

[綜說]

연근해 생물 잠재생산력 추정을 위한 Herbivores 단계의 에너지 전환 효율의 추정 방법에 관한 고찰

김 용 술

통영수산전문대학 양식과

Review of Methods for Measurement of Ecological Energy Conversion Rate by Herbivores in Offshore and Adjacent Sea

Yong-Sool KIM

Department of Aquaculture, Tong-yeong Fisheries Junior College

Chungmu 650-160, Korea

Probably herbivorous fishes were visibility main body as aquatic substantial production in offshore and adjacent sea. It is a major problem to estimation of energy conversion rate by hervivores from primary production when to be measurement for potential productivity of herbivores as above meaning according to deductive method. This was deal with review of K_i index, with mean transfer efficiency from food in seawater to food in gut be eaten by a particular species. Yet K_i was not settled with an established theory. In this review coefficients of food selection or electivity indices suggested by two Russian biologists, Ivlev and Sorygin, $(r-p)/(r+p)$ and (r/p) were understand unsuitable to use with the transfer efficiency K_i . But CCOS that is one of community resemblance chord is suggested to be possible with someone a treatment, as $(CCOS) \times (\text{Filtering rate})$.

서 론

생태계에서 에너지는 흐르고, 물질은 순환하며, 물질의 순환 양상은 에너지 흐름의 그림자라고 할 수 있겠는데(Odum, 1971), 생태계에서 영양단계마다 생산력을 만들어 내는 바탕은, 생태계에 유입되는 태양에너지가 영양단계간을 거치면서 흐르고 분산되는 과정이라고 본다. 생물생산력은 각 영양단계에서 소비하거나, 다음 영양단계로 전이하는데 쓰여지기 위하여 에너지가 유기물 형태로 고정 또는 동화되는 속도를 의미하며, 그것에는 시간요소가 내포된다. 전통적인 먹이연쇄 개념으로 모식화된 생태계 내 생물에너지의 흐름은 그 원천을 태양에 두고(Morowitz, 1979) 있으므로, 생물 잠재생산력의 크기는 독립영양단계의 有機에너지 고정능력으로 가늠이 될 것이다. 그러나 연근해 생태계에

서의 생물생산력은 사람에 의한 유용성과 관심거리라는 입장에서, 초식어류 수준에서의 에너지 변환효율, 즉 어체의 형태로 변환되는 에너지에 초점을 맞추는 것이 적당하리라고 여겨진다. 그것은 사람이 해양의 생물 생산을 實物로 거두게 되는 대상의 실체는 아직까지 식물플랑크톤이 아니라 어류이기 때문이다. 잠재생산력이라는 말을 가능한 최대생산력이라는 뜻으로 간주하고, 식물플랑크톤을 주식하는 초식어류의 가능 생산력을 추정하는데 관련되는 방법으로서, 기초생산력으로 부터 초식어류생산으로 에너지가 전환되는 효율을 추정하는데 계류된 문제점, 특히 missing link로 남아있는 먹이감과 먹은것 사이의 관계에 관하여 고찰한 바를 기술한다.

본 론

1. 추정을 위한 기본개요

효율[efficiency]은 원래 에너지 流量의 분배비라는 뜻으로 해석한다. 어떤 변환기로 유입되는 에너지가 그 변환기를 거치면서 열에너지와 기계에너지, 또는 위치에너지, 화학에너지, 전기에너지 등 각양의 에너지로 나누어져, 그 모습을 바꿀 때, 여러모습으로 바뀌는 에너지 중, 사람이 관심을 갖는 모습으로 바뀌는 에너지의 유량분배비를 말한다. 본 논제인 에너지 전환효율을 추정한다는 것은, 초식어류의 입으로 移入되는 먹이의 생체에너지 중에서 어체내에 동화되어, 사람의 관심의 대상인 어체에 留保되는 에너지의 분배비를 추정하는 것이라고 할 수 있다.

해양 초식자의 집단수준에서 먹이의 형태로 섭취되는 에너지가 변환되는 회로는 거시적 형태로 그림 1과 같이 설정할 수 있다. 여기서 성장부분 G는 생체량을 형성하므로 실물수획의 자원이 되며, 동화흡수량 A는

$$A=R \times G \times S \times E \times M \quad (1)$$

로 된다.

Shushkina(1966)는, "real production"은 성장 G에 다음 영양단계의 생산 Pe를 합친 것으로 해야 한다고 하면서, 다음 식으로 표현했다.

$$\text{real P} = (P_o - R_e) + P_e = G + P_e$$

이 식의 P_o는 그림 1의 동화흡수 A와 같고, R_e는 초식자 단계의 모든 자가소비 에너지량의 합계이다. 그의 이러한 견해에 원칙적으로는 동의할 수 있지만, 자연의 바다와 같이 열린系에서 이 모델을 적용하는 데는 문제가 간단하지 않다. 초식자의 집

단에서 자연사망으로 잃는 부분 중 얼마가 다음 단계의 육식자에게 전이되는가 하는 것은 그 해답을 얻기 위하여 의존할 만한 思考體系가 아직 마련되어 있지 않을 뿐 아니라, 2차소비자 단계에서 이 문제가 다시 제기되기 때문이다. 본 고찰에서는 이 문제의 거론을 유보한다.

그림 1에서 다음의 계수들을 확정할 수 있다면, 먹이 V에서 체물질 축적 G로의 변환효율을 추정할 수 있다. 즉 herbivore 단계에서의 유효 잠재생산력을 계산해 낼 수 있다.

$$K_{1r} = A/D$$

$$K_2 = G/A$$

$$K_1 = D/V$$

이 계수들에 대해서 아래에 차례로 기술한다.

2. 계산을 위한 매개변수들

(1) K_{1r}와 K₂에 대해서

K_{1r}은 원래, Ivlev(1939, 1945)가 소비자 영양단계의 먹이 동화능력에 관한 개념을 정립하면서, 성장을 위한 섭취먹이의 유효도 계수로 개발했는데, 그는

$$K_1 = G/C$$

로 썼다. 그러나 이런 뜻의 K₁은 뒤에 논할 K_{1r}의 불확실성 때문에 그다지 의미가 없다고 여겨지므로, 여기서는 K_{1r}로 표기하고, 이것을 소화하는 것에 대한 동화하는 것의 유효도 계수로 사용하기로 한다.

K₂는 동화에 대한 성장의 비율이며, 여러 연구자들이 이것을 growth efficiency(Clark, 1946; Odum

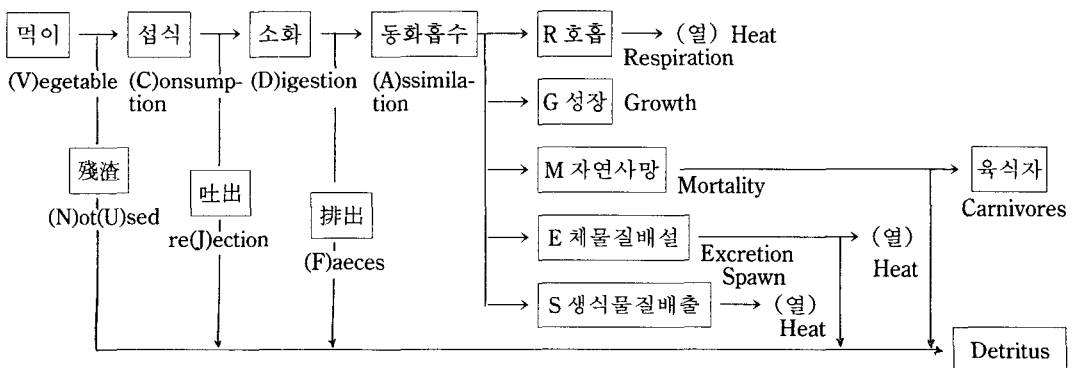


Fig. 1. Circuit of food energy transfer by herbivores.

and Smalley, 1959), tissue growth efficiency(Odum, 1957; Gerking, 1962), net effieicnty of growth (Richman, 1958)라고 일컬었으나, 간단히 'growth effieicnty'로 통용되고 있다. K_1 및 K_2 는 한 생물의 에너지 평형, 또는 에너지 收支를 다룰때 양적 변화의 지수로 쓰여왔다.

식 (1)의 우변항 중에서 G 만 축적성이고, 이외의 항들은 모두 비축적성이다. G 는 시간율로 배분된 에너지 유량이 축적되어 초식어의 생체량을 형성하고 있으므로, 단위시간 동안 생체량의 변화량 ΔG 를 측정해 보므로써 알 수 있다. 그러나 양어시 시스템이 아닌, 자연의 바다에서는 ΔG 값을 측정하기란 매우 어렵다. 장기간의 연속측정 자료에 근거하여 도출된 성장선식을 사용할 수도 있겠으나, 이때는 성장단계에 따른 K_2 의 변화를 감안해야 하는 어려움이 있다. 그 대신 비축적성의 항들을 개체수준에서 측정하는 것은 어렵지 않다. 개체수준에서는 자연사망 부분을 배제할 수 있다. 물질양에서 에너지양으로 변환하는 변환계수는 선구연구자들 (Cummins and Wuycheck, 1971; Morowitz, 1979)에 의해 물질별로 잘 정리되어 있다.

적당한 먹이감을 써서, 먹이량 V 를 計量하여 투여하고, V 에서 유래하는 殘渣를 NU 와 吐出量 J 를 排出量 F 와 구분하여 측정하면, 그 값들로 부터 섭식량 C 와 소화량 D , 그리고 동화흡수량 A 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} C &= V - NU \\ D &= C - J \\ A &= D - F \end{aligned}$$

이렇게 알게 된 동화량 A 에서 비축적성 항들의 에너지 유량을 빼면, 성장에 돌려진 에너지양을 알 수 있게 되고, 따라서 섭식후의 에너지 변환 경과 과정을 나타내는 K_1 및 K_2 값을 산출할 수 있다. 이 일련의 측정들은 중량법이나 非消化性 물질의 함량을 지표로 쓰는 방법, 그리고 방사선 추적자를 쓰는 방법 등으로 수행이 가능하다. 비소화성 물질로는 不溶性 粗硅酸(Sato et al., 1964; 김, 1980)이나, 산화크롬(Furukawa and Tsukahara, 1966; Takeuchi, 1979; 荻野, 1980)이 쓰이며, 방사선 추적자로는 C^{14} , P^{32} , Ca^{45} , S^{35} 들이 쓰인다.

이 일련의 계산을 위한 각 항목의 측정은 개체수준에서 측정한다고는 하지만, 집단의 대표성을 지닌 개체의 의미에서 측정되어야 한다. 특히 생식 물질의 방출량 결정은 더욱 그러하다. 호흡량 R 은 생체 유지를 위하여 소비하는 모든 에너지를 포괄하여야 하므로, 기초대사에 의한 에너지 소비량의

추정과, 游泳에 요하는 附加에너지 소비량 추정에 관련되는 몇가지 제안(三浦, 1968), 그리고 환경온도 보정이론(Ikeda, 1970; Pandian, 1975)은 유념할 필요가 있다.

개체수준의 변환자료들은 개체군의 자연사망율 자료와 함께 조합하여 집단수준의 자료로 쓸 수 있다.

(2) K_2 에 대해서

초식어가 자연 환경 해수중의 '먹이감'에서 소화관 내의 '먹은것'으로 에너지 흐름을 연결시키는 과정에는, 먹이로 취하는, '먹이선택'이라는 매우 미묘한 문제가 개재되어 있다. 이 문제에 관한 기왕의 고찰들을 정리하면 다음과 같이 세가지 견해로 요약된다. 즉 먹이 선택성은 섭식자의 먹이 습성에 관련하지만, 그 먹이 습성은 섭식자가 소비하는 단위 에너지당 최대 먹이 에너지 요구와 관련이 있다고 보는 견해(Ivlev, 1961; Mullin, 1963; Paine, 1963)와, 藻類食者가 선호하는 먹이의 목록은 에너지 함유도가 충실한 조류들로 구성되나, 섭이습성의 진화에는 먹이의 열량값보다 먹이의 이용도가 더 유력하다고 보는 견해(Leighton and Boolootian, 1963; Leighton, 1966; Fuji, 1967; Paine and Vadas, 1969), 그리고 먹이 선호도는 서식처 내에서 먹이로서 잠재가치를 갖는 먹이감들의 단순한 에너지 함량과 유의한 관계는 없으며, 에너지 함량보다 다른 요인들, 즉 체물질 소비 패턴이라든지 소화기능과 같은 것에 더 깊은 관련이 있다는 견해(Pandian, 1975; Carefoot, 1973)들이다.

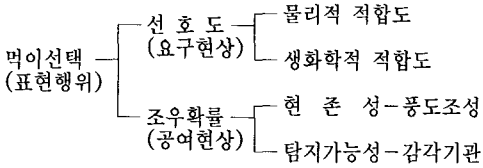
이 견해들을 다시 정리하면, '먹이선택'은 표현적인 하나의 행위이지만, 그 행위가 결정되는 이면에는 초식어의 먹이감들에 대한 選好도와, 각 먹이감들이 해수중에 존재하는 조성비로 표현할 수 있는 먹이 遭遇確率이 복합적으로 작용하고 있다고 하겠다.

먹이감들에 대한 선호도는 섭이기구의 물리적인 적합도와 생화학적인 적합도가 복합하여 나타나는 일종의 요구현상이라고 볼 수 있으며, 여기서 물리적인 적합도는 입이나 구강, 이빨과 같은 섭이기구의 형상과 크기와 기능이 어떠하며, 얼마나 빨리 먹이를 걸러낼 수 있는가 하는 관점에서의 한계성에 관한 개념이고, 생화학적 적합도는 소화효소를 어떤 구색으로 갖추고 있고, 자체합성이 안되는 필수물질의 소비속도가 어떠하며, 체물질을 생활에너지로 사용할 때의 물질별 소비비율은 어떻게 구성되는가 하는 등의 물질요구에 근거하는 개념이다.

먹이 조우확률은 각 먹이생물 종의 豊度組成에

관련한 현존성과, 초식어의 감각기관에 의한 먹이 탐지 가능성이 복합적으로 관련되는 일종의 供與 현상이다.

이것을 모식적으로 다음과 같이 표현해 볼 수 있겠다.



먹이선택이라는 표현행위를 결정하는 두개의 원인현상, 즉 요구현상과 공여현상은 서로 관련이 없는 것으로 이해(Grodzinski et al., 1975)되고 있다. 그럼에도 이 현상들을 표현하는 계수들을 절충하여, 하나의 종합지표로 만들어야 할 필요가 있는 것은, 기초생산력을 초식어의 생산력으로 환산하려 할 때, 계산의 근본을 이루는 기초생산력은, 초식어가 “먹는 植物群”의 기초생산력만 가려서 측정되는 것이 아니기 때문이다. 다시 말하면, 수계 생태연구자들이 추정하는 기초생산력은 초식어의 입장에서가 아니라, 생태연구자들의 측정기술에 의하여 가능되는 ‘먹이량’이라는 의미를 내포하고 있기 때문이다.

Sorygin(1939)과 Ivlev(1955)는 먹이선택에 관련된 이 두가지 현상에서 각각 시발되는 계수들을 만들었는데, 이 계수들을 하나로 통합하는 가공과정에서, 그들은 각기 다른 방법을 제시했다.

먹이선택의 요구현상을 근거로 하는 선호도는, 초식어류의 위(胃)와 소화관 내에서 출현하는 먹이생물 종별 개체수 조성 (r)로서 그 指數로 삼고, 한편 먹이선택의 공여현상을 근거로 하는 조우율은, 그 초식어의 索餌場 및 廻遊圈을 포함하는 정상적인 서식수역 내의 기초생산 생물(=먹이생물)의 종별 개체수 상대풍도 (p)로서 지수로 삼았다.

이 지수들은 자연에서의 먹이생물 개체당 평균 열 함량을 써서, 개체수 조성을 열량조성으로 표현하는 계수로 바꿀 수 있다. r_i와 p_i는 백분을 또는 0~1 사이의 값으로 표현할 수 있으며, Σr_i, Σp_i는 100 또는 1이다.

Sorygin은 종합계수로서 (r/p)를 사용했고, Ivlev는 [(r-p)/(r+p)]를 사용했는데, r과 p값에 일련의 가설적인 조건을 주어보면, Sorygin의 계수는 p>25%인 조건에서는 p의 수준에 따른 계수의 차이가 사소하며(r=100%일 때, p=25%이면 r/p=4, p=99%이면 r/p=1.01), Ivlev의 계수는 그 보다 또렷하다. 그리고 Ivlev의 계수는 (+1)~(-1) 사

이의 값을 가지며, 어느 먹이생물 종이 소화관 내에서 출현하는 빈도 r과, 자연의 해수 중에서의 상대풍도 p가 같을 때는 0값으로 되어, 각 먹이생물 종별로 먹이로서의 기여도를 짐작하는데 일견 편리한 계수이다. 즉 Ivlev 계수가 (+)값이면, 초식어류는 그 먹이생물 종에 대해 선택도가 있음을 의미하고, (-)값이면, 그 먹이를 입에 넣었더라도 토출함을 의미한다. 그리고 Ivlev계수는 IBP method(IBP Handbook No24)로서 채택된 바 있다.

그러나 이러한 편리한 점에도 불구하고, Ivlev 계수로는 소화관 내의 종의 출현율이 50%이고, 자연해수중의 상대풍도가 50%인 경우의 가정에 대해서는 아무런 생물적 해설도 할 수 없다. 그리고 Sorygin 계수나 Ivlev 계수 그대로는 먹이로서의 선호도와 조우가능성을 함께 조합시킨, 전체적인 기초먹이생물 에너지의 이용률 K_i로 사용할 수 없다. 이 계수들이 K_i 값으로서의 효용성을 갖기 위해서는 더 가공되거나, r 및 p값의 다른 조합방법이 필요하다.

(3) CCOS를 K_i로 가공하는 한가지 방법의 提案

r과 p의 다른 조합방법으로서 유사도 지수를 한번 고려해 보자. 유사도를 표현하는 지수로는 여러가지가 있겠지만, Ludwig and Reynolds(1988)가 생태학적인 각종 지수 및 계수들을 분류하면서, ‘Community Resemblance Function’의 ‘RE-group distance’로 분류한 ‘Chord distance’(CRD)는 相異度를 나타내는데 사용하기 위하여 고안된 지수인데, 이것을 산출할 때 사용하는 중간 매개변수 CCOS(chord cosine)는 전체먹이 에너지에 대한 이용률 계수 K_i로 가공할 수 있는 어떤 가능성을 갖고 있는 듯이 여겨진다.

상이도 지수 CRD와 중간 매개변수 CCOS의 산출식은 다음과 같다.

$$CRD_{jk} = \sqrt{2(1 - CCOS_{jk})}$$

$$CCOS_{jk} = \frac{\sum^s (X_{ij} \cdot X_{ik})}{\sqrt{\sum^s (X_{ij})^2} \cdot \sqrt{\sum^s (X_{ik})^2}}$$

연근해의 해수중에 출현하는 식물플랑크톤의 종수가 적어도 60종 이상, 많으면 200여종에 이르므로, CCOS의 번거로운 계산은 컴퓨터프로그램을 사용하면 편리할 것이다. CRD산출 프로그램은 Ludwig의 disk에 BASICA로 작동되는 ‘SUDIST.BAS’ file로 제공되어 있다. 이 프로그램에 아래의 line을 추가하여 실행시키면, CCOS_{jk} 값을 다른 유사도 계수들과 함께 간단히 출력시킬 수 있다.

1045 PRINT "CCOS="; C1

요 약

CRD는 $0 \sim \sqrt{2}$ 사이의 값을 갖지만, CCOS는 0~1 사이의 값을 가지므로, CCOS를 쓰면 환경 해수 중의 모든 먹이생물($i=1 \sim n$)에 대한 종별 조성 p_i 와, 초식어의 소화관 내 종별조성 r_i 사이의 유사한 정도를 0~1 사이의 값으로 나타낼 수 있고, 유사도가 클수록 1에 가깝다. 2 sampling unit(SU=2)에 대한 CCOS의 유사도 지시능은, 각 unit(여기서는 r 측과 p 측)의 먹이생물 종이 다양할수록 강력해진다. CCOS를 고기의 입안에서 걸러진 먹이에 대한 소화 유효도로 사용하는데 합리성을 부여할 수 있다면(의의가 없다면), 초식어의 濾水率(FR, m^3/day)과 더불어 K_f 를 다음과 같이 만들 수 있다.

$$V(=PP) \times FR \times CCOS \rightarrow D$$

$$K_f = CCOS \times FR$$

여기에 사용할 여수율은 索餌性 여수율이어야 하겠고, 이 K_f 값을 그림 1의 V에서 D로의 변환율로 사용하고저 한다면, 기초생산력을 조사 대상 초식어류의 索餌 수층에 있어서의 용량단위 기초생산력($Kcal/m^3/day$)으로 환산할 필요가 있다.

결 론

K_f 의 명쾌한 논리적 해설이 가능하고서야, 기초생산이 초식어 생산으로 연결되는 효율에 관한 "말"을 완결할 수 있을 것이다. 그러나 지질시대를 거쳐 수억년간 해수중에 축적되어 온 것으로 추정되는 detritus 부분의 유기 에너지가 초식어의 먹이로서 갖는 가치성(崔, 1968; 西澤, 1975)에 관한 고려를 배제할 수 없다는 점이 남아 있으므로, 초식어 단계로 이입되는 에너지 유속을 추정하는 데는 이 문제도 장차 함께 고려되어야 할 것이다.

한국연근해에서 초식어류로는 연안 - 내만 수역에서 전어(shad)가 대표되며, 근해 수역에서는 정어리가 대표된다(川崎, 1981). 전어는 전형적인 식물플랑크톤 섭식자이다. 정어리는 동물플랑크톤을 먹지 않는 것은 아니지만, 어릴 때는 동물식성이나 체장 10cm쯤 되면, 새파의 구조가 완벽하게 식물플랑크톤을 먹을 수 있도록 완성되며, 근해의 부어들 중에서 식물플랑크톤 식이적성을 정어리만큼 갖춘 어류가 달리 없다. 그러므로 한국연근해에서 초식어류의 잠재생산력을 추정하려 한다면, 이 두 어종을 대상으로 하여 파라미터를 측정하는 것이 좋으리라고 여겨진다.

연근해 생물생산의 가시적 주체가 되는 초식어류의 잠재생산력을 연역적방법으로 추정하려 할 때, 기초생산력으로부터의 에너지 전환효율의 추정 이 중심과제가 된다. 이 과제에 관련한 지금까지의 연구성과중에서 아직 그 방법에 정론이 없는, 이른바 해수중의 '먹이감'에서 herbivores 소화관내의 '먹은 것'으로의 변환효율(K_f)에 관한 부분을 고찰하였다. 해수중 먹이생물의 종별조성 r 과 herbivores 소화관내의 종별조성 p 를 사용하는 Ivlev와 Sorygin의 계수들이 K_f 로 사용되기에는 부적당함을 지적하면서, 그대신 유사도 지수의 하나인 CCOS를 K_f 로 가공하여 사용할 수 있는 가능성을 제시한다.

참 고 문 헌

Carefoot, T. H. 1973. Feeding, food preference and the uptake of food energy by the supratidal isopod *Ligia pallasii*. Mar. Biol. 18, 228~236.

Clark, G. L. 1946. Dynamics of production in a marine area. Ecol. Monogr. 16, 323~335.

Cummins, K. W. and J. C. Wuycheck. 1971. Caloric equivalents for investigations in ecological energetics. Mitt. Internat. Verein. Limnol. 18, 1~158.

Fuji, A. 1967. Ecological studies on the growth and food consumption of Japanese common littoral sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius*. Mem. Fac. Fish., Hokkaido Univ. 15(2), 83~160.

Furukawa, A. and H. Tsukahara. 1966. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 32(6), 502~506.

Gerking, S. D. 1962. Production and food utilization in a population of bluegill sunfish. Ecol. Monogr. 32, 31~78.

Grodzinski, W., R. Z. Klekouski and A. W. Duncan. 1975. Methods for Ecological Bioenergetics. IBP Handbook #24, Blackwell Scien. Publ. London, pp. 227~245.

Ikeda, T. 1970. Relation 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.
- Ivlev, V. S. 1939. Transformation of energy by aquatic animals. Int. Rev. ges Hydrobiol. Hydrogr. 38, 449~458.
- Ivlev, V. S. 1945. The biological productivity of waters. Usp Sovr. Biol., 19(1), 98~120. Translated in Ser. of Jr. Fish. Res. Bd Can. 23, 1722~1759, 1965.
- Ivlev, V. S. 1955. Experimental Ecology of Fish Nutrition. cited in IBP Handbook #24 (ibid).
- Ivlev, V. S. 1961. Experimental Ecology of the Feeding of Fishes. Yale Univ. Press, New Haven.
- Leighton, D. L. 1966. Studies on food preference in algivorous invertebrates of Southern California kelp beds. Pacif. Sci. 20, 104~113.
- Leighton, D. L. and R. A. Boolootian. 1963. Diet and growth in the black abalone *Haliotis cracherodii*. Ecology. 44, 227~238.
- Ludwig, J. A. and J. F. Reynolds. 1988. Statistical Ecology (included a floppy disk containing the microcomputer programs. IBM-PC compatible). John Wiley & Sons, New York. 170p.
- Morowitz, H. J. 1979. Energy Flow in Biology. Ox Bow, Connecticut. pp. 79~101.
- Mullin, M. M. 1963. Some factors affecting the feeding of marine copepods of the genus *Calanus*. Limnol. Oceanogr. 10, 239~250.
- Odum, E. P. 1971. Fundamentals of Ecology. W. B. Saunders, Philadelphia, pp. 37~48 plus 76p.
- Odum, E. P. and A. E. Smalley. 1959. Comparison of population energy flow of a herbivorous and a deposit-feeding invertebrates in a salt marsh ecosystem. Proc. Natl. Acad. Sci. 45, 617~622.
- Odum, H. T. 1957. Trophic structure and productivity of Silver Springs, Florida. Ecol. Monogr. 27, 55~112.
- Paine, R. T. 1963. Food recognition and predation on opisthobranchs by *Navanax inermis*. Veliger. 6, 1~8.
- Paine, R. T. and R. L. Vadas. 1969. Calorific values of benthic marine algae and their postulated relation to invertebrate food preference. Mar. Biol. 79~86.
- Pandian, T. J. 1975. Mechanisms of heterotrophy. in Marine Ecology. II(1), John Wiley & Sons, New York. 173p.
- Richman, S. 1958. The transformation of energy by *Daphnia pulex*. Ecol. Monogr. 28, 273~291.
- Sato, T., S. Mastsumoto, Y. Horiguchi and T. Tsujii. 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.
- Shushkina, E. A. 1966. The ratio of production to biomass in lake zooplankton. cited in Methods for the Estimation of Production of Aquatic Animals, Academic Press, London. 138p.
- Sorygin, A. A. 1939. Feeding behaviour and food preference ability in nutritional relationships of some Gobiidae of the Caspian Sea. cited in IBP Handbook V24 (ibid).
- Takeuchi, M. 1979. Degestibility of dietary lipids in carp. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab. 99, 55~63.
- 川崎 健. 1981. 浮魚資源. 恒星社, 東京. 178p. plus 184p.
- 김용술. 1980. 거제-한산만 양식굴 *Crassostrea gigas*의 에너지 전환효율. 韓水學誌, 13(4), 179~193.
- 西澤 敏. 1975. Detritus의 生態學的意義. in '海洋의 生態系와 微生物', 恒星社, 東京. pp. 25~37.
- 三浦泰藏. 1968. 池中飼育による Crucian carp 個體群의 成長と呼吸의 測定. cited in '海의 生態學と 測定', 恒星社, 東京. 60p.
- 荻野珍吉. 1980. 魚類의 營養と 飼料. 恒星社, 東京. 47p.
- 崔 相. 1968. 海洋의 微小 懸濁物質(綜說). 韓海洋誌, 3(2), 63~72.

1991년 4월 20일 접수

1991년 7월 12일 수리