

魚類의 實驗動物化와 毒性試驗

허 강 준*

I. 實驗動物로 사용되는 魚類

농약, 수산용의약품, 사료첨가물, 공장배수 등에 관해서는 수생동물에 대한 독성을 시험하지 않으면 안되는데 이러한 사항에 의거하여 여러 환경 및 공중보건의 법률에 있어서 각종 독성시험이 의무화되어 있다.

독성시험에 사용되고 있는 어류에는 잉어, 붕어, 금붕어, 송사리, 미꾸라지, 구피 무지개송어 등이 있으며 그 밖의 수생동물로는 물벼룩, 알테미아, 가재, 새우, 계류, 조개류가 이용되고 있으며, 개구리와 같은 양서류나 수생곤충도 쓰여지고 있다. 잉어는 어독성시험의 대상어로 지정이 되어 있으며 금붕어나 구피는 입수하기가 쉬운 잇점을 가지고 있으며 양식되고 있는 무지개송어, 붕어, 미꾸라지 그리고 송사리는 유전적으로 균일성을 가지고 있다는 이유로 이들은 비교적 이용빈도가 높는데 각각의 생물학적 특징을 살펴보기로 한다.

1. 송사리(*medaka*, *Oryzias latipes*)

송사리는 경골어강, 진구아강, 송사리목(Cyprinodontiformes), 송사리과(Cyprinodontidae)로 분류된다.

야생형(혹송사리)은 일본에는 널리 분포하여 하천으로부터 채집하기 쉽다. 사육되는 송사리는 옛날부터 애완용으로 양식되었으며 변이종이나 근교계가 대학이나 연구기관 등에서 사육, 유지되고 있다.

송사리의 체장은 성숙한 것이 2~4cm로 아주 소형이기 때문에 실내에서 다수의 개체를 다루

는 실험에 알맞다. 이차성징이 명료하며 등지느러미와 꼬리지느러미의 형태적 차이로부터 암수의 구별은 비교적 용이하다.

수온이나 조명주기를 일정하게 하여 산란을 인위적으로 조절할 수 있기 때문에 실내번식에도 적합하다. 미수정란의 채취와 인공수정이 가능하며 난막이 투명하여 현미경검사로 발생과정을 관찰할 수 있는 점을 잇점으로 들 수도 있다.

치어에 성호르몬을 포함한 사료를 주게되면 성전환을 일으키기 때문에 XX, XY, YY의 어떠한 성염색체를 갖는 기능적인 암수를 만들어 낼 수 있다.

송사리에 대한 각종 기초연구자료가 풍부한 점은 최대의 매력이고 있어 이 점에서 송사리는 거의 실험동물화된 소형어류라고 할 수 있다. 이렇게 송사리가 실험동물화가 되게 된 계기는 염색체유전에 관한 연구에 사용되면서 부터라고 알려져 있다. 특히 백화개체는 반성유전을 한다는 사실이 밝혀져 그 결과가 1921년 및 1930, 1936년 미국의 학술잡지 Genetics에 투고되어 일약 세계적으로 주목을 받게 되었다(당시의 학명은 *Aplocheilus latipes*로 되어 있었다).

일본에서는 그 후 그 계통이 동경대학, 나고야 대학 그리고 방사선 종합의학연구소에 계승되어 상세한 유전연구와 함께 생리발생학 등의 연구가 이루어져 Yamamoto 등에 의해 세계적으로 널리 소개되었다.

돌연변이계의 순화, 근교계의 확립 등의 노력도 결실을 맺어 현재에는 어류 중에서는 가장 실험동물화가 앞서있는 어류로 일컬어진다. 외국문헌중 *medaka*의 명칭으로 나온 예는 일본으

* 충북대학교 농과대학 수의학과

로부터 분양받아 외국의 연구실에 번식, 사용되고 있는 히메다카류로 보아도 무관하다.

송사리의 최근의 이용상황에 대하여 1981~1988년의 문헌을 조사해 보면 환경오염물질, 발암물질, 중금속, 농약, 방사선 등의 독성에 관한 연구에 가장 많이 이용되고 있으며 다음으로 생리, 약리, 발생 등의 연구에 이용되고 있다. 생리, 약리연구에는 색소포를 대상으로 한 신경계 약제의 연구가, 발생연구에는 알의 표층의 Ca 대사에 관한 것 등이 많다. 유전연구는 돌연변이종이나 크론화에 관심이 집중되고 있다. 이와같은 이용상황은 당분간 계속될 것으로 예상된다.

생리 및 해부학적 성상을 살펴보면 성숙한 어체의 전장은 2~4cm로 등지느러미와 꼬리 지느러미의 형태에서 암·수차를 구별할 수 있다. 난생으로 상하악에 1열의 이가 있다. 조골에는 이가 없다.

두부의 배면과 아가미덮개에도 비늘이 있으며 위새는 없다. 측선관은 없지만 체표상에 4열의 측선계가 존재하여 약한 물의 흐름을 느낀다. 발생도중에 부레의 기관이 소실되어 부레와 소화관과의 연결이 없다(잉어, 붕어, 금붕어 등의 잉어과 어류와 다르다.). 소화관에는 위가 없으며(잉어과 어류와 동일), 경골어류에 있어서 공통적인 사항이지만 뇌하수체 외에도 척수말단 가까이 미부하수체가 있는 점, 부신은 두신내에 파묻혀 존재하는 등의 특징을 갖고 있다.

해수에의 적응성도 높아 염분농도를 서서히 높여 순화하면 2~3%의 NaCl에도 잘 적응하게 된다.

2. 구피(guppy, *Poecilia reticulata*)

구피는 경골어강, 진구아강, 송사리목(Cyprinodontiformes), 구피과(Poeciliidae)로 분류되며, 그 염색체수는 $2n=46$ 이다.

소형열대어로서 세계적으로 일반화되어 있으며 입수가 용이하고 외형으로 보아 암·수차가 명료하며 성의 판별이 아주 간단하고 난태생이기 때문에 번식효율이 높아 실내번식이 용이하다는 특징을 들 수 있다. 구피의 대다수는 남미기아나와 베네수엘라 등이 원산지로 알려져 있다.

구피는 외형이 아름다운 돌연변이체가 많고 더우기 소형으로서 사육하기 쉬운 점 등의 특징으로 인해 세계적으로 관상취미용 열대어로서 널리 사육되게 되었다. 입수하기 쉽고 실내번식도 용이한 점으로 부터 연구실에서도 널리 유지되어, 당초에는 분류학상의 생태나 형태의 연구, 난태생의 성질이나 2차성징과 스테로이드 호르몬에 관한 내분비학의 연구 등에서 사용되었으나 현재에는 독성시험을 비롯하여 생리, 약리, 행동학 연구 등에도 이용되고 있다. 송사리 다음으로 실험동물화가 잘 진행되어 있는 어류로서 알려져 있다.

구피의 이용상황에 대하여 1981~1988년의 문헌을 자료로 하여 조사한 결과를 보면 환경오염물질, 발암물질, 초기형성물질, 중금속, 농약, 살충제 등에 관한 독성연구에 가장 많이 이용되었으며 그 다음은 시각 및 취각의 생리, 성분화나 연령의 연구 등에 이용되고 있다. 일본보다 구미 여러 나라에서의 이용이 보다 많다.

성숙한 어체의 체장은 최고 큰것이 수컷 4cm, 암컷 6cm 정도이다.

난태생이며 동물성 및 식물성 먹이 모두 잘 먹는 잡식성으로 어미가 새끼를 잡아 먹을 때도 있다. 오염수에서는 비교적 내성을 보이지만 저온에는 약하여 수온 10°C 이하에서의 사육은 적당하지 않다.

암수의 형태적 차이는 매우 명료한데 수컷의 경우 꼬리지느러미가 크고 색채도 선명하다(기조색이나 모양, 꼬리의 형태 등으로 부터 여러 가지로 분류된다.). 또 수컷의 꼬리지느러미의 연조는 일부 변형하여 교점각으로 되어 있어, 교미에 의하여 암컷의 체내에 정포를 보낸다. 그 밖의 해부학적 특징은 송사리와 거의 비슷하다.

교미에 의하여 체내수정이 일어나며 모체 내에서 발생이 진행되어 치어의 상태로 한마리씩 태어난다. 모체 내에서는 난황을 영양원으로서 발생이 진전되며, 수온 25°C에서 약 25일 정도가 지나면 치어로 된다. 1회 출산으로 40~70마리의 새끼가 태어난다. 출산의 주기는 26~34일 정도로 출산하려는 순간에는 복부가 크게 부풀어 올라 임신반이 생기며 검은 빛을 띄게 된다. 1회

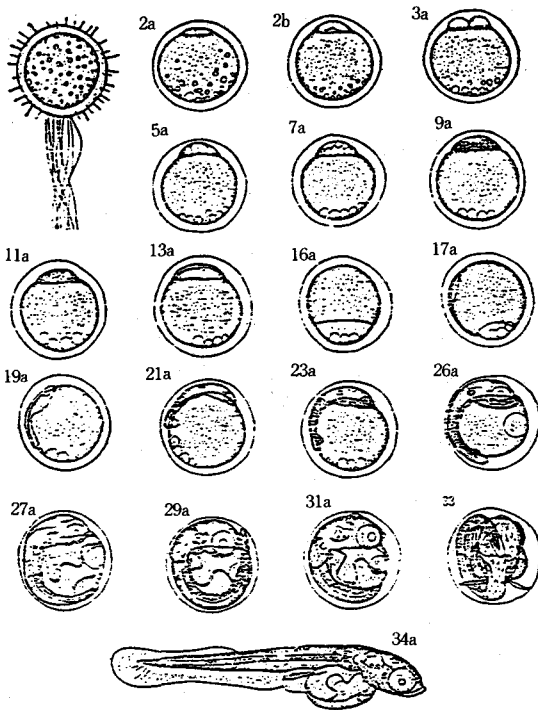


그림 1. 송사리의 정상발생표준도.

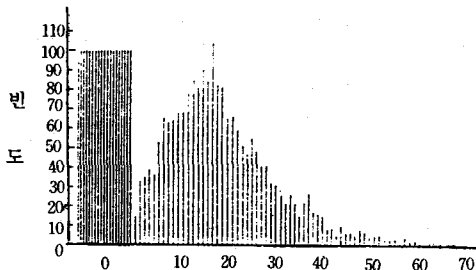


그림 2. 송사리의 산란수.

의 교미로 사정한 정자는 상당히 오랫동안 생존하기 때문에 한번 교미하면 수컷없이도 수컷의 출산을 계속한다. 출산 후 치어는 잠시 물밑바닥에 정지하고 있지만 곧 헤엄을 쳐서 수면부로 이동한다. 물벼룩이나 분말사료 등을 주어서 사육하면 2~3개월 후에는 성체로 된다.

3. 무지개송어(rainbow trout, *Salmo gairdneri*)

무지개송어는 연어목(Salmoniformes), 연어과(Salmonidae), 무지개송어속(*Salmo*)으로 분류되며 “코발트” 등의 다수의 별명이 있다. 코발트라는 것은 체색이 청남색을 띠는 것을 의미하며 그 염색체수는 $2n=58\sim62$ 이다.

Steelhead trout가 내륙에 가두어져 사육되는 것이 무지개송어이다. 무지개송어는 저온($10\sim20^{\circ}\text{C}$)의 담수에서 서식하며 일생을 통하여 바다로 가는 일은 없다.

무지개송어 등의 연어과 어류는 생활양식에 고도로 적응한 어류이어서 예민한 눈을 갖고 있어, 먹이가 되는 동물을 신속하게 포획할 수 있다. 살아 있는 동물을 포식하기 때문에 소화관은 매우 짧다.

무지개송어속에 속하는 무지개송어 이외의 어류와 무지개 송어를 어류학적으로 비교하면 무지개송어의 비늘과 체표의 흑반은 보다 소형인데 비하여, 꼬리와 지느러미의 흑반은 다수 출현한다. 또 어떤 특정한 광선의 조사에 의해서 명료해지는 무지개선이 양체측에 있다.

무지개송어는 담수중의 무지개송어속의 다른 어종보다도 빨리 육성하기 때문에 양식(특히 식용으로)에 가장 적합한 어종으로서 중요시되고 있다.

무지개송어는 현재 미국이나 구미 여러나라를 중심으로 실험용이나 시험용의 동물로서 상당히 많이 이용되고 있다. 그러나 육종에 관한 연구의 역사가 짧고 사육관리가 쉽지 않은 점 등으로부터 무지개 송어의 실험동물화는 아직 실현하기에는 문제가 많다. 현재 야생의 무지개송어의 조기산란계통으로 개량을 도모하는 것에 의해 家魚化에의 길이 개척되고 있는 중이다.

이와같은 상황하에서 무지개송어가 실험에 때때로 제공되는 이유는 구미 등 선진국에서 양식이 널리 행하여지고 있는 점, 다소의 제약은 있지만 담수에서 사육이 가능한 점 또 알이 커서 다루기 쉬우며 입수도 비교적 용이한 점을 들 수 있다.

인공적인 조건하에 있어서 어류의 양식은 몇 천년에 미치는 역사가 있지만 무지개송어 등 연어, 송어의 영리를 목적으로 하는 양식의 역사는 비교적 짧아 이와같은 어류의 인공부화는 19세기에 들어서 처음으로 실현되었다. 원래 무지개송어의 원산지는 미국의 알래스카주 남부로부터 캘리포니아주 남부에 걸쳐서 분포하며, 19세기 들어 유럽이나 아시아 지역에 이식되었다. 우리나라에는 1960년대에 미국으로부터 처음으로 수입되어 양식을 개시하였지만 양식이 본격

화된 것은 1970년대 후반 부터이다.

현재 우리나라의 양식 무지개송어는 각종 계통의 무작위적인 이식과 교작에 의해 작출된 교잡종이라고 할 수 있다. 두가지 형의 색채변이체인 무반 무지개송어와 알비노가 존재한다.

그런데 아직 실험동물화되어 있지 않은 무지개송어를 실험동물로서 사용하는데는 그 자체에 한계가 있다. 현재 행하여지고 있는 실험의 대부분은 그 목적이 무지개송어 자신에 관한 연구이며 나머지 몇가지가 비교동물학적 연구이다. 예를 들면 양식효율의 향상을 위하여 성전환 기술을 구사하여 모든 부화어를 암컷으로 만들거나 혹은 무지개송어 등 연어과 어류의 질병에 관한 연구 등이다.

지금 무지개송어를 실험동물화 해야하는 절박한 이유는 없다. 그러나 실험동물을 공시하지 않는 동물실험의 신뢰성은 아주 적으며 또한 실험동물화하면 그 나름 대로의 가치가 생겨 예기하지 않는 국면(예를 들면 새로운 용도)이 열릴 것은 확실하다. 한편 실험포유동물을 사용하는 것과 비교하여 어류를 공시하게 되면 실험을 행하는 자의 감정적인 면에서도 고통이 적다. 이러한 점에서 무지개송어의 실험동물화가 기대되는 바이다.

수온이나 먹이에 의하여 달라지지만 체중의 추이는 대략 다음과 같다. 부화직후에 0.1g(체장 15mm), 반면후에 50~60g, 1년후에 100~200g(체장 15~20cm), 2년후에 400~500g(체장 30~35cm), 3년후에는 1kg(체장 45~50cm)으로 된다. 부화후 약 1개월이 지나면 유영하여 부상한다. 양식어에서는 암컷은 성숙하는데 약 2년이 걸리며 수컷은 보다 빨리 성숙한다(약 1년). 야생어에서 성숙에 3~4년을 필요로 한다. 성숙한 어체의 체장은 20~40cm이며 수명은 일반적으로 4~8년이지만 11~13년 생존하는 것도 있다.

환경수에 있어서 용존산소(DO)의 필요량은 3~5ppm 이상으로 수온이 상승함에 따라서 증가한다. 체온은 변온동물이기 때문에 환경수온을 직접 반영한다. 생활에 적합한 수온은 10~20°C 인데 적응온도의 상한은 낮다.

생식기관은 체강배측의 반대측으로 존재하며

배면은 복강으로 돌출한다. 통 모양을 하며 암컷에는 난소, 수컷에서는 정소를 갖는다. 미성숙 또는 휴지기의 생식기는 복강의 전방 즉, 위의 옆 윗쪽에 있다. 성숙어에는 복강에 퍼져 있다.

난소는 난세포나 알의 색으로 인하여 황색에서 등색으로 보이며 난소막이나 수란관도 없고,

표 1. 무지개송어의 혈액학적 수치

혈액량	(%)	2.3~3.4
적혈구수	($10^6/mm^3$)	1.02~1.37
헤모글로빈농도	(g/dl)	5.4~10.0
헤마토크리트치	(%)	24~34
MCV	(μm^3)	327±37
MCH	(pg)	77.6±10.0
MCHC	(%)	23.7±1.5
적혈구의 크기	직경(μm)	(9.76±0.52)×(15.15±0.88)
	면적(μm^2)	116.1
망상적혈구수		적혈구수의 0.2~1.4%
백혈구수	($10^3/mm^3$)	2.6~3.6
백혈구백분비	림프구 60%이상	
응고시간		2~4분
혈소판수(어류에서는 전구)		약 20,000
피브리노겐량	(mg/dl)	450~530
혈압가스	CO ₂ 함량(%)	19~23
	CO ₂ 분압(mmHg)	8~10
혈 침	(mmHg/h)	1.0±0.15
혈액수분량	(%)	80~84

표 2. 무지개송어의 혈액생화학적 수치

GOT	(Kermen 단위)	159.9±72.0
GPT	(Kermen 단위)	4.4±4.5
포도당	(K-A 단위)	6.0±2.1
인지질	(mg/dl)	672±92
크레아틴	(mgN/dl)	0.3±1.6
전해질 Na	(mEq/l)	16.2±2.3
K	(mEq/l)	3.2±0.4
Ca	(mEq/l)	10.9±0.6
단백질	(g/dl)	3.50±0.29
아밀라제	(Amylase 단위)	110.0±53.3
빌리루빈	(mg/dl)	0.4~4.5
Mg	(mEq/l)	1.2~2.3
혈당	(mg/dl)	41~151

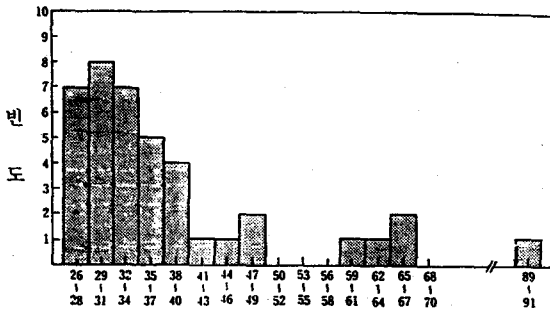


그림 3. 구피(8마리)의 産子간격의 분포.

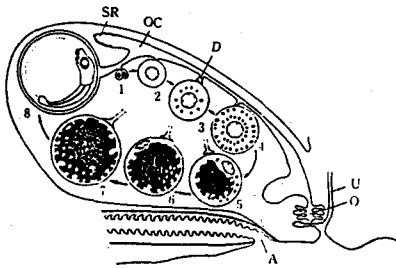


그림 4. 구피의 난소구조와 난발달과정의 모식도.

난소강액이(체강액으로 불린다.) 복강내에 존재한다. 정소는 백색이다. 성성숙은 성장이 빠른 계통에서는 암컷은 약 1.5년, 수컷은 약 1년이며 야생종에서는 3~4년이다.

번식계절은 11월부터 3월. 양식송어는 12월이 주요 산란기이다. 겨울과 봄(또는 여름)년 2회 산란하는 것도 있다.

4. 잉어(carp, *Cyprinus carpio*)

잉어는 우리나라에 널리 분포하는 식용으로서 옛날부터 친숙한 담수어이다. 양식도 번창하여 입수하기 쉬운 잇점도 갖고 있어서 우리나라와 일본에서는 어독성시험의 대상으로 지정되어 있다. 통상 독성시험에는 참잉어의 유어가 이용된다. 독성시험법에는 전장 5cm 전후의 잉어를 사용하게 되어 있다.

잉어의 염색체는 $2n=100$ 인데 잉어과 어류 중에서는 붕어와 함께 가장 염색체수가 많다. 돌연변이나 교배에 의해서 생긴 색깔을 갖는 잉어에서는 염색체 변이의 예를 보이고 있다. 해부학적 특징은 다음개 기술하는 붕어에 유사하지만 잉어에는 좌우 2개씩의 수염이 있는 점이 붕어와 다르다.

생리학적으로는 여러가지 성질이 알려져 있지만 독성시험과의 관련된 점에서 유용한 것으로 생각되는 것을 살펴보면 혈액성상, 수온과 혈액 성분과의 관련, 수온과 스테로이드 대사와의 관련성, 단백질자의 장관내 흡수, 간장에서의 약물대사의 지적 pH와 온도, 심전도나 취각의 측정 등이 있다. 한편 각종 농약, 중금속, 세계성분 등에 관한 독성시험의 보고서는 방대한 량에 이르고 있다.

잉어는 야외의 지수지에서의 번식이 보통이며 자연번식기는 4~6월경이다. 최초로 수컷이 발정하여 진주양의 백색소체(번식기의 수컷의 아가미덮개 등에 다수 나타나는 진주양의 백색소체로 생식선 호르몬의 작용으로 일부의 표피세포가 비후 돌출하여 생긴다.)가 생긴 후 암컷을 쫓게 된다. 암컷 1마리는 30~40만개 정도의 알을 산란한다고 하며 새벽부터 오전에 걸쳐 물풀 등에 점착란이 산란되며, 수컷이 점착란에 곧 사정하여 체외수정이 일어난다.

수정된 알은 수온 25°C 전후에서 3일 정도가 되면 부화가 일어난다. 부화한 치어는 그 후 약 3일만에 먹이를 잡아 먹게 된다. 24~28°C가 가장 활발히 활동하는 수온범위로 이와같은 온도 범위에서는 성장도 비교적 빠르다. 수온이 15°C 이하로 되면 먹이를 먹지 않게 되며 7°C 이하 혹은 30°C 이상에서는 활동을 멈추게 된다.

식성은 패류를 좋아하며 목의 인두치로 조개 껍질을 깨서 먹으며 진흙속의 소동물이나 물밑에 사는 저생 부착조 등도 먹는 잡식성이다. 약 3년에 체장 30cm 정도로 성장한다. 평균수명은 약 20년이라고 하지만 비공식적으로는 70년 이상 살아 체장 1.53m로 자란 기록도 남아 있다고 한다.

5. 붕어(crucian carp, *Carassius auratus*)

붕어는 잉어과에 속하는 담수어이다. 붕어속으로 잉어속과는 구별되어 있지만 잉어와는 상당히 가까운 종으로서 잡종교배의 예도 알려져 있다. 붕어도 잉어와 마찬가지로 널리 분포를 보이며 옛날부터 친숙한 담수어로서 식용을 위하여 양식도 번성하여 입수하기 쉬운 잇점이 있다.

유럽계의 붕어와 동양계의 붕어가 구별되어 있지만 우리 나라에서는 더욱 세분하여 다음의 5 아종으로 분류되고 있다.

① *C.a.subsp.*(금붕어) : 몸의 높이가 낮고 체색이 금색을 띄며 3~4월이 자연산란기로 겨울에는 수저의 진흙에서 월동한다.

② *C.a.langsdorffi*(은붕어) : 체고가 높아 등지느러미의 기저가 긴 것이 특징이며 체색은 은색이다. 수컷은 아주 드물다.

③ *C.a.grandoculis* : 체고가 낮고 하악이 각진 것이 특징이다.

④ *C.a.cuvieri* : 체고가 아주 높고 편평한 점으로 부터 흔히 야생종은 육지의 놀래기, 사육종은 주걱붕어로 불리고 있다. 식용으로서 각지에 이식되어 널리 분포를 하게 되었다.

⑤ *C.a.buergeri* : 은붕어와 비슷하지만 체고가 조금 낮고 체색은 적갈색이다.

붕어의 염색체는 기본적으로는 $2n=100$ 이지만 은붕어는 2배성과 4배성 그리고 암핵발생(은붕어는 암컷이 거의 대부분이며 수컷은 아주 드물다. 암컷은 3배성의 $2n=150$ 의 알을 낳는다. 산란시에는 부근을 유영하는 다른 종류의 어류의 정자가 수정되어 발생이 유발되기도 한다. 정자는 염색체의 관여는 없기 때문에 대부분이 어미와 같은 염색체를 갖는 클론이 되도록 되어 있다.)하는 것으로 유명한 3배체($2n=150$)의 붕어가 있다. *C.a.buergeri*에도 $2n=150$ 의 예가 보고되어 있다.

모든 종류의 붕어가 잡식성이지만 호수의 중표층부를 무리지어 유영하는 것(*C.a.cuvieri*), 진흙 바닥을 좋아하는 것(금붕어와 은붕어), 양자의 서식처를 같이 갖는 붕어(*C.a.grandoculis*)등 조금씩 생태에 차이가 보인다. 자연산란기는 3~6월 경이며 암수의 구별은 조금 어려우나 일반적으로는 번식기의 암컷은 복부의 팽만으로 수컷은 복부를 눌러서 정액이 사정되는가의 유무로 분별한다.

산란은 저녁부터 다음날 오전중에 걸쳐서 행하여지며 수초 등에 점착란이 낳아져 수컷의 사정으로 채외수정이 성립한다. 수온 25°C 전후에서 약 3일만에 부화하여 부화후 3일 정도가 되면 먹이를 잡게 된다. 잉어보다 한냉에 강한 특성이 있어 먹이를 쫓는 온도도 잉어보다

낮다. 통상 3년에 체장 20cm 전후로 성장한다.

6. 금붕어(gold fish, *Carassius auratus*)

잉어과 붕어속에 속하는 담수어이다. 붕어의 돌연변이종으로서 중국이 원산지이다. 체색이 적색화한 일본금붕어가 그의 원형으로 말해지며 그후 여러가지 변이종의 선발교배에 의해서 여러가지 품종이 탄생하여 지금은 약 20종에 이른다. 사양목적이 애완용이기 때문에 유전적 변이가 매우 크며 이점은 실험용 어류로서의 결점으로 지적되고 있다. 그러나 입수가 쉽고 좁은 용기에도 비교적 용이하게 사육되는 등의 이점으로 부터 독성시험을 비롯하여 각종 시험에도 유용하게 사용된다. 독성시험에는 주로 일본 금붕어가 사용되고 있다.

금붕어의 염색체는 각 품종 모두 $2n=100$ 으로 붕어의 기본형을 보존하고 있지만 C type염색(구성 이형염색체 부위를 특이적으로 염색하여 나누는 법으로 표본을 알카리용액에 처리, 염류용액중에 가온 후 Giemsa염색을 하는 방법)을 행하면 금붕어만 서로 공통적인 부분이 존재한다고 보고되어 있다.

암수의 외형적 차이는 적어서 판별이 곤란하지만 숙련되면 생식공(총배설강)의 외형차로 판별할 수 있다. 보통은 산란기(4~6월)에 암컷의 복부가 크게 되는 점, 수컷에는 아가미덮개나 가슴지느러미 부근에 백색소체가 생겨 복부를 눌러보면 정액을 사정하는 점 등으로 부터 판별이 가능하다. 보통은 암컷 1마리에 수컷 3마리 정도를 함께 놓아두어 산란시킨다. 대부분은 아침에 3000개 정도의 점착란이 수초 등에 산란된 후 수컷의 사정으로 수정한다.

수정란은 수온 20°C 에서 약 4일만에 부화한다. 치어는 미숫가루나 분말의 배합사료로 사육하며 약 1년정도 되면 산란이 가능해진다. 붕어와 비교하여 행동이 비교적 느리기 때문에 좁은 용기에서의 사육에도 잘 견딘다.

생리학이나 행동학의 연구에도 때때로 이용되고 있지만 일본에서 보다는 유럽에서의 이용이 많다. 독성연구에도 때때로 이용되지만 독성연구를 위한 정상적인 자료는 의외로 적다. 이와 관련된 자료를 예로 들면 수온이나 일조시간과 성숙과의 관련성, 조명주기와 운동활성 그리고

글리코겐 대사, 혈중 스테로이드, 성선호르몬 혹은 뇌내 스테로이드 대사에서 효소활성의 계절변동, 뇌 활동의 계절변동, 망막의 발달, 청각, methallothionein이나 간장에서의 약물의 산화효소 혹은 뇨의 배설 등이 있다. 일본 금붕어의 해부학적 특징은 붕어와 같다.

II. 실험용 어류의 사육관리

1. 실험용 어류의 사육시설

일반적인 실험용 어류나 시험공시어로 지정된 수생동물을 도입 내지 번식시켜 일정 환경하에서 유지하며 재현성과 보편성이 있는 동물실험을 목적으로 하는 사육시설을 가리킨다.

실험용 어류의 사육시설에는 충분한 수량의 확보가 가능할 것, 수질을 조절할 수 있을 것, 수온을 조절할 수 있을 것 및 조명을 조절할 수 있을 것 등의 네가지 조건이 특히 중요하다. 대표적인 실험용 어류를 중심으로 그 사육시설 기준에 대하여 설명한다.

1) 시설의 규모와 방의 배치

사육시설은 구입 어류의 검수실, 검역실, 특수사육실, 번식실, 일반실험실, 특수실험실, 마취실, 격리실, 사료보관실, 세정소독실, 수질조절실, 기계실, 거주구 등의 기능별로 분획할 수 있는 어느 정도의 충분한 넓이를 필요로 한다. 이는 시험에 공시된 적합한 어류를 충분한 수로와 일정한 환경하에서 건강하게 유지하는데에 없어서는 안되는 시설로서 병인체의 감염사고 발생시에 긴급한 처치나 또는 시험약품 등에 의한 불필요한 오염을 막는데 있어서 중요하다. 따라서 각실의 배치에 대해서도 동물, 물품 및 작업 종사자의 움직임이 합리적으로 되도록 배려하는 것이 바람직스럽다.

한편 실험후의 실험동물은 소각을 원칙으로 하기때문에 소각로의 설치와 자연환경의 오염방지를 위한 오수처리장의 설치 등도 부속설비로서 필요하다.

2) 사육실의 구조

어류의 사육에는 대형수조를 이용하는 일이 많고 사용하는 수량도 상당량이 되는 경우가 많다. 사육에 필요한 물의 중량을 감안하여 바

닥을 耐重性으로 하지 않으면 안된다.

바닥과 벽은 완전 방수성으로 하고 또 충격 등에 의한 대량의 범람 사고를 방지하기 위하여 배수계를 완비한다. 또 바닥은 일상의 세척이나 소독작업에 견딜 수 있는 재질이 바람직스러우며 벽면이나 그 외의 구조도 습도에 의한 변화나 염분에 의한 녹이 적은 재질을 이용하며 표면에 돌출한 전기 계통의 기구에는 특히 감전방지의 대책을 도모해야 한다. 수온이나 조명의 조절을 엄밀히 해야 하며 사육실에는 창이 없는 편이 좋다.

3) 수조

부식성이 적고 유독성분을 용출하지 않는 튼튼한 재질로서 누수사고나 어류의 도망사고를 일으키지 않는 구조가 바람직스럽다. 외부로부터 어류의 서식상태가 잘 관찰될 수 있는 점도 매우 중요한데 이를 위해서 일반적으로 스테인레스를 테두리로 하고 아크릴이나 유리를 재질로 한 수조가 많이 이용되고 있다.

소형의 어종이나 치어의 육성에는 마우스용 플리카보네이트 케이스를 사용하기도 한다. 대형수조에는 수조마다 순환여과장치와 수온조절기를 준비하는 것이 편리하다. 수조의 크기는 어종에 의해서 또 사육규모 등에 의해서 다르게 되는데 어류가 자유로이 헤엄칠 수 있는 충분한 수량을 확보해야 하며 또한 사육밀도도 가능한 범위에서 일정화하는 것이 필요하다.

4) 수질조절을 위한 설비

사육시설의 설치장소에 의해서 수원이 틀리게 되지만 담수로는 자연으로부터의 채취수나 수도수, 해수로는 자연해수나 인공해수가 이용된다. 어떤 것을 이용해도 사육에 적당한 일정한 수질의 확보에 노력하여야 하며 수질에 문제가 있는 경우는 정화를 고려해야할 필요가 생긴다.

응집, 침전, 여과, 흡착 등에 의해서 불순물을 제거하는 방법이 생각될 수 있지만 그러한 방법에는 각각 장단점이 있기 때문에 그 한계를 잘 분별하여 사용한다. 예를 들면 pH의 조정, 약품이나 보조제의 첨가 및 교반 등에 의해 침전성 불순물은 제거가 되지만 이 때 사용했던 화학약품 등의 잔류에 주의할 필요가 있다. 이온교환 수지를 사용하면 용해성의 무기염류의 제거에는 도움이 되지만 표면하전이 적은 고히

물이나 수중미생물 등은 제거되기 힘들다.

그리고 전해질의 제거를 위한 방법에는 전기 투석법이 있으며 반투막 등을 이용한 여러가지 여과법도 응용되고 있다. 그러나 이 방법은 직경 0.25 μ m 이하의 미립자만 통과시켜 수중 미생물이나 현탁성분 등을 제거할 수 있지만 일반적으로 경비가 높게 되는 경우가 많다. 시설설계를 할 때에 이용할 원수의 수질을 잘 조사하여 그 자료를 기초로 한 정화장치를 설정한다. 여과재는 더러워지면 교환해야 하기 때문에 교환하기 쉬운 것이 좋다.

5) 수온조절을 위한 설비

적정수온은 어류에 따라 다르기 때문에 각 수조마다 저온에서 고온범위를 가변할 수 있는 장치를 준비하는 것이 좋으며 순환장치 속에 이것을 포함시키는 방식이 일반적이다. 건물 전체를 공조에 의해 일정 실온으로 조절하고 있는 장소에는 수온을 이것에 동조(실체는 증발열이 빼앗겨 실온 보다는 2~3 $^{\circ}$ C가 낮다.)시켜 이용하는 일도 가능하지만 이는 어종이 바뀔 때마다 수온의 미세조절이 가능하지 않은 점이나, 항상 물을 바꾸기 때문에 물을 미리 준비할 필요가 있는 등의 불편이 동반된다. 겨울에 히터를 이용하여 수온 저하를 방지하는 경우도 있지만 수질환경의 일정화를 도모하는 데는 그다지 좋은 방법이 아니다. 히터의 파손시에는 누전에 의한 사고 등도 일어날 수 있으므로 주의해야 한다.

6) 조명조절을 위한 설비

조명은 형광등을 이용하여 충분히 밝게 하며(사육수가 열린 녹색으로 보일 정도로)자동시간 조절기를 설치하여 임의로 명암의 주기를 조절이 가능하도록 한다. 번식시 뿐만 아니라 일상의 사육유지 관리에 있어서도 규칙적인 명암 리듬의 설정은 중요한 실험조건이 된다.

7) 그 밖의 설비

각종 실험동물을 다루는 대형시설 내에 어류를 사육하는 경우 공조계는 독립시키는 것이 바람직하다. 특히 포유동물을 사육하는 시설이 같이 있는 시설내에서는 발생된 암모니아가스 등이 어류사육실에 흘러 들어가게 되면 사육수에 녹아 들어가 수질을 악화시킬 위험이 있다. 그 밖에 기본적인 것은 다른 실험동물(포유류나 조류 등)과 공통되는 경우가 많기 때문에 참고로

하여 정비한다.

2. 사육시설 설비기재의 준비

실험동물의 시설의 규모, 구조, 수준 등은 다양하기 때문에 획일적으로 설명하기는 어렵지만 실험동물 시설내에 어류사육실을 설치하여 수원을 수도수로 하고 있는 중간수준의 시설을 대상으로 하여 설명하여 보도록 한다.

공기중의 암모니아는 물에 잘 녹아 수생동물에 장애를 일으키는데 물의 pH가 알칼리일 때에 강한 독성이 나오기 쉽다. 대형 공조기를 준비하여 관내를 연중 23~26 $^{\circ}$ C의 범위로 조절하고 있는 실험시설이 많지만 all-fresh의 환기 방식이라면 문제는 적다고 할 수 있다. 그러나 부분적으로 환기를 하는 return 방식이라면 사육실 내의 암모니아 농도 등은 측정을 해두는 편이 좋다. 수중의 암모니아량은 0.2mg/l 이하로 억제해야 할 것이다. all-fresh 방식의 경우는 사육실 안을 약한 양압으로 만들어 포유동물 사육실 유래의 공기가 유입하기 어렵도록 한다.

어종에 의해서 사육수조의 크기 등도 다르지만 넓은 범위의 온도조절과 수질정화가 가능한 수조를 설치할 것을 추천한다. 즉, 히터와 냉각장치를 준비하여 수온을 10~28 \pm 1 $^{\circ}$ C 정도로 조절이 가능한 것으로 여과조와 물펌프, 공기펌프, 분산기 등을 갖춘 것이 바람직 하다. 수조는 외부로부터 잘보이는 재질, 예를 들면 아크릴, 유리 또는 스테인레스 테두리를 갖는 유리 제재 등이 일반적이다. 최근에는 이와같은 것이 활어용 수조로서 상당히 성능이 좋은 것이 시판되고 있다. 각 수조마다 전원을 준비하여 문어발 배선을 피할 것, 더우기 전원부에는 방수용 덮개 등을 하여 누전을 방지하는 것 등이 필수적이다. 수질검사용의 간편한 용구(pH, 용존산소량, Cl₂ 등의 측정장치), 체중측정용 저울, 해부용구, 실체현미경, 손그물 등과 그 밖에 티오황산나트륨, 염화나트륨(소독용), 마취제 및 소독제는 필수적으로 갖추어 놓아야 한다.

3. 수질검사와 청정화

상수도수를 이용하는 경우 그 수질은 어떤 범위에서 일정하게 보장되어 있다고 보아도 좋지만 지역에 따라 함유되어 있는 성분에는 차이가

있으며 성분의 계절적 변동도 적지 않게 일어날 수 있다.

수도국의 수도관리센터 등에는 연 4회 정도는 정기적인 수질검사를 행하여 감시를 하고 있기 때문에 급수 수준의 수질을 알아두는 것이 중요하다. 가능하면 배수의 말단 위치에서도 같은 식으로 검사를 정기적으로 해두는 것이 이상적이다. 대부분의 시설에서는 옥외나 옥상에 대형의 저수조를 준비하고 있지만 여기서 상상하지 못한 오염이 일어나는 경우도 종종 보고되고 있다. 저수조의 정기 청소는 물론이지만 말단 급수전에서의 수질검사는 저수조의 상태를 파악함에 있어서도 중요하다. 또 장기간의 수도관의 녹에 의한 중금속 이온 등의 증가도 생각할 수 있기 때문에 배수관의 상태에도 관심을 기울여 하는데 그 예방책으로서 급수전에 이온교환수지 등의 여과재를 설치하는 등의 조치가 필요하다.

상수도수를 이용하는 경우에 가장 유의할 점은 잔류염소의 문제이다. 상수도는 일반적으로 염소에 의한 살균이 행하여 지고 있기 때문에 잔류염소의 농도가 수원지에서 1.0~1.5mg/l, 급수전에서 0.3~0.8mg/l로 되어, 물을 그대로 사육수로 이용하면 송사리 등은 6~12시간만에 사망한다고 한다. 그러므로 수도수를 2~3일 미리 방치해 놓아 염소를 발산시킨후 이용하든지 티오황산나트륨 10mg/l 정도를 투입하여 수도수를 중화시킨후 사용하는게 바람직하다.

실험용 어류를 사육하는데 있어서 수질에 관한 엄밀한 기준이 아직 규정되어 있지 않아 대부분은 지금까지의 경험에 준하여 관리되고 있는 실정이다. 수질조건(예를 들어, 경도 등)의 차이로 화학물질의 독성이 틀리게 될 수 있다는 보고도 있기 때문에 지금부터는 일정한 범위의 검사해야 할 항목과 자료를 얻는 것도 필요하게 될 것 같다. 수도수를 원수로 할 경우 탁도, pH, 경도 등에 있어서 큰 문제가 되는 일은 드물다. 필자의 경험으로는 급수전에서 수도수의 pH는 6.7~7.0으로 적정영역 이지만 어류의 사육을 개시한 후의 사육수의 pH는 수초나 여과장치의 유무, 공기주입의 강도 등으로 pH 6~8 정도의 범위에서 변동을 보이며 배설물로 부터 발생한 암모니아, 먹이의 성분, 수생세균의 증식 등에 의해서도 pH는 크게 변동한다. 따라서 사

육수의 정기적인 수질검사를 잊어서는 안된다.

탄산수소 나트륨이나 주석산 수소칼륨을 이용하여 pH를 조절하는 방법도 있지만 수조의 pH 조절은 그렇게 용이하지만은 않다. 오염이 진행하여 pH 6.0이하 혹은 7.6이상으로 변화한 경우에는 물을 갈아 주는 편이 적절하다고 생각된다.

4. 어류의 구입

어독성 시험에 이용되는 어류 등은 일반적으로 판매되고 있는 것을 구입하여 이용하는 경우가 많다. 잉어, 붕어, 금붕어, 송사리, 구피, 미꾸라지, 뱀장어 및 무지개송어 등은 양식장에서 널리 사육되고 있어 쉽게 구입할 수 있다. 해산어에서도 인위적으로 관리, 사육되고 있는 방어, 도미, 복어 등은 구입이 쉽게 가능하다고 생각된다. 업자를 통하여 필요한 종류를 입수하게 되지만 그때 다음과 같은 점에 유의해야 하겠다.

1) 양식지의 기록

변종이 존재하는 종류에 대하여는 특히 양식지도 기록에 남겨둘 필요가 있다. 이는 붕어 등에는 여러가지 변종이 있으며 뱀장어는 수입종의 양식도 변성하고 있어 이들이 재래종과 외견으로는 구별이 되지 않는 경우가 많고, 질병이나 사고가 발생했을 경우에는 현지조사나 수질조사가 필요하게 되기 때문이다.

2) 수송방법의 확인

어류의 수송에는 활어수송차를 사용하는 것이 제일 바람직하다. 보통은 비닐봉지 속에 사육수와 함께 넣어져 수송된다. 충분한량의 공기나 산소를 넣어 수온이 올라가지 않도록 하여 운반되지만 물의 움직임이 격심하면 어체가 세트레스나 손상을 받아서 허약한 상태로 도착하게 되는 일도 있다. 때문에 사전에 수송방법을 확인하여 적절한 충고도 잊지 않도록 한다.

3) 수검과 검역

수송된 어류가 도착하면 우선 어종을 확인하고 운반수와 함께 다른 수조로 이동하여 공기주입을 행하여 어류의 상태를 주의 깊게 관찰한다. 시간이 지나도 원기가 없는 어류는 빨리 다른 수조로 이동시켜 동태를 세밀히 관찰하도

새로운 사육수로 이동한 경우에는 특히 급격한 수온 및 수질의 변화는 어체에 대한 영향이 커서 물고기가 쇼크를 일으켜 손상을 입는 경우가 있다. 이때 운반에 사용된 물의 수질검사를 하여 참고로 하여 이동을 하면 좋다. 원기있게 활발히 헤엄치는 것이 확인되면 통상의 사육방법으로 서서히 이행한다.

도착 시부터 원기없는 어류를 원래의 사육어와 함께 그대로 사육하게 되면 예를 들어 야간에 사망하는 일이 일어나는 경우, 부패어에 의한 사육수의 오염, 표층 미생물의 이상증식에 의한 용존산소량의 격감을 수반하여 다른 건강한 어류도 전멸하는 사고가 때때로 일어난다.

여과장치를 준비한 수조에 있어서도 방심해서는 안된다. 관찰중에 원기가 없어 보이는 물고기는 해부하여 기생충 검사나 세균검사 등을 가능한 행하여 검사성적을 축적해 두는 것이 좋다. 문제가 일어났을 경우에는 다른 양호한 양식지를 선택하는 노력도 필요하다.

그 밖에 물벼룩 등을 야외로부터 채집하여 이용하는 경우나 알테미아와 같이 수입품의 건조동란을 구입하여 이용하는 경우에는 채집지나 수입지(산지), 채집일 등을 기록해 두는 일이 귀중하다. 이는 물벼룩에도 여러 종류가 있으며 알테미아도 산지에 따라서 유전학적으로는 상당히 변이가 다양하기 때문이다. 염색체수가 $2n=42\sim 168$ 등으로 알려져 있기 때문에 정확히 동정하지 않으면 안된다.

5. 일상의 사육관리

수생동물 특히 어류의 사육관리에는 수질관리가 무엇보다도 중요하다. 수질의 악화는 어류에 있어 치명적인데 건강상태를 수시로 관찰하면서 수질의 악화에 신속한 대응을 해야한다. 일상의 사육관리에 있어서 유의할 점은 다음과 같다.

1) 사육실 입실시 주의사항

어류를 취급할 때의 의류는 실험전용의 멸균한 것을 준비한다. 신발도 전용의 것을 준비하여 입실할 때에는 반드시 옷을 갈아 입고 신을 갈아 신도록 한다. 손이나 손가락은 소독수로 잘 닦은 후에 작업을 행한다.

2) 관찰사항

우선 수조를 들여다 보아 쇠약해진 물고기나

체표에 상처가 나거나 병적증상이 보이는 물고기의 유무를 주의 깊게 관찰한다. 다음에는 수온을 측정하고 물의 탁도, 용존산소량, 암모니아, pH 등을 측정하여 기록한다.

인공조명의 경우는 설정했던 명암주기대로 작동하는지 아닌지도 확인한다(단시간의 정전이라 하더라도 시계에 고장이 생길 수 있다.). 이와 같은 사항들의 관찰은 아침 일찍 행하는 것이 좋다. 또 저녁 소등 전에도 한번 더 관찰하여 원기가 없는 어류를 발견하면 이것을 빨리 격리 또는 도태시킨다. 활발한 운동을 하지 않고 어군으로부터 떨어져서 부자유한 유행행동을 하는 어류는 주의를 필요로 한다.

3) 급이

최근에는 어류의 사료도 개선이 진행되어 상당히 우수한 양질사료의 입수가 가능하게 되었다. 가공사료로 충분하면 그 일정량을 일정시각에 투여하는 편이 좋다. 먹이를 잘 먹지 않던가 성장이 느리든지 하면 생물사료로서 예를 들면 물벼룩이나 알테미아 또는 실지렁이를 줄 필요가 생기는데 이 중 적당한 것을 선택한 후에 가능한 규칙적으로 투여하여 실험조건의 재현성을 확보하도록 주의를 한다.

실험용 어류에 대한 사료의 급여량, 회수 등에 대하여는 아직 상세한 기준은 없다. 보통은 경험을 기초로 필요 또는 충분량을 정하게 되지만 한차례의 눈대중으로 유어 및 치어에서는 1일 급여량이 어체중의 5~10%, 성어에서는 1~2% 정도가 바람직하다고 한다. 만일 투여량이 지나치게 되면 먹이를 남기게 되어 사육수의 부패를 조장하게 되기 때문에 빨리 스포이드로 제거하는 편이 현명하다. 양식어용 사료중에는 성장을 빨리하기 위하여 호르몬제를 첨가하든지 질병예방을 위하여 항생제를 첨가한 것 등이 있어 독성시험의 성적을 오도할 위험이 있기 때문에 이와같은 사료는 피하는 것이 좋다.

4) 번식

송사리, 구피 등의 소형어류는 실내번식이 용이하다. 야외채집에 의한 물벼룩의 종류를 동정했다면 실내번식을 하는 것이 좋다.

① 송사리

산란을 촉진하는 경우에는 수온을 조금 높게 25~28℃ 정도로 하고, 조명도 12시간 30분 이상

을 밝게하여 규칙적인 주기를 설정한다. 이와같이 하면 24시간 주기로 알의 성숙이 촉진되어 연중 산란이 가능하다. 산란은 점등 직후부터 시작되기 때문에 오전 9시경부터 산란을 바라다면 9시부터 22시까지 밝게 하고, 22시부터 9시까지 어둡게 조명주기를 설정하면 된다. 수초나 비닐제의 가짜 수초 혹은 그물을 넣은 수조에 점등 직후 암수를 동거시키면 30분 정도의 사이에 산란이 일어나므로 수정직후의 알도 얻을 수 있으며 그대로 방치하면 부화한다.

부화율을 높이고 싶을 때에는 알덩어리를 종이타올로 가볍게 비벼서 부착사를 끊어 알을 한 개씩 흐뜨려 버린후 멸균수로 씻은 알을 멸균 petri dish에 넣어서 기르면 세균감염도 적고 양호한 부화율을 얻을 수 있다. 죽은 알은 빨리 제거하는 편이 좋다. 25°C에서는 9~11일만에 치어가 부화하기 때문에 수조에 이동하여 분말사료나 소형의 물벼룩 등을 주어서 성장시킨다. 성장이 순조롭게 진행된다면 약 3개월 정도에 성어로 된다.

② 구피

구피는 난태생이므로 체내수정이 일어나 체내에서 발생이 진행되며 치어의 상태로 태어난다. 통상은 폐쇄군으로서 번식되지만 엄밀한 유전학적 제어가 필요한 경우는 산란의 경험이 없는 암컷을 사용함을 원칙으로 한다. 한번 교미하면 수회에 걸쳐서 출산한다. 치어는 태어난후 일시적으로 물밀므로 가라앉지만 잠시후에 헤엄을 쳐서 수면으로 이동한다.

치어는 빨리 새로운 수조로 이동시키는 것이 바람직하지만 동일한 수조에서 사육하는 경우에는 치어가 숨을 장소로서 그물이나 바구니 등을 설치하여 어미에 잡혀 먹는 일을 없도록 한다.

분말사료나 소형의 물벼룩 등을 투여하여 기르면 2~3개월 정도에 다음 세대를 얻을 수 있게 된다. 일반적으로 열대어의 적응수온은 23~29°C의 범위라고 한다.

③ 물벼룩

종을 동정했다면 실내번식을 행한다. 어류의 먹이로도 이용되기 때문에 대량배양을 시도하는 것이 좋다. 물벼룩의 사육은 클라미도모나스, 클로레라, 세네테스무스 등의 녹조류가 물벼룩의 좋은 사료로 되기 때문에 이러한 것의 배양

으로부터 시작한다.

녹조류의 세포수가 $10^5 \sim 10^6/ml$ 에 달하면 배양액을 벽이 높은 petri dish나 비이커에 넣어 그 속에 물벼룩을 투입하여 번식시킨다. 적응수온은 *Daphnia pulex*가 5~20°C이며 *Moina macrocopa*가 18~35°C라고 한다. 단위생식에 의한 연속배양은 3~5년이 한계라고 한다.

④ 알테미아

건조한 동결란을 사서 기르도록 한다. 열대어 상점 등에서 구입이 가능하지만 가능한 산지가 명확한 것 중에서 부화율이 좋은 것으로 입수하는 것이 좋다. 건조동결란은 키틴질의 껍질로 쌓인 채 건조한 포배기 정지란으로서 냉암소에 습기를 피하여 보존하면 수년간은 부화능력을 보존한다. 조금씩 분리하여 보존하여 두어, 필요할 때 마다 적당량을 꺼내어 인공수에 투입하여 부화시킨다. 25°C에서 약 20시간 정도가 지나면 nauplius유생이 부화하여 유영을 시작한다. 인공해수의 농도를 조금 높여(비중 1.04~1.06), 해산클로레라 등을 먹이로 주면 성체로 까지 육성할 수 있다.

6. 취급상의 유의점

어류를 다룰 경우 육생동물과는 틀려서 주의가 요구된다. 실험용 어류를 취급함에 있어서 개체식별, 체중측정, 이동 등에 대하여 주의할 점은 다음과 같다.

1) 개체식별

중형이나 대형어에서는 유성페인트로 체표에 번호를 기인하거나 체표에 장소를 바꾸어 색소를 소량주사 하여 표지를 하며 소형어에서는 지느러미의 연조를 장소를 바꾸어 조금씩 자라서 개체식별을 행한다. 이때 가능하면 어체에 상처를 내지 않는 방법을 선택하는 것이 좋다. 체표의 모양이 다양한 어류일 경우에는 그것을 기록하든지 혹은 한 개체 내지 수개체씩 나누어 소형 수주나 유리수조 등에 넣어 용기에 번호를 기입하는 등의 방법이 있다.

2) 체중측정

공시어의 체중이나 체장 등은 정확히 기록해 두지 않으면 안된다. 어류를 수조로부터 채포하여 수조 밖으로 꺼낸 후 가능한 한 단시간에 측정이 끝나도록 조작에 익숙해지도록 한다.

날개를 파닥거리는 것 같은 움직임을 보이는 대형어에서는 마취를 하여 체중이나 체장측정을 행하는 경우도 있다. 물을 적신 가체에 어체를 감싸서 움직임을 억제하여 측정하든지 중형어에서는 높이가 높은 petri dish에 물을 넣은 상태로 계량한 후 그 안에 어류를 넣어서 증가량을 체중으로서 측정하는 방법도 있지만 조금 오차가 크게 단점이다.

3) 어류의 이동

수생동물은 모두 물로부터 물로 이동하는 것이 기본으로 물밖에 방치해서는 안된다. 대형수조로부터 다른 수조에 어류를 이동하는 경우에도 용기를 사용하여 어류를 사육수와 함께 퍼올려 그대로 이동한다.

새로운 수조로 이동하는 경우는 수질이나 수온에 큰 차이가 생기지 않도록 주의를 하며 처음에는 옮기기 전의 사육수를 반 정도 혼합하는 방법이 좋다. 물고기를 퍼올리는 손그물은 항상 청결한 것을 준비하여 병든 어류나 죽은 어류가 발생하였을 경우에는 이용했던 것은 구별하여 두는 것이 바람직하다.

4) 마취

일상의 사육관리에도 마취를 할 필요가 있을 수 있다. 대표적인 마취제는 전장에서 서술한 바와 같이 tricaine methanesulfonate, eugenol, methyl pentynol 등이 있다.

마취제의 사용법은 상품에 첨부되어 있는 사용설명서를 참고로 한다.

5) 사육기구의 세정과 멸균

사육어류에 질병이 발생하였을 때나 시험의 종료 혹은 수조의 교환 등에 있어서는 우선 소독수로 수조를 처리한 후에 가정용 중성세제나 광택제 등을 사용하여 잘 세정해야 한다. 물로 충분히 행구어 약품류가 남지 않도록 한다. 어류를 건져 올리는 그물은 수조마다 준비하여 자주 세정 및 소독을 하여 놓는 것이 좋으며 바닥도 부지런히 수세하여 물고기가 유영시 먼지가 일어나지 않도록 주의한다.

소독액의 원액이 날아 확산하여 다른 사용중의 수조에 혼입되지 않도록 수조의 소독은 가능하면 별실에서 행하도록 하는 것이 바람직스럽다. 고압멸균에 견디는 기구라면 고압멸균소독을 하는 것이 가장 좋다.

III. 魚類에 대한 毒性試驗

농약이나 수산용의약품 등을 검정하여 등록을 받아 생산·판매를 하기 위해서는 법률에 제정되어 있는 독성시험법에 의거하여 그 물질의 약효, 약해, 독성 및 殘留性에 관한 시험성적을 제출해야만 한다. 여기서는 이들 어류를 사용한 독성시험법을 기술하고 시험에 있어서의 주의점 등을 서술하기로 한다.

1. 잉어에 대한 시험법

어패류에 대한 독성시험법에는 두가지가 있는데 그것은 잉어를 사용한 농약의 어류에 대한 영향시험법과 담수산의 물벼룩을 이용한 갑각류에의 양향시험법이 있다. 잉어가 공시어로서 채택되어 사용되는 이유는 잉어가 우리나라의 수산업에 있어서 주요한 경제적 담수어종의 하나이며 사육이 그다지 어렵지 않고, 전국적으로 서식하고 있는 어종인 점 등의 조건을 갖추고 있기 때문이다.

어류에 대한 급성독성시험법으로는 TLm(median tolerance limit)을 구하는 시험법을 주로 사용한다. TLm 값은 48시간에 있어서의 결과를 채용하며 가능한 24시간이나 72시간의 값도 같이 기재함을 원칙으로 한다.

1) 장치 및 기구

시험용기는 용량이 10ℓ 이상인 유리수조를 사용하고, 장방형의 것은 세변의 비가, 원통형의 것은 직경과 높이의 비가 너무 크지 않은 것으로 하는 것이 바람직하다. 용기의 형태는 정해져 있지 않으나 높이가 낮은 것이나 너무 깊은 것은 피하는 것이 좋다. 또한 유리로 만든 수조를 사용하도록 규정한 이유는 폴리에틸렌제의 수조와 같이 재질에 따라서 약제를 흡착하는 것이 있기 때문이다.

그리고 동시에 여러 시험을 같이 행하는 경우에는 동일 종류의 용기를 사용하지 않으면 안된다. 물고기가 시험도중에 튀어나올 수가 있기 때문에 시험용기는 될 수 있으면 큰 것을 사용하는 게 좋다.

그 밖에 시험기구로서는 삼각플라스크, 피펫, 초음파세정기 등이 필요하며 고농도의 농약이나

용매 등을 사용하기 때문에 약제를 사용할 때에는 반드시 피펫을 이용하여야 한다.

2) 공시어

공시어는 원칙적으로 전장 5cm 전후의 잉어를 사용한다. 단 그 농약이 눈에 사용되는 것이 아닐 경우에는 송사리과의 어류인 medaka나 topminnow 등을 사용해도 좋으나 이 경우에는 그 독성이 다른 농약의 독성과 용이하게 구별할 수 있도록 참고자료 등을 같이 기재해야만 한다. 또한 공시어는 시험조건에 적응이 되도록 하기 위하여 입수후 시험을 시작할 때까지 최소 일주일의 기간을 두어야 한다. 이 기간중에는 1일 1회 급여를 하고 시험을 시작하기 18시간 전부터는 절식을 시켜야 한다.

시험을 행함에 있어서는 공시어의 크기를 가능한 일정하게 맞추고 동일시험에 사용하는 것은 동일한 조건에서 입수한 것으로 한다. 이 시험에서는 질병에 걸렸거나 외견이나 행동에 이상이 있는 물고기는 사용하지 않는다.

잉어는 4~5월에 알로부터 부화하여, 7~8월경에 5cm 전후로 성장하기 때문에 이 시기를 놓쳐서는 시험을 행할 수 없다. 잉어의 크기가 예상했던 것보다 클 경우에는 수조의 용량이나 시험약제의 양이 위의 비율에 미치지 않을 수 있으므로 주의해야 한다. 송사리나 붕어 등을 사용하는 경우에는 동시에 대조약제에 대해서 시험을 행하여 시험결과에 객관성이 있도록 한다. 대조약제에는 PCP-Na가 적당하다.

3) 시험조건 및 조작

시험에 있어서 수온은 20~28°C로 하고 시험기간 중의 수온의 변화는 $\pm 2^\circ\text{C}$ 이내로 하도록 한다. 공시약액의 각 농도에 대하여 동시에 시험하는 개체수는 적어도 10마리 이상으로 한다. 시험약액의 양은 공시어의 체중 1g에 대하여 1ℓ 이상으로 하고, 1g 이하의 물고기에서도 한 마리당 1ℓ 이상으로 한다. 이 정도의 수량이 있어야만 시험도중에 공기주입을 필요로 하지 않기 때문이다. 대조군에 사용되는 물은 시험군에서 회석에 사용된 물로 하며 대조군에서 10% 이상의 폐사를 보인 경우에는 이 시험의 결과는 사용하지 않는다.

시험을 행하기 전에 미리 농약의 10배회석의 계열을 준비해 놓아 이를 사용하여 예비실험을

행한다. 개략의 TL_m 값을 추정하여 다음에 농도간격을 더욱 좁게하여 본 시험에서 정확한 TL_m 값을 구하도록 한다. 공시약액의 농도는 等比級數의으로 선택한다. 어류는 약액의 농도차에 민감하게 반응하므로 등비급수의 公比는 작게한다. 공비가 4/3 이하가 된 경우에는 시험을 중단한다.

시험도중 사망한 어체는 발견 즉시 제거한다. 생사의 판정은 어체에 자극을 주었을 때의 반응의 유무에 의하여 생존하였어도 유영을 할 수 없는 것도 같이 기재한다.

4) 시험결과와 고찰

시험결과로부터 TL_m 값을 구하기 위해서는 다도로프법에 의한다. 즉 편대수 그래프의 대수 눈금에 시험약액의 농도를 적고, 보통눈금에는 생존율을 적어서, 측정한 생존율이 50%보다 높은 점과 낮은 점에서 가장 50%에 가까운 것을 선택한다. 이 양점을 직선으로 연결하여 50%선과 교차하는 점의 농도를 TL_m 값으로 한다.

이와같이 하여 50%전후의 생존율을 나타내는 농도를 구하면 作圖法에 의해 TL_m 값을 구한다. 50%전후라 함은 25~75%를 말한다. 그러나 만일 생존율이 0%나 100%이더라도 바로 전후 단계의 시험농도비가 4/3 이내의 결과라면 이를 이용하여 구한 TL_m 값은 실제적으로 정확한 값이라 할 수 있다. 물론 농도의 단계를 많이 만들어 probit법에 의하여 계산하여도 무방하다. 시험결과에는 수온과 용기의 종류 등의 시험조건을 반드시 기재한다.

5) 공시약제의 취급

어떤 농약의 시험은 그 약제와 함께 원료성분에 대해서도 독성시험을 행하는 것이 바람직하다. 물에 친화성이 없는 성분은 가능한 소량의 적당한 용제를 첨가하여 현탁하도록 한다. 또한 용제를 사용한 경우에는 용제만을 넣은 대조구를 만들지 않으면 안 된다.

분말제제나 수용성제제는 가능한 그 독성을 파악하도록 하나 이 경우 용제 등을 첨가하지 않는다. 필요에 따라서는 물고기를 넣기 직전 및 24시간 후에 공시약액을 교반하도록 한다. 또한 이들은 약제가 수면에 부유하므로 물고기가 수면 가까이에 모이는 일이 없도록 주의해야 한다.

표 3. 각종 농약의 어류 및 물벼룩에 대한 반수치사 농도

(LC₅₀ ; ppm)

공시어류 처리시간(hr) 농약명	잉어	송사리	미꾸라지	물벼룩
	48	48	48	3
<살충제>				
찰답	0.78(原)	0.13(溶)	0.11(溶)	>40(原)
다리아진	3.2(原)	5.3(原)	0.50(原)	0.08(原)
피리다펜치온	13(原)	9.5(原)	14(原)	0.025(原)
부푸로페진	>40(水)	>40(水)	>40(水)	>40(水)
마라손	23(原)	0.75(原)	14(原)	0.030(原)
BPMC	16(原)	1.7(原)	17(原)	0.32(原)
MEP	8.2(原)	7.0(原)	4.8(原)	0.050(原)
MPMC	>10(原)	12(原)	27(原)	0.07(原)
NAC	13(原)	2.8(原)	13(乳)	0.05(原)
PAP	2.5(原)	0.17(原)	1.3(乳)	0.008(原)
<살균제>				
이소프로치오단	6.8(原)	5.0(原)	14(原)	35(原)
치오파네트메틸	11(原)	11(水)	65(水)	>40(原)
트리시크라졸	13(粒)	13(粒)	15(粒)	>40(粒)
히드로키시이소키사졸	>40(原)	>40(原)	830(液)	>40(原)
베노밀	7.5(原)	11(水)	14(水)	14(原)
만네브	1.8(水)	3.3(水)	73(水)	>10(原)
메프로닐	13(水)	13(原)	23(水)	38(水)
DPC	0.16(原)	0.21(乳)	0.25(乳)	0.88(原)
EDDP	2.5(原)	1.8(乳)	0.35(原)	0.27(原)
IBP	>10(原)	7.2(乳)	15(乳)	2.3(原)
<제초제>				
아이오키시닐	0.21(原)	0.16(乳)	3.5(乳)	>40(原)
아미프로포스메틸	3.2(原)	2.7(原)	2.6(原)	2.8(原)
이소우졸	>40(水)	>40(水)	>40(水)	>40(水)
옥사디아존	3.2(原)	13(原)	15(原)	>40(原)
글리코사드	150(原)	190(原)	150(原)	170(原)
크로메토시닐	1.5(原)	0.89(原)	28(原)	>40(原)
시메토린	25(原)	>10(原)	28(水)	>40(原)
피라졸레드	0.75(原)	0.73(原)	0.70(原)	>40(原)
부타크롤	0.62(原)	1.7(原)	1.4(原)	21(原)
DPA	>40(原)	>40(原)	>1,000(水)	>40(原)

注) 溶: 용제, 原: 원료성분, 水: 수용성 제제, 乳: 유제, 粒: 분말제제

유제의 경우는 원료성분, 용제, 유화제의 조합에 의해 원료성분 단독으로의 독성이라고 생각할 수 없는 독성을 나타내는 경우가 있다. 때문에 formulation이 다를 경우마다 시험을 행하

여야 한다.

혼합제제의 독성은 개개의 약제의 독성을 모두 합하여 나타나는 것이 아니므로 각 조합과 혼합비에 따라 각각을 시험하지 않으면 안된다.

6) 溶劑

수용성의 원료성분이나 제제는 그대로 물에 넣어 시험을 행할 수가 있으나 물에 녹기 어려운 성분은 적당한 용제를 사용해야만 한다. 용제를 선정함에 있어서 그 용제가 농약의 원료성분을 잘 용해시켜야 하고(지용성), 물에 잘 녹아야 하며(수용성) 또한 인축과 어패류에 대한 독성이 낮아야 한다는 조건을 만족해야 한다.

그리고 이 조건을 만족하면서 용질의 성질과 종류에 적당한 것을 선택해야 한다. 예를 들면 Captan, Diram 등의 약제는 아세톤이나 에탄올에는 잘 녹지 않으나 디메틸설폭시드에는 아주 잘 녹는다. 또한 탄화수소계, 할로젠화 탄화수소계, 지방산계, 에스테르계, 페놀계 등의 대부분은 수용성과 어패류에 대한 독성에 있어서 문제점이 발견되어 시험용제로서 적당하지 않다고 생각된다.

2 그 밖의 어류에 대한 시험법

이상의 잉어에 대한 독성시험법과 물벼룩에 대한 시험법을 토대로 한 농약의 수생동물에 대한 독성의 대략의 경향이 밝혀져 안전사고 대책의 기초가 확립되었으나 그후의 과학기술의 진보나 폐사사고의 실태조사로부터 잉어나 물벼룩과 농약에 대한 감수성이 현저하게 다른 생물이 적지 않음이 알려졌다.

1) 송사리(medaka)

잉어와 같은 시험법을 적용해도 좋다. 수조는 내경이 20cm, 깊이 10cm의 유리수조에 2:1의 공시약액을 넣어, 여기에 5마리의 공시어를 수용해도 좋으며 공시어로서 반드시 성어를 이용

한다. 또한 송사리는 해수에 순화하는 것도 가능하다.

2) 미꾸라지

잉어에 대한 시험법을 그대로 적용한다. 사육에는 논의 토양을 수조바닥에 깔아 주는 것이 좋다.

3) 무지개송어

치어를 이용한다. 50:1의 약액중에 10마리씩 수용한다. 수온은 16°C, 처리시간은 48시간으로 한다.

3. 각종 수생동물에 대한 대표적인 농약의 독성시험 결과와 금후의 과제

각종 수생동물에 대한 대표적인 농약의 독성 시험 결과는 다음과 같다.

잉어와 물벼룩 외에 십수종류의 수생동물에 대한 시험법은 지금까지 대략 확립이 되어 농약의 독성, 생물의 감수성의 대략적인 경향이 밝혀졌다.

그러나 이제까지의 시험은 담수산의 수생동물을 대상으로한 止水條件下의 급성독성시험이었다. 앞으로는 대상을 해수산의 수생동물로 확대함과 동시에 유수조건하의 장기독성시험법의 확립을 꾀해야 하겠다.

유수식 시험장치에는 규모나 목적 등에 따라 여러가지가 있으나 한 예를 들면 일정수온을 유지하도록 설정된 폭기상태의 우물물을 200ℓ 용량의 유리수조로 끌어 들이고 한편으로는 기대 농도를 유지하기 위해 마이크로펌프로 약액을 주입하는 방식이 있다.