

어류의 아가미는 물과 직접 맞닿은 얇은 상피를 통해 산소를 받아들이고 이산화탄소를 내보낸다. 이런 구조는 기체 교환에 유리하지만, 같은 표면을 통해 물과 이온도 비교적 쉽게 이동한다는 점에서 체액 조절에는 부담이 된다. 따라서 아가미는 호흡 기관 이면서도 체액의 물과 염분을 일정한 범위에 유지하는 기관이다. 특히 어류는 담수와 해수처럼 바깥물의 염분 농도가 크게 다른 환경에 놓일 수 있고, 같은 환경에서도 활동량이 달라질 수 있으므로, 아가미가 감당해야 하는 조절의 방향과 크기는 조건에 따라 달라진다.

아가미 상피에는 이온을 능동적으로 옮기는 이온세포가 분포한다. 이 세포의 혈액 쪽 막에는 ㉠나트륨-칼륨 펌프가 있어 세포 안의 나트륨 이온 농도를 낮게 유지한다. 이렇게 만들어진 농도차는 다른 수송 단백질이 이온을 들이거나 내보내는 데 이용된다. 해수형 이온세포에서는 혈액 쪽에서 염화 이온을 세포 안으로 모아 온 뒤, 물 쪽 막의 ㉡염화 이온 통로를 통해 이를 밖으로 내보낸다. 이때 생기는 전기적 차이 때문에 나트륨 이온은 세포 사이 경로를 따라 몸 밖으로 빠져나간다. 반면 담수형 이온세포에서는 물 쪽 막의 수송 단백질들이 희석된 물속에서 나트륨 이온과 염화 이온을 끌어들이는 것이다. 같은 이온세포라도 어느 막에서 어떤 수송이 우세한지에 따라 기능 방향이 달라지는 것이다.

담수 어류의 체액은 주변 물보다 염분 농도가 높다. 그래서 물은 몸 안으로 들어오려 하고, 이온은 몸 밖으로 빠져나가려 한다. 이 조건에서는 물을 많이 마실 이유가 없으므로 담수 어류는 대체로 물을 거의 마시지 않고, 신장에서 묽은 오줌을 많이 만들어 들어온 물을 배출한다. 그러나 오줌을 많이 만들수록 이온 손실 위험도 커지므로, 이온세포는 물 쪽에서 부족한 나트륨 이온과 염화 이온을 적극적으로 흡수한다. 따라서 담수 조건에서 체액 조절은 물 유입 자체를 없애는 방식이 아니라, 들어온 물은 빠르게 내보내고 빠져나가는 이온은 다시 보충하는 방식으로 이루어진다.

해수 어류는 반대의 문제를 겪는다. 바깥물이 체액보다 짜기 때문에 물은 몸 밖으로 빠져나가려 하고, 이온은 몸 안으로 들어오려 한다. 그래서 해수 어류는 바닷물을 마신 뒤장에서 물을 흡수하여 손실된 수분을 보충한다. 그러나 이 과정에서 함께 들어온 염류를 그대로 둘 수는 없으므로, 아가미의 이온세포는 염화 이온 통로를 통해 염화 이온을 내보내고, 나트륨 이온은 세포 사이 경로를 따라 빠져나가게 만든다. 한편 신장은 물을 지나치게 잃지 않도록 오줌의 양을 줄이며, 주로 마그네슘 이온이나 황산 이온 같은 2가 이온을 배출한다. 이 때문에 해수 조건에서는 단가 이온의 주된 배출 장소와 2가 이온의 주된 배출 장소가 서로 다르게 나뉜다.

담수와 해수를 오가는 어류는 환경이 바뀔 때 아가미의 조절 방식도 바꾼다. 담수에 있을 때 우세하던 담수형 이온세포는 해수로 옮겨 가면 줄어들고, 염화 이온을 밖으로 내보내는 방향의 수

송이 강한 세포가 늘어난다. 아가미 상피의 성질도 함께 조정된다. 표면이 지나치게 새기 쉬우면 물과 이온의 수동적 이동 부담이 커지고, 보호층이 너무 두꺼워지면 기체 확산의 거리가 길어질 수 있기 때문이다. 따라서 같은 어류라도 환경 염분이 달라지면 이온세포의 종류와 비율, 그리고 표면의 투과성이 함께 달라질 수 있다. 여기서 중요한 것은 아가미가 기체 교환과 삼투 조절을 따로 수행하는 기관이 아니라, 같은 표면에서 두 과정을 동시에 처리한다는 점이다.

여기에 활동량의 차이도 새로운 조건으로 작용한다. 빠르게 수영하거나 산소 요구량이 커진 상태에서는 아가미를 지나는 물의 양과 혈류량이 함께 늘어나기 쉽다. 그러면 기체 교환은 유리해지지만, 같은 표면을 통한 물과 이온의 수동적 이동 부담도 커진다. 해수에 적응한 어류에서는 물 손실과 염류 유입을 보상해야 하는 부담이 더 커질 수 있고, 담수 어류에서는 이온 손실을 다시 보충해야 하는 부담이 더 커질 수 있다. 즉 아가미의 조절은 염분 환경만으로 정해지는 것이 아니라, 그때의 활동 상태까지 포함한 조건 속에서 이루어진다.

1. 밑글의 내용과 일치하지 않는 것은?

- ① 담수 어류에서는 물이 몸 안으로 들어오려 하고 이온은 몸 밖으로 빠져나가려 한다.
- ② 해수 어류에서는 단가 이온과 2가 이온의 주된 배출 장소가 서로 다를 수 있다.
- ③ 이온세포의 기능 방향은 어느 막에서 어떤 수송이 우세한지에 따라 달라질 수 있다.
- ④ 아가미 상피가 지나치게 새기 쉬우면 물과 이온의 수동적 이동 부담은 줄고, 기체 교환만 더 유리해진다.
- ⑤ 활동량이 커지면 기체 교환에 유리한 조건이 물과 이온의 수동적 이동 부담도 함께 키울 수 있다.

2. ㉠, ㉡에 대한 이해로 가장 적절한 것은?

- ① 나트륨-칼륨 펌프와 염화 이온 통로는 모두 물 쪽 막에 있어, 해수형 이온세포가 염류를 밖으로 내보내는 데 같은 방향으로 작용한다.
- ② 나트륨-칼륨 펌프는 세포 안의 나트륨 이온 농도를 높여 염화 이온 통로를 통과하는 염화 이온의 이동을 직접 억제한다.
- ③ 나트륨-칼륨 펌프가 만드는 농도 차는 다른 수송 단백질의 작동 조건이 되며, 염화 이온 통로는 해수형 이온세포에서 염화 이온을 몸 밖으로 내보내는 데 관여할 수 있다.
- ④ 염화 이온 통로가 작동하면 나트륨 이온도 같은 통로를 지나 몸 밖으로 나가므로, 세포 사이 경로는 필요하지 않다.
- ⑤ 담수형 이온세포에서는 나트륨-칼륨 펌프가 사라지고, 염화 이온 통로만 남아 이온 흡수를 담당한다.

3. 밑글을 바탕으로 <보기>를 이해한 내용으로 적절하지 않은 것은?

<보기>

기수역에 사는 어류 X를 서로 다른 조건에 두고 관찰하였다.

조건	물 섭취	오줌량	아가미의 우세한 방향	추가 관찰
(가) 담수, 안정 상태	거의 없음	많음	물 쪽에서 이온 유입	체액 이온 보충 필요 큼
(나) 해수, 안정 상태	많음	적음	염화 이온의 체외 배출	2가 이온은 주로 신장 처리
(다) 해수, 고탈동 상태	많음	적음	염화 이온의 체외 배출 유지	수분 보상 부담 증가

- ① (가)는 담수에서 물 유입과 이온 유출이 함께 일어나는 상황에 대한 조절 방식으로 볼 수 있다.
- ② (나)는 해수 조건에서 단가 이온과 2가 이온의 주된 처리 장소가 나뉠 수 있음을 보여 준다.
- ③ (다)는 해수 적응이 이루어진 뒤에도 활동량 변화가 추가적인 조절 부담을 만들 수 있음을 보여 준다.
- ④ (가), (나), (다)는 모두 아가미 기능과 무관하게 신장만으로 체액 조절이 이루어진 경우로 이해할 수 있다.
- ⑤ (나)와 (다)를 함께 보면, 같은 해수 조건이라도 활동 상태가 달라지면 조절 부담의 크기는 달라질 수 있음을 알 수 있다.

4. 밑글을 통해 알 수 있는 내용으로 가장 적절한 것은?

- ① 담수 조건에서 이온세포의 이온 흡수는 오줌량 증가와 무관하므로, 두 과정은 서로 독립적으로 이해하는 편이 옳다.
- ② 해수 조건에서 바닷물을 마시는 행동은 염류를 배출하기 위한 직접적인 수단이므로, 장에서의 물 흡수와는 별개의 과정이다.
- ③ 같은 아가미라도 환경 염분과 활동 상태가 달라지면, 필요한 수송 방향과 수동적 이동 부담이 함께 달라질 수 있다.
- ④ 아가미 표면의 보호층이 두꺼워지면 물과 이온의 이동만 줄어든 뿐, 기체 확산 거리에는 영향을 주지 않는다.
- ⑤ 담수와 해수를 오가는 어류는 환경이 바뀌더라도 담수형과 해수형 이온세포를 같은 비율로 유지하는 것이 가장 안정적이다.