

ウグイの鼻あげと代謝活動

白旗 総一郎

Air-snapping Responses to Oxygen Lack and Metabolic Activities in the Japanese Dace, *Tribolodon hakuensis* GÜNTHER

Soichiro SHIRAHATA

SYNOPSIS

In pond-culturing of fish the air-snapping response on the water surface when fish were suffered from dispnoea is observed by fish-culturists as a noteworthy warning in respect of fish damaging. The present study was undertaken to obtain the relation between air-snapping responses and metabolic activities of fish under experimental conditions, using the Japanese dace, *Tribolodon hakuensis* as a test animal.

The results are as follows.

1. Under conditions where fish were kept in still and self-contaminated water air-snapping rates and intensities were closely related with dissolved oxygen content in the water. Up to 38 mmHg (1.4 cc/l) in oxygen content fish did not air-snapped but when the value was less than 25 mmHg (0.9 cc/l) they showed 100% of air-snapping rate and when the value was fallen in 16 mmHg (0.6 cc/l) for hours they were suffocated to death.
2. There were much more increases in pH, alkalinity, N-compounds and phosphates in the water during experiments.
3. When fish were gradually acclimated to critical oxygen content and fed once a day in the morning, the feeding levels were even retained about as high as those in normal conditions. But in consequence of feeding fish were driven in dispnoea with air-snapping. The higher values of air-snapping rates and intensities were observed in 2-8 hours after feeding.
4. Such conditions as previously mentioned caused a reduction in the oxygen consumption of fish to one-sixth of normal value and decreased the efficiency of food conversion.

養魚生産を規制する要因として、いわゆる「鼻あげ」があるが、この表われ方には、比較的急激にくる場合と慢性的に軽度の鼻あげを毎日繰返す型とがあるように思われる。前者は止水式養鰻養鯉池の水変り時に多くみられ、魚の死亡による被害も大きいとされている。著者は、流水式養鰻池において、下流池ほど生産効率がわるく、かつ投餌後マスの鼻あげ類似行動（水表へ浮上する）を観察したが、このような型は慢性的鼻あげと考えられる。

本研究は、鼻あげ状態とそれに関連した魚の活動性についての知見をうるため、刺戟に対して活発な反応を示すウグイを用いて、実験的に鼻あげを行なわしめ、鼻あげ状態の指標をもとにして、魚の呼吸、摂餌—消化活動、及び水質の変動を検討したので報告する。

試 料 及 び 方 法

試料は仙台市広瀬川で採捕したウグイ *Tribolodon hakuensis* GÜNTHER の卵を人工受精し、ふ化後イトミミズ磨汁、鶏卵黄、セスジユスリカ幼虫等を餌として与えて育てたものを用いた。ウグイ稚魚は、野外飼育池においても室内の小容器においても、試験者のスポイトより餌をとるまでによく馴れていた。ウグイの体重測定には、感量0.1gの上皿天秤又は感量1mgの化学天秤を用いた。化学天秤使用のときは、ウグイを1%ウレタン水溶液中で、尾端を動かさなくなるまで麻酔（約1分）した。常水に魚をもどすと約2分で蘇生した。

飼育容器はすべて円筒型ガラス水槽を用い、水道水を1日以上放置して遊離塩素を除いたものをいれた。水槽は観察しやすくするため、白紙の上におき、水深より2cm程の高さまで外側に黒紙をまき、ガラス板の覆いをした。

水質分析は次の方法に従った。溶存O₂量：WINKLER法、pH：ガラス電極法又は比色法、全アルカリ度：メチルオレンジ—アニリンブルー混合指示薬による町田法、NH₄-N：NESSLER比色法、NO₂-N：GRIESS-ROMJIN法、NO₃-N：Zn末還元法、PO₄-P：DENIGES-AFRINZ比色法。

餌はセスジユスリカ *Chironomus dorsalis* を狩谷¹⁾の法により室内飼育したものと、及びイトミミズ *Limnodrilus gotoi* を与えた。餌は濾紙上で水分をよく吸いとり化学天秤で秤量した。

結 果 及 び 考 察

1. 鼻あげ状態の表現

容器に魚をいれると水中のO₂量は、次第に減少するが、ある点で平衡をたもつ。収容密度が小さいか又は、表面積が水深にくらべて極めて大きい時には、O₂平衡点が高く鼻あげをおこさない。しかし収容密度が高い時にはO₂平衡点は窒息点に近づき、鼻あげをおこしやがて死亡がはじまる。

鼻あげ状態を量的に表わすため次のように魚の収容密度をかえ、短時間に鼻あげをおこさせ、鼻あげ尾数の割合及び鼻あげの強さの測定法を試みた。内径11.4、高さ18.5cmのガラス水槽A、B、Cの3個に水深

Table 1. Change of water character in aquaria in which starved *Tribolodon hakuensis* were kept.

Three groups consisting of 9 fish(A), 10(B) and 10(C) were kept in glass aquaria, measured 11.4cm in diameter and 13cm in water depth. They weighed, respectively, 5.3, 7.8 and 11.2g in total body weight.

Time elapsed, hrs.	Water temp. °C	Dissolved O ₂ cc/l			NH ₄ -N mg/l			pH			Alkalinity meq/l		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	25.1	5.30			0.07			7.3			0.42		
6	26.6	1.21	0.53	0.72	0.51	0.62	0.93	7.0	6.9	6.9	0.49	0.48	0.48

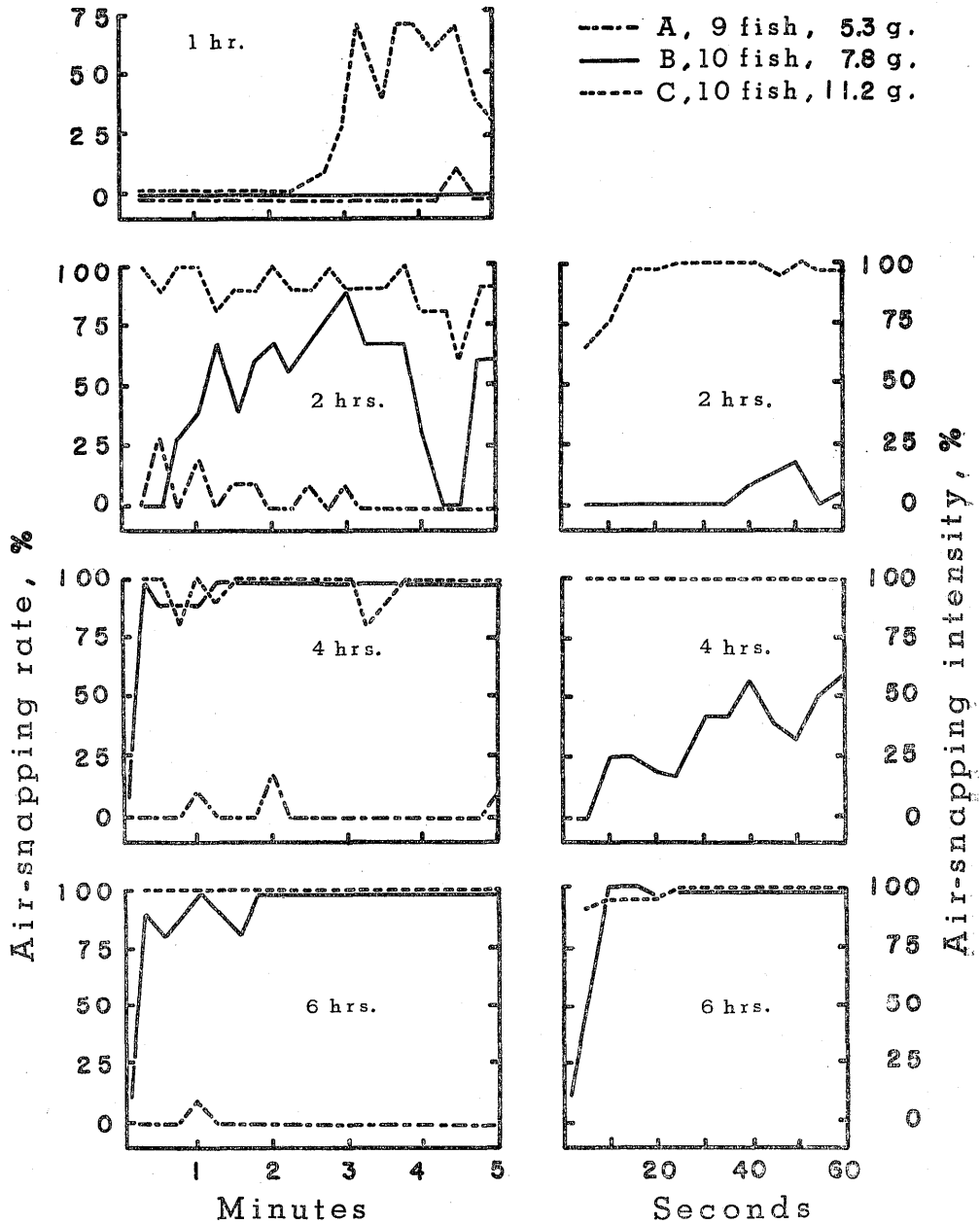


Fig. 1. Showing the air-snapping responses on the water surface when *Tribolodon hakuensis* became to show the symptoms of dyspnoea.

Left : air-snapping rates rose according to the density of fish in aquaria as time went on. Air-snapping rates are expressed as % numbers of air-snapping individuals to total fish and measurements were made on every 15 seconds, 20 times in 5 minutes after giving a threat stimulus by suddenly removing the glass plate which covered on an aquarium.

Right : air-snapping intensities referred to the escape behavior of fish to the bottom of aquarium to the threat stimuli, are expressed as % numbers of air-snapping individuals which did not escape. The threat stimuli were given by suddenly moving a black board horizontally over an aquarium every 5 seconds, 13 times in 1 minute immediately after the measurements of air-snapping rates. Two cases, except A, showed the critical conditions of dyspnoea 6 hours after the start of keeping fish in aquarium. In C-aquarium 2 fish were suffocated to death and one critical by the end of the experiment.

13cmまで夫々 1.28, 1.20, 1.26ℓの水をいれ、ウグイを夫々9尾 5.3g, 10尾 7.8g, 10尾 11.2gを収容した。収容時と6時間後の水質はTable 1に示すようであり、水中O₂の激減、NH₄-N、アルカリ度の増加が著しかった。

鼻あげ率：一定時に水槽上部の覆いガラスを急にとりさり、その瞬間より5分間15秒おきに鼻あげ個体数をかぞえ全尾数との割合をもとめ鼻あげ率とした。ガラス板の除去によって驚愕刺戟が与えられ、はじめ鼻あげしたものが逃避行動を示しても、時間がたつとともに刺戟を与える直前の状態にもどるものと考えた。

A, B, C群についての15秒おき5分間の鼻あげ率の経過をFig.1 (Left)に示す。魚の状態は収容1時間後では、A, Bともに活発に泳ぎまわっていた。Cは刺戟を与えてから2分間器底で静止状態にあったが、次第に鼻あげをはじめた。3群とも逃避行動を示したからこの状態の鼻あげはまだ刺戟反応性が強いものであった。しかし2時間後ではCはもはやガラス板除去の刺戟に感ぜず90%以上の鼻あげであった。又Bでは45秒後より鼻あげをはじめたが、個体間のぶつかりで全尾数がそれに反応し器底へ逃げた。4及び6時間後では、Aを除くB, C群は100%の鼻あげであったが、Bは最初の刺戟に反応し、かつ活発な鼻あげであった。Aは上下運動をするのみで時として鼻あげ行動を示すものがあったも持続性がなかった。Cは収容後5時間目に2尾が大開口して窒息死し、6時間後には1尾が危篤状態であった。

鼻あげの強さ：鼻あげ魚の刺戟に対する反応を、より細かにみるために、鼻あげ率の測定に引続いて、驚愕刺戟を5秒おきに1分間くりかえし、その時の鼻あげ尾数の全尾数に対する割合をもとめ、鼻あげの強さとした。驚愕刺戟には、18×26cmの黒厚紙を水槽上部真近かを水平に、瞬間的に動かした。それらの結果はFig.1 (Right)に示した。収容後4時間の鼻あげ率はB, Cともに同程度であったが、5秒おきの刺戟に対しては、Cは反応せず、Bははじめの刺戟には全尾数が逃避行動をとったが、次第に反応する個体が少なくなり鼻あげの強さが増大されていった。6時間後Bは、はじめの刺戟には逃げたが、2回目の刺戟(10秒後)にはもはや反応せず、Cと同じく100%の鼻あげの強さを示した。以上のように、15秒、5分間の測定で鼻あげ率が、又5秒おき1分間刺戟をくりかえした場合の鼻あげ尾数の割合で、鼻あげの強さが説明される。

Table 2. Change of water character in an aquarium in which 10 fish were fed with *Limnodrilus* and suffered from 'dispnoea after feeding. The aquarium was made of glass (20 cm in diameter, 27 cm in height). The volume of water was 6 l. From 18 July to 1 August 10 fish of 5.53 g in initial total weight had taken 6.44 g of food, although one fish weighing 0.48 g died on 28 July. The final total weight of fish was 5.38 g and the growth during the experiment was 0.33 g.

Date	Water temp. °C	Food taken mg	pH	Dissolved O ₂ cc/l	Alkalinity meq/l	NH ₄ -N mg/l	NO ₂ -N µg/l	NO ₃ -N µg/l	PO ₄ -P µg/l
7/18, 6p.m.	25.3	—	6.92	5.04	0.38	0.00	0.00	77	6
7/19, 7a.m.	24.6	192	6.80	2.97	0.39	0.29	0.00	65	28
7/20, 7a.m.	25.2	341	6.61	2.54	0.47	0.99	0.00	47	82
7/21, 7a.m.	25.7	562	6.90	2.21	0.50	1.47	0.28	56	132
7/22, 8a.m.	24.8	562	6.90	2.03	0.56	2.50	0.55	42	146
7/23, 7a.m.	24.8	507	6.88	1.47	0.63	4.17	1.11	53	244
7/24, 7a.m.	25.2	658	7.08	1.43	0.70	4.93	2.50	44	276
7/25, 7a.m.	26.4	582	7.28	1.53	0.78	6.16	4.17	68	350
7/26, 7a.m.	26.5	596	6.87	1.19	0.82	6.60	6.11	50	471
7/27, 7a.m.	26.2	659	6.99	1.40	0.90	8.30	6.94	19	528
7/28, 7a.m.	26.3	626	7.18	1.37	0.97	9.12	8.89	35	689
7/29, 7a.m.	26.3	524	7.31	1.49	1.05	10.24	11.39	47	677
7/30, 7a.m.	26.4	631	7.31	1.63	1.15	11.25	16.67	32	712

2. 投餌をした場合の鼻あげ

平均体重0.553gのウグイを10尾、内径20cm、水量6ℓのガラス水槽に7月18日 6 p.m.に入れ、翌19日から毎日7 a.m.に、イトミミズを飽食量の約2倍量投入して摂餌させ、30分後残りの餌をとりあげて摂餌量をもとめた。7月20日までは、溶存O₂量が投餌直前で2.54 cc/ℓ以上あり、鼻あげをおこしていなかった。7月21日以降では、投餌時には殆んど鼻あげをおこしていないが、摂餌後鼻あげをおこすようになり、毎日この過程をくりかえした。投餌直前の水質と摂餌量をTable 2に示した。

Table 2より溶存O₂量ははじめの4日間に減小し、それ以後は略O₂平衡点(約1.4cc/ℓ)に達したものと考えられた。アルカリ度、NH₄-N、PO₄-Pは増加し、12日間でアルカリ度は始めの3倍に、NH₄-Nは11 mg/ℓに、PO₄-Pは0.7mg/ℓにまで達した。佐伯²⁾は循環濾過式飼育槽の水質の特徴として、硝酸塩、磷酸塩の蓄積により水は酸性化し、pH、アルカリ度が低下することをあげているが、止水系の本報では試験期間中、pH、アルカリ度、NH₄-N、PO₄-Pとも上昇の傾向を示した。NO₂-N、NO₃-Nの存在量の傾向から

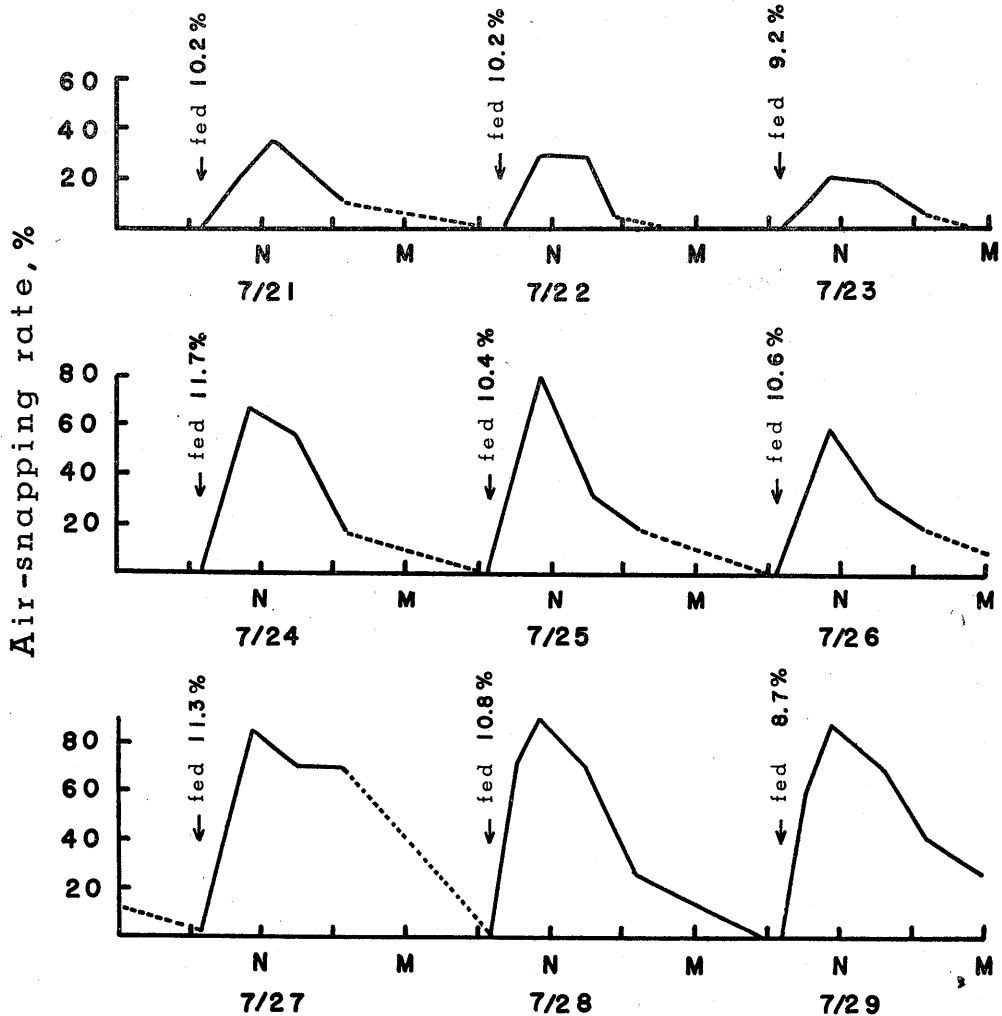


Fig. 2. Showing the daily repeating of air-snapping responses of fish when they were fed once a day in the morning. Fish were kept in still water in which they were gradually acclimated to low oxygen contents. Even under that conditions feeding rates were retained high levels, ca. 10% of body weight, but after feeding they suffered from acute dyspnoea with air-snapping on the water surface. The figure shows also that air-snapping rates fall according as the digestion proceeds (Cf Fig. 3). Air-snapping rates plotted in this figure are the averages of the values for 13th to 20th of 20 times of measurements in 5 minutes.

みて、低O₂含量の止水系では、N化合物の酸化反応にあずかる細菌活動が弱かったものと考えられる。なお、H₂Sは、p-amino-dimethylanilineを用いたメチレンブルー反応では検出されなかった。又青粉の出現も認められなかった。

鼻あげ率：1日1回飽食量の餌を与えると、投餌時に溶存O₂量と魚の呼吸が平衡を保っていても、日数経過に従い、摂餌後の鼻あげ率が高くなっていく。そしてその鼻あげは、実験条件下では24時間後には殆んど快復してしまつた。結局7月21日から30日まで毎日1回飽食量の餌をとり、その結果鼻あげをくりかえした。摂餌後の鼻あげ率の傾向をFig.2に示す。鼻あげ率は前述の方法に従い測定したが、平均の鼻あげ率として、測定開始3分後から5分までの値を平均値として図に示した。無投餌の鼻あげ状況から推定して、もしこの実験以上の収容密度であれば、当然環境水への呼吸率の適応調整ができずに死亡魚が繰出したはずである。実際には、7月28日正午に1尾が窒息死したにとどまった。

3. 自己汚染水における攝餌活動

Table 2に示した水質条件においても、1日1回イトミミズを充分量与えると体重の約10%を食した。この摂餌率と、水質条件のよい状態における摂餌活動とを比べてみるため、次の摂餌実験を行なった(Table 3)。

Table 3. Hourly feeding activity of *Tribolodon hakuensis* when fully fed with chironomus larvae under normal condition of water. Four experimental groups consisting of 5 fish each were kept in glass aquaria C-1 to C-4, measured 21 cm in diameter and 4 cm in water depth. They weighed, respectively, 901, 954, 958 and 1109 mg in total body weight.

Date	7/24		7/25		7/26		8/2		8/3		
	W.temp.°C		21.0		21.3		22.7		25.2		25.8
Av.weight of chironomus,mg	1.35		2.61		5.92		2.8		2.6		
Aquaria No.	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2	C-3	C-4	C-3	C-4	
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	
Time elapsed after beginning of feeding, hrs	1	87.75	90.45	70.47	88.74	59.20	71.14	84.0	114.8	101.4	106.6
	2	31.05	33.75	20.88	20.88	17.76	11.84	22.4	36.4	26.0	26.0
	3	31.05	25.65	18.27	18.27	23.68	29.60	25.2	19.6	33.8	36.4
	4	32.40	23.35	23.49	15.66	11.84	11.84	44.8	28.0	28.6	39.0
	5	16.20	22.95	13.05	18.27	11.84	17.76	25.2	28.0	28.6	39.0
	6	22.95	17.55	23.49	23.49	35.52	23.68	44.8	33.6	33.8	31.2
	7	29.70	27.00	15.66	31.32	35.52	23.68	16.8	30.8	39.0	36.4
	8	17.55	22.95	26.10	33.93	17.76	11.84	36.4	33.6	28.6	36.8
	9	21.60	16.20	18.27	28.71	23.68	17.76	56.0	47.6	36.4	23.4
	10	17.55	16.20	18.27	13.05	23.68	17.76	11.2	33.6	39.0	31.2
Sum of food taken in 10 hrs, mg	307.80	301.05	247.95	292.32	236.80	242.82	366.8	406.0	395.2	416.0	
Feeding rate in 10 hrs,%bw	34.1	31.6	27.5	30.7	26.3	25.4	38.3	36.7	41.1	37.6	
Feeding rate in the first 1 hr.%,bw	9.7	9.5	7.8	9.3	6.6	7.5	8.8	10.3	10.6	9.6	

このような実験には、供試魚ができるだけ投餌操作に馴れていることが必要であるから、予め野外飼育池で、1日の投餌回数をふやし、且念に餌をやり、試験者の手に寄り付くまで訓練した。ついで室内実験水槽に移し、1週間セズユスリカ幼虫のみを与えて投餌操作に馴らした。供試魚はふ化後80日のウグイ稚魚を用いた。水槽は内径21cm、高さ10cmのものを用い、水深を4cmに保った上で魚を5尾あて収容した。各水槽の水は毎日投餌開始前と、終了時に全量を換水した。餌としては摂餌量が容易にもとめられ、水質を汚染しないと考えられるセズユスリカ幼虫を用い、大きさをよく揃えてから秤量し、幼虫1匹当りの重量をもとめた。投餌は1時間おきに充分あまるだけの匹数のユスリカを与え、1時間内のユスリカ匹数の減少から摂餌量を算出した。Table 3 にみられるように、日間10時間の摂餌量は、餌の小型なものほど多い傾向があり (wt.21—22.7°Cの場合)、又水温が高い程摂餌量も高い傾向を示したが、平均して魚体の33%であった。そして、夜間から翌朝までの絶食期間に引続いて投餌すると、はじめの1時間に平均9%の摂餌をすることが判った。摂餌と鼻あげをくり返したTable 2, Fig.2の実験では、イトミミズを餌として与え、水温もやや高かったが、7月21日から30日までの間では1日1回10.3%Bwの摂餌量であったから、1.4 cc/ℓの低O₂量にまで自己汚染された水においても、鼻あげをおこす直前までは、摂餌活動は阻害されないと考えられる。

4. 鼻あげと消化時間

Fig.2 にみられた鼻あげの消長は、ウグイの消化活動と関連があると考えられたので、狩谷の法⁹⁾により、絶食時に飽食させてから一定時間毎の摂餌量を測定して、摂餌曲線をえがき、それより消化時間を推定し、Fig.3をえた。平均体重0.6gのウグイ10尾を1群として用い、イトミミズを与えた時の飽食量は体重の約8%であった。セズユスリカ幼虫を絶食時に与えたTable 3、及びイトミミズを与えたFig.2の夫々の平均値9;10.3%にくらべると、やや低い値であるが、大凡体重の9%が、水温25°C附近におけるウグイ稚魚の第1次餌貯蔵部位の収容能に近い値と考えてよいであろう。水温20.8と30°Cでは飽食量に差がないようであるが、消化に要する時間は、水温によって差がみられ、飽食量の50%を消化する時間は、夫々5.5;2.5

時間であり、又80%を消化する時間は、9;6時間であると思われる。摂餌と鼻あげを繰返しおこなわしめた実験は、水温約26°Cであったから、摂餌量の半量が消化される時間は4時間と考えられ、その頃に溶存O₂量は最低に近づき、鼻あげ率は最高を示した(Fig.2, 4)。Fig.4 から危険な鼻あげ状態は、摂餌後2—8時間であることが明かであるが、この間においては摂餌量の80%が第1次餌貯蔵部位から排出される。要するに、摂餌活動によっていわゆるRUBNER効果が生じ、魚の代謝量がふえ、その結果水中O₂量の平衡点が窒息点の近くまで下り鼻あげをおこすが、消化が終りに近づくに従い、呼吸率が低下して鼻あげ状態が消失するものと考えられる。なお、鼻あげ時における消化吸收機構の詳細は今後の問題として残される。

5. 鼻あげと水中のO₂量

摂餌後の鼻あげ状態を、より詳しくしらべるために、7月28日7 a.m.に餌を与え、体重の10.8%を摂餌させてから、鼻あげ率とその強さ、及び水質変動を数時間おきに測定し、Table 4をえた。ある時間の鼻あげの強さとしては、刺戟を5秒おきに1分間くりかえした時の、40秒目から60秒目までの値の平均値で示した。

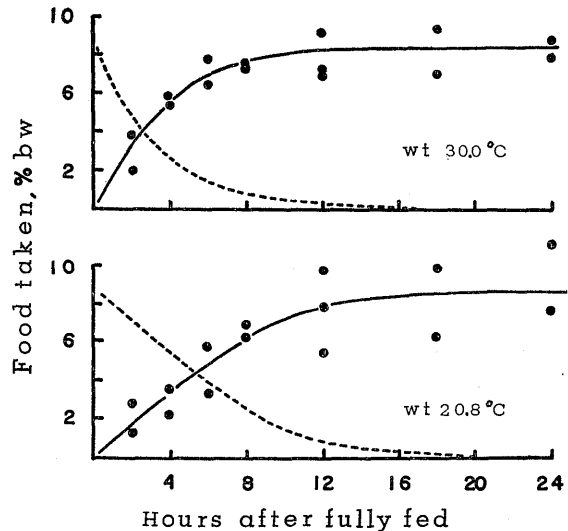


Fig. 3. Feeding curves of *Tribolodon hakuensis* when fish were fed with *Limnodrilus gotoi*. Dotted lines are estimates of digestion curves.

Table 4. Change of water character and air-snapping responses during 24 hours. Fish were fed with *Limnodrilus*, 10.8% bw, at 7 a.m. on 28 July.

Date	Water temp. °C	pH	Dissolved	Alkalinity	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Asr	Asi*
			O ₂ cc/l	meq/l	mg/l	μg/l	μg/l	μg/l	%	%
7/28 7a.m.	26.3	7.18	1.37	0.97	9.12	8.89	35	689	0	0
" 9a.m.	—	—	—	—	—	—	—	—	72	68
" 11a.m.	27.4	7.30	0.99	1.04	10.08	8.89	21	688	90	81
" 3p.m.	28.4	—	0.95	1.03	11.20	9.41	13	658	68	76
" 7p.m.	28.7	7.32	1.10	1.06	11.68	11.11	22	610	27	37
" 12p.m.	27.7	—	1.25	1.06	12.96	8.89	14	719	13	23
7/29 7a.m.	26.3	7.31	1.49	1.05	10.24	11.39	46	677	0	0

*Asr : air-snapping rate, Asi : air-snapping intensity.

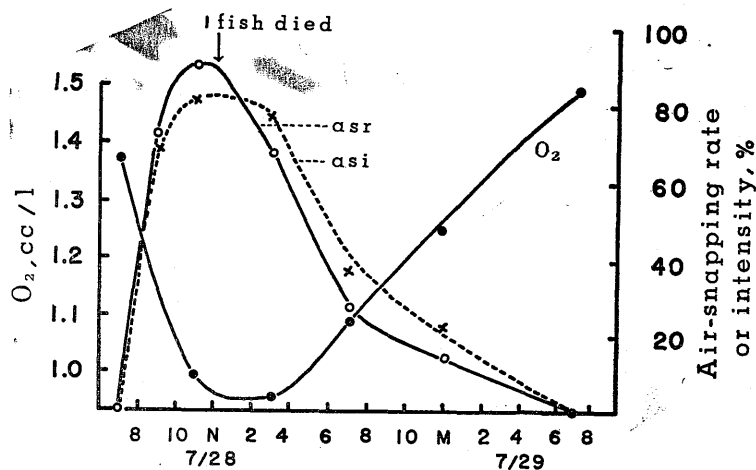


Fig. 4. Showing the change of oxygen contents in the water and degrees of dispnoea as time went on.

In the figure is shown that the air-snapping responses of fish are closely related with the change of oxygen contents in the water after feeding. Up to the time of feeding fish were vigorously swimming in all directions in the aquarium, although the oxygen content was only 1.37 cc/l (Cf Table 4). But in consequence of feeding fish gradually suffered from dispnoea due to increase of their metabolic activities and decrease of oxygen, and during the first 8 hours they were driven in critical conditions. Under those conditions air-snapping intensities were in higher levels and fish did not show any escape behavior to threat stimuli.

餌を与えてから24時間内では、pH、アルカリ度、NH₄-N、NO₂-Nは一般に増加したが、NO₃-NとPO₄-Pの変動は、一定した傾向を示さなかった。そして、鼻あげの変化とよく相関を示したのは、溶存O₂量であった。Fig.4はこの両者の関係を示したものである。

投餌直前(7 a.m.)の魚の状態は、容器中を縦横に元気に泳ぎ、試験者が近づくと索餌行動をとった。9 a.m., 鼻あげ率は72%であったが持続性なく、割と活発に泳ぎまわっていた。摂餌後4時間、完全な鼻あげで盛んに水泡の呑みこみを行ない、刺戟に対する反応も最低であった。この1時間後に、1尾が窒息死した。3 a.m.鼻あげは依然として続き、狂奔するものもみられた。12時間後に継続して鼻あげを行なうもの1尾、活発に泳ぐもの2尾、他は水表近く浮上して時に鼻あげ行動を示した。

Fig.4 から、水中の O_2 量と鼻あげ率との関係は、極めて密接なことが明らかであるので無投餌及び投餌に伴う鼻あげ実験のデータから、 O_2 張力と鼻あげ率との関係をまとめると Fig. 5になる。即ち、水温 $26^\circ C$ 附近では水中の O_2 量が 38 mmHg (1.4 cc/l) までは鼻あげをおこなないが、それ以下になると鼻あげをおこしはじめ、 pO_2 25 mmHg (0.9 cc/l) 以下では100%の鼻あげ率を示す。そして pO_2 16 mmHg (0.6 cc/l) 以下における鼻あげは致命的である。この点がウグイの窒息点であって、畑・中村⁷⁾のウグイ(体重 $0.13-1.31 \text{ g}$)についてのデータをもとに、各水温における致死時の残存 O_2 量を推定すると、 $20^\circ C$, 0.4 cc/l ; $25^\circ C$, 0.7 cc/l ; $30^\circ C$, 1.3 cc/l となり、本研究でえた値にほぼ等しい。

ウナギについて板沢⁵⁾は、大凡、水中の O_2 量が 1 cc/l 以上では鼻あげがみられないが、 0.5 cc/l 以下では観察されると報じている。又TAZAWA⁶⁾はコイについて、水中の pO_2 が 80 mmHg になると、動脈血の O_2 量は最高 $9.54 \text{ vol.}\%$ 迄になり、 $3 \text{ vol.}\%$ までは魚が正常であったが $2 \text{ vol.}\%$ 以下では鼻あげをおこし、その時の水中の pO_2 は 15 mmHg であったと報じている。

板沢の結果からウナギの鼻あげ前後における水中の pO_2 を、水温 $25^\circ C$ としてもとめると、夫々 $27; 14 \text{ mmHg}$ となるから、ウグイはコイ、ウナギに比べて、鼻あげをおこす pO_2 が若干高いものと考えられる。鼻あげの臨界 O_2 量、及び窒息点、魚種によって違いがあっても、Fig.5の O_2 -鼻あげ曲線にみられるように、両者の差が極めて狭いということは、養魚上重要な意味をもっている。まず、鼻あげ初期の段階の早期発見が必要であり、又 O_2 欠亡の疑いがあるときには、代謝力を増す操作、例えば投餌、魚の撰別移動を十分に制限するか、又は注意して行なう必要があらう。

6. ウグイの O_2 消費量

鼻あげ時の O_2 消費量は、鼻あげ行動によって水の薄膜を通しての空中 O_2 の利用、並びに水表における局部的な O_2 濃度の高い部分の利用が行なわれ、複雑な O_2 供給関係があるものと考えられる。ここでは、水中の O_2 量が充分にある場合、魚が低 O_2 量に徐々に馴致して O_2 平衡に達している場合、及び魚を容器に収容後短時間に鼻あげをおこした場合につき、 O_2 消費量をしらべた。

まず正常時の値をうるために、ふ化後80日のウグイを水温 $25^\circ C$ で2-4日間予備飼育をしてから、測定容器に密閉し消費 O_2 量をもとめた。Table 5に示すように、終了時の O_2 量は 2 cc/l 以上であったから一応正常時の O_2 消費量と考えて平均値をもとめると $55.3 \text{ cc}/100 \text{ g, hr}$ をえた。

次にTable 2に示した実験では、7月23-30日の間の7 a.m.の O_2 量は略一定であり、かつ7 a.m.現在ほとんど鼻あげをおこしていなかったから、魚の O_2 消費量と空中から侵入してくる O_2 量とが釣合っていると考

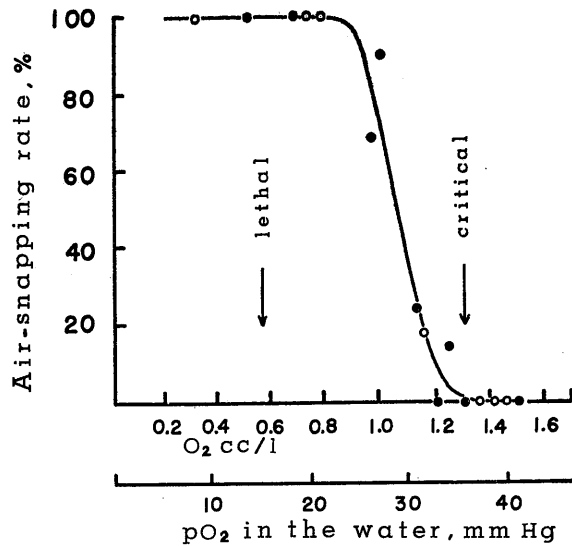


Fig. 5. Relation between oxygen tensions in the water and air-snapping response, or degree of dyspnoea, in *Tribolodon hakuensis* at $26^\circ C$. Solid circles are based on the data of Table 1 and 2, and open circles on the data of some other additional experiments.

Table 5. Oxygen consumption of *Tribolodon hakuensis* in closed system at 25° C.

Average body weight, mg	No. of fish tested	Time of acclimation to 25° C, days	Final O ₂ content, cc/l	O ₂ consumption cc/100g bw.hr.
164	1	2	3.50	56.8
213	2	2	2.63	48.4
178	3	2	2.36	47.3
155	1	4	4.57	38.2
187	1	4	3.20	86.2
174	2	4	4.09	42.7
158	5	4	3.47	59.6
175	4	4	2.07	63.2
175	3	4	2.74	55.3

55.3 ± 14.1

(s² = 200.1)

られる。従って侵入O₂量がわかれば、消費O₂量を推定できる。空中O₂の侵入量はFig.6を用いて計算した。

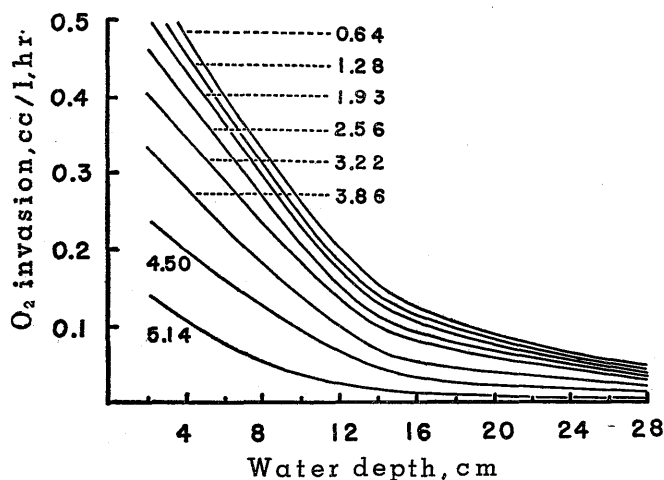


Fig. 6. Oxygen invasion from the air into the waters conditioned by starved crucian carp at various water depths (20°C). Numbers in the figure are initial oxygen contents expressed as cc per liter after fish were removed.

Fig.6は、20°Cにおいてガラス水槽に、体長1.7-4cmのフナを収容し、いわゆる conditioning water を作り、種々の溶存O₂含量に達してから魚を除去し、静水状態において1時間1ℓの水への侵入O₂量を実験的に求めたものである。20°C以外の温度における侵入O₂量は、夫々の温度と20°CのBUNSEN係数の比から求められる。鼻あげ直前のO₂平衡点における空中O₂の侵入量及び魚による消費量の計算はTable 6のようになり、その結果、この状態での魚のO₂消費量は、平均8.5cc/100g.hr.と推定できる。この値は溶存O₂量の豊富な場合の呼吸量のおよそ6分の1である。

次に、水槽に魚を入れてから溶存O₂量が減少しつつある期間のO₂消費量を、Table 1, 2の実験例から推定し、Table 7を得た。この場合、侵入O₂の値としては試験終了時の水中O₂量に対してもとめたから、試験時間における最大量と考えた。即ち、鼻あげをおこなっていない2例については、試験終了時の溶存O₂量の濃度比、消費量が比例し、それぞれ23.3, 19.6cc/100g.hr.であった。これに対し短期間に鼻あげをおこなしたも

Table 6. Estimates of oxygen consumption when fish were acclimated to oxygen deficient water.

Date	Wt. °C	Total body weight, g	Dissolved O ₂ cc/1	W.depth cm	W.volume l	O ₂ invasion cc/hr	O ₂ consumption cc/100g, hr
7/23 7 a.m.	24.8	5.5	1.47	17.8	5.6	0.46	8.3
7/24 7 a.m.	25.2	5.6	1.43	17.5	5.5	0.48	8.5
7/25 7 a.m.	26.4	5.6	1.53	17.2	5.4	0.46	8.2
7/26 7 a.m.	26.5	5.6	1.19	16.9	5.3	0.49	8.7
7/27 7 a.m.	26.2	5.8	1.40	16.6	5.2	0.47	8.1
7/28 7 a.m.	26.3	5.8	1.37	16.3	5.1	0.53	9.1
7/29 7 a.m.	26.3	5.4	1.49	15.1	4.7	0.49	9.0
7/30 7 a.m.	26.4	5.4	1.63	14.2	4.4	0.45	8.3

average 8.5

Table 7. Estimates of oxygen consumption when the oxygen content was gradually decreasing due to respiratory activity.

Condition of fish	Dissolved O ₂ content in aquaria, cc		Δ	Maximum O ₂ invasion, cc*	Consumed O ₂ , cc	O ₂ consumption cc/100g, hr	Remarks
	initial	final					
normal	30.24	17.82	12.42	4.31	16.73	23.3	Based on Table 2, 7/18,6 p.m.-7/19,7a.m.
normal	6.78	1.55	5.23	1.01	6.24	19.6	Based on Table 1, duration of exp. was 6 hrs.
air-snapping	6.36	0.64	5.72	1.13	6.85	14.6	
air-snapping	6.68	0.91	5.77	1.08	6.85	10.2	

* Maximum O₂ invasion was estimated from Fig.6.

の、及びその結果死亡魚を生じた2例の消費量は、鼻あげの程度に従って少なく、低O₂濃度に徐々に馴致された場合の消費に近い値であった。それ故、徐々にO₂量低下に馴致した場合には、あるO₂濃度で平衡点に達しようが、収容密度が大であるような場合には、低O₂への適応速度と、呼吸代謝の速度とに不均衡を生じて、鼻あげをおこし、死亡がはじまるのであらう。実際に、流水養魚の時の注水停止に伴なう死亡が、計算値よりも意外に早く、又大きな損害を与えるのは、低O₂濃度への適応が、短時間ではできないためと考えられる。

前述したように、O₂平衡点は、摂餌等の活動で平衡が破れやすく、又、鼻あげ有無のO₂濃度の差が僅かであることは、養魚の成立する限界点を鼻あげ臨界点のもっと上の方に定める必要がある。

7. 鼻あげが慢性化した場合の餌料効率

自己汚染され、かつ低O₂状態でのウグイの呼吸比、及び厳密な意味での体蛋白の分解量が不明であるが、O₂消費量がわかっているから、ウグイのエネルギー代謝量を右田ら⁷⁾の方法に準じ、O₂消費量1ℓの温等量を5 Kcalとして計算すると、正常時6.6Kcal/100g,dayをうる。これに対し、低O₂量に馴致された場合には1.0Kcal/100g,dayとなる(Cf Table 5,6).

Table 8. Constituents and calorific values in food and fish tested. Prior to analysing, the bulk of *Limnodrilus* was reared in a shallow pan in 10 days after separating from muds. *Tribolodon* analysed were 171—959 mg in body weight.

Items		<i>Limnodrilus</i>	<i>Tribolodon</i>
Moisture,	%	74.54	77.48
Protein,	%	12.21	14.25
Fat,	%	3.76	2.84
Carbohydrate,	%*	4.65	1.76
Ash,	%	0.79	1.87
K.calories/100g		101.3	89.6

* As glycogen, determined by FEHLING-LOHMANN-SCHOORL'.

そして、水中の低O₂量に馴致されたウグイは、1日体重当り 10.3%のイトミミズを食べたから、餌から摂取したエネルギーは、Table 8より10.4Kcal/100g,dayと考えられる。一方、この試験期間における成長率は0.41g/100g,dayであり、Table 8の魚体の分析結果からこの値をエネルギー量に換算すると、約0.4Kcalにすぎない。餌として与えられたエネルギーは、生存所要量の10倍の高さであり、又魚体の増生に用いられたエネルギーは、増生分の約23倍の9.4Kcalであるから、極めてオーバーカロリーであったにもかかわらず、僅かに0.4Kcalの成長しかえられなかったことになる。

Table 9. Nitrogen and phosphor excretion in starved *Tribolodon hakuensis*.

Condition of fish	Duration of time, hr	Final O ₂ cc/l	No. of fish	Total wt. of fish, g	NH ₄ -N mg/100g, hr	PO ₄ -P μg/100g, hr	Remarks
normal	13	2.97	10	5.53	2.42	183	Based on the data of Table 2, wt. 25.3-25.7°C.
normal	6	1.21	9	5.3	1.79		Based on the data of Table 1, wt. 25.1-26.6°C.
air-snapping	6	0.53	10	7.8	1.42		
air-snapping	6	0.72	10	11.2	1.64		
normal	14.5	2.83	10	9.3	2.27	267	Kept fish in aquaria (22 cm in diameter, 29.5 cm in height). Water 10 l. Wt. 25.6° C.
normal	14.5	3.81	10	4.4	1.48	271	
normal	24	4.92	5	3.1	0.95		Kept fish in aquaria (22.2 cm in diameter, 30.5 cm in height). Water 5 l. Wt. 19.6-20.0°C.
normal	24	4.30	10	5.3	1.37		
normal	24	3.08	20	8.8	1.92		

average...1.70

同様な事例については、CORNELIUS⁹⁾がニジマスにつき、溶存O₂量によって摂餌率、増肉係数に差があることを報じている、O₂量が17.8mg/ℓのとき、増肉係数2.3であったが、O₂量が9.1mg及び3.8mg/ℓの時には、増肉係数は夫々5.6、8.4であったという。

8. 代謝生産物の排泄と蓄積

魚を水槽にうつしてから 6—24 時間の無投餌期における、NH₄-N排泄量は、Table 9 にみられるように 2.42mg/100g,hrであり、かなりの変動があった。古川・小笠原⁹⁾は、体重9.5—31.2gのコイ又はキンギョを用い、水温16—26°Cでは、低O₂飼育水における方がNH₄-Nの排泄量が少く、Urea-Nが増加することをみた。Table 9 からは、NH₄-Nの排泄とO₂量との間には一定した傾向がみられないので、平均値をもとめると 1.70gm/100g,hr (41gm/100g, day) をえた。又PO₄-Pの排泄については平均0.24mg/100g,hrであった。

Table 10. Accumulation rate of nitrogen when fish were fed once a day in oxygen deficient water, based on the data of Table 2.

	Av.wt°C	Av.bw,g	Food taken, % bw,day	NH ₄ -N accumulation mg/100g bw,day
7/21-22	25.8	0.55	10.2	106
7/22-23	24.8	0.55	10.2	168
7/23-24	25.4	0.55	9.2	75
7/24-25	26.3	0.56	11.7	120
7/25-26	27.0	0.56	10.4	42
7/26-27	26.9	0.56	10.6	154
7/27-28	26.7	0.58	11.3	73
7/28-29	27.0	0.58	10.8	103
7/29-30	27.3	0.60	8.7	85

average...102.9 mg/100g bw,day

4.3 mg/100g bw,hr

次にTable 2 に示した実験のうち、低O₂平衡に達した状態で 毎日1回、体重の10%のイトミミズを摂餌した場合のNH₄-N蓄積量をもとめると、平均して 4.3mg/100g,hr (103mg/100g,day) の値であった。(Table 10)魚を水槽に収容後3日目から12日間の、無殺菌状態における値であるから、厳密には排泄量として表わしえないが、無投餌の値に比べ約2.5倍の増加であった。以上の結果は、1日1回の投餌であったから、もしO₂平衡点が充分に高く、餌が豊富に与えられれば、Table 3の摂餌活動の傾向から、少なくとも日間体重の33%以上を摂餌する筈である。従って、その時のN排泄量は、かなりの高さを示すであらう。

次にNH₄-Nの鼻あげに及ぼす影響について考察をしてみる。鼻あげを毎日くりかえしたがために、1日1回の摂餌が極限量と考えられる本実験において、NH₄-Nの最大蓄積量は13mg/ℓであった(Table 4)。このようなNH₄-N量が、呼吸困難に直接の悪影響を与えることが考えられたが、前述したように、鼻あげ状況とよく変化度合が相関を示したのは、水中のO₂量であってNH₄-N、PO₄-N、NO₂-N等が関与したとは考えられない。WUHRMANN¹⁰⁾らはアンモニウム塩の魚類に対する毒作用について、NH₄⁺と非電離分子のNH₃・H₂Oとを区別して考えねばならないことを提唱し、毒作用は主として遊離のアンモニア量によってきまることが、そしてpHによって左右されると述べた。本実験では、NH₄-Nが13mg/ℓであっても、pHは7.31—7.32であったから、NH₃-Nの含量は0.3mg/ℓ程度にあり、ウグイに対するアンモニアの許容量内に入ってしまう。WUHRMANNらは、ウグイに近縁の*Squalius cephalus* L.を用い、NH₄として37.3mg/ℓの場合、pH 7.78では魚には害がなかったが、pH 8.16と8.78では、NH₃の濃度は夫々2.07; 7.92となり、魚は夫々330

分, 67分で体の平衡を失うに至ったと報じている。

確かに, $\text{NH}_4\text{-N}$ は汚染環境のよい指標であり, その多い飼育水は一般に低 O_2 量であるのみならず, 有害物質の存在も考えられるから, 養魚には望ましくはないといえるが, 少なくとも流水養鱒池*とか循環濾過水系²⁾ではpHの低下をともなっており, 又輪虫類が植物プランクトンを捕食することによって生ずる, 養鱒池の水変りについても, pHの著しい低下がみられる¹⁾から, $\text{NH}_4\text{-N}$ の魚に対する影響は, 以上のような場合には案外に少ないのではないかと考えられる。

本研究は 1953—'55年に東北大学農学部において行なったものである。その間指導と鞭撻をいただいた東北大学松平近義博士, 狩谷貞二博士に感謝の意を表す。

摘 要

1. 魚の鼻あげと代謝活動との関係をしらべるため, ウグイ稚魚を用い止水状態で実験的に鼻あげをおこさせ, それに関連した実験を行なった。
2. 鼻あげ状態を表すため, 鼻あげ個体数の%で鼻あげ率を, 又驚愕刺戟をくりかえして与えても逃避行動を示さない鼻あげ個体数%で鼻あげの強さをもとめた。
3. 実験条件下では, 鼻あげの状態は水中 O_2 量の変化とよく一致し, かつ水中 O_2 量の鼻あげ臨界点と鼻あげ100%点, 及び窒息点との差はわずかであった。即ち, 水温 26°C 附近では水中 O_2 量が 38mmHg ($1.4\text{cc}/\ell$) までは鼻あげをおこさないが, それ以下になると鼻あげをはじめ, 25mmHg ($0.9\text{cc}/\ell$) 以下では100%の鼻あげ率を示し 16mmHg ($0.6\text{cc}/\ell$) 以下が続くと致命的であった。
4. 魚が徐々に低 O_2 飼育水に馴致し鼻あげ臨界点で生存するときの O_2 消費量は $8.5\text{cc}/100\text{g}, \text{hr}$ であり, 正常値の約6分の1であった。
5. 鼻あげ臨界点で飼育されたウグイは, 1日1回の投餌で体重の10%を摂餌したが, この値は第1次餌貯蔵部位の収容能に近く正常状態における値と等しかった。摂餌後2—8時間において最高の鼻あげ率を示したが, 24時間では鼻あげはほとんど消失した。この傾向は消化作用の進行状態の反映と考えられた。
6. 1日1回の摂餌とそれに伴う鼻あげをくりかえした飼育状態では餌料効率が悪く, 体の増生分に与えられた $9.4\text{Kcal}/100\text{g}, \text{day}$ に対し $0.4\text{Kcal}/100\text{g}, \text{day}$ しか成長しなかった。
7. 止水条件下ではpH, アルカリ度, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ は増加の傾向を示した。しかしこれらの要因が直接鼻あげに関与したとは考えられない。 $\text{NH}_4\text{-N}$ については最高 $13/\text{mg}\ell$ に達したが, pHとの関連で毒性を示さなかったと思われる。
8. $\text{NH}_4\text{-N}$ の排泄又は蓄積率は, 無投餌の場合 $41\text{mg}/100\text{g}, \text{day}$ であったが, 1日体重の10%を摂餌した場合にはその約2.8倍に増大した。

文 献

- 1) 狩谷貞二：“赤ポーフラの飼育”，水産増殖，3，1—11（1955）
- 2) 佐伯有恒：“魚介類の循環濾過式飼育法の研究—基礎理論と装置設計基準”，日水誌，23，684—695（1958）
- 3) 狩谷貞二：“魚の餌付に関する問題”，水産増殖，4，1—8（1956）
- 4) 畑久三・中村一雄：“鰾の酸素消費量について”，水産学雑誌，51，72—77，（1943）
- 5) 板沢靖男：“ウナギの鼻上げ時の水中酸素量”，日水誌，26，960—965（1960）
- 6) ITAZAWA, Y.：“Gas Content of the Blood in Response to That of Medium Water in Fish”，*Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 23, 71—80（1957）
- 7) 右田正男・花岡資・都筑清：“植物性養魚餌料試験第一報，二三糖質の養鯉人工餌料としての營養価値”，水試報，8，99—177（1937）
- 8) CORNELIUS, W. O.：“Untersuchungen über die Verwertung natürlicher und künstlicher Nahrung durch Regenbogenforellen verschiedenen Alters und unter verschiedenen Bedingungen”，*Z. f. Fisch.*, 31, 535—566（1933）
- 9) 古川厚・小笠原義光：“魚類の營養に関する研究—V. 排泄物中のAmmonia-N並びにUrea-Nに就て”，日水誌，21，119—122（1955）
- 10) WUHRMANN, K., ZEHENDER, F. und WOKER, H.：“Über die fischereibiologische Bedeutung des Ammonium- und Ammoniakgehaltes fließender Gewässer”，*Viert. jahrssch. Naturforsch. Ges. Zürich*, 92, 198—204（1947）
- 11) 伊藤隆・岩井寿夫：“養鰻池の水変りに関する研究 V. *Brachionus plicatilis* による„水変り”過程における水質の変化”，*Rep. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie*, 2, 335—346（1956）