

2・3の海産浮游幼生に及ぼす高温と 残溜塩素の影響について

平山和次・平野礼次郎*

Influences of High Temperature and Residual Chlorine on the Marine Planktonic Larvae

Kazutsugu HIRAYAMA and Reijiro HIRANO

Increased utilization of sea water for cooling purpose in electricity generating industry and in other industrial processes has made it necessary to consider the biological influences of its effluents on marine life in the adjacent area. Hence, as the direct influences of the effluents, the lethal points of high temperature and residual chlorine for marine planktonic larvae in various exposure periods were studied.

The experiments against high temperature were performed with the purple sea urchin (*Anthocidaries crassipina*) larvae in early stage (2-4 cells), blastula stage and pluteus stage, with the rock barnacle (*Balanus amphitrite albicostatus*) larvae in nauplius stage, and with the oyster (*Crassostrea gigas*) larvae in blastula stage. The lethal influences of residual chlorine on the blue mussel (*mytilus edulis*) in early stage (2-4 cells) and trochophore stage were studied in detail in relation to the exposure periods.

Results obtained are as follows.

1) As shown in Table 3, early stage larvae of the purple sea urchin have the least tolerance to high temperature among the examined larval animals. They cannot survive the treatment at the temperature of 33°C for 20 minutes. Nauplius II larvae of the rock barnacle have the most tolerance to high temperature being able to tolerate 40 minutes' treatment at 40°C.

2) TLm (median tolerance limit) of chlorine for the blue mussel larvae for 5 and 10 minutes exposure periods are shown in Fig. 1.

The 10 min-TLm values for early stage larvae (2-4 cells) and for trochophore stage larvae and the 5 min-TLm value for early stage larvae are shown as 1.15, 1.31 and 1.21 ppm., respectively. The differences among these values are minimal. However, the 5 min-TLm value for trochophore stage

* 東京大学農学部水産学科 東京都文京区弥生町

larvae, 2.37 ppm. is considerably high as compared with the other TLm values.

Accordingly, it is clear that within 5 min exposure period, the blue mussel larvae in late stage become more tolerate to chlorine along with the larval development.

These results suggest that within the extent of this experimental study, heated effluents in electricity generating industry facing the open sea may not bring at least the direct influences on marine planktonic larvae in the vicinity on account of their rapid diffusion.

近年、火力発電所をはじめ海水を冷却水として使用する機会が多くなり、その排水が水産動物に及ぼす影響について考慮する必要が生じてきた。それらの直接的な影響としては、復水器を通るために海水の水温が上昇すること、および、塩素を注入することにより海水中に遊離塩素が残溜すること、の二つが考えられる。高温の水産動物に及ぼす影響については、E. NAYLOR¹⁾ の綜述があり、また、残溜塩素の付着動物に及ぼす影響についても若干の研究^{2,3)} がなされている。しかし、これらが浮游幼生にどのような影響を及ぼすかについては、従来、あまり研究されていない。そこで、これらの点について、2・3の浮游幼生を用いて基礎的な実験を行なったので、その結果を報告する。

高 温 の 影 響

各種浮游幼生を飼育海水ごと、試験管、または、小型ビーカーにとり、これを一定時間温水中に浸漬した後、顕微鏡下でその生死を判定するとともに、以後の発生の進行状態を観察した。実験はそれぞれ2回づつ行ない、1回に20個体を観察した。なお、温水中に浸漬しなかった個体は1個体の死亡も認められなかったため、結果を示す表 (Table 1, Table 2) には、この対照実験の結果は表示しなかった。また、これらの表の浸漬時間とは、飼育水が所定の水温に到達してからの浸漬時間を示している。

a) ムラサキウニ (*Anthocidaris crassispina*)

電気刺激法、または、塩化カリ法により採卵・採精を行ない、人工受精によってえられた各発生段階 (2~4細胞期、胞胚期、およびプルテウス期) の幼生の致死限界を求めた。なお、各発生段階とも、同時に人工受精してえられたものを用いて実験を行なった。

結果は Table 1 に示した通りで、発生初期 (2-4細胞期) においては 33°C では 20分、40°C では 10分で完全に死滅する。さらに、胞胚期になると、37°C では短時間なら死滅はしないが、その後の発生過程に若干の遅れがみられた。しかし、胞胚期、プルテウス期と発生が進むにつれ、高温に対する抵抗力が増し、プルテウス期では、39°C で 30分、40°C では 10分が致死限界となる。

b) シロスジフジツボ (*Balanus amphitrite albicostatus*)

発生過程の進んだ卵巣卵を成体より取りだし、海水に浸漬することによりナウプリウス幼生をえた。さらに、それを趨光性を利用して集め、実験に供した。なお、フジツボ幼生は孵化後 2~3時間で脱皮し、II期ナウプリウスに変態するので、本実験では、II期ナウ

プリウスを用いて実験を行なった。

結果は Table 2 に示したが、ウニ幼生に比べかなり高温に対する抵抗性が強く、43°C では 40分でほとんど死に、45°C では 30分が完全に死滅する時間である。

Table 1. Number of deaths in 20 individuals sampled randomly from the purple sea urchin larvae exposed to high temperature.

Exposure period (min.)	Temperature		33°C		35°C		37°C		39°C		40°C			42°C
	Stage		E	E	B	B	P	E	B	P	E	B	P	P
10			0*	1	0	0*	0*	20	20	19	20	20	19	20
			0	0	0	0	0	20	20	20	20	20	20	20
20			19	20	0	0*	5**	20	20	20	20	20	20	20
			20	20	0	0	4	20	20	20	20	20	20	20
30			20	20	0	1*	19	20	20	20	20	20	20	20
			20	20	0	2	18	20	20	20	20	20	20	20
40			20	20	0	18	20	20	20	20	20	20	20	20
			20	20	1	19	20	20	20	20	20	20	20	20

E ; Early stage (2-4 cells)

B ; Blastula stage

P ; Pluteus stage

* Development delayed

** Inactive

Table 2. Number of deaths in 20 individuals sampled randomly from the rock barnacle larvae and oyster exposed to high temperature.

Exposure period (min.)	Temperature		37°C		40°C		42°C		43°C		45°C	
	Species		OB	OB	BN	OB	BN	OB	BN	OB	BN	BN
10			0	0	0	18	0*	0	0	0	0	0
			0	0	0	19	0	0	0	0	0	0
20			0	1	0	20	0*	0	0	0	0	0
			0	0	0	18	0	0	0	0	0	0
30			0	0	0	20	0	20	0	20	0	20
			0	1	0	20	0	20	0	20	0	20
40			0	2	0	20	19	20	19	20	19	20
			0	1	0	20	19	20	19	20	19	20

OB ; Blastula stage of oyster larvae

BN ; Nauplius II stage of the rock barnacle larvae

* Intermittent movement

c) マガキ (*Crassostrea gigas*)

成体の生殖巣から、卵および精子をえて人工受精し、胞胚期になったものを用いて実験した。結果は Table 2 に示したが、マガキの幼生は 40°C まではかなり長時間の浸漬に耐えることができるが、42°C では 10分間浸漬することにより大部分が死亡する。

以上の実験結果から、致死水温と作用時間との関係をとりまとめて Table 3 に示した。表にみられるように、ムラサキウニの発生初期 (2~4 細胞期) が最も高温に対する抵抗性が小さく、フジツボのナウプリウスが最も抵抗性が大きいことがわかる。

Table 3. Lethal high temperature for marine planktonic larvae.

Species	Stage	Exposure period			
		10 min.	20 min.	30 min.	40 min.
Purple sea urchin	Early stage (2-4 cells)	35°C~40°C	33°C	<33°C	<33°C
	Blastula stage	37°C~40°C	37°C~40°C	37°C~40°C	37°C
	Pluteus stage	40°C	39°C~40°C	39°C	<39°C
Rock barnacle	Nauplius II stage	>45°C	>45°C	43°C~45°C	43°C
Oyster	Blastula stage	42°C	42°C	40°C~42°C	40°C~42°C

残溜塩素の影響

ムラサキイガイ (*Mytilus edulis*) を用いて、その幼生に及ぼす残溜塩素の影響を作用時間との関連において検討した。

次亜塩素酸ソーダ水溶液を加えて一晩暗所に放置した濾過海水に、あらかじめ温度刺激法により放射放卵させ受精させておいたムラサキイガイの幼生を飼育海水ごとスポイトで入れ塩素を作用させた。一定時間経過後、この幼生を東洋濾紙の定量用 No. 3 濾紙により吸引濾別した。濾紙上に幼生を残しておき、塩素を含まない濾過海水を数回濾紙上にそそぎ洗浄して、塩素の影響を除去した。なお、洗浄の際には濾紙上の海水を完全に吸引してしまうことは幼生を弱らせるので、濾紙上には必ず少量の海水が残っているよう留意した。このように塩素処理した幼生を 50 ml ビーカーに移し、一晩室温 (13°C) に放置した後、20個体を検鏡してその生死を判別した。なお、残溜塩素量は実験前と、幼生を入れ一定時間放置後とに、それぞれ沃度滴定法により求め、結果とともに、Table 4 に示した。実験後、塩素量が減少したことがあるが、これは幼生を入れることにより塩素が消費されたためであろう。5分間と10分間と塩素を作用させた場合について実験したが、同一作用時間の実験は同時に受精した卵からえられた受精初期 (2~4 細胞期) とトロコホア期のものを実験材料として用いた。

結果は、Table 4 に示した。さらに、Fig. 1 には、それぞれの半数致死濃度 (TLm) を直線的補間法⁴⁾ によって求めた結果を示してある。なお、図の塩素濃度は、実験前と一定時間経過後との塩素濃度の平均値をもって示してある。図にみられるように、ムラサキ

イガイの受精初期幼生の5分間と10分間のTLmはそれぞれ1.21 ppmと1.15 ppmであり、トロコホア期の幼生のそれは、それぞれ2.37 ppm、および1.31 ppmである。このように発生が進むにつれ、塩素に対する抵抗性が增大することがわかる。また、塩素を作用させる時間が長いほど、そのTLmが小さいのは当然であるが、受精初期の5分および10分のTLmとトロコホア期の10分のTLmとの間にはそれ程大きな差がないが、トロコホア期の5分のTLmはかなり他の値と比較して大きく、トロコホア期まで発生が進むと作用時間が短い場合には、かなりの濃度まで耐えうる事がわかる。

Table 4. Number of deaths in 20 individuals sampled randomly from the blue mussel larvae exposed to the water containing chlorine of various concentration.

Early stage (2-4 cells)					
Exposure period; 5 min.			Exposure period; 10 min.		
Concentration of chlorine (ppm)		Number of deaths	Concentration of chlorine (ppm)		Number of deaths
Before exposure	After exposure		Before exposure	After exposure	
0	0	0	0	0	0
0.14	0.11	0	0.18	0.18	0
0.21	0.21	0	0.28	0.21	0
0.77	0.67	2	0.71	0.71	3
0.99	0.88	2	1.02	0.92	4
1.45	1.45	16	1.03	1.03	4
2.51	2.51	20	1.42	1.39	18
			2.58	2.55	20

Trochophore stage					
Exposure period; 5 min.			Exposure period; 10 min.		
Concentration of chlorine (ppm)		Number of deaths	Concentration of chlorine (ppm)		Number of deaths
Before exposure	After exposure		Before exposure	After exposure	
0	0	0	0	0	0
0.32	0.32	0	0.18	0.14	0
0.64	0.64	0	0.28	0.25	0
1.17	1.17	2	0.67	0.50	2
1.52	1.52	4	1.34	0.85	4
2.30	2.30	9	1.59	1.59	18
3.36	3.19	20	2.30	2.30	20
			2.69	2.69	20

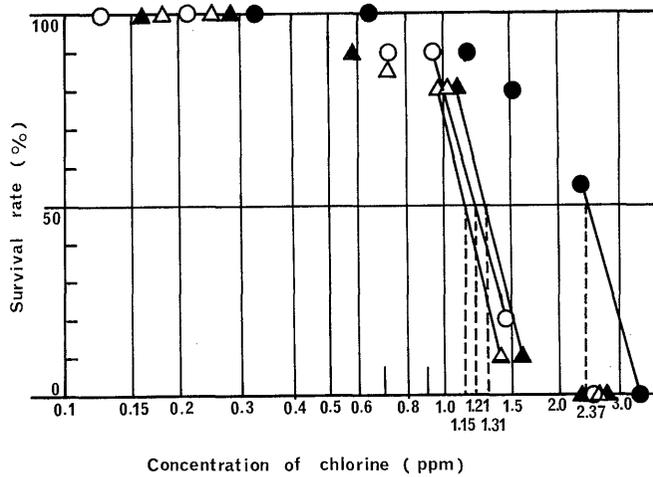


Fig. 1. Estimation of TLm of chlorine for the larvae of the blue mussel by straight-line graphical interpolation.

Circles and triangles represent the experiments by 5 min. exposure and by 10 min. exposure, respectively. Open and closed figures represent the experiments with larvae in early stage (2-4 cells) and in trochophore stage, respectively.

考 察

火力発電所では、海水を冷却水として使用する場合、通常、その冷却水は放水口直下で夏季は水温が $7 \sim 8^{\circ}\text{C}$ 上昇し、冬季は約 10°C の上昇がみられる。したがって、夏季、海水水温を 28°C とするなら、その温排水は、 $34^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ になり、冬季は約 22°C になると考えられる。塩素は塩素注入口で 1 ppm になるように連続注入し、放水口直下では、0.1 ppm 位になっているのが普通である。また、火力発電所では 400メガワットの発電量について1時間当たり 20億 Btu (1 Btu は 0.252 キロカロリー) の熱量すなわち1時間当たり 68,100トンの水を 5°C 上昇させる程度の熱を放出するという¹⁾。これらの事実から、冷却水として海水が用いられた場合についてその温排水が海産浮游幼生に及ぼす直接的な影響を検討すると、ムラサキウニの発生初期のものが 33°C 、20分で影響をうけることから、この幼生が夏季放水直下では直接的な害をうける可能性があることを除いては、本実験に用いた幼生はほとんどその影響をうけないといつてよいと思われる。さらに、温排水がすみやかに拡散する場合には、ムラサキウニの幼生に及ぼす影響も、その海域全体を考えた場合、あまり大きな影響を及ぼすとは考えられず、他の種類についても十分検討しなければ速断は出来ないが、火力発電所の温排水が、その海域の動物性浮游幼生に、少なくとも直接的に大きな影響を及ぼす可能性は少ないといつてかまわないであろう。

要 約

ムラサキウニ、マガキ、シロスジフジツボ、ムラサキガイを用い、それらの幼生に及ぼす高温と塩素の影響を検討した。

その結果

1) 高温の影響は Table 3 に示したように、ムラサキウニの発生初期が最も抵抗性が小さく、約 33°C に 20分放置すると死滅する。一方、シロスジフジツボのⅡ期ナウブリウスは最も強く、40°C に 40分放置しても死滅することはない。

2) ムラサキイガイ幼生に及ぼす遊離塩素の影響は、受精初期の5分間と10分間の TLm およびトロコホア期の10分間 TLm は、それぞれ 1.21, 1.15 および 1.31 ppm で、大きな差はないが、発生が進み、トロコホア期になると、短時間の作用ではかなり高濃度にも耐えうるようになり、10分間 TLm は 2.37 ppm になる。

3) 以上の事実から、火力発電所の温排水が付近海域の海産浮游幼生に、少くとも、直接的な影響を及ぼす可能性は少ないと考えられる。

引用文献

- 1) E. NAYLOR : Effects of Heated Effluents upon Marine and Estuarine Organisms, *Adv. Mar. Biol.*, 3, 63-103 (1965)
- 2) J. G. DOBSON : The Control of Fouling Organisms in fresh-and salt-water circuits. *Trans. of the American Society of Mechanical Engineers*, Apr., 247-265 (1946)
- 3) H. J. TURNER, Jr., D. M. REYNOLDS and A. C. REDFIELD : Chlorine and Sodium Pentachlorophenate as Fouling Preventives in Sea Water Conduits. *Industrial and Engineering Chemistry*, 40, 450-453 (1948)
- 4) P. DOUDOROFF, *et al* : Bio-assay Methods for the Evaluation of Acute Toxicity of Industrial Waters to Fish. *Sewage and Industria Wastes*, 23, 11, Nov., 1380-1397 (1951)

正 誤 表

頁	行	誤	正
65	14	$\frac{2\pi \cdot 0.265 (0.810.137) ^2 L^3}{\lambda}$	$\frac{2\pi \cdot 0.265 (0.81 \times 0.137) ^2 L^3}{\lambda}$
78	11	artifieial	artificial
83	8	(Anthocidaries.....)	(Anthocidaris.....)
84	5	studty,	study,
87	9	larvea	larvae
89	8	10分間	5分間
89	20	Industria	Industrial
122	5		
129	8	$\eta' = G''/\omega [\text{dyne} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2]^{8)}$	$\eta' = G''/\omega [\text{dyne} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2]^{8)}$