

クルマエビ養殖池のブラウンおよびグリーン海水の水質特性

誌名	水産増殖 = The aquiculture
ISSN	03714217
著者	田中, 啓陽 門脇, 秀策
巻/号	43巻1号
掲載ページ	p. 119-124
発行年月	1995年3月

クルマエビ養殖池のブラウンおよびグリーン海水の水質特性

田中啓陽¹⁾・門脇秀策²⁾

(¹⁾香川大学農学部, ²⁾鹿児島大学水産学部)

Environmental Characteristics of Brown and Green Waters in Culture pond of Kuruma Prawn, *Penaeus japonicus* Bate

Yoshiaki TANAKA and Shusaku KADOWAKI

Abstract

It is well known that there is a close relationship between pond water color during the culture period and final yield in prawn culture. Water coloration in the pond is divided broadly into brown color (brown water) and green color (green water). The purpose of this paper is to present the environmental characteristics of brown and green waters. The results obtained were as follows:

1) There was a difference in optical properties (transparency and extinction coefficient) between the brown and green waters.

2) Neglecting the effect of zooplankton respiration, bacterial respiration and phytoplankton respiration account for the total oxygen consumption in the pond water. An experiment was designed to distinguish bacterial respiration from phytoplankton respiration. Phytoplankton respiratory rate was responsible for 92 % and 46 % of the total respiration in the brown and green waters, respectively.

3) Regarding the relationship between dissolved inorganic nitrogen (DIN) and inorganic phosphate (IP) concentrations in pond water, brown and green water were clearly classified into two groups of DIN/IP ratio respectively over and under 3.5. It is suggested that phytoplankton composition and consequently water coloration in the pond depend on the DIN/IP ratio of sea water.

クルマエビ養殖池では珪藻を主としたブラウン色を呈する海水が一般的である。近年、ブラウン色の海水(ブラウン海水)からグリーン色の海水(グリーン海水)への変遷がしばしばみられる。Gomes¹⁾はグリーン海水を呈する養殖池の生産性はブラウン海水の約1/2に

低減するとし、また、ブラウン海水を保持することがクルマエビのストレスおよび病気を予防・治療に役立つと報じている。このことは業者間においても経験的に良く知られていることであり、現場においてもブラウン海水の維持管理に多くの努力が注がれている。

受領日：1994(H6)年9月27日

索引語：消散係数/ブラウン海水/グリーン海水/酸素消費速度

連絡先：〒899-14 鹿児島県出水郡東町諸浦1620 鹿児島大学水産学部附属水産実験所 門脇秀策

Address : S. KADOWAKI, Fisheries Research Laboratory Kagoshima University, Azuma, Izumi, Kagoshima, 899-14, Japan

これまでに、門脇・田中はクルマエビ養殖池の生態環境について報告してきた²⁻⁵⁾、その中でブラウンおよびグリーン海水について若干の検討を加えている。本報告ではブラウン海水およびグリーン海水それぞれの水質特性について、1) 光学的性状、2) 酸素消費速度および3) ブラウン海水およびグリーン海水の出現と栄養塩との関係の各視点から検討することにする。

方 法

前述の1) および3) の調査は熊本県天草沿岸域での築堤式のクルマエビ養殖池 (Fig. 1) で1993年8月16日から同年11月3日にかけて、34試水を対象に実施した。各養殖池では透明度および下方向照度を測定した。透明度は直径5 cmの白色板を用いて測定した。下方向照度は村山電気製作所の中照度計WL-2型を用いて水面下0.1 mおよび透明度深で計測し、透明度深までの平均消散係数を算出した³⁾。試水は採取した後、直ちにミリポアフィルターHAでろ過し、無機態Nおよび無機態PはそれぞれStrickland & Parsonsの方法⁶⁾によって分析した。海水中の細菌数の計測はミリポア社の総生菌数検査用のウォーターサンプラーMTを使用して、希釈法により求めた。総生菌数は従属栄養細菌の全菌数として表示される。植物プランクトンのChl. a濃度は吸光法で測定した。

海水の酸素消費速度の測定は、Fig. 1に示したO-1, O-2, M-1, M-7およびNの各養殖池の試水を使用した。海水の酸素消費速度の構成要素は、植物プランクトンによる酸素消費および細菌による酸素消費の二成分から構成されるとして⁵⁾次式で示した。

$$O_s = a \cdot (Bact) + b \cdot (Chl. a) \quad (1)$$

ここで、 O_s 、海水の酸素消費速度 ($mg O_2 / l \cdot h$)； $Bact$ 、細菌濃度 ($cells / l$)； $Chl. a$ 、クロロフィル a濃度 (mg / l)； a および b 、水温 θ °C における定数で、それぞれ ($mg O_2 / a \text{ cell} \cdot h$) および ($mg O_2 / Chl. a \cdot h$) の単位である。

(1)式からブラウン海水およびグリーン海水の二成分の酸素消費速度の各構成比を算出した。

結果および考察

透明度、消散係数、水色および栄養塩濃度に関する調査結果は Table 1 に一括して表示した。

1. 光学的性状

一般に、透明度 (T) と消散係数 (k_d) との関係は次式で表される⁷⁾。

$$k_d \cdot T = \alpha \quad (2)$$

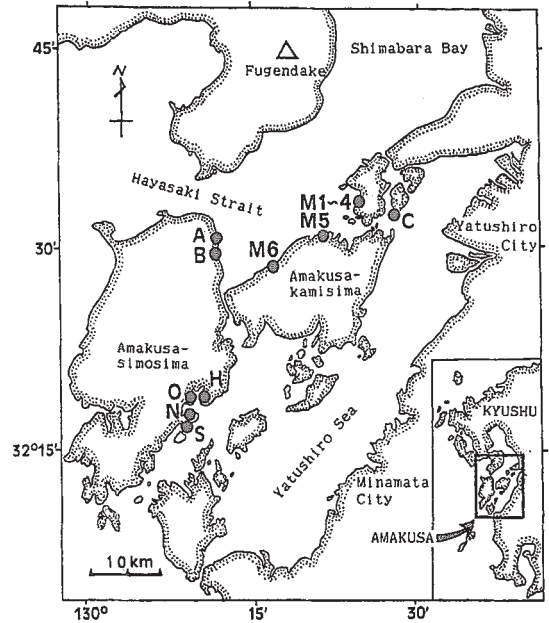


Fig. 1. Location of the kuruma prawn farms sampled.

ここで、 α 、定数である。

透明度と消散係数を両対数紙にプロットすると一1の勾配をもつ直線を示し、海水の光学的性状が異なると異なった α 値の位置にプロットされ、区分されることになる^{4,7)}。したがって、 α 値から海水の光学的性状を分析することが可能になる。Fig. 2は透明度と透明度深までの消散係数との関係を描いたものであり、ブラウン海水 (黒丸、実線) とグリーン海水 (白丸、破線) とに区別してプロットされる。水色は目視によって判定した。Fig. 2から、ブラウン海水およびグリーン海水の α 値はそれぞれ 1.39 ± 0.14 および 0.95 ± 0.13 となり、たとえ測定時の自然光条件が幾分変わることを考慮に入れても、ブラウン海水とグリーン海水とは異なった α 値によって区分されている。次に、各測点の α 値を求めるとブラウン色と判定した海水の α 値は1.15以上、グリーン色はそれ以下の値を示した。以上のことから、クルマエビ養殖池海水は水色によって明らかに異なった光学的性状をもつことが理解される。

次に、目視による水色の判別と同時にフォーレル水色標準液による水色の判定は8月30日から9月3日にかけて調査した7試水について実施した。それらの結果は Table 1 に付記した。ブラウン色はフォーレル水色標準液の17以上、グリーン色は16以下にそれぞれ

Table 1. Results of water quality in Amakusa area kuruma prawn ponds. B and G represent brown and green color, respectively

Date	St.	T (m)	k_d (ℓ/m)	DIN ($\times 10^{-2} \text{ mg}/\ell$)	IP	Color of water	Forel's scale of color
Aug. 16	O-1	2.00	0.48	8.96	2.85	G	-
	O-2	1.05	1.29	7.33	1.19	B	-
	S-1	0.45	1.46	3.09	3.13	G	-
	S-2	0.68	1.76	10.5	0.79	B	-
	H	1.45	0.79	3.22	1.26	G	-
17	A	0.92	1.36	4.17	0.66	B	-
	B	0.65	2.02	2.39	0.42	B	-
18	M-6	0.69	1.95	3.09	0.36	B	-
	M-1	0.52	2.72	8.78	1.92	B	-
	M-2	0.94	1.44	22.7	4.59	B	-
30	M-3	0.85	1.68	3.83	0.66	B	-
	M-2	0.55	2.54	4.84	0.56	B	20
	M-3	0.50	2.00	2.20	3.68	G	16
31	M-4	0.58	2.21	1.69	0.36	B	17
	M-6	0.39	3.17	69.7	0.42	B	17
Sep. 2	M-4	0.49	2.85	2.03	0.29	B	18
	M-2	0.70	2.23	22.9	2.10	B	19
24	M-3	0.63	2.67	27.4	7.81	B	17
	M-1	0.70	2.02	72.4	9.47	B	-
	N	0.85	1.25	5.59	0.65	G	-
Oct. 10	M-1	0.53	2.90	50.7	5.52	B	-
	M-1	0.40	3.58	4.19	0.53	B	-
19	N	0.66	1.46	2.48	0.76	G	-
	M-1	0.47	3.70	3.66	0.66	B	-
	N	0.98	0.95	16.9	8.49	G	-
25	M-1	0.48	2.66	11.9	0.99	B	-
	N	0.71	1.46	2.58	0.72	G	-
Nov. 1	M-1	0.60	2.27	37.1	0.79	B	-
	N	0.71	1.13	11.3	9.70	G	-
	M-1	0.45	3.43	22.2	0.59	B	-
16	N	0.65	1.26	14.1	4.70	G	-
	N	0.75	1.42	6.15	2.48	G	-
24	M-1	0.55	2.27	10.6	0.46	B	-
	N	0.65	1.61	26.9	11.5	G	-

対応した。

2. クルマエビ養殖池海水の酸素消費速度

前報⁴⁾では水温 20℃, 25℃および 27℃においてクルマエビ養殖池海水および珪藻培養海水などを対象にして(1)式の各パラメーターを定め、海水の全酸素消費速度を細菌による酸素消費速度と植物プランクトンによる酸素消費速度に分別した。その結果は文献4)の Table 1 に一括表示してある。

そこで、本研究では 25℃および 27℃のクルマエビ養殖池海水の結果をさらにブラウン海水とグリーン海水に分別し、海水の全酸素消費速度に寄与する細菌の酸素消費速度と植物プランクトンの酸素消費速度の割合をそれぞれ算出して再検討した。その結果は Table

2 に示した。全酸素消費速度に対する植物プランクトンの寄与率はグリーン海水で平均 54.2% およびブラウン海水で平均 92.0% になる。他方、Narragansett Bay の海水では全酸素消費速度に対して細菌の酸素消費速度の割合は 42.5% から 62.5% の範囲であったという⁸⁾。この結果はグリーン海水の値に比較的類似している。これに対して、ブラウン海水は植物プランクトンによる酸素消費速度の寄与率が著しく高いのが特徴的といえる。

植物プランクトンと細菌との関係について、細菌の現存量のピークは植物プランクトンの光合成活性と相関するといった、植物プランクトンがその代謝活性を通して細菌の分布に影響を与えるとしている⁹⁾。他方、

in vitro の実験では珪藻、黄色鞭毛藻および褐色鞭毛藻の数種による抗菌物質の生産・排出によって、細菌の増殖が抑制され、しかも植物プランクトンによる抗菌物質の排出に種特異性のあることを示している¹⁰⁾。なお、その実験に用いた珪藻は *Skeletonema costatum*,

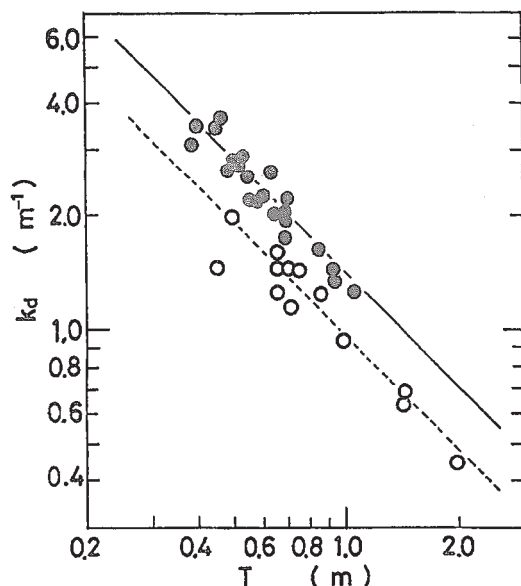


Fig. 2. Relationship between transparency (T) and extinction coefficient (k_d) in kuruma prawn ponds. Closed circles and open circles indicate brown and green color water, respectively.

Table 2. Respiratory rates of brown and green waters

Color of water	W.T. ($^{\circ}$ C)	Water oxygen consumption ($\text{mg}/\ell \cdot \text{h}$)	Bacterial respiration (%)	Phytoplankton respiration (%)
Green	25	0.110	50.9	49.1
		0.110	42.4	57.6
	27	0.188	31.5	68.5
		0.287	55.5	44.5
		0.194	48.5	51.5
mean	0.178	45.8	54.2	
Brown	25	0.133	22.7	77.3
		0.063	9.6	90.4
		0.131	8.8	91.2
	27	0.168	3.2	96.8
		0.200	15.2	84.8
		0.150	4.8	95.2
		0.150	4.6	95.4
		0.287	1.6	98.4
		0.132	1.3	98.7
mean	0.157	8.0	92.0	

Phaeodactylum tricornutum および *Cyclotella nava* である。また、Sieburth と Prett¹¹⁾ は *S. costatum* が抗菌物質を生産することを明らかにしている。さらに、クルマエビ養殖池の植物プランクトンおよび細菌のそれぞれの変化率の間には負の相関関係があることも報じられている⁵⁾。本実験に用いたブラウン海水の植物プランクトンの優占種の一つは *Skeletonema sp.* である。

以上のことから、ブラウン海水の場合、海水の全酸素消費速度に対する植物プランクトンの酸素消費速度の寄与率が高いのは、珪藻による抗菌物質の排出が細菌濃度に大きく影響を与えていることを示唆している。

3. ブラウン海水およびグリーン海水の出現と栄養塩との関係

Table 1 に示した各試水の無機態窒素濃度 (DIN) と無機態リン酸濃度 (IP) との関係は Fig. 3 に示した。Fig. 3 にプロットした黒丸と白丸はそれぞれブラウン海水およびグリーン海水である。ブラウン海水およびグリーン海水の各点は $\text{DIN}/\text{IP}=3.5$ (原子比: 7.8) の直線を境に、それ以上でブラウン海水、以下でグリーン海水に分別された。

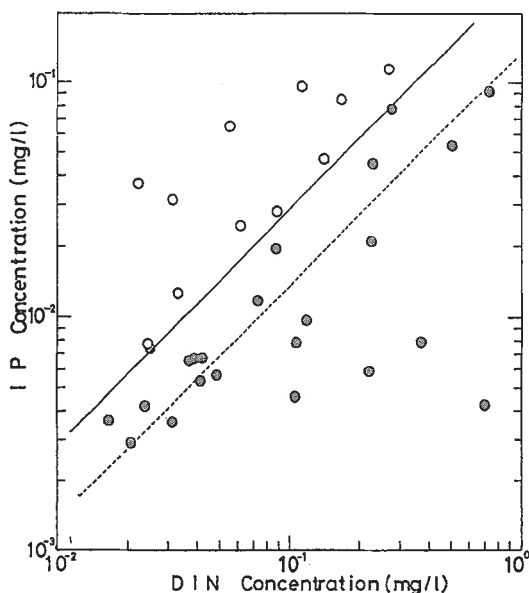


Fig. 3. Relationship between dissolved inorganic nitrogen (DIN) and inorganic phosphate (IP) of sea water in kuruma prawn pond. Solid and dotted lines indicate DIN/IP atomic ratios of 16 and 7.8, respectively. Symbols are the same as those in Fig. 2.

測定した栄養塩濃度が植物プランクトンの吸収後の結果であると捉えるならば、両者を直接対置させての議論には疑問を呈することになる。しかし、半閉鎖性で、しかも給餌をともなうクルマエビ養殖池での栄養塩濃度は主として糞、残餌等の有機物の酸化分解過程の溶出と植物プランクトンの光合成に伴う吸収との連続作用の過程での両者のバランスによって決まるものであり、植物プランクトンの現存量の変化は養殖池の利用可能な栄養塩レベルの変化に非常に緩慢な速度で移行されることになる¹²⁾。そこで、植物プランクトン濃度と栄養塩濃度との関係を比較的短いタイムスパンでみれば、両者の関係はマクロ的にバランスが保たれていると考えられる。したがって、両者を直接対置させての議論は可能であろう。

植物プランクトンの光合成に伴うN、P要求量の割合はプランクトンモデルによる化学量論的割合からN/P（原子比）が16としている¹³⁾。室内培養実験での植物プランクトンのN/P成分比（原子比）は緑藻（*Stichococcus* など4種）では6.6、珪藻（*Nitzschia*）では11.6を示し、海域から採取した植物プランクトンでも類似の結果を得ている¹⁴⁾。Parsonsら¹⁵⁾は緑藻3種および珪藻4種の植物プランクトンのN/P成分比は平均値で5.8および9.2と報告している。このように、植物プランクトンのN/P成分比は緑藻で低く珪藻で高い、いかえれば、緑藻のN/P成分比はN原子に対するP原子の量比が珪藻の場合より2～3倍高いことになる。また、緑藻は普通の海水のN/P比よりもPが約3倍多い水中でよく増殖するという実験結果もあり¹⁶⁾、緑藻と珪藻では水中のDIN/IP比に対する反応およびそれぞれの成分比に基本的な相違があるようである。以上のことから、Fig. 3は海水中のDIN/IP比が低く推移すると緑藻の成長速度が高くなり、植物プランクトンの組成が珪藻から緑藻へと移り変わったと理解される。

つぎに、クルマエビ養殖池のDIN/IP比が海域の値に比べ著しく低減する要因について、水中および底堆積物内でのPの挙動から考察を加える。酸化還元過程に伴うPの挙動は次のように説明される¹⁷⁾。酸化過程において磷酸イオンは水酸化第二鉄が形成される際に不溶性の磷酸第二鉄を共沈して堆積する。堆積物が次第に還元状態へと移行すると硫化鉄が形成され、その結果、磷酸として堆積物から水中に再溶出されるという。したがって、クルマエビ養殖池の酸化過程では磷酸は鉄とともに堆積するが、養殖日数の経過とともに負荷有機物が蓄積し、しかも高水温期とかさなれば

底堆積物は著しい速度で還元状態へと移行し、硫化鉄の形成によって堆積物から磷酸が溶出される。その結果、水中のDIN/IP比は著しく低減していくことが考えられる。なお、熊本県水産研究センターによる定点観測のうち、天草沿岸域での測点結果¹⁸⁾によれば、平成五年度（年4回測定）の平均DIN/IP（原子比）は8.6を示した。

要 約

クルマエビ養殖池の海水はブラウン海水およびグリーン海水に分別される。本報は、クルマエビ養殖池の生態環境の視点から両海水の水質特性を検討し、次の知見を得た。

1) 透明度および消散係数の関係からブラウン海水およびグリーン海水は異なった光学的性状をもつことを明らかにした。

2) 海水の酸素消費速度は植物プランクトンの酸素消費速度と細菌の酸素消費速度から構成されるとし、それぞれの構成比をみると、植物プランクトンによる酸素消費速度はブラウン海水では92.0%と高い寄与率を示すが、グリーン海水では54.2%を示し、両海水の酸素消費速度の構成比に著しい差異がみられた。

3) 海水の無機態窒素濃度と無機態磷酸濃度との関係から、DIN/IP比が3.5の直線を境にして、それ以上でブラウン海水、それ以下でグリーン海水が形成され、養殖池海水のDIN/IP比が水色、すなわち植物プランクトン組成に大きく関与していることが示唆された。

文 献

- 1) Gomes, L. A. (1993): Zen and the art of aquafarming. *J. World Aquacul. Soc.*, 23(3), 18-26.
- 2) 門脇秀策・田中啓陽 (1993): 透明度からみた養殖クルマエビの成長. *水産増殖*, 41(1), 61-65.
- 3) 門脇秀策・田中啓陽 (1993): 透明度からみたクルマエビ養殖環境の側面. *水産増殖*, 41(2), 203-209.
- 4) 門脇秀策・田中啓陽 (1994): 海水の酸素消費速度の内容構成. *水産増殖*, 42(2), 267-272.
- 5) 門脇秀策・田中啓陽 (1994): クルマエビ養殖池海水の植物プランクトンと細菌との関係. *水産増殖*, 42(2), 371-375.
- 6) Strickland J. D. and T. R. Parsons (1972): A practical Handbook of Seawater Analysis. *Fish. Res. Bd. Canada Ottawa, Bull.*, 167.

- 7) Tibby, R. B. and J. L. Barnard (1964): Advances in water pollution research III. Ed. by E. A. Pearson. pp. 219-242.
- 8) Pratt, D. M. and H. Berkson (1959): Two sources of error in the oxygen light and dark bottle method. *Limnol. Oceanogr.*, 4(3), 341-344.
- 9) 門田 元・田中信彦・中西正巳 (1975): 湖水の生態系における植物プランクトンとバクテリアとの関係. 微生物生態研究会編, 微生物の生体(1)方法論をめぐって. 東京大学出版社, 37-50.
- 10) Duff, D. C., D. L. Bruce and N. J. Antia (1966): The antibacterial activity of marine plankton algae. *Can. J. Microbiol.*, 12(5), 877-884.
- 11) Sieburth, J. McN. and D. M. Pratt (1962): Anticolliform activity of sea water associated with the termination of *Skeletonema costatum* blooms. *Trans. N. Y. Acad. Sci.*, 24(5), 498-501.
- 12) 坂本 充 (1973): 淡水域の富栄養化. 日本水産学会編, 水圏の富栄養化と水産増養殖, 恒星社厚生閣, 9-28.
- 13) Richard, F. A., J. D. Cline, W. W. Broenkow, and L. P. Atkinson (1965): Some consequences of the decomposition of organic matter in Lake Nitinat, an anoxic fjord. *Limnol. Oceanogr.*, 10, R185-R201.
- 14) Ketchum, B. H. and A. C. Redfield (1949): Some physical and chemical characteristics of algae growth in mass culture. *J. Cell. Physiol.*, 33, 281-299.
- 15) Parsons, T. R., K. Stephens and J. D. H. Strickland (1961): On the chemical composition of eleven species of marine phytoplanktons. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 18(6), 1001-1016.
- 16) Ryther, J. H. (1954): The ecology of phytoplankton blooms in Moriches bay and great south bay, New York. *Biol. Bull.*, 106, 198-209.
- 17) 小山忠四郎 (1975): 湖沼堆積物の物質変化の機構に関する生物地球化学的考察. 水処理技術, 16(1), 19-38.
- 18) 熊本県水産研究センター (1994): 漁場環境保全対策事業, 内湾・浦湾の定期調査. 平成五年度事業報告, 146-156.