フィッシュポンプ利用に関する研究—II.

サイフォンによるメダカの游泳力および
吸込実験について

三次 信輔・田原陽三・矢島 信一

吉牟田長生・川田 三郎

(1963 年 7 月 9 日受理)

EXPERIMENTAL USE OF FISH PUMPS
IN VARIOUS PHASES OF FISHERIES—II.
SWIMMING VELOCITY OF THE POECILID FISH AGAINST
SUCTION OF A SIPHON*Shinsuke MITSUGI**, YOZO TAWARA**, Shin'ich YAJIMA**,
Chosei YOSHIMUTA** and Saburo KAWATA***

In order to contribute to technical knowledge of using fish pumps in their versatile possibility, a number of tiny freshwater fish, *medaka*, *Aplocheilichthys latipes*, were kept in an aquarium (75×40×50 cm) at the authors' laboratory. The water was made to flow through a siphon system consisting of a glass tube, either 27 or 40 mm. in diameter, 15 cm. in length, and a vinyle hose, 10 or 15 mm. in diameter, from 150 to 500 cm. in length (Fig. 5). The velocity of the stream (V) per second was equal to Ch^m where C is a constant depending on inner diameter and length of the tube, m is a constant, and h is a fall of water through the siphon. The value of m was about 0.6 almost regardless of different falls of water (Figs. 1~4).

As a fish swims up against the current until the latter reaches to a maximum for the former, that current velocity may be regarded as an effective suction head or a limit of the swimming power of the fish. The swimming power was greater when a fish was larger in the body length, or smaller in the body height for the body length (Figs. 6~10). When the suction mouth was held either on a level with, downward over, or upward under, the fish, the swimming power was 42, 40, or 28.9 cm. per second in this order (Table 1).

In testing the suction efficiency, a vinyle hose used was 15 mm. in diameter and 10 cm. in length; it had a cylindrical suction mouth, 86mm. in diameter and 86mm. in length, made of wire netting, 1.5mm. in mesh (Fig. 11). The suction efficiency varied with density of fish, direction and velocity of the current. The suction efficiency (I) was rapidly decreased with the progress of time (Fig. 12) because the relationship between I and density of fish (ρ) could approximately be expressed as

$$I = C_1 e^{m_1 \rho} \quad C_1 e^{m_1 \rho}$$

where C and m are constants depending on a direction of the suction nozzle. The relationship between I and the current velocity as in Table 2 and Fig. 16 was

$$\log aI \propto V^{1/m}. \quad (m \approx 0.6, a = \text{constant})$$

* 昭和 37 年 4 月 5 日, 日本水産学会年會にて発表.

** 東海区水産研究所業績 B 第 388 号 (Tokai Reg. Fish. Res. Lab. Tsukishima, Chuo-ku, Tokyo, Japan)

*** 現在, 北海道区水産研究所 (Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab. Yoichi, Hokkaido, Japan)

I 報¹⁾では、口径4吋フィッシュポンプによるアジ、サバの游泳力と流水中における魚の行動などについて報告したが、ここでは実験室の水槽でサイフォンを使ってメダカの游泳力と吸込状態の観察、測定を行なったので報告する。

実験方法および結果

1. サイフォンの落差と流速との関係

予めサイフォンの落差 h と管内流速 v との関係をしらべておくため、実験水槽 (75×40×50 cm) より

Fig. 1. Relation between suction head (h) and current velocity (v) in a siphon, 15 mm. in diameter, 150 cm. in length.

サイフォン (内径 10, 15 mm ビニールホース, とその先端に内径 27, 40 mm のガラス管をつけたもの) の落差をいろいろ変え, それぞれの場合の流量を測つて流速を算定した。ただし游泳力の測定には内径 15 mm ビニールホースおよびそれに内径 27 mm ガラス管をつけたも

Fig. 3. Relation between suction head (h) and current velocity (v) in a siphon, 15 mm. in diameter, 500 cm. in length with a glass nozzle, 40mm. in diameter.

Fig. 2. Relation between suction head (h) and current velocity (v) in differently sized siphons.
○: Siphon, 15 mm. in diameter, and 250 cm. in length.
×: Siphon, 10 mm. in diameter, and 250 cm. in length.

Fig. 4. Relation between suction head (h) and current velocity (v) in a siphon, 15 mm. in diameter, 500 cm. in length with a glass nozzle, 27 mm. in diameter.

のを用いた。その結果は Fig. 1~4 のとおり、いずれの場合でも落差 h cm と流速 v cm/sec との間には $v = ch^m$ (c, m は常数) なる関係があり、 m は大凡 0.6, c は管の内径その他により異ってくる。

2. メダカの游泳力

魚が流れに逆って抵抗する最大の流速を一応、游泳力の目安とし、これを求めるため 1 尾ずつ計 50 尾について游泳力の測定を行なった。まずサイフォンの吸込口を水平にしてメダカを入れ、落差を少しつけると魚は流れに逆って泳ぎだす。次いで少しずつ落差を増して流速を早めてゆくと遂には力尽きて押し流されてしまう。そのときの落差 h' cm とメダカの体長 L mm との関係を見ると Fig. 6~10 のとおりで体長が大きいほど、また比体高 D/L (ただし D は体高 mm) の小さい魚ほど游泳力が強くなっている。

Fig. 5. Schematic arrangement for testing the swimming velocity of fish.

Fig. 6. Relation between effective suction head (h') and body length of fish (L) in a 15 mm. siphon held on a level.

Fig. 7. Relation between effective suction head (h') and ratio of body height to body length (D/L) in a 15 mm. siphon held on a level.

Fig. 8. Relation between effective suction head (h') and body length of fish (L) in a 27 mm. siphon held on a level.

Fig. 9. Relation between effective suction head (h') and body length of fish (L) in a 27 mm. siphon held downward.

Fig. 10. Relation between effective suction head (h') and body length of fish (L) in a 27 mm. siphon held upward.

Table 1. Average values of effective suction head (h'), current velocity (v), body length (L) and ratio of body height to body length of fish (D/L).

Direction of siphon nozzle	h' (cm)	v (cm/sec.)	L (cm)	D (cm)	D/L	Number of fish used	Diameter of siphon (mm)
Level	10.86	54.0	3.06	0.64	0.209	50	15
Level	150.30	42.0	3.00	0.68	0.227	21	15*
Downward	139.10	40.0	3.01	0.66	0.220	20	15*
Upward	75.00	28.9	2.98	0.65	0.218	21	15*

* Equipped with a glass nozzle, 27mm in diameter.

Fig. 11. Schematic arrangement for testing the suction power.

次に吸込口を横向き、上向き、下向きと方向を変えた場合の游泳力をしらべるため、同様の試みを Fig. 5 のようなガラス管をサイフンの先端につけて測定すると Table 1 のごとく v は横向き 42 cm/sec, 下向き 40 cm/sec, 上向き 28.9 cm/sec となり、吸込口を上に向けた場合の游泳力をもつとも弱くなっている。

3. メダカの吸込実験

Fig. 11 のようにサイフンの先端に円筒型金網を取りつけ、そのなかの魚群（メダカ 30 尾）がサイフンにより吸込まれてゆく状態を観察したもので、落差を一定（10 cm）にして吸込口の変えた場合と、方向を一定（上向き）にして落差を変えた場合の 2 通りについて実験を行なった。

まず吸込みを開始すると魚群は最初のうち、非常に良く吸込まれるが、時間が経過するにつれ吸込みが悪くなつてゆく。すなわち、吸込みを開始した直後から 2.5, 5, 10 秒……と経過時間別に 2 分間の吸込み尾数を記録すると、金

Fig. 12. Relation between the average number of fish remaining in the cage (N) and time progress (t) in sucking experiment.

Siphon held Effective suction head
 $\triangle$: Downward 10 cm
 $\circ$: Upward 10 cm
 $\blacktriangle$: Upward 20 cm
 $\bullet$: On a level 10 cm
 $\times$: Upward 5 cm

Fig. 13. Relation between suction efficiency (I) and $N (= V f)$ when V represents capacity of a fish cage, and ρ density of fish. Effective suction head

$\circ$: 5 cm $\triangle$: 10 cm $\times$: 20 cm

網内の魚群の平均残存尾数 N と時間 t との関係は Fig. 12 のごとくなり N は最初の短時間で急激に減衰し、その後、次第に勾配がゆるやかになる。なお、金網中のメダカの尾数は 30 尾で、金網容器内の魚群と水との体積の比は 1: 55~60 の割合である。

4. 吸込能率と魚群の密度、吸込口の方向、落差との関係についての検討

金網内の魚群が各種の条件により、サイフォンに吸込まれてゆく吸込能率について、もう少し検討を加えてみよう。

今、サイフォンによる単位時間当りの吸込能率を I 、魚群の数を N 、容器の体積を V 、魚群の密度を ρ 、時間を t であらわすと I は容器の型、容積、吸込口の型、および面積などにより変わつてくると思われるが一応、これらを一定として吸込能率と魚群の密度、吸込口の方向、落差との関係を検討してみると

$$I dt = \frac{-dN}{N} = \frac{-V d\rho}{V\rho} \quad \text{したがって} \quad I = \frac{-1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dt}$$

とあらわすことができる。

さて、 $I = \frac{2(N_1 - N_2)}{N_1 + N_2} \cdot \frac{1}{t_2 - t_1}$ ただし、 N_1 は t_1 時における残存尾数として、これより I を求め、これより $N = (V\rho)$ との関係を見ると Fig. 13, 14 のように、いずれの場合でも $\log I$ と $V\rho$ とは直線関係にあるので、おおよそ $I = C_1 e^{m_1 \rho}$ (C_1, m_1 は常数) とみなしてよいであろう。

これを前式に代入して ρ と t との関係を求めると

Fig. 14. Relation between suction efficiency (I) and $N (= V\rho)$ when V represents capacity of a fish cage and ρ density of fish under different suction conditions.

Siphon held Effective suction head

- : On a level 10 cm
- △: Upward 10 cm
- : Downward 10 cm

$$C_1 dt = -\frac{e^{-m_1 \rho}}{\rho} d\rho$$

$$C_1 t = \int_{\rho}^{\rho_0} \frac{e^{-m_1 \rho}}{\rho} d\rho = E_i(-m_1 \rho_0) - E_i(-m_1 \rho)$$

ただし,

$$E_i(-Z) = -\int_z^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt$$

ρ_0 は $t=0$ の時の ρ

となるが, この曲線 (ρ の時間による変化の曲線) は Fig. 12 と全く同じ傾向である。

次に I の平均を $\bar{I}$ であらわせば t 秒後の残存尾数は

$$N_t = N_0 e^{-\int I dt} = N_0 e^{-\bar{I} t} = N_0 (1 - \bar{I})^t, \quad (\bar{I} < 1)$$

となるから, これより $\bar{I}$ を近似的に求めると Table 2 のようになる。

吸込口が上向きの場合の I と h との間には, Fig. 15 にみられるように h が大きくなれば $\log I$ も大となる関係がある。

したがって

$$\log a I \propto v^{1/m} \quad (m \approx 0.6, a \text{ は定数})$$

とあらわすことができる。

落差が一定で, 吸込口の向きを変えた場合の I と方向との関係は, Table 2 より Fig. 16 のようになり, 吸込口の向きが横向きから上向きにかけて良いことがわかる。

Table 2. Suction efficiency ($\bar{I}$) of a siphon under different suction conditions.

Effective suction head (cm)	Position of suction nozzle	Suction efficiency $\bar{I}$ ($10^{-3}/\text{sec.}$)
10	On a level	0.73
10	Downward	0.17
10	Upward	0.87
5	Upward	0.40
20	Upward	1.58

Fig. 15. Relation between efficiency (I) and effective suction head (h').

Fig. 16. Relations between suction efficiency (I) and position of the suction nozzle held.

要 約

魚が流れに逆って抵抗する最大の流速を游泳力の目安とし, 水槽よりサイフォンを利用して観察, 測定を行なった游泳力と吸込実験では

- 1) サイフォンの落差 h と流速 v との間には, おおよそ $v = Ch^m$ の関係がある。

2) メダカの游泳力は流れを受ける方向によつて異なり、吸込口が横向きの場合 42 cm/sec, 下向き 40 cm/sec, 上向き 28.9 cm/sec であつた。

また、メダカの体長が大きいほど、比体高は小さいほど游泳力は強くなる。

3) サイフォンの吸込み能率 I と魚群密度 ρ との間には、およそ $I = C_1 \rho^{m_1}$ なる関係があるので、吸込みを開始すれば吸込み尾数は最初の短時間に多く吸込まれ、時間の経過と共に急激に少なくなる。 I と v との関係は、およそ $\log aI \propto v^{1/m}$, I と方向との関係は横向きから上向きにかけてが良い。

文 献

- 1) 矢島他：フィッシュポンプの利用に関する研究—I, 本誌 29, No. 9 (1963).