魚類の特異動的作用に関する研究—I

測定条件の検討*

浜田 篤信・位田 俊臣

(1973 年 9 月 25 日受理)

Studies on Specific Dynamic Action of Fishes—I
Various Conditions Affecting the Value of Measurement

Atsunobu HAMADA** and Toshiomi IDA**

Of the many investigations reported on the growth of fishes, a few involve measurements of the stimulating effect of food on metabolism, i.e. specific dynamic action (SDA). The present series of investigations deals with SDA of fishes to gain information on its growth structure.

SDA is usually measured as total extra oxygen uptake after feeding above a baseline level. In the present paper, SDA of fresh-water fishes fed with *Limnodrilus* and an artificial diet containing 46% of protein was measured as total extra oxygen uptake, nitrogen excretion and the ratio of O_2/N to characterize the various aspects.

The results obtained are as follows.

1. The metabolic rate due to SDA increases up to 3-4 hours after feeding and decreases 4-5 hours after feeding. The second increase appears 5-8 hours after feeding.
2. The first increase in metabolic rate due to SDA differs from the second in the ratio of total oxygen uptake and nitrogen excretion.
3. The increase of metabolic rate due to SDA is in proportion to the amount of food intaken.
4. Total extra nitrogen excretion due to SDA decreases with starvation and total extra oxygen uptake decreases more rapidly. Accordingly, the ratio of O_2/N decreases with starvation.

食物摂取にともなつて代謝が増大することは、よく知られている。特に栄養化学の分野では多くの研究があるが、魚類の特異動的作用に関する研究は少なく、最近 GLASS¹⁾、鈴木²⁾ および SAVITZ が行つた報告が目にとまる程度である。従来、魚類の成長やエネルギー収支を論ずる場合には、特異的作用 (SDA) の項が無視されることが多かつたが、これらの問題をさらに究明するためには、SDA の研究が不可欠のものとなつて来る。本研究は、このような観点から、魚類の成長を解析する目的ではじめられたものであるが、第 1 報では測定値に影響を与えと考えられる諸条件、水温、栄養状態、魚種や大きさ、摂餌量について検討を加えた。

実験方法

SDA は摂餌にともなう代謝増大を意味するもので、熱発生量が測定されることが多いが、魚類では酸素消費量が測定されている。SAVITZ³⁾ は N 排泄量を測定しているが、SAD の定義からみれば、かならずし

* 1971 年日本水産学会年会講演発表

** 茨城県内水面水産試験場 (Freshwater Fish. Exp. St., Ibaraki Pref., Japan)

も正しい方法とはいえないが、N 排泄と酸素消費量との間に一定の関係が成り立つ場合には、N 排泄量から SDA による代謝増大量を推定することができよう。本報では、主に酸素消費量を取りあげるが、N 排泄量の測定を併用し、両者の比率等の検討を行つた。測定方法は、たとえば、FRY⁴⁾ の例にみられるような呼吸室流入出口の量の差に流量を乗じて求めた。水温は、一部の実験を除き $25 \pm 1^\circ\text{C}$ に保ち、呼吸室の酸素量が 3 ml/l 以下に低下しないように流量を調節した。呼吸室は魚の大きさによつて $0.3\text{--}30 \text{ l}$ の容器を使用し、1 時間当りの流量が呼吸室容積の 3-10 倍になるようにした。飼料としてはイトミミズ *Limnodrilus* および市販配合飼料(粗蛋白 46.2%, 粗脂肪 4.4%, 粗繊維 2.8%, 粗灰分 12.8%)を使用した。溶存酸素量は、WINKLER 法, $\text{NH}_4\text{-N}$ は NESSLER 法, Total-N は Microkjeldahl 法によつた。また水溶性 Total-N は残餌や糞あるいは、粘液を除くために、必要に応じて、濾過してのち測定した。

実験結果

標準代謝量の日週変化 SDA の測定にさきだつて、標準代謝量の変動を求めておく必要がある。2 週間充分飼育を与えたコイ *Cyprinus carpio* およびワキン *Carassius auratus* について、24 時間絶食させたのち、酸素消費量を測定した。結果は Fig. 1 のとおりである。試験魚は呼吸室でほとんど静止しているが、ごくわずかに上下に動く程度であつた。酸素消費量は 54 g のコイでは $6\text{--}7 \text{ ml/hr}$, 69 g のワキンでは $5\text{--}7 \text{ ml/hr}$ の間を変動している。ワキンでは測定を開始してから、30 時間以後にかなりの低下がみられるが、実験は普通 20 時間以内に完了することが多く、その範囲内では、変動は $\pm 10\%$ 以内であり、SDA を酸素消費量によつて測定することができるものと考えられる。

水温 16, 20, 25 および 30°C で、3.5 g のリュウキンに 30 分間イトミミズを摂取させてのち酸素消費量を測定した。結果を Fig. 2 に示す。代謝増大は 25 および 30°C では 3 時間後に最大に達し、以後急激に減少する。20 $^\circ\text{C}$ では、4-5 時間後に最大に達し、代謝増大も 25 および 30°C に比較するとゆるやかである。16 $^\circ\text{C}$ では 5 時間までほとんど代謝増大はみられず、7-9 時間で代謝増大が起こっている。このように SDA による代謝増大は水温によつて影響をうけ、25- 30°C で著しく、SDA が完了するに要する時間も短くなる。

魚種 143 g のワキン、3.5 g のタナゴ *Acheilognathus lanceolata* 5.5 g のチチブ、*Tridentiger obscurus* にイトミミズを与えてのち酸素消費量を測定した (Fig. 3)。ワキンおよびタナゴでは、3 時間半で最大に達し、標準代謝量の 2-3 倍にまで増加する。その後、一時低下するが、5-6 時間で再びやや増加し 8 時間で標準代謝量に近い値にとどる。これに対し、チチブでは、3 時間および 6 時間のところに代謝量の増大がみとめられるのは、ワキン、タナゴと同じであるが、摂餌後 15 分後に著しい増大が起こっている。この 15-30 分間に起こる増大は急激に減少し、2 時間を過ぎる頃より再び

Fig. 1. Daily changes in standard metabolic rate of *Carassius auratus* weighing 69 g (A) and *Cyprinus carpio* weighing 54 g acclimated to $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

Fig. 2. The effect of temperature on the metabolic rate due to SDA for *Carassius auratus* (3.5 g) fed *Limnodrilus*.

Fig. 3. Oxygen uptake due to SDA for *Carassius auratus* (A), *Acheilognathus lanceolate* (B) and *Tridentiger obscurus* (C). Total extra oxygen uptake is 124, 124 and 97 ml/g diet (dry) respectively.

Fig. 4. Oxygen uptake due to SDA and nitrogen excretion of *Cyprinus carpio* weighing 10.2 g (A) and 734 g (B) and *Carassius auratus* (C).

増大していく。このように SDA による代謝増加は魚種によつて若干異なるようである。

酸素消費量と N 排泄量の関係 蛋白質の SDA が特に大きいことは、よく知られているが、脂肪や炭水化物でも 10-20% 程度はおこるから、N 排泄量の測定だけから SDA を算出することはできない。また、N 排泄量と酸素消費量との関係は、飼料の組成によつても当然変化するものであるが、ここでは、先にあげた配合飼料を与えた場合の SDA について、酸素消費量および N 排泄量を測定し、両者の比率から、実験上注意すべき点を導こうとするものである。

143 g のワキン、10.2 g および 734 g のコイに配合飼料をそれぞれ、0.41, 0.10 および 1.0 g 与えて酸素消費量および $\text{NH}_4\text{-N}$ の測定を行つた (Fig. 4)。また 143 g のワキンについては、Total-N の測定も行つた。この結果を Table 1 に示す。10.2 g のコイでは、酸素消費量の増大は、2, 4, 5 および 7 時間でおこっているが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 排泄も、これと対応するように 4 回の増大がみられる。この例では 5 時間以降の $\text{NH}_4\text{-N}$ 排泄が大きく特徴的である。734 g のコイでは、酸素消費量は、2-3 時間に増大し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 排泄もこれとほぼ同じところに増大している。10.2 g のコイに比較すると、4-5 時間の増大が小さい。また、143 g のワキンでは、酸素消費量は、3 時間後に最大に達し 4 時間半で一時的低下するが、5-7 時間の間に 2 回の増大を示し、8 時間で標準代謝にもどっている。また Total-N 排泄量の変動は、8 時間の間に 3 回の増大がみとめられ、酸素消費量が 0-4 時間半で大きかつたのに対し、N 排泄量では 4 時間半-8 時間で大きい。また Table 1 から $\text{NH}_4\text{-N}/\text{Total-N}$ の比率を求めると、1, 2, 3 時間目は、0.71 であるが、5, 6 時間目は 0.39 となり、4 時間半を境に差がみとめられる。

摂餌量 143 g のワキン、734 g および 814 g のコイに投餌量を変化させて SDA による代謝増加量を測定した (Table 2)。ここでは、測定値を図示し、その面積を算出して酸素消費量および $\text{NH}_4\text{-N}$ 排泄量を求めた。SDA にもとづく代謝増加量は、当然のことながら、投餌量の増加とともに増大する。いま、代謝増加量を投餌量で割つてみると比較的一定した値が得られる。814 g のコイの場合には、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 排泄量が測定してあるが、33-44 mg/g diet である。またワキンでは、0.1 g および 0.26 g 投与では、166 および 150 ml/g diet の酸素消費量を示し、やや高いが 0.54-1.07 g では、ほぼ一定の値を示している。また、734 g のコイの場合には、0.98 g 投与でやや高い値を示しているが、0.4-3.9 g の間で一定した値を示している。すなわち、SDA による代謝増加量は摂餌量に比例するものと考えられる。

絶食 一般に絶食によつてエネルギー要求が高まり、SDA が小さくなることが予想される。2 週間

Table 1. Oxygen consumption and nitrogen excretion of *Carassius auratus* (143 g) after being fed 0.41 g of diet.

Time (hours)	O ₂ uptake (ml/)	N excretion (mg)	
		Total-N	NH ₄ -N
0	15.0	0.65	
0.5	—	0.50	
1.0	17.6	2.68	1.93
1.5	20.5	1.40	
2.0	24.0	1.95	1.38
2.5	24.8	1.36	
3.0	29.8	1.11	
3.5	22.9	2.94	
4.0	21.3	2.19	
4.5	20.0	1.46	
5.0	25.8	4.56	1.77
5.5	20.2	2.40	
6.0	16.2	2.16	0.84
6.5	21.9	1.96	
7.0	15.5	0.70	
8.0	15.2	0.22	

Table 2. The increase in metabolic rate due to SDA in relation to the amount of diet fed.

<i>Carassius auratus</i> (143 g)		<i>Cyprinus Carpio</i> (734 g)		<i>Cyprinus carpio</i> (814 g)	
Food intake (g)	O ₂ uptake (ml/g diet)	Food intake (g)	O ₂ uptake (ml/g diet)	Food intake (g)	Ammonia-N excretion (mg/g diet)
0.10	166	0.40	66	1.0	33
0.26	150	0.98	116	2.0	37
0.54	76	2.33	52	3.0	34
0.75	89	3.90	74	4.0	44
1.07	99				

Table 3. The effect of starvation on SDA for *Carassius auratus* (28 g) fed 0.20 g of pelleted food.

Duration of starvation (days)	O ₂ uptake (ml/g diet)	Ammonia-N excretion (mg/g diet)	O ₂ /N
1	143	19.2	7.4
4	58.4	14.6	4.0
7	34.1	12.6	2.7
11	53.6	11.2	4.8
21	10.5	4.1	2.5

イトミミズを充分与えたワキンを 4-21 日間絶食させ、その後、0.2 g の配合飼料を与え測定を行った。SDA による酸素消費量および NH₄-N 排泄量は、測定値を図示し求積によつて算出し、さらに飼料 1 g 当りに換算して Table 3 に示した。測定は 0-4 時間の範囲で行つたが、これは先にみたように第 1 回目における代謝増大である。2 週間充分摂餌し、24 時間絶食したものでは、143 ml/g diet の酸素消費量および 19.2 mg/g diet の NH₄-N 排泄を行うが、これらの値は絶食にともなつて低下していく。NH₄-N 排泄量についてみると、11 日間の絶食では、はじめの 1/2 の 11.2 mg、21 日目には 1/5 の 4.1 mg となつてゐる。こ

れに対し酸素消費量はさらに急激な減少を示し、はじめ 143 ml/g diet のものが 11 日目には 1/3 の 53.6 ml, 21 日目には 1/10 以下の 10.5 ml にまで低下している。

このように SDA は魚の栄養状態と深い関係があるものと考えられ、SDA の測定に当つて飼育条件を充分検討する必要がある。

考 察

SDA に関する実験は、長い時間を要する。たとえば、GLASS の場合、20°C で約 140 時間にわたる実験を行い、その間、8 回の測定を行つている¹⁾。しかし、温水魚では 25–30°C に水温をあげるることによつて 10 時間程度にまで短縮できる。この間、15–60 分間隔で測定を行つたが、Fig. 3 のチチブの例で明らかに 60 分毎の測定では、小さい代謝変動はとらえることはできないから、30 分毎の測定が必要であろう。また GLASS は SDA が指数関数にしたがうものとしている。チチブの例は、この傾向に近いが、3 および 6 時間目の代謝増大は GLASS の式には適用できない。さらにワキンおよびタナゴでは、Fig. 3 から明らかに、この式は適用できない。したがつて SDA による代謝増加量を求めるには測定値を図示してその求積によらなくてはならない。この方法によつて Fig. 3 の魚 3 種について酸素消費量を求めると、ワキン、タナゴおよびチチブでは、各々乾燥飼料 1 g 当り 124, 124 および 97 ml となる。

次に注目すべき点は、代謝増大が単調な増減ではなく、かなり小さな変動がみられる点である。Fig. 3 および Fig. 4 にあげた 6 例のすべてに共通の点は、3–4 時間に増大した後一時低下し、5–7 時間に再び増大する点である。第 1 回目の増大は、第 2 回目のものに比較すると大きいようであるが、10.2 g のコイのように成長が速い時期にあるものでは、第 2 回目の代謝増大が大きいようである。また、ワキンでみたように $\text{NH}_4\text{-N}/\text{total-N}$ の比率にも 4 時間半を境に差がみとめられる。いま 1 例として Fig. 4 のワキンについて考えてみる。4 時間半までを第一次増大、4.5–8 時間を第 2 次増大とすると、第一次の酸素消費量および N 排泄量は、29 ml および 6.3 mg、第二次については、12 ml および 6.2 mg となる。ここで O_2/N の比率を算出すると、第一次は 4.6、第二次は 1.9 となり差がみられ、第一次と第二次の代謝増大の発現機構が異なることが考えられる。したがつて SDA の実験に当つては、この点に注意して測定を行うべきであろう。

要 約

魚類の SDA による代謝増加量の測定について、各種条件による影響を吟味した。

- 1) 温水性魚類では、25–30°C では SDA による代謝増大が顕著に現れ、3–4 時間で増大し、一時低下するが、5–7 時間で再び増大する。
- 2) SDA による代謝増大は魚種あるいは、成長段階の差によつて変化し、GLASS の式が適用できない。
- 3) 第一次と第二次の代謝増大は O_2/N の値が異り、発現機構が異なるものと考えられる。
- 4) SDA による代謝増加量は摂餌量に比例する。
- 5) SDA による代謝増加量は絶食日数が長くなくと減少する。N 排泄量の減少に比較すると、 O_2 消費量の減少はさらに著しく、 O_2/N 値も絶食とともに減少する。

文 献

- 1) N. R. GLASS: *Ecology*, **49**, 340–343 (1968).
- 2) 鈴木紀夫: 滋賀大教育学部紀要, **20**, 66–72 (1970).
- 3) J. SAVITZ: *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **28**, 449–451 (1971).
- 4) F. E. J. FRY: in “The Physiology of Fishes” (ed. by M. E. Brown), Vol. 1, Academic press, New York, 1959, pp. 25–30.
- 5) E. B. FORBES, and R. W. SWIFT: *J. Nutrition*, **27**, 453–468 (1944).