魚体のコハク酸脱水素酵素に関する研究—V.

魚体におけるコハク酸脱水素酵素の分布と
魚種による差異について

福田 博 業

(宮崎大学農学部水産化学教室)

Studies on the Succinic Dehydrogenase of Fish.—V.
Difference of Succinic Dehydrogenase Activity between
Various Fishes and Fish-Organs.

Hironari FUKUDA

Since succinic dehydrogenase is an important enzyme in the TCA-cycle, tricarboxylic acid cycle of KREBS, high activity of the enzyme in any tissues implies that they constitute very active organs in the metabolic oxidation-reduction system.

The activity of succinic dehydrogenase of various fish was estimated by the colorimetric method¹⁾ using 2,6-Dichlorophenolindo-*o*-chlorophenol. A remarkable activity of succinic dehydrogenase was found in the dark meat and liver of most fish studied. The activity of the enzyme was highest in the dark meat, being about 1~2 times as high as that in the liver, and 5~10 times the strength of that in the ordinary meat of the same sample of pelagic fish.

The succinic dehydrogenase activity of the pelagic fish was higher than that of the other nonpelagic fish and fresh water fish. The E-values for the pelagic fish were as follows; 100~40 in dark meat, 50~30 in liver, 25~15 in kidney, 16~8 in gill, and 10~5 in ordinary meat. The E-values for nonpelagic fish were as follows; 24~16 in liver, 14~2 in kidney, 13~1 in gill, and 5~1 in ordinary meat.

These data indicate that oxydo-reductive metabolism is highly active in the dark meat and liver of pelagic fish. The high activity of the enzyme in these tissues may be intimately connected with the migratory habit of pelagic fish, undoubtedly.

コハク酸脱水素酵素 (以下 Suc. DH と記す) は TCA-cycle 中の重要な酵素として生体内の酸化還元系において極めて有力な役割をなしている。従つて生体組織内における Suc. DH 活性度の強弱は、その組織内における酸化還元代謝系の機能の差異を表わしているとみてよいであろう。例えばある魚種の血合肉が特に強い Suc. DH 活性度を示したとすれば、その血合肉は普通肉と較べて生化学的に異つた機能を持つものと推察できる。魚類の血合肉は普通肉にくらべて、単に外見上異なるだけでなく、機能的にも差異のある事実が認められつつあるが、著者は魚体中の Suc. DH 活性度を測定した結果からそのような事実を認め得たのでここに報告する。

実験方法

Suc. DH 活性度の測定はすべて前報¹⁾にのべた方法に従い、2,6-Dichlorophenolindo-*o*-chlorophenol を用いる比色法によつた。測定の条件はなるべく同一にするよう特に配慮した。

I. 測定試料

測定に供する魚体はできる限り新鮮な個体を用いることに留意し、止むを得ず死後に入手したものについ

Table 1. Succinic dehydrogenase activity in various fish.

Group	Species	Soc. DH Activity (E-value)					
		Dark meat	Liver	Ordinary meat	Kidney	Gill	Heart
Migratory pelagic fish	<i>Sardinops melanosticta</i> "Maiwashi"	84.2	31.7	8.5	22.2	13.6	15.7
	"	65.2	38.5	—	—	—	—
	<i>Etrumeus micropus</i> "Urumeiwashi"	105.3	43.1	6.1	20.0	12.2	—
	"	—	—	—	—	—	—
	<i>Trachiurus japonicus</i> "Maaji"	62.2	34.4	10.3	17.1	11.4	—
	"	40.2	40.3	5.5	26.8	16.4	—
	<i>Decapterus muroadsi</i> "Muroaji"	48.0	40.0	7.0	21.0	11.3	—
	"	80.6	36.1	8.3	12.4	15.6	—
	<i>Scomber japonicus</i> "Honsaba"	47.7	45.7	7.3	17.2	9.1	12.1
	"	44.0	30.7	8.0	16.4	8.8	—
	<i>Katsuwonus selamis</i> "Magatsuo"	65.6	58.2	9.7	14.5	10.0	—
	"	50.3	34.4	—	—	—	—
	<i>Auxis tapeinosoma</i> "Marusoda"	120.8	98.6	5.9	24.2	5.7	—
	"	100.0	52.0	—	15.8	—	—
Half migratory fish	<i>Euthynnus affinis yaito</i> "Yaito"	66.3	30.8	—	—	—	—
	<i>Neothunnus albacora</i> "Kihada"	75.0	49.9	9.4	25.7	13.6	14.3
	<i>Seriola quinqueradiata</i> "Buri"	40.9	44.8	13.7	37.3	9.5	—
	"	—	—	—	—	—	—
Non-migratory shore fish	<i>Scomberomorus niphonius</i> "Sawara"	34.2	20.0	2.6	12.6	10.0	—
	<i>Pragnichthys agoo</i> "Tobiwuo"	39.9	40.5	4.7	17.2	8.2	—
	"	31.6	22.2	—	—	—	—
	<i>Chrysophrys major</i> "Madai"	—	18.9	5.0	11.8	8.6	6.0
	<i>Taius tumifrons</i> "Kidai"	—	18.3	2.1	2.2	9.3	—
	<i>Evynnis japonica</i> "Chidai"	—	18.0	4.8	11.8	8.7	—
	<i>Branchiostegus japonicus</i> "Amadai"	—	16.5	1.9	—	1.0	—
	<i>Therapon oxyrhynchus</i> "Shimaisaki"	—	16.8	1.6	6.2	2.3	—
Fresh-water fish	<i>Parapristipoma trilineatum</i> "Isaki"	—	24.3	2.4	1.8	12.8	—
	<i>Muraenesox cinereus</i> "Hamo"	—	22.2	1.9	14.4	13.1	—
	<i>Sebastiscus marmoratus</i> "Kasago"	—	4.9	1.0	—	0.6	—
	<i>Cyprinus carpio</i> "Koi"	20.9	16.6	5.0	—	9.1	16.0
	"	24.9	12.0	—	—	—	—
	<i>Carassius auratus</i> "Funa"	13.5	6.0	3.7	1.8	—	—
	"	—	6.4	1.5	4.0	4.3	—
Mammalia	<i>Plecoglossus altivelis</i> "Ayu"	—	17.9	7.5	—	—	—
	"	—	22.7	5.2	7.6	5.0	—
	<i>Salmo gairdnerii irideus</i> "Nijimasu"	16.9	28.1	3.0	31.8	10.0	11.4
	"	11.2	37.8	—	19.7	2.1	—
Mammalia	<i>Bos taurus var. domesticus</i> "Ushi"	—	48.0	—	32.2	—	25.0
	"	—	60.0	—	33.3	—	—

ては死後硬直中のものを選び、鮮度不明の個体はできるだけ用いないようにした。しかし魚体組織中の Suc. DH は魚の死後時間の経過とともにその活性度が変化するので、Table 1 に示した測定値は多少の誤差をまぬかれない。

Suc. DH 活性度を測定した部位は血合肉、普通肉、肝臓、腎臓、鰓、心臓などであつた。これらの組織中の酵素活性度には著しい差があつて、同一の酵素濃度において測定することが困難であつたから、褪色時間 Δt になるべく 30sec. 内外に求められるような条件をえらんで測定した。

II. 酵素液の調製と活性度の測定

酵素液の調製は前報¹⁾と同様である。すなわち、組織の一定量をほぼ同量の水と blend したのち、さらに水を加えて 10 倍に稀釈した homogenate ($n = 10$) をガーゼで漉し、氷冷して調製後 10 分以内に測定に供する。活性度の測定は 2,6-Dichlorophenolindo-*o*-chlorophenol を用いた比色法²⁾により、測定条件は $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $\text{pH } 6.7 \pm 0.1$ とし、波長 $660\text{m}\mu$ で測定される Δt が 10~60 sec. の範囲内に来るように酵素液添加量 (α ml) を加減して測定を行つた。

測定結果は組織 1g に対応する酵素活性度の単位数 E をもつて表わした。

実験結果

測定結果を Table 1 に示す。表中の魚種類別は主として魚の運動習性を考慮して行つた。それは魚体中の Suc. DH 活性度と魚の洄游習性との間に関係があるようにみえるからである。また Table 2 の例に示したように、魚体の鮮度、死後の経過時間などによつて個体差があるので、なるべく 2 個体以上の平均値を求めるよう努めた。

なお参考のためにマアジについて測定した個体差の 1 例を Table 2 に示した。

Table 2. Variation of E-values of succinic dehydrogenase activity in the same species of fish.

Sample fish	Freshness	Dark meat	Liver	Ordinary meat	Kidney	Gills	Date
Horse-mackerel "Maaji"	immediately after killed	61.8	24.7	7.3	—	—	2, May
	"	40.2	40.0	5.5	26.7	16.4	4, "
	"	35.2	38.0	7.5	25.1	17.7	6, "
	in the period of rigor mortis	59.6	33.8	6.0	16.8	15.1	9, "
	Good freshness	62.2	20.4	10.3	17.1	11.4	25, March
	"	57.2	35.5	—	—	—	5, April

考 察

Table 1 の結果をみると、魚体中の Suc. DH 活性度は、魚体部位により、また魚種別によつて著しい差異のあることが知られる。

以下これらの差異について考察する。

I. 血合肉の Suc. DH について

洄游性魚類（赤身魚）の血合肉は特に強い酵素活性を有し、酵素活性度 E 値が 100~40 の値を示した。中にはソーダガツオのように 100 以上の酵素力を有するものもあつた。血合肉におけるこれらの値は同一個体の肝臓における酵素活性度のほぼ 1~2 倍に相当する。このように洄游性魚類の血合肉における Suc. DH 活性度が肝臓以上の強さを有するということは特に注目すべき事実であつて生化学的に重要な意味をもつものであろう。このことは血合肉が単純な筋肉ではなくして、肝臓に代る臓器的機能を有する器官であると考えられる。これに似た事実は先に著者の行つたカタラーゼの研究²⁾においても認められた処であつて、血合肉が臓器的機能を有するという見解を支持している。

血合肉が比較的に発達していないサワラ、トビウオなどでは血合肉の酵素活性度は弱く 40~30 内外であるが、やはり肝臓よりも 1~2 倍強い。淡水魚類の血合肉ではそれよりも更に低く 20~10 内外であつた。梅村⁸⁾は魚の血合肉中の Suc. DH 活性度が普通肉の約 8 倍強いことを報告している。

II. 肝臓における Suc. DH

魚類の肝臓における Suc. DH 活性度は一般に洄游性魚類に高く、非洄游性魚類に低い。イワシ、アジ、カツオ、サバ等の洄游魚の肝臓では 50~30 内外が普通であるが、タイ、イサキ、ハモなどの磯魚では 24~16 程度で低い。サワラ、トビウオなどの中間性魚種の肝臓で 40~20 位である。例外としてマルソーダは 100 に近い高い値を示し、反対にカサゴは約 5 という極めて低い値を示したが、これは運動習性の点からみて両極端を示す例であろう。このように洄游魚の肝臓が非洄游魚の肝臓に比してほぼ 4~2 倍強い酵素活性を有するという事は、生化学的に興味が深い。

淡水性魚類の肝臓では 20~5 内外の弱い値を示したが、冷水魚であるニジマス⁹⁾の例では 37~20 の比較的高い値を示した。

なお比較のために測定したウシ肝臓の Suc. DH 活性度は 60~40 (測定温度 20°C) の値で、洄游性魚類よりも幾分高い値を示した。

III. 腎臓における Suc. DH

魚類の腎臓における Suc. DH 活性度は肝臓に比して弱い。比較的に強い洄游魚の腎臓においても 25~15 内外の値であつて肝臓の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 程度であつた。

非洄游性魚類の腎臓では 14~2 内外であつて極めて弱い。中間性魚類の腎臓では 20~10 内外であつてやはり肝臓の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 程度であつた。ウシの腎臓における E 値は 33 内外であつて魚類よりも高い。

IV. 普通肉における Suc. DH

普通肉中における Suc. DH の酵素力は甚しく低い。洄游魚の普通肉で 10~5、非洄游魚のそれで 5~1、両者の間に明らかな差異はあるけれども何れも甚しく弱い。淡水魚類の普通肉でも 10~1 内外でやはり弱い。普通肉の酵素力を血合肉に比較すると、洄游魚では $\frac{1}{6}$ ~ $\frac{1}{10}$ 程度で $\frac{1}{7}$ ~ $\frac{1}{8}$ 内外のものが多し。マルソーダのような極端な例では血合肉の $\frac{1}{20}$ 程度であつた。このような事実からみても、普通肉が単純なる筋肉であるのに対して、血合肉はこれに約 10 倍する酵素化学的機能をもつことがわかる。

V. 鰓における Suc. DH

魚体の鰓における Suc. DH は洄游魚においても非洄游魚においても大差なく大体において 16~8 内外の活性度を示した。淡水魚の鰓でも 10~5 の値であつた。鰓における酵素活性度に著しい差のないのは主として鰓そのものでなくして鰓の中に含まれる血液の酵素力を考えれば説明される。

VI. 心臓における Suc. DH

心臓の Suc. DH 活性度はあまり高くない。参考のために測定したウシの心筋で E=25 を示し、肝臓や腎臓よりも低い。魚類の心筋についての測定例は少ないけれども 16~11 の値で、鰓の酵素力に近くて弱い。

従来 Suc. DH に関する多くの研究において専ら牛馬の心筋が試料として用いられているけれども、これらは必ずしも特別に強い酵素活性を有するものではない。

VII. 洄游性魚類と非洄游性魚類との比較

組織別の各項において詳述した通り、両魚類の間に著しい差異がある。特に血合肉と肝臓とに関しては魚種による差が甚だしく、明らかに魚類の運動習性に関係があると思われる。

VIII. 魚類と哺乳類との比較

哺乳類の 1 例としてウシの肝臓、腎臓、心臓について測定した値を Table 1 中に附記した。魚類の場合と同様に 20°C で測定した酵素活性度 (E) は、肝臓で 60~48 であつて洄游魚の肝臓の平均値よりもやや高く、魚類の中で最も強いカツオ類に匹敵している。同様に腎臓で 32、心臓で 25 であるから魚類のそれよりも幾分高い酵素力をもつ。ただし哺乳類の Suc. DH は 40°C 附近で急に活性度を増すから⁹⁾、ウシの体温に相当する温度においてはその酵素活性度は魚類のそれよりもはるかに強いことになる。

IX. 魚体における Suc. DH の個体差

例を Table 2 に示した。かなり著しい個体差が認められる。これは生活時における生理状態による本来の酵素力の差と、魚の死後における経過状態の差とによるものであろう。魚体が死後時間の経過とともに Suc. DH 活性度を低下してゆくという事実を応用して魚体の鮮度を測定する方法についてはすでに発表した⁴⁾。

X. 魚体における Suc. DH の生化学的意義

生体内において、Suc. DH の果している役割は TCA-cycle 中の重要な酵素として酸化還元代謝系に強く関与していることである。この酸化還元代謝系における酵素の作用量は酵素量と基質量との相対関係によつて左右されるものであるから、ある組織中の酵素量が特に大であるということは、基質となるコハク酸の生成もまた盛んであつて、この代謝系における酵素の作用量が大きいことを示すものであると考える。したがつて魚類の血合肉が、特に洄游性魚類の血合肉が肝臓以上の強い酵素力を有するという事は、これらの魚類の血合肉において Suc. DH の関与する酸化還元作用が、肝臓以上に盛大に行なわれることを示すものであろう。

以上のことから魚類の血合肉は普通肉と異つて肝臓に類似した臓器的機能を有するものであろう。その代表的な例は特に血合肉のよく発達しているカツオ類、マグロ類、イワシ類などの洄游性魚類によく認められる。

要 約

1. 各種の魚体中に含まれる Suc. DH の活性度を組織別に測定して比較した。(Table 1.)
2. Suc. DH 活性度は洄游性魚類の血合肉において最も強く、100~40 でそれぞれの肝臓の 1~2 倍に相当した。血合肉が比較的貧弱なサワラ、トビウオなどの中間性の魚種では 40~30、淡水魚の血合肉で 20~10 内外であつた。
3. 肝臓における Suc. DH はやはり洄游性魚類で最も強く 50~30 内外、非洄游性魚類で 24~16、中間性魚類では 40~20、淡水性魚類の肝臓では 20~5 (例外ニジマス) であつた。
4. 腎臓における Suc. DH は肝臓の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 程度で一般に弱い。洄游性魚類で 25~15 内外、中間性魚類で 20~10 内外、非洄游性魚類で 14~2 内外であつた。
5. 魚類の普通肉における Suc. DH は他の組織に比して極めて弱く、洄游性魚類で 10~5、非洄游性魚類で 5~1 であつた。普通肉における Suc. DH 活性度は血合肉の $\frac{1}{5}$ ~ $\frac{1}{10}$ 、中には $\frac{1}{20}$ 程度のものもあつた。
6. 鰓における Suc. DH は魚種により大差なく 16~8 内外であつた。
7. 心臓においても 16~11 程度で何れも弱い。
8. 洄游性魚類は非洄游性魚類に比して強い Suc. DH 活性を有し、魚種による差は特に血合肉と肝臓において著しい。
9. 魚体における Suc. DH の個体差は可なり著しく、死後の経過時間によつても異なる。
10. ウンにおける Suc. DH は魚類のそれよりも幾分強い傾向を示し、特にその体温に近い 40°C 附近の作用力を比較すると魚類の方がはるかに弱い。

終りに本研究費の一部は文部省科学研究費によつた。なお実験に協力された黒木暁君に感謝し、原稿の校閲をしていただいた九州大学富山哲夫教授に対して謝意を表する。

文 献

- 1) 福田博業: 本誌, **23**, 547~554 (1958).
- 2) 福田博業・樋口俊昭: 本誌, **20**, 232 (1954).
- 3) K. UMEMURA: Nagoya J. Med. Sci., **14**, 81 (1951).
- 4) 福田博業: 本誌, **23**, 486~493 (1957).