

북만 양식굴의 개체군 특성과 DHA 함량조성의 변동

김용술 · 강석중 · 정우건 · 조창환
경상대학교 양식학과

Relevance of Population Group Properties and Fluctuation of DHA Content of The Pacific Oyster, *Crassostrea gigas* in Bukman, Korea

Yong-Sool KIM, Seok-Joong KANG, Woo-Geon JEONG and Chang-Hwan CHO

Department of Aquaculture, Gyeongsang National University, Tong-yeong 650-160, Korea

Relationship between population group properties and docosahexaenoic acid (DHA) content of the Pacific oyster had been carried out at the Bukman oyster farm near Tong-yeong based on the regular monthly sampling from November 1994 through April 1996. DHA content in lipids was least abundant in June and most abundant in November. Minimum DHA content close to "zero" in June suggests that much of DHA are being used for maturing and discharging of eggs and sperms, in consideration of the fact that June is the spawning periods of the oyster. The corelations among DHA content, mortality, and growth coefficient, have not been recognized. The approximate positive relations have been acknowledged between DHA content and the individual density in times of harvest, and also the individual weight. But it seems that the relations between DHA content and the individual weight are not directly related, rather it seems that it is the result from the population density effects caused by the relations between DHA and the number of individuals. But the meaning of the above mentioned relations can not be clearly defined yet.

Key words: oyster, *Crassostrea gigas*, DHA content, omega-3

서 론

굴의 육질에 들어있는 지질 (15~21% DW)에는 필수지방산의 하나인 $\omega-3$ 계의 EPA (eicosapentaenoic acid, 20 : 5 $\omega-3$)와 DHA (docosahexaenoic acid, 22 : 6 $\omega-3$)가 높은 비율로 함유되어있다 (Langdon et al., 1981; Yoon et al. 1986). 최근에 EPA 및 DHA의 순수분리 기술에 괄목할 만한 발전이 있어서 이 물질들과 관련된 분야의 연구가 활발해졌다. 이와 관련한 연구로서 단순한 지질생화학적 측면에서의 조사 (Deslous-Paoli and Heral, 1988; Yoon et al., 1986; Takagi et al., 1986), 유생의 절식중에 일어나는 지질생화학적 변화 (Helm, 1991; Holland and Spencer, 1973), 굴의 지질대사 (Waldock and Holland, 1984; Sajiki, 1994), 굴의 난지질의 양과 모패의 상태에 따른 유생의 성장 (Gallager, 1988), 먹이생물 및 사료지질이 굴의 성장 및 지질대사에 미치는 영향 (Heras, 1994; Langdon and Waldock, 1981; Trider and Castell, 1980) 등 다수의 연구결과를 찾아볼 수 있으며, 이에 대한 연구가 계속적으로 이루어지고 있다. 그러나 굴의 지질에서 DHA가 유달리 높은 함유율을 나타내는 생태학적 관점에서는 연구된 바가 없다. 저자 등은 근년에 통영시 관내의 북만해역에서 그곳에 많이 분포하는 굴양식장들의 생산성 조사를 매월 실시할 기회를 가졌었는데, 그때 시료로 채

취한 굴 육질을 분석하여 얻은 DHA 자료를 양식굴의 집단생태학적 자료들과 함께 살펴다가 발견한 것이 있어서 정리하여 여기에 보고한다.

재료 및 방법

1. 시 료

1994년 3월과 11월, 12월, 그리고 1995년 1월부터 1996년 5월까지, 통영시 관내 북만해역에 산재한 굴양식장들 중에서 8개 조사정점을 정하고, 월 1회씩 조사때마다 각 정점에서 굴 수하연을 채취하여 생체측정을 한 후에 각 정점별로 생굴 50~100 g을 지방산 분석용으로 사용하였다. 현장 시료채취일은 그 달의 21~25일 사이이다. 북만의 굴양식장 분포상황과 조사정점의 배치는 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

2. 굴양식장 시설현황

각 조사정점을 설정한 굴양식장 마다 연승수, 연승길이, 수하연간격, 수하연길이, 수하연당 생존개체수를 조사하였고, 굴의 개체육중량을 측정하였다.

3. total lipid 정량

Folch et al. (1955)의 방법에 준하여, 생굴 일정량을

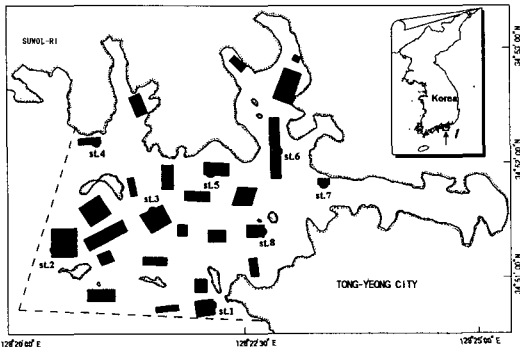


Fig. 1. Distribution of oyster farms and sampling stations in the study area Bukman near Tongyeong, Korea.

계량하여 chloroform-methanol (2 : 1 v/v) 혼합용매 60 ml 을 가하고, homogenizer (日本精機 250)로 15,000 rpm에서 5분간 균질화한 다음 흡인여과하였다 (東洋濾紙 No. 1). 찌꺼기는 버리고 여액을 200 ml 용량의 분액깔때기에 옮겨서 하루밤 방치하고, 하층을 재차 여과하여 100 ml 플라스크에 옮겨서 수분과 용매를 증발시켜서 말린 후 정량하였다.

4. 비누화 (saponification)

지질은 50% KOH로 비누화하였으며, 비누화되지 않은 부분은 ether로 추출하여 제거하였다. 비누화된 물질은 염산으로 분해하여 유리된 지방산을 ether로 추출하였다. 추출액은 수세한 후 무수황산나트륨으로 탈수하고, 용제를 유리시켜 지방산을 얻었다.

5. 지방산의 methyl ester

지방산 methyl ester화는 지방산 2~10 mg을 취하여 용제를 완전히 제거한 다음, 7% BF₃-methanol 5 ml을 가하여 80°C mantle heater 상에서 30분간 환류가열한 후, 냉각기의 상부로부터 hexane 5 ml을 가한 다음 여액에서 1분간 가열하여 지방산의 methyl ester를 조제하였다.

6. GLC에 의한 지방산 분석과 동정

지방산 methyl ester화된 것을 capillary column (Omegawax 320 fused silica wall-coated open-tubular column, 30 m×0.25 mm i.d. Supelco, Bellefonte, PA)이 장착된 GC (Shimadzu GC-14A)로 분석하였다. 지방산 조성의 분석조건은 injector 및 FID detector의 온도는 250°C로, column 온도는 210°C로 하였고, carrier gas는 헬륨 (1.5 kg/cm²)을 사용하였으며, split ratio는 1 : 50으로 하였다.

지방산의 동정은 Canada Institute of Fisheries Resea-

rch, TUNS, Halifax Canada로부터 입수한 지방산어유 methyl ester와 표준지방산 (Applied Science Lab.)의 retention time과 비교하여 동정하였다. 표준지방산으로는 stearic acid, palmitic acid 및 arachidonic acid와 oleic acid, linoleic acid, linolenic acid 및 arachidonic acid의 methyl ester를 사용하였다. 지방산 분석자료의 내용은 [% (w/w) of total lipids]이다.

결 과

1. 굴양식장의 시설현황

각 조사정점이 배치된 굴양식장의 시설현황은 Table 1에서 보는 바와 같다.

Table 1. The facilities of the oyster farms in Bukman, 1995~1996

Station No.	Main rope (m)	String interval (m)	String length (m)	Clusters per string	Flow dimension per string (m ²)
1	120	0.4	6.0	30	2.40
2	170	0.4	5.6	28	2.24
3	150	0.4	6.0	30	2.40
4	150	0.4	6.0	30	2.40
5	150	0.4	4.6	23	1.84
6	150	0.6	5.6	28	3.36
7	240	0.4	5.2	26	2.08
8	260	0.4	6.0	30	2.40

2. 서식밀도 및 생산량

굴은 생명유지에 필요한 물질을 전적으로 해수중에서 얻는다고 볼 때 양식굴의 밀도는 해수유동방향에 대해 수직인 면에서의 현존량으로 살피는 것이 합리적이라고 생각되므로, 수하연 길이와 수하연 간격을 곱한 값을 수하연당 면적으로 하였고, 1수하연당 현존개체수를 수하연당 면적으로 나누어서 얻어지는 값을 개체밀도로 하였으며, 1수하연당 생굴총중량을 수하연당 면적으로 나누어서 얻어지는 값을 중량밀도로 하였다. 조사정점별 생굴생산량은 북만 굴양식장의 수확개시시기인 12월과 종료시기인 이듬해 4월의 중간에 해당하는 1996년 2월 20일을 기준으로 산출하였다. 조사정점별 밀도와 생산량은 Table 2에서 보는 바와 같다.

3. 굴 육질의 totoal lipid 조성

각 조사정점별로 굴 육질의 습중량에 대한 total lipid의 중량백분율을 구하고, 각 월의 평균 totoal lipid 조성을 구하여 그 변동패턴을 나타내면 Fig. 2와 같으며, 최저

Table 2. Population density of oysters in the oyster farms in Bukman, 1995~1996

Station No.	Individuals per string	Individual density as flow dimension (indiv./m ²)	Individual meat weight (g)	Weight density as flow dimension (g/m ²)
1	270	128	5.13	657
2	308	138	4.77	658
3	210	88	3.98	350
4	390	163	4.62	753
5	207	113	6.44	728
6	168	65	6.42	417
7	182	88	8.23	724
8	150	63	12.45	784

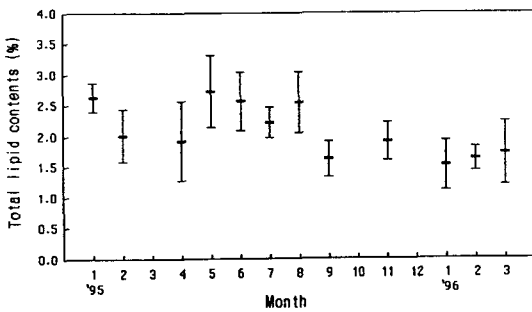


Fig. 2. Monthly fluctuation of total lipid contents (%) of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* in Bukman. %, (total lipid weight) × 100 / (wet meat weight) as mean through the 8 sampling stations. Bar range, ± standard deviation.

치는 1.51%, 최고치는 2.57%로서 연중 변동범위는 1% point였다.

4. DHA 조성의 월변동

굴 육질의 지방산 중에서 DHA의 함유비율을 정점별로 월변동 패턴을 나타내면 Fig. 3에서 보는 바와 같았다. 정점마다 DHA 조성의 변동양식에 약간의 차이가 있지만, 모든 정점들을 통하여 다음과 같이 3가지 변동 특징을 나타내었다.

① 모든 정점에서 6월(정점 4에서는 7월)에 가장 최저치를 나타내었고, 최저치를 나타낼때는 거의 0% 수준을 나타내었다(정점 1과 8은 각각 7.2, 4.9%).

② 6월에 사라졌던 DHA가 7월 이후에 점차 증가하여 11월에 최고치를 나타내며, 최고치의 수준은 20~25%에 이르렀다.

③ 11월에 최고치를 나타내었던 DHA 조성은 12월에 조금 낮아져서 익년 5월까지 평형 또는 약간 감소하는 추세를 보였다.

5. DHA 조성과 굴 개체군의 사망계수 및 성장계수와의 관계

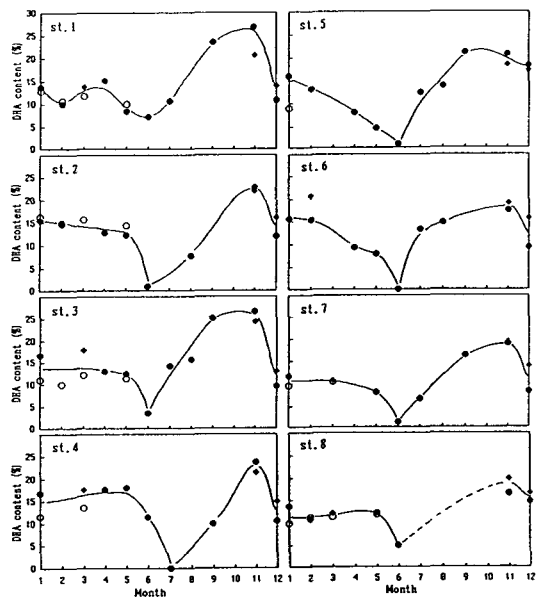


Fig. 3. *Crassostrea gigas*. Monthly fluctuation of DHA content in lipid of oyster meat in Bukman. Black diamond: 1994, solid circle: 1995, circle; 1996.

위에서 본 바와 같이 계절에 따라 DHA의 함량조성이 크게 변동하고 있고, 또 지금까지 DHA의 생리적 기능에 관하여 밝혀진 지식들을 고려할 때, DHA가 굴의 집단특성에 생태학적인 어떤 결정요인으로 작용할 가능성이 있을 것으로 여겨져서, 저자 등은 양식장에 따른 DHA 함량의 차이와 굴 개체군의 생태학적인 어떤 특성이 관련되고 있는지 알아보기 위하여 개체군 특성을 단적으로 나타내는 사망과 성장에 관한 2가지 계수를 사용하여 관계를 살펴보았다.

양식장에 종패로서 수하된 굴 개체군은 수확시까지 가입이 없는 cohort 변동모형을 취한다고 가정하고, 북만의 모든 굴양식장에서 굴 종패의 수하작업이 종료된 후 1개월이 경과한 9월부터 익년 2월까지 각 정점에서 매월 정

기적으로 채취하여 조사한 수하연당 개체수 자료를 사용하여 정점별로 식 (1)과 같은 지수모형 근사식을 구하고, 사망속도에 해당하는 Z값을 굴 개체군의 사망계수로 하였다.

$$N_t = N_0 e^{-Zt} \quad (1)$$

그리고 정점 별로 9월부터 익년 2월까지 조사한 굴 개체평균중량 자료를 사용하여 식 (2)와 같은 성장모형의 근사식을 구하고, 성장속도에 해당하는 G값을 굴 개체수준의 평균성장계수로 하였다.

$$W_t = W_0 e^{Gt} \quad (2)$$

Fig. 3의 DHA 변동곡선에서 볼 때 굴 육질의 DHA 함량은 11월에 최고값을 나타내고 있으므로, 11월의 DHA 함량 자료를 사용하여 사망계수 Z와의 관계를 살펴보았는데, 그 결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같았으며, DHA의 함량차이가 굴 개체군의 사망속도에 관여하였을 어떤 가능성이 있다고 보기는 어려웠다. 또한 DHA와 성장계수의 관계는 Fig. 5에서 보는 바와 같았으며, 여기서도 DHA 함량차이가 굴의 성장속도나 증육에 관여하였다고 보기가 어려웠다.

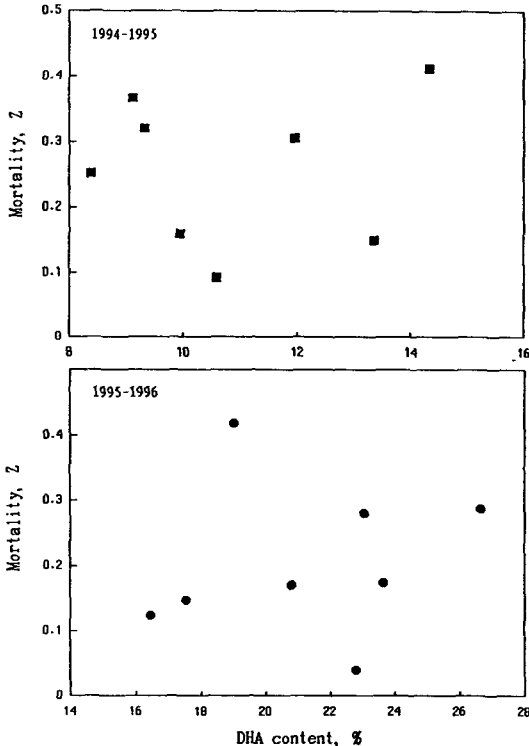


Fig. 4. *Crassostrea gigas*. Relationships between DHA content and mortality of oyster population group. Z: decreasing coefficient from equation (1) in the text.

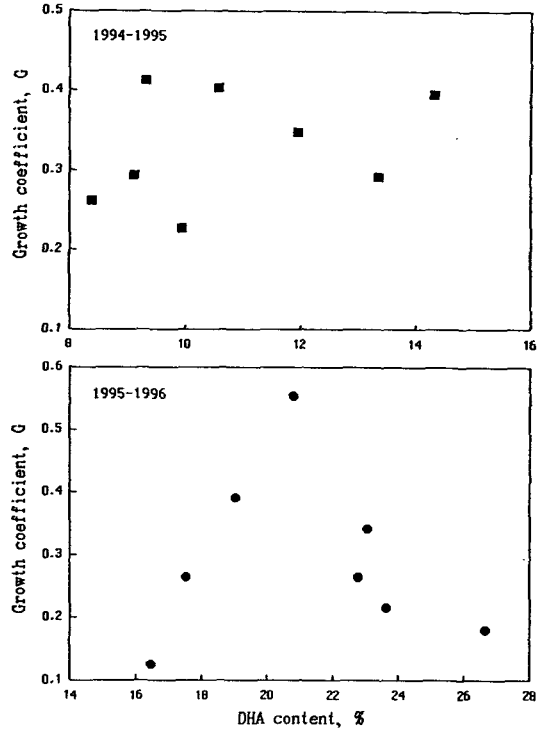


Fig. 5. *Crassostrea gigas*. Relationships between DHA content in lipid and growth coefficient of oyster. G, growth coefficient from equation (2) in the text.

6. DHA 조성과 개체군밀도와의 관계

Table 2에서 표시한 해수유동 단위면적당개체수로서의 개체군밀도와 DHA 함량조성과의 관계를 나타내면 Fig. 6에서 보는 바와 같았으며, 동떨어져있는 정점 3의 좌표를 예외로 하면, 개체밀도는 DHA 함량조성과 매우 강한 상관성을 나타내었다. DHA 함량에 대한 개체밀도의 관계는 직선식 ($r^2=0.9042$) 보다는 지수식 ($r^2=0.9660$)의 적합도가 더 컸으며, DHA 함량 (A)과 개체밀도 (ID) 사이의 관계를 지수회귀식으로 근사시켜 보았더니

$$ID = 7.6288 e^{0.1269 A} \quad (3)$$

이 되었다.

7. DHA 함량조성과 개체 연체부 평균중량과의 관계

95년 11월의 DHA 함량과 96년 2월 수확기의 정점별 개체 연체부 평균중량과의 관계는 Fig. 7에서 보는 바와 같았다. Fig. 7에서 정점 3과 정점 6을 sampling 과정에 끼어든 random error에 의하여 편이된 것으로 본다면, 나머지 6개 정점의 좌표들은 개체의 연체부중량이 DHA 함량에 지수함수적인 역상관계가 있음을 강하게 시사

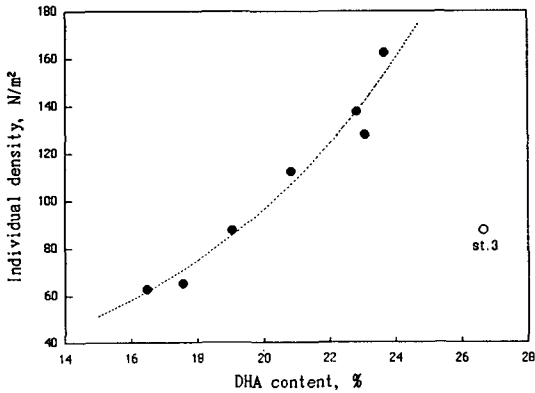


Fig. 6. *Crassostrea gigas*. Relationship between DHA content in lipid and individual density as flow dimension. The circle, seems random error of sampling.

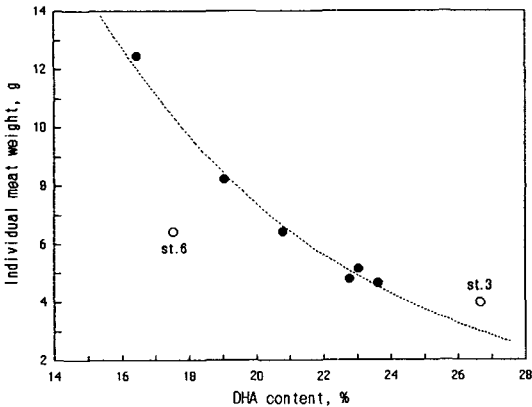


Fig. 7. *Crassostrea gigas*. Relationship between DHA content in lipid and individual mean meat weight. White circle, look like biased by sampling random error.

한다고 여겨진다. DHA 함량 (A)과 개체 연체부중량 (W) 사이의 관계를 지수회귀식으로 근사시켜 보았더니

$$W = 113.1 e^{-0.1364 A} \quad (r^2 = 0.9873) \quad (4)$$

이 되었다.

8. DHA 함량조성과 단위생산량의 관계

알굴 생산량을 수확기의 알굴 현존량으로 가름한다면, 단위 유동면적당 알굴 생산량 Y는 단위 유동면적당 개체수와 개체연체부 평균중량의 곱에 해당하므로, 이것은 개체밀도를 나타내는 식 (3)과 개체중량을 나타내는 식 (4)의 곱으로 표현할 수 있다. 따라서 Y는 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$Y = ID \times W$$

$$= 862.8 e^{-0.0095 A} \quad (5)$$

식 (5)에 의하여 표현되는 단위생산량 Y는 DHA 함량 조성 A가 증가할수록 지수함수적으로 조금씩 감소함을 나타내는데, 감소계수가 작기 때문에 식 (5)는 DHA 함량조성 30% 이내의 범위에서는 식 (6)과 같이 직선형식으로 무리없이 ($r^2=0.998$) 근사시킬 수 있다.

$$Y = 860 - 7.25 A \quad (6)$$

식 (6)은 DHA 함량이 10% point 증가할 때 유동면적당 알굴생산량은 약 70 g씩 감소함을 의미한다.

고 찰

1. 굴 육질의 DHA 조성변화에 관하여

굴, 피조개, 진주담치의 지질에 함유된 DHA 조성에 대해서 Yoon (1986)은 6월에 수집한 시료를 사용하여 굴 15.3%, 피조개 4.16%, 진주담치 9.7%로서 굴은 피조개의 약 4배, 진주담치의 약 1.6배로 높은 DHA 함유율을 나타내고 있다고 하였다.

본 연구에서 북만산 양식굴의 DHA 함량조성은 6월하순에 최소량을 나타내고 11월하순에 최대량을 나타내는 패턴을 보였는데, 6월하순에 바닥상태를 나타낸 원인으로 6월하순은 북만산 굴의 전기산란이 임박한 시기에 해당되므로 생식소의 생식물질 방출을 위한 폭발적인 생리활동에 DHA의 대량소모가 일어났을 가능성을 고려할 수 있다. Waldock and Holand (1984)는 굴 *C. gigas*는 18 : 3 ω 3을 20 : 5 ω 3나 22 : 6 ω 3와 같은 ω 3-고도불포화지방산 (HUFA)으로 전환하는 능력을 갖고 있기는 하나 그 전환속도가 제한적이며, *C. gigas*의 치패에서 18 : 3 ω 3를 20 : 5 ω 3와 22 : 6 ω 3 같은 ω 3-HUFA로의 desaturation을 증진시키기 위한 효소의 활성이 치패의 적정성장을 유지하는데 필요한 ω 3-HUFA의 소요를 충족하는데는 너무 낮은 수준임을 알았다. Langdon and Waldock (1981)은 급이실험을 통하여 절식시와 탄수화물로 된 먹이만 급이한 경우에 *C. gigas*의 체내에서 ω 3-HUFA는 빠르게 상실되는 것을 발견하였다. 이들의 연구결과와 우리들의 연구에서 나타난 결과들은 굴도 대부분의 해양동물과 마찬가지로 ω 3-HUFA의 공급을 먹이에 함유된 ω 3-HUFA에 대부분 의존하고 있음을 뜻하고, 생활사의 어느 시기에 ω 3-HUFA의 대량소요가 발생할 경우 체내 축적분이 소진되어 바닥상태를 나타낼 수 있음을 암시한다고 여겨진다. DHA는 산란기에 방출할 생식물질로서 생식소에 집

적되는 물질이라기 보다 생식소의 완숙과 방출에 필요한 생리대사과정에 에너지원으로 소모되는 물질로 기능할 것으로 고찰된다. 유추하건대 굴의 생활사에서 가장 대사가 활발하고 대사과정의 변화가 급격한 시기는 모패에 있어서의 산란기와, 산출되어서 고행물에 정착하기까지의 부유유생기라고 할 수 있겠는데, 위에서 고찰한 바와 같이 모체내에서 생식물질의 방출을 준비하는 생리대사과정에 DHA의 대량소모가 필수적이라면, 아마도 부유유생기에도 DHA의 소모율이 상상 이상으로 클 수 있다. 저자 등의 예비실험(미발표) 결과에서 굴의 유생은 DHA를 모체로부터 상당량 상속받아 나오는 것으로 보인다. 그러나 방출시에 상속받아 나온 DHA 양은 먹이를 외부에서 얻기 시작할때까지 사용할 수 있는 양에 지나지 않을 것이다. 부유유생기의 먹이의 풍도(豊度)에 못지않게 먹이생물의 DHA 함량조성이 굴 유생의 부착에 결정적인 변수가 될 가능성이 있다고 본다. DHA 하나로서 굴의 생식소 방출과 부유유생기 자패의 생존율을 다 설명할 수 있다고 보지는 않지만, 해양식물플랑크톤의 DHA 함량조성은 종에 따라 큰 차이가 있음이 이미 잘 알려져 있으므로(Ackman, 1989), 근년에 굴 양식가들을 힘들게 하고있는 굴 자연채묘의 부진과 인공채묘의 불안정성을 이해하기 위하여 모패와 채묘시기의 식물플랑크톤에 함유된 DHA에 주의를 기울여 볼 필요가 있을 것이다.

굴이 지질에서 다른 패류에 비하여 DHA를 높은 비율로 함유해은 그들의 진화과정에는 필연적인 어떤 곡절이 있으리라고 여겨지며, DHA 고함유율이 그들의 세대를 이어가는 고리부분에서 어떤 역할을 할 것이라고 여겨진다.

2. DHA와 개체군의 특성에 관하여

일반적으로 cohort의 크기에 관여하는 요인들은 사망계수나 성장계수와 강한 관련성을 나타낸다. 그러나 DHA의 경우는 사망계수나 성장계수와 사이에 어떤 상관성을 표출하지 않았다. 대신 11월의 DHA는 3개월 후(이듬해 2월)에 생존할 개체수를 결정하는 선행지수로서의 가능성을 보였다. 이 상관성은 DHA가 생태조절물질의 하나로 기능할 가능성을 함축하고 있는 듯이 여겨지지만, 지금으로서는 이것을 잘 설명하기 어렵고, 선행연구자도 없다. 그러나 그 상관성을 나타내는 결정계수 $r^2=0.9660$ 은 무시하기 어렵다. 그리고 11월의 DHA가 3개월후의 개체육중량과 강한 역상관을 나타낸 것은 cohort의 개체수를 조절하는 과정에서 파생된 현상으로 보아야 할것으로 여겨진다. 이것은 식(3)과 식(4)의 먹

수(幕數)가 각각 0.1269, -0.1364 로서, 그 합한 값은 -0.0095 , 거의 무의미 수에 가깝기 때문이다. 아마도 밀도효과를 배제한다면 DHA와 개체육중량과의 사이에는 무상관성이 나타날 것이다. 이것은 반대로 현재 시설방식과 이 해역의 먹이생산능력, 그리고 해수유동율을 변수로 하여 나타나는 밀도효과가 DHA를 매개로하여 표현된 지수의 의미를 가질 수도 있을 것이다.

3. 굴의 DHA 연구를 위한 시료채취에 관하여

굴 육질의 지질내 DHA 함량조성이 한 곳에서도 0에서 25%까지 연중 변동하고 있고, 북만과 같은 한 해역내에서 0.5 km 거리 이내의 가까운 양식장 사이에도 같은 시점에 10% point의 차이가 나고 있음을 알게되었다. 따라서 DHA 연구를 위하여 시료를 채취할 경우 단 한 곳에서 채취한 시료의 분석자료로서 그 해역의 대표치로 삼거나, 어느 한 시기에 입수한 시료를 분석한 자료로부터 항상적(恒常的) 현상을 설명하기는 어렵다고 하겠다.

요 약

(1) 통영시 관내 북만해역의 굴양식장군의 8개 조사양식장에서 1994~1996년까지 매월 1회씩 굴 시료를 채취하여 양식굴의 집단생태학적 특성치를 조사하고, 굴 육질의 지방산조성을 분석하여 얻은 자료를 토대로, DHA 함량조성과 굴의 집단생태학적인 몇가지 특성간의 관련성을 검토하였다.

(2) 굴의 지질중 DHA 함량조성은 연중 0~25% 범위로 변동하였으며, 6월에 최저치를 나타내었고, 11월에 최고치를 나타내었다.

(3) DHA 함량조성과 굴의 사망계수 및 성장계수와의 사이에는 관련성이 나타나지 않았다.

(4) 11월의 DHA 함량조성과 수확시 개체군의 크기 사이에는 강한(+)상관성이 인정되었고, 수확시 개체육중량과의 사이에는(-)상관성이 인정되었다.

(5) 굴에 있어서 DHA는 산란기에 생식소의 성숙과 방출에 에너지원으로 다량 소모되는 것으로 보이며, 북만해역에서 11월의 DHA 함량조성은 수확시의 집단크기의 선행지수로 사용해 봄직하고, 채종과의 역관련성을 잘 해석하면 밀도효과를 유추할 수 있을 것으로 고찰되었다.

참 고 문 헌

Ackman, G.G. 1989. Marine biogenic lipid, fats, and oils. Vol. 1, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.

- Deslous-Paoli, J.-M. and M. Heral. 1988. Biochemical composition and energy value of *Crassostrea gigas* (Thunberg) cultured in the Marennes-Oleron. *Aquat. Living Resour.* 1, 239~249.
- Folch, J., M. Lees and G.H. Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *J. Biol. Chem.*, 226, 497~509.
- Gallager, S.M. and R. Mann. 1986. Growth and survival of larvae of *Mercenaria mercenaria* (L.) and *Crassostrea virginica* (Gmelin) relative to broodstock conditioning and lipid content of eggs. *Aquaculture* 56, 105~121.
- Helm, M.M., D.L. Holland, S.D. Utting and J. East. 1991. Fatty acid composition of early non-feeding larvae of the European flat oyster, *Ostrea edulis*. *J. Mar. Biol. Ass., U.K.* 71, 691~705.
- Heras, H., J. Kean-Howie and R.G. Ackman. 1994. The potential use of lipid microspheres as nutritional supplements for adult *Ostrea edulis*. *Aquaculture* 123, 309~322.
- Holland, D.L. and B.E. Spencer. 1973. Biochemical changes in fed and starved oysters, *Ostrea edulis* L. during larval development, metamorphosis and early spat growth. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 53, 287~298.
- Langdon, C.J. and M.J. Waldock. 1981. The effect of algal and artificial diets on the growth and fatty acid composition of *Crassostrea gigas* sapt. *J. Mar. Biol., Ass. U.K.*, 61, 431~448.
- Sajiki, J. 1994. Formation of free polyunsaturated fatty acids and their metabolites in oyster *Crassostrea gigas*, by treatment with acetate. *J. Agric. Food Chem.* 42, 1519~1524.
- Takagi, T., Y. Iatabayashi and M. Kaneniwa. 1986. Fatty acid composition of bivalves from Japanese waters. *J. Japan Oil. Soc.* 35 (7), 517~521.
- Teshima, S.I., A. Kanazawa and R. Shimamoto. 1987. Effects of algal diets on the sterol and fatty acid compositions of the pearl oyster *Pinctada fucata*. *Bull. Jap. Soc., Sci. Fish.*, 53, 1663~1667.
- Trider, D.J. and J.D. Castell. 1980. Effect of dietary lipids on growth, tissue composition and metabolism of oyster (*Crassostrea virginica*). *J. Nutr.*, 110, 1303~1309.
- Waldock, M.J. and D.L. Holland. 1984. *Lipids*, 19, 332~336.
- Yoon, H.D., H.S. Byun, S.J. Chun, S.B. Kim and Y.H. Park. 1986. Lipid composition of oyster, arkshell and sea-mussel. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 19, 321~326 (in Korean).

1997년 8월 19일 접수

1998년 3월 5일 수리