

## 아질산의 만성중독증에 의한 참장어(뱀장어)의 병리조직학적 연구

양한춘, 전세규\*

여수수산대학 양식학과, \*부산수산대학교 어병학과

담수어류중의 주요 양식대상종인 참장어(뱀장어), *Anguilla japonica* TEMMINCK et SCHLEGEL의 아질산 독성에 의한 만성적인 중독증을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. pH 5.5와 6.0에서는 6주째부터 아질산의 농도에 관계없이 참장어 복면에 회색반문이 생겼다. pH 5.5에서는 시일이 경과함에 따라 점액물질이 많이 분비되어 백탁되면서 참장어는 죽기 시작했다.
2. 아질산 10ppm구에서 8주간 사육하였을 때 혈액이 갈색으로 변하였고, 아질산 30ppm구에서 8주간 사육하였 때 빈혈증상이 나타났다.
3. 아질산의 농도가 높을 수록, pH가 낮을 수록 아가미 상피세포 조직의 표면에 점액물질의 분비가 많아졌다.
4. 아질산의 농도가 높아짐에 따라 염세포의 수가 감소되었으며, 아질산 40ppm구에서는 새변의 선단 부위에서만 염세포가 관찰되었다.
5. 아질산의 농도가 10ppm 이상인 경우 새변의 퇴행성 변성이 진행되어 상피세포의 박리와 탈락이 일어나며 2차새변의 모세혈관이 위축되고 붕괴되었으며 또한 만곡증상도 많이 나타났다.
6. 수온과 아질산의 농도가 높을수록 새변에 혈전이 많이 생기며 괴사되는 부분도 많이 관찰되었다. 새변의 병변이 적게 일어난 것은 아질산 농도가 10ppm 이하일 때였으며 아질산 농도 1ppm과 5ppm에서도 새변의 병변은 관찰되었으나 시일이 지남에 따라 정상적인 새변으로 재생되는 경향이 있었다.
7. 참장어의 아질산에 대한 성장저해 농도는 혈전의 형성이 비교적 적은 pH 7.0~7.5에서의 아질산 농도가 5ppm 보다는 높고 10ppm보다는 낮은 농도일 것이고, 아질산에 대한 안전농도는 2차새변의 박리와 혈전이 생기지 않고 모세혈관벽의 붕괴로 출혈이 일어나지 않으며 염세포가 새변의 기저부에까지 출현하는 pH 7.0과 7.5의 아질산 농도가 1ppm보다는 낮은 농도일 것으로 보인다.

Key Words : Nitrite, *Anguilla japonica*, pH, gill, thrombosis

어류의 양식 방법은 양식 기술이 발달함에 따라 양식 대상종에 알맞도록 정착 되어 가고 있다. 참장어(뱀장어)의 양식은 가온하면서 순환여과식에 의하거나 또는 식물플랑크톤을 이용하여 사육수를 정화시키는 방법으로 12개월 정도로 성만까지 생산해 내는 것이 일반적이다.

이와 같은 가온 양만지에서는 사육수의 정화 능력에 따라 사육수 중의 아질산 농도가 달라지게 되는데 아질

산의 농도가 높아지면 독성이 높아지게 되므로(Hanson and Grizzle, 1985) 막대한 손실을 초래할 수 있는 주요한 환경요인에 속한다.

양만지의 아질산은 참장어의 배설물이나 먹이 찌꺼기 등이 호기적 무기양양 세균인 Nitrosomonas, Nitrococcus 또는 Nitrospira균 등의 분해 작용으로 아질산이 생성되며 아질산은 Nitrobacter 또는 Nitrocystista균 등에 의해서 질산으로 전환된다. 그러므로 참장어를 기르

위해서 먹이를 주게되면 사육수중에 아질산의 단상 용해하게 되는 것은 불가변한 현상이라 볼 수 있다.

사육수중의 아질산이 참장어에 미치는 영향을 보면 山形과 丹羽(1979)는 아질산 농도 30ppm에서 참장어의 성장 장애가 일어난다고 보고했으나, Kubota 등(1981)은 아질산 농도 7.8~10.5ppm에서 참장어의 조직은 심한 변성으로 폐사가 일어났고 혈액은 methemoglobin (MHb)증을 일으키며 대량 폐사에 이르렀다고 보고했다. 한편 아질산의 독성은 양만지 수중의 여러가지 환경요인에 따라서 차이가 난다고 한다. 즉 수온이 높아지면 참장어의 체내에 아질산의 흡수량도 증가하게 되므로 (Colt and Tochobanoglous, 1976) 아질산의 증독증이 더욱 심해 진다.

pH에 있어서는 pH가 낮은 수질환경 쪽에서 아질산의

#### 실험수조

25ℓ(44×23×25cm)들이 유리수조 58개를 준비하고 사육수의 아질산 농도를 조사하였으며 실험온도는 heater로 조절하고 aerator로 산소를 충분히 공급하였으며 수조의 유리벽은 흑색비닐로 차광을 하였다. 실험에 사용된 실험수의 수질조건은 Table 1과 같았고, 실험수의 pH 조절은 0.1M 제1인산칼륨(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 및 0.1M 중탄산나트륨(NaHCO<sub>3</sub>)을 사용했고 전극 pH meter(HM-5A)로 측정했으며 아질산은 NaNO<sub>2</sub>를 사용하였고 그 농도는 분광광도계로 확인하여 pH의 오차는 0.05~0.1 범위 이내로, 아질산 농도의 오차는 0.1ppm 이하로 조절했다.

실험기간중에 먹이의 공급은 치만용 사료를 1일 1회 오전중에 충분히 주고 먹이 투여 2시간 후 먹이 찌꺼기를 제거하여 사료에 의한 수질변화를 최소화 하는데에 노력했다.

#### 실험방법

수온 25℃와 30℃에서 pH 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 및 7.5의 5구간과 아질산 농도 1, 5, 10, 20, 30 및 40ppm의 6단계 구간을 설정하였고 25ℓ들이 실험수조에 실험수 20ℓ를 채우고 참장어 실험어 13마리씩을 Table 2와 같이 수용하였다. 사육실험은 70일동안 행하면서 조건별로 2주마다 2마리씩 무작위로 채포하여 Tricaine methanesulfonate(MS222) 50ppm 농도액에 마취시킨 다음 아가미

Table 1. Water quality characteristics in test aquaria(mg/ℓ)

pH	6.9
DO	7.5
Temp.	20.0℃
Alakalinity, as CaCO <sub>3</sub>	12.3
Hardness, as CaCO <sub>3</sub>	251.57
Chloride	106.97
NH <sub>3</sub> -N	<0.01
NO <sub>2</sub> -N	0.028
NO <sub>3</sub> -N	<0.01

Table 2. Water physical and chemical condition in static bioassay aquariums for poikilocyte and histopathology in eels

pH	NO <sub>2</sub> -N concentration(ppm)	Water Temp.(℃)	DO(ppm)	Number of Eels
7.5	0 1 5 10 20 30 40	25 30	7.5~8.0	182
7.0	0 1 5 10 20 30 40	25 30	7.5~8.0	182
6.5	0 1 5 10 20 30 40	25 30	7.5~8.0	182
6.0	0 1 5 10 20 30 40	25 30	7.5~8.0	182
5.5	0	25	7.5~8.0	13

Water volume : 20 liters. Tank water renewed every other day.

※ Right is of renewed water. Left is of water after exposure for two days.

Control test is only 25℃ of water temperature.

조직을 채취하여 bouin액에 고정하고 상법에 따라 4 $\mu$ m 두께의 paraffin 절편을 만들고 Hematoxyline-Eosin(H-E) 염색을 하여 조직을 검경했다. 그리고 수온별로 아질산의 농도와 pH의 변화에 따른 실험어의 병리조직학적인 변화를 Plate에 표시했다.

## 결 과

### 실험어의 내안적 병증

건강한 참장어는 몸의 측면과 복부는 밝은 색을 띠는데 대조구에서 NO<sub>2</sub>-N 40ppm구에 이르기까지 NO<sub>2</sub>-N 농도에 관계없이 pH 5.5와 6.0 실험구에서는 6주째부터 몸의 복면이 유백색으로 변하면서 회색반문이 생겼고, 몸의 표면을 피복하는 점액물질은 전 실험구의 수온에 관계없이 pH 5.5에서는 1주일이 경과하면서 부터, pH 6.0 실험구에서는 4주째부터 많아졌다. 그리고 NO<sub>2</sub>-N 20 ppm 이상의 실험구에서는 pH에 관계없이 6주째부터 몸의 표면에 점액물질의 피복량이 증가하기 시작했으며 점액물질의 점착력이 커졌다.

대조구의 pH 5.5 실험구에서는 3주째부터 폐사가 일어났고 8주째에는 살아있는 실험도 폐사 직전의 상태여서 실험이 종료되었다. 그리고 폐사한 참장어는 점액물 독성이 강하게 나타나고(Huey *et al.*, 1980), 특히 pH가 낮은 담수양어장에서는 무기염류의 농도에 관계없이 아질산이 강한 독성을 나타낸다고 한다(Huey *et al.*, 1980; Lewis and Morres, 1986; Wise and Tomasso, 1988). Smith와 Williams(1974)와 Thurston 등(1978) 등이 무지개 송어의 만성독성에 의한 병리조직학적 변성에 관하여 연구한 것이 있고, 山形과 丹形(1979), Kubota 등(1981) 및 Kawatsu 등(1987) 등은 참장어의 만성독성에 의한 병리조직학적 변성에 관하여 연구한 것이 있다.

그리고 양과 전(1991)은 아질산 농도 10.1ppm과 pH 6.0의 조건에서는 조직의 심한 퇴행성 변성이 일어난다고 했다. 이와 같이 참장어에 대한 아질산의 독성이 실험방법이나 환경조건에 따라 다양하게 나타나므로 양민장의 수질 관리상 많은 어려움이 제기되고 있다.

한편 사육수중의 아질산이 어체내로 들어갈 때에는 아가미를 통과하기 때문에 아질산의 독성 작용이 적혈구 외에도 아가미 조직에 직접적인 영향을 미치게 될 것이므로 아가미에는 아질산 등 수질조건을 반영하는 특징적인 병리조직학적인 병변이 나타날 것이 예상된다. 아가미의 병리조직학적 병변에 대한 연구로는 Mallatt(1985) 및 Cruz와 Tamse(1986) 등이 수중의 농약, 중금속 및 무기염류에 의한 아가미의 병리조직학적 병변을 보고했으며, Temmink 등(1983), Umehara 등(1986) 및 Funabashi(1980) 등은 새변의 병리조직학적 병변에 대하여 상세히 보고하였다.

이상에서 열거한 바와 같이 아질산의 농도에 따른 병리조직학적인 변성에 대한 연구는 많으나 pH의 변동과 아질산 농도의 변화에 따른 병리조직학적인 병변에 관한 보고는 찾아 볼 수 없다.

본 논문에서는 수중의 아질산 농도에 가장 민감하게 직접적으로 영향을 받은 아가미를 대상으로 아질산의 농도, pH 및 수온의 변화에 따른 아질산의 만성적 독성 정도를 병리조직학적으로 연구하였다.

## 재료 및 방법

### 실험어

1988년부터 1990년의 3개년간 매년 이른 봄 종묘 실험참장어(실험참장어) 200~400g 썩을 구입하여 약육시키고 사육조(크기 78×76×55cm)와 여과조(크기 79×76×59cm)를 갖춘 순환여과식 수조에 수용하여 사육하였다. 먹이 길들이기로 부터 실험어 크기로 자랄 때까지 수온 15~28℃, pH 7.1~7.3 범위에서 참장어 치어용 사료를 주었으며 사육도중 병어의 발생은 없었다. 실험어의 크기는 체장 20.62~22.64cm, 체중 10.3~11.29g였다. 질이 과다하게 몸 표면을 피복하여 두꺼운 층을 형성하였고 백탁되어 있었으나 부검한 시료는 간장이 부종된 것 이외에는 외관상으로 아무런 이상이 없었다.

아가미, 간 및 혈액에 있어서는 실험이 진행되면서 혈액색이 갈색으로 변하는 것을 볼 수 있었고 쓸개가 팽창되는 개체가 생겼다.

아가미는 수온 25°C에서는 NO<sub>2</sub>-N 10ppm의 pH 7.5구에서 8주째부터 담갈색으로 변하기 시작했으나 행동은 활발했으며 수온 30°C에서는 NO<sub>2</sub>-N 30ppm의 pH 6.0구에서 8주째부터 아가미에 빈혈증상이 나타났다.

간장의 변색은 대조구의 pH 6.0구에서는 6주째부터 간 기부의 일부가 백탁종창되었고 수온 25°C NO<sub>2</sub>-N 1ppm의 pH 6.0구와 NO<sub>2</sub>-N 5ppm의 pH 6.5구, NO<sub>2</sub>-N 10ppm의 pH 7.0구에서 6주째부터 간장이 갈색으로 변했고, NO<sub>2</sub>-N 30ppm의 pH 6.0구에서는 8주째부터 빈혈증상이 심하게 나타난 것을 볼 수 있다.

혈액은 수온 30°C에서는 NO<sub>2</sub>-N 20ppm의 pH 6.0구에서 6주째부터, NO<sub>2</sub>-N 30ppm의 pH 6.5구에서는 4주째부터 혈색이 변하는 현상을 볼 수 있었으며, 또한 수온의 상승과 아질산 농도의 증가의 영향이 pH가 6.5 이하로 낮아짐에 따라 더 뚜렷해져서 혈색이 갈색으로 변색되는 증상이 심해졌다.

쓸개가 팽창된 것은 대조구에서는 pH 5.5에서 4주째부터였고 8주째에는 쓸개가 간장의 크기가 비슷하게 팽창되었다. 그리고 수온 25°C에서 NO<sub>2</sub>-N 5ppm의 pH 6.5구에서는 8주째부터 쓸개가 팽창되는 것을 볼 수 있다.

### 아가미의 병리조직학적 소견

수온 25°C와 30°C에서 NO<sub>2</sub>-N 1, 5, 10, 20, 30 및 40 ppm의 6단계와 pH 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 및 7.5의 5단계 실험구를 Table 2와 같은 조건에서 각각 10주간 참장어를 사육하면서 2주일 간격으로 아가미 조직의 병리조직학적인 검사를 행한 결과는 Table 3~15와 같다.

아질산의 농도가 증가함에 따라 아가미 조직의 병리조직학적 병변이 더 심하게 진행되며 또한 pH의 변화도 아가미 조직의 변성에 영향을 미치므로 각 실험구에서 관찰되는 실험어의 아가미 조직의 병리조직학적 병변은 매우 다양하게 나타났다. 따라서 아가미 조직의 병리조직학적 병변 상태를 다음과 같은 기준으로 구분하여 병변의 정도를 정리하였다.

즉 아가미 조직을 부종, 새만곡, 혈전, 새변과 2차 새변의 상피세포(호흡세포) 박리, 2차새변 상피세포의 탈락 및 2차새변의 모세혈관벽 붕괴(2차새변 상피세포 내

피막의 붕괴) 등을 변성의 정도에 따라서 각각 경중, 아중중, 중중의 3단계로 구분하였다.

### 아질산의 농도와 pH의 변화에 따른 아가미의 병리조직학적 병변

아질산의 농도별 pH의 변화에 따른 아가미 조직의 병리조직학적 병변을 수온 25°C하에서 관찰한 결과는 다음과 같다.

#### (1) 대조구

실험결과는 Table 3과 같다. 즉 pH 7.0~7.5의 실험구에서는 별다른 이상을 발견할 수 없었으며, pH 6.5의 실험구에서는 6주 이후에 1차새변 상피조직의 박리가 경중으로 나타나는 개체를 볼 수 있었다.

pH 6.0의 실험구에서는 4주째부터 아중중의 부종을 볼 수 있었고, 또한 2차새변 상피세포에서는 6주째에 부종과 더불어 박리가 중중으로 나타났다(Plate 1-①).

가장 pH가 낮은 실험구인 pH 5.5는 둘째주 이내에 이미 아가미의 부종이 중중으로 진행되었고 4주째부터는 2차새변 상피세포가 탈락과 함께 2차새변 상피세포 내 피막(모세혈관)의 붕괴 초기증상이 나타나기 시작했다(Plate 1-②, ③). 이어서 6주째에는 실험어 13마리중 5마리가 폐사했으며 8주째에는 살아 남아있는 1개체마저도 빈사상태에 이르렀다. 이 때의 아가미 조직은 전반적으로 2차새변 상피세포가 심하게 박리되었고 혈전으로 인하여 부종이 중중으로 진행되었으며 아가미 조직은 혼탁종창 상태로 변화하였다(Plate 1-④).

2차새변의 만곡증상은 pH에 관계없이 가벼운 초기증상으로 실험구마다에서 몇 증례씩 나타나는 것을 볼 수 있었고(Plate 1-②), pH 6.0에서는 10주째에 혈전이 아중중으로 진행되었다.

새변의 2차새변간 상피조직에는 염세포가 출현하였으나 2차새변간 상피세포가 박리된 조직에서는 염세포를 관찰할 수 없었다. 그리고 새변의 부종이 진행되면 염세포도 따라서 커지는 경향을 나타내었다(Plate 1-②).

이상의 실험결과를 종합하면 pH 7.0과 7.5에서는 전 실험기간중 병리조직학적 변성은 없었으며 pH가 낮아짐에 따라 2차새변 상피세포의 부종, 박리 및 탈락 등의

병변을 관찰할 수 있었다. pH 6.5에서는 6주째부터 2차 새변 상피세포의 부종이 아중증 이상으로 심하게 변성된 것이 생겼고, pH 5.5에서는 6주째부터 2차새변 상피세포층 안에 부종현상이 심하게 나타났으며 또 심하게 부종된 2차새변 상피세포의 박리와 탈락이 병발했고 심한 혈전증까지 복합적으로 일어나면서 폐사가 계속되어 10주간의 실험을 지속시키지 못하고 8주째에서 마치게 되어 본 실험에서는 NO<sub>2</sub>-N의 각 1실험구에서 pH 5.5의 실험결과를 생략했다.

(2) NO<sub>2</sub>-N 1ppm구

NO<sub>2</sub>-N 1ppm 하에서 pH를 달리했을 때의 아가미 조직의 병변을 실험한 결과는 다음과 같다.

Table 4에 나타낸 바와 같이 pH 6.5~7.5 사이의 전 실험구에서는 특징적인 병변을 볼 수 없었으나 가벼운 부종과 상피세포의 박리 현상이 6주 이후에 관찰될 때도 있었다(Plate 2-①).

(3) NO<sub>2</sub>-N 5ppm구

NO<sub>2</sub>-N 5ppm의 농도에서 pH를 변화시킨 실험구의 아가미 병변을 조사한 결과는 Table 5와 같다.

전 실험구에서 실험개시 2주째부터 새변부의 부종이

나타나기 시작하여 작용시간이 길어짐에 따라 새 박판이 박리현상이 관찰되는 것도 있었다(Plate 2-③). 그리고 pH가 낮아짐에 따라 병리조직학적 병변이 더 심해지는 경향을 보였으며, pH 6.0에서는 10주째에 2차새변의 모세혈관이 붕괴되고 새박판이 탈락된 부위를 볼 수 있었다.

(4) NO<sub>2</sub>-N 10ppm구

NO<sub>2</sub>-N 10ppm 실험구에서 실험한 결과는 Table 6과 같다. 이 실험구에서는 독성의 정도가 강해지는 경향을 보이고 있다. 즉 2차새변의 만곡증, 혈전, 상피세포의 박리 및 탈락의 병리적 현상이 실험기간중 계속적으로 관찰되었으며, 심한 경우에는 모세혈관벽의 붕괴도 일어나고 있었다.

그리고 pH가 낮아질수록 병리적 현상이 더욱 복잡해지는 것으로 나타났다.

(5) NO<sub>2</sub>-N 20ppm구

실험결과 Table 7을 보면 새변의 부종증상은 pH 6.0에서는 전 실험기간 10주 동안에 계속 출현하였고 아중증 이상의 심한 새변 상피세포의 박리가 복합적으로 나타났다. 그리고 pH 6.5와 7.5에서는 새변의 부종증상은

Table 3. Degree of degeneration of gill lamellae of the young eels at the various levels of pH at 25°C

Weeks	2			4			6			8			10					
pH	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
7.5	—					+						+						+
7.0	—					±						+						+
6.5	±					+						+						+
6.0	+	+				±			+			±						+
5.5	±	+				±			+			±			±			±

— : No change. ± : Very slight. + : Mild.    : Moderate.    : Extensive  
 A : edema (hypertrophy)  
 B : winding of the gill lamellae  
 C : thrombosis  
 D : detachment of epithelium of gill lamellae  
 E : sweeping of epithelium of secondary gill lamellae  
 F : necrosis on the capillary wall of secondary gill lamellae

그 증례씩 출현하면서 증중으로 변성이 심했고, pH 7.0에서는 실험기간중에 새변의 부종증상은 거의 볼 수 없었다. 또 pH 6.0과 6.5의 각각 6주째에는 2차새변 상피세포에서만 박리를 일으키면서 증중의 부종증상을 유발했다(Plate 3-④).

2차새변의 만곡증과 혈전의 형성은 pH 6.5, 7.0 및 7.5에서는 둘째주부터 전 실험구에서 거의 출현하였고 혈전이 형성된 2차새변 부위에는 2차새변 상피세포가 혼탁종창이 되는 경향을 볼 수 있었다. 그리고 2차새변의 상피세포가 비대해지고 있으며 점액세포의 과형성으로

Table 4. Degree of degeneration of gill lamellae of the young eels exposed at 1 ppm nitrite for 10 weeks with various pH at 25°C

Weeks	2					4					6					8					10																
pH	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F							
7.5				+	#	+	#	+		+	#	+	+											+	#	+	#				+	#					
7.0	+	+				#	+		+	+		#	+					+	#	+											#	+	+	+	+	#	+
6.5							#	+		+	+	#	+					+	+	+		+	+								#	+	+	+	+	#	+
6.0	#					+	+	+	#				+	+	#			+	#	+	#										+	+	+	+	##		+

+ ; Mild, # ; Moderate, ## ; Extensive

- A : edema(hypertrophy)
- B : winding of the gill lamellae
- C : thrombosis
- D : detachment of epithelium of gill lamellae
- E : sweeping of epithelium of secondary gill lamellae
- F : necrosis on the capillary wall of secondary gill lamellae

Table 5. Degree of degeneration of gill lamellae of the young eels exposed at 5 ppm nitrite for 10 weeks with various pH at 25°C

Weeks	2					4					6					8					10																	
pH	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F								
7.5						+	#	+				#	+		+	+	+	+					+	+						#	+	#				#	#	+
7.0	#					##	+	+	##		##	+	+	#			#	#	+				+	+	+		#	#	#				#	#	+			
6.5	#					#	#	+		+	+	+	#	+	#	+	+	#	+		+	+	+	+	#	+	#			+	#	#						
6.0	#	+				#	#	+	##		+	+	##	+			##	+	#				#	#	+					+			#	+				

+ ; Mild, # ; Moderate, ## ; Extensive

- A : edema(hypertrophy)
- B : winding of the gill lamellae
- C : thrombosis
- D : detachment of epithelium of gill lamellae
- E : sweeping of epithelium of secondary gill lamellae
- F : necrosis on the capillary wall of secondary gill lamellae

인하여 정상 상피세포는 거의 볼 수 없다.

새변 상피세포의 박리와 2차새변 상피세포의 탈락증상은 pH의 고저에 관계없이 각 실험구의 전 실험기간 중에 거의 출현하였고 아중증 이상으로 심한 변성을 한 증례가 절반 이상으로 증가하여 악화되는 경향을 보였

으며, pH 6.0에서는 10주동안 계속해서 2차새변 상피세포의 탈락증상은 아중증 이상으로 심한 변성을 보였다. 그리고 2차새변 상피세포가 박리되고 있는 부위의 모세혈관은 극도로 위축되었고 상피세포가 탈락된 2차새변의 모세혈관은 부분적으로 위축이 되는 증례가 많아졌다. 2

Table 6. Degree of degeneration of gill lamellae of the young eels exposed at 10 ppm nitrite for 10 weeks with various pH at 25°C

Weeks	2					4					6					8					10									
pH	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
7.5	+	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7.0				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6.5	+	+	+	+	+	+																								
6.0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

+ ; Mild,    ; Moderate,    ; Extensive

A : edema(hypertrophy)

B : winding of the gill lamellae

C : thrombosis

D : detachment of epithelium of gill lamellae

E : sweeping of epithelium of secondary gill lamellae

F : necrosis on the capillary wall of secondary gill lamellae

Table 7. Degree of degeneration of gill lamellae of the young eels exposed at 20 ppm nitrite for 10 weeks with various pH at 25°C

Weeks	2						4						6						8						10						
pH	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	
7.5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7.0	+	+	+	+	+	+	+						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6.5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6.0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

+ ; Mild,    ; Moderate,    ; Extensive

A : edema(hypertrophy)

B : winding of the gill lamellae

C : thrombosis

D : detachment of epithelium of gill lamellae

E : sweeping of epithelium of secondary gill lamellae

F : necrosis on the capillary wall of secondary gill lamellae

차새변 모세혈관벽의 붕괴는 각 실험구의 전 실험기간 중에 거의 출현하였고 각 실험구에서 1~2중례씩 아중증의 심한 변성을 하였다.

(6) NO<sub>2</sub>-N 30ppm구

실험결과 Table 8을 보면 새변의 부종증상은 pH 7.0과 7.5에서는 전 실험기간중에 각각 1중례씩 나타났으며, pH 6.0과 6.5에서는 각각 3중례씩 생겼었고 전부 아중증과 증상으로 심하게 변성하였으며 부종된 2차새변에는 거의 만곡증과 혈전이 복합적으로 나타났다. 그리고 pH 6.0에서 4와 10주째의 2차새변 상피세포에서 부분적으로 박리가 생기면서 아중증 이상의 심한 부종증상을 이르켰다(Plate 4-②).

NO<sub>2</sub>-N 20ppm 이하의 실험구에서는 2차새변의 만곡증이 일어난 2차새변에서 혈전이 생기는 경향이 있었으나 본 실험구에서는 만곡증이 없는 2차새변에서 혈전이 형성되는 증례를 볼 수 있었다.

pH 6.0과 6.5에서는 각 실험구에서 10시간 계속되는 경증의 혈전이 생겼고 아중증으로 심하게 변성된 것도 생겼다(Plate 4-②).

새변의 박리증상은 pH에 관계없이 전 실험구에서 볼 수 있었고, pH 7.5에서는 실험초기에는 증증으로 나타났

다가 실험말기에는 아중증 이하의 경증으로 감소했고, pH 6.0에서는 실험초기에는 아중증 이하의 경증을 보였으나 4주째부터는 아중증 이상으로 증상이 심해지는 경향을 보였다. 그리고 박리가 일어난 2차새변의 모세혈관은 극도로 위축되고 상피세포가 탈락된 부위의 모세혈관은 NO<sub>2</sub>-N 20ppm구에 비하여 더 위축되었다.

(7) NO<sub>2</sub>-N 40ppm구

실험결과 Table 9를 보면 새변의 부종증상은 pH 6.5에서는 전 실험기간중에 거의 아중증 이상으로 심하게 변성되었는데 2차새변의 만곡증과 혈전이 복합적으로 일어나는 것이 많았고, pH 6.0과 6.5에서는 전 실험기간에 아중증 이상의 부종이 간헐적으로 나타났으며, pH 7.0과 7.5에서는 전혀 나타나지 않았다.

2차새변의 만곡증과 혈전의 형성은 pH 7.0과 7.5에서는 전 실험기간중에 거의 출현하였고, pH 6.0과 6.5에서는 2차새변의 만곡증과 혈전은 3~4중례씩 출현하였으나, pH 7.0과 7.5에서 보다는 혈전의 형성이 약간 더 심해진것 같았고, NO<sub>2</sub>-N 30ppm구에서와 같이 2차새변의 만곡증상은 보이지 않으면서 혈전만 나타난 증례도 있었다.

2차새변 상피세포의 박리증상은 pH의 고저에 관계없

Table 8. Degree of degeneration of gill lamellae of the young eels exposed at 30 ppm nitrite for 10 weeks with various pH at 25°C

Weeks	2					4					6					8					10									
pH	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
7.5	+	+	+	+	+																									
7.0	+	+	+	+	+																									
6.5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6.0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

+ ; Mild, ; Moderate, ; Extensive

A : edema(hypertrophy)

B : winding of the gill lamellae

C : thrombosis

D : detachment of epithelium of gill lamellae

E : sweeping of epithelium of secondary gill lamellae

F : necrosis on the capillary wall of secondary gill lamellae



이 전 실험기간중에 전 실험구에서 거의 출현하였고 절반 이상의 실험어에서 아중증 이상으로 심하게 변성되었다. 그리고 2차새변 상피세포가 박리된 부위의 모세혈관은 극도로 위축되어 가늘어졌고, 상피세포가 탈락된 2차새변의 모세혈관도 부분적으로 심하게 위축된 증례가 많아졌다(Plate 4-③).

2차새변에서 상피세포의 탈락과 모세혈관벽의 붕괴는 NO<sub>2</sub>-N 30ppm구와 유사했고(Plate 4-③), 혈전이 형성된 2차새변과 2차새변 상피세포가 탈락되지 않은 2차새변은 전반적으로 혼탁증상되는 경향을 보였다.

(8) 실험구별 병변조직의 비교

○ 새변의 부종증상에 대하여

대조구의 pH 6.5~7.5 사이에서는 경미한 변성만 있었고 pH 6.0에서는 아중증으로 변성된 부종이 3중례나 되었다.

NO<sub>2</sub>-N 1ppm구의 pH 6.5, 7.0 및 7.5에서는 아중증으로 변성되는 것이 2중례였고 그 외의 2차새변 상피세포에서는 박리, 탈락 및 모세혈관벽의 붕괴 등의 복합된 변성을 하였으며, pH 6.0은 전 실험기간에 계속하여 아중증 이상의 심한 부종증상이 있었다. 그리고 NO<sub>2</sub>-N 5ppm구에서는 NO<sub>2</sub>-N 1ppm구와 유사한 경향을 보였으

나 NO<sub>2</sub>-N 5ppm구의 pH 6.0에서는 2차새변 상피세포가 박리와 함께 중증의 부종을 이트킨 것이 생겼다. NO<sub>2</sub>-N 10ppm구 이상의 실험구에서 2차새변 상피세포의 부종증이 생긴 증례에서는 2차새변 상피세포의 박리나 혈전증에 의하여 아중증 이상으로 심하게 부종된 것 뿐이었다.

그리고 pH 6.0에서는 NO<sub>2</sub>-N 농도에 관계없이 2차새변 상피세포층에 부종증례를 계속 볼 수 있었다. NO<sub>2</sub>-N 1ppm구에서는 대조구의 pH 5.5에서와 같은 부종증이 2차새변 상피세포층에 생겨난 상태의 단순한 2차새변의 부종이 생기고, NO<sub>2</sub>-N 5ppm구의 pH 6.0에서는 2차새변 상피세포층에 부종이 심해졌다. 그러나 NO<sub>2</sub>-N 10ppm구에서 40ppm구까지의 pH 6.0에서는 부종증을 基幹으로하여 박리와 혈전이 복합적으로 일어났고, NO<sub>2</sub>-N의 농도가 높아짐에 따라 혈전의 형성이 더 심해지는 경향을 보였다.

○ 2차새변의 만곡증상과 혈전에 대하여

대조구에서는 혈전의 형성은 pH 6.0 이하에서만 실험 말기에 나타났고, pH의 고저에 관계없이 경미한 만곡증상이 일부의 새변에서 관찰되었다.

NO<sub>2</sub>-N 1ppm구에서는 경증의 만곡증상만 생긴 2차

Table 9. Degree of degeneration of gill lamellae of the young eels exposed at 40 ppm nitrite for 10 weeks with various pH at 25°C

Weeks	2					4					6					8					10										
pH	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	
7.5	+	+	#	#	+	+	#	+	#			+	+	#	+	+	+	#	+							+	+	+	#	+	
7.0	+	+	##	##	+	#	+	+	#	+	+	+	+	+	+					+	+	+	+						+	#	+
6.5	#	+	+	+	#	+	##	+	+	+			##	+	+	#											+	#	+	##	##
6.0	+	+	+	#	+	+	#	#	+	#	+	#	+	+	##	+	+	##	#	+	+	##	#	+	+	+	##	##			

+ ; Mild, # ; Moderate, ## ; Extensive

A : edema(hypertrophy)

B : winding of the gill lamellae

C : thrombosis

D : detachment of epithelium of gill lamellae

E : sweeping of epithelium of secondary gill lamellae

F : necrosis on the capillary wall of secondary gill lamellae

새변이 많았고 이 만곡증상이 생긴 경우에는 경증의 혈전이 생겼으며, pH 6.5, 7.0 및 7.5에서 변성증례가 많았고, NO<sub>2</sub>-N 5ppm구에서는 2차새변의 만곡증상은 NO<sub>2</sub>-N 1ppm구와 유사했으며 경증 증례만 나타났다.

NO<sub>2</sub>-N 10ppm구에서는 2차새변의 만곡증상은 전실험구에서 pH의 고저에 관계없이 경증으로 거의 출현하였고, 혈전은 아중증으로 변성된 것이 전 실험구에서 1~3증례씩 생겼다.

그리고 NO<sub>2</sub>-N 20ppm구에서는 NO<sub>2</sub>-N 10ppm구와 유사한 변성 경향을 보였고, NO<sub>2</sub>-N 30ppm구와 40ppm구에서는 만곡증상이 있는 2차새변에는 전부 혈전이 생겼으며, 만곡증상이 관찰되지 않은 2차새변에서도 혈전이 생긴 증례를 볼 수 있었다. 또한 pH 6.0과 6.5에서는 pH 7.0과 7.5에 비하여 혈전과 2차새변의 만곡증상의 변성이 더 심해지는 경향을 보였다.

혈전은 2차새변의 상피세포(호흡세포) 안쪽에 있는 모세혈관으로 혈액이 통과하였으나 만곡으로 인하여 혈관이 막혔기 때문에 혈액이 통과하지 못하고 있는 것이라고 여겨진다. 따라서 2차새변의 만곡증과 혈전의 형성은 큰 관련이 있는 것으로 보였다.

#### ○ 새변 상피세포의 박리증상에 대하여

대조구에서는 pH 6.0과 6.5에서 경미한 박리증상이 1~2증례 있었다.

NO<sub>2</sub>-N 1ppm구에서는 pH의 고저에 관계없이 경증으로 박리된 것을 전실험예에서 볼 수 있었고, NO<sub>2</sub>-N 5ppm구에서는 pH 6.0, 6.5 및 7.0의 각 실험구에서 거의 볼 수 있었고, 아중증으로 심한 변성을 보이는 증례가 과반수에 달했으며, pH 7.5에서는 박리변성이 적은 경향을 보였다.

NO<sub>2</sub>-N 10ppm구에서는 NO<sub>2</sub>-N 5ppm구의 변성증상과 유사했고, NO<sub>2</sub>-N 20ppm구 이상에서는 중증으로 심한 변성을 일으키는 증례가 많아졌다. 그리고 pH 6.0에서는 NO<sub>2</sub>-N 5ppm구 이상의 고농도구에서는 2차새변 상피세포에서만 박리를 일으키는 변성증례가 증가하였다.

#### ○ 새변 상피세포의 탈락증상에 대하여

대조구에서는 2차새변 상피세포의 탈락이 pH 5.5에서

만 생겼고 NO<sub>2</sub>-N 1ppm구와 5ppm구에서는 각 실험구의 전 실험예에서 거의 볼 수 있었으며 pH

6.5, 7.0 및 7.5에서는 거의 아중증의 심한 변성을 하였고, pH 6.0은 부종증상이 심한 대신에 2차새변 상피세포의 탈락은 경미한 경우가 많았다.

NO<sub>2</sub>-N 10ppm구에서 40ppm구 사이에서는 pH에 관계없이 새변 상피세포의 탈락은 거의 아중증과 중증으로 변성이 심해졌다.

#### ○ 2차새변 모세혈관의 위축에 대하여

2차새변 상피세포가 박리되고 있는 부위의 모세혈관은 위축되었다. NO<sub>2</sub>-N 1ppm구에서는 위축되는 정도가 심하지는 않았지만 NO<sub>2</sub>-N 농도가 증가함에 따라 모세혈관의 위축은 심해져 갔고 NO<sub>2</sub>-N 40ppm구에서 가장 심하게 위축되었다.

pH 6.0의 NO<sub>2</sub>-N 1ppm구에서 NO<sub>2</sub>-N 5ppm구까지는 심하게 부종된 증례에서는 모세혈관이 위축되었으며 NO<sub>2</sub>-N 10ppm구 이상의 실험구에서 생긴 부종은 혈전을 동반하고 있어서 이러한 2차새변의 모세혈관은 팽창되어지는 경향이 있었다. 그리고 모세혈관이 노출될 경우 정상조직에 비하여 부분적인 위축이 있었고, NO<sub>2</sub>-N 10ppm구부터는 심하게 위축되었으며, NO<sub>2</sub>-N 40ppm구에서 가장 심하게 일어났다.

#### ○ 2차새변 모세혈관벽의 붕괴에 대하여

pH 5.5의 대조구의 모세혈관벽이 붕괴될때가 있었으며, NO<sub>2</sub>-N 1ppm구에서는 증상이 경미하였지만 NO<sub>2</sub>-N 5ppm구 이상에서는 아중증 이상의 심한 경우가 간헐적으로 나타났다.

### 아질산의 농도, pH 및 수온의 변화에 따른 아가미의 병리조직학적 병변

#### (1) NO<sub>2</sub>-N 1ppm구

수온 25°C와 30°C에서의 실험결과는 Table 4와 10과 같고 10주간의 실험기간동안 새변 조직에 부종증이 생긴 것은 아중증으로까지 심하게 변성하였고, 2차새변의 만곡증, 혈전, 새변 상피세포의 박리 및 탈락이 있었으며, 2차새변 상피세포의 박리와 탈락으로 인하여 모세혈관벽이 붕괴되어 심한 출혈이 일어나는 증례가 생겼다. 새

변의 부종증상은 수온 30°C에서는 pH 7.0에서 한 증례뿐이고 수온 25°C에서는 pH 7.5에서 2증례의 아중증의 변성이 있었다. 수온 25°C의 pH 6.0에서는 실험기간중에 계속해서 아중증 이상으로 심한 부종증을 이끈 증례를 볼 수 있었고(Plate 2-②) 수온 30°C에서는 둘째주와 4주째에만 부종이 생겼으며 25°C보다는 변성이 약간 더 심했다(Plate 6-②).

2차새변의 만곡증과 혈전은 수온 25°C와 30°C의 pH 6.5, 7.0 및 7.5에서는 혈전이 각 실험구의 전 실험기간중에 몇 증례씩 출현하였고, 혈전이 형성되는 초기증상은 만곡증이 있는 2차새변의 모세혈관중에서만 출현하는 것을 볼 수 있었다(Plate 2-①). 그리고 pH 6.0에서는 실험 초기에는 출현이 없었고 수온 30°C의 8주째부터 혈전이 생겼다.

새변 상피세포의 박리증상은 수온 30°C의 pH 6.5, 7.0 및 7.5에서는 각 실험구의 전 실험기간중에 거의 출현했으며 아중증으로 심하게 변성된 증례도 25°C에 비하여 많았고 실험 4주째에는 2차새변 상피세포가 박리되었던 것이 탈락된 잔재를 볼 수 있었고(Plate 4-④), 6주째에 다시 나타난 박리는 아중증이었으며(Plate 5-③), 10주째에는 경증의 변성을 보여서(Plate 5-②) 박리되었던 2차새변 상피세포가 탈락되고 再生되는 과정이라고 볼 수 있다.

그리고 22차새변 상피세포의 박리상태를 수온 30°C의 pH 7.0과 7.5에서 보면 4주째에는 2차새변 상피세포가 탈락되고 모세혈관까지 노출되었던 것이 재생되어가다가 다시 박리가 일어난 것 같으며 Plate 5-②과 5-③의 6주째와 10주째에는 2차새변 상피세포의 부분에서만 박리가 일어나고 있어서 실험기간이 경과함에 따라 경증으로 순화하면서 회복되어지는 경향을 보였다.

수온 25°C의 pH 6.5에서 8주째에는 2차새변 상피세포가 탈락된 상태에서 2차새변간 상피조직은 박리되고 있어서 탈락되었던 새변 상피세포가 재생되다가 부분적으로 다시 박리되는 과정이 시작되는 것으로 보였다.

수온 30°C의 pH 6.0에서는 박리가 일어난 증례에서는 더 심한 증상을 보였으며 박리되고 있는 2차새변의 모세혈관은 위축되었다(Plate 6-②).

2차새변 상피세포와 2차새변간 상피조직의 탈락은 대조구에서는 pH 5.5 실험구에서만 보였으나 본 실험구에서는 전 실험구에서 볼 수 있었다. 이들 상피세포가 탈락되는 과정은 상피세포질의 부종이 심해짐에 따라 상피세포 핵도 팽윤되어 세포의 기능이 약화되므로 상피세포의 부분적인 탈락이 일어나기도 하고(Plate 6-①), 때로는 2차새변 상피세포의 핵이 과대팽윤하여 모세혈관벽에 붙어있는 것과 같은 상태도 관찰되기도 하였다(Plate 5-④). 그리고 2차새변 상피세포는 심한 부종은 일어나지 않은 상태에서 박리된 상피세포가 일시에 탈락되어 2차새변의 모세혈관벽이 완전히 노출되는(Plate 4-④, 5-①) 세가지의 박리상태로 구분할 수 있었다. 그리고 2차새변 상피세포가 박리된 모세혈관은 부종이나 위축되는 현상은 거의 없었다.

2차새변 모세혈관벽의 붕괴는 2차새변 상피세포의 탈락으로 일어났고, 모세혈관벽의 붕괴로 출혈이 일어난 흔적을 보인 것은 수온 25°C와 30°C에서 다같이 pH 6.5, 7.0 및 7.5의 실험구였고(Plate 4-④), pH 6.0에서는 2차새변에 심한 부종이 있었으며, 부종된 2차새변 상피세포가 부분적으로 탈락되고 있는 것을 볼 수 있었으나 2차새변의 모세혈관의 노출은 거의 없어서 노출 흔적은 없었다(Plate 6-①). 그리고 2차새변의 모세혈관벽의 붕괴로 인하여 일어난 출혈에서 관찰되는 적혈구는 용혈되고 있었으며, 적혈구 핵은 위축되면서 둥글어졌다.

2차새변간 상피세포에 존재하는 염세포는 2차새변간 상피세포가 심하게 부종되지 않은 조직과 2차새변간 상피조직의 박리가 적은 새변의 전 조직에서 볼 수 있었고, 부종과 박리 등의 변성은 전반적으로 새변의 기저부로부터 진행되고 있어서 부종이나 박리의 변성이 늦게 일어나는 새변의 선단부위에서 염세포의 출현이 많았으며, 수온 30°C구의 출현이 25°C구보다 많았다. 그리고 수온 30°C의 pH 7.5에서는 2차새변간 상피조직의 일부가 남아 있는 새변의 기저부에 4주째까지 염세포가 존재하고 있는 것이 있었다.

새변 상피세포의 점액물질의 분비는 수온 25°C와 30°C에서 다 같이 약간 일어났고, pH 7.0과 7.5에서 보다는 pH 6.0과 6.5에 많은 경향이였다.

점액물질의 증가는 4주째까지의 실험초기에 2차새변 간 상피조직을 중심으로 부종이나 박리가 일어난 상피 세포층에 점액물질의 경미한 증가를 볼 수 있었고 실험 후기에는 거의 없거나 적어졌다(Plate 5-④).

(2) NO<sub>2</sub>-N 5ppm구

실험결과는 Table 5와 11과 같이, 많은 증례에서 NO<sub>2</sub>-N 1ppm구와 유사했으며 약간 변성이 심해진 경향을 보였다.

새변의 부종증상은 pH 7.0과 7.5의 수온 30°C에서는 거의 출현하지 않았고 수온 25°C에서는 몇 증례씩이 있

Table 10. Degree of degeneration of gill lamellae of the young eels exposed at 1 ppm nitrite for 10 weeks with various pH at 30°C

Weeks	2			4			6			8			10											
pH	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F						
7.5				+	#	+				+	#	+				#	+	+	#	+				
7.0	+	+	+	#	+	#	+	+	#	+	+	#	#	+	+	#	+	+	##	+	+			
6.5	+			+	#	+	+	+	+	#	#	+	+	+	##	#			+	#	+			
6.0	#	+		+	+	+	#	##	#	+	+	#	#	+	+	+	#	#	#	+	+	#	#	#

+ ; Mild, # ; Moderate, ## ; Extensive

A : edema(hypertrophy)

B : winding of the gill lamellae

C : thrombosis

D : detachment of epithelium of gill lamellae

E : sweeping of epithelium of secondary gill lamellae

F : necrosis on the capillary wall of secondary gill lamellae

Table 11. Degree of degeneration of gill lamellae of the young eels exposed at 5 ppm nitrite for 10 weeks with various pH at 30°C

Weeks	2			4			6			8			10												
pH	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F							
7.5	+			#	##	+				##	+	+	##	+		#	#	+	+	#	#	+			
7.0	+			#	#	#	#	+	#	+		+	+	#	#	+	+	+	#	#	+				
6.5	+			#	+		+	+	+	##	+	#	#	+	+	#	+	+	+	#	#				
6.0	##			#	#	#	#	#	+	#	+	+	#	+	#	+	+	#	#	+	+	+	##	#	+

+ ; Mild, # ; Moderate, ## ; Extensive

A : edema(hypertrophy)

B : winding of the gill lamellae

C : thrombosis

D : detachment of epithelium of gill lamellae

E : sweeping of epithelium of secondary gill lamellae

F : necrosis on the capillary wall of secondary gill lamellae

었으며, pH 6.5에서는 수온 30°C에서 중증의 변성을 보인 증례가 생겼다(Plate 2-③). 그리고 pH 6.0에서는 수온에 관계없이 거의 전 실험구에서 부종증상이 출현하였고 아중증과 중증이 절반씩 나타났으며(Plate 6-④), 수온과 pH의 고저에 관계없이 부종된 2차새변은 거의 박리증상을 나타내고 있었다.

2차새변의 만곡증과 혈전의 형성에 있어서는 pH의 고저에 관계없이 만곡증은 수온 25°C에서 보다는 수온 30°C에서 변성증례가 많았고 거의 전 실험구에서 경증의 만곡증을 볼 수 있었다. 그리고 혈전은 만곡된 2차새변의 모세혈관 안에서 경미하게 형성된 것을 볼 수 있었으며, 수온 25°C의 pH 7.0과 7.5에서는 1~2증례 나타났고 pH 6.0과 6.5에서는 거의 없었으며, 수온 30°C에서는 pH 6.0, 6.5 및 7.0에서 2~3증례 나타났고 pH 7.5에서는 없었다.

새변 상피세포의 박리증상은 대체로 수온과 pH의 고저에 관계없이 각 실험구의 전 실험기간중에 계속 출현하였고 아중증 이상의 심한 변성을 한 증례가 절반 이상되었다(Plate 6-③). 대체로 실험 둘째주에는 2차새변간 상피조직이 먼저 박리되고 이어서 2차새변 상피세포의 박리가 진행되었으나 4주째부터는 2차새변 상피세포가 먼저 박리되면서 2차새변간 상피조직도 따라서 박리되거나 2차새변 상피세포만 박리되는 경향이 많아졌다. 그리고 pH 6.0에서는 아중증 이상으로 심하게 박리된 2차새변 상피세포질과 핵과 pH 6.5 이상에서의 새변의 상피세포층에 비하여 두드러지게 부종된 경향을 보였다(Plate 2-④).

수온 30°C에서는 pH에 관계없이 전 실험구에서 새변의 박리증상이 거의 출현하였고 아중증 이상으로 심한 변성을 한 증례가 많았으며, pH 7.0과 7.5에서 변성이 더 심했다. 그리고 박리증상은 4주째까지는 2차새변간 상피조직에서 2차새변 상피세포 전면에 걸쳐서 중증으로 박리되었으나 6주째부터는 2차새변 상피세포만 박리되었고 10주째에 출현한 박리는 아중증의 변성을 하였다(Plate 6-③).

수온 25°C의 pH 6.5~7.5 사이에서는 전 실험기간중에 거의 박리증례를 볼 수 있었고 둘째주부터 2차새변 상피세포의 박리에 의한 부종이 함께 나타났으며, 경증의

증례에서도 2차새변 상피세포의 박리를 거의 볼 수 있었고 10주째까지 계속해서 아중증으로 박리되고 있어서 같은 경향을 보였다(Plate 2-③). 그리고 pH 6.0에서는 박리된 2차새변 상피세포질과 핵이 부종되는 것이 생겼다(Plate 2-④).

새변 상피세포의 탈락은 수온에 관계없이 거의 pH 6.5, 7.0 및 7.5에서는 아중증의 변성이 많았고 중증인 것도 나타났다. 그리고 pH 6.0의 수온 25°C와 30°C에서는 전 실험구에서 아중증 이상으로 변성했다. 본 실험구에서는 박리나 부종된 2차새변 상피세포가 탈락된 2차새변의 모세혈관은 가벼운 확장상태에 있었으나, 2차새변 상피세포가 경증 이상으로 박리되거나 심한 부종증상이 있는 2차새변의 모세혈관은 위축되어 가늘어지고 있어서(Plate 6-③) 대조를 보였다.

2차새변 모세혈관벽의 붕괴는 수온에 관계없이 pH 6.5, 7.0 및 7.5에서는 각 실험구의 전 실험기간중에 거의 볼 수 있었고, 경증인 것이 대다수였으며 아중증의 변성을 일으킨 것도 나타났다. 그리고 pH 6.0에서는 수온에 관계없이 거의 경증으로 변성된 것을 볼 수 있었고 모세혈관벽이 붕괴된 2차새변에서는 출혈이 일어나고 있었다.

염세포가 새변의 기저부에 나타난 증례는 전혀 없었고 부종과 박리 등의 변성이 심하지 않거나 심하게 변성되어가고 있는 도중에 있다고 생각되는 새변의 선단부위에서만 볼 수 있었다. 그러나 pH 7.5에서는 NO<sub>2</sub>-N 1 ppm구에서와 같이 수온에 관계없이 출현이 많은 것이 다른 실험구와 차이가 있었다.

새변 상피세포의 점액물질의 분비는 수온 30°C에서는 경미한 증상 이상의 증가를 보인 것이 약간 있었으며 수온 25°C의 pH 6.0~7.0사이에서 많았고 pH 6.0에서 심하게 증가한 것을 볼 수 있었다.

점액물질의 증가는 실험초기에 부종이나 박리된 새변 상피세포에서 주로 있었고 점액물질의 분비는 경미했으며 실험중기 이후에는 2차새변 상피세포만 박리되는 증례에서 2차새변간 상피조직으로부터 증가한 점액물질이 2차새변간 상피세포층에 증가하는 것을 볼 수 있었다(Plate 2-③).

(3)  $\text{NO}_2\text{-N}$  10ppm구

실험결과는 Table 6, 12와 같고 새변 조직의 부종은 심한 부리가 함께 일어났고 증증으로 변성된 것이 많아졌으며, 2차새변의 만곡된 증례에서는 거의 혈전이 생기면서 아증증의 변성이 많아졌고 2차새변 상피세포의 탈락과 2차새변의 모세혈관벽의 붕괴는 전 실험구에서 아증증으로 변성된 증례가 증가하는 경향을 보였다.

새변의 부종증상은 수온 30°C의 pH 6.5, 7.0 및 7.5에서는 새변 조직의 퇴행성 변성이 심해진 징후로서 부종증을 일으킨 증례에는 실험기간중에 출현이 없었고, 수온 25°C와 pH 7.0과 7.5에서는 3증례씩 출현할 뿐이었으며, 수온 25°C의 pH 6.0과 6.5에서는 전 실험기간의 각 실험구에서 거의 출현하면서 절반 이상의 증례에서 증증으로 심하게 변성했는데 이는 혈전을 동반하고 있었기 때문이다.

2차새변의 만곡증과 혈전은 수온 25°C와 30°C의 pH 6.0~7.0 사이에서는 각 실험구의 전 실험기간중에 만곡증이 거의 일어났고 2차새변에 만곡증이 일어나고 있는 모세혈관에는 거의 혈전이 형성되었으며 아증증으로 변성된 증례가 증가했다(Plate 7-②).

새변 상피세포의 박리증상은 수온 25°C와 30°C의 pH 7.0과 7.5에서는 2주째까지는 2차새변간 상피조직이 박리되면서 2차새변 상피세포도 따라서 박리되었고 4주째부터 10주째까지는 주로 2차새변 상피세포에서만 박리가 일어났고 실험기간이 경과함에 따라 심한 박리가 일어나서 2차새변이 혼탁증상되는 것도 생겼고(Plate 7-③), 박리가 일어나고 있는 2차새변의 모세혈관은 심하게 위축되었다.

수온에 관계없이 pH 6.0과 6.5에서는 각 실험구의 전 실험기간에 박리증상이 거의 일어났고 아증증 이상으로 변성된 증례가 경증보다는 더 증가했으며 4주째까지는 2차새변간 상피조직이 박리되면서 2차새변 상피세포도 따라서 박리되는 경향에서(Plate 3-②, Plate 7-③) 4주째 이후에는 2차새변 상피세포에서만 박리가 계속되었다.

새변 상피세포의 탈락은 수온과 pH의 고저에 관계없이 각 실험구의 전 실험기간중에 모두 일어났으며 2차

새변 상피세포가 경증으로 탈락된 증례는 pH 7.5에서는 볼 수 없었다. pH 7.0 이하에서는 1~2증례씩 나타났으며 전 실험기간중에 아증증과 증증이 절반씩 출현하여 변성의 정도가 심해진 것을 증명하듯이 상피세포가 박리된 2차새변의 모세혈관은 심하게 위축되는 경향을 보였고(Plate 3-②, Plate 7-③), 2차새변 상피세포가 박리나 부종으로 인하여 상피세포질이 탈락된 2차새변의 모세혈관은 적혈구가 통과하는데 장애가 될 정도로 위축되어 있는 증례가 많아졌으며(Plate 7-①) 상피세포가 탈락된 모세혈관이 팽창되는 증례도 생겼다.

2차새변 모세혈관벽의 붕괴는 수온과 pH에 관계없이 각 실험구의 전 실험기간중에 거의 출현하였고 경증의 변성이 많았고 아증증의 증상은 실험말기에 볼 수 있었다.

아질산의 독성에 손상을 입어서 탈락된 2차새변 상피세포가 재생해 가다가 다시 부종증상을 일으켰고, 변성되어가는 정도에는 약간씩 차이가 있었으나 2차새변 상피세포의 박리와 탈락이 반복되어 일어나는 증상은  $\text{NO}_2\text{-N}$  농도가 높아진 본 실험구에서는 분명해지는 것을 알 수 있게 했고(Plate 7-③), 상피세포가 탈락된 2차새변 모세혈관벽의 붕괴로 출혈된 후 파괴된 적혈구의 핵이 새변 조직의 주위에 산재 있는 것을 많은 증례에서 볼 수 있었다(Plate 7-①).

염세포는  $\text{NO}_2\text{-N}$  5ppm구에서와 같이 새변의 기부역에서 출현한 것은 전혀 없었고, 부종과 박리 등의 변성이 심하지 않은 새변의 선단부위에서만 볼 수 있었으며, Plate 3-②와 같이 수온 25°C pH 6.5에서는 4주째에 2차새변간 상피조직이 심하게 박리되고 있는 조직 속에서 아직 파괴되지 않고 있는 염세포를 확인 할 수 있었고, 수온 25°C에서 염세포의 출현이 많았으며 pH에 관계없이 출현하였다.

새변 상피세포의 점액물질의 분비는 실험초기에는 2차새변간 상피조직의 박리되어 있는 상피세포층에 점액물질이 약간 증가하고 있는 것은  $\text{NO}_2\text{-N}$  5ppm구 이하에서와 유사한 경향을 보였고, 수온 25°C와 30°C에서만 점액물질의 증가가 많았으며 수온 25°C의 pH 6.0과 6.5에서는 실험중기에 더 심하게 증가했다.

실험중기 이후 수온 25°C의 pH 6.0과 6.5에서의 점액 물질의 증가는 2차새변간 세포층의 이상증식이 일어나면서 박리된 상피세포의 표면에 점액물질이 과다하게 증가하여 2차새변이 유착되어 곤봉화 상태로 변성된 증례가 생겼고(Plate 3-③), 수온과 pH의 고저에 관계없이 2차새변의 만곡이나 혈전이 혈성된 부위에 점액물질이 증가하여 2차새변을 둘러싸서 부분적인 부종증상을 일으킨 것이 생겼다(Plate 7-②). 그리고 수온과 pH의 고저에 관계없이 염세포가 보이는 새변의 선단부위에 부종이나 박리가 진행되고 있는 증례에서는 점액물질의 증가로 부종증상이 더 심하게 보이는 것이 많았다.

#### (4) NO<sub>2</sub>-N 20ppm구

실험결과는 Table 7과 13과 같고 새변의 부종증상은 pH 6.0의 수온 30°C에서는 둘째주에 출현이 있었고 수온 25°C에서는 전 실험기간중에 계속해서 출현하였으며(Plate 3-④), pH 6.5, 7.0 및 7.5에서는 수온에 관계없이 출현이 적었고 부종증이 있는 새변은 고도의 변성으로 말미암아 심한 만곡증이나 혈전과 2차새변 상피세포의 박리증상이 복합적으로 일어났다.

2차새변의 만곡증과 혈전은 NO<sub>2</sub>-N 10ppm구에서와 유사했고 수온 25°C와 30°C의 pH 6.5, 7.0 및 7.5에서는 2차새변의 만곡증상은 각 실험구의 전 실험기간에 거의 출현했고, 2차새변에 만곡증상이 생긴 새변 조직에서는 거의 혈전이 일어났으며, 수온 30°C의 pH 7.5에서는 둘째주부터 생겼고 이들 2차새변 조직은 혼탁증상되는 경향이 뚜렷해졌다. 그러나 만곡증상은 경증으로 변성했고 수온 25°C의 pH 7.0과 7.5에서만 아중증으로 변성된 것이 각각 1~2증례씩 나타나서 혈전이 아중증으로 변성된 것이 2~4증례씩 출현한 NO<sub>2</sub>-N 10ppm구에 비하여 증례는 줄어드는 경향을 보였고 증상은 심한 변성을 보였다.

새변의 상피세포 박리와 탈락은 수온과 pH에 관계없이 각 실험구의 전 실험기간중에 모두 출현했고 NO<sub>2</sub>-N 10ppm구보다는 더 심한 변성을 하여 중증의 출현이 많아졌으며(Plate 3-④, Plate 7-④), 2차새변 상피세포가 박리되어 있는 2차새변의 모세혈관은 극도로 위축되면서 가늘어졌다. 실험중기 이후에 박리된 2차새변 상피

세포는 부분적으로 심한 박리를 일으킨 증례가 많았으며, 동일한 2차새변에서도 박리가 일어난 부위의 모세혈관이 심하게 가늘어진 것을 볼 수 있었고(Plate 3-④), pH 6.0에서 이러한 변성은 가장 심했다.

상피세포가 탈락된 2차새변의 모세혈관은 NO<sub>2</sub>-N 10ppm구보다는 더 심하게 위축되는 증례가 많아졌고(Plate 8-①), 2차새변 모세혈관벽의 붕괴로 일어나는 출혈 흔적은 계속해서 볼 수 있었다. 본 실험구에서는 2차새변 상피세포의 박리와 탈락, 2차새변 모세혈관의 위축과 혈전 등의 심한 변성을 보였으며, 대다수의 새변 조직의 심한 변성이 중복되어 일어나고 있어서 새변 조직이 심하게 혼탁증상되었다. 이렇게 심한 퇴행된 새변 조직은 清水에 옮겨서 정상조직으로 회복시킬려면 상당한 기간이 소요될 것으로 보인다.

염세포는 NO<sub>2</sub>-N 10ppm 이하의 실험구에서와 같이 부종이나 박리 등의 변성이 심하지 않은 새변의 선단부위에서만 볼 수 있었고, NO<sub>2</sub>-N 10ppm 이하의 저농도에 비하여 염세포의 출현 빈도가 약간 낮아지는 경향을 보였다.

새변 상피세포의 점액물질의 분비는 수온 30°C에서는 2차새변 상피세포의 표면에 점액물질이 증가했다가 탈락되고 남은 점액물질의 잔재라고 간주되는 것이 있을 뿐이고, 수온 25°C에서는 pH의 고저에 관계없이 일어났으며 실험기간 이후에는 2차새변 사이에 점액물질이 과다하게 분비되어 새변이 곤봉화된 증례가 많아졌다.

#### (5) NO<sub>2</sub>-N 30ppm구

실험결과는 Table 8과 14와 같고 새변의 부종증은 pH 6.5와 7.0에서는 수온 30°C에서는 전 실험기간중에 1~2증례만 출현하였고, pH 6.0의 각 수온구와 pH 6.5의 수온 25°C에서는 1~3증례의 부종이 생겼는데 그 중에서 중증의 변성증례가 절반 정도였으며 대체로 부종을 이룬 2차새변에는 혈전이 일어났고 새변 조직의 혼탁팽창이 일어난 증례가 많아졌으며 특히 수온 25°C의 pH 6.5에서 이러한 경향이 심했다.

부종된 2차새변 상피세포의 부분적인 심한 박리와 2차새변의 만곡증과 혈전 등이 복합된 중증의 증상이 많아졌고(Plate 4-②), 또 혈전이 중증으로 형성되는 증

례가 나타났다(Plate 8-②).

수온과 pH의 고저에 관계없이 아중증과 중증의 심한 변성 증례가 많아졌고, pH 6.0에서는 변성이 더 심했으며, 2차새변 상피세포 핵의 부종이 심하여 상피세포질이 탈락된 2차새변의 표면에 부종이 심한 상피세포 핵만이

잔유하여 있기도 하고 수온 30°C의 pH 7.0에서 8주째에는 2차새변 상피세포가 박리 탈락되었던 것이 다시 상피세포가 재생하다가 박리가 진행된 것으로 보이는 2차새변이 심하게 부종되고, 상피세포는 박리되어 얇은 층을 형성하는 상피세포질의 표면에 부종된 핵이 드물게

Table 12. Degree of degeneration of gill lamellae of the young eels exposed at 10 ppm nitrite for 10 weeks with various pH at 30°C

Weeks	2					4					6					8					10															
pH	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F						
7.5		+	+	+	#	+		+	+	+	#	+		+			#	#		+	+	#	#	+		+		#	#	+		+	#	#	+	
7.0		+		#	#	+		+	+	+	#	+		+	+	#	#	+		+	+++	#	#			+		#	#			+	#	#		
6.5		+		+	#	+		#	+	+	+	+		+	+	#	#	+		+		#	#	+		+	+	#	#	+		+	+	#	#	+
6.0		#	+	+++	+	#					#	+		+	+	#	#	#		+		#	+++	#	+++	+						+	+			

+ : Mild, # : Moderate, +++ : Extensive

A : edema(hypertrophy)

B : winding of the gill lamellae

C : thrombosis

D : detachment of epithelium of gill lamellae

E : sweeping of epithelium of secondary gill lamellae

F : necrosis on the capillary wall of secondary gill lamellae

Table 13. Degree of degeneration of gill lamellae of the young eels exposed at 20 ppm nitrite for 10 weeks with various pH at 30°C

Weeks	2					4					6					8					10																
pH	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F							
7.5		+			#	+		#	+	+	#	+		+	+	+	#	+		+	+	#	#	+						#	#	+					
7.0		+	+	+	#	+		+++	+	+	#	#	#		+	+		#	+		+	+	#	+++	#		+	+		+++	+			+++	+		
6.5		#	+		#	+		#	+	#	+	+		+	+	+	#	+		+	+	+	+++	#		+	+	#	+++	+							
6.0		#	+		#	#	+		+++	+	#	+++	+		+	+	#	+						#	#	+						#	+++	+			

+ : Mild, # : Moderate, +++ : Extensive

A : edema(hypertrophy)

B : winding of the gill lamellae

C : thrombosis

D : detachment of epithelium of gill lamellae

E : sweeping of epithelium of secondary gill lamellae

F : necrosis on the capillary wall of secondary gill lamellae



부착하여 있는 증례가 나타났고, 박리된 2차새변 상피세포의 모세혈관은 더욱 위축되어지는 경향을 보였으며 2차새변 상피세포가 탈락되어 버린 모세혈관은 적혈구가 통과할 수 없을 정도로 위축된 것이 많아졌다.

염세포의 출현은 수온 25°C와 30°C구에서 다 같이 많이 나타났었고 부종이나 박리 등의 변성이 심하지 않은 새변의 선단부위에서만 볼 수 있었다.

새변 상피세포의 점액물질의 분사는 수온 30°C에서는 pH 6.5~7.5 사이에서 2차새변 상피세포의 표면에 축적되었던 점액물질이 탈락되고 남은 잔재라고 간주된 것이 몇 증례 보일 뿐이고, 수온 25°C에서는 pH의 고저의 관계없이 전 실험기간중에 2차새변의 만곡과 혈전이 형성된 부위에 점액물질이 증가하여 부분적인 새변의 끈봉화 증례가 많아졌다.

그리고 수온과 pH의 고저에 관계없이 새변 선단부위에 염세포가 보이는 부위에 부종이나 박리가 진행되면서 부종이 심한 2차새변에는 점액물질이 증가하는 경향을 보인 증례가 많았다.

#### (6) NO<sub>2</sub>-N 40ppm구

실험결과는 Table 9, 15와 같고 수온과 pH의 고저에 관계없이 새변의 부종증은 줄어들었고 NO<sub>2</sub>-N 30ppm 이하의 저농도구에서는 아중증 이하의 변성 증례가 많았으나 본 실험구에서는 중증으로 심한 변성을 한 부종증례가 많아졌으며, 중증의 부종을 이끈 2차새변은 대다수가 박리나 혈전이 복합적으로 나타나고 있어서 새변이 심하게 혼탁증상되었고(Plate 8-③), 특히 수온 25°C의 pH 6.5에서는 혈전이 생기면서 혼탁증상되는 경향이 더 심해졌다.

2차새변의 만곡증과 혈전은 수온 25°C와 30°C에서는 대다수의 실험구에서 만곡증과 혈전이 생겼고, 혈전은 NO<sub>2</sub>-N 30ppm 이하의 실험구에 비하여 중증으로 변성된 증례가 많아졌으며, 실험말기에는 혈전을 이끈 2차새변은 붕괴되어 輪廓을 알아 볼 수 없을 정도로 혼탁증상되었다(Plate 8-③).

새변 상피세포의 박리는 수온 30°C에서는 전 실험기간중에 거의 나타났고 그 변성도 정도도 심했으며, 수온 30°C의 pH 6.5에서는 실험말기에 2차새변 상피세포질의

대부분은 탈락되고 일부 잔유하고 있는 상피세포는 심한 부종과 박리가 나타났으며 이 부위의 모세혈관은 심하게 위축되었다(Plate 8-③).

새변 상피세포의 탈락과 모세혈관벽의 붕괴는 각 실험구의 전 실험기간중에 거의 출현하였고 중증의 변성 증례가 증가했으며 수온 25°C와 30°C에서는 2차새변 상피세포가 탈락된 모세혈관은 심하게 위축되었고 특히 수온 25°C에서는 중증의 변성이 많아졌다(Plate 8-④).

염세포는 수온 25°C에서는 NO<sub>2</sub>-N 1ppm구 수준으로 계속되면서 많은 출현을 보였고 수온 30°C구에서는 NO<sub>2</sub>-N 1ppm구에서 보다는 절반 수준으로 출현예가 감소하면서 NO<sub>2</sub>-N 20~40ppm구에서는 비슷한 경향을 보였다. 그리고 pH와 수온의 고저에 관계없이 부종이나 박리 등의 변성이 적게 일어난 새변의 선단부위에서만 출현하였고 NO<sub>2</sub>-N 농도가 높아짐에 따라 새변의 선단부위에서도 염세포가 출현한 새변 선단부위에서도 염세포의 출현 영역이 선단부위 쪽으로 치우쳐지면서 대체로 좁아졌으며

NO<sub>2</sub>-N 40ppm구에서는 염세포가 출현한 새변 선단부위의 영역이 극히 좁아졌다.

새변 상피세포의 점액물질의 분사는 수온 30°C에서는 새변 선단부위에 염세포가 보이는 부위의 2차새변 상피세포가 심하게 부종된 표면에서만 볼 수 있었고, 수온 25°C에서는 NO<sub>2</sub>-N 30ppm구에서와 유사한 경향을 보였고 특히 pH 6.5에서 2차새변 사이에 점액물질이 충분하여 끈봉화된 증례가 많았다.

#### (7) 실험구별 병리조직의 비교

##### ○ 새변의 부종증상에 대하여

NO<sub>2</sub>-N 1ppm구에서는 부종이 생긴 것은 아중증 이상으로 변성하였고 수온과 pH의 고저에 관계없이 부종된 새변은 대개 박리증상이 함께 일어났다.

부종증상은 수온 25°C의 pH 6.0에서는 전 실험기간중에 보였고 pH 6.5~7.5 사이에서는 거의 출현이 없었으며 수온 30°C에서는 실험초기에만 나타났다.

NO<sub>2</sub>-N 5ppm구에서는 pH 6.0에서는 수온에 관계없이 부종증상의 출현이 많았으며 중증으로 변성한 것도 많았다.

NO<sub>2</sub>-N 10ppm구에서는 수온 25°C의 pH 6.0과 6.5에서는 전 실험기간중에 거의 부종증상을 볼 수 있었고 절반 이상 중증의 변성을 보인것은 혈전이 복합적으로 일어났다.

NO<sub>2</sub>-N 10ppm구, 30ppm구 및 40 ppm구에서는 수온

30°C의 pH 6.5~7.5 사이에서는 부종이 없었거나 1~2차례 나타난것 뿐이었고 수온 25°C에서는 수온 30°C에 비하여 부종증상이 많이 나타났으며 pH 6.0에서는 수온에 관계없이 몇 증례씩 출현이 많았고 pH가 낮아짐에 따라, 또 NO<sub>2</sub>-N 농도가 높아짐에 따라 변성된 것이 많아졌으

Table 14. Degree of degeneration of gill lamellae of the young eels exposed at 30 ppm nitrite for 10 weeks with various pH at 30°C

Weeks	2					4					6					8					10									
pH	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
7.5		+				++	+	+	+	+	+	+	++	+	++	+									+	+	+			
7.0					+	++							+	+	+	+	+	+												
6.5		+	+			+							+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	++	+	+
6.0	++						++	+	++				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	++	+	++	++	+

+ ; Mild, ++ ; Moderate, +++ ; Extensive

A : edema(hypertrophy)

B : winding of the gill lamellae

C : thrombosis

D : detachment of epithelium of gill lamellae

E : sweeping of epithelium of secondary gill lamellae

F : necrosis on the capillary wall of secondary gill lamellae

Table 15. Degree of degeneration of gill lamellae of the young eels exposed at 40 ppm nitrite for 10 weeks with various pH at 30°C

Weeks	2					4					6					8					10									
pH	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
7.5	+												+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	++	+	+
7.0		+											+	+	+	+	+	+							++	++	+	+	+	+
6.5	++												+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6.0	+	+					+	+	++	+	+	+	+	+	++	+	+	+							+	++	+	+	+	+

+ ; Mild, ++ ; Moderate, +++ ; Extensive

A : edema(hypertrophy)

B : winding of the gill lamellae

C : thrombosis

D : detachment of epithelium of gill lamellae

E : sweeping of epithelium of secondary gill lamellae

F : necrosis on the capillary wall of secondary gill lamellae

며 대부분 혈전이 함께 생겼다.

그리고  $\text{NO}_2\text{-N}$  30ppm구에서는 중증으로 부종된 새변은 혈전을 동반했고  $\text{NO}_2\text{-N}$  40ppm구에서 중증으로 부종된 새변은 박리와 혈전이 복합되어 생겼는데 이들은 2차새변이 혼탁증상되어진 경향이 있었고 수온 25°C의 pH 6.5에서 이러한 경향은 더 심했다.

○ 2차 새변의 만곡증상과 혈전에 대하여

$\text{NO}_2\text{-N}$  1ppm구에서는 2차새변의 만곡증상은 pH의 고저에 관계없이 수온 30°C에서는 전 실험기간중에 거의 출현하였고 수온 25°C에서는 출현증례가 약간 감소하고 있어서 수온과 pH가 낮아짐에 따라 만곡증의 출현이 감소하는 경향을 보였다.

혈전의 형성은 만곡증상이 있는 2차새변의 모세혈관 안에서만 볼 수 있었고 수온 25°C와 30°C에서는 pH의 고저에 관계없이 1~3증례 경증으로 출현했다.

$\text{NO}_2\text{-N}$  5ppm구에서는 수온과 pH의 고저에 관계없이 나타났고 수온 30°C에서는 수온 25°C에서 보다 출현증례가 많았다.

$\text{NO}_2\text{-N}$  10ppm구에서는 만곡증은 pH의 고저에 관계없이 수온 25°C와 30°C의 전 실험구에서 계속 발생했고, 혈전은 pH가 낮아짐에 따라 출현이 감소해졌다.

$\text{NO}_2\text{-N}$  20ppm구에서는 2차새변의 만곡증과 혈전은 수온 25°C와 30°C의 pH 6.5~7.5에서는 전 실험기간중에 거의 출현했고 아중증의 변성이 일어났으며 pH 6.0에서는 만곡증과 혈전의 형성은 감소되는 경향이 뚜렷했고 혈전이 형성된 2차새변은 혼탁증상되었다.

$\text{NO}_2\text{-N}$  30ppm구와 40ppm구에서는 수온 25°C와 30°C에서는 만곡증과 혈전의 형성은 전 실험기간 동안에 계속해서 출현이 많았고,  $\text{NO}_2\text{-N}$  30ppm구에서 보다는  $\text{NO}_2\text{-N}$  40ppm구에서 아중증과 중증으로 변성된 혈전의 형성은 증가했으며, 혈전이 형성된 2차새변은 혼탁증상되었고 pH 6.5에서 더 심한 경향을 보였다.

○ 새변 상피세포의 박리증상에 대하여

$\text{NO}_2\text{-N}$  1ppm구에서는 새변의 박리는 수온 30°C에서는 전 실험구에서 전 실험기간중에 거의 출현하였고 pH가 낮아질수록 아중증 이상의 변성이 심한 증례가 증가했다.

$\text{NO}_2\text{-N}$  5ppm구에서는 새변의 박리는 수온과 pH의 고저에 관계없이 전 실험구의 전 실험기간중에 거의 출현했고 pH 6.5~7.5 사이의 각 수온구에서는 아중증의 변성이 많았으며 pH 6.0의 수온 30°C에서는 중증의 변성이 적었고 수온 25°C에서는 중증의 변성증례가 많아졌다. 박리증상은 실험초기에는 2차새변간 상피조직이 먼저 박리되었고 4주째 이후 부터는 2차새변 상피세포를 중심으로 박리되면서 아중증 이상의 변성이 계속되었다. 그리고 pH 6.0에서는 아중증 이상으로 심하게 변성된 2차새변의 상피세포질과 핵이 심하게 부종되었다. 그리고 박리가 일어나고 있는 모든 2차새변 상피세포 부위의 모세혈관은 위축되고 있다.

$\text{NO}_2\text{-N}$  10ppm구에서는  $\text{NO}_2\text{-N}$  5ppm구와 유사한 경향을 보였고 변성은 약간 더 심해졌다.

$\text{NO}_2\text{-N}$  20ppm구, 30ppm구 및 40ppm구에서는 수온과 pH의 고저에 관계없이 각 실험구의 전 실험기간중에 거의 박리가 일어났고  $\text{NO}_2\text{-N}$  농도가 높을수록 변성이 더 심해졌다.

○ 새변 상피세포의 탈락에 대하여

새변 상피세포의 탈락은 새변 상피세포의 부종이나 박리가 심하게 일어나서 지탱할 힘이 없어져서 일어난 것으로 본다.

새변 상피세포가 탈락되는 과정은 첫째로는 2차새변 상피세포의 부종이 심해지면서 세포핵이 따라서 부종되어 부분적인 탈락이 일어났고, 둘째는 2차새변 상피세포가 부종이나 박리로 탈락하면서 부종된 핵만 2차새변 모세혈관벽이나 얇아진 상피세포층이 드물게 붙어있는 채로 핵사이의 세포질만 탈락된 것이며, 셋째는 2차새변 상피세포는 부종이 일어나지 않은 상태에서 박리된 상피세포가 한꺼번에 탈락되어 2차새변의 모세혈관이 완전히 노출되는 세가지의 형태로 구분할 수 있었다.

2차새변 상피세포의 탈락이 첫번째의 형태로 일어난 것은 수온 25°C의  $\text{NO}_2\text{-N}$  농도에 관계없이 pH 6.0과 6.5의 실험구에서 많이 일어났었고, 두번째는 수온과  $\text{NO}_2\text{-N}$  농도에 관계없이 pH 6.0~7.0 사이에서 많았으며 세번째는 수온과  $\text{NO}_2\text{-N}$  농도에 관계없이 pH 6.5~7.5 사이에서 많이 일어났다.

대조구에서는 pH 5.5에서만 일어났으며, NO<sub>2</sub>-N 1 ppm구에서는 각 실험구의 전 실험기간중에 다 일어났고 아중증 이상으로 변성이 심한 증례가 많았으며 2차새변 상피세포가 탈락된 모세혈관은 부종이나 위축된 증례는 거의 없었다.

NO<sub>2</sub>-N 5ppm구에서는 새변 상피세포의 탈락은 NO<sub>2</sub>-N 1ppm구와 유사했다.

NO<sub>2</sub>-N 10ppm구에서는 새변 상피세포의 탈락은 NO<sub>2</sub>-N 5ppm구와 유사했고 거의 아중증의 변성을 보였으며, 2차새변 상피세포가 탈락된 모세혈관은 적혈구가 통과하는데 장애가 될 정도로 위축된 증례가 많아졌다.

NO<sub>2</sub>-N 20ppm구, 30ppm 및 40ppm구에서는 새변 상피세포의 탈락은 수온과 pH의 고저에 관계없이 각 실험구의 전 실험기간중에 거의 다 출현하였고 중증의 변성 증례가 증가했으며 상피세포가 탈락된 2차새변의 모세혈관은 NO<sub>2</sub>-N 농도가 증가함에 따라 더 심하게 위축되는 증례가 많아졌다.

#### ○ 2차새변 모세혈관벽의 붕괴에 대하여

NO<sub>2</sub>-N 1ppm구에서는 2차새변 모세혈관벽의 붕괴는 2차새변의 모세혈관벽이 노출되는 상태로 상피세포가 탈락된 부위에서는 거의 일어났다. 수온에 관계없이 각 실험구의 전 실험기간중에 거의 경증의 붕괴를 보였으며, pH 6.5~7.5에서는 모세혈관벽이 붕괴된 부위에서는 출혈 흔적이 있는 증례가 많았고, pH 6.0에서는 부분적인 2차새변 상피세포의 탈락은 있었으나 모세혈관벽의 붕괴는 없었으며 출혈 흔적도 없었다. 그리고 모세혈관에서 유출된 적혈구는 파괴가 진행되었고 파괴된 적혈구의 핵은 위축되면서 둥글어졌다.

NO<sub>2</sub>-N 5ppm구에서는 수온에 관계없이 pH 6.5~7.5 사이에서는 전 실험기간중에 거의 출현하였고 아중증으로 변성된 증례가 약간 증가했으며 출혈흔적도 있었고 pH 6.0에서는 2차새변 모세혈관벽의 붕괴증상은 경미했다.

NO<sub>2</sub>-N 10ppm구에서는 모세혈관벽의 붕괴가 일어났고 수온 30℃에 비하여 수온 25℃에서 변성이 적은 경향이 있었다.

NO<sub>2</sub>-N 20ppm구, 30ppm구 및 40ppm구에서는 수온

과 pH의 고저에 관계없이 2차새변 상피세포가 탈락된 모세혈관은 붕괴되고 출혈 흔적을 볼 수 있는 것은 NO<sub>2</sub>-N 10ppm구와 유사하면서 NO<sub>2</sub>-N 농도가 높아짐에 따라 변성이 약간 심해지는 경향을 보였다.

#### ○ 염세포의 출현에 대하여

새변의 2차대변간 상피조직층에 존재하는 염세포는 2차새변간 상피조직의 부종이나 박리가 심하게 일어나지 않는 새변에서만 볼 수 있었고, 부종이나 박리의 변성이 늦게 일어나는 새변의 선단부위에서 염세포의 출현이 많았다.

NO<sub>2</sub>-N 1ppm구에서의 염세포의 출현은 새변의 기저부에 4주째까지 존재하고 있는 것을 pH 7.5에서 볼 수 있었다.

NO<sub>2</sub>-N 5ppm구에서는 새변의 기저부에 출현한 증례는 전혀 없었고, 새변의 선단부위에서만 출현했으며 염세포의 출현증례에는 수온 25℃와 30℃구에서 다같이 많았다.

NO<sub>2</sub>-N 10ppm구에서는 NO<sub>2</sub>-N 5ppm구에서와 같이 새변의 선단부위에서만 출현했고, 출현증례는 수온 25℃에서 많았고 수온 30℃에서는 줄어들었다.

NO<sub>2</sub>-N 20ppm구, 30ppm구 및 40ppm구에서는 NO<sub>2</sub>-N 10ppm구 이하의 저농도구에 비하여 염세포의 출현 빈도가 약간 낮아지는 경향을 보였고 출현경향은 NO<sub>2</sub>-N 10ppm구에서와 같이 수온 25℃에서 출현이 많았고, NO<sub>2</sub>-N 농도가 높아짐에 따라 새변의 선단부위에서도 염세포의 출현 영역이 선단부 쪽으로 좁혀졌고 NO<sub>2</sub>-N 40ppm구에서는 염세포의 출현 영역이 더 좁아졌다.

#### ○ 새변 상피세포의 점액물질의 분비에 대하여

NO<sub>2</sub>-N 1ppm구에서는 수온 25℃와 30℃에서 실험초기에만 2차새변간 상피조직을 중심으로 박리가 일어난 상피세포층에 점액세포가 경미하게 증가했고 pH 7.0과 7.5에서 보다는 pH 6.0과 6.5에서 점액물질의 증가가 많았던 경향을 보였다.

NO<sub>2</sub>-N 5ppm구에서는 수온 30℃에서는 경미했고 수온 25℃에서는 pH 6.0과 7.0 사이에서 심한 증가를 보였으며 점액물질의 증가는 실험초기에는 경미했고 실험중기 이후부터 2차새변 상피세포가 박리되면서 점액물질의

증가로 2차새변과 2차새변 사이가 매워지는 증례가 생겼다.

NO<sub>2</sub>-N 10ppm구에서는 수온 25°C와 30°C에서만 점액물질의 증가가 있었고 실험초기에는 NO<sub>2</sub>-N 5ppm구와 유사하게 경미했고, 실험중기 이후부터 수온 25°C의 pH 6.0과 6.5에서는 점액물질이 증가하여 새변을 끈끈화 상태로 변성시킨 증례가 생겼다.

그리고 수온과 pH의 고저에 관계없이 2차새변의 만곡이나 혈전이 형성된 부위와 염세포가 보이는 새변의 선단부위의 2차새변 상피세포층에는 점액물질의 증가로 부종이 심해지는 경향이 많았다.

NO<sub>2</sub>-N 20ppm구, 30ppm구 및 40ppm구에서는 NO<sub>2</sub>-N 10ppm구 이하에서와 같이 전 실험기간 동안에 수온 30°C에서는 점액물질의 분사비량이 증가한 증례는 많지 않았고, NO<sub>2</sub>-N의 농도가 높아짐에 따라 새변 선단부위의 염세포가 보이는 부위의 2차새변이 점액물질의 피복으로 심한 부종을 일으키는 경우가 많아졌다.

NO<sub>2</sub>-N 40ppm구에서는 실험초기부터 전 실험기간 동안에 점액물질의 과다한 증가로 새변이 끈끈화되는 증례가 많아졌으며, 특히 pH 6.5에서 가장 심한 증상이 나타났다.

## 고 찰

참장어(뱀장어)의 가온순환여과식 양만지에서 사육포화량은 여과재 중량의 30분의 1정도라고 했고(佐伯, 1958), 병증의 발생지에서는 사육사화량의 약 5배량의 어류를 사육하고 있었다(Kubota *et al.* 1981).

순환여과식이나 주수식 양어지 등 어떠한 유형의 양어장에서든지 과밀사육을 달하면서 환수를 충분히 한다거나 여과재의 순화능력을 계속할 수 있다면 수질에서 기인되는 병증의 발생이나 폐사는 거의 생기지 않을 것이다. 그러나 보편적으로는 Kubota 등(1981)과 같이 과밀사육을 하면서도 수질관리를 철저히 하지 못하는데서 여과재의 정화능력을 파괴시켜 양어지에 아질산 등의 화학물질의 농도가 이상적으로 불시에 높아지는 일이 빈약해져서 병증의 발생이나 폐사가 일어나는 것이라고

생각된다.

아질산 독성이 어류에 미치는 영향에 대하여 Konikoff (1975)는 channel catfish에 대한 아질산의 96-h 반수치사농도(TLm 치)가 LC<sub>50</sub> 24.8ppm이고 死魚의 혈액이 갈색으로 변했다고 했다. 그리고 chinook salmon은 48-h LC<sub>50</sub>가 19ppm(Crawford and Allen, 1977), 무지개송어는 96-h LC<sub>50</sub>가 42~44ppm (Latimer and Hildebrand, 1957), 잉어는 48-h LC<sub>50</sub>가 100ppm (Hanson and Macintosh 1986)였고 참장어는 96-h LC<sub>50</sub>가 205ppm, 유럽산참장어는 96-h LC<sub>50</sub>가 105ppm(山形 and 丹羽, 1979)로서 참장어는 아질산에 대한 내성이 다른 어류에 비하여 상당히 강하다는 것을 알 수 있다.

참장어의 아질산 독성에 대하여 병리조직학적으로는 아가미의 2차새변 모세혈관에서의 혈전의 형성과 새변에서의 혈철소의 침착 등의 증상을 들 수 있다(Kubota *et al.*, 1982).

日比谷(1982)는 아가미의 퇴행성 성변으로서 상피세포나 벽주세포의 수중이나 공포변성, 혼탁증상, 괴사 등이 종종 보이고 2차새변은 생물의 기생이나 물리화학적 자극으로 손상을 받기 쉽고 그 결과 비교적 짧은 시간 내에 이들 증상에 도달하게 되며 퇴행성 변성이 일어난 상피세포는 곧 바로 박리되고 이 때에 모세혈관에서는 출혈이 일어나게 된다고 하였다. 그리고 화학물질에 노출된 2차새변의 모세혈관은 확장이나 팽윤이 일어나서 벽주세포가 2차새변 상피세포 내장막으로 부터 유리되고 이 때문에 혈관벽이 파괴하여 출혈이 일어나고 출혈은 장시간 계속된다고 했다.

그리고 Tachikawa 등(1989)은 환경화학물질의 영향으로 야기되는 아가미의 형태적인 변성증상은 전반적으로 비특이적이며 만성적인 증상으로는 증생, 혈전 및 울혈 등이 생기고 화학물질에 의한 증상으로는 새변 상피세포의 폐사, 부종 및 점액물질의 항진등이 일어나며, 수온에 의한 영향은 거의 없었다고 했다. 그리고 장기간에 걸쳐서 만성적으로 진행된 변성증상은 환경의 개선으로도 정상상태로는 돌아가지 않으나 비교적 단시간의 급성적인 변성형성은 정상으로 돌아갈 수 있고, 수중의 pH의 변화는 아가미의 형태와 ion 조절기능에 영향을

주는데 pH의 저하에 의하여 생기는 아가미의 생리적인 변화로는  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$ 의 투과유출의 증가,  $\text{H}^+$ 의 투과성의 증가, 점액분비의 항진, 점액의 응고나 침착, gas교환의 저해, 새변 상피세포의 손상이나 박리 등이 일어나고 있으며, 새변 상피세포에 결합하여 있는  $\text{Cl}^-$ 는 아가미의 투과성의 조절에 관여하고 있으며 pH가 산성화된 조건하에서는 아가미의 상피세포막에서  $\text{Cl}^-$ 가 유출되어 버리는 것이 막의 유과성을 증가시키는 하나의 원인이 되고 또한 아가미의 ion 투과성은 저 pH에 노출개시 초기에는 증가하지만 장기간 노출되면 ion 투과성이 감소하여 ion의 체외로의 유출이 경감되는 적응현상이 일어나며 pH의 저하는 아가미의  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$  농도의 감소와 함께  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase 활성에도 영향을 미쳐서 혈액중의  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$  농도의 감소와 함께  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase 활성이 감소하여 사망을 증가와 체중감소 등의 성장저해가 뚜렷해진다.

이상의 논의중에서 아질산의 독성에 대한 아가미 보호효과에 관한 요구로서 Iwai 등(1974)는 은어의 부화자어에 대한  $\text{NO}_2^-$ -N의 독성이 염분이나 Ca, Mg, K 등의 염류를 환경수중에 첨가함으로써 저하하는 것을 확인했다.

본 연구에서는 내안적 소견에서의 pH 6.0에서는  $\text{NO}_2^-$ -N의 농도에 관계없이 몸 표면에 점액물질의 분비가 많았었고,  $\text{NO}_2^-$ -N의 농도가 20ppm으로 높아짐에 따라서 pH의 고저에 관계없이 점액물질의 분비가 많아졌으며 대조구의 pH 5.5에서는 점액물질의 분비는 더욱 심해졌고 폐사어가 생겼으며 죽은 참장어는 두꺼운 층의 점액물질이 몸의 전 표면을 피복하여 있었고 실험 도중에 폐사했거나 실험대상어의 아가미 조직의 변성이 심해진 것도 다 아가미의 ion 투과성과 밀접한 관계가 있을 것이라고 생각된다.

새변 조직의 점액물질의 분비는  $\text{NO}_2^-$ -N 1ppm과 5ppm구에서는 pH 6.0과 6.5의 수온 25°C와 30°C에서만 실험초기에 경미한 증가가 있을 뿐이었고  $\text{NO}_2^-$ -N 10ppm 이상의 농도에서 수온 25°C와 30°C에서는 다 같이 실험중기 이후부터 pH의 고저에 관계없이 2차새변 사이에 충만할 정도로 점액물질이 증가하는 증례가 많았

으며 특히 pH 6.0과 6.5에서 점액분비의 항진이 많아서 육안적 소견과 유사한 경향을 보였다.

양과 전(1986)은 새변 조직의 변성이 기저부에서 먼저 일어나고 차츰 새변의 선단부위로 파급되어 갔다고 했는데 본 실험에서도 같은 경향을 보였고 염세포는  $\text{NO}_2^-$ -N 1ppm구에서는 실험중기까지는 새변의 기저부에서 출현한 증례를 볼 수 있었으며,  $\text{NO}_2^-$ -N 1ppm구에서도 2차새변간 상피조직이 심하게 부종한것과 박리가 일어나고 있는 새변의 기저부에서는 소멸되었고 부종이나 박리의 변성이 적은 새변의 선단부위에서 출현이 많았으며  $\text{NO}_2^-$ -N 5ppm 이상의 고농도에서는 새변의 기저부에서는 염세포의 출현은 전혀 없었고 염세포이 출현영역이 선단부쪽으로 점점 좁혀졌다.

그리고 염세포는 pH 6.5~7.5에서 출현이 많았고 출현증례는  $\text{NO}_2^-$ -N 1ppm과 5ppm구에서는 수온 25°C와 30°C에서 다 같이 많았고,  $\text{NO}_2^-$ -N 10ppm 이상의 농도에서는 수온 25°C에서 가장 출현증례가 많은 경향을 보였다.

이러한 결과를 종합하면 수온 25°C에서 새변 조직의 변성은 늦게 일어나고 있었고  $\text{NO}_2^-$ -N 10ppm 이상의 고농도와 pH 6.0에서 새변 조직의 변성이 더 심하게 진행되고 있는 경향을 알 수 있다.

수온과의 관계는  $\text{NO}_2^-$ -N 1ppm에서는 새변이 아중중 이상의 부종으로 까지 변성이 진행되었으며 수온 25°C에서 보다는 수온 30°C에서 2차새변의 만곡증, 새변 상피세포의 박리, 박리된 새변 상피세포의 탈락 등의 변성과 함께 더 심한 변성을 보이고 있어서 Tachikawa 등(1989)과는 달리 수온의 경향을 받는 것으로 생각되었다. 日比谷(1982)가 지적한 바와 같이 새변의 상피세포가 탈락되고 壁柱세포는 모세혈관 내피막으로부터 분리되면서 모세혈관벽이 붕괴되고 出血이 일어나는 증례는  $\text{NO}_2^-$ -N 1ppm구의 pH 6.5, 7.0 및 7.5에서 볼 수 있었고,  $\text{NO}_2^-$ -N 10ppm구에서는 2차새변 상피세포의 탈락이 아중중 이상으로 심하게 변성된 것이 대부분이고 모세혈관벽이 붕괴되어 일어나는 출혈증례가 증가하였으며 pH 7.0의 수온 30°C에서는 6주만에 실험결과에서 출혈을 볼 수 있었고,  $\text{NO}_2^-$ -N 20ppm 이상의 농도가 되면 수온이

올라가면 이러한 증세가 더 심해졌다. 그리고 아가미 조직의 輪廓이 흐려질 정도로 혼탁증상된 조직이 많아지고 있어서  $\text{NO}_2\text{-N}$  10ppm 이상의 농도에서 만성적으로 진행된 증상은 환경을 개선해 주어도 정상상태로 회복되는데는 많은 시간이 소요 될 것으로 보였다.

그리고 2차새변의 만곡증상과 혈전의 형성은 초기증상일때는 서로 깊은 관계가 있는 것으로 생각되었다.  $\text{NO}_2\text{-N}$  1ppm구에서는 pH 6.0을 제외한 수온 25°C와 30°C에서는 경증의 2차새변의 만곡증이 많았고 혈전의 초기증상은 만곡된 2차새변의 모세혈관 부위에서만 볼 수 있었으며  $\text{NO}_2\text{-N}$  5ppm구에서는 수온 30°C에서는 거의 전 실험구에서 2차새변의 만곡증과 혈전의 발현을 확인할 수 있었고,  $\text{NO}_2\text{-N}$  10ppm구에서는 pH의 고저에 관계없이 수온 25°C와 30°C에서는 거의 만곡된 2차새변의 모세혈관내에 혈전을 동반하고 있었으며,  $\text{NO}_2\text{-N}$  20ppm구 이상에서는 출혈이 없는 2차새변에서는 혈전이 많아지고 심한 증상으로 발전하면서 2차새변의 만곡증상은 차츰 줄어들고 있는 경향으로 바뀌는 것을 볼 수 있어서 혈전은 2차새변이 만곡되면서 혈관이 겹쳐서 혈전에 방해를 주어서 생기는 현상일 것이라고 추측된다.

Wedemeyer와 Yasutake(1978)는 steelhead trout를  $\text{NO}_2\text{-N}$  0.06ppm에서 28주간 실험한 결과를 보면 4주만에 2차새변 상피세포가 이상부종되었고, 6주만에 2차새변 상피세포가 비후하는 증상으로 변성되었으나 28주째에는 대다수의 실험어는 회복되어서 새변 상피세포의 변성이 적거나 없어졌다고 했다.

본 연구의  $\text{NO}_2\text{-N}$  1ppm구의 pH 7.0에서는 2차새변 상피세포의 박리증상은 수온 25°C에서 보다는 30°C에서 증례가 더 많았고 변성도 더 심했으며 찰리증상은 실험 초기에는 아중증 이상으로 심하게 변성되었던 것이 8주 이후에는 약화되어 10주째에는 경증으로 안정되어 가고 있어서  $\text{NO}_2\text{-N}$  1ppm 정도의 저농도의 아질산이 함유된 환경수에서는 그 독성에 대응해 갈 수 있다는 것을 알 수 있게 했다(Plat 5-①, ②). 그리고 Wedemeyer와 Yasutake(1978)도 같은 현상을 보고하였다. 즉  $\text{NO}_2\text{-N}$  10ppm구에서는 실험초기에는 2차새변간 상피세포가 먼저 박리되고 이어서 2차새변 상피세포의 박리가 진행되

었으나 4주째부터 2차새변 상피세포에서만 찰리가 일어났고 8주째부터는 재생되었던 2차새변 상피세포가 먼저 박리되면서 2차새변간 상피조직도 따라서 박리되거나 2차새변 모세혈관의 심한 부종이 수반되어 변성이 악화되어 가는 경향이 분명해 졌고(Plate 7-③) 부종된 새변의 상피세포가 박리 탈락되었다가 재생하였던 조직이 다시 부종으로 이어지는 과정이 반복해져서  $\text{NO}_2\text{-N}$  1ppm구에서는 8주 이후에 변성된 조직이 회복되어지는 경향이 있었던 것에 비하여  $\text{NO}_2\text{-N}$  10ppm구 이상의 농도에서는 plate 7-③과 같이 변성된 아가미 조직이 계속해서 악화되어가는 경향을 보이는 증례가 생겼다.

山形·丹羽(1979)는 아질산의 참장어에 대한 독성을 수온 25°C, pH 6.9~7.4, DO 6.0~6.4ppm,  $\text{NO}_2\text{-N}$  1~30ppm에서 조사했는데  $\text{NO}_2\text{-N}$  30ppm에서 9주간 사육하여 실험어의 혈액이 MHB혈중의 특징인 갈색으로 변했고, 성장저해 농도는  $\text{NO}_2\text{-N}$  30ppm, 아질산에 대한 안전농도는  $\text{NO}_2\text{-N}$  10ppm이라고 했다.

본 연구에서는  $\text{NO}_2\text{-N}$  1ppm구의 pH 7.0~7.5사이에서 아중증 이상으로 심하게 부종된 새변의 상피세포가 박리 탈락되고 모세혈관벽이 붕괴되어 출혈이 일어나는 증례까지 생기는 했으나(Plate 4-④) 새변 기저부의 2차새변간 상피조직층의 일부에 염세포가 잔재하고 있었고(Plate 6-①),  $\text{NO}_2\text{-N}$  5ppm구에서는 아가미 조직의 퇴행성변성이  $\text{NO}_2\text{-N}$  1ppm구 유사한 증상을 보였으나 약간 더 심하게 변성된 증후를 보였다. 그러나 염세포는 부종이나 2차새변간 상피조직 박리 등의 변성이 적은 새변의 선단부위에서만 볼 수 있어서 아질산 독성에 대한 안전농도는 본 연구 결과로는 염세포가 새변의 기저부까지 출현하면서 2차새변의 박리와 혈전이 생기지 않고 모세혈관벽의 붕괴로 출혈이 일어나지 않는  $\text{NO}_2\text{-N}$  1ppm보다는 낮은 농도일 것이라고 생각되었다. 또한 pH에 관계없이 수온 25°C와 30°C의  $\text{NO}_2\text{-N}$  10ppm구에서는 10주간의 실험기간중에서 8주간 계속해서 2차새변의 만곡증과 혈전이 보일 정도로 아가미 조직이 심하게 변성되었고(Plate 3-⑦),  $\text{NO}_2\text{-N}$  10ppm구에서는  $\text{NO}_2\text{-N}$  5ppm구에 비하여 2차새변의 만곡증상과 혈전의 형성이 월등하게 증가했으며, 수온 25°C에서  $\text{NO}_2\text{-N}$  10

ppm구의 pH 7.5에서 8주째부터 혈액이 담갈색을 띠기 시작하였던 것 등을 종합해 볼때 성장을 저해하는 것과 관계가 클 것이라고 생각되어 성장저해 농도는 혈전의 형성이 비교적 적고 혈액이 정상인 pH 7.0~7.5 사이의 NO<sub>2</sub>-N 5ppm보다는 높고 NO<sub>2</sub>-N 10ppm 보다는 낮은 농도일 것이라고 생각된다.

### 참 고 문 헌

- Colt, J. and Tchobanoglous, G. : Evaluation of the short-term toxicity of nitrogenous compounds to channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 8 : 209~224, 1976.
- Crawford, R. E., and Allen, G. H. : Seawater inhibition of nitrite toxicity to chinook salmon. *Transactions of the American Fisheries Society* 106(1) : 105~109, 1977.
- Cruz, E. R., and Tamse, C. T. : Histopathological response of milk fish *Chanos chanos* forsskal fingerling to potassium permanganate. *Fish pathology* 21 (3) : 155~159, 1986.
- Funabash, A. : Histopathological studies on gill-I. A bacterial gill disease of cultured eel. *Fish pathology* 14(3) : 107~115, 1980.
- Hanson, L. A. and Grizzle, J. M. : Nitrite-induced predisposition of channel catfish to bacterial disease. *Progressive Fish-Culturist* 47(2) : 98~101, 1985.
- 日比谷 京 : 魚類組織圖說 ; 正常組織と 病理組織, 講談社, p. 54~57, 1982.
- Huey, D. W., Simco, B. A. and Criswell, D. W. : Nitrite-induced methemoglobin formation in channel catfish. *Transactions of the American Fisheries Society* 109 : 558~562, 1980.
- Iwai, T., Ito, T. and Tamura, K. : The toxicity of nitrite on ayu-fry, *Plecoglossus altivelis*, and the chlorinity in the culturing water. *Bulletin of the Faculty of Fisheries, Mie University*. 1(1) : 43~51, 1974.
- Kawatsu H., Nakanish, Y. and Takeda, H. : Methemoglobin determination in eel blood. *Nippon Suisan Gakkaishi* 53(1) : 9~14, 1987.
- Konikoff, M. : Toxicity of nitrite to channel catfish. *Progressive Fish-culturist* 37(2) : 96~98, 1975.
- Kubota, S., Amano, H., Ichioka, M., Miyazaki T., and Niwa, M. : Methemoglobinemia in *Anguilla japonica*. *Bulletin of the Faculty of Fisheries, Mie University* 8 : 149~161, 1981.
- Kubota, S., Amano, H., Miyazaki, T., Kamiya N. and Ichioka, M. : Studies on experimentally occurred methemoglobinemia in japonese eel-I. *Bulletin of the Faculty of Fisheries, Mie University*, 9 : 135~153, 1982.
- Latimer, W. M. and Hildebrand, J. H. : Reference book of inorganic chemistry, *In Reference book of inorganic chemistry*, third edition pp. 625. McMillan, New York, 1957.
- Lewis, W. M. and Morris, D. P. : Toxicity of nitrite of fish : A review. *Transactions of American Fisheries Society* 115 : 183~195, 1986.
- Mallatt, J. : Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants : A statistical review. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42 : 630~648, 1985.
- 佐伯有常 : 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, 日本産學會誌, 23(11) : 684~695, 1958.
- Smith, C. E. and Williams, W. G. : Experimental nitrite toxicity in rainbow trout and chinook salmon. *Transactions of the American Fisheries Society* 103(2) : 389~390, 1974.
- Tachikawa M., Sawamura, R. and Okada, S. : The effects of environmental chemical pollutants on Fish gills. *Eisei kagaku* 35(6) : 397~407, 1989.
- Temmink, J. H. M., Bouwmeister, D. J., Jong, P.



- D. E. and Van Den Berg, J. H. J. : An ultrastructural study of chromate induced hyperplasia in the gill of rainbow trout(*Salmo gairdneri*). *Aquatic Toxicology* 4 : 165~179, 1983.
- Thurston, R. V., Russo, R. C., and Smith, C. E. : Acute toxicity of ammonia and nitrite to cutthroat trout fry. *Transactions of the American Fisheries Society* 107(2) : 361~368, 1978.
- Umehara, M., K. Sakai and F. Takashima : Histopathology and hematological studies on the effects of sustained anesthesia rainbow trout. *Aquaculture* 34(3) : 185~191, 1986.
- Wedemeyer, G. A. and Yasutake, W. T. : prevention and treatment of nitrite toxicity in juveniles steelhead trout(*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Board Can* 35 : 822~827, 1978.
- Wise, D. J. and Tomasso, J. R. : Ascorbic acid inhibition of nitrite-induced methemoglobin in Channel catfish. *Progressive Fish-culturist* 50 : 77~80, 1988.
- 山形陽一, 丹羽 誠 : 亞窒酸のウナギニ對する毒性について. *水産増殖*, 27(1) : 5~11, 1979.
- 양한춘, 전세규 : 잉어 *Cyprinus carpio*에 미치는 암모니아 급성독성의 조직병리학적 연구. *한국수산학회지*, 19(3) : 249~256, 1986.
- 양한춘, 전세규 : 참장어(뱀장어) *Anguilla japonica* 양어장에서 아질산 중독에 의한 methemoglobin혈증과 병리조직학적 변성. *한국어병학회지* 4(1) : 1~13, 1991.

---

## Histopathological study of chronic nitrite toxicity on the japanese eel, *Anguilla japonica*

Han-Choon Yang and Seh-Kyu Chun\*

*Department of Aquaculture, National Fisheries University of Yeosu, Yeosu 550-749, Korea*  
and \**Department of Fish Pathology, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737,*  
*Korea*

The research was carried out to examine the chronic toxic effects of nitrite on the Japanese eel, *Anguilla japonica* by means of histological observations. Young eel, 10.8g mean body weight, were exposed to 6 different concentrations of nitrite (1, 5, 10, 20, 30 and 40ppm) for 10 weeks. Each concentration was treated under 5 different levels of pH (5.5, 6.0, 6.5, 7.0 and 7.5) and each of these treatments was tested at 2 different temperature regimes (25°C and 30°C). Proper concentration of nitrite was made by NaNO<sub>2</sub> and proper pH levels were made by the combinations of 0.1M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> and 0.1M NaHCO<sub>3</sub>.

Histopathological tests of gill tissues were made along with the test of the formation of thrombocytes and chloride cells on the gill filaments. At the lower pH levels, mucus secretion from the gill was increased as the nitrite concentration increased. As the level of nitrite increased the number of chloride cells on the gill filament were decreased. Most of the remaining chloride cells were observed only at the terminal part of the gill filament at 40ppm of nitrite. Degeneration of gill tissues were observed when nitrite levels were over 10ppm along with detachment and sloughing of the epithelial cells of the gill lamellae. Shrunken gill lamellae and formation of thrombosis in the capillaries of gill lamellae were also observed. When temperature goes higher at the higher level of nitrite, necrosis in the gill lamellae was increased. At the lower than 10ppm of nitrite, degeneration of gill lamellae was occurred at the beginning of the test period but regenerated later. Negative effects of nitrite on the growth of young eel was started between 5~10ppm at the pH level of 7.0 and 7.5. Thrombosis formation were also started at this level. The safety concentration of nitrite at the pH levels of 7.0 and 7.5 on the small eel seems to be 1ppm. Thrombosis and gill lamella detachment and necrosis in the gill capillaries were not observed at this level. Chloride cells were appeared the whole part of the gill filament.