

Japanese Journal of Ichthyology

Volume VII, Nos. 2/3/4

December 25, 1958

魚 類 学 雜 誌

第 7 卷 第 2/3/4 号

1958 年 12 月 25 日発行

Published by the Nippon Gyogaku Shinkokai

Tsukiji 5-chome, 1-banchi, Kyobashi,

Tokyo, Japan

養殖ウナギの酸素消費量について

江 草 周 三

(東京大学農学部)

On the oxygen consumption rate of the pond-cultured
eel, *Anguilla japonica*

Syuzo EGUSA

(Faculty of Agriculture, University of Tokyo)

ウナギは水産上重要な魚種であるが、その生理、生態に関しては未知の点が多い。呼吸についても、われわれの知識は決して豊富なものとは言えない。特にウナギの養殖においては、“水変り”とか“鼻上げ”とか、技術上重要であるのはもちろん、学術的にも興味深い現象があるが、それらはいずれも呼吸に直接、間接、つながった問題であることは言うまでもない。にもかかわらず、従来、呼吸の研究がきわめてわずかしか行われていないことは不思議なくらいである。

呼吸の問題といつてもその範囲は広いが、最も応用の広い酸素消費量を取り扱った主な文献をひろつても、斉藤(1925)、稲葉(1937)、高橋(1943)等があるにすぎない*。一方、ヨーロッパでは GARDNER & KING (1922)、RAFFY (1933)、及び VAN DAM (1938) 等の報告が出されている。しかし、それらの結果はある程度まちまちのようである。酸素消費量は魚自身や実験の条件によつてまちまちになることはよく知られていることであるが、過去の実験では、特に魚の条件にかなりあいまいな点があつたように思われる。最近、佐野・松江(1958)はウナギ養殖の理論を述べているが、酸素消費量の値の引用に困窮を感じているのも無理のないことである。

ここに報告する若干の実験は、他の研究目的の必要から行つたもので、むしろ断片的記録にすぎない。しかし、ウナギ養殖技術の向上のための研究活動が急速に高まりつつある現在、その断片的資料も何らかの役にたてば幸と思ひ、あえて公表するしだいである。

本報を草するにあたり、資料を心よく提供して下さつた東京水産大学佐野徳男氏、及び東京大学農学部附属水産実験所中村中六博士並びに笠原正五郎氏に厚く御礼申し上げる。

* この外に、比較的最近、佐野徳男(1956)の口頭発表がある。

実験材料及び方法

実験に用いたウナギは東大農学部附属水産実験所とその附近の養魚池から得た。実験の大部は同実験所で行つた。この場合は、毎日の給餌前に、餌のにおいによつて集めて捕獲後、直ちに供試した。飢餓の影響をみた一部実験は、魚を学部実験室に運び、そこで行つた。

実験方法は流水式により、水は井戸起源の水道水を充分曝気し、酸素がほぼ飽和状態（飽和度、94~98%）となつたものを用いた。

呼吸室にはガラス円筒を用いた。VAN DAM もガラス筒を用いてウナギの呼吸実験をしているが、ガラス筒を採用した意図は少しく異なるようである。魚の酸素消費量は、standard metabolism, active metabolism あるいは routine metabolism によるものが別々に求めうるわけであるが、(cf. FRY, 1957), 筆者はできるだけ standard metabolism に近づいた消費量を求めることを意図した。

そこで、実験容器内でウナギを比較的長時間安静に保たせる方法を考えたのであるが、衆知のようにウナギは竹筒のような隠れ場に好んで入る習性がある。この習性は暗い所を好むということばかりでなく、多分に接触感も関係しているらしい。というのは、ガラス円筒にも進んで入り、且つ長時間そこに止まるからである（もつとも、これには光条件が関係するようであるが）。そこで筆者は、このような筒に入つたウナギは落ち着き、その状態で測られる酸素消費量は standard rate に近いと考えたのである。観察の便宜上、筒にはガラス管を用いたのであるが、実験中は魚をいっそう安静にさせるため実験槽を薄暗状態に保つた。

接触感覚が関係するとなると筒の内径が問題となる。この実験では、内径 1.5~6.0 cm. の 5 種類の太さで、長さがウナギの体長より 10~15 cm. 程度長いものを、魚の大きさに応じて適宜用いた。

供試魚は各ガラス管に 1 尾づつとし、第 1 図のように装置を組合せた。

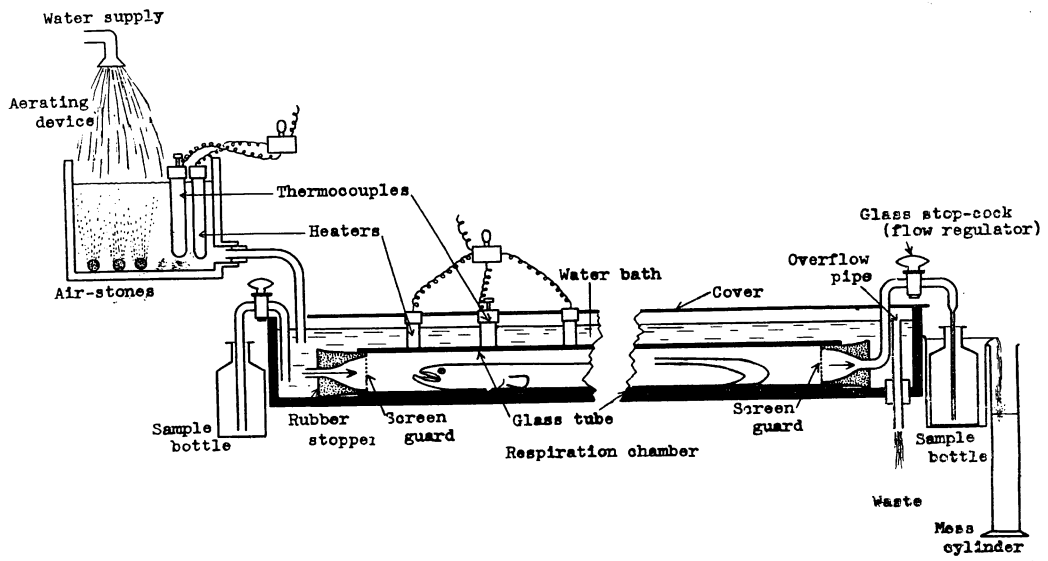


Fig. 1. The apparatus used in measuring the oxygen consumption rate of the eel.

水の溶存酸素量の測定は WINKLER の常法により、魚を容器に收容し、ほぼ1時間経過して後より、1時間々隔で流入、流出水について行つた。同時に水温及び通水量を測り、また参考のために呼吸動作、回数等も調べた。但し、夜中は測定間隔を3~6時間とした。

実験は体重5g程度のものについては1957年7月、他は1958年7月に行つた。実験水温は約25°Cである。実験を行つた7月と言う時期は、いろいろな意味でウナギ養殖の重要期であらう。25°Cはその時期の平均水温に近いものである。なお通水量は50~250 cc/min. で、魚が大きいほど多くし、流出水の酸素量が4 cc/l を下ることのないよう注意した。

実験結果

予備水槽中でウナギをガラス筒中に入りこませ、その両端にゴム栓等を取り付け、測定装置内にうつつし、暗くするとウナギは筒内でほとんど静止する。観察のため頭上をやや明るくすると、ウナギは筒内をわずかにばかり静かに後退する。この挙動は池中の竹筒内に潜む場合に似る。

経時変化： まず、1時間ごとに得た酸素消費量の経時変化の数例を第2図に示す。

これによると、初期の消費量は高く、次第に低下して、5、6時間以後はほぼ一定となるが、15時間位たつと大きな変動が生じはじめる、という傾向のあることが認められる。

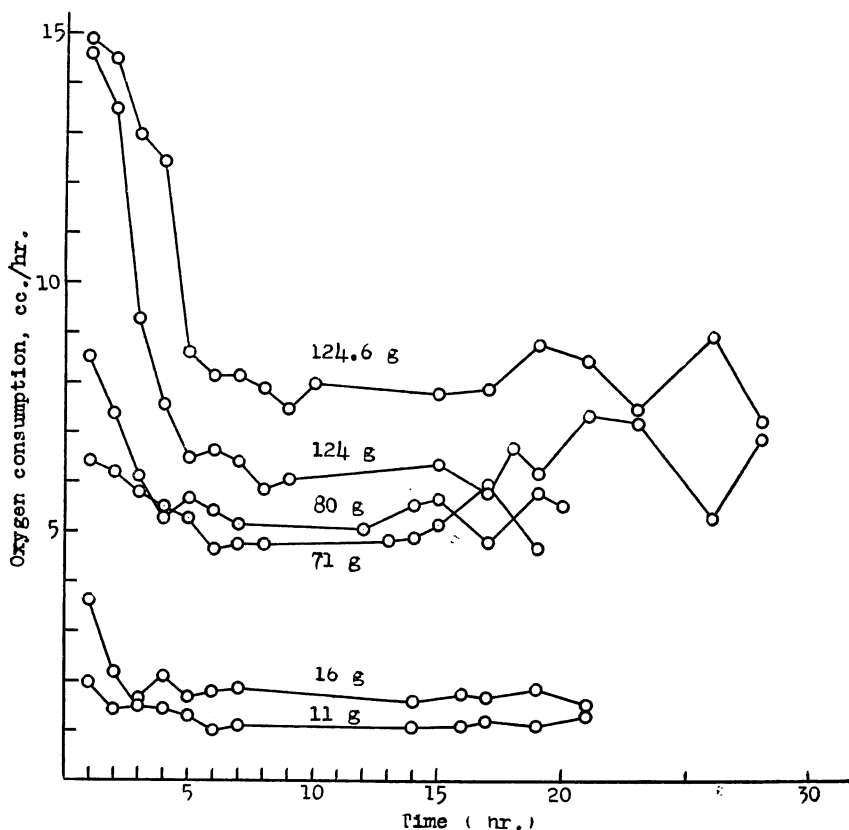


Fig. 2. Fluctuations of the oxygen consumption rates of eels with the lapse of time, measured in glass tube respiration chambers at approximately 25°C. Body weight of fish indicated by figures in body of graph.

初期の高い価は、おそらく実験容器内に収容されたことによる興奮が影響しているのであろうが、前日に食した餌の影響が残っているのかもしれない（捕獲は摂餌後約 24 時間後に行はれている）。但し、実験中にふんの排出がみられた例は比較的少なかった。

5, 6 ないし 15 時間位の間安定した消費量は standard metabolism の価を示すものと考えたいが、その後の変化期に、更にそれより低い価が測られていることがあるので、それと断定しきれないようでもある。しかし、ここではこの安定した5~15 時間の 5~8 個の測定値の平均をとりそれを空腹時休止状態の酸素消費量（以後単に消費量と記す）として取り扱うことにする。

十数時間経過以後の変動の理由はよくわからない。あるいは、空腹などの生理的欲求による活動性が高まってくるのかもしれない。この時期には片側鰓呼吸や呼吸中止などの現象がよくみられるが、異常に低い価はそのためかもしれない。また、この時期は、変化は激しいが、測定値の平均をとると、ほぼ休止状態の消費量の価に近いことは興味がある。

個体差： 同様の体重のウナギいくつかについて消費量を比較したのが第1表で、その差はかなり大きい。ここでは差をはつきり示すため、肥満度 ($W/L^3 \times 1000$) のかなり相異なるもの、給餌量が少なかつたため明らかに成長の抑制されたもの、などの価がとつてある。また、飢餓の影響の一例を第2表に示した。

Table 1. The relation of the oxygen consumption rate to fatness in pond-cultured eels.

	Body weight (g.)	Body length (cm.)	Fatness ($W/L^3 \times 1000$)	Oxygen consumption (cc./hr.)	Remarks
No. 1	80	37.5	1.52	54.2	
No. 2	81	37.2	1.52	58.3	
No. 3	87	36.5	1.79	61.6	A fat fish.
No. 4	91	42.2	1.21	46.8	A thin fish, the growth of which had been restricted by shortage of food.
No. 5	83	40.2	1.28	42.1	Many anchor worms, <i>Lernaea</i> sp., had been parasitic on the wall of the mouth cavity.

Table 2. The effect of starvation on the oxygen consumption rate. (at approximately 25°C.)

	Body weight (g.)	Body length (cm.)	Fatness ($W/L^3 \times 1000$)	Oxygen consumption (cc./hr.)
At the beginning	87	36.5	1.79	61.6
After 4 days	80	:	1.65	50.3
: 10 :	76	:	1.56	39.5
: 21 :	70	-	1.44	30.7
: 30 :	67	-	1.38	27.7

これによると、やせた魚の消費量は低く、同一個体でも飢餓状態におくと、短期間に体重が減るとともに、消費量も急速に低下することがわかる。イカリムシの寄生するものでもまたかなり低い価を示している。しかし、そういった明らかな個体条件の差のつかめないものもある。池では毎日給餌しているが、すべての魚がその都度餌を食すとは限らない（江草・大島，1959）ので、あるいは食事後の経過時間の差の影響もあるかもしれない。

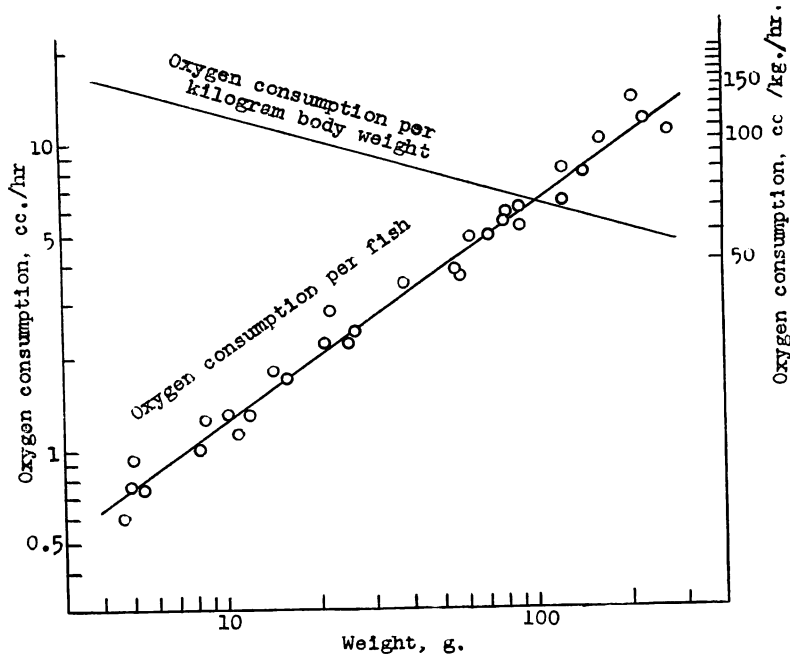


Fig. 3. Resting rates of oxygen consumption of pond-cultured eels, *Anguilla japonica*, in relation to size at approximately 25°C.

結果のまとめ： 個体に明らかに問題点（たとえば、肥満度が著しく小さいとか、病態であるとか）のあるものを除き、得られた消費量を第3図にまとめて示した。なお、個々の実験の水温は厳密には同じではない。しかし、各実験の水温の変化幅は平均水温の $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内であり、また全実験の平均水温の範囲は $24.9\sim 25.1^\circ\text{C}$ であつて、大体一樣な温度とみてさしつかえないであろう。したがつて、個々の水温のデータは略した。なお、第3図には換算して得た単位時間、単位重量当りの消費量も示しておいた。

酸素消費量は魚の大きさ（体重）によつて相異なることは言うまでもないが、多くの魚種について、消費量と体重の各対数の間には直線関係がみられること、その slope は魚種によつて多少相異し、 $0.5\sim 0.9$ の範囲にわたるが、 0.8 程度のものが多いこと、また、その slope は水温によつても、また、standard metabolism であつても active metabolism であつても変わらないことなどが知られている。(cf. FRY, 1957)。ここに得られた結果でも、やはり消費量と体重の各対数間には直線関係が成立することがわかる。その slope はほぼ 0.7 となる。

論 議

上記の結果を既往の報告の結果と比較してみるために第4図を描いた。この図中には齊藤 (1925), GARDNER & KING (1925), VAN DAM (1938), 高橋 (1943), 佐野 (口頭発表, 1956) 及び笠原・中村 (未発表) の結果の各一部を引用してある。これらの諸報告の中で 25°C 附近の温度での値が測定されているのは、齊藤、佐野及び笠原らのもので、高橋は 15°C VAN DAM は約 18°C また GARDNER らは最高 22°C までが測定されているに止まる。ただ、GARDNER らの結果では、酸素消費量と水温との間に直線的関係が成立しているのので、グラフによつて 15°C 及び 25°C の値を求めそれを記入してある。なお実験方法は研究者によつて密閉式、流水式と異り、方法は同じでも細目はむろん相違している。また、佐野と GARDNER らの値は数個体の平均値が与えられてい

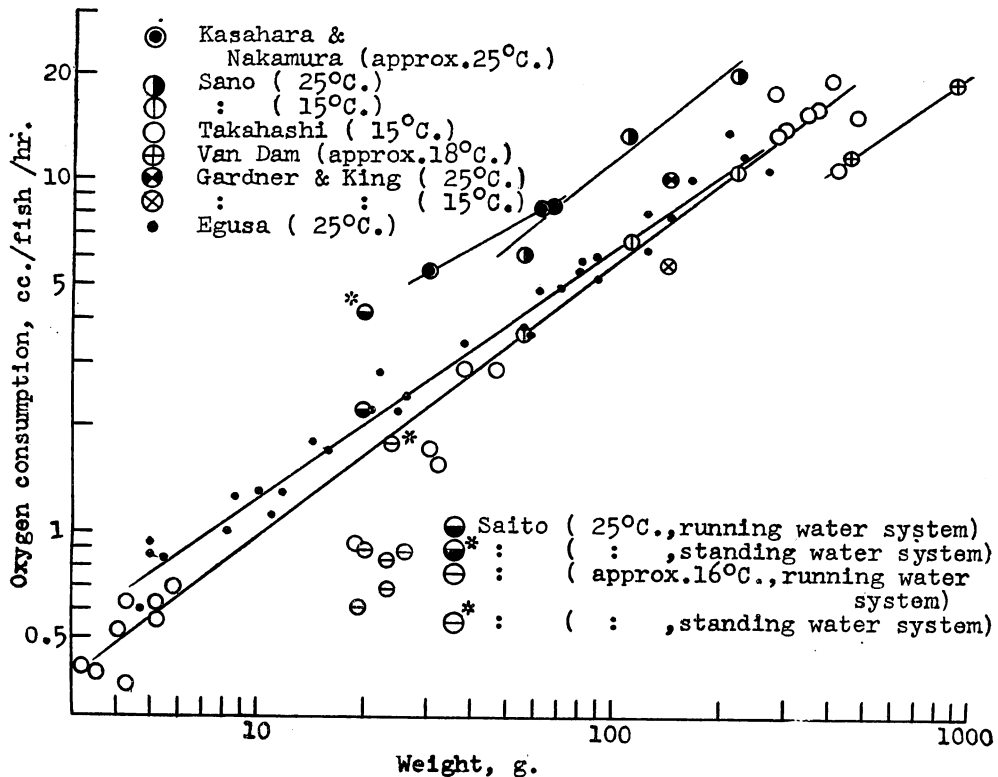


Fig. 4. Comparison of the data reported by various investigators on the oxygen consumption of the eel. Data from the following sources: GARDNER & KING (1922); SAITO (1925); VAN DAM (1938); TAKAHASHI (1943); SANO (1956); KASAHARA & NAKAMURA (unpublished).

る。なおまた、GARDNER らと VAN DAM は *A. vulgaris* を用いているわけであるが、この魚種の違いはここでは考えないでおく。この外に、稲葉 (1937) は比較的多くの、しかも非常に低い価のデータを出しているが実験方法に問題点が多いのでここには省いた。

この図をみると、高橋の 15°C、佐野の 15°C、及び 25°C、笠原らの 25°C、VAN DAM の 18°C の価は、すべて消費量及び体重の各対数間の直線関係を満足し、それら各の slope は筆者のそれと大差ない。このことは一般法則にかなっている。

つぎに、各研究者の得た価を比較検討してみよう。水温 25°C の場合、比較しうるデータは少ないのであるが、斉藤の流水式で得た価 (1 例にすぎないが) と GARDNER らの価と筆者の価とは近似しているが (幾分両者の方が高い)、斉藤の密閉式、佐野、及び笠原らの価はいずれも筆者よりかなり高い。佐野は密閉式によつていたので、斉藤、佐野の価が高いことは、一つは斉藤が述べているように、密閉式によると流水式によつた場合よりも高い価がえられるという関係であろう。

笠原らの価は流水式で、しかも筆者と同じ養魚池のウナギを捕獲直後に用いているのであるが、実験容器に収容数十分後の価 (連続回数測定の平均値) であること、また実験用水に池水を用いた都合上、池畔の明るい場所で測定されたこと、などから興奮状態の価が求められているものと思われる。なお、笠原ら、筆者ともに高水温期に実験しているが、佐野は冬期に実験を行なつている。季節によつて魚の metabolic rate に相違があるはずであるが、その検討はここではなしかねる。

つぎに比較のために 15°C の価もみてみよう。高橋、斉藤及び佐野が各密閉式で得た価はきわめてよく一致する。しかし、GARDNER らの価はやや低く、斉藤の流水式による約 16°C の価と VAN DAM (約 18°C) の価ははるかに低い。この相異には、やはり実験法の違いが関係しているのであろう。

ここで関心のもたれるのは、密閉式によつた三者の価が、供試魚の前歴にかかわらず一致していることである。もつとも、高橋、斉藤とも供試魚が養魚池のものか天然のものかはつきりしない。斉藤は蓄養池より取りあげたとあるのみであるし、高橋は捕獲後数日たくわえて後供試したと述べているだけである。想像にすぎないが、多分高橋は天然魚を用いたものであろう。一方、佐野は養魚池のウナギを用いている。天然魚と養魚とでは metabolic rate にかかなりの差があつてもよいのではなからうか。

この点につぎのように考えられる。佐野の実験は冬に行われ、いわゆる餌止め後であり、metabolic rate も低下し、天然魚との差も少なくなつていたのであろう。そうだとすると、25°C の価もこの点は考慮に入れる必要があらう。

摂餌の近さは重要な要素である。少くとも実験の 1 両日前まで餌をとつていたと考えられる魚について実験したのは笠原らと筆者だけである。他はすべて相当の期間空腹であつたようである。筆者の結果にみられるように、飢餓は短時間内に急速に消費量を低下せしめてゆくのであるから、実験魚の食事歴が近似しているのではないものを比較することはあまり意味がないかもしれない。

また、各研究者は standard metabolism の価を測定しようとしたと思われる。しかし、たとえば斉藤は流水式測定のさい、1.6 l あるいは 2.8 l の丸形フラスコを呼吸室に用いているが、このような狭い器底でウナギが長時間静止状態にあるとは考えられない。おそらく上に引用した多くの場合は、いわゆる routine metabolism の消費量、あるいはそれより高い価が得られている可能性はじゆうぶんあるように思はれる。結局、飢餓による消費量の低下と、ある程度の魚の活動によるその上昇とが複雑に組合された価が測定されているのであろう。

結論及び総括

正常に成長しつつある養魚池のウナギの静止状態における酸素消費量を知る目的で実験を行った。実験方式は流水式により、呼吸室にはウナギをできるだけ安静な状態に保つために、ガラス円筒を用いた。実験水温は 25°C である。その結果、次のごときが得られた。

体重 (g.)	5	10	20	50	100	150	200	300
酸素消費量 (cc./hr.)	0.75	1.2	2.0	3.8	6.2	8.3	10.2	13.5
" (cc./kg./hr.)	150	120	100	76	62	55	51	45

これらの価は既往の報告と比較し、妥当なものと考えられる。

文 献

- 江草周三・大島泰雄 (1959). ウナギの摂餌量について. 水産増殖, vi (4), 112-119.
- FRY, F.E.J. (1957). The aquatic respiration of fish. Brown, M.E. (editor): The physiology of fishes, 1-63. New York: Academic Press.
- GARDNER J.A., and KING G. (1922). Respiratory exchange in fresh water fish. Part V. On eels. Biochem. J., xvi (6), 736-738.
- 稲葉 俊 (1937). 養鰻池の「水変り」に関する予察的研究. 静岡県水産試験場浜名湖分場, 魚介類斃死原因調査報告, 第 II 報, 1-39.
- RAFFY, A. (1933). Recherches sur le metabolisme respiratoire des poikilo-therms aquatiques.

Ann. inst. oceanog. (Paris), xiii, 257—391.

斎藤光雄 (1925). 鰻の呼吸に関する研究. 水産研究誌, xx (8), 280—290.

佐野和生・松江吉行 (1958). 養鰻池の酸素代謝機構 II. 養魚理論の養鰻池への適用. 水産増殖, vi (1), 50—55.

高橋仁助 (1943). 水産動物の酸素消費率. 水産学雑誌, li, 7—24.

VAN DAM, L. (1938). On the utilization and regulation of breathing in some aquatic animals. Dissertation, Groningen.

Résumé

An attempt was made to determine the oxygen consumption rate of the pond-cultured eel in the resting state by means of a flowing water system.

On the basis of the fact that the eel, being possibly thigmotactic, remains almost motionless when a tube of appropriate dimensions is provided for it, glass tubes, which were varied in diameter and length according to the size of fish used, were employed as respiration chambers in the present investigation.

The fish used in experiments were pond-reared eels ranging in body weight from about 5 to 270 g. Immediately after being taken from eel-culture ponds at about 24 hours after feeding, fish were placed in respiration chambers separately. All experiments were carried out in July at about 25°C.

Successive measurements of the oxygen uptake over a period of about a day, revealed, in almost every case, that during the early part of the experiment the rate of oxygen uptake was considerably high, but later (about 5 hours after introduction of the fish) it settled down to a lower value which remained more or less constant until it again fluctuated widely and irregularly after the lapse of about 15½ hours. In the present study such a steady rate of oxygen consumption in the middle of the experiment was taken as an estimate of the resting rate of oxygen consumption.

The rate of oxygen consumption of the pond-cultured eel at 25°C. thus obtained are summarized as follows :

Body weight (g)	5	10	20	50	100	150	200	300
Oxygen consumption (cc./hr.)	0.75	1.2	2.0	3.8	6.2	8.3	10.2	13.5
: (cc./kg./hr.)	150	120	100	76	62	55	51	45

These values give a straight line when the logarithm of the rate of oxygen consumption (cc./hr.) is plotted against the logarithm of the body weight. The slope of the line has a value of approximately 0.7.