

緑藻類アナアオサ *Ulva pertusa* の酸素収支の日周変化

平田八郎・新納正也・石橋泰典・熊井英水

近畿大学農学部水産学科

Diurnal Changes of Oxygen Budgets in Chlorophyta *Ulva pertusa*

Hachiro HIRATA, Masaya NIRO, Yasunori ISHIBASHI and Hidemi KUMAI

Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Kinki University

3327-204 Nakamachi, Nara 631-8505, Japan

E-mail: hirata@m3.people.or.jp

Synopsis

Chlorophyta *Ulva pertusa* is easy to polyculture with fish in mariculture farms. Therefore, it has become a useful seaweed for the mitigation of eutrophication in these farms. In order to determine the oxygen budgets for this species, an experiment was conducted to monitor their respiration in culture. A respiration chamber of 750 ml was made by combining two glass funnels of a membrane filter. One g of *U. pertusa* was set in the chamber. The experiment was carried out on a window side of the rearing laboratory from January 5 to 11, 1997. Sea water in the tank in which was cultured the devil stinger *Inimicus japonicus* was pumped into the chamber by a peristaltic pump at a rate of 30 ml/min. The inlet water and outlet water of the chamber were drifted alternately to an oxygen electrode cell every 15 minutes. The process of which was controlled by a timer. The dissolved oxygen contents were continuously determined by a DO meter (YSI-57) and recorded on a pen-recorder (EYELA-TR-250). The difference of oxygen content between inlet and outlet was determined after the recordings.

The water temperature in the chamber was maintained at 23.4 ± 0.85 °C by a thermostat. Sun light was illuminated the chamber during the day.

The oxygen budgets in *U. pertusa* were affected by the weather. The amount of oxygen supplied by the *U. pertusa* was 22,238 ml/kg/d on cloudy days, 20,790 ml/kg/d on clear days, and 2,124 ml/kg/d on rainy days. The maximum amount of oxygen supplied was found on cloudy, not fine days. Total amount of oxygen produced during the day was 17,392 ml/kg/h, and the oxygen consumed at night was 4,728 ml/kg. The difference between production and consumption was +12,664 ml/kg. The oxygen produced during the day was 3.68 times greater than the oxygen consumed at night.

緒 言

一般に藻類は二酸化炭素を吸収して酸素を放出するが、魚介類は逆に、酸素を吸収して二酸化炭素を放出するので、両者の複合養殖は、相互扶助機能を活用した合理的な養殖システムといえる¹⁾。そのような意図から平田²⁻³⁾は1964年にトラフグ仔稚魚とアナアオサの複合飼育による種苗生産やアナアオサの混養による無通気種苗輸送を試行したが、当時はまだ環境問題

は重視されていなかったもので、それらの評価は低かったようである。そのような趨勢は、その後、1980～1990年代まで続いた。1990年ころから、養魚に伴う自家汚染の度合いが深刻化してきたので、再び藻類と魚介類の調和養殖が注目されるようになった。許・平田⁴⁾、長濱・平田⁵⁾、ダナクスマ・平田⁶⁾らをはじめ、同研究班⁷⁻¹⁰⁾は、アナアオサとマダイ、ヒラメ、クルマエビなどの複合飼育を試行し、それぞれその複合養殖は有為な生態効果をもたらす旨、報告している。

HIRATA and KOHIRATA¹⁰⁾はそれらの結果をイスラエルでのシンボジウムで紹介したが、それと相前後してイスラエルでも SHPIGEL *et al*¹¹⁻¹⁴⁾ や NEORI *et al*¹⁵⁻¹⁷⁾ らによって積極的にアオサ類と魚介類の複合養殖が行われるようになった。

アナアオサは葉体が硬いので振りかけ以外には人の食用に供されていなかった。また、その培養に関連した研究も殆どなされていなかった。しかし、アナアオサは強靱なので魚介類との複合養殖に適しており、その栽培に関する知見が必要になってきた。それで平田ら¹⁸⁾は基礎的にはアナアオサの成長日周変化を調べており、応用研究としてアナアオサの海面栽培法¹⁹⁾を開発し、実用化している。また、彼らは、海面生簀においてアナアオサとマダイの複合養殖を試行し¹⁸⁻²³⁾、日中のみ調査であるが、酸素は9%増加し、二酸化炭素は4%減少したと報告されている²³⁾。

しかし、植物は夜間には異化作用によって酸素を吸収するので、それとの複合養殖を行うに先立って日中における酸素生産と夜間における酸素消費との比率を把握しておくことが肝要である。それで本実験は、先に報告²⁴⁾したオニオコゼの酸素消費量の測定方法を準用してアナアオサの酸素生産量とその消費量の日周変化を追跡調査した。

材料および方法

本実験に供したアナアオサ *Ulva pertusa* (不稔性)は鹿児島湾平川沿岸から近畿大学農学部の圃場実験室に移植したものであり、移植後は人工海水(ニューマリンアート)で約1カ月間、3Lのフラスコ培養した後、本実験に供した。

アナアオサの酸素収支の測定は Fig.1 に示した平田ら²⁴⁾の自動測定装置によって行った。溶存酸素計は出力端子を有する YSI-57型を用いた。呼吸室(RC)は2個のメンブレンフィルター用透明ガラスロート(375 ml × 2個 = 750ml)の注水部を左右に組合せて作成した(Fig.1)。供試アオサは1g計量し、その内部に収容した。飼育水の塩分濃度は33 psuに調整した。その飼育水は2台のペリスタポンプ(P1・P2)を用い、約30 ml/minの割合で注入部と排水部から連続的に揚水し、タイマーによって2台の三方電磁弁(V1・V2)の「入り」「切り」を交互に作動させ、それぞれ15分毎に Fig.1の塗り矢印(左向き)と無塗り矢印(右向き)の方向へと交互に酸素電極部へ送水した。この操作により呼吸室の注入水と排水水の酸素濃度を DOメーターで測定し、その値は15分毎に2ペンレコー

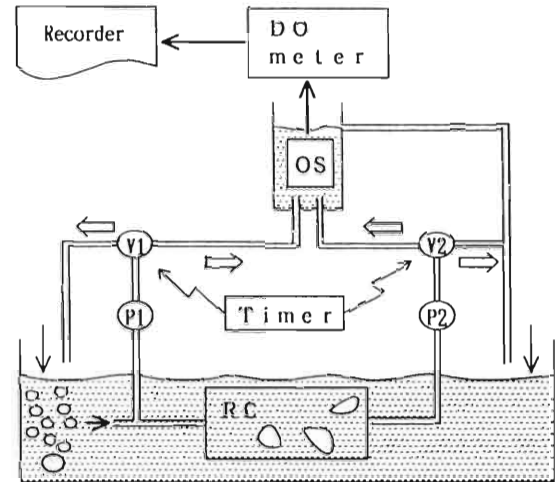


Fig. 1. Schematic diagram of respiration recorder for Chlorophyta *Ulva pertusa*.

RC: Respiratory chamber
P1 & P2: Peristaltic pumps
V1 & V2: Magnetic valves
OS: Oxygen sencer

ダー(EYELA-TR-250)で記録した。

測定実験は、1996年1月5日から同11日までの7日間継続的に行った。呼吸室は、市販60Lガラス水槽の中央部に静置した。その水槽は日当たりのよい飼育室南側のすりガラス窓際に設置した。実験中は、その水槽に常時、通気を施し、オニオコゼの飼育水を適宜換水することによって栄養塩類の補給を行った。飼育水温は23.4℃に加温サーモ器で調節した。実験の初日は予備飼育とし、上記レコーダによる記録は翌日から6日間継続した。その際、照度は小糸工業製の照度計で自記した。水温は最高最低温度計で手動観測した。

記録紙に記録された呼吸室の注入水と排水水の酸素量は、記録紙上から1時間当りの平均値を求め、次式により酸素消費量を算出した。なお、供用酸素計の表示単位はmg/lであったので、その表示は、呼吸測定の前法に準じてml/lに換算した。

$$\text{酸素消費量 (ml/kg/h)} = (D_1 - D_2) F/W$$

$$D_1 = \text{流入水の酸素量 (ml/l)}$$

$$D_2 = \text{流出水の酸素量 (ml/l)}$$

$$F = \text{時間当たりの呼吸室の流量 (l/h)}$$

$$W = \text{アナアオサの重量 (kg)}$$

結果および考察

酸素収支の日周変化

アナアオサによる24時間の毎時平均酸素収支は Fig. 2に示した。酸素生産は日の出の7時ころから開

始され、そのピークは10時ころに示された。その後、一時低下するが14時ころ再び高まりを示したが、日没前後の17時ころからマイナスへと下降した。その後、翌朝の7時ころまでは酸素量は200～300ml/kg/h程度で消費された。夜間における酸素量の消費はアナ

アオサの異化作用によるものと思われるが、日中の12時ころにおける一時的な酸素生産の低下が観察された。この点に関して平田ら4は、ポテンショメータ法でアナアオサの成長を調べた結果、成長は日中に一時横ばいすることが観察されている。日中における酸素生産の一時低下とその成長の一時低下とがどのように関連するのか、その原因は天候状態との相関性をも踏まえて今後の検討課題である。

日中における総酸素生産量は平均724.7ml/kg/hであり、夜間における総酸素消費量は平均197.0ml/kg/hであった。したがってアナアオサによる酸素生産量はその消費量の3.68倍であった。このような結果から、アナアオサの栽培は昼夜を総合して見ると酸素生産の方が消費量より約4倍も高いので、アナアオサと魚介類の複合養殖は環境保全の面で有意義なことと思われる。

酸素量の生産量と消費量の比率

1月7～8日と10～11日における供試アナアオサの酸素収支を晴天・曇天・晴/曇天の典型例としてFig.3A～Dに示した。また、日毎の酸素生産量、酸素消費量、その差(生産量-消費量)、および生産/消費の比率はTable 1に表示した。

アナアオサの酸素収支の日周変化は天候状態に大きく左右された。初日の1月6日は曇天であったが、生産/消費率は5.52でもっとも高い比率が算出された。翌日の1月7日は晴天であったが、その比率は3.69であった。次いで1月8日は雨天であったので、生産量より消費量の方が高い値が得られ、その比率は0.37であった。以後、1月9～11日間は曇天であったが、その比率は4.48～4.84であり、比較的高い率が示され

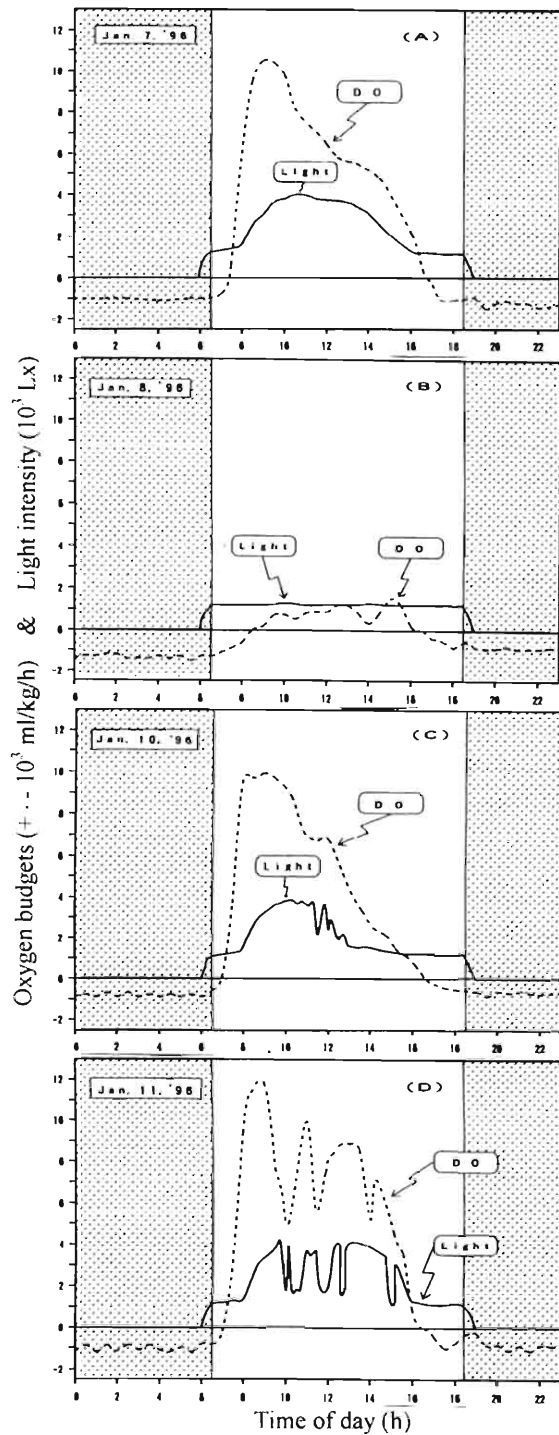


Fig. 2. Diurnal changes of oxygen budgets by Chlorophyta *Ulva pertusa* and light intensity in the laboratory set on the respiratory chamber.

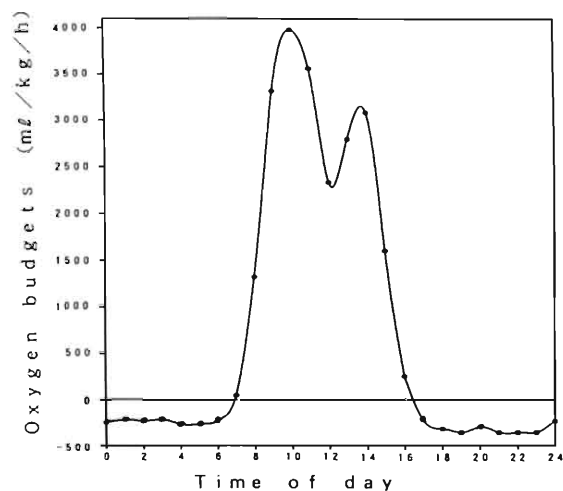


Fig. 3. Diurnal changes of average oxygen budgets in 6 days.

Table 1. Daily oxygen production and consumption by *Ulva pertusa* in culture

Date	Weather	Oxygen production (ml/kg/d) (A)	Oxygen consumption (ml/kg/d) (B)	Difference (ml/kg/d) (A-B)	Production/ Consumption (A)/(B)
Jan. 6	Cloudy	22,238	4,032	18,206	5.52
Jan. 7	Fine	20,790	5,634	15,156	3.69
Jan. 8	Rain	2,124	5,778	-3,654	0.37
Jan. 9	Cloudy	19,080	3,942	15,138	4.84
Jan. 10	Cloudy	17,964	4,302	13,662	4.18
Jan. 11	Cloudy	22,158	4,680	17,478	4.73
	Average	17,392	4,728	12,664	3.68

た。

本実験では曇天日の方が曇一つない快晴日より高い比率が得られたが、曇天でも晴れたり曇ったりの反復がアナアオサの代謝を刺激的に高めたものと推察される。特に呼吸室のような閉鎖的環境では、快晴の場合は水中の二酸化炭素の継続的利用による消滅、つまりその補給がないので、こうしたアナアオサの代謝を低下したと思われる。この点もアナアオサの生理等に関連して興味深い問題であり、今後、アナアオサの呼吸と成長と細胞形態等のパラレルな観察によってその原因が解明されるであろう。

要 約

アナアオサと魚介類の複合養殖における酸素収支を解明する目的で、アナアオサの酸素収支を日周変化の面から自動的に記録した。その測定は平田ら³⁾のオニオコゼの呼吸測定法に準じて行った。アナアオサは7時から16～17時ころまでの日中には酸素放出によりその放出量は約4000 ml/kg/hに達したが、夜間には200～300 ml/kg/h程度の酸素吸収が観察された。日中の正午前後に酸素放出量の一時低下が見られたが、それはアナアオサの生理機構によるものと思われた。

日中における酸素の総生産量は6日間平均で17,392 ml/kg/hであり、夜間における酸素消費量は4,728 ml/kg/hであった。よってその差は12,664 ml/kg/hであった。また、酸素の生産量は消費量の3.68倍と算出された。

謝 辞

本論文をまとめるに当り、アナアオサの成長日周性に関する貴重な実験資料をご教示してくれた近畿大学水産研究所白浜実験場の村田 修教授、石丸克也博士、山本真司技術員、および近畿大学農学部水産増殖学研究室4回生の竹内直樹氏に感謝する。

引用文献

- 1) 平田八郎：アオサの利用と環境修復(能登谷正浩編)，成山堂書店，東京，pp.227-237，(2000)。
- 2) 平田八郎：栽培漁業，1(1)，1-5，(1964)。
- 3) 平田八郎：養殖，1(11)，31-37，(1964)。
- 4) 許 波濤・平田八郎：水産増殖，38(2)，177-182，(1990)。
- 5) 長濱豊一・平田八郎：水産増殖，38(3)，285-290，(1990)。
- 6) 許 波濤・平田八郎：水産増殖，38(2)，177-182，(1990)。
- 7) ダナクスマE・平田八郎：水産増殖，38(2)，195-200，(1991)。
- 8) 許 波濤・平田八郎：水産増殖，40(2)，207-213，(1992)。
- 9) 許 波濤・山崎繁久・平田八郎：水産増殖，41(4)，461-468，(1993)。
- 10) HIRATA, H. and E. KOHIRATA: *Israeli J. Aquacul.-Bamid.*, 44, 123-152, (1993)。

- 11) SHPIGEL, M., A. NEORI, D. M. POPPER, and H. GORDIN: *Aquaculture*, 117, 115-128, (1993).
- 12) SHPIGEL, M., NEORI, A., and A. MARSHALL: *Israeli J. Aquacul.-Bamid.*, 48(4), 192-200, (1996).
- 13) SHPIGEL, M. and A. MEORI: *Aquacul. Eng.*, 15(5), 313-326, (1996).
- 14) SHPIGEL, M., N. L. RAGG, I. LUUPATSCH, and M. NEORI: *J. Shellfish Res.*, 18(1), 227-233, (1999).
- 15) NEORI, A., N. L. C. RAGG, and M. SHPIGEL: *Aquacul. Eng.*, 17, 215-239, (1998).
- 16) NEORI, A. and M. SHPIGEL: *World Aquacul.*, 46-51, (1999).
- 17) NEORI, A., M. SHPIGEL, and B. SCHARFSTEIN: *Eur. Aquacul. Soc. Special Pub.*, 29, 235-236, (2001).
- 18) 平田八郎・水田奈津江・新納正也：近畿大農紀要, 33, 19-23, (2000).
- 19) 山崎繁久・松田宗之・山内達也・平田八郎：水産増殖, 44(4), 413-418, (1996).
- 20) 山内達也・松田宗之・山崎繁久・平田八郎：養殖, 38(5), 68-71, (1994).
- 21) 松田宗之・山内達也・山崎繁久・平田八郎：養殖, 33(3), 129-131, (1996).
- 22) HIRATA, H., S. YAMASAKI, H. MAENOSONO, T. NAKAZONO, T. YAMAUCHI, and M. MATSUDA: *Suisanzoshoku*, 42(2), 377-381, (1994).
- 23) 平田八郎・新納正也・石橋泰典・熊井英水：水産増殖, 49(4), 469-474, (2001).