

コイ飼育水槽内の窒素収支

誌名	水産増殖 = The aquiculture
ISSN	03714217
著者	大家, 正太郎 南坂, 恵洋 田中, 啓陽
巻/号	36巻4号
掲載ページ	p. 291-295
発行年月	1989年3月

コイ飼育水槽内の窒素収支

大家 正太郎¹⁾・南坂 恵洋¹⁾・田中 啓陽²⁾
(¹⁾近畿大学水産研究所・²⁾香川大学農学部)

Nitrogen Budget in the Carp Rearing Tank

Shotaro OHYA, Shigehiro MINAMIZAKA and Yoshiaki TANAKA

Abstract

Nitrogen in the feed ingested by fish is balanced quantitatively by growth in body nitrogen, excreted nitrogen and nitrogen in egested faeces. Judging from growth efficiency of fish, a large proportion of the ingested nitrogen is removed to the rearing water in various forms of nitrogen as metabolic waste and egested faeces. It may be considered, therefore, that abundant nitrogen as food has a harmful influence upon the aquatic environment in the rearing tank.

This paper describes the nitrogen flow in the tank from the viewpoint of the nitrogen budget. Every item in the budget was estimated independently and measured as directly as possible.

The nitrogen load as feed into the tank is 0.282 g-N/l during 44 days of the rearing period. This nitrogen load converts to 0.123 g-N/l or 43.6 % of DON, 0.028 g-N/l or 9.9 % of PON, 0.027 g-N/l or 9.6 % of DIN, 0.097 g-N/l or 34.4 % of growth and 0.007 g-N/l or 2.5 % of other. Total organic nitrogen concentration (DON + PON) increases at the rate of about 50 % of the nitrogen load.

魚によって摂取された飼料成分は、成長として魚体に合成されるもの、代謝産物として排泄されるもの、摂取されたが同化されず糞として排出されるものとなる^{1,2)}。これらのうち、糞および一部の代謝産物は飼育水中にて直接酸素要求に関与する有機化合物であり¹⁾、また、代謝産物の大部分は植物性プランクトンおよび微生物等の合成に利用され、間接的酸素要求に関与する無機栄養塩類である³⁾。したがって、これら直接的あるいは間接的酸素要求に関与する物質の蓄積によって、飼育水槽内の水質環境は特異な状態を呈し、魚の生

産性の低減へと連動することが考えられる³⁾。しかし、魚に視点をおいての飼料成分の物質収支およびエネルギー収支に関する研究は比較的多いが¹⁾、水中での物質代謝を含めての水質環境から、飼料成分の水中での物質の動態・収支についての検討は少ない⁴⁾。

本研究は、飼料成分のうち、水質環境に大きな係り合いを持つ窒素を指標として、給餌によって飼育水中に負荷された窒素の動態・収支について明らかにするのが目的である。

受領日：1988 (S63) 年8月30日

索引語：コイ／窒素収支／代謝産物／餌料転換効率

連絡先：〒647-11 和歌山県新宮市 近畿大学水産研究所 大家正太郎

Address : S. OHYA, Fish. Lab., Kinki Univ., Shingu, Wakayama 647-11

窒素収支についての考え方

魚によって餌から摂取された窒素は成長、代謝産物および排糞等の窒素に量的バランスを保って転換する。代謝産物は大部分アンモニア、一部は尿素および溶存有機物として排泄され、飼育水の溶存態無機窒素(DIN)および溶存態有機窒素(DON)濃度を直接高めることになる。しかも摂取された窒素の大部分は、代謝産物として排泄されることから水質に大きな影響を与える^{1,3)}。排糞による窒素負荷は、懸濁態有機窒素(PON)濃度の増加に直接関与することになる。

ところで、これら水質に直接負荷されたDIN, DONおよびPONは、飼育水中の窒素代謝の諸過程のうち、主として、生物化学的酸化による無機化、また、植物性プランクトン、微生物等の合成等の作用が水中で同時に進行し、水中での窒素動態に大きな役割を演じていると考えられる。すなわち、本実験条件の場合、DINおよびDONは好氣的微生物に合成されPONを形成する^{5,6)}。これらの微生物は成長期においても、また死亡後においても、いずれも有機態窒素を含む溶存態化合物を水中に放出する。これらの化合物はPONを形成するために再び合成されるか、あるいは分解によって無機態窒素になるかである。他方、排糞によるPONは生物化学的酸化によって一部はDONを経て、すべてDINに到達することになる。このような窒素代謝の諸過程によって、DIN, DONおよびPONの相互間での転換が連続進行し、DIN, DONおよびPON濃度が決められることになる。

したがって、水質環境の視点に立てば、摂取された飼料中の指標成分窒素収支は次のように書ける。

$$F_N = G_N + DON \cdot V + PON \cdot V + DIN \cdot V + E_N \dots (1)$$

F_N : 摂取された飼料中のN量

G_N : 体内貯留N量 (成長量に対応)

E_N : その他 (例えば Denitrification)

V : 水容積

ここで、沈積物は曝気によって再懸濁すると考え、沈積物の項は上式から省くことにした。

(1)式にしたがって検討するために、上式の諸項はできる限り直接測定することにした。

実験方法

この実験に用いたコイ (*Cyprinus carpio*) の重量は実験開始時平均101gである。1日2回飽食まで給餌した。実験開始時および終了時のコイの収容量はそれぞれ1.45g/l, 2.98g/lである。実験期間の水温

は27.3~28.8°Cの範囲で変化した (Fig. 1)。

コイを飼育するのに用いた実験小型水槽は280ℓ、止水式で室内に設置させた。水質分析のための試水は2~5日間隔で採取された。採水および蒸発による水の損失は実験期間を通じて蒸留水で補充した。飼育期間は44日間である。

遠心分離法 (4×10^3 r.p.m., 30分) によって得た懸濁態物質は103~105°C、で一定量になるまで乾燥させ秤量した⁷⁾。全溶存態物質は懸濁態物質除去後の試水を蒸発させ、残留物の秤量によって定めた。なお、懸濁物質除去後の試水は吸光度 (700nm) 0.003以下であることを確認してある。また、この値以上の試水は再度懸濁物の除去を行った。

飼料、魚体、懸濁態・溶存態物質の窒素量はCHN分析計 (島津製作所 CHN corder 2A) によって求めた。

結果および考察

1) F_N および G_N の見積り

実験に使用した配合飼料 (コイ用浮餌) の含窒率は6.05%, 水分含量は9.0%である。Fig. 1 は日間摂餌量を示してある。飼育期間中の積算給餌量は1.43kgで、 F_N は78.9gとなる。

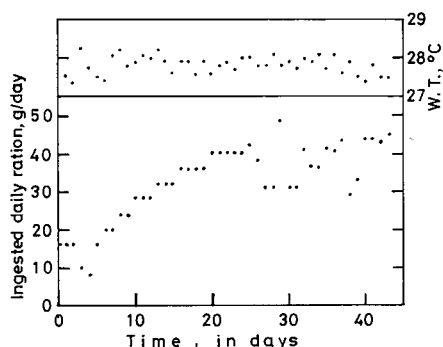


Fig. 1 The ingested daily ration during the rearing period.

Table 1 Body nitrogen.

Body parts	Percent of body parts (%)	Nitrogen content (%)
Scale	8.1	12.1
Internal organs	6.7	10.3
Meat	61.4	13.2
Gill	3.5	7.5
Bone	20.3	5.7

Table 2 The results of carp culture in small tank.

Stocked fish	
Total weight (g)	405
Average weight (g)	101.3
Harvested fish	
Total weight (g)	1,355
Average weight (g)	339
Food consumed (kg)	1.43
Feed conversion efficiency	66.3

Table 1 はコイの全魚体に対する各部位の割合と、その含窒率を示した。鱗、内臓、肉質、鰓、骨および全魚体の含窒率は12.1, 10.3, 13.2, 7.5, 5.7および11.2%であり、魚体の平均水分含量は74.5%であった。コイの飼育成績はTable 2 に括めてある。これらの結果から、 G_N は27.1 g となる。

2) DIN, DONおよびPON濃度変化

Fig. 2 は溶存態物質濃度、懸濁態物質濃度およびそれぞれの含窒率の経時変化を示したものである。溶存態物質量は実験開始後約15日から急激に、懸濁態物質量は飼育期間を通して徐々に増加するのがみられる。溶存態および懸濁態物質それぞれの含窒率は、両者とも時間の経過とともにわずかな増加傾向が認められる。次に、これらの結果を用いて、DONおよびPONを算出した。ただし、DONは全溶存態窒素からDINを差し引いて求めた。DIN, DONおよびPON濃度変化はFig. 3 に与えた。

DINの増加の割合は実験当初の約10日間やや高く、それ以後の増加率は低くなる傾向がみられる。DON濃度は最初の15日間は0.01 g/l以下を保つが、それ以後は時間の経過と共に著しく増加するのが特徴的である。また、PON濃度変化では実験開始後約15日迄その増加率は低く、それ以後は高くなり、約40日以後では大きな変化はみられない。PONは排糞および微生物等から成るので、PON濃度変化を一義的に説明することは難かしいが、しかし、その濃度変化の様相は微生物増殖過程の様相と一致していることは無視できない。

次に、給餌による積算窒素負荷のDIN, DONおよびPON濃度への依存度をみるために両者の関係をみたのがFig. 4である。DIN, DONおよびPONと積算窒素負荷量との関係には直線関係はみられず、とくにDON濃度変化では積算窒素負荷が0.9 gN/l以上で急激な増加がみられる。これらの関係から、DIN,

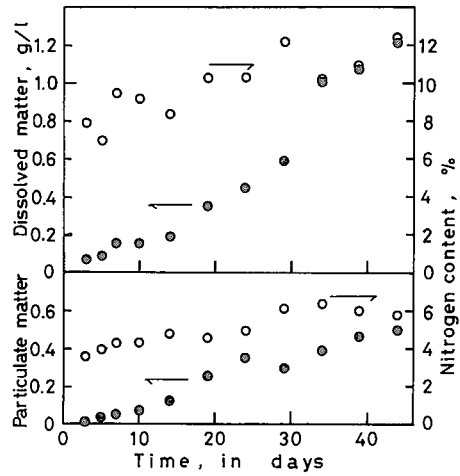


Fig. 2 Changes in dissolved and particulate matters.

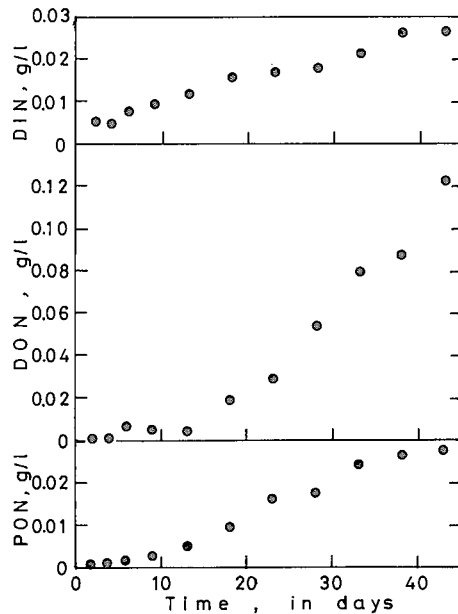


Fig. 3 Changes in DIN, DON and PON concentrations.

DONおよびPON濃度はコイからの代謝産物および排糞による直接負荷と、それ以上に水中での窒素代謝作用に依存していることが推察される。

水中での窒素代謝作用の概括的把握にpHの変化からのアプローチは有効であろう。pH変化を描いたのがFig. 5である。実験開始当初pH7.0、約7日後5.5迄低下し、その後上昇し18日後に6.8に回復、以後再

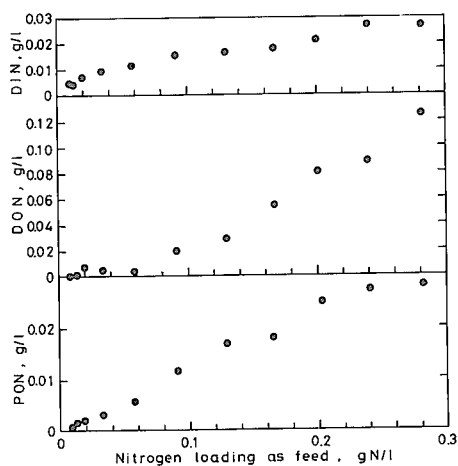


Fig. 4 Relationships of DIN, DON and PON to cumulative amount of nitrogen loading as feed.

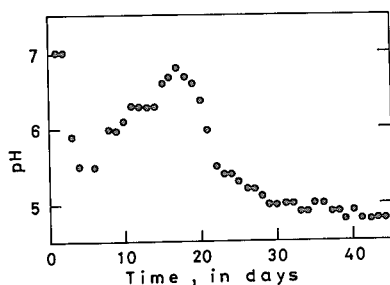


Fig. 5 Changes in pH values.

び低下し、40日以後4.8前後を保っている。実験開始当初のpHの低下はコイ排泄物の酸酵による有機酸等の負荷およびCO₂の溶解が主役であり、その後のpH上昇はコイ代謝産物としてのアンモニアの直接負荷と排糞および代謝産物からの尿素、アミノ酸、ペプチド等の生物化学的酸化によるアンモニアの間接的負荷が考えられる。また、実験開始約18日以後のpH下降は微生物の自己消化による細胞成分の溶出、コイ排泄物からの有機酸の負荷等が主因であろう。Fig. 3に示す18日以降のDON濃度の増加がこれに対応する。その他の要因として硝化作用による硝酸濃度の上昇(NO₃-N濃度は実験開始後14日2.9mg/l、44日5.8mg/l)もpH低下に作用している。当然のことながら、水中での代謝作用の諸過程によって、常にpHの上昇、低下の両作用が拮抗しているが、前述の説明はそれぞれpH変化の支配的作用を述べたものである。

Fig. 6はTN (DIN+DON+PON) に対するDIN、

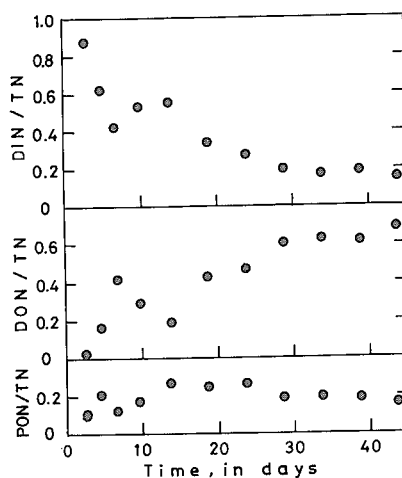


Fig. 6 Changes in DIN/TN, DON/TN and PON/TN.

Table 3 Nitrogen budget for the carp rearing tank.

F _N /V (Gross N ingested)	0.282
G _N /V (N used for growth)	0.097 (34.4)
DON	0.123 (43.6)
PON	0.028 (9.9)
DIN	0.027 (9.6)
E _N /V (Other)	0.007 (2.5)

Unit: g-N/l
(): %

DONおよびPONのそれぞれの比の変化を描いた。pH変化と重ね合わせてみれば、前述の説明はさらによく理解されよう。以上のことから、水中での窒素代謝が活発に作用し、水質環境に大きな役割を演じていることがよくわかる。

3) 窒素収支

窒素収支を検討するためのデータは、飼育44日後の最後に採取したサンプルの水質結果を用いた。

窒素収支に係わるパラメーターは便宜的に単位水量当りの窒素量として表示した。(1)式は次のようになる。

$$F_N/V = G_N/V + \text{DON} + \text{PON} + \text{DIN} + E_N/V \dots\dots(1)$$

(2)式の各項を見積り、その結果を含めたのがTable 3である。

飼育期間44日間の飼料としての窒素負荷(F_N/V)は0.282 gN/lとなる。他方、この窒素負荷に対し、G_N/Vへの転換は0.097 gN/l (34.4%)、飼育水のDON 0.123 gN/l (43.6%)、PON 0.028 gN/l (9.9)

%), DIN 0.027 gN/l (9.6%) およびその他 (E_N/V) 0.007 gN/l (2.5%) となる。最後の項 E_N/V は、アンモニアガスおよび微生物学的脱窒作用によって生成された窒素ガスの大気への揮散を含んでいると考えられる^{8,9)}。

以上の結果から、水槽内に負荷された窒素の約66%が水中での窒素代謝の諸過程を経て、種々の型の窒素として存在するが、その大部分は有機態窒素であり、とくにDONへの転換の顕著に高いのが特徴的である。

本実験は室内の弱光下で実施したので、有機物合成は主として微生物合成であると考えられる。もし強光下での実験であれば、水中での窒素代謝諸過程の代謝速度は異なるであろう。

飼育成績の良否は窒素収支に係わる各項目の量的配分および各項目間の比率に影響を与えるであろう。そこで、本実験の飼育成績 (Table 1) のうち、餌料転換効率をみると66.3%を示している。一般に止水池でのこの値は平均約60%であることから¹⁰⁾、本実験の水質環境は通常のコイ養殖池の水質環境と大きな差異はないものと考えられる。

終わりに、香川大学桑原正章教授から窒素代謝について有益な助言を得た。感謝の意を表す。また、本実験に御協力下さった近畿大学清水寿一氏、堀川芳明氏ならびに山本慎一氏に謝意を表す。

文 献

- 1) SHARP, G. D. (1982): Ecological efficiency and activity metabolism. Ed. M. J. R. FASHAM, Flows of energy and materials in marine ecosystem, Plenum Press, New York, 459-474.
- 2) 田中啓陽 (1977): 汚染物質の堆積過程. 日本水産学会編, 浅海養殖と自家汚染, 恒星社厚生閣, 42-51.
- 3) BOYD, C. (1979): Water quality in warm water fish ponds, Auburn Univ., Alabama, 117-126.
- 4) CHIBA, K. (1986): The cycle of nitrogen, carbon and phosphorus in an eel culture pond. Ed. J. L. MACLEAN, L. B. DIZON and L. V. HOSILLOS, Asia Fish. Soc., 31-34.
- 5) TANAKA, Y. (1987): Biochemical oxidation of dissolved organic matter by sludge organisms. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**, 801-807.
- 6) AZAM, F. and J. W. AMMERMAR (1982): Cycling of organic matter by bacterioplankton in pelagic marine ecosystems. Ed. M. J. R. FASHAM, Flows of energy and materials in marine ecosystem, Plenum Press, New York, 345-360.
- 7) TARAS, M. J., A. E. GREENBERG, R. D. HOAK and M. C. RAND (1971): Standard method for the examination of waste water. Amer. Publi. Health Assoc., 1-874.
- 8) KAWAI, A. and M. SUGIYAMA (1979): Microbiological studies on the nitrogen cycle in aquatic environment V. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **45**, 61-65.
- 9) WARWICK, J. J., M. ASCE and A. McDONNELL (1985): Significance of in-stream denitrification. Ed. J. C. O'SHUGHNESSY, Amer. Soc. Civil. Eng., 492-499.
- 10) SUZUKI, R. (1979): The culture of common carp in Japan. Ed. T. V. R. PILLAY and W. A. DILL, Advances in aquaculture. Fishing News Books Ltd., 161-166.