

[Note]

민물말류 군집 생태 연구시 생체량 계산의 의미와 예

정 상 옥*

(국립수산과학원 내수면생태연구소)

Short Note on Freshwater Algal Biomass Measurements and Significance in Ecological Community Studies

Sang Ok Chung*

Inland Fisheries Ecological Research Institute, NFRDI, Gapyong-Gun, Gyeonggi 477-815, Korea

Freshwater algae make up a very important portion of the autotrophic component of the aquatic food web. Therefore, the study of freshwater algal structure and biomass is central to aquatic ecosystem studies. Due to variations in cell shape and size for each species (or taxon) and survey site, cell abundance (or cell numbers per chosen volume) often leads to misrepresentation of the true importance of some species because of the great differences in size of various algae. Thus, it is necessary to investigate the freshwater algal species of a site in order to calculate the cell volume. Although direct cell counting, species volume measurement, as well as biomass calculation are time-consuming and requiring specialists in taxonomy.

Key Words: abundance, biomass, cell volume, count, freshwater

서 론

민물 말류(Freshwater algae) 각 개체 또는 각 분류군당 세어진 개체수(abundance)와 크기를 제쳐 세포부피 계산식으로 바꿔서 생체량으로 환산하는 이유는, 선택 연구한 물 생태계(여기선 water column 상의 어느 깊이 기준)의 민물 말류 군집(phytoplankton community 또는 freshwater algal community) 구조를 기반으로 한 생태학 해석과 비교를 위해서다. 대부분의 채집된 물은 그 양이 아주 적어도 현미경적 생명체인 민물 말류의 군집을 관찰할 수 있다.

민물 말류의 동정과 세포수 세기(counting) 자체가, 어느 수준 이상의 경험과 시간이 필요하며, 생체량 환산을 위해 각 분류집단 별로 이용할 수 있는 기하학적 대표(평균 또는 median 값에 의한 equivalent value) 부피식을 각각의 연구 장소와 시간적인 변화에 맞추어 적절하게 바꾸어 이용해야 하는 일이 계속 요구된다. 다시 말하면, 종 동정과 분류에 필요한 훈련이 선행되어야 하고, 실제로 많은 시간과 노력이

필요한 현미경 검정작업을 수행해야 한다. 특히 크기가 대략 5 μm 보다 작은 종의 경우 주사전자현미경(SEM)이나 투과전자현미경(TEM) 등에 의한 관찰이 필수적인 경우가 많다.

국내에서는 Sedgwick-Rafter(S-R) cell(대물렌즈 8x-20x) 법(Wetzel & Likens 1991)이 많이 활용되고 있는데, 10-15 μm 보다 작아 동정이 어려운 경우는, Utermöhl (1958) 방법을 추천할 수 있다(Wetzel & Likens 1991).

이 방법은 일정량 이상(보기: 10-40ml)의 채집된 물을 침강 튜브(sedimentation chamber)에서 적절히 계산된 시간 동안 침전시킨 후 도립 현미경(inverted microscope)으로 높은 배율로 관찰하여 종을 확인할 수 있다.

식물플랑크톤량 대표값과 세포 수도(cell abundance)의 비교

식물플랑크톤량은 세포 수도, 세포부피, 말류와 흡착물 혼합체(seston)의 무게, 세포내 탄소:질소:인 함량, 색소 또는 ATP 함량 등으로 표시할 수 있다. 세포 수도는 각 종의 분포 양상 이해에 중요 정보를 제공하지만, 자연환경의 식물플랑크톤 연구에서는 종마다 다양한 세포부피와 발달단계에 따라 다른 세포무게를 반영하기 어려우므로, 각 종의 평균 세

*Corresponding author (csok1217@yahoo.co.kr)

포 부피와 관찰된 수의 곱으로 추정된 생체량을 이용한다 (Trevisan 1976; Smayda 1978; Reynolds 1984; Wetzel & Likens 1991). 세포크기는 종에 따라 큰 차이(1-1,000 μm)가 있다. Panama 해협에서 채집한 규조류의 경우, 50 μm^3 인 *Nitzschia* 종부터 12 \times 10⁶ μm^3 인 *Rhizosolenia* 종 까지 관찰되었는데, 총규조수 145,280 cells \cdot l⁻¹에서 *Rhizosolenia* 종이 리터당 80세포였는데 총규조 생체량은 1.6 mg \cdot l⁻¹으로 60%를 차지하였다(Smayda 1978). 따라서 세포수도로써 생체량으로 나타내는 것은 문제가 있다.

생태학 의미의 생체량

생체량이 수도 비교보다 생태계의 기능 해석에 있어서 의미가 있음은 이미 잘 알려진 사실이다(Odum 1971). 또한 세포부피를 구하는 대표적 방법인 Utermöhl법이 불편함에도 쓰이는 이유는 기본적으로 종조성 연구외에도 물의 영양 상태(trophic state) 평가도 가능하기 때문이다(Rott 1981).

물생태계에서 식물플랑크톤 생체량 변화는 영양염 연구와 필요도, 적응 행위, 생산성, 개체군 동태학, 수질에 영향을 끼쳐서(Willen 1976, Reynolds 1984, Wetzel & Likens 1991), 광합성률, 동화율, 초식자의 섭식률에 영향을 주게 된다. 또한 식물플랑크톤의 경우, 한 종의 세포 크기는 계절 별로 변이가 심하고 같은 종이라도 생육환경이 다르면 세포크기에 차이가 있다(Wetzel & Likens 1991). 더 나아가 세포 모양의 변화도 매우 다양하므로, 한 종을 대표할 기하학적 모양(equivalent geometric shape)의 선택은 세포부피(cell volume) 측정을 위한 식(formula)을 만드는 바탕이 되므로 적합한 표본의 선택은 매우 중요하다. 더욱 어려운 것은 (1) 군체상에 작은 세포의 모임인 남세균 종(*Microcystis*, *Anabaena*, etc.)의 경우는 세포수를 세기 어렵고 (2) 복잡한 형태의 dinoflagellates 같은 경우에는 적합한 대표식을 선택하는 것이 쉽지 않다. 후자의 경우는 되도록 간단한 식을 추천하기도 한다(Rott 1981).

부피 구하기와 문제점

일반적으로 무작위로 선택한 최소 25개 세포의 정확한 세포모양과 크기(dimension)가 필요하며(Smayda 1978), 각 세포부피의 평균으로 확산하여 생체량을 추정할 수 있다.

이 방법은 지루하고 힘든 작업이며, 작은 개체의 중요도가 과장될 가능성이 많은 세포 수도의 경우와는 달리 큰 개체의 중요도를 과장할 가능성이 크다.

관찰자의 종 동정 숙련도와 경험에 따라 같은 연구지의 같은 시기에 뜬 동일한 물 표본에서도, 종 분류와 개체수 세기에는 최소 20%에서 최대 500%까지 관찰자 간의 차이가 있다(Willen 1976). 세포부피식을 선택하는 경우의 수를 포함하면 환산편차의 결과치 차이는 더욱 커질 수 있다. 그래서

믿을만한 결과를 얻기 위해서 Utermöhl(1958)은 가장 중요한 종이라면 최소한 100명이 동일한 표본에 관해 관찰한 결과를 기본으로 환산하기를 권유한 바 있다. Rott(1981) 역시 각 연구자에 따른 결과의 신빙성 판단에 어려움을 밝힌 바 있다. 우점종(수도 또는 부피에 따른 생체량)의 경우는 환산식과 평균치 등을 구하는 과정에서 객관적 검증이 다양하게 진행될 수 있지만, 그렇지 않은 희귀종이나 수도가 낮은 종의 경우는 미묘한 선택의 차이가 연구자에게 남겨진다. 기록상에 관찰되었다고 표시할 지, 아니면 통계학적으로 유의(보기: 표본수가 30개 이상) 하지 않지만 이를 포함하여 다 환산할 경우 신빙성에 대한 문제가 제시된다. 실제적으로 문제를 더 복잡하게 할 수 있는 것은 이미 고정되어 3차원적 모습으로 측정이 용이하지 않을 경우이다.

세포부피를 구하기 전에 세포의 크기를 젤 때에는 고정된 표본의 부피가 줄어드는 경우가 많으므로 되도록 산 상태로 채는 것이 좋다(Rott 1981). 그러나 규조류 같이 유기물이 세척되고 고정된 상태에서만 종동정이 가능한 경우가 많아 관찰자의 경험과 선택에 의존할 수밖에 없다.

세포부피는 Rott(1991)의 생체량 환산법(10⁹ $\mu\text{m}^3 = 1 \text{ mg/l}^{-1}$)으로 바꿀 수 있으며, 이 단위는 다른 화학 단위와 비교 가능하며, 부피 계산법 도입 이유인 세포내 탄소:질소:인 함량 계산 (Mullin *et al.* 1966, Strathmann 1967)으로도 전환될 수 있다.

결론과 전망

물생태계의 구조와 기능을 연구할 때 민물말류 또는 식물플랑크톤은 여러가지 현상을 종합적으로 보여주는 중요한 구성원이다. 이를 양적 또는 질적으로 나타내는 방법으로 세포 수도보다 힘들고 지루한 방법으로 세포부피를 실측한 다음 부피식으로 생체량 단위로 환산하는 방법이 쓰이고 있다. 오래 전부터 Utermöhl(1958) 방법이 쓰이고 있지만 관찰자의 훈련정도와 개인의 선택에 따라서 환산식 결과에 많은 차이가 있다.

힘들고 계속되는 노력(연구 대상지마다, 연구 시기에 따라서)이 요구되는 이 방법은, 만일 (1) 연구지 현장에서 민물말류 세포내 탄소:질소:인 함량이 자동으로 측정되거나 (2) 기존에 구축된 신뢰할 만한 자료와 환산식이 있어서 이를 바탕으로 한 종 동정, 세기, 환산식이 자동화 된 측정기구의 발명이 이루어지면, 방법이 표준화 될 수 있고 앞에 언급한 번거로움이 줄어들 수 있을 것이다.

감사의 말씀

본 연구는 박사학위 주제를 연구하는 과정에서 다루어진

것으로 당시에 많은 도움을 주신 플루즈 3 대학 CESAC 연구소 여러분께 감사의 말씀을 드립니다. 아울러 참고문헌 보충에 도움을 주신 Michel Coste 선생님께 감사의 말씀 전합니다. 현재 연구중인 공주대 유해조류대발생 예방연구실 여러분께 아울러 감사드리며 재정 지원은 KISTEP M1020300000702J000000510로 이루어졌습니다.

참고문헌

- Margalef R. 1983. Biologia del fitoplancton. In: *Limnologia*. Ediciones Omega S.A., Platon 26. Barcelona 6. 1010.
- Mullin M.M., Sloan P.R. and Eppley R.W. 1966. Relationship between carbon content, cell volume, and area in phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* **11**: 307-3011.
- Nalewajko C. 1966. Dry weight, ash, and volume data for some freshwater planktonic algae. *J. Fish Res. Bd. Canada* **23**: 1285-1288.
- Odum E.P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. (3rd ed.). W.B. Saunders Company, 574 pp.
- Reynolds C.S. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 384 pp.
- Rott E. 1981. Some results from phytoplankton counting in intercalibrations. *Swiss J. Hydrobiol.* **43**: 34-62.
- Smayda T.J. 1978. From phytoplankters to biomass. In: Sournia A. (ed.), *Phytoplankton manual: Monographs on oceanographic methodology*. UNESCO, Paris. 337 pp.
- Strathmann R.R. 1967. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.* **12**: 411-418.
- Trevisan R. 1978. Nota sull'uso dei volumi algali per la stima della biomass. *Rivista di Idrobiologia*. **117**: 345-358.
- Utermöhl H. 1958. Zur vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **9**: 1-37.
- Wetzel R.G. and Likens G.E. 1991. *Limnological analyses* (2nd ed.). Springer-Verlag, 391 pp.
- Willen E. 1976. A simplified method of phytoplankton counting. *Br. Phycol. J.* **11**: 265-278.
- 부록(세포부피식 관련 정보)
- Gosselain V. and Hamilton P.B. 2000. Algamica: revisions to a key-based computerized counting program for free-living, attached, and benthic algae. *Hydrobiologia* **438**: 139-142.
- Hillebrand H., Durselen C.-D., Kirschtel D., Pollinger U. and Zohary T. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.* **35**: 403-424.
- Margalef R. 1983. Biologia del fitoplancton. In: *Limnologia*. Ediciones Omega S.A., Platon 26. Barcelona 6. 1010 pp.
- Nalewajko C. 1966. Dry weight, ash, and volume data for some freshwater planktonic algae. *J. Fish Res. Bd. Canada* **23**: 1285-1288.
- Reynolds C.S. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 384 pp.
- Rott E. 1981. Some results from phytoplankton counting in intercalibrations. *Swiss J. Hydrobiol.* **43**: 34-62.
- Smayda T.J. 1978. From phytoplankters to biomass. In: Sournia A. (ed.), *Phytoplankton manual: Monographs on oceanographic methodology*. UNESCO, Paris. 337 pp.
- Strathmann R.R. 1967. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.* **12**: 411-418.
- Trevisan R. 1978. Nota sull'uso dei volumi algali per la stima della biomass. *Rivista di Idrobiologia*. **117**: 345-358.
- Wetzel R.G. and Likens G.E. 1991. *Limnological analyses* (2nd ed.), Springer-Verlag, 391 pp.
- Willen E. 1976. A simplified method of phytoplankton counting. *Br. Phycol. J.* **11**: 265-278.
- <http://ibelgique.ifrance.com/algamica>
<http://www.indiana.edu/~diatom/biovol.dis>

Received 3 March 2004

Accepted 29 March 2004