dark	light	dark	light	dark	light	dark
Condition	Aeration (l/min)	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
	CO ₂ content in air	0.2	0	0.05	0	0.05	0	0.4	0	0.05	0
	Surface area of exp. (cm ²), water vol. (l)	370	16	12	12	370	16	370	16	12	12
	Light intensity (klux)**	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0
	Relative humidity of air (%) or pH of water	100~95	7.8~8.0	8.3~8.0	7.9~8.0	100~95	7.9~8.0	100~95	7.9~8.0	8.3~8.0	7.9~8.0
	Concentration of fronds (mg dry/l) { initial final	4.6	10.9	14.6		4.3	10.3	4.3	10.3	13.8	
		12.3	29.2	50.5		12.4	29.2	13.6	32.2	60.2	
Test period (days) (age of fronds)		7(35~42)				8(40~48)					
Result	Weight of fronds { initial(wet)[dry] final(wet)[dry]	1.000 [0.175]	1.000 [0.175]		1.000 [0.165]	1.000 [0.165]		1.000 [0.165]			
		2.330 [0.466]	4.038 [0.605]		1.880 [0.466]	2.065 [0.516]		3.210 [0.722]			
	Specific growth rate (%/day)	15.0	19.4		16.0	17.7		23.5			
	Ratio of specific growth rate (%)	77	100		68	75		100			
	Degree of injury (%)				0.12	0.15		2.06			
	Ratio of injury (%)				6	7		100			

* Test culture were exposed in air during light period.

** Light intensity were measured on the surface of exposed fronds about test culture, and were measured in the suspension of fronds about control culture.

Fig. 5. Change of water content of *Porphyra* fronds with culture net during the exposure in the sea.

○-○	11th Nov.	VF-1~2-16
△-△	15th Nov.	VF-5~9-15
×-×	12th Nov.	C~F-5~10-14
☉	23rd Oct.	C-5~7-19
☉	29th Oct.	VF-1~21
☉	28th Oct.	C-10~17
☐	14th Oct.	F-3~6-25

(mark) (date) (climate)-(wind)-(temp.)

{	climate	VF: very fine
		F: fine
		C: cloudy
	wind	m/sec
	temp.	°C

}		

あるいは日射の輻射熱によつて著しく温度が変化するという現象が併存する場合には結果はまた異つて現われようが、比較的日令の若い小さな葉状体の時期に就いてはかかる問題は生じ難いので光合成能の残存は充分あり得ると思われる。

ところで光合成の有無とは別に葉状体そのものの生長を追つてみると、Table 2 に明らかなように干出によつて生長はかなり低下し、乾燥の程度とは無関係に悪い。即ち水中に常時浮遊培養しているものと比較すると全明期を干出したものは7日間の培養で浮遊培養のものの60~70%の重量増しか示さず、日生長率でも浮遊培養のものの75%程度にしか達していない。ここでいう日生長率とは次式で示される r に相当するもので、これが対照区の浮遊培養のものの75%にしか達していないという意味である。

$$S_n = a(1+r)^{n-1}$$

S_n ; n 日目の葉状体重量, a ; 実験開始時の葉状体重量, n ; 実験開始時よりの日数

光合成能が上述のように飽和湿度下では水とほとんどかわらないにもかかわらず、生長がこのように低いのは何故か、その原因は直接的に本実験から求めることはできない。しかし、おそらく本来光合成と同時に水中から吸収されているであろう窒素化合物、リン酸化合物などの吸収が全く行われなかつたことに大きな原因があつたと考えられる。例えば放射性同位元素 (C^{14}) を用いた吸収実験ではアミノ酸類や尿素の葉体への吸収はほとんど明期に限られる¹¹⁾のでこのような影響があらわれたのかもしれない。しかしながら一般に基本的な栄養分に乏しい海水に生育した葉状体は色調、光沢、更に化学的組成において栄養分に富んだ海水で育つたものに比して差異が認められるのが普通であるが¹⁰⁾、これに反してこの干出試験区の葉状体は濃い色調と秀でた光沢を有し、むしろ無干出の対照区のものよりすぐれた品位を肉眼的には示した。このことは光合成によつて生じたエネルギーの蓄積が高い場合には明期以外にもアミノ酸類、尿素の吸収があるとするべきなのか、あるいはアミノ酸、尿素以外の窒素化合物は暗期にも吸収されると考えるべきなのか等、種々の推論を抱かせるが、少なくとも暗期にある程度の窒素化合物、リン酸化合物などの吸収があつたと考えるべきである。従来から張網の高低によつて生長速度に差異のあることが認められているが、この点を干出時間の長短の差と考へて単純に本実験の結果を比例的に適用してみると、炭酸ガス濃度の低い Table 2 の test No. 2 葉状体が何故健全度が高いのか、その生理的背景は何であるのか、などは現在不明であり今後の検討をまたねばならないが例えば顕微鏡所見でも、無干出の対照区と比較すると細胞の配列状態にも緊密感があり更に追究してみたいと考えている。

以上種々の点で不明な所もあるがノリ葉状体の干出時の光合成について調べた結果、光合成と平行して養分の吸収が行われているらしいこと、乾燥とは無関係に干出によつて健全度の向上が果せることなどの示唆を得ることができた。

要 旨

1. 干出時のアマノリの光合成能を炭酸ガスの吸収によつて測定した結果、光合成能は干出も明らかに残存し、その程度は葉状体の含水率によつて大きく変化し、日令によつては余り変らないことを認めた。
2. 天然海域での干出時も光合成能はかなり残存し、干出後2時間は水中時の50~70%残存していると推定される。
3. 明期全期を飽和湿度空气中に干出させて生育した葉状体の生長は水中浮遊培養のものに比しておそく日生長率比で68~77%に止つたがエリスロシン染色による障害率は非常に低く対照の6~7%にすぎなかつた。
4. 天然漁場での干出による障害率の増加は干出によつて生ずる二次的環境変化に起因すると推定される。

文 献

- 1) 大野正夫・新崎盛敏: 昭和42年度日本水産学会年会講演要旨 64 pp. (1967).
- 2) 殖田三郎: 海苔養殖読本 (全国海苔貝類漁業協同組合連合会) 137~147 (1958).

- 3) 野沢治治：葉面撒布に関する研究 (1954).
- 4) 尾形英二：本誌，**29**，139～145 (1963).
- 5) 尾形英二・松井敏夫：本誌，**29**，991～995 (1963).
- 6) 今田 克・安藤 真・前木 樹：本誌，**35**，362～378 (1969).
- 7) 愛知水試：水産庁指定研究，適地適種浅海増殖技術研究報告 (1967).
- 8) 須藤俊造：農産加工技術研究会誌，**8** (1)，52～59 (1961).
- 9) 里見雅子・有賀祐勝・岩本康三：本誌，**34**，17 (1968).
- 10) 富士川竜郎・八尋政利・樋口俊弘・和田正太：昭和 44 年度日本水産学会 年会講演要旨，94 pp. (1969).
- 11) 今田 克・斎藤祐一・安藤 真：日本水産学会（昭和 45 年度）で発表.