

R3

수서생태계의 구조, 에너지 흐름과 물질순환에서 필수지방산의 역할

박 상 규

한국생명공학연구원, 대전 305-333

물환경에서 가장 심각한 문제 가운데 하나는 조류의 대량증식(녹조, 적조현상)이다. 녹조는 수돗물의 악취, 물고기 폐사, 및 정수장에서의 여과사 막힘 문제 등 심각한 환경문제, 경제문제를 일으킨다. 이러한 문제들을 해결하려면 우선 심연대 먹이 그물을 이해하여야 한다. 심연대 먹이 그물은 식물성플랑크톤, 동물성플랑크톤 및 물고기로 이어지는 고전적인 먹이 사슬과 박테리아, 중속영양 극미편모류(HNF) 및 섬모류로 구성된 미생물 먹이그물로 구성된다. 이중 식물성플랑크톤, 박테리아, 편모류, 섬모류등을 합쳐서 부유물(seston)이라고 부른다. 이러한 복잡한 심연대 생태계를 에너지 흐름의 관점에서 볼 수 있다. 부영양화된 호수에서는 대부분의 일차생산이 동물성플랑크톤에 의해 바로 이용되지 않고 미생물 먹이그물로 흘러간다. 반면에 빈영양호수에서는 많은 에너지가 일차생산자로부터 소비자로 직접 흘러간다. 조류의 대량 증식은 한편으로는 일차생산자에서 소비자로의 에너지 흐름이 원활하지 않은 결과로도 볼 수 있다. 이러한 에너지 흐름의 효율 즉 에너지 전이 효율에 대해 부유물의 먹이질(food quality)이 아주 중요한 결정 요인이라고 많은 연구자들이 생각하고 있다. 어떤 요인이 에너지 전이 효율을 조절하는 요인인지에 대한 연구는 아주 중요한데, 첫째, 이러한 연구는 녹조나 적조등을 먹이질을 향상시킴으로써 소비자의 섭식에 의해 조절할 수 있는 가능성을 열어 줄 수 있고, 둘째 에너지 전이 효율은 먹이그물을 통해 독성물질이 전이 되는 메커니즘을 이해하는데 필수적이다. 마지막으로 물고기 생산을 증가시킬수 있는 메커니즘을 밝혀낼 수 있을 것이다.

부유물 먹이질과, 일차생산자와 초식자간의 에너지 전이와의 관계를 규명하기 위해 1996년 여름에 미국 캘리포니아주 캐슬 호수에서 다섯 번의 연속적인 마이크로코스미(microcosm) 실험을 수행하였다. 동시에 고도불포화지방산(HUFA)이 물벼룩 개체군 성장, 번식, 생존에 미치는 영향을 밝히기 위해 생명표(life table) 실험을 수행하였다. 물벼룩 생산은 마이크로코스미 실험과 캐슬 호수에서 모두 일차생산과 연계되었다. 물벼룩 생산 효율, 즉 물벼룩 생산성의 일차생산성에 대한 비는 여름 끝으로 갈수록 떨어졌다. 생명표 실험에서는 물벼룩의 개체군 성장과 생존에 대한 HUFA의 영향을 보여 HUFA 가설을 지지하였다. 두 번째 연구에서는 연속적인 실험을 통하여 세가지 다른 조류먹이(*Rhodomonas*, *Scenedemus*, *Synechococcus*)와 다양한 생리 상태(질소 및 인 제한) 조건에서 자란 물벼룩의 성장을 측정함으로써 조류의 지방산과 원소 조성이 물벼룩 성장을 예측할 수 있는 지 검증하였다. 실험에 쓰인 조류 종들은 중별로 필수 지방산 조성이 아주 달랐고 인이나 질소 제한 여부는 이들의 ω 3-과불포화지방산(PUFA) 함량에 작은 영향만 주었다. 조류의 ω 3-PUFA는 단독으로 물벼룩의 표준화된 생산의 69%를 설명하였고 조류의 인 함량은 11%를 설명하였다. 물벼룩 성장의 정량적인 모형은 조류의 ω 3-PUFA와 탄소대 인 비 모두 이용하였다. 두 지표를 함께 이용하면, 물벼룩의 표준화된 생산의 70%를 설명할 수 있었다. 이 결과를 보면 필수지방산이 인 함량보다 조류의 먹이질 결정에 있어서 더 큰 영향을 주는 것으로 보인다. 세 번째 연구에서는 베리에서 저수지에서 동물플랑크톤 특히 물벼룩의 생물량 동태를 예측하는데 부유물 먹이질이 중요한 요인인지 알아보았다. 부유물 조성은 연구기간 동안 급격하게 바뀌었다. 물벼룩의 생물량과 총 동물플랑크톤 대 부유물 생물량 비는 봄철에 높았다. 부유물의 필수지방산, 즉 eicosapentaenoic acid(EPA)와 α -linolenic acid(ALA), 그리고 총 ω 3-불포화지방산의 양은 총 동물플랑크톤의 생물량 및 동물플랑크톤 대 부유물 생물량 비와 유의하게 상관관계가 있었다. 자연 부유물을 먹이로 발달 이루어진 성장 실험에서 EPA 농도는 물벼룩 성장을 가장 잘 설명하는 요인이었다. EPA 농도, 탄소 대 인 비, 수온을 요인으로 물벼룩 성장 모형을 개발하였다. 세 요인을 모두 고려한 성장 모형이 봄철의 물벼룩 생물량을 가장 잘 설명하였다. 하지만 다른 계절의 생물량은 잘 설명되지 않았는데 이는 부유물 먹이질을 통한 상향식 자원 조절이 이 저수지에서는 단지 봄철에만 중요하다는 것을 시사한다. 네 번째 연구에서는 여름철 부유물 특히 오메가3 다중불포화지방산 함량이 호수의 부영양화 정도와 연관이 있다는 것을 보였다. EPA와 DHA와 같은 오메가3지방산 함량이 호수의 총인농도가 증가함에 따라 로그-로그 스케일에서 선형적으로 감소하였다. 이전에 알려진 물벼룩 성장과 EPA함량에 대한 경험적인 모형을 이용하면 물벼룩의 이차 성장을 예측할 수 있다. 이를 통해 부영양화가 진행되면서 호수의 생산성은 증가하지만 에너지 전이 효율은 떨어지는 것을 생산자-소비자 인터페이스에서 오메가3 다중불포화지방산과 관련된 먹이질의 차이에 의해 설명할 수 있다. 가장 최근의 연구에서는 중속영양생물이 부유물의 먹이질을 향상시키는 가능성을 조사하기 위해 남세균 *Microcystis aeruginosa* 배양종을 이용하여 인위적인 분해실험을 하였다. 분해실험중에 클로로필 a는 계속 감소하였다. EPA와 DHA 농도는 5일째에 증가한 반면 18:3 ω 3와 18:4 ω 3 농도는 감소하여 EPA와 DHA가 18:3 ω 3와 18:4 ω 3로부터 전환되었음을 시사하였다. 현미경으로 조사한 결과 중속영양편모류(HNF)가 5일째에 급격히 증가하였는데 주사현미경으로 동정해보니 *Paraphysomonas vestita*라는 종이였다. 이 편모류의 생물량은 EPA농도와 아주 높은 상관관계를 보였다. 이러한 연구성과를 바탕으로 앞으로 단기적으로는 필수지방산을 생산하는 새로운 방법, 규조류 및 녹조를 제거하는 물벼룩 시스템, 영양소를 제거하는 조류-물벼룩 시스템 등 환경기술(ET)쪽 연구가 가능하다. 앞으로 유기농법 및 관행농법으로 이어지는 논의 먹이 그물 비교 등 농업생태학적인 연구를 수행할 예정이다. 특히 농업생태계의 토양 미생물군집의 구조를 조사하는 데 있어서 인지질의 지방산 분석(Phospholipid Fatty Acid Analysis)을 이용한 기법을 개발중에 있고 이를 T-RFLP와 같이 토양에서 추출한 DNA를 분석하는 방법과 비교할 예정이다.