

貝類의 呼吸代謝에 關한 研究 (II)

淡水産 貝類, *Cristaria plicata spatiosa* (CLESSIN), 아가미
組織의 酸化的 代謝와 그 酵素系에 對하여

韓 文 熙

(서울大·師大·生物科)

金 東 俊 · 崔 姬 貞

(梨花女大·醫大·生理學教室)

Study on the Respiratory Metabolism in Some Bivalves (II)
On the Oxidative Metabolism and its Enzyme System in the Gill Tissue
of the Fresh Water Mussel, *Cristaria plicata spatiosa* (CLESSIN)

HAN, Moon Hi

(Department of Biology, College of Education, Seoul National University)

KIM, Dong Jun, and CHOI, Hi Chung

(Department of Physiology, Medical College, Ewha Womans University)

(1961年 5月 1日 接受)

SUMMARY

- 1) Respiratory metabolic patterns and its enzyme systems in the gill tissue of the fresh water mussels, *Cristaria plicata* were investigated through the examination on the effects of respiratory enzyme inhibitors (KCN, NaF) and succinoxidase assay, while studying the effects of neutral salts (NaCl, KCl, CaCl₂) and pH on oxygen consumption of the gill tissue.
- 2) In the limited concentration of KCl (0.3mM) and NaCl (0.4mM) solutions, oxygen consumption of the intact gill tissue was accelerated, but in CaCl₂ (0.5mM) solution, it showed no significant effect. The oxygen consumption was gradually decreased at the above concentration of these limitations. The optimum pH for the respiration of the gill tissue was 7.3.
- 3) Cyanide in 10⁻³M solution inhibited 88.8% of the respiration of the intact gill tissue. Methylene blue accelerated the respiration of the normal gill tissue, and slightly but significantly reversed the cyanide poisoned respiration.
- 4) Oxygen consumption of the gill homogenate was apparently increased by the mixed addition of succinate, cytochrome c and activators (AlCl₃ and CaCl₂). This result suggested that succinoxidase system acts on the respiratory pattern of the gill tissue.
- 5) It was able to recognize that the enolase, which acts on the anaerobic glycolytic system, participated in the tissue respiration of the gill for NaF in 5×10⁻²M solution inhibited 55.5% of the respiration of the same intact tissue.

緒 論

貝類의 細胞 呼吸 機構에 對해서는 Keilin(1925) 이 貝類 組織內에서 cytochrome을 檢出한 以來, 여러 사 람들(Baldwin 1938, Ball & Meyerhof 1940, Hump- brey 1947, Jodrey & Wilbur 1955, Kawai 1956, 1957,

1958, Choi & Han 1961)에 依하여 研究되어 왔다. 이 結果로 貝類의 呼吸 代謝에 있어서 cytochrom-cytoch- rome oxidase가 末端 酸化 酵素로 作用하며, succino- xidase system이 主要 呼吸 酵素系로 作用함을 알 수 있 다. 또한 몇 種類의 貝類 組織에서 glycolysis系(Hasting 1947, Humphrey 1950, Usuki 1956)의 作用을 밝힌 바

있으나, 이제까지의 研究 結果는 모두가 海産種에 依한 것이었고 淡水産 貝類의 呼吸 機構에 對해서는 確認된 것이 없다.

筆者들은 淡水産 貝類의 酸化의 代謝機構를 比較 檢討하고자, 淡水産 貝類인 대칭이, *Cristaria plicata spatiosa*(CLESSIN)을 材料로 몇가지 呼吸 阻害劑를 使用하여 酸化 代謝系의 樣狀과 呼吸 酵素系의 存在를 究明하여 보았다. 한편 呼吸 代謝에 미치는 鹽類 및 pH의 影響에 對해서도 檢討하여 보았다.

實驗 材料와 方法

實驗 材料로는 京畿道 楊州郡 八堂里 앞 漢江에서 採取된 대칭이, *Cristaria plicata spatiosa*(CLESSIN)으로, 採取된 材料는 水溫 $7 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 水槽中에서 飼育하면서 使用하였고, 材料의 殼長은 60~80mm인 것이었다.

아가미 組織의 酸素 消費量 測定은 Warburg's manometer裝置로 하였고, 組織 浮游液으로는 實驗에 따

라 NaCl, KCl, CaCl_2 溶液 或은 M/40 磷酸鹽(NaH_2PO_4 및 KH_2PO_4) 緩衝液을 使用하였다. 다른 모든 實驗 過程은 第 I 報(Choi & Han 1961)에서 說明한 것과 同一한 方法으로 行하였다. succinoxidase測定은 Schneider의 方法(Umbreit, et al. 1957)에 따라 하였고, cytochrome c는 Keilin과 Hartree(Umbreit, et al. 1957)法으로 抽出 精製하여 使用하였다. 아가미 組織의 homogenate는 Potter-Elvehjem's glass homogeniser를 使用하여 氷冷下에서 0.1M 磷酸鹽 緩衝液(pH=7.4)을 加하여 만들었다.

實驗 結果와 考察

1) 組織 呼吸에 미치는 鹽類 및 pH의 影響에 對하여.

一般의으로 淡水 貝類 細胞液의 組成 成分으로 되어 있는 NaCl, KCl과 CaCl_2 등의 鹽類 溶液을 使用하여 이들 ion이 아가미 組織의 酸化의 代謝에 어떠한 效果를 나타내는가를 檢討하여 보았다(Table 1, Fig. 1).

Table 1 Effects of NaCl, KCl and CaCl_2 solutions on oxygen consumption of the intact gill tissues.

Temp, 25°C . pH: 6.1~6.5, Gas: Air

Concentration of Salt (mM.)	NaCl		KCl		CaCl_2	
	$\text{QO}_2 \mu\text{l}/\text{mg}/\text{hr}$ Mean \pm S. E.	%	$\text{QO}_2 \mu\text{l}/\text{mg}/\text{hr}$ Mean \pm S. E.	%	$\text{QO}_2 \mu\text{l}/\text{mg}/\text{hr}$ Mean \pm S. E.	%
0 (D.W.)	0.97 \pm 0.10	100	0.81 \pm 0.09	100	0.83 \pm 0.07	100
10	1.40 \pm 0.12	143	1.15 \pm 0.16	142	0.88 \pm 0.14	106
20	1.60 \pm 0.21	163	1.51 \pm 0.20	186	—	—
25	—	—	—	—	0.87 \pm 0.14	105
30	1.84 \pm 0.27	188	2.17 \pm 0.45	268	—	—
40	2.24 \pm 0.18	229	1.87 \pm 0.28	231	—	—
50	1.50 \pm 0.13	153	1.17 \pm 0.12	144	0.81 \pm 0.12	98
75	1.08 \pm 0.13	110	0.99 \pm 0.14	122	0.67 \pm 0.13	81
100	0.79 \pm 0.09	81	0.63 \pm 0.09	78	0.36 \pm 0.12	43
Analysis of Variance Between classes	$F_{1,10}^2=3.01$ P<0.01		$F_{1,10}^2=4.83$ P<0.01		$F_{1,10}^2=2.59$ 0.01<P<0.05	

D. W.: distilled water

Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 아무 鹽類도 加하지 않은 蒸溜水(pH=6.1)를 浮游液으로 使用했을 때는 아가미 組織의 酸素 消費量(QO_2)이 平均 0.87 ($\mu\text{l}/\text{mg}$ dry weight/hr)이나 浮游液으로 生理的 食鹽水(1.2g NaCl, 0.15g KCl, 0.15g CaCl_2 in 1000 mL, pH 7.5) 使用하였을 境遇에는 QO_2 1.50 μl 로 顯著的한 增加를 보이고 있다.

그런데 單一 鹽類 溶液에 依한 것을 보면, NaCl 용

液은 呼吸을 增加시키며 40mM에서 그 增加率이 最高에 達하고, KCl溶液도 역시 呼吸을 增加시키며 30mM에서 最大値를 나타내고 있다. 그러나 두 溶液이 다 그 以上の 濃度에서는 增加率이 점점 減少되어 100mM에 이르러서는 對照에 比하여 20%程度 低下되었다. CaCl_2 溶液에 있어서는 50mM까지 別로 意義 있는 QO_2 의 變化를 갖어오지 않고 있으나, 그 以上の 濃度에서는 顯著하게 阻害되어 100mM에서는 57%가 減少되었다.

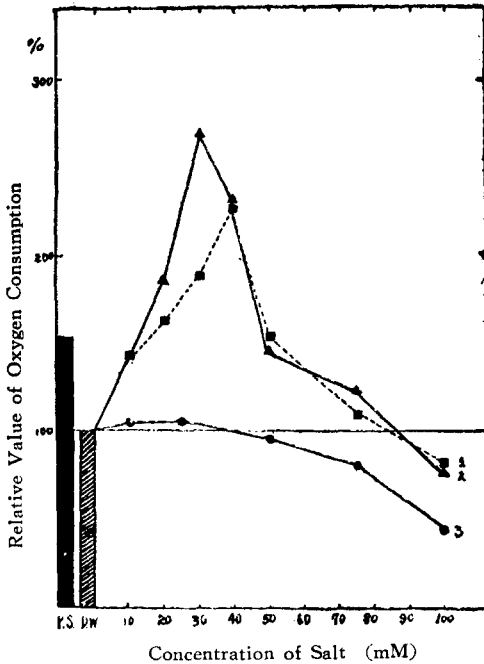


Fig. 1. Variation of oxygen consumption of the gill tissue in salt solution
Temp: 25°C, pH: 6.1~6.5, Gas: Air: 1-NaCl, 2-KCl, 3-CaCl₂
P.S.: Physiological saline solution (pH: 7.5)
D.W.: Distilled water

以上的 結果로 보면 NaCl이나 KCl에 의하여 呼吸이 促進되는데 NaCl보다는 KCl이 그 效率이 크며, CaCl₂는 濃度가 커질 수록 呼吸을 阻害하고 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 어느 濃度 限界內에서는 Na⁺나 K⁺이 酸化의 代謝에 커다란 影響을 주기 때문이라 생각한다. 이와 같은 事實은 *Saxostrea commercialis*의 筋 homogenate로 實驗한 結果(Humphrey, 1947)와 一致하고 있으며, 特히 K⁺이 細胞 呼吸을 促進한다는 事實은 Asford & Dixon (1935), Dickens & Greville (1935) 등에 의하여 밝혀진바 있다. 이런 點으로 보아 아가미 組織에 있어서도 그 呼吸이 K⁺에 의하여 增加하였다는 것은 外部 溶液으로부터 細胞內로 透過해 들어간 K⁺이 酸化의 代謝를 促進하기 때문이라 생각한다. 그러나 50mM以上の 濃度에서 增加率이 減少한 것은 鹽類 濃度가 增加함에 따라 滲透壓의 變化를 가져 오기 때문이 아닌가 생각한다.

Ca⁺⁺의 境遇에 있어서는 *Saxostrea commercialis*의 筋 homogenate(Humphrey, 1947)의 呼吸을 阻害한다는 것이 報告되었고, Keltch & Clowes(1951)도 rat liver homogenate의 aerobic phosphorylation과 이에 따르는

酸素 消費도 0.001N의 Ca⁺⁺에 의하여 阻害된다고 하였는데 *Cristaria plicata spatiosa* 아가미 組織에 있어서는 低濃度의 Ca⁺⁺에 의하여서는 別 影響이 나타나지 않으나 高濃度(50mM以上)에서만이 阻害된다는 것은 Ca⁺⁺이 外液으로부터 細胞內로의 透過力이 弱하여 Ca⁺⁺이 直接的으로 細胞內 酸化의 代謝에 미치는 影響이 적기 때문이라 생각할 수 있다.

한편 *Cristaria plicata spatiosa*의 아가미 組織의 酸素 消費量이 pH에 의하여 어떠한 變化를 나타내는가를 檢討하여 보았다. 이 結果는 Table 2와 같다.

Table 2 Effects of pH on oxygen consumption of the gill tissue. Temp: 25°C, Gas: Air. M/40 phosphate buffer (NaHPO₄ & KH₂PO₄) was used.

pH	No. of Exps.	QO ₂ μl/mg/hr Mean ± S.E.	P value compared with D. W.
D.W.(6.0)	10	0.99 ± 0.11	—
5.5	7	1.09 ± 0.21	0.6 <
6.0	8	1.12 ± 0.18	0.5 <
6.5	8	1.27 ± 0.12	0.1
7.0	7	1.32 ± 0.13	0.05 <
7.3	8	1.51 ± 0.14	0.01 >
7.5	8	1.50 ± 0.20	0.05 <
8.0	7	1.36 ± 0.21	0.1 <

D. W.: Distilled water.

Table 2에 表示된 바와 같이 磷酸 緩衝液을 浮游液으로 使用했을 境遇 pH 7.3과 7.5에서 QO₂가 各各 1.51 μl/mg/hr와 1.50 μl/mg/hr로 가장 크고, pH가 酸性 쪽으로 기울어지거나 또한 pH 8.0에서도 QO₂는 減少되었다. 이와 같은 事實은 *Meretrix meretrix lusoria* (Isida, 1952)에 있어서도 同一한 結果를 나타낸바 있다.

그런데 蒸溜水의 境遇와 比較하면 pH 6.5까지는 別로 意義있는 差가 없으나 pH 7.0以上 7.5까지는 顯著한 增加를 볼 수 있다. 이런 點으로 보아 *Cristaria plicata spatiosa*의 아가미 組織 呼吸의 至適 pH는 7.3에서 7.5임을 알 수 있다.

2) 아가미 組織의 酸化 酵素系에 對하여.

(a) cytochrome oxidase 및 succinoxidase系

Cristaria plicata spatiosa(CLESSIN)의 呼吸 代謝에 關係하는 呼吸 酵素系를 究明하기 爲한 첫 段階로 亦是 靑酸의 阻害作用과 methylene blue의 補償作用에 對하여 檢討하여 보았다. 이 實驗 結果는 Table 3와 같다.

以上 Table 3에서 보는 바와 같이, KCN 阻害度는 10⁻⁴M에서 19% 程度이나 이것은 意義가 없으며, 濃度가 10⁻³M일때 約 50% 阻害되고 相當히 高濃度인 10⁻²M에서는 88.8% 阻害되어 역시 濃度가 진할 수록

Table 3 Effects of potassium cyanide (KCN) and methylene blue (M.B.) on oxygen consumption of the gill tissue.
Temp.: 25°C, pH: 7.3, Gas: Air.

No.	Concentration of Reagents		No. of Exps.	QO ₂ μ l/mg/hr	Rate of Inhibition and Increase *, %	P value compared with control value
				Mean \pm S.E.		
1	10 ⁻⁴ M	M.B.	8	2.70 \pm 0.17	59.8*	0.001 >
2	4 \times 10 ⁻⁵ M	M.B.	7	2.39 \pm 0.13	41.4*	0.001
3	10 ⁻⁵ M	M.B.	7	1.94 \pm 0.12	14.8*	0.4 <
4	Control		7	1.69 \pm 0.12	--	--
5	10 ⁻⁴ M	KCN	7	1.37 \pm 0.10	19.0	0.05 <
6	10 ⁻⁵ M	KCN	7	0.85 \pm 0.04	49.7	0.001
7	10 ⁻² M	KCN	6	0.19 \pm 0.09	88.8	0.001 >
8	10 ⁻² M KCN + 10 ⁻⁴ M M.B.		7	0.51 \pm 0.06	P value compared with class 7 0.02 >	
9	10 ⁻⁴ M KCN + 10 ⁻⁴ M M.B.		10	1.50 \pm 0.07	P value compared with class 4 0.17 >	

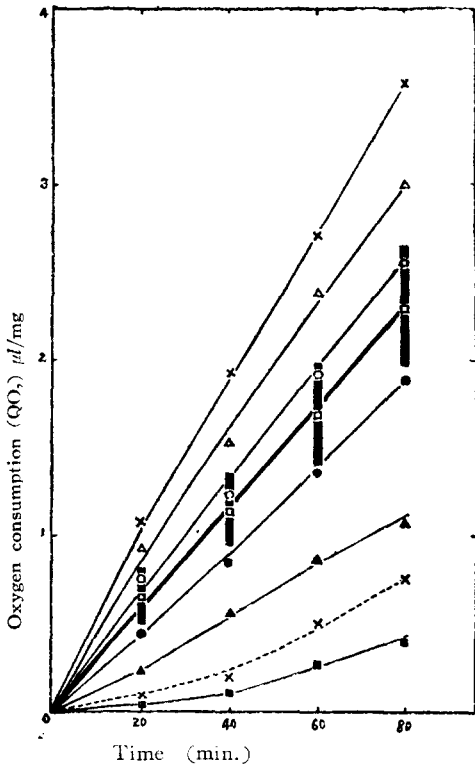


Fig. 2. Effect of cyanide and methylen blue on oxygen consumption of the gill tissue.
Temp.: 25°C, pH: 7.3, Gas: Air.
 ×—× 10⁻⁴M Methylene Blue (M.B.)
 △—△ 4 \times 10⁻⁵M M.B.
 ○—○ 10⁻⁵M M.B.
 □—□ Control (Normal tissue) ●—● 10⁻⁴M KCN
 ▲—▲ 10⁻⁵M KCN ■—■ 10⁻²M KCN
 ×...× 10⁻²M KCN + 10⁻⁴M M.B.
 █ █ █ 95% Confidence Limits

심한阻害를 보이고 있다. 특히 10⁻²M에서는 個體에 따라 거의 完全히 阻害된 것도 있었다.

그런데 *Meretrix meretrix lusoria*(Choi & Han, 1961)는 10⁻³M에서 90.8%, *Crassostrea gigas*(Kawai, 1956)에 있어서는 81%가 各各 阻害된데 反하여 *Pinctada martensii*(Kawai, 1957)은 10⁻³M에서 48% 밖에 阻害되지 않고, *Cristaria plicata spatiosa*도 10⁻³M에서는 50% 밖에 阻害되지 않고 있으나 보다 高濃度인 10⁻²M에서는 88.8%가 阻害되었다. 이와 같은 點으로 보아 靑酸 阻害度가 種類에 따라 差異가 난다는 것은 아가미 組織의 KCN에 對한 表面 透過力의 差異에 基因하는 것이 아닌가 생각한다.

한편 methylene blue는 正常 組織에서 酸素 消費量을 促進시켜 10⁻⁴M에서는 59%의 增加를 보이고 있다. 그러나 보다 低濃度인 10⁻⁵M에서는 別로 意義있는 增加를 보지 못하였다. 또한 10⁻²M KCN에 依하여 阻害된 아가미 組織에 있어서는 10⁻⁴M methylene blue에 依하여 酸素 消費量의 回復를 보았는데 그 回復率은 40分 後부터 顯著한 增加(Fig. 2)를 보아 1時間後에는 約 2倍 回復되었다. 그러나 *Meretrix meretrix lusoria*(Choi & Han 1961)에 比하면 그 回復率이 적은데 이런 點도 結局 아가미 組織의 methylene blue 透過度에 因한 것이 아닌가 생각한다.

以上の 結果를 綜合하여 보면, *Cristaria plicata spatiosa* 아가미 組織에도 다른 貝類(Kawai, 1956—1958, Choi & Han, 1961)와 마찬가지로 KCN에 依하여 強力히 阻害되며 methylene blue에 依하여 補償될 수 있는 cytochrome-cytochrome oxidase와 같은 金屬 酵素가 相當히 存在하며 이들이 呼吸 代謝의 主要 部分을 이루고 있음을 알 수 있다.

以上과 같은 酸化 酵素의 存在를 再確認하고, 이들 活性度를 比較하고자, 아가미 組織의 homogenate를 使用하여 主要 酸化 酵素系의 하나인 succinoxidase를 測

定하여 보았다. 實驗 結果는 Tabel 4에 表示하였다.

Table 4에서 볼 수 있는 바와 같이 homogenate 自體의 QO_2 는 25.15 μ l/g wet weight/hr이고, 여기에 succinate cytochrome c 어느 하나만을 加하였을 때는

別로 意義있는 增加를 볼 수 없었으나, succinate, cytochrome c와 activator로써 $CaCl_2$ 와 $AlCl_3$ 를 全部 加하였을 때에는 QO_2 54.50 μ l/g. wet weight/hr로써 顯著的 增加를 보았다.

Table 4 Succinoxidase activity of gill homogenate. Temp.: 25°C. pH: 7.4. Gas: Air. Components of assay mixtures; Succinate (s): 0.05M, Cytochrome c (c): 1.3×10^{-3} M $CaCl_2$ (Ca) & $AlCl_3$ (Al): 4×10^{-4} M, Phosphate: 0.04M 10% Homogenate (H): 0.2ml was used.

No.	Assay mixtures					No. of Exps.	QO_2 μ l/hr Mean \pm S.E.	QO_2 μ l/g. wet weight/hr	Percentage of increase	P value compared with class 1
	H.	S.	C.	Ca.	Al.					
1	+	-	-	-	-	6	5.03 \pm 0.34	25.15	-	-
2	+	-	+	+	+	6	5.41 \pm 0.03	27.05	7.05	0.4 <
3	+	+	-	+	+	6	6.16 \pm 0.55	30.80	22.50	0.1
4	+	+	+	+	+	9	10.90 \pm 0.38	54.50	116.70	0.001 >

이런 點으로 보아 淡水産 貝類 *Cristaria plicata spatiosa*의 아가미 組織에 있어서도 succinoxidase系가 呼吸代謝에 相當히 關與하고 있음이 確實하고 또한 cytochrome oxidase가 主要 末端酸化 酵素임이 틀림 없다.

(b) anaerobic glycolysis系.

Cristaria plicata spatiosa(CLESSIN) 아가미 組織에 있어서 解糖系의 作用을 究明하기 爲하여 細胞內의 解糖 過程中 enolase를 銳敏하게 阻害하는 fluoride (Holmes, 1940, Usuki, 1956)가 아가미 組織의 酸素 消費量에 어떠한 影響을 미치는가를 檢討하여 보았다.

이 結果는 Table 5에 表示하였다.

Table 5 Effects of fluoride on oxygen consumption of the gill tissue. Temp.: 25°C. pH: 7.3. Gas: Air.

Concentration of reagent	No. of Exps.	QO_2 μ l/mg/hr Mean \pm S.E.	Rate of inhibition and increase %, %	P value compared with control
Control	8	1.48 \pm 0.09	-	-
10^{-4} M NaF	10	1.73 \pm 0.08	16.8*	0.05 <
10^{-3} M NaF	7	1.58 \pm 0.10	6.7*	0.2
5×10^{-3} M NaF	8	1.30 \pm 0.12	12.2	0.2
10^{-2} M NaF	8	0.93 \pm 0.08	37.1	0.001 >
5×10^{-2} M NaF	8	0.66 \pm 0.04	55.5	0.001 >

肉에서 밝혀진바 있다(Hasting 1947, Humphrey 1950). 또한 Usuki(1956)는 *Crassostrea gigas*의 아가미 組織에서도 確認하였다.

그런데 本實驗에서 低濃度의 fluoride溶液에서 QO_2 가 阻害되지 않고 오히려 增加하는 傾向이 있다는 것은 興味있는 事實이다. 이것은 fluoride가 生體에 미치는 影響은 溶液의 pH에 따라 달라진다는 事實(Usuki 1956)에 비추어 浮游液의 pH에 의한 때문이 아닌가 생각한다.

以上 Table 5에서 보는 바와 같이 低濃度에서는 QO_2 가 多少 增加된 傾向이 있으나 5×10^{-3} M부터 阻害되기 始作하여 5×10^{-2} M에 이르러서는 阻害度 55.5%로 顯著的 減少를 나타내고 있다.

結局 fluoride에 依하여 QO_2 가 阻害되었다 하는 것은 解糖 過程中 enolase의 作用이 阻害됨으로써 無氣 呼吸代謝系에서 有氣呼吸代謝系(Krebs cycle)로 넘어 가는 過程이 끊어지기 때문이라고 생각한다. 이런 點으로 보아 *Cristaria plicata spatiosa*의 아가미 組織에 있어서 그 呼吸代謝에 Embden-Meyerhof 解糖系가 相當히 關與하고 있음이 確實하다.

이러한 無氣 解糖系에 對해서는 몇 種類의 貝類 筋

摘 要

1) 淡水貝, *Cristaria plicata spatiosa*(CLESSIN) 아가미 組織 呼吸은 低濃度의 NaCl, KCl溶液에 依하여 促進되었으나, $CaCl_2$ 溶液에 있어서는 意義있는 影響을 나타내지 않았다. 이 鹽類들의 濃度가 진할 수록 QO_2 는 차차 減少되었다.

2) 아가미 組織 呼吸의 至適 pH는 7.3으로 이때의 QO_2 는 1.51 μ l/mg. dry weight/hr이었다.

3) 아가미 組織 呼吸은 KCN에 依하여 相當히 阻害 되었으며, methylene blue는 正常 組織의 呼吸을 促進 시키고, 靑酸 阻害된 呼吸도 回復되었다.

4) 아가미 組織 homogenate에 依한 實驗에서 succinoxidase의 作用을 確認하였고, 그 活性은 54.50 μ l/g. wet weight/hr이었다.

5) 아가미 組織 呼吸은 5×10^{-2} M NaF溶液에서 55.5 % 阻害되었다. 이것은 아가미 組織에 enolase가 作用 하고 있음을 意味한다.

6) 以上の 結果로, *Cristaria plicata spatiosa*(CLESSIN)의 아가미 組織에도 다른 貝類와 같이 呼吸 代謝에 succinoxidase系가 關與하고 있으며, 또한 Embden-Meyerhof系가 作用함을 確認하였다.

文 獻

- Ashford, C. A. and K. C. Dixon 1935; The effect of potassium on the glycolysis of brain tissue with reference to the Pasteur effect; *Biochem. J.*, **29**: 157—168
- Baldwin, E. 1938; The respiratory metabolism of *Helix pomatia*; *Biochem. J.*, **32**: 1225—1237
- Ball, E. G. and B. Meyerhof 1940; The occurrence of iron porphyrin compounds and succinic dehydrogenase in marine organisms possessing the copper blood pigment hemocyanin; *J. Biol. Chem.* **134**: 483—493
- Choi, K. C. and M. H. Han 1961; Study on the respiratory metabolism in some bivalves (I) On the tissue respiration and succinoxidase system in the clam; *Korean J. Zool.*, **3**: 41—47
- Cooperstein, S. J. and Arnold Lazarow 1951; A microspectrophotometric method for the determination of cytochrome oxidase; *J. Biol. Chem.* **189**: 665—670
- Dickens, F. and G. D. Greville 1935; The metabolism of normal and tumor tissue XIII. Neutral salt effects; *Biochem. J.* **29**: 1468—1483
- Hasting, J. 1947; The effects of sulfhydryl inhibitors on the aerobic glycolysis of scallop and *thyone* muscle; *Biol. Bull.*, **93**: 194
- Holmes, B. E. 1940; Inhibition by fluoride of glucose breakdown in tumor tissue and retina extracts; *Biochem. J.*, **34**: 926—930
- Humphrey, G. F. 1947; Endogenous respiration of homogenates of oyster muscle; *Aust. J. Exptl. Biol. Med. Sci.*, **24**: 261—267
- 1950; Glycolysis in oyster mantle; *Aust. J. Exptl. Biol. Med. Sci.*, **32**: 583—586
- Ishida, S. 1952; Respiratory medium for the isolated gills of the clam; *J. Coll. Art. Sci.*, Chiba Univ., **1**: 41—43
- Jodrey, L. H. and Karl M. Wilbur 1955; Shell formation IV. The respiratory metabolism of the oyster mantle; *Biol. Bull.*, **108**: 346—358
- Kawai, K. 1956; The cytochrome system in marine lamellibranch gill; *J. Japanese Biochem. Soc.*, **28**: 379-383
- 1957; The metabolism of the pearl oyster, *Pinctada martensii* III. On the tissue oxidation; *Bull. Japanese Soc. Fish.*, **22**: 626—630
- 1958; Cytochrome system in oyster tissues; *Nature*, **181**: 1468—1469
- Keilin, D. 1925; Cytochrome, a respiratory pigment, common to animals, yeast and higher plant; *Proc. Roy. Soc. (London)*, **98 B**: 312—339
- Kelch, A. K. and H.A. Clowes 1951; Action of calcium on aerobic and anaerobic phosphorylation in malignant and normal tissues; *Proc. Soc. Exp. Biol. and Med.*, **77**: 834
- Pace, D. M. and W. H. Belda 1944; The effects of potassium cyanide, potassium arsenite and ethyl urethane on respiration in *Pelomyxa carolinensis*; *Biol. Bull.*, **87**: 138—144
- Pace, D. M. 1945; The effect of cyanide on respiration in *Paramecium caudatum* and *Paramecium aurelia*; *Biol. Bull.*, **89**: 76—83
- Stannard, J. N. and B. L. Horecker 1948; The *in vitro* inhibition of cytochrome oxidase by azide and cyanide; *J. Biol. Chem.*, **89**: 122—130
- Umbreit, W. W., R. H. Burris and J. F. Stauffer 1957; *Manometric techniques*; 3rd ed., Burgess Co.
- Usuki, I. 1958 a; Effects of some inhibitors of anaerobic glycolysis on the ciliary activity of the oyster gills; *Sci. Rep. Tohoku Univ. 4 ser. (Biol.)*, **22**: 49—56
- 1956 b; A comparison of the effects of cyanide and azide on the ciliary activity of the oyster gill; *Sci. Rep. Tohoku Univ. 4 ser. (Biol.)*, **22**: 137—142
- Usuki, I. and N. Okamura 1956; Glycolytic intermediates in the oyster gills; *Sci. Rep. Tohoku Univ. 4 ser. (Biol.)*, **22**: 225—232