

연못 생태계의 영양구조와 에너지 流轉

鄭 蓮 淑·金 俊 鎬

(서울대학교 自然科學大學 植物學科)

Trophic Structure and Energy Flow of a Pond Ecosystem

Chung, Yeon Sook and Joon Ho Kim

(Department of Botany, Seoul National University, Seoul)

ABSTRACT

The trophic structure and the function of a small pond ecosystem under the tree stand were studied in terms of energy flow. About 28% of total solar radiation was intercepted by the tree canopy over the pond. Primary producers converted 1.1% ($3,382 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$) of solar radiation ($320,000 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$) into gross primary production. The amount of energy available to the pond snail was $1,683 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ of the net production by primary producers and $1,033 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ of the litter fallen into the pond. The amount of gross secondary production by the pond snail was $245 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$. Judging from these, supply of both net primary production and the litter was indispensable for the maintenance of the pond ecosystem. The total amount of energy as gross primary production plus litter was $4,415 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ (100%). Since the total respiration loss was calculated to be $1,917 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ (43.4%), the rate of energy accumulation in the pond estimated to 56.6%.

緒 論

생태계의 각 구성원은 생활사, 생태적 지위, 연령 분포 및 대사율 등이 다르기 때문에 생태계내에서의 그들의 기능을 이해하기 위해서는 에너지 유전과 물질순환이 조사되어야 한다. 이러한 기본 개념하에, Lindeman(1942)은 영양 단계에 따른 에너지 유전 현상을 처음 밝히었고, 그 후 Odum(1957)은 Silver Spring에서 군집구조 및 군집대사의 조절기작을 연구하였으며 Teal(1957)은 특히 Root Spring의 연구에서, 외부에서 유입되는 유기물양이 그곳에서의 일차 순생산량보다 더 큰 것임을 발표하였다. 이것을 효시로 수중 생태계로 유입되는 낙엽은 소비자와 분해자의 에너지원과 영양소원이라는 입장에서 연구되어 왔다

(Bradbury and Hofstra, 1976). 개체군의 에너지 유전에 대한 연구에는 Odum and Smalley (1959), Smalley(1960), Paine(1971), Browne(1978) 등의 것이 있고 한국에서는 金 동(1981)에 의해 낙동강 하구의 갈대군집을 대상으로 이루어진 바 있다.

본 연구는 규모가 작고 주위에 교목으로 둘러 싸여 햇빛의 일부가 차단된 연못 생태계를 대상으로, 교목에서 떨어지는 낙엽의 에너지원으로서의 역할, 연못 생태계의 구조 및 각 영양 단계에 따른 에너지 유전을 조사하기 위하여 이루어졌다.

調查地 概況

조사지소는 서울대학교 관악캠퍼스 내에 위치하며 수면적이 17.5 m²인 인공 연못으로 남쪽은 경사가 완만한 언덕이고, 북쪽은 물오리나무 4그루, 버드나무 4그루가 있는데, 수목의 높이와 수관의 두께는 물오리나무와 버드나무 사이의 차가 거의 없어 각각 평균 7.7, 6.2 m이며 수관의 직경은 물오리나무가 각각 11.5, 7.2, 8.0 및 6.4 m이며 버드나무는 3.3, 3.7, 4.5 및 2.7 m로서 이들 수관의 일부에 의해 햇빛의 투입이 약 28% 차단된 곳이다. 물의 깊이는 평균 42 cm이고 수중식물은 차축조가 거의 전면에 분포하며 그 외에 5종의 고등 식물이 분포하였다(Fig. 1).

方 法

생산자의 현존량, 광합성 및 호흡. 식물성 플랑크톤의 광합성은 연못의 표수층과 50 cm 깊이의 물에서 ¹⁴C 법(Strickland and Parsons, 1972)으로 측정하였으며 ¹⁴C의 동화량의 계산은 Goldman *et al.* (1974)에 따랐다. 차축조의 현존량은 52.8 cm²의 플라스틱 원통을 삽입하여

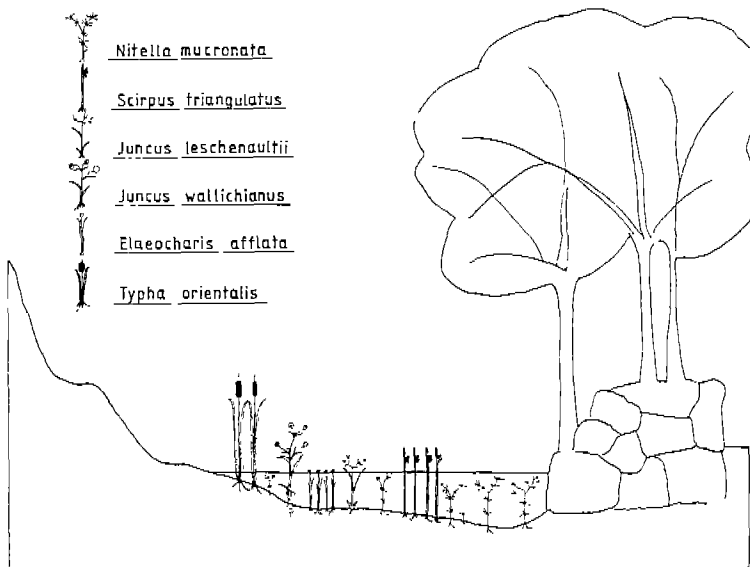


Fig. 1. Diagram of the pond ecosystem.

그 속의 식물체를 12지소에서 무작위로 뽑아서 건중량을 칭량하였다. 광합성과 호흡은 명암법으로 측정하였으며, 실험실에서 조명은 high pressure sodium lamp(General Electric Co., Lucalox 400 W)로 하였다. 고등식물의 현존량은 생육기 말에 채집하여 건중량을 얻었고 호흡은 암법으로 측정하였다.

소비자의 개체수 및 호흡. 물달팽이(*Radix auricularia*)의 개체수는 표지법(Smith, 1974)으로 구하였고, 호흡은 물순환형 호흡측정장치를 이용하여 소비하는 O_2 를 정량하였다.

낙엽의 분해. 12×17 cm 크기의 10 mesh 나일론 망사주머니에 건중량 10 g씩 낙엽을 넣어 연못 밑에 넣고 매월 수집한 후 전질소량은 microkjeldahl 법으로, 인량은 molybdo-phosphoric blue color 법으로, 칼륨은 flame photometer(Coleman 51)로 정량하였고 열량은 adiabatic oxygen calorimeter(Parr 1241)로 측정하였다.

위의 각 측정은 1980년 10월에서 1981년 10월 사이에 행해졌다.

結果 및 考察

생물상. 본 연못에서 관찰된 식물상 및 동물상은 Table 1 과 같다. 생산자는 식물성 플랑크톤, 차축조 및 고등 식물의 3 그룹으로 대별되었으며, 소비자는 동정된 9 종중 물달팽이가 가장 많았다.

식물성 플랑크톤의 광합성. Fig. 2 와 같이 단위 시간당 ^{14}C 흡수량은 6월에 표면수에서 $266.6 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 50 cm 깊이에서 $115.1 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 최고치를 보였는데 이것은 플랑크톤의 blooming 으로 설명되며 7~8 월의 낮은 값은 강수로 인해 플랑크톤 밀도의 감소, 측정시의 낮은 일사량, 낮은 수온 및 무기 영양소의 부족 등에 원인이 있는 것으로 생각된다.

Table 1. List of biota in the pond ecosystem

Producers	
	Phytoplankton
	Macro algae
	<i>Nitella mucronata</i> Miquel var. <i>koreana</i> Imahori ex Choi(차축조)
	Higher plants
	<i>Juncus leschenaultii</i> Gay(참비너골풀)
	<i>Juncus wallichianus</i> Lahar(눈비너골풀)
	<i>Scirpus triangulatus</i> Roxb(송이코랭이)
	<i>Elaeocharis afflata</i> Steudel(물바늘풀)
	<i>Typha orientalis</i> Presl(부들)
Primary consumers	
	<i>Radix auricularia coreana</i> Martens(물달팽이)
	<i>Culex</i> spp. (larva)(장구벌레류)
Secondary consumers	
	<i>Ranatra</i> spp.(제아제비류)
	<i>Dytiscus marginalis</i> Linne(물방개붙이)
	<i>Notonecta</i> spp.(송장헤엄치개류)
	<i>Aeschna</i> spp. (larva)(참자리 유충)
	<i>Dineutes</i> spp.(물매암이류)
	<i>Gerris</i> spp.(소금쟁이류)
	<i>Rana nigromaculata</i> Hallowell(개구리)

다(정 1982). 표면수와 50 cm 깊이의 ^{14}C 흡수량차는 8월 15일의 결과를 제외하고 후자는 전자의 약 61%이었다. 1일의 탄소 흡수량으로 환산하였을 때 6월의 ^{14}C 흡수량은 $2,863 \text{ mg C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ 로서 이 값은 Uhm and Kim (1974)이 장차못에서 측정한 최고치 $2,859 \text{ mg C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ 와 비슷하였다. 여기에서 조사한 탄소 동화량은 변동이 컸지만 Likens(1975)가 온대지방의 부영양호에서 1일 생산량은 $5\sim 3,600 \text{ mg C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ 이라고 발표한 범위에 속하였다.

차축조의 광합성, 호흡 및 헴존량. 빛의 강도에 따른 광합성은 Fig. 3에서처럼 광포화와 보상점이 각각 80.0 과 $14.4 \text{ watt}\cdot\text{m}^{-2}$ 이었고, 이 값은 6월 14일의 13:00~14:00의 태양 방사량의 10%와 1.8%에 해당하였다. 이것은 Smith(1981)가 *Codium*과 *Lobophora*의 연구에서 광포화점이 74 와 $53 \text{ watt}\cdot\text{m}^{-2}$ 로서 최대 일사량의 5.5와 4.2%인 결과와 비교하면 차축조의 광포화가 더 높은 빛의 강도에서 일어나는 것을 알 수 있었다.

차축조의 광합성과 호흡에 미치는 온도의 영향은 Fig. 4와 같다. 광합성과 호흡량은 25°C 에서 가장 높은 값을 나타내었고, 30°C 에서는 오히려 낮아졌다. 한편, 호흡에 대한 Q_{10} 은 $10\sim 20^\circ\text{C}$ 에서 1.81, $15\sim 25^\circ\text{C}$ 에서 1.91이었다. Hata and Yokohama (1976)는 녹조, 갈조 및 홍조에서, 광합성량이 20°C 에서 $3\sim 58 \text{ mg O}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{dw}\cdot\text{h}^{-1}$ 로 보고하였는데 이것은 차축조보다 높았다.

Fig. 5는 *in situ*에서 차축조의 광합성과 호흡을 측정한 결과이다. 광합성량은 7월을 제외하고 4월부터 8월의 peak에 이르기까지 증가하였다. 7월의 낮은 값은, 앞에서 이미 고찰한 식물성 플랑크톤과 같은 원인에서 기인하는 것으로 생각된다. *in situ*에서의 값은 같은 조건의 실험실 값보다 낮았다(Fig. 4). 호흡의 계절변화는 수온과 거의 비례하며 8월 초에 $1.58 \text{ mg O}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{dw}\cdot\text{h}^{-1}$ 으로서 가장 높았다.

차축조의 헴존량 변화는 6월 중순까지 느린

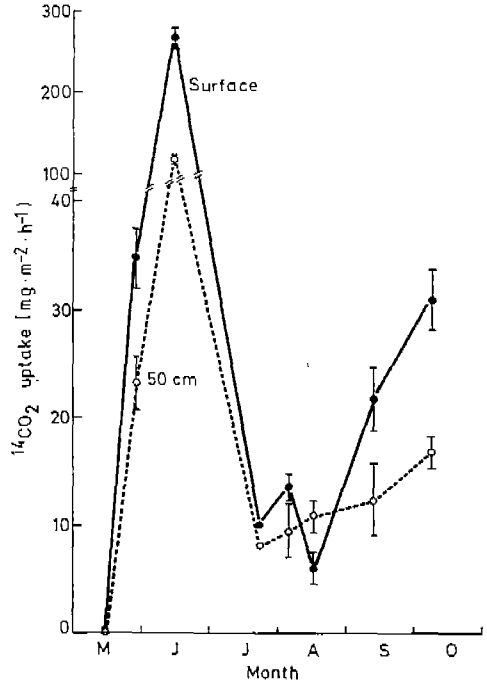


Fig. 2. Seasonal variation of CO_2 uptake by phytoplankton.

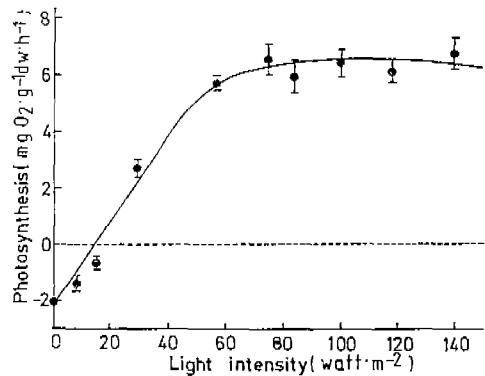


Fig. 3. Relationship between light intensity and photosynthesis in *Nitella mucronata*.

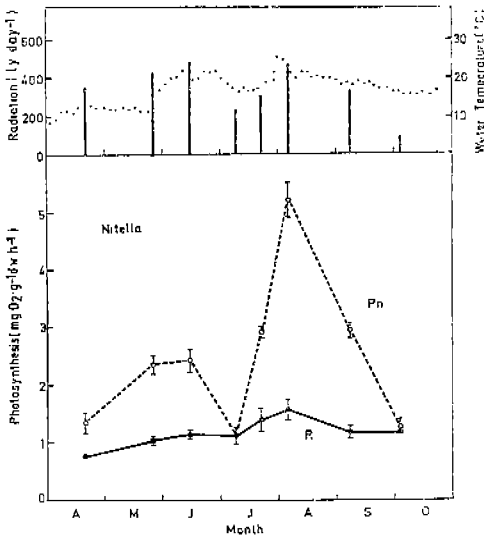


Fig. 4. Relationship between water temperature and photosynthesis, or respiration in *Nitella mucronata*.

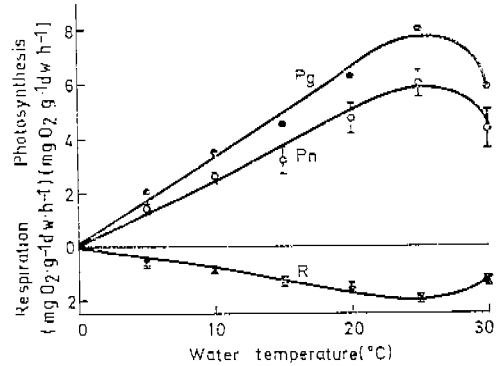


Fig. 5. Seasonal variations of solar radiation(S), water temperature(T), net photosynthesis(Pn), and respiration(R) in *Nitella mucronata*.

성장을, 그후에는 빨리 성장하여 8월 중순에 $99.1 \text{ g dw} \cdot \text{m}^{-2}$ 의 peak에 달하였다(Fig. 6). 현존량의 peak 시기와 광합성속도의 그것은 일치하였다(Fig. 5).

고등식물의 생산량 및 호흡. Table 2는 언뜻에서 10월 10일에 수집한 고등식물의 현존량과 그의 호흡의 측정결과이다. 현존량은 물나물풀이 42%, 참비너물풀이 31%를 나타냄으로써 거의 대부분을 차지하였고, 호흡량은 물나물풀과 눈비너물풀이 다른 3종보다 약 1.7배 많았다.

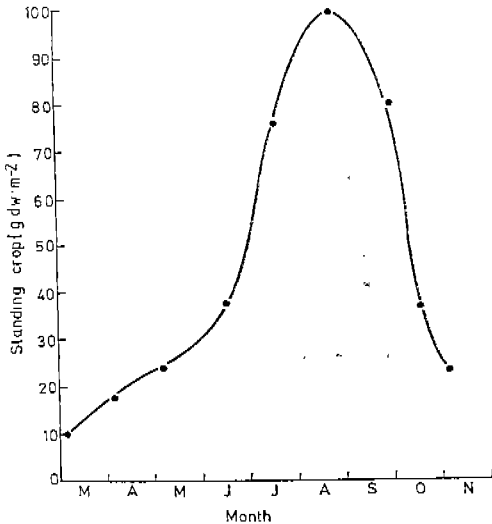


Fig. 6. Seasonal variation of biomass of *Nitella mucronata*.

소비자의 현존량 및 호흡량. 우점종인 물달팽이의 개체수 및 현존량의 계절변화를 Table 3에 표시한다. 물달팽이의 개체군은 1981년 5월에 $635 \text{ 개체} \cdot \text{m}^{-2}$ 로써 1년중 최고 값을 나타냈었는데 이중 $548 \text{ 개체} \cdot \text{m}^{-2}$ 는 당월에 부화한 것이었다. 그러나 새로운 개체수는 그후 점점 감소되어 익년 4월에 최소 개체군으로 되었다. 물달팽이의 현존량은 진중량 및 열량으로 표시되었는데, 80년 10월부터 81년 3월까지의 낮은 값은 결빙기 동안의 개체수 감소와 느린 성장 속도에 기인하는 것으로 생각된다. 그러나 3월 이후 성장속도가 빨라짐으로써 개체수는 3월

Table 2. Biomass and respiration in higher plants

Species	Biomass(gdw·m ⁻²)	Respiration(mg O ₂ ·g ⁻¹ dw·h ⁻¹)
<i>Juncus leschenaultii</i>	6.13	0.439±0.043
<i>Elaeocharis afflata</i>	8.20	0.875±0.057
<i>Scirpus triangulatus</i>	1.34	0.543±0.019
<i>Juncus wallichianus</i>	3.01	0.865±0.044
<i>Typha orientalis</i>	0.89	0.503±0.047

Table 3. Seasonal variations of number of individual, dry weight and caloric value in *Radix auricularia*

Date	No. of individual·m ⁻²	Dry weight(g·m ⁻²)	Caloric value (kcal·m ⁻²)
Oct. 14, 1980	175	27.57	77.04
Nov. 19, 1980	158	25.03	69.93
Mar. 27, 1981	110	20.05	56.02
Apr. 30, 1981	107	21.95	61.33
May 31, 1981	635(548)*	28.28	79.02
June 30, 1981	379(310)	30.50	85.20
July 30, 1981	262(217)	26.15	73.01
Aug. 30, 1981	208(173)	21.95	61.33
Sep. 29, 1981	182(153)	20.01	55.90

*Numerals in parenthesis indicate new born individuals.

보다 적었으나 열량은 더 많았고, 6 월에는 85.20 kcal·m⁻² 으로 현존량이 최대이었다. 81년 9월과 전년 10월의 열량을 비교해 볼 때 81년의 물달팽이 개체군의 현존량이 적은 것으로 생각된다.

온도 변화에 따른 호흡량은 5~25°C 사이의 Q₁₀은 평균 2.19이었다(Fig. 7). 이 물달팽이의 호흡량은 헤수산 달팽이인 *Tegula funebris*의 호흡량보다 2배 이상 많았다(Paine, 1971).

낙엽의 분해. 연못 속에서 낙엽 분해의 결과는 Fig. 8에 표시한다. 시간에 따른 낙엽량(W)은 다음과 같이 일정한 윌로 감소되었다.

$$W=9.78-0.014t$$

이 식에서 t는 일수이고 상관계수(r)는 0.9933으로 높은 상관을 보였다. 처음 투입된 낙엽량이 1년 후에는 46.7%로 감소되었다. 투입전 낙엽의 열량은 5,153 kcal·g⁻¹dw이었는데 11월부터 익년 4월까지 감소한 후 5월부터 서서히 증가하여 10월에는 94%로 회복되었다. 열량이 증가한 이유는 미생물의 증식에 따른 단백질량의 증가와 관계가 있을 것이다(Odum, 1971). 이러한 이유로 달미안아, 이 연못에서 생산자의 생산량이 적은데도, 낙엽에 의한 에너지 보충으로 물달팽이를 비롯한 많은 초식동물이 부니질식물연쇄를 형성하고 있는 것이다. Gasith and Hasler(1976)는 작고 부영양화된 연못에서 낙엽이 부니질식물연쇄에 중요한 역할을 한다고 주장하였다. 무기 영양소 중 질질소는 서서히 증가하여 익년 10월에는 134%로, 인은 익년 2월에 46%로 감소된 후 다시 증가하여 10월에 108%로 되었다. 그러

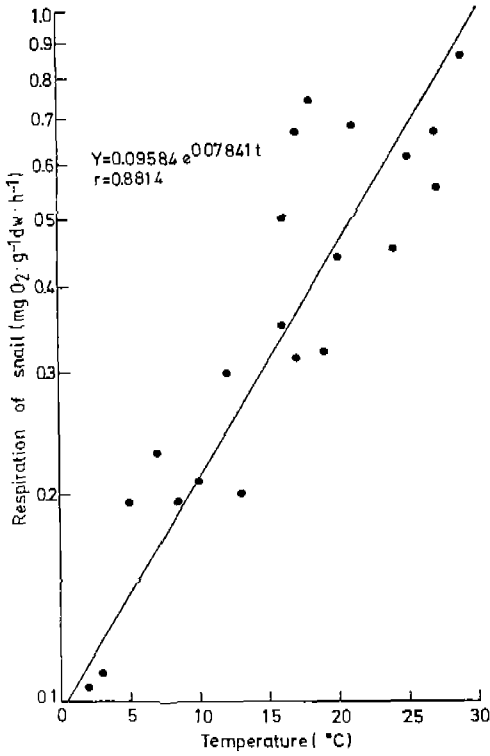


Fig. 7. Semi-log relationship between water temperature and respiration in *Radix auricularia*.

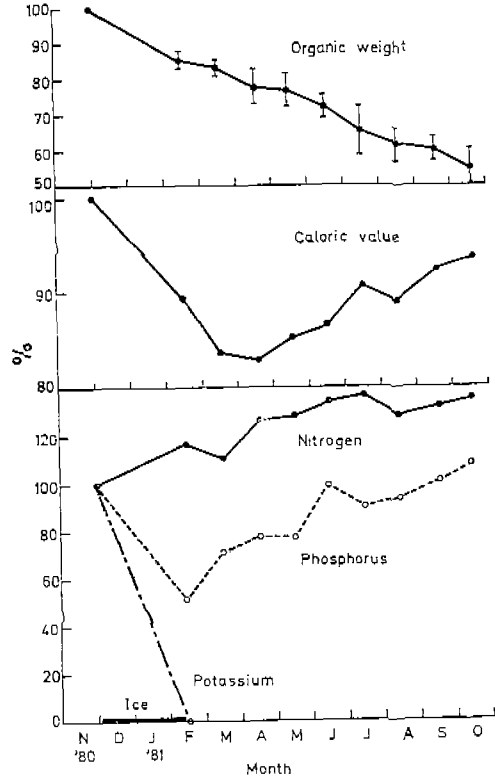


Fig. 8. Seasonal variations of organic matter, caloric value and inorganic nutrients of litter in the litterbag soaked in the pond. Ordinate indicates percent of corresponding initial value.

나 칼리움은 투입된 후 익년 2월에는 최초 함량의 0.2%만 함유되어 있었다. 하천유수에서 일의 질소 함량이 증가하고(Cummins *et al.*, 1973; Brinson, 1977) 물오리나무 잎은 처음에 전질소가 leaching 된 후 약 2 배로 증가하며(Triska and Sedell, 1976), 낙엽의 인량도 시

Table 4. Primary and secondary production in the pond ecosystem

Components	Gross production	Net production	Respiration
			(kcal · m ⁻² · y ⁻¹)
Phytoplanktons	1,575	1,260	315
<i>Nitella</i>	1,577	337	1,240
Higher plants	230	86	144
Pond snails	245	27	218

간이 지나면 증가하였다(Meyer, 1980). 칼리움의 빠른 감소 현상은 Brinson(1977)에 의해 보고된 바 있다.

기초 생산성. 이 생태계 생산자의 연총생산성, 순생산성 및 호흡소실량은 Table 4와 같다. *in situ*에서 시간당 식물성 플랑크톤의 광합성 측정치를 기초로 생육기간(5월~10월) 중의 생산량을 계산한 결과 순생산량은 $1,260 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ 이었고, 호흡소실량은 Brylinsky and Mann(1973)법에 따라 계산한 결과 $315 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ 이었다. 차축조는 호흡량이 연총생산량의 76.8%에 달하였고 고등식물은 62.6%이었다. Teal(1962)은 *Spartina*에서 총생산량에 대한 호흡량의 비율 70%로 보고한 바 있다. 모든 생산자의 연총생산량은 $3,382 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ 이었고, 총호흡소실량은 $1,699 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ 로서 연총생산성에 대한 호흡소실량의 비는 약 50.2%이었다.

2차 생산성. 물달팽이의 연순생산성은 $27 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ 로서 연동화량에 대한 연순생산성의 비는 11.0%이었다(Table 4). Jørgensen(1952)에 의하면 일반적으로 생물의 순생산성/동화량비는 20~30%라고 하였는데 이 측정의 결과는 낮은 비율을 나타내었다.

에너지 펄형. 생태계 입력과 출력의 수치를 Table 5에 종합한다. 에너지의 주요 유입원은 생산자에 의한 기초생산량과 낙엽인데 낙엽은 입력 에너지의 38%를 차지하고 있다. 이 값은 Teal(1957)이 본 연못 생태계와 유사한, Root Spring에서 조사한 낙엽의 유입비율에 비하면 작았다. 한편, 에너지 유출원은 호흡소실량과 유기물의 축적인데, 호흡에 의한 에너지 소실량은 총에너지 유출량의 49.6%이었다. 이 결과는 Root Spring의 71%(Teal, 1957), salt marsh에서 89.9%(Teal, 1962)보다 작았다.

Table 5. Annual mean energy balance sheet of organic matter in the ecosystem

	($\text{kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$)
Input	
Primary gross production	3,382(62%)
Litter input	1,033(38%)
Total	4,415(100%)
Output	
Respiration loss	1,917(43.4%)
Deposition	2,498(56.6%)
Total	4,415(100%)

에너지 유전. 본 연못 생태계의 에너지 유전을 영양단계에 따라 도시한 결과 Fig. 9와 같다. 태양 방사에너지 중에서 수관을 통하여 연못에 투입되어 총생산량으로 고정된 에너지량은 $3,382 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ 이었다. 이 단계에서 생산자에 의한 태양방사에너지 이용효율은 1.1%로써 이것은 Odum and Odum(1955)에 의해 육수 및 해양에서 얻은 방사에너지 이용효율 0.1~3.0%의 범위에 속하였다. 순생산량은 $1,638 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ 로써 태양방사에너지 이용효율은 0.53%이었다. 순생산량 중 식물성 플랑크톤이 고정한 비율은 75%로써 이것은 이 생태계의 에너지 유전에 주요한 생산자이었다. 소비자가 이용할 수 있는 순생산량과 유입된 낙엽량의 에너지는 $2,716 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ 이었는바, 그 중 물달팽이가 $245 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ 를 동화함으로써 그 효율은 9.0%이었다. 물달팽이의 성장을 위한 순생산효율(순생산량/동화량)은 11%로서 이것은 *Tegula funebris*의 20~28%에 비하면 낮았다. 물달팽이에 의

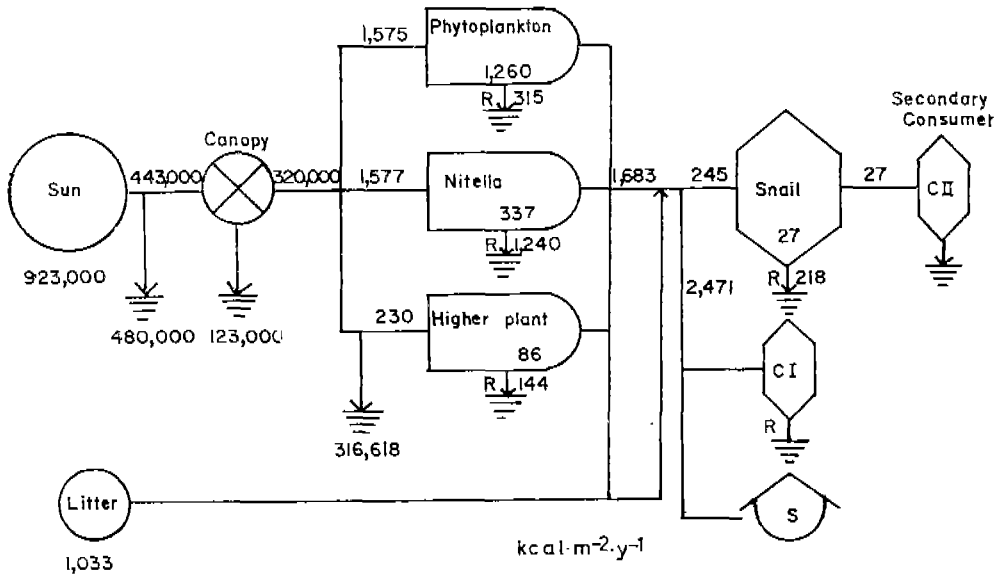


Fig. 9. A simplified energy flow diagram of the trophic level for the pond ecosystem. CI, Primary consumer other than pond snail; CII, secondary consumer; R, respiration; S, storage.

해 이용되지 않는 에너지는 다른 1차 소비자인 장구벌레(CI) 또는 2차 소비자인 잠자리 유충(CII) 등에 의해 이용될 수 있으며 그 나머지는 이용되지 않은 상태로 연못 밑에 축적될 것이다. 이러한 에너지는 분해자에 의해 분해되어 연못의 부영양화에 기여할 것으로 생각된다.

한편, 낙엽의 유입이 이 연못에 미치는 영향을 보면, 1차 소비자인 물달팽이의 동화량은 $245 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ 이었으나, 각 영양단계를 전환하는 에너지 효율을 10%로 가정하면, 적어도 $2,450 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ 에너지가 필요하다. 그러나 실제로 생산자에 의하여 공급되는 에너지는 $1,683 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ 에 불과하여 물달팽이가 생존하려면 $767 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ 가 부족한 셈이다. 따라서 이 생태계는, 생산자 이외에 다른 에너지 공급원이 있어야 하는데 그것이 낙엽에 의하여 이루어지고 있다고 추정된다. 더우기 이 생태계에는 물달팽이 이외의 소비자도 상당히 있는 것이 관찰되었으므로 낙엽에 의한 에너지 공급이 대단히 중요한 역할을 하고 있는 것으로 결론지을 수 있다.

摘 要

본 연구는 교목에 의해 들러 쓰인 연못 생태계의 구조 및 기능을 영양단계에 따른 에너지유전의 측면에서 조사하였다.

총 태양 방사에너지(광합성 유효 방사량) 중에서 주위의 교목 집단에 의해 약 28% 차단되었으므로 실제 연못에 유입되는 태양 방사에너지는 $320,000 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ 이었다. 그 중 일차 총생산량은 $3,382 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ 로써 태양 방사에너지 이용 효율은 1.1%이었고 일차 순생산량은 $1,683 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ 이었다.

일차소비자인 물달팽이의 에너지원은 일차 순생산량($1,683 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$)과 주위에서 유입되는 낙엽에 의한 에너지($1,033 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$)이었는데 그 중 물달팽이는 $245 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ 를 동화함으로써 동화효율은 11%이었다. 에너지유전적 측면에서 볼 때 물달팽이의 동화량은 일차 순생산량 이외에도 낙엽에 의한 에너지 공급을 받아야만 유지될 수 있으므로, 이 생태계에서 에너지원 중 38%를 차지하는 낙엽은 주요한 에너지원임을 알 수 있었다. 이 생태계의 총 에너지 유입은 일차 순생산량과 낙엽에 의해 $4,415 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ (100%)이었는데, 이 중 $1,917 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ (43.4%)는 호흡으로 소실되고 그 나머진 $2,498 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ (56.6%)는 연못 밑에 축적되었다.

參 考 文 獻

- Bradbury, I. K. and G. Hofstra. 1976. Vegetation death and its importance in primary production measurement. *Ecology* 57 : 209~211.
- Brinson, M. M. 1977. Decomposition and nutrient exchange of litter in an alluvial swamp forest. *Ecology* 58 : 601~609.
- Browne, R. A. 1978. Growth, mortality, fecundity, biomass and productivity of four lake populations of the prosobranch snail, *Viviparus georgianus*. *Ecology* 59 : 742~750.
- Brylinsky, M. and K. H. Mann. 1973. An analysis of factors governing productivity in lakes and reservoirs. *Limnol. Oceanogr.* 18 : 1~14.
- 정연숙. 1982. 수목밑 연못 생태계의 환경요인, 구조 및 에너지유전. 경연숙 석사학위논문. 서울대학교 61p.
- Cummins, K. W., R. C. Petersen, F. O. Howard, J. C. Wuycheck and V. I. Holt. 1973. The utilization of leaf litter by stream detritivores. *Ecology* 54 : 336~345.
- Gasith, A. and A. D. Hasler. 1976. Airborne litterfall as a source of organic matter in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 21 : 253~258.
- Goldman, C. R., E. Steemann Nielsen, R. A. Vollenweider and R. G. Wetzel. 1974. The ^{14}C light and dark bottle technique. In A manual on methods for measuring primary production in aquatic environment, R. A. Vollenweider(ed.) pp. 90~91. IBP handbook No.12 Black-well Sci. Publ. Oxford.
- Hata, M. and Y. Yokohama. 1976. Photosynthesis-temperature relationships in seaweeds and their seasonal changes in the colder region of Japan. *Bull. Jap. Soc. Phycol.* 24 : 1~7.
- Jørgensen, C. B. 1952. Efficiency of growth in *Mytilus edulis* and two gastropod veligers. *Nature* 170 : 715~724.
- 金俊鎬, 金熙洙, 李仁圭, 金鍾元. 1981. 洛東江 河口生態系의 構造와 機能에 關한 研究. 서울대학교 자연과학종합연구소. 84p.
- Likens, G. E. 1975. Primary productivity of inland aquatic ecosystems. In Primary productivity of the biosphere, H. Lieth and R. H. Whittaker(eds.) Springer-Verlag. New York. 199 pp.
- Lindeman, R. L. 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology* 23 : 399~418.
- Meyer, Jr. 1980. Dynamics of phosphorus and organic matter during leaf decomposition in a forest stream. *Oikos* 34 : 44~53.
- Odum, E. P. 1971. Fundamentals of ecology. W.B. Saunders company. Toppan. pp. 30, 38, 39.
- and A. E. Smalley. 1959. Comparison of population energy flow of a herbivorous and a deposit-feeding invertebrate in a salt marsh ecosystem. *Proc. Natl. Sci.* 45 : 617~622.
- Odum, H. T. 1957. Trophic structure and productivity of Silver springs. *Ecol. Monogr.* 27 : 55~112.
- and E. P. Odum. 1955. Trophic structure and productivity of a windward coral reef community

- on Eniwetok Atoll. *Ecol. Monogr.* **25** : 291~320.
- Paine, R. T. 1971. Energy flow in a natural population of the herbivores gastropod *Tegula funebris*. *Limnol. Oceanogr.* **16** : 86~98.
- Smalley, A. E. 1960. Energy flow of a salt marsh grasshopper population. *Ecology* **41** : 672~677.
- Smith, R. L. 1974. *Ecology and field biology*. Harper and Row. New York.
- Smith, W. O. Jr. 1981. Photosynthesis and productivity of benthic macroalgae on the North Carolina continental shelf. *Botanica Marina* **24** : 279~284.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of sea water analysis. Fisheries research board of Canada. pp. 71~80, 87~89, 267~278.
- Teal, J. M. 1957. Community metabolism in a temperate cold spring. *Ecol. Monogr.* **27** : 284~302.
- . 1962. Energy flow in the salt marsh ecosystem of Georgia. *Ecology* **43** : 613~624.
- Triska, F. J. and J. R. Sedell. 1976. Decomposition of four species of leaf litter in response to nitrate manipulation. *Ecology* **57** : 783~792.
- Uhm, K. B. and H. J. Kim. 1974. Ecological studies of the lake Changjamot II. *Korean J. Bot.* **17** : 53~62.

(1982. 8. 10. 接受)