

거제 · 한산만 양식굴 *Crassostrea gigas* 의 에너지 전환 효율*

김 용 슌**

EFFICIENCY OF ENERGY TRANSFER BY A POPULATION OF THE FARMED PACIFIC OYSTER, *CRASSOSTREA GIGAS* IN GEOJE-HANSAN BAY*

Yong Sool KIM**

The efficiency of energy transfer by a population of the farmed pacific oyster, *Crassostrea gigas* was studied during culture period of 10 months July 1979-April 1980, in Geoje-Hansan Bay near Chungmu City.

Energy use by the farmed oyster population was calculated from estimates of half-a-month unit age specific natural mortality rate and data on growth, gonad output, shell organic matter production and respiration. Total mortality during the culture period was estimated approximate 36% from data on survivor individual number per cluster. Growth may be dual consisted of a curved line during the first half culture period (July-November) and a linear line in the later half period (December-April). The first half growth was approximated by the von Bertalanffy growth model; shell height, $SH=6.33(1-e^{-0.2421(t+0.54)})$, where t is age in half-a-month unit. In the later half growth period shell height was related to t by $SH=4.44+0.14t$. Dry meat weight (DW) was related to shell height by $\log DW=-2.2907+2.589 \cdot \log SH$, ($2<SH<6$), and/or $\log DW=-5.8153+7.208 \cdot \log SH$, ($5<SH<10$). Size specific gonad output (G) as calculated by condition index of before and after the spawning season, was related to shell height by $G=0.0145+(3.95 \times 10^{-3} \times SH^{2.9861})$. Shell organic matter production (SO) was related to shell height by $\log SO=-3.1884+2.527 \cdot \log SH$. Size and temperature specific respiration rate (R) as determined in biotron system with controlled temperature, was related to dry meat weight and temperature (T) by $\log R=(0.386T-0.5381)+(0.6409-0.0083T) \cdot \log DW$. The energy used in metabolism was calculated from size, temperature specific respiration and data on body composition. The calorie contents of oyster meat were estimated by bomb calorimetry based on nitrogen correction.

The assimilation efficiency of the oyster estimated directly by a insoluble crude silicate method gave 55.5%. From the information presently available by other workers, the assimilation efficiency ranges between 40% and 70%.

Twenty seven point four percent of the filtered food material expressed by energy value for oyster population was estimated to have been rejected as pseudofaeces; 17.2% was passed as faeces; 35.04% was respired and lost as heat; 0.38% was bounded up in shell organics; 2.74% was released

* 이 논문은 1980학년도 건국대학교 대학원에 理學碩士 학위 청구 논문으로 제출된 것임.

** 통영수산전문대학, Tong-yeong Fisheries College, Chungmu, 603 Korea.

as gonad output; 2.06% was fell as meat reducing by mortality. The remaining 15.28% was used as meat production.

The net efficiency of energy transfer from assimilation to meat production (yield/assimilation) of a farm population of the oyster was estimated to be 28% during culture period July 1979—April 1980. The gross efficiency of energy transfer from ingestion to meat production (yield/food filtered) is probably between 11% and 20%.

서 론

어느 한 생물 집단에 轉入되는 모든 에너지는 熱로 잃거나 다른 영양 단계로 轉換된다. 집단내의 生體量 減耗가 다른 동물에 의한 被食으로 일어난다고 가정할 수 있을 때, 그 집단을 통하여 轉入되는 에너지의 생태학적 총 효율은 轉入된 에너지 총량에 대한 減耗 에너지 총량의 비율로 표현할 수 있다 (Phillipson, 1966). 그러나, 양식 생물 집단의 경우는 그 집단의 증육 성장으로 누적된 肉質部 生體量이 에너지 轉換의 媒體가 되므로, 수확 채취시에 그 집단에 留保된 육질부 생체 에너지양이 그 때까지 그 집단에 轉入된 에너지 총량에 대하여 차지하는 비율로서 효율을 표현하고, 수확이전 양식 기간 동안의 사망으로 인한 減耗는 에너지 상실 부분으로 취급하는 것이 합리적일 것으로 생각한다. 전입되는 에너지 총량은 집단의 총 攝食量에서 추정하거나, 또는 총 사용 에너지와 체물질 축적 에너지의 합계를 동화 효율로 나누어 추정할 수 있다. Bernard (1974)는 *Crassostrea gigas*의 에너지 收支에 관한 연구에서 총 섭취량으로부터 轉入 에너지양을 추정하는 방법을 사용하였고, Dame(1976)은 *Crassostrea virginica*에서, Rodhouse(1978, 1979)는 *Ostrea edulis*에서 총 사용 에너지양을 동화 효율로 나누어 轉入 에너지양을 추정하는 방법을 썼다. 여기서는 거제·한산만에서 재배되고 있는 양식굴 *Crassostrea gigas*의 에너지 전환 효율을 성장, 증육, 호흡, 생식, 체물질 조성, 에너지 함량, 패각 형성량, 減耗率 등의 측정 자료로부터 개체 수준과 집단 수준에서 계산하였다.

재료 및 방법

1. 실험용 재료

1979년 7월부터 1980년 4월까지 12회에 걸쳐 거제

만 입구에 있는 대한 종합식품(주)의 굴 양성용 밧목 가운데서 시료 채취용 밧목을 정하여 두고 (Fig. 1), 매번 300~400개의 굴을 각 수층에서 고르게 채취하여 付着器當 개체수를 세고, 殼高, 軟體部 乾燥重量, 體物質 組成, 에너지 함량을 측정하였다.

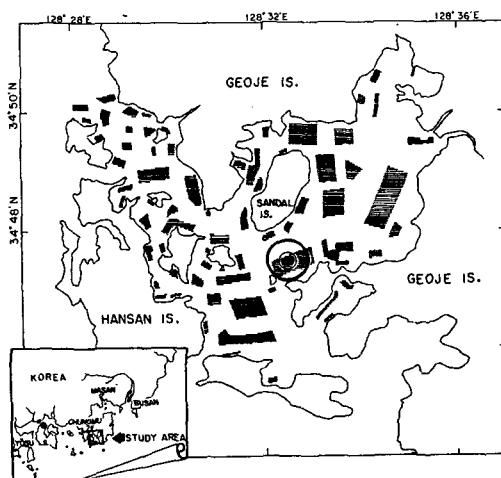


Fig. 1. Distribution of oyster farms in Geojje-Hansan Bay (cited from Cho, 1980), and showing the position of sampling station.

2. 항목별 측정방법

- (1) 殼高: 右殼의 높이를 cm단위로 측정하였다.
- (2) 연체부 건조 중량: 무게를 알고 있는 알미늄 箔地로 연체부를 싸고, 전기 건조기에 넣어 80°C로 70시간 이상 건조시키고, 恒量이 확인되면 1mg단위로 칭량하여 알미늄 箔地의 무게를 빼었다.
- (3) 회분: 연체부 건조 중량을 측정할 굴의 육질을 모아 磁製乳鉢로 갈아 粉粒로 만든 시료 1~1.5g을 항량된 10ml용 磁製 도가니에 담아 정밀 칭량하고, 灰化爐에서 550°C로 4시간 強熱한 후, 잔류물의 무

계를 측정하여, 3~5회의 반복 평균치를 그 시료의 灰分量으로 하였다.

(4) 有機窒素 및 단백질 함량 : micro-kjeldahl 방법으로 측정하였다. 3~5회 측정치의 평균값을 질소 함량으로 하고, 단백질량은 유기질소량에 환산 계수 6.25를 곱하여 산출하였다.

(5) 脂質 : 건조 분말 시료 100~150mg을 정밀 칭량하고 클로로폼, 메타놀 2:1(v/v)混液 10ml로 1시간씩 두번 반복 추출한 다음, 석유 에틸 10ml씩으로 두번 세척하였다. 세척후 80°C에서 4시간 건조시키고, 추출 잔류물을 정밀 칭량하여, 이것과 시료 무게와의 차이를 계산하고, 3회 반복 측정치의 평균값을 脂質量으로 하였다.

(6) 탄수화물 : 회분, 단백질 및 지질 함량의 차 평균치 합계를 건조중량에서 뺀 나머지 값을 탄수화물량으로 추정하였다 (Pain 1971, Cummins *et al* 1971, Clutter *et al* 1971, Morowitz 1979).

(7) 에너지 함량 : 에너지 함량은 K-calorie양으로 표현하였다. 연체부의 에너지 함량은 Parr oxygen bomb calorimeter 1341(Adiabatic type)를 사용하여 측정하고, fuse 연소 열량과 질산 생성에 의한 오차를 ASTM Standards for bomb calorimetry (Parr Instrument Co., 1977)에 따라 보정하였다. 열량 표준 물질(benzoic acid, 6322 cal/g)에 대한 이 기기의 측정 오차는 ±0.4% 이내였다. 생식 물질의 에너지 함량은 Karzinkin *et al*(1964)의 습식 산화법으로 측정하였다. 이 방법의 측정 오차는 본 실험에서 열량 표준 물질에 대해 ±0.5~6% 였다.

(8) 산소 소비량 : 양식장에서 채취한 굴의 패각을 깨끗이 씻어서 생물 환경 조절실의 Chamber 안에 설치한 해수 수조에 수용하고, 수조의 수온을 조절

하여 3일 동안 측정 수온에 적응시키면서, 소화관내의 糞을 배출시킨 다음, Fig.2와 같은 폐쇄 순환 장치로 사용하여 호흡 속도를 측정하였다. Chamber내에 수용한 굴이 패각을 열고, 물 교환과를 시작하면 콕크 K를 K₁ 상태에서 K₂ 상태로 90° 회전시켜서, 물이 D₂→chamber→P→chock→D₁로 연결되는 폐쇄 회로 내에서 순환하게 한다. 이 때 D₂내의 물의 흐름은 정지한다. 수온과 굴의 크기에 따라 시간을 조정하여 5~30분후 펌프 P를 정지시킨 다음, D₁, D₂의 용존산소량을 Winkler-azide법(Strickland and Parsons, 1968)으로 정량하고, 폐쇄회로내의 水量을 측정하여 다음식으로 동물의 산소 소비 속도를 산출하였다.

$$O_2mg/hr/animal = \frac{60}{t} (D_1 - D_2) \times V$$

여기서 t는 콕크를 K₂로 변환했을 때부터 펌프를 정지시킬 때까지 소요된 시간(분 단위)이며, V는 폐쇄 회로 내의 水量을 l단위로 표시한 값이다. 측정 수온과 실험에 사용된 굴의 개체수는 다음과 같다.

Temperature, °C	26.6	21.0	16.0	8.0
Number of animals tested	29	20	25	24

산소소비량 측정이 끝난 개체는 연체부를 박리하여 2(2) 방법에 따라 건조 중량을 측정하였다. 측정 자료는 Ikeda(1970, 1971, 1974)의 방법으로 정리하였다.

(9) 생식 물질 방출량 : condition index를 산출하는 방법(Walne, 1974)에 따라 산란전(1980. 7. 24~26)에 생식소가 팽대해 있는 개체를 골라 54 개체의 貝殼內容積과 연체부 건조 중량을 측정하였고, 산란후(1980. 9. 10~16)에는 생식소가 매우 위축된 34 개체를 골라 측정하였다. 이와는 별도로 94 개체에 대해서 殼高와 貝殼內容積을 측정하여 그 상관관계를 구하였다. 위의 condition index와 각고-패각 내용적 사이의 상관 관계에서 각고에 따른 생식 물질 방출량을 계산하였다.

(10) 패각의 에너지 함량 : 굴 패각의 유기물 에너지는 대부분 단백질 형태로서 韌帶, 殼皮, 殼膜 부분에 매우 적은 양이 남겨져 있으며 (Rodhouse, 1978), 패각의 지지 부분은 에너지 저장 물질이라기 보다는 구조적 물질로 구성되어 있다고 본다. 따라서, 패각을 농염산에 처리하여 칼슘화합물을 녹여내고 잔류하는 유기물 부분의 에너지 함량을 패각에

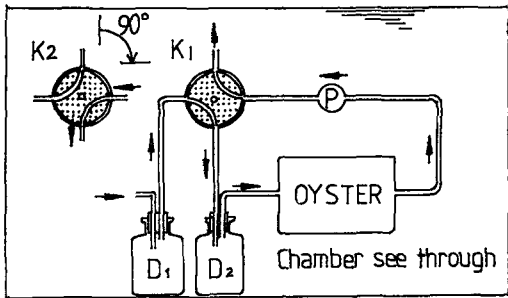


Fig.2. Outline of measuring apparatus for oyster oxygen consumption.
p; micro water pump, K; Chock circulating line change, D; DO bottle.

너지로 취급하였다. 실제로 패각 표면에 부착 생물이 거의 부착하지 않고 파손이 없는 굴 중에서 크기를 안배하여 39 개체를 골라 작고를 측정한 후 열염산에 처리하여 유기물 부분을 분리하고, 증류수로 씻어서 80°C로 건조하여 함량된 다음 정밀 칭량하고, 2(3) 방법으로 회분을 측정하였다. 굴 패각 유기물의 에너지 등가는 직접 측정하지 않았으나 Hughes (1970)의 5.04Kcal·g⁻¹ ash-free dry weight를 계산에 사용하였다.

(11) 동화 효율: 粗珪酸을 지표로 사용하는 Sato et al(1964)의 방법으로 굴의 동화 효율을 추정하였다. 網口 30cm, 網地 NXX13(mesh size 93μ)을 쓴 식물성 플랑크톤 정량 채집망 3개를 준비하고, 평균 작고 6.7cm되는 굴을 42개 골라 패각을 깨끗이 씻은 다음 出水孔에 비닐 주머니를 붙여매고, 2개의 플랑크톤 채집망 속에 비닐 주머니가 아래로 가도록 굴을 달아 맨 다음, 굴 양식장의 5m 깊이에 달아 내리고, 빈 플랑크톤 채집망 1개를 같은 곳에 달아 내려서 대조구로 하였다. 24시간후 비닐 주머니 속에 받아들인 굴의 眞糞을 모으고, 이와는 별도로 플랑크톤 채집망 속에 받아들인 擬糞과 침강물의 혼합물을 모으고, 대조구의 순침강물을 따로 채취한 다음, 80°C에서 72시간 건조하고 칭량한후 유기 질소 함량과 불용성 조규산 함량을 측정하였다. 불용성 조규산은 10% 열염산에 녹지 않는 砂分中の 규산화합물을 탄산나트륨과 혼합하여 니켈 도가니 속에서 가스 버너로 강열하여 용융 상태로 30분간 지속시켜서 용해성 규산으로 바꾸고, 常法에 따라 조규산량을 정량하였다(Sato et al, 1964). 측정된 값들은 침강물 blank로 보정하여 사용하였다. 採糞할 때 NXX13 망지를 쓴 플랑크톤 채집망으로 양식장 해수층의 플랑크톤을 채집하여 mesh size 0.33mm 망지로 걸러내고 원심 분리하여 80°C에서 건조한 후 糞과 같은 항목들을 측정하였다. 해수중에 현탁되어 있는 먹이층의 불용성 조규산은 굴의 소화관을 통과할 때 흡수되지 않고 전량 배출된다는 가정하에 단위 규산량당 유기 질소 함량을 계산하여 食物의 동화율을 추정하였다.

결과 및 고찰

1. 성장

굴의 패각 높이(SH, cm)와 연체부 건조 중량(DW, g)을 성장 지표로 하고, 시간축은 7월1일부터

시작하여 경과 일수를 15로 나누어 半月齡(Age, t) 單位로 표현하고, 익년 4월말까지의 전 양생 기간 300일을 20齡으로 취급하였다.

(1) 작고의 성장: 표본 채취 위치로 정한 거제만 입구의 뱃목에는 79년 7월 2일에 종굴을 수하하였으며, 수하 당시의 작고는 0.8~2.0cm 범위였다. 연속 채집한 표본 평균치의 시간적 추이를 살펴볼 때 7월~12월까지의 성장 형식은 곡선적이고, 12월 이후의 성장 형식은 직선적이다. 10齡까지의 곡선 부분은 von Bertalanffy 성장식으로 모델화 된다. Manzer and Taylor(1947)의 방법을 준용하여 어느 조사지의 작고 SH_n에 대해서 다음 조사지의 작고 SH_{n+1}을 Ford-Walford 定差圖로 그리면 Fig. 3과 같으며, 상관식은

$$SH_{n+1} = 1.5328 + 0.7579 SH_n$$

로 정리된다. 이 식에서 SH_∞=6.33, K=0.2421로 계산된다. SH_∞와 K값을 사용하여 t₀의 평균치를 구하면 t₀ = -0.54이다. 따라서, 0 < t ≤ 10에서 작고의 성장식은

$$SH_t = 6.33(1 - e^{-0.2421(t+0.54)}) \quad (1)$$

로 표현할 수 있다.

10齡 이후의 작고 성장은 시간 t에 대해 다음과 같이 직선식으로 표현된다.

$$SH_t = 4.44 + 0.14t \quad (2)$$

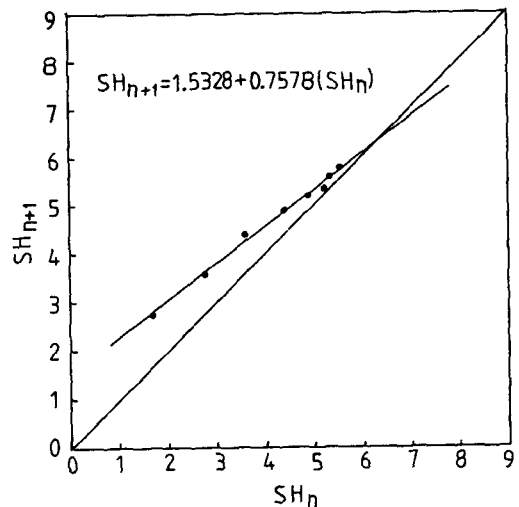


Fig. 3. Average shell height of the oyster at time n (SH_n) plotted against average shell height of 1 sampling period later (SH_{n+1}), July-December 1979.

①②식에 따라 계산 작고를 그리면 Fig. 4와 같다. 이 성장 곡선에 의한 계산치와 실측치의 편차에 대한 χ^2 검정 결과 확률 $P > 0.995$ 로서 계산 곡선은 실측 평균치를 잘 대표한다.

(2) 연체부 건조 중량의 증가: 굴 附着器別 평균 작고와 평균 연체부 건조중량의 상관 관계는 $0 < t \leq 10$ 에서

$$DW = 0.00512 SH^{2.589} \quad (3)$$

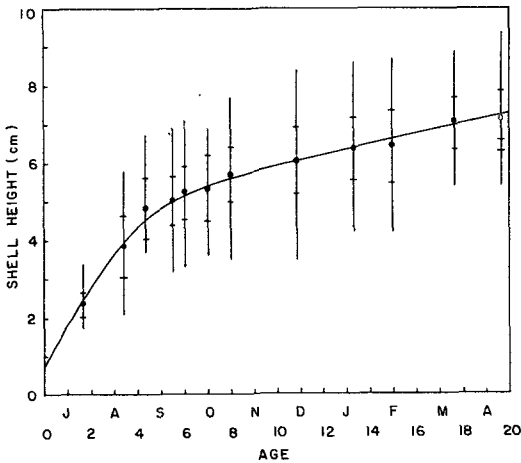


Fig. 4. Growth curve of the oyster shell height throughout the experimental period, July 1979-April 1980.

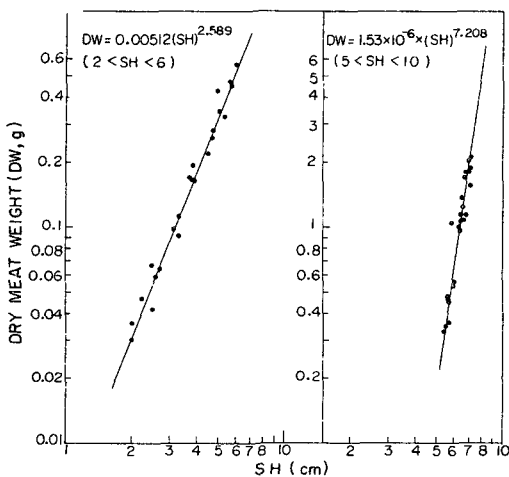


Fig. 5. Relationship between shell height and dry meat weight of the oyster. Dots; average value of each cluster.

$10 \leq t \leq 20$ 에서

$$DW = 1.53 \times 10^6 \times SH^{7.2} \quad (4)$$

로 표현된다(Fig. 5). ①②식을 ③④식에 대입하면 연체부 건조 중량 DW_t 를 시간 t 의 함수로 표현할 수 있다.

$0 < t \leq 10$ 의 경우,

$$DW_{\infty} = 0.00512(6.33)^{2.589} = 0.608$$

따라서

$$DW_t = 0.608(1 - e^{-0.2421(t+0.54)})^{2.589} \quad (5)$$

$10 \leq t \leq 20$ 의 경우,

$$DW_t = 1.53 \times 10^6 \times (4.44 + 0.14t)^{7.2} \quad (6)$$

이다. 식 ⑤⑥을 사용하여 연체부 건조 중량의 성장 곡선을 그리면 Fig. 6과 같다. 이 곡선과 실측치의 일치 확률은 χ^2 검정에서 99.5% 이상이다.

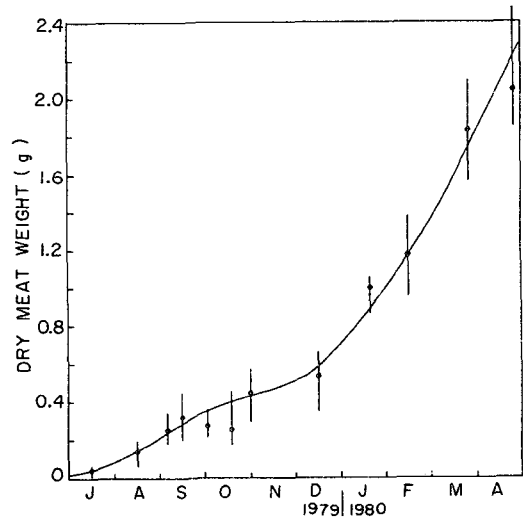


Fig. 6. Average growth in dry meat weight of the farmed oyster.

2. 생식 물질 방출량

산란 직전에 있는 개체들의 연체부 건조 중량과 산란 직후의 연체부 건조 중량 차이는 그 개체들이 산란으로 잃는 건조 물질 중량으로 간주된다. 패각 내용적(V, ml)에 대한 연체부 건조 중량(DW, g)의 관계는

$$\text{산란전, } DW_1 = 0.1179V - 0.010 \quad (7)$$

$$\text{산란후, } DW_2 = 0.051V - 0.0245 \quad (8)$$

이다. 개체당 생식 물질 방출량(G, g)은 $G = DW_1 - DW_2$ 로 계산하여

$$G, g = 0.0669V + 0.0145 \quad (9)$$

가 되며, 이것은 Fig. 7에서 두 직선 사이의 간격에

해당된다. 건조량으로 본 개체당 생식 물질 방출량은 산란 직전 육중량의 약 60%에 달한다. 자고 SH와 패각내용적 V의 관계는 Fig. 8과 같고, 회귀식은

$$V = 0.059 SH^{2.9861} \quad (10)$$

로 표현되며, 패각내용적은 자고의 약 3승에 비례한다.

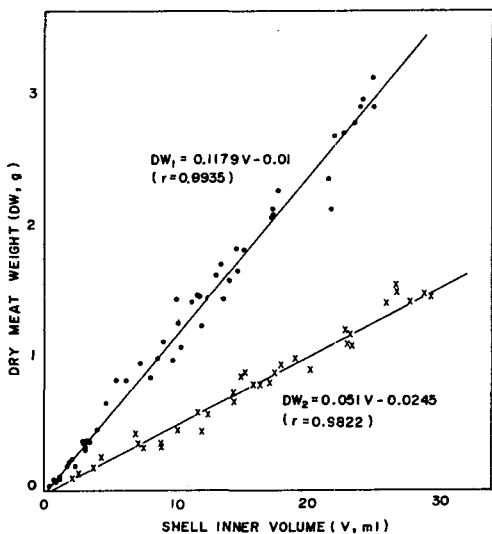


Fig. 7. Relationship between shell inner volume and dry meat weight before (upper line) and after spawning (lower) of the oyster.

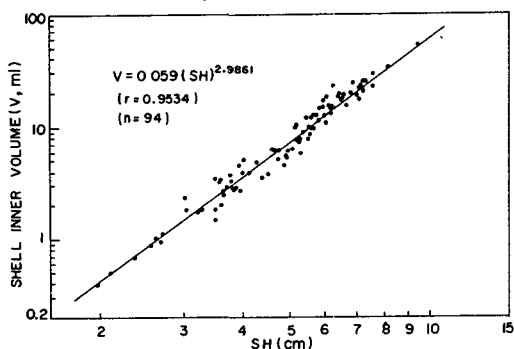


Fig. 8. Relationship between shell height and shell inner volume of the oyster.

식 (10)을 식 (9)에 대입하면 생식 물질 방출량 G를 자고 SH의 함수로 표현할 수 있다. 회귀식은

$$G, g = 0.0145 + (3.95 \times 10^{-3} \times SH^{2.9861}) \quad (11)$$

이다.

3. 패각의 유기물 함량

패각에 함유된 유기물의 건조중량(SO, g)과 자고와의 관계는 Fig. 9와 같으며 회귀식은

$$SO = 0.000648 \times SH^{2.527} \quad (12)$$

로 표현된다.

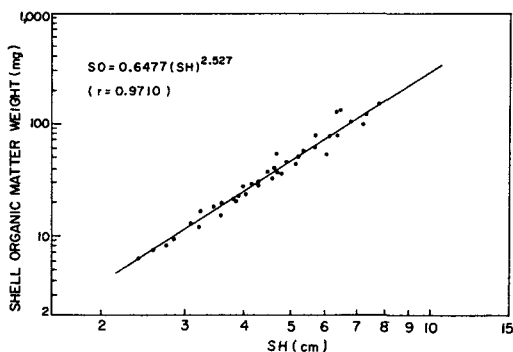


Fig. 9. Relationship between shell height and organic component of the oyster shell.

4. 호흡량

동물의 호흡율(R, mg O₂/hr/animal)은 건조 체중(DW, g/animal)의 누승에 비례하며,

$$R = a(DW)^b$$

로 표현된다(Prosser, 1961). 이것은 對數式으로 고쳐서

$$\log R = \log a + b \log DW \quad (13)$$

이다. R을 단위 체중당 호흡율(R/DW, mg O₂/g, DW/hr)로 바꾸면

$$R/DW = a(DW)^{b-1}$$

이 되며, 이 식은

$$\log(R/DW) = \log a + (b-1) \log DW \quad (14)$$

로 고쳐 쓸 수 있다. 굴 개체의 건조 육중량당 산소 소비 속도(RR, mg O₂/g, DW/hr)와 개체당 건조 육중량(DW, g/animal)의 관계는 Fig. 10과 같으며, 식 (14)에 의한 수온별 회귀선 식은 Table. 1과 같다.

각 회귀선의 기울기 (b-1)과 절편치 log a의 수온에 대한 상관 관계는 Fig. 11과 같으며, 그 각각의 회귀선 식은

$$b-1 = -0.0083T - 0.3591$$

$$\therefore b = 0.6409 - 0.0083T \quad (15)$$

$$\log a = 0.0386T - 0.5381 \quad (16)$$

이다. 식 (15)(16)을 앞의 식 (13)에 대입하면

$$\log R = (0.0386T - 0.5381) + (0.6409$$

$$- 0.0083T) \cdot \log DW \quad (10)$$

이 된다. 이 식은 수온 T°C에 있어서 연체부 건조량이 DW인 굴 개체의 호흡 속도 R(mg O₂/hr/animal)을 나타낸다.

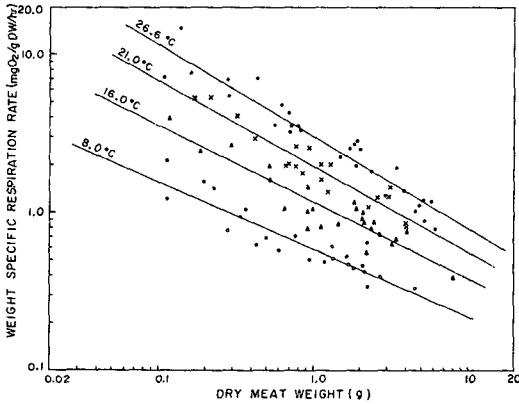


Fig. 10. Relationship between weight specific respiration rate and dry meat weight of the oyster at temperatures 26.6°C, 21.0°C, 16.0°C and 8.0°C.

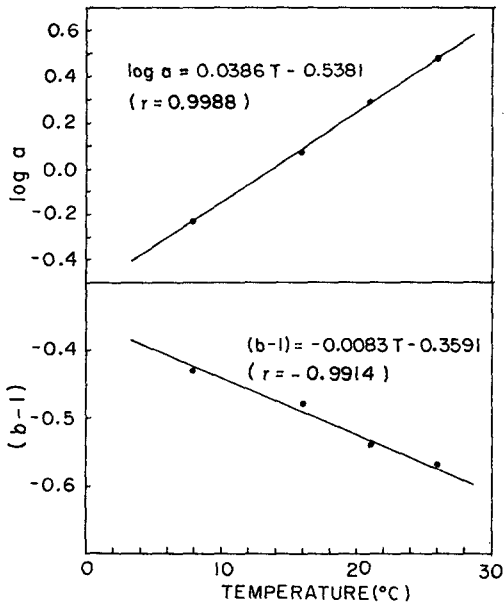


Fig. 11. Relationships between log a and water temperature (upper) and between b-1 and water temperature (lower) in respiration-dry meat weight relationship of the oyster.

Table 1. Regression statistics of log weight specific respiration rate(RR, mg O₂/g, DW/hr) on log dry meat weight(DW, g/animal) of the oyster.

Temperature T°C	n	Equation of regression line		
		$\log RR = \log a + (b-1) \cdot \log DW$	r	
		log a	b-1	
26.6	29	0.4785	-0.5773	-0.946
21.0	20	0.2935	-0.5438	-0.927
16.0	25	0.0678	-0.4826	-0.916
8.0	24	-0.2292	-0.4280	-0.912

5. 체물질 조성과 에너지 함량

연체부의 체물질 조성 및 에너지 함량의 측정 결과를 Table. 2에 요약하였다. 조단백질, 지질, 단수화물 함량의 변화 경향은 차등(1967), 이동(1975)과 일치하나 함량치는 약간의 차이가 있었다.

생물체의 에너지 함량을 oxygen bomb calorimeter로 측정하여 그 값을 가늠하고자 할 때는, bomb 내에서 단백질의 반응 생성물은 생물학적인 반응 생성물과 다르므로, 그 차이에 해당하는 에너지를 측정된 에너지값에서 보정해 줄 필요가 있다. bomb calorimeter에서 생물체 단백질의 산화 최종 산물은 일반적으로 N₂이고 (Morowitz, 1979), 이때의 단백질 대사 최종 산물은 NH₃로 볼 수 있으므로 (Mann 1979, Allen 1962, Bayne 1978), Kersting (1972)의 보정 계수 -5.9Kcal/g, N을 사용하여 Table. 2에서 연체부의 보정 에너지 값을 계산하였다.

생식 물질의 에너지 함량은 Karzinkin(1964)의 Wet combustion method로 측정하였는데, 이 방법은 농황산의 존재하에서 옥소산칼륨으로 유기물을 산화시키는 것이며, 산화 최종 산물은 H₂O, CO₂, NH₃, H₂SO₄이므로 질소 보정을 행하지 않았다.

연체부의 질소 보정을 행하지 않은 에너지 함량은 4.32~4.91 Kcal/g, DW 범위이며, 회분 제거 부분에 대한 에너지 값으로 환산하면 5.09~5.40Kcal/g, ash-free dry meat weight(AFDW)이다. 이 AFDW⁻¹ 에너지 함량의 齡(t)의 진행에 따른 경과는 7월~12월 동안은 -27cal/g, AFDW/t로 거의 직선적 감소를 나타내며, 그 이후는 +24cal/g, AFDW/t로 증가하였다. 이 값들은 *Ostrea edulis*에 대한 Rodhouse(1978)의 5.206Kcal·g⁻¹ AFDW, *Patino-*

Table 2. Average compositions and energy contents of the dry meat, gonad and shell organic matters of the pyster. Tabulated values for composition are %, and for energy content are Kcal/g, DW. The sums of % ash, protein, lipid and carbohydrate=100%

Specimens	Nitrogen	Ash	Crude Protein	Lipid	Carbohy- drate	Energy (Kcal/g, DW)	
						Uncorrected ¹⁾	Corrected ²⁾
Dry meat							
23 July	10.39	15.01	64.96	19.66	0.37	4.54(5.34)	3.93
21 Aug.	9.73	15.68	60.83	17.19	6.30	4.45(5.28)	3.88
19 Sep.	10.53	13.75	65.79	16.30	4.16	4.38(5.21)	3.75
15 Oct.	9.31	15.80	58.19	15.09	10.92	4.34(5.16)	3.79
1 Nov.	8.95	15.17	55.96	15.65	13.22	4.37(5.15)	3.84
12 Dec.	8.67	15.16	54.16	17.00	13.68	4.32(5.09)	3.81
21 Jan.	7.53	12.68	47.08	20.14	20.10	4.52(5.17)	4.07
13 Feb.	7.74	11.09	48.35	20.50	20.05	4.61(5.18)	4.15
25 Mar.	6.40	9.09	39.99	18.10	32.82	4.79(5.27)	4.41
23 Apr.	6.26	7.25	39.15	21.04	32.56	4.91(4.27)	4.54
Gonad							
Female	9.38	16.65	58.64	34.66	trace	4.33(5.19)	4.33 ³⁾
Male	9.16	24.59	57.24	18.13	trace	3.22(4.27)	3.22 ³⁾
Shell organic matter	—	43.7	—	—	—	2.84 ⁴⁾	

- 1) The values were determined by use of Parr oxygen bomb calorimeter adiabatic type. The values in parenthesis are Kcal/g, ash-free dry meat weight.
- 2) Correction by nitrogen composition (Kersting, 1972), $-5.9Kcal/g, N \times (N\%/100)$.
- 3) Not corrected because of the calorie value determined by chemical method of wet cumbustion.
- 4) Converted value into the whole matter include ash from calorific value of $5.04 Kcal \cdot g^{-1}$, ash-free dry weight which is the value given by Hughes (1970).

*pecten yessoensis*에 대한 Fuji(1974)의 $4.0 \sim 4.5Kcal \cdot g^{-1}$, *Mytilus edulis*에 대한 Pain(1971)의 $4.6Kcal \cdot g^{-1}$ DW와 잘 일치한다.

생식 물질은 탄수화물이 거의 함유되지 않은 것으로 보이며, 특히 회분의 함량은 암수간에 큰 차이를 보인다. 에너지 함량은 精巢物質이 卵巢物質의 74% 정도 밖에 안되며, 이것은 에너지 함유율이 가장 높은 脂質의 함량 차이(73%) 때문으로 해석된다. 다음 항에서 에너지 방출량을 계산할 때는 성비를 1로 보고 평균치 $3.775Kcal/g, GDW$ 를 사용하였다.

6. 에너지 收支와 에너지 전환 효율

지금까지 정리한 평균 성장, 齡別 생식물질 방출량, 패각 형성에 지출되는 유기물량, 그리고 에너지 조성 자료로부터 양식굴의 개체에 의한 各 齡別 사용 에너지의 누적 곡선을 계산하였다. 집단 수준의 에너지 계산을 위한 齡別 사망율은 種貝付着器當

생존 개체수 조사 자료에서 추정하였다.

(1) 누적 에너지 곡선

멧목에 수하할 당시의 개체는 약 $100cal$ 의 에너지를 육질부에 內藏하며, 수하 후 2齡(1개월후)에 이르면 약 $300cal$ 를 체물질로 간직한다. 연체부 에너지 축적량은 식 ⑤ 및 ⑥과 Table. 2의 월별 에너지 함량을 사용하여 계산하였다. 연체부에 축적되는 에너지량은 Fig. 12에서 맨 아래쪽과 같다.

멧목에 수하한 種굴의 壳高는 $2 \sim 5cm$ 로 작지만 전년도에 채묘된 2년생 굴로서 8월에 들어오면 생식소가 급격히 팽대하여 9월말까지는 거의 모든 개체가 생식 물질을 방출한다. 여기서는 계산의 편의를 위하여 산란기를 3~6齡 사이로 보고, 산란기간 동안 생식 물질 전량을 均等割 방출한다고 가정하여, 齡別 평균 壳高(SH)에서 식 ⑩로 생식물질량을 계산하고, 이 값의 1/4을 齡別 방출 양으로 하였다. 생식 물질의 암수간 에너지 함량의 평균치 $3.775Kcal/g,$

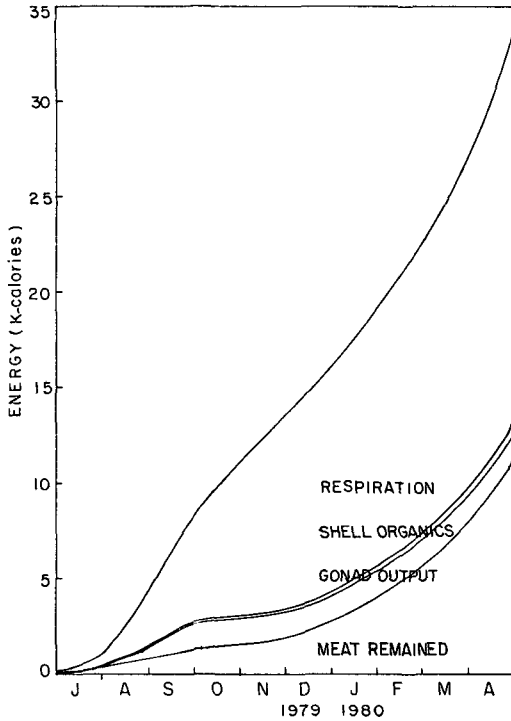


Fig. 12. Cumulative energy used by individual *C. gigas* in the farm. The curves are additive, i.e., the space between the upper two curves represents the cumulative energy lost by respiration, the next lower space represents energy used to gonad output, so that the upper curve represents cumulative energy used for all processes.

GDW를 사용하여 식(11)을 SH에 의한 에너지양 EG로 고치면,

$$E_G, Kcal = \frac{1}{4} [0.0149(SH)^{2.9861} + 0.0547] \quad (18)$$

이 된다. 식(18)로 계산한 에너지 값을 3齡에서 시작하여 6齡까지 누적하면 개체가 생식으로 인하여 잃는 에너지 총량이 되며, 이것을 Fig. 12에서 둘째 곡선으로 표현하였다. 누적 에너지 곡선들은 부가적인 표현법을 썼다. 즉 연체부 축적 에너지를 나타내는 첫째 곡선과 생식 물질 방출 에너지를 나타내는 둘째 곡선 사이의 구역은 생식 물질 방출로 상실하는 에너지의 누적량을 나타낸다.

패각 형성으로 잃는 에너지 계산을 위하여 Hughes (1970)의 패각 유기물질 에너지 계수에서 *C. gigas*의 패각 유기물에 대한 회분 포함 계수로 바꾼 2.84

Kcal/g, DW (Table. 2)를 식(12)의 유기물양에 곱하면,

$$E_{S_0}, Kcal = 0.00184(SH)^{2.527} \quad (19)$$

이 된다. 식(19)에 의한 누적 곡선은 Fig. 12의 세째 곡선인데, 이것은 그 값이 너무 적으므로 부분적으로 과장 표현되어 있다.

호흡에 사용된 누적 에너지는 Fig. 12에서 맨 위의 곡선으로 표현된다. 이 곡선과 그 아래 곡선 사이의 구역은 잃은 異化 에너지 양에 해당한다. 호흡에 사용된 에너지 총량은 체중에 대한 호흡속도 방정식(17)식과 5m층의 현장 수온(Fig. 13), 그리고 체물질 조성 자료(Table. 2)에 근거한 齡別 에너지 전환 factor로부터 계산하였다.

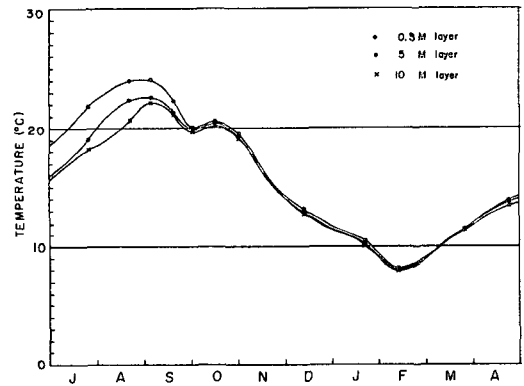


Fig. 13. Water temperature form July 1979—April 1980 in the oyster farm Geojje-Hansan Bay.

이 실험에 있어서 *C. gigas*의 異化作用 基質이 무엇인지는 알 수 없다. Bayne et al(1978)은 *Mytilus edulis*에서 호흡으로 잃는 에너지 양의 10~20%에 해당하는 양을 암모니아로 잃는다고 했으며, 또한 매일 섭취하는 단백질의 82%를 異化한다고 하였다. Mann(1979)은 *C. gigas*의 암모니아 배설량 E는 $E=aw^b$ 으로 표현할 수 있다고 하였으며, b값으로 수온에 따라 0.5~0.8을 제시하였는데, 이 실험에서 호흡량도 $R=aw^b$ 으로 표현할 수 있으며, b값은 0.6으로 줄 수 있다(식(16)). 이것은 호흡량에 대한 암모니아 배설량이 정비례 관계에 있음을 의미한다. 그는 또한 체내 탄수화물 함량의 증가와 더불어 암모니아 배설이 줄며, 그러한 경향은 산란 직전까지 계속되고, 산란후에는 체내 탄수화물 함량이 급격히 줄어드는 것과 동시에 암모니아 배설이 현저히 증가된다고 하였다. Table. 2에서 연중 체물질의 월변화를 살펴볼 때, 脂質은 변화가 거의 없고, 탄수화물

은 산란기 이후 점점 증가하며, 단백질은 탄수화물과 반대로 점점 감소한다. 이것은 암모니아 배설량이 체내 단백질 함량에 따라 변하는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 이와 같이 호흡량에 정비례하여 암모니아 배설량이 변하고, 암모니아 배설은 체내 단백질 함량에 따라 변화를 나타내는 것이라면, 脂質과 탄수화물이 호흡에 사용되는 비례를 여기서 알수는 없지만, 呼吸基質은 체내 물질 조성 비례로 사용될 가능성이 높다. 이 실험에서 *C. gigas*는 그들의 체내에 존재하는 물질의 비례대로 異化基質을 사용한다고 가정한다. 호흡 열량 계수(단위 cal/ml O₂)로서 Ivlev(1934)는 4.8을 제시하였고, Rodhouse(1978)는 이 값을 *Ostrea edulis*의 에너지 계산에 사용하였으며, Bayne(1978)은 4.75를 *M. edulis*에서, Bernard(1974)는 *C. gigas*에서 5.0을, Fuji(1974)는 *Patinopecten yessoensis*에서 4.86을 각각 단일 계수로 사용하였다. Prosser(1950)와 Hawk et al(1954)는 체 성분에 따라 단백질 4.5, 脂質 4.7, 탄수화물 5.0을 제시하였으며, Clutter(1971)는 이 계수를 *Metamysidopsis*에서 체물질 조성 비례로 계산한 평균치 4.5를 사용하였다. *C. gigas*의 경우는 물질 조성비의 변동폭이 크므로 단일 환산 계수를 사용하는 것은 적당하지 않다고 생각한다. 저자는 Prosser and Hawk의 물질별 계수를 체물질 조성비례로 계산한 변동치를 사용하였다. 먼저 물질별 계수의 단위를 cal/mlO₂에서 cal/mgO₂로 고쳤다. 고친 계수는 단백질 3.15, 脂質 3.29, 탄수화물 3.50이다. 호흡에 사용되는 基質은 Ash-free 부분이라고 생각되므로 Table. 2의 Ash포함 물질 함량비를 AFDW⁻¹로 환산하여, 그 비례대로 齡別 oxycalorific coefficient를 계산하였다. 이렇게 산출된 계수는 3.18(8월)~3.31(4월)cal/mgO₂ 범위이며, 이것은 4.54~4.73 cal/mlO₂로서 Bernard의 5.0 보다는 약간 작은 값이다.

굴의 개체에 의한 사용 에너지를 계산함에 있어서 육질부에 내장된 에너지 값은 bomb calorimeter 측정치에 대해 질소 보정을 이미 행한바 있다(Table. 2). 이 보정은 단백질이 NH₃ 수준으로 분해될 때까지의 enthalpy를 단백질의 에너지 함량으로 규정하는 의미를 가지고 있으므로, 代謝產物로 배설되는 NH₃ 자체의 에너지를 사용에너지로 算入할 수 없다. 그러나 尿中에는 점액, 유리 아미노산, 기타 용해성 유기물이 일부 함유되어 있다고 하므로 (Rodhouse 1979, Bayne 1978, Allen 1962), 이 실험에서 *C. gigas*에 대한 全異化作用의 추정치는 호흡열 에너지만을

계산하였기 때문에 실제보다 약간 낮은 값일 수 있다. 체물질 축적 에너지 B, 생식 물질 방출 에너지 G, 패각 형성에 잃는 에너지 S, 호흡 에너지 R의 합계는 굴이 食物에서 동화한 에너지 총량 A와 같다고 볼 수 있다.

$$A=B+G+S+R$$

양식 기간 동안 굴 개체가 食物에서 동화하는 에너지는 호흡과 증육에 각각 62.2%, 33% 씩을 사용한다. 이것은 Fig. 12의 t=20에서 y축의 각 길이가 맨 윗쪽 곡선의 y축 길이에 대한 비율로 표현된다.

(2) 減耗率

付着器當 생존 개체수를 월별로 조사하여 수하 당시의 개체수에 대한 사망 개체의 비율을 3항 이동 평균한 감모율 곡선은 Fig. 14와 같다. 이 곡선은

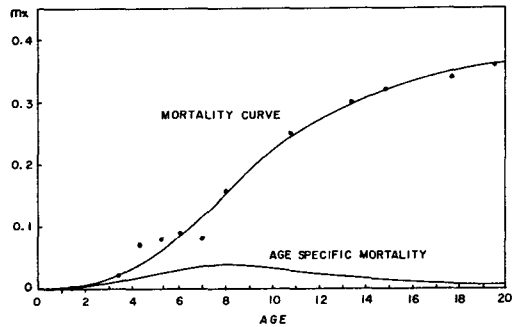


Fig. 14. Age specific mortality, % (m_x=probability of cumulative dead individuals per initial number on unit cluster at age x) of the farm oyster *C. gigas* calculated from estimates of 3 moving averages during culture period.

각점들을 무리없이 켤 수 있도록 손으로 맞춘 것이다. 이 그림의 아래쪽 곡선은 감모율 곡선에서 各齡

Table 3. Mortality of *C. gigas* during culture in Japan

Bed	year	Mortality, %	Reference
Usu Bay	1947	16.9—19.6	Imai(1969)
Onagawa Bay	1947	13.9—36.7	"
Mangoku-ura	1947	12.5—40.7	"
"	1949	37.7—48.8	"
Matoya Bay	1947	50—88.2	"
Hamajima coast	1949	65.2—100	"
Gig Harbor	1949	38.4—73.9	"
Miyajima area	1968	55.0	Kusuki (1977a)

별 순간 사망 속도를 산출하여 그린 것이다. 이것은 7~9齡(10월중순~11월중순) 사이에 가장 감모가 심했음을 나타낸다. 全死亡 개체의 80%가 1월이 되기 전에 죽는다. 全期間의 감모율은 0.36이며, 거제·한산만 양식굴의 감모율에 대한 과거의 조사 자료는 발견하지 못했지만, 일본의 굴 양식장에서 *C. gigas*의 감모율에 대한 자료와 비교해 보면 Table. 3과 같다.

(3) 집단에 의한 에너지 사용

Fig. 12의 누적 에너지 곡선은 개체수준의 에너지 사용량을 나타내는 것이지만, 이것은 또한 수하한 굴 집단의 전개체가 수확시까지 모두 산다고 전제할 수 있을 때 집단 수준에 그대로 적용시킬 수 있다.

그러나, Fig. 14의 순간 사망 속도 곡선에서 보는 바와 같이 모든 齡에서 집단의 일부는 죽고 있으므로, 집단에 의한 에너지 사용 곡선은 수정되어야 한다.

집단내에서 사망으로 잃는 체물질의 에너지와, 그리고 생존 개체들에 의한 생식 물질 방출, 패각 형성시 패각으로 넘어가는 에너지, 호흡등은 집단에 의해 상실되는 에너지 항목들이다. 양성 기간중의 사망이 다른 생물의 食害활동에 의해서 일어난다고 할 수 있을 때 사망으로 인한 체물질 상실량도 다음 영양 단계로의 에너지 전환으로 보는 것은 타당하다고 할 수 있겠으나, 여기서는 취급 대상종이 극히 멸박한 목적을 위해서 인위적으로 양식되는 굴이므로 수확 이전의 사망으로 집단중에서 사라지는 부분은 상실 에너지에 포함시키는 것이 합리적이다.

생식 물질 방출량은 거제·한산만에서는 채묘하지 않으므로 집단에의 가입으로 연결되지 않으며, 방출 전량은 집단이 잃는 부분이다. Bernard(1974)는

*C. gigas*의 에너지 收支에 관한 계산에서 방출되는 생식 물질은 치어, 갑각류 유생들의 먹이로 공여되는 것으로 간주하였다.

Fig. 15는 양식굴의 집단에 의해 사용되는 에너지의 齡別 분포도이다. 모든 곡선은 x축의 값을 0으로 두고 그렸다. 全養成期間의 사망으로 잃는 부분의 면적은 생식 물질 방출에 사용된 에너지 면적보다 적다. 호흡 에너지는 5齡期에 최고를 나타내고, 그 후 체중 증가기에 들어감에도 불구하고, 오히려 호흡량이 감소하는 것은 수온의 하강에 의한 호흡 속도의 감소 때문이며, 16齡 이후 급상승하는 것은 수온 상승과 육중량 증가에 의한 증폭 결과로 보인다. 齡別 총 에너지 사용량의 분포 패턴은 거의 호흡량 분포에 지배된다.

各 齡에 있어서 사망으로 잃는 體 에너지 누적량을 계산하고, 每 齡마다 집단중에 살아남은 개체들에 의하여 사용되는 각 항목의 에너지를 누적 계산하여 그리면 Fig. 16과 같다.

4월말로서 양식굴 전량이 채취된다고 가정할 때, 양성 기간 동안 집단에 의해 동화된 총 에너지중 육질부에 留保되는 에너지의 비율, 순 에너지 전환 효율은 저자의 최선의 추정값은 28%이다(Table 4).

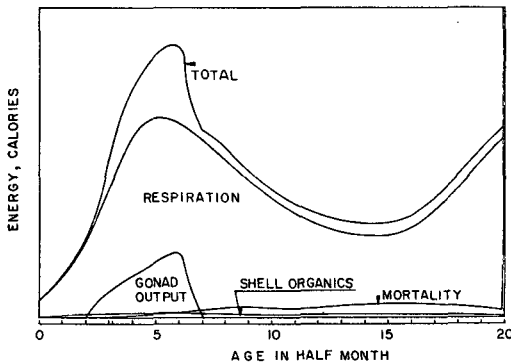


Fig. 15. Age specific distribution of energy loss by oyster population.

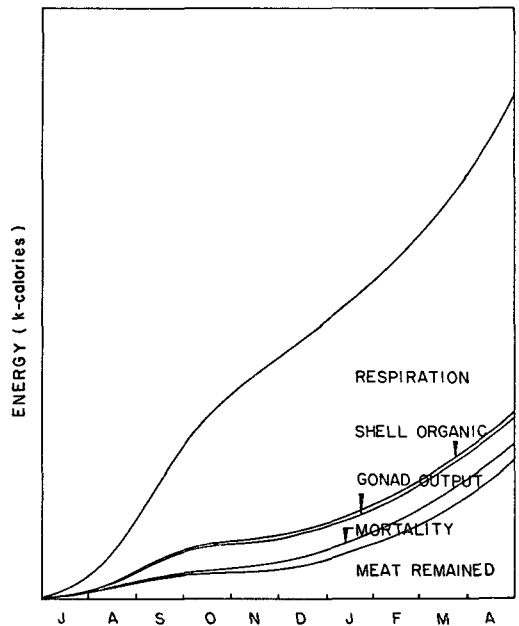


Fig. 16. Cumulative energy used by the population of the oyster *C. gigas* in the culture bed.

Table 4. Relative amount(%) of energy used by oyster individual and population levels during the farming period, July 1979–April 1980

	Meat remained	Gonad output	Shell organics	Respiration	Mortality	Total
Individual	33.0	4.0	0.8	62.2	—	100
Population	27.5	4.9	0.7	63.2	3.7	100

7. 동화 효율과 총 에너지 전환 효율

(1) 동화 효율

양식굴의 총 에너지 전환 효율은 (육질부에 축적된 에너지양)/(섭취된 에너지양)으로, 순 에너지 전환 효율은 (육질부 축적 에너지양)/(동화된 에너지양)으로, 동화 효율은 (동화 에너지양)/(섭취 에너지양)으로 표현하면,

$$\text{총 에너지 전환 효율} = \text{순 에너지 전환 효율} \times \text{동화 효율}$$

에서 산출된다. 그러므로 동화 효율의 추정은 총

에너지 전환 효율의 추정에 꼭 필요하다.

이 실험에서는 동위 원소 표지를 쓰는 대신 Sato et al(1964)의 방법에 따라 해수층의 부유 현탁물에 다량 함유된 불용성 粗珪酸을 지표로 사용하여 플랑크톤과 굴의 糞 및 擬糞의 유기 질소 함량을 조사하였다. 이 방법은 섭취된 먹이중 10% 열염산에 불용성인 조규산 화합물은 굴의 소화관을 통과하는 동안 흡수되지 않고, 전량이 糞속에 남아서 배출된다고 가정한다. 조사 결과는 Table 5와 같다.

Kusuki(1977 b)는 *C. gigas*의 糞과 擬糞의 유기 질소 함량으로 일본의 Miyajima 양식장과 Ondo양

Table 5. Organic nitrogen and insoluble silicate contents in the faecal materials of the oyster and the suspended planktonic netting matter

Materials	Organic nitrogen mg N/g, DW	Insoluble crude silicates SiO ₂ mg/g, DW	N mg		Division rate %
			100mg	SiO ₂	
Plankton	73.99	191.15	38.74		100
Faeces	5.35	50.58	10.58		27.3
Pseudofaeces	4.64	69.72	6.66		17.2

식장에서 각각 0.5~3.1%, 0.3~5.0%의 값을 측정하였고, 플랑크톤의 유기 질소 함량은 1.2~5.0%라고 하였는데 저자의 조사 결과와 매우 근사하다.

굴의 入水口로 들어간 유기 질소의 경과 과정을 에너지 경과 과정으로 본다면 Table 5에 근거하여 동화 효율은 55.5%로 계산된다(Fig. 17). Rodhouse (1979)는 *O. edulis*에서 동화 효율을 35.5%로 계산하였고, Fuji (1974)는 *Patinopecten yessoensis*에서 65.4~78.9%로 보고 하였으며, Kusuki(1977c)의 *C. gigas* 조사 자료에서 환산한 값은 50~60%이다.

(2) 총 에너지 전환 효율

위의 자료에서 저자는 *C. gigas*의 동화 효율은 40~70% 사이일 것으로 생각한다. 앞에서 순 에너지 전환 효율의 추정치는 28%였으므로, 총 에너지 전환 효율은 최소 11%, 최대 20%로 추정된다. 이 추정치들은 Rodhouse(1979)의 *O. edulis* 에너지收支 자료에서 계산되는 5.5%보다는 약 3배 높으나, 그것은 5년 동안의 에너지 수지를 다룬 값이기 때문에 나타나는 오차로 생각된다. 그러나, Slobodkin(1961, 1962)이 제시한 평균치 10%에 근접하며, Patten (1959), Phillipson(1966), Reeve(1966), Engel-

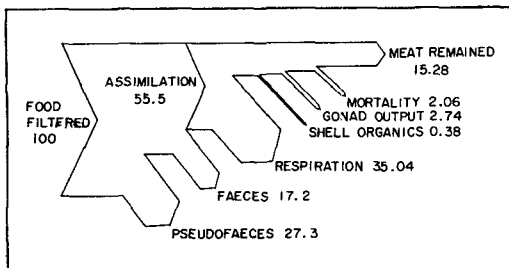


Fig. 17. Schematic representation of percentage distribution of filtered food expressed by energy value for oyster population during the farming period 10 month, July 1979–April 1980.

mann(1961), Clutter(1971)가 다른 동물들에서 추산한 8~30%의 범위내에 들어간다.

요 약

거제·한산만 양식굴 *Crassostrea gigas*의 에너지 전환 효율을 추정하기 위하여 한 양식 기간인 1979년 7월부터 1980년 4월까지 성장도, 생식 물질 방출량, 패각 형성량, 호흡량, 집단 감모율에 대한 현지 생체 실측 조사를 행하였으며, 연체부의 물질 조성 및 에너지 함량, 패각의 유기 물질 및 생식 물질의 에너지 함량을 각각 측정하고, 호흡량에서 호흡 열량 계수를 사용하여 異化 에너지양을 계산하였다.

이상의 자료에서 동화 에너지양에 대한 연체부 에너지양의 비율로 순 에너지 전환 효율을 계산하고 동화 효율을 측정하여 섭취 에너지양에 대한 연체부 에너지양의 비율로 총 에너지 전환 효율을 계산하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 각고(SH) 및 연체부 건조 중량(DW)의半月齡(t)에 따른 성장도;

$$SH = 6.33(1 - e^{-0.2421(t+0.54)}), \quad (0 < t \leq 10)$$

$$SH = 4.44 + 0.14t, \quad (10 \leq t \leq 20)$$

$$DW = 0.608(1 - e^{-0.2421(t+0.54)})^{2.589}, \quad (0 < t \leq 10)$$

$$DW = 1.53 \times 10^{-6} \times (4.44 + 0.14t)^{7.2}, \quad (10 \leq t \leq 20)$$

2. 생식물질 방출량(G);

$$G = 0.0145 + (3.95 \times 10^{-3} \times SH^{2.9861})$$

3. 패각 형성량(SO);

$$SO = 0.000648 \times SH^{2.527}$$

4. 호흡량(R);

$$\log R = (0.0386T - 0.5381) + (0.6409 - 0.0083T) \cdot \log DW$$

5. 연체부 에너지 함량;

3.93(7월)~4.54(4월) Kcal/g, DW(질소 보정에 의한 계산값)

6. 생식 물질의 에너지 함량(E_G);

$$E_G, Kcal = \frac{1}{4} [0.0149SH^{2.961} + 0.0547]$$

7. 패각 유기물의 에너지 함량(E_{SO});

$$E_{SO}, Kcal = 0.00184SH^{2.527}$$

8. 호흡 에너지 계수:

$$3.18(8월) \sim 3.31(4월) cal/mg O_2$$

9. 집단 총 감모율: 36%

10. 동화 효율: 55.5%(40~70%)

11. 순 에너지 전환 효율: 28%

12. 총 에너지 전환효율: 15.28%(11~20%)

謝 辭

이 연구의 시종을 지도하여 주신 전국대학교 李敬魯 박사님과 귀중한 측정기기의 사용편의를 제공하여 주신 부산수산대학의 黃金小교수님께 감사합니다. 아울러 양성굴의 시료채취를 허락해 주신 대한종합식품 증무공장의 임동택 공장장에게 감사합니다.

문 헌

- Allen, J. A. (1962): Preliminary experiments on the feeding and excretion of bivalves using *Phaeodactylum* labelled with ^{32}P . J. Mar. Biol. Ass. U. K. 42, 609-623.
- Bayne, B. L. and J. Widdows (1978): The physiological ecology of two populations of *Mytilus edulis* L., Oecologia (Berl.) 37, 137-162.
- Bernard, F. R. (1974): Annual biodeposition and gross energy budget of mature Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. J. Fish. Res. Board Canada 31(2), 185-190.
- 趙昌煥 (1980): 關山·巨濟灣 굴 養殖場의 養殖密度에 關한 研究. 韓水學誌 13(2), 45~56.
- Clutter, R. I. and G. H. Theilacker (1971): Ecological efficiency of a pelagic mysid shrimp; estimates from growth, energy budget, and mortality studies. Fish. Bull., U. S. Fish & Wildlife Service 69(1), 93-115.
- Cummins, K. W. and J. C. Wuycheck (1971): Caloric equivalents for investigations in ecological energetics. Mitt. Internat. Verein. Limnol. 18, 1-158.
- Dame, R. F. (1976): Energy flow in an intertidal oyster population. Estuary and Coastal Marine Science 4, 243-253.
- Fuji, A. and M. Hashizume (1974): Energy budget for a Japanese common scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay) in Mutsu Bay. Bull. Fac. Hokkaido Univ. 25(1), 7-19.
- Hawk, P. B., Oser B. L. and W. H., Summerson (1954): Practical physiological chemistry.

- 13rd ed. McGraw-Hill. New York U.S. p.1439.
- Hughes, R.N., (1970): An energy budget for a tidal flat population of the bivalve *Scrobicularia plana* (Da Costa). J. Anim. Ecol. 39, 357—381.
- Ikeda, T. (1970): Relationship between respiration rate and body size in marine plankton animals as a function of the temperature of habitat. Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ. 21(2), 91—112.
- _____ (1971): Changes in respiration rate and in composition of organic matter in *Calanus cristatus* (Crustacea Copepoda) under starvation. Ibid. 21(4), 280—298.
- _____ (1974): Nutritional ecology of marine zooplankton. Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 22(1), 1—97.
- Imai, T. and S. Sakai (1961): Study of breeding of Japanese oyster, *Crassostrea gigas*. Tohoku J. Agr. Res. 12(2), 125—171.
- Ivlev, V. S. (1934): Eine micromethode zur bestimmung des kaloriengehalts von Nährstoffen. (In quotation by Rodhouse 1978, J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 34, p9.)
- Karzinkin, G. S. and O. I. Tarkovskaya (1964): Determination of caloric value of small samples. In Techniques for the Investigation of Fish Physiology. Israel Program Sci. Transl., Oldbourne Press, London. 122—124.
- Kersting, K. (1972): A nitrogen correction for caloric values. Limn. & Oceanogr. 17(4), 643—644.
- Kusuki, Y. (1977a) : Fundamental studies on the determination of oyster growing grounds - I. Production of faecal materials by the Japanese oyster. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 43(2), 163—166.
- _____ (1977b): Ibid. -II. Organic content of faecal materials. Ibid. 43(2), 167—171.
- _____ (1977c): On measurement of the filtration rates of the Japanese oyster. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 43(9), 1069—1076.
- 李應昊·鄭承鏞·金洙賢·柳炳浩·河璉珠·成洛珠·梁升澤(1975): 貝類의 加工適性. 3. 굴의 加工適性, 韓水學誌 8(2), 90—100.
- Mann, R. (1979): Some biochemical and physiological aspects of growth and gametogenesis in *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis* grown at sustained elevated temperatures. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 59, 95—110.
- Morowitz, H. J. (1979): Energy flow in biology. Ox Bow Press. Connecticut. U.S. p.108.
- Pain, R. T. (1971): The measurement and application of the calorie to ecological problems. Am. Rev. Ecol. Systematic. 2, 145—164.
- 朴東根·崔佑鉉·張東錫·李相洙 (1967): 養植굴의 時期的인 化學成分變化에 關하여. 國水振研報 2, 31—38.
- Parr instrument Co. (1977): ASTM standards for bomb calorimetry and combustion methods. Authorized reprint from the annual book of ASTM Standards. 1—52.
- Patten, B. C. (1959): An introduction to the cybernetics of the ecosystem: The trophic-dynamic aspect. Ecology 40(2), 221—231.
- Phillipson, J. (1966): Ecological energetics. St. Martin's Press. New York. p.57.
- Prosser, C. L. ed. (1950): Comparative Animal Physiology. W. B. Saunders Co., Philadelphia U.S., p.888.
- Reeve, M. R. (1966): Observation on the biology of a chaetognath. In Clutter 1971, Pelagic mysid shrimp ecological efficiency. Bull. Fish, 69(1), p.113.
- Rodhouse, P. G. (1978): Energy transformations by the oyster *Ostrea edulis* L. in a temperate estuary. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 34, 1—22.
- _____ (1979): A note on the energy budget for an oyster population in a temperate estuary. Ibid. 37, 205—212.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons (1968): A Practical Handbook of Seawater Analysis 3rd ed. Fish Res. Board Canada Bull. 167, p.311.
- Sato, T., S. Matsumoto, Y. Horiguchi and Tsujii, T. (1964): Filtering- and feeding

rate of the pearl oyster, *Pteria (Pinctada) martensii* Dunker, determined with crude silicate as indicator. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 30 (9), 717-722.

Slobodkin, L. B. (1961): Growth and Regulation of Animal Populations. (In quotation by Clutter 1971, Pelagic mysid shrimp.) Holt, Rinehart and Winston, New York. p. 184.

.....(1962): Energy in animal ecology. J. B. Cragg (ed.), Advances in Ecological Research 1, 69-101. Academic Press. London.

Walne, P. R. (1974): Culture of Bivalve Molluscs. 50 year's experiment at Conwy. p. 158. Fishing News (Books) Ltd. Surrey, England.