

## 貧酸素と硫化水素に対するテナガエビの逃避行動

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
巻/号	616
掲載ページ	p. 827-831
発行年月	1995年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 貧酸素と硫化水素に対するテナガエビの逃避行動

姜 柱賛, 松田 治, 今村憲史

(1993年3月15日)

Avoidance and Behavior of Prawn *Macrobrachium nipponense* by Oxygen Depletion and Hydrogen Sulfide

Ju-Chan Kang,\* Osamu Matsuda,\* and Norifumi Imamura\*

Avoidance and behavior of prawn, *Macrobrachium nipponense* in oxygen deficient water ( $\leq 3.2$  mg/l) and oxygen deficient water (2.0 mg/l and 3.2 mg/l) with two different levels of hydrogen sulfide (5  $\mu\text{gS/l}$  and 25  $\mu\text{gS/l}$ ) were measured under laboratory conditions. Avoidance of the prawn by walking or swimming was observed only for the water containing  $\leq 1.2$  mg/l of dissolved oxygen and oxygen deficient water with hydrogen sulfide (2.0 mgO<sub>2</sub>/l +  $\geq 5$   $\mu\text{gS/l}$ , 3.2 mgO<sub>2</sub>/l + 25  $\mu\text{gS/l}$ ). Other behavioral responses of the prawn included an initial increase in the general level of activity, rapid eyestalk movements, flexing of their antennal scales, and abdominal flexures. From these results, it could be concluded that the distribution of prawn in natural habitat was significantly affected by the oxygen depletion with hydrogen sulfide.

キーワード: テナガエビ, 逃避行動, 貧酸素, 硫化水素

テナガエビ *Macrobrachium nipponense* は極東から東南アジアへかけて広く分布する淡水産エビの中では比較的大型の種である。日本では北海道と琉球列島を除いた本州, 九州, 四国に分布し,<sup>1,2)</sup> 霞ヶ浦, 琵琶湖, 安道湖, 児島湖などでは本種を対象とした漁業が行われている。ところが, 近年これらの水域では水質悪化に伴う貧酸素水塊の発生がしばしば報告されている。<sup>3-5)</sup> 貧酸素水塊の発生する水域では底質内における硫酸塩の還元に伴い H<sub>2</sub>S が発生することが少なくなく, このような水域に生息する水生生物は貧酸素の影響と同時に H<sub>2</sub>S の影響も受けることになる。<sup>6)</sup>

このような観点から, 本研究では貧酸素と H<sub>2</sub>S に対するテナガエビの逃避行動と挙動を実験的に明らかにし, 貧酸素化に伴う H<sub>2</sub>S の発生がテナガエビの分布に与える影響を検討した。

## 材料および方法

本実験に使用したテナガエビは児島湖で漁獲され, 実験室条件下 (水温, 20 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C; 塩分, 10 $\pm$ 1%) で10日間以上馴致させたものである。餌料は二枚貝の生肉と冷凍オキアミを混合したもので, 実験開始2日前まで毎日充分に供給した。

実験装置の構造は Fig. 1 に示した。すなわち, 実験チャンパーはエビの行動が観察できるように透明アクリルパイプ (長さ, 100 cm; 直径, 6 cm) により構成されている。両端には試水の流入口, 中央に流出口を設定することで, エビの位置により対照水と実験水をどちら側の末端からでも流入させることができる。実験チャンパー内には底面を水平に保つため, 黒いアクリル板 (厚さ, 6 mm) を設置した。水質測定のため, 6個の採水口を設定し, 実験直前と実験直後2回にわたって DO 濃度 (ウィンクラー法) と H<sub>2</sub>S 濃度 (メチレンブルー法<sup>7)</sup>) の測定を行った。

貧酸素条件は約 0.6, 1.2, 2.0, 3.2 mg/l の4水準の DO 濃度を設定し, O<sub>2</sub> ガスと N<sub>2</sub> ガスの注入により調節した。貧酸素と H<sub>2</sub>S の複合的な条件 (以下複合条件と略記) は, DO 濃度2水準 (2.3, 3.2 mg/l) と H<sub>2</sub>S 濃度2水準 (5, 25  $\mu\text{gS/l}$ ) を組み合わせ4種類を設定した。H<sub>2</sub>S 濃度は硫化ナトリウム (Na<sub>2</sub>S $\cdot$ 9H<sub>2</sub>O) の溶液濃度と添加量の調節により行った。ここで H<sub>2</sub>S は HS<sup>-</sup> と S<sup>2-</sup> を総称して硫化水素と定義し, 測定結果は S の重量濃度として  $\mu\text{gS/l}$  で表現した。

実験には貧酸素あるいは複合条件水準別にそれぞれ25個体ずつ計200個体のエビを使用し, 1匹のエビに

\* 広島大学生物生産学部 (Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739, Japan).

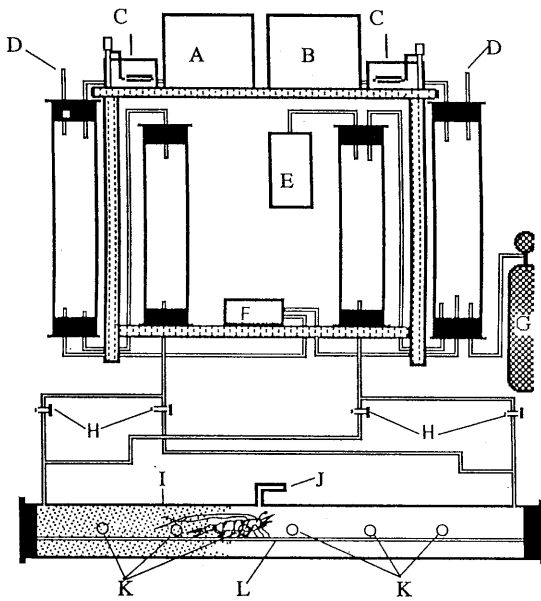


Fig. 1. Schematic drawing of the experimental apparatus.

A, control water; B, test water; C, temperature control system; D, air port; E, hydrogen sulfide solution; F, air pump; G, nitrogen gas cylinder; H, valve; I, test chamber; J, out flow; K, water sampling ports; L, raised floor.

対して2回の実験を行った。実験は実験チャンパーに対照水 (DO 約 6.8 mg/l) を満たしたのち、1匹のエビを収容して1時間馴致させた。エビの収容にあたってはエビの導入部位がエビの選択位置に及ぼす影響を除去するため、エビは実験容器の左右から1匹ずつ交互に導入した。対照実験では両端とも対照水状態でエビの選択位置と挙動を観察した。貧酸素あるいは複合条件ではエビが実験チャンパーの末端部分に位置した時、その末

端側から実験水を導入し、同時に反対側末端からは対照水を流入させた。その際、流量は双方とも 400 ml/min に調節した。対照実験におけるエビの選択位置は1分間隔で1時間観察した。各実験区のエビの選択位置の測定は30分間行い、そのうち初めの10分間は実験水の置換を考慮して観測をせず放置し、残りの20分間の選択位置を1分間隔に計測した。全ての実験においてエビの選択位置はえらの位置を基準として記録し、エビが流入口を中心として左右7 cm 以内 (対照水と実験水が混合する部位) に位置した時は、データ分析から削除した。従って、実験中、データが得られなかった場合もあり、実験1区当たりの試行数のうち実際の計測数は700~900回であった。実験には類似のサイズのエビ (体長, 27.3~32.2 mm; 体重, 0.82~1.05 g) を使用し、実験後性別の判定を行った。実験結果は対照水あるいは実験水のどちらかに停滞するかをエビの選択位置として示した。

上記の逃避実験の際に、実験開始後の逃避するまでの時間 IRT (initial response time), エビが実験水中で消費した総時間 TRT (total response time) を測定した。ここに IRT は実験水から最初に対照水中へ逃避するまでの時間で逃避行動に移る速やかさを、また TRT は実験水での総暴露時間を指標するものであり、両指標はいずれも条件が厳しくなるに従って値が小さくなる性質を持つ。さらに、貧酸素と  $H_2S$  に対するエビの挙動を観察した。

選択位置に関するデータ分析は、対照実験での平均位置に対し実験水での平均位置を  $\chi^2$  検定で行い、IRT と TRT の分析は分散分析 (ANOVA) に準拠した。

## 実験結果

**DO と  $H_2S$  濃度の変動** 実験期間中の DO と  $H_2S$  濃度の変動を Table 1 に示した。実験 1, 2, 3, 4 が貧酸素

Table 1. Experimental conditions and the test concentrations of hydrogen sulfide and dissolved oxygen of avoidance experiments

	Test chamber				
	1	2	3	4	5
Hypoxia					
DO (mg/l)	0.64 ± 0.02	1.25 ± 0.08	2.07 ± 0.12	3.24 ± 0.10	6.82 ± 0.14
pH	7.42 ± 0.24	7.33 ± 0.14	7.30 ± 0.23	7.51 ± 0.31	7.50 ± 0.24
Hypoxia + $H_2S$					
DO (mg/l)	2.08 ± 0.12	2.10 ± 0.10	3.18 ± 0.15	3.21 ± 0.13	6.75 ± 0.13
$H_2S$ ( $\mu$ gS/l)	5.15 ± 0.12	25.22 ± 0.20	5.17 ± 0.16	25.19 ± 0.18	—
pH	7.32 ± 0.22	7.40 ± 0.21	7.33 ± 0.34	7.41 ± 0.32	7.52 ± 0.20

Temperature, 20 ± 1°C; Salinity, 10 ± 1‰.  
Data are presented as mean ± SD (n=28).

あるいは複合条件区、実験5が対照区である。DO濃度の変動幅は±0.02~0.15 mg/lと小さく、設定目標に対し最大0.1 mg/lの差を示した。H<sub>2</sub>S濃度は設定目標より0.15~0.22 µgS/l高目に保持されたが、変動幅は、±0.12~0.20 µgS/lと小さく、DO濃度とともにほぼ設定目標が保たれていたものとみなした。

**選択位置からみた逃避行動** 対照実験 (DO約6.8 mg/l)におけるエビの平均選択位置は左23.8回(48.5%)、中央1.2回(2.5%)、右24.0回(49.0%)で実験チャンパー内の選択位置に左右の差はなかった ( $P < 0.001$ )。このことから、実験中におけるエビの選択位置の変動は、貧酸素あるいは複合条件によるものといえる。貧酸素条件下でのエビの選択位置の計測結果をTable 2に示した。DO濃度1.2 mg/l以下で有意な選択位置の差が認められたが ( $P < 0.001$ )、DO濃度2.0 mg/l以上では有意な差が認められなかった。複合条件下でのエビの選択位置の計測結果をTable 3に示した。テナガエビの逃避行動には2.0 mgO<sub>2</sub>/l+≥5 µgS/l、3.2 mgO<sub>2</sub>/l+25 µgS/lの複合条件下では有意な差が認められたが ( $P < 0.001$ )、3.2 mgO<sub>2</sub>/l+5 µgS/lの複合条件では

有意な差が認められなかった。

以上から、テナガエビはDO濃度1.2 mg/l以下、DO濃度2.0 mg/lではH<sub>2</sub>S濃度5 µgS/l以上、DO濃度3.2 mg/lではH<sub>2</sub>S濃度25 µgS/lが共存すれば、逃避行動をとることが明らかとなった (Fig. 2)。逃避行動には性別による差が認められなかった (ANOVA,  $P < 0.05$ )。

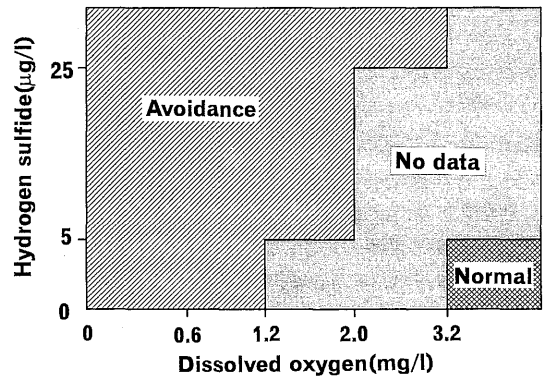
**IRTとTRTからみた逃避行動** IRTとTRTにはDO濃度1.2 mg/l以下と2.0 mg/l以上の間で有意な差が認められた (ANOVA,  $P < 0.05$ )。また、複合条件では3.2 mgO<sub>2</sub>/l+25 µgS/lと2.0 mgO<sub>2</sub>/l+5 µgS/lの間、あるいは上記の複合条件と3.2 mgO<sub>2</sub>/l+5 µgS/lの間で有意な差を示した (ANOVA,  $P < 0.05$ , Table 4)。すなわち、逃避行動が観測された実験区のIRTとTRTは逃避行動が観測されなかった実験区に比べ短かった。

**逃避に関連した特徴的な挙動** 貧酸素条件に対するテナガエビの特徴的な挙動は1)実験初期における活動水準の上昇、2)眼柄の頻動、3)歩行あるいは遊泳による対照区への移動、であった。そして、DO濃度が低いほ

**Table 2.** Avoidance of *M. nipponense* to low dissolved oxygen in water

DO conc. (mg/l)	Observed distribution of prawn during experiments			Avoidance rate (%)	$\chi^2$	P
	Control water	Mixed water	Test water			
0.6	43.2	0.8	1.0	96.0	39.59	<0.001
1.2	44.0	0.9	3.1	89.8	32.51	<0.001
2.0	24.8	0.3	23.9	50.5	0.02	0.918
3.2	25.5	0.4	22.1	53.0	0.23	0.833

Average position of prawn during the final 20 min of each treatment was used to differentiate control or test water preference.



**Fig. 2.** Schematic presentation of the combined effects of low dissolved oxygen and hydrogen sulfide on avoidance of *M. nipponense*.

**Table 3.** Avoidance of *M. nipponense* to low dissolved oxygen and hydrogen sulfide concentration in water

DO conc. (mg/l)	H <sub>2</sub> S conc. (µgS/l)	Observed Distribution of prawn during experiments			Avoidance rate (%)	$\chi^2$	P
		Control water	Mixed water	Test water			
2.0	25	48.1	0.3	1.6	92.2	41.25	<0.001
2.0	5	45.3	0.3	0.4	96.3	42.83	<0.001
3.2	25	41.2	0.7	6.1	85.8	25.68	<0.001
3.2	5	29.1	0.5	18.4	58.5	2.79	0.112

Average position of prawn during the final 20 min of each treatment was used to differentiate control or test water preference.

Table 4. Initial response time (IRT) and total response time (TRT)

	H <sub>2</sub> S conc. ( $\mu\text{gS/l}$ )	Dissolved oxygen concentration (mg/l)			
		0.6	1.2	2.0	3.2
IRT	0	5.7 $\pm$ 1.2	6.4 $\pm$ 1.4	15.3 $\pm$ 2.1	15.5 $\pm$ 2.3
(95% CI)		(2.5-11.0)	(3.5-15.0)	(7.6-21.4)	(8.5-23.1)
	5			7.8 $\pm$ 1.6	14.8 $\pm$ 2.2
(95% CI)				(4.0-15.3)	(8.1-21.3)
	25			5.2 $\pm$ 1.2	6.6 $\pm$ 1.5
(95% CI)				(2.3-11.3)	(3.1-14.1)
TRT	0	6.3 $\pm$ 1.3	7.0 $\pm$ 1.2	16.5 $\pm$ 1.2	16.1 $\pm$ 1.7
(95% CI)		(3.0-11.5)	(4.2-16.2)	(13.2-32.1)	(12.3-24.6)
	5			8.2 $\pm$ 1.5	15.6 $\pm$ 2.0
(95% CI)				(5.5-17.2)	(9.4-22.3)
	25			5.9 $\pm$ 1.3	7.4 $\pm$ 1.4
(95% CI)				(3.0-12.3)	(4.5-15.5)

IRT is the time to first entrance into control water side; TRT is the time spent in the test water side; time (mean  $\pm$  SD) is expressed in minute.

ど, これらの行動は顕著に観測された。複合条件に対するエビの反応としては, 上の貧酸素条件で観測された行動(1~3)に加えてアンテナの屈曲が観測され, H<sub>2</sub>S濃度が高いほど屈曲頻度が高まった。一方, 対照実験では上記の行動は観察されず, エビは一定の場所で停止するか, あるいは実験容器内を左右にほぼ均等に移動した。

## 考 察

貧酸素あるいは複合条件下でテナガエビが示した逃避行動や挙動の原因として, 設定 DO 濃度と H<sub>2</sub>S 濃度以外の要因がないかどうか検討した。実験チャンパー外部からの影響, 例えば実験中の観察者の行動などにより, 影響を受けることが考えられる。しかし, テナガエビの逃避は DO 濃度 2.0 mg/l 以上, あるいは DO 濃度 3.2 mg/l と H<sub>2</sub>S 濃度 5  $\mu\text{gS/l}$  の複合条件で対照実験に対し有意な差がなかった。このことから, 本実験ではテナガエビの逃避行動に影響を及ぼす外部要因は, 特になかったものと判断された。さらに, 実験期間中の DO 濃度と H<sub>2</sub>S 濃度の変動による影響を実験区毎に検討したところ, それらの変動幅は極めて小さく, ほぼ一定な実験条件が保持されていたことから (Table 1), 逃避行動に影響を及ぼすほどの変動はなかったものと判断される。

以上のことから, 今回実施したテナガエビの逃避と挙動に及ぼす貧酸素と H<sub>2</sub>S の影響は, 以下のようにまとめられる。すなわち, 1) DO 濃度 1.2 mg/l 以下で逃避すること, 2) 3.2 mgO<sub>2</sub>/l+25  $\mu\text{gS/l}$  と 2.0 mgO<sub>2</sub>/l+ $\geq$ 5  $\mu\text{gS/l}$  の複合条件で逃避すること, 3) DO あるいは H<sub>2</sub>S 濃度の両条件が厳しくなるにつれ実験区から逃避

するまでの時間と実験区内の総停滞時間が短くなること, 4) 貧酸素と H<sub>2</sub>S のストレスに基づく特徴的な挙動をとること, である。

水生甲殻類は貧酸素条件を認知することが知られており,<sup>8,9)</sup> 貧酸素は水生甲殻類の生存のみならず, 逃避行動にも影響を及ぼす。

Maurice<sup>10)</sup>は brown shrimp が DO 濃度 2.0 mg/l 以下で, white shrimp は DO 濃度 1.5 mg/l 以下で逃避行動をとることを指摘した。テナガエビは 1.2 mg/l 以下の DO 濃度で有意な逃避行動を示した。この結果は水域に貧酸素水塊が形成される場合, テナガエビがそれを認知して逃避する DO 濃度レベルは brown shrimp や white shrimp よりもやや低いことを示唆するものである。

テナガエビは DO 濃度 2.0 mg/l では H<sub>2</sub>S 濃度 5  $\mu\text{gS/l}$  以上, 3.2 mg/l DO 濃度では H<sub>2</sub>S 濃度 25  $\mu\text{gS/l}$  であれば, 有意な逃避行動を示した。従って, H<sub>2</sub>S を含む貧酸素水塊は, テナガエビの逃避にさらに強い影響を及ぼすものと考えられる。

テナガエビの IRT と TRT は逃避行動が観測された DO 濃度 1.2 mg/l 以下と逃避行動が起こらなかった DO 濃度 2.0 mg/l の間で有意に異なった。さらに, 複合条件に対して 3.2 mgO<sub>2</sub>/l+25  $\mu\text{gS/l}$  と 2.0 mgO<sub>2</sub>/l+5  $\mu\text{gS/l}$  の間, あるいは上記の複合条件と 3.2 mgO<sub>2</sub>/l+5  $\mu\text{gS/l}$  の間で有意な差を示した。これらの結果は H<sub>2</sub>S を含む貧酸素水塊の条件が厳しくなるにつれてテナガエビが速やかに逃避し, かつその水塊中に戻る場合が少ないことを示唆する。

以上から, H<sub>2</sub>S を含む貧酸素水塊が発生すると, テナガエビはそれを認知して逃避行動をとるが, その環境

条件が厳しいほどその水塊中にとどまる可能性は低いものと考えられる。

日本でテナガエビの産地として知られている霞ヶ浦、琵琶湖、児島湖では富栄養化に伴う貧酸素水塊の形成が報告されている。<sup>3-5)</sup> このような貧酸素化とこれに伴うH<sub>2</sub>Sの発生は、逃避行動をととしてもテナガエビの時空間的分布に大きな影響を与えるものと考えられる。さらに、テナガエビは逃避の際に歩行、遊泳エネルギーを消費し、生理的ストレスを受けるのみならず、移動の過程で新たな被捕食関係や種間競争にさらされるという影響も無視できないものと考えられる。

#### 文 献

- 1) 上田常一：日本淡水産エビ類の研究，改訂増補版，園山書店，松江，1970，p. 213.
- 2) 久保伊律男：エビ類，「川村日本淡水生物学」（上野益三郎編），第3版，北隆館，東京，1980，pp. 489-495.
- 3) 三宅与志雄，浮田和夫，藤沢邦康：児島湖の水質と底質について，岡山水試事報，100-107（1978）.
- 4) 藤沢邦康，三宅与志雄：児島湖の水質と底質について，岡山水試事報，135-138（1979）.
- 5) 松村 隆：水質汚濁防止対策の現状と問題．用水と廃水，25，325-330（1983）.
- 6) H. Theede, A. Ponat, K. Hiroki, and C. Schlieper: Studies on the resistance of marine bottom invertebrates to oxygen deficiency and hydrogen sulfide. *Mar. Biol.*, 2, 325-337（1969）.
- 7) S. H. Fonselius: Determination of hydrogen sulphide, in "Methods of seawater analysis" (ed. by K. Grasshoff, M. Ehrhardt, and K. Kremling), 2nd ed., Verlag Chemie, Weinheim, 1983, pp. 73-80.
- 8) S. Egusa and T. Yamamoto: Studies on the respiration of the prawn *Penaeus japonicus* Bate. 1. Burrowing behavior with special reference to its relation to environmental oxygen concentration. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 27, 22-27（1961）.
- 9) L. Hagerman and R. F. Uglow: Effects of hypoxia on osmotic and ionic regulation in the brown shrimp *Crangon crangon* (L.) from brackish water. *J. expl. mar. Biol. Ecol.*, 63, 93-104（1982）.
- 10) L. R. Maurice: Detecting and avoiding oxygen deficient water by brown shrimp, *Penaeus aztecus* and white shrimp, *Penaeus setiferus*. *J. expl. mar. Biol. Ecol.*, 98, 283-292（1986）.