

溪流 生態系에 負荷된 버즘나무 落葉의 初期 分解

심규철 · 이선경 · 이정은 · 장남기

서울대학교 사범대학 생물교육과

Study of Initial Decomposition of the Litters of *Platanus orientalis* in Stream Ecosystem

Shim, Kue-Cheol, Sun-Kyung Lee, Jung-Eun Lee and Nam-Kee Chang

Department of Biology, College of Education, Seoul National University

ABSTRACT

Decomposition in the litters of *Platanus orientalis* was studied by month in the dam of Seoul National University

Total amounts of the litter had the tendency to decrease with the laps of time. Those of crude protein and phosphate contents, however, increased much more than initial amounts. It was thought that the growth of aquatic microbes gave rise to increase them. Dry weight, organic matter and holocellulose tended to decrease gradually. But, the amount of calcium loss increased rapidly since March and then the amounts of potassium and sodium decreased slowly.

It was thought that this changing pattern was ascribed to water temperature, the growth of aquaqtic microbes and the leaching of soluble parts by stream current.

緒 論

陸水 生態系에서 외부 유기물의 移入은 하천이나 호소에서의 물질 생산력에 커다란 영향을 미치고(Fisher and Likens, 1972), 潮流와 박테리아와 같은 미생물들의 성장과 번식을 급속하게 증가시켜 부영양화를 초래하게 한다. 육수 생태계에 이입되는 유기물의 대부분은 生活下水, 畜産廢水, 그리고 廢蓄物 등으로 이루어지며, 이것은 인구증가와 생활 수준의 향상으로 인해 가속화 되고 있다(한국환경조사연구소, 1991). 일단 河川이나 湖沼에 들어온 유기물들은 移出되기가 어렵다. 다만 수중의 유기물의 감소는 물속이나 저질에 서식하는 생물의 분해 작용에 의한다.

낙엽의 분해에 관한 연구는 유기물의 분해를 통해 조사되었는데(Suberkropp, 1976; Brinson, 1977; Meyer and Johnson, 1983; Van der Valk and Attiwill, 1984; Valiela *et al.*, 1985; Wilson *et al.*, 1986), 낙엽의 성분과 환경요인에 의해 분해 속도가 결정된다고 보고되었다(Lowman, 1988; Kucera, 1959; Mathews and Kowalczewski, 1969; Kaushik and Hynes, 1968). Sharma와 Ambasht(1987)는 온난다습할 때가 건조한 겨울이나 건조한 여름철보다 분

해속도가 빠르고, 숲의 형성시기에 따라서도 분해 속도의 차이가 나타난다고 보고하였다. 또한, 김과 장(1967)은 온도와 무기물의 함량이 낙엽의 분해에 영향을 미친다고 보고하였다.

낙엽이 분해되는 동안에 구성성분의 변화가 나타나며(Fahey, 1983), 이러한 변화는 구성성분의 분해율에 관련된다(김과 장, 1989; 장 등, 1987). 또한 낙엽의 분해는 미생물의 수와 효소활성의 최적온도, 강수량에 따라서 영향을 받는다(Federle *et al.*, 1982; Chang and Yoo, 1986). 주로 삼림의 토양속에서의 낙엽의 분해에 대한 연구가 진행되어 왔으나, van der Valk와 Attiwill(1984)은 해수에서의 낙엽의 분해에 대해서 연구했으며, Mathews와 Kowalczewski(1969), Kaushik와 Hynes(1968)는 담수에서의 분해에 대해 조사하였다.

낙엽은 주로 토양에서 분해되나, 육수 생태계내에서 이루어지는 분해와 森林에서 陸水로 이입되어 분해되는 낙엽의 양도 상당량이 있을 것이다. 본 연구에서는 삼림으로부터 유입된 버즘나무 낙엽의 분해에 있어서 각 성분들의 초기 분해 과정에 대해서 조사하였다.

調查方法

서울대학교 관악캠퍼스에서 1991년 버즘나무(*Platanus orientalis*)의 낙엽을 당 해 12월 중에 채집하여 氣乾시켰다. 이것을 mesh size 1mm인 화학섬유로 20×30cm litter bag을 제작하여 25g씩 넣어 봉하였다. 이 litter bag을 1992년 1월 10일에 서울대학교 관악캠퍼스에 소재하는 관악산의 溪流를 막아 형성된 소형 dam에 담가 두었다. 이 litter bags을 1992년 1월 10일부터 7월 10일 까지 매월 1개씩 회수하여 분석에 이용하였다. 회수한 litter bag 속의 낙엽을 충분히 건조시킨 후 분쇄기로 갈아 2mm standard sieve로 쳐서 시료로 사용하였다.

총 인산량, Ca, K 및 Na 함량은 시료를 450℃ 전기로에서 6시간 灼熱시키고 1/2 conc. HCl에 용해시킨 후 증류수로 희석하여 여과지(Whatman No. 44)로 거른 것으로 측정하였다. 희석 용액내의 인산량은 standard molybdate법에 의해 spectrophotometer로 정량하였으며, Ca, K,

Na는 flame emission법에 의해 flame photometer로 정량하였다(Chapman, 1976). 유기물 함량은 시료를 450℃의 전기로에서 4시간 태운 후 燒失量으로 측정하였다. 조단백질은 micro kjeldahl법으로 정량한 질소 함량에 6.25를 곱하여 산출하였다(한국생화학회, 1979). Holocellulose는 75℃에서 sodium chlorite와 10% acetic acid로 lignin을 제거하고 정량하였다(Allen *et al.*, 1974).

Litter bag을 회수할 때 갈색병으로 낙엽이 위치한 곳에서 채수하여, 수온, pH, 생물학적 산소 요구량(BOD)을 측정하였다. 수온은 물을 떠낸 즉시 수온 온도계로 측정하였고, pH는 digital pH/ion meter(DMS DP-135)를 이용하여 측정하였다. BOD는 litter bag이 위치한 곳의 물을 두 개의 갈색병으로 채수하여, 하나는 즉시 por-

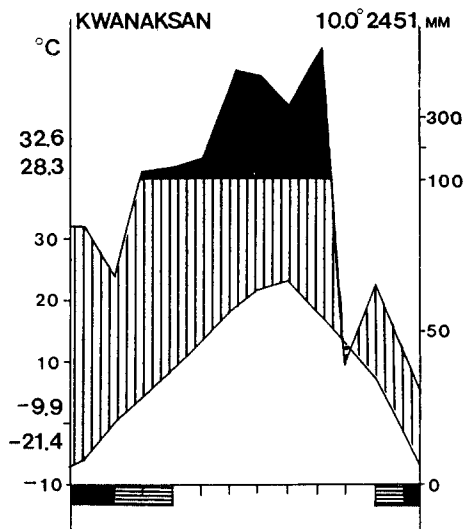


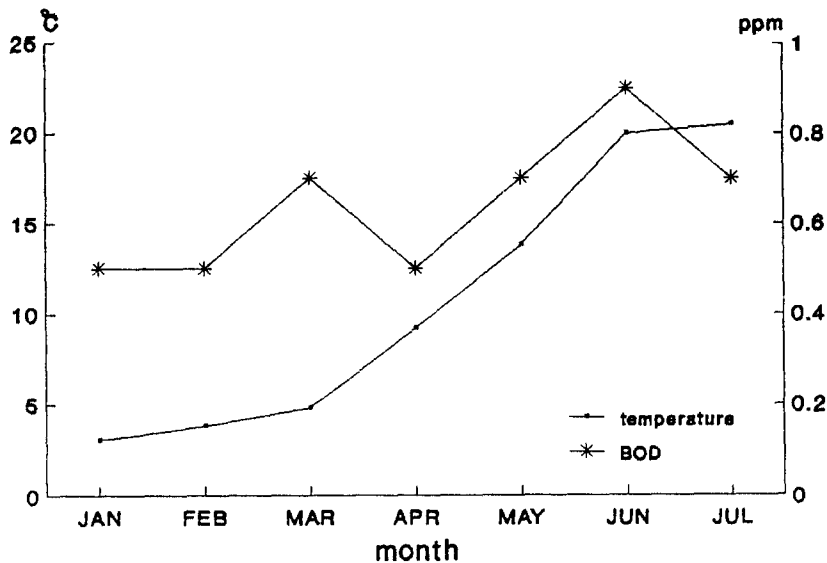
Fig. 1. Climate-diagram in Kwanaksan.

Table 1. Water temperature, pH and BOD by month in the dam of Seoul National University Campus

	Month						
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.
Water Temperature(°C)	3.0	3.8	4.8	9.2	13.8	20.0	20.5
pH	5.9	6.0	6.1	5.6	5.4	5.6	5.6
BOD(ppm)	0.5	0.5	0.7	0.5	0.7	0.9	0.7

table oxygen meter(Jenway 9070)로 溶存酸素量을 측정하고, 다른 하나는 밀봉하여 상온 방치 5일후 용존산소량을 측정하여 차이값으로 구하였다.

관악산은 해발 692m, 동경 126°57', 북위 37°27'에 위치하고 있으며, 연평균 기온은 10.0°C이고 연 강수량은 2451mm이며(기상청, 1990), 조사기간 동안의 월별 수온, pH, 생물학적 산소요구량은 Table 1과 Fig. 2와 같다.

**Fig. 2.** Changes in water temperature and BOD during decomposition of *P. orientalis*.

結果 및 考察

1992년 1월부터 7월까지 관악산의 서울대학교 dam에 버즘나무의 낙엽을 litter bag에 넣어 담귀 두면서 乾物, 유기물, holocellulose, P, K, Ca, Na 등을 조사한 결과는 Figs. 2~5에서 보는 바와 같다.

조사기간 동안에 乾量의 감소는 약 23% 였으며(Fig. 3), 유기물질과 holocellulose는 건량의 경우와 비슷한 양상을 보이는 반면(Fig. 3), 조단백질은 점차 증가하여 처음의 187% 정도까지 되었다(Fig. 4). 이들의 감소는 holocellulose 25%, 유기물 27%로 일어났다.

Sharma와 Ambasht(1987)의 *Alnus*에서는 3개월 동안 건량의 30%가 감소되었으며, Mari-

nucci *et al.* (1983)은 *Spartina alterniflora*를 percolators에서 20°C incubation 하였을 때, 건량이 2개월만에 24% 감소하였다고 보고하였다. 자작나무 잎에서는 7개월 동안 34%, 1년에 43% 정도 감소되었다고 Berg 와 Wessen(1984)은 보고하였다. 한편 Brinson(1977)은 *Nyssa aquatica*로 소택지와 강에서 조사하였는데, 6개월 동안 약 50% 정도 감소하였다고 했으며, fresh water (the River Thames)에서 *Acer pseudoplatanus*로 실험한 결과, 건량이 6개월 동안 40% 정도 감소하였으나, 8개월 후에도 거의 변화가 없었다(Mathews and Kowalczewski, 1969).

이에 비하면, 본 연구에서의 *P. orientalis*의 감소는 적게 일어난 것이다. 이는 낙엽의 질과 환경요소의 차이에 기인한다고 볼 수 있는데(Meentemeyer, 1978; Lowman, 1988; Van der Valk and Attiwill, 1984), Van der Valk와 Attiwill(1984)과 Mathews 와 Kowalczewski (1969)에 의하면, 수중에서는 세탈이 초기 분해에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 본 연구는 dam에서의 분해를 조사한 것으로 유속이 그리 빠르지 않아 비교적 적은 영향을 미친 것으로 보여진다. Figs. 1~4를 보면 기온과 수온 그리고 BOD가 높을 때 분해 속도가 빨라야 함에도 불구하고 전체적으로 비슷하게 나타나고 있는 점은 초기 세탈에 의한 영향이라 생각된다.

유기물과 holocellulose도 건량과 비슷한 양상을 보이는데(Fig. 3), 기온과 수온이 높을 때, 분해율이 커야 하나(김과 장, 1989; Brinson, 1977; Chang and Yoo, 1986), 전체적으로 일정하게 줄어드는 것을 볼 수 있다. 역시 초기 세탈에 의한 영향이 있음을 알 수 있었다.

조단백질의 경우(Fig. 4)는 점차 증가하는 경향을 보이는데, 낙엽 자체의 변화라기 보다는 외부로부터 유입, 특히 분해 미생물들의 부착으로 생겨난 것으로, 이러한 결과는 Brinson(1977), Fahey(1983)의 결과들과 일치한다. 또한, 분해가 진행됨에 따라 분해율이 낮은 lignin의 비율이 높아지는데(Berg *et al.*, 1982; Wilson *et al.*, 1986; 김과 장, 1989), 이 lignin은 조단백질과 complex를 형성하여 서로의 분해를 막아주는 역할을 하기도 한다(Foth, 1984). 이로 인해 조단

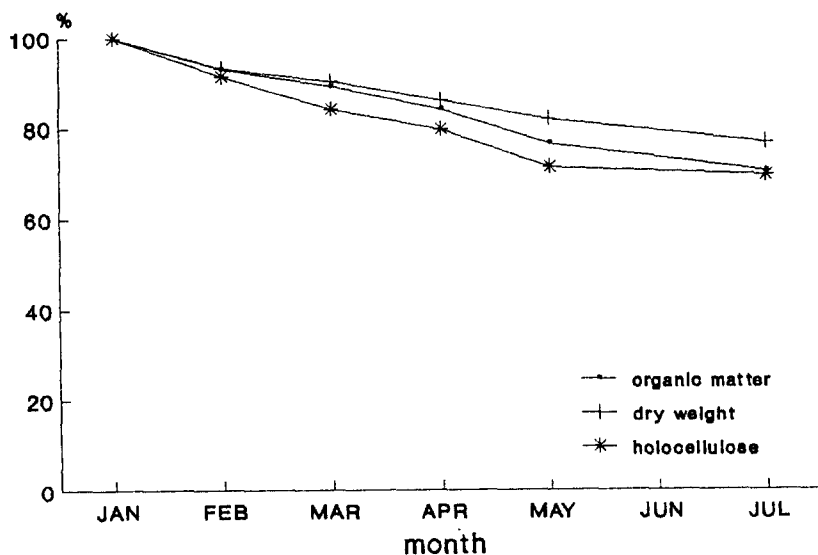


Fig. 3. Percentages of initial dry weight, organic matter and holocellulose remaining during decomposition of the leaves of *P. orientalis*.

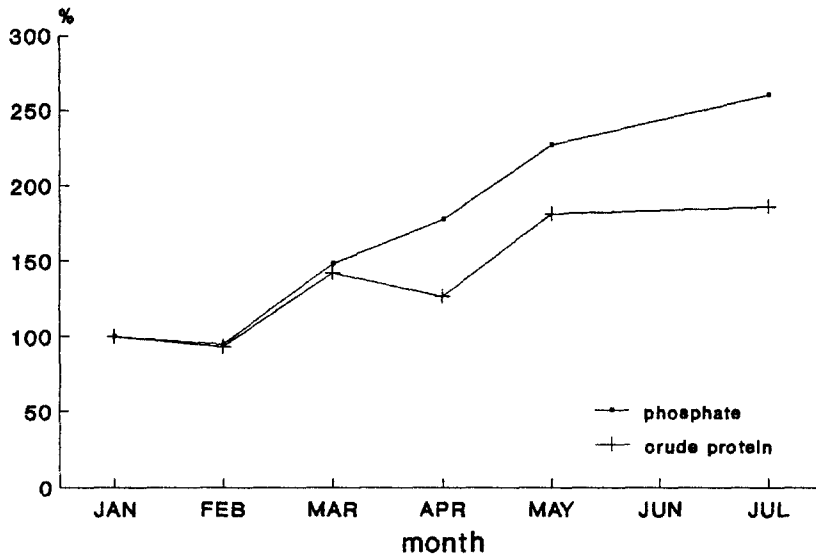


Fig. 4. Percentages of initial crude protein and phosphate remaining during decomposition of the leaves of *P. orientalis*.

백질의 양이 다른 유기물에 비해 분해가 되어도 감소정도가 적을 것으로 사료된다.

Chang과 Yoo(1986)의 실험의 결과에 의하면, 온도와 강수량이 유기물과 cellulose 분해에 영향을 미치는데, 흐르는 물속에서는 온도와 유기물의 증가로 늘어난 부유 미생물들이 강수에 흘러 내려갈 수 있기 때문에 토양에서처럼 미생물의 수가 급속하게 분해를 촉진하지는 못할 것으로 사료된다. 이것은 BOD를 통해 간접적으로 알 수 있다(Fig. 2).

무기물의 함량의 변화는 분해의 진행에 따라서 일반적으로 감소하는 경향을 보이는데 (Brinson, 1977; Fahey, 1983; Yavitt and Fahey, 1986), Na 11%, K 20%로 비교적 적게 감소하였으나, Ca 72%로 많은 감소를 보였다(Figs. 4와 5). Sharma와 Ambasht(1987)는 relative mobility가 $K > Ca > P$ 순서로 나타난다고 보고하였는데, K는 이동성이 심해 전체적으로 감소는 있으나 변화가 심하다. Ca는 식물 조직의 구성성분이기 때문에 (Bockheim and Leide, 1986) 분해가 일어남에 따라 다른 무기물에 비해 큰 감소가 일어난 것이다.

또한, Figs. 2와 5에서, BOD의 증가와 Ca의 감소가 일치하였는데, 이는 미생물의 증가시 Ca를 다량으로 흡수하기 때문이며, Ca의 감소에 따라 BOD의 증가가 계속적으로 나타나지 않는 이유는 분해가 일어날 때, 부착 미생물이 한정되기 때문에, 부착 미생물이 주위 수중에 존재하여 있다가 계류를 따라 흘러 내려가기 때문으로 사료된다.

반면에 조단백질과 마찬가지로 P는 증가를 보였는데(Fig. 4), Yavitt와 Fahey(1986), Brinson(1977), Melillio *et al.* (1982)의 결과와 일치한다. 이는 미생물들이 분해자로서 litter bag 속에 서식하고 있기 때문이다(Meyer and Johnson, 1983). 또한 P는 미생물들의 막의 인지질과 ATP, 핵산의 구성 성분이 되기 때문에 미생물의 수와 함께 증가한 것으로 사료된다. 그러나, BOD가 이것과 비슷하게 증가하지 않은 이유는 litter bag 주위의 미생물들이 계류를 따라 흘러 내려가기 때문이다.

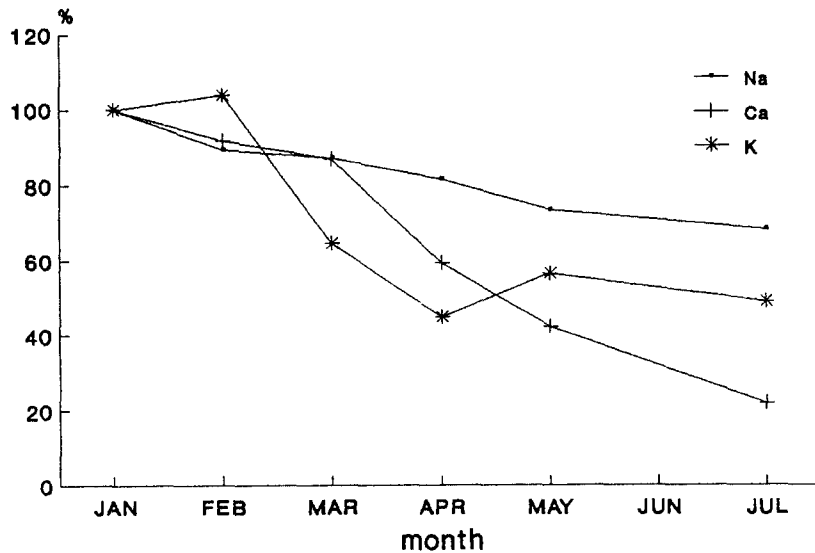


Fig. 5. Percentages of initial content of Na, Ca and K remaining during decomposition of the leaves of *P. orientalis*.

Blakeney *et al.* (1983)의 단당류 분해 실험과 Berg *et al.* (1982)의 결과와 본 연구의 결과로부터 낙엽의 각 성분에 따라서 분해 속도가 다른 것을 알 수 있다. 또한 Brinson(1977)의 실험에서는 초기 유기물 함량의 분해가 6개월 동안에 落葉은 50%, 落枝는 10%정도로 커다란 차이를 보이는데, 이는 수목의 각 부분에 따른 각 성분의 함량의 차이에 의해 분해속도가 달라진다는 것을 짐작케 한다. 낙엽 분해에 크게 관여하는 것으로는 온도(기온, 수온)와 N, P 그리고 수중에서의 세탈이라 할 수 있다. 수용성 물질을 많이 함유하고 있거나, 빠르게 수용성 물질의 형태로 분해되는 물질을 다량 함유하고 있을 때, 세탈에 의한 영향이 더욱 클 것이다(Suberkropp *et al.*, 1976; Blakeney *et al.*, 1983; Van der Valk and Attiwill, 1984). Van der Valk 와 Attiwill (1984)이 비록 해수에서의 연구였지만, *Avicennia marina*의 낙엽이 세탈에 의해 소실된 양이 3일 만에 10%였다고 보고한 것을 통해 잘 알 수 있다.

要 約

1992년 1월부터 7월까지 관악산의 서울대학교 댐에서 버즘나무 낙엽의 각 성분의 월별 분해량을 조사하였다. 낙엽의 분해는 전체적으로 감소하는 경향을 나타내었으나, 조단백질과 인산은 초기 함유량보다 크게 증가하였는데, 이는 수중 미생물들의 증가에 기인한 것으로 사료된다. 건량, 유기물, 그리고 holocellulose의 감소는 비슷한 양상을 보였으며, K, Na에 비해 Ca는 3월 이후에 큰 폭으로 감소하였다. 이러한 변화 양상은 수온과 미생물들의 증식, 계류의 흐름에 의한 수용성 물질의 세탈에 의한 결과로 사료된다.

引用文獻

- 기상청. 1990. 기상연보.
- 김재근 · 장남기. 1989. 관악산에 식재된 리기다 소나무림에서의 낙엽의 생산과 분해. 한국생태학회지 12(3):9-20.
- 김준민 · 장남기. 1967. 토양 유기물의 분해에 미치는 토양 미생물, 습도 및 무기염류. 서울대학교 사범대학보 9:117-126.
- 장남기 · 이성규 · 이복선 · 김희백. 1987. 낙엽의 축적 분해 및 무기화에 관한 모델 정립과 그 적용. 한국생태학회지 10(3):139-149.
- 한국환경조사연구소. 1991. 환경 대책 요람 pp. 370-408.
- 한국생화학회. 1979. 실험생화학. 탐구당 pp. 83-84.
- Berg, B. and B. Wessen. 1984. Changes in organic-chemical components and in growth of fungal mycelium in decomposing birch leaf litter as compared to pine needles. *Pedobiologia* 26:285-298.
- Berg, B., and G.I. Agren. 1984. Decomposition of needle litter and its organic chemical components: theory and field experiments. Long-term decomposition in a Scots pine forest. III. *Can. J. Bot.* 62:2880-2888.
- Berg, B., K. Hannus, T. Popoff and O. Theander. 1982. Changes in organic chemical components of needle litter during decomposition :long term decomposition in a scots pine forest. I. *Can. J. Bot.* 60:1310-1319.
- Berg, Björn, G. Ekbohm and C. McClaugherty. 1984. Lignin and holocellulose relations during long-term decomposition of forest litters. Long-term decomposition in a Scots pine forest. IV. *Can. J. Bot.* 62:2540-2550.
- Blakeney, A.B., P.J. Harris, R.J. Henry and B.A. Stone. 1983. A simple and rapid preparation of alditol acetates for monosaccharide analysis. *Carbohydrate Research* 113:291-299.
- Bockheim, J.G. and J.E. Leide. 1986. Litter and forest-floor dynamics in a *Pinus resinosa* plantation in Wisconsin. *Plant and Soil* 96:393-406
- Brinson, M.M. 1977. Decomposition and nutrient exchange of litter in an alluvial swamp forest. *Ecology* 58:601-609.
- Chang, N.K. and J.H. Yoo. 1986. Annual fluctuations and vertical distribution of cellulase, xylanase activities and soil microorganisms in humus horizons of a *Pinus rigida* stand. *Korean J. Ecol.* 9:231-241.
- Chapman, S.B. 1976. *Methods in plant ecology*. Blackwell Sci. Pub.
- Fahey, T.J. 1983. Nutrient dynamics of above ground detritus in lodgepole pine(*Pinus contorta* ssp. *latifolia*) ecosystem, southern Wyoming. *Ecol. Monog.* 53:51-72.
- Federle, T.W., V.L. McKinley and J.R. Vestal. 1982. Physical determinants of microbial colonization and decomposition of plant litter in an arctic lake. *Micro. Ecol.* 8:127-138.

- Fisher, S.G., and G.E. Likens. 1972. Stream ecosystem: organic energy budget. *Bioscience* 22:33-35.
- Foth, H.D. 1984. *Fundamentals of soil science*(7th ed.). John Wiley and Sons New York, pp. 152-154.
- Kaushik, N.K., and H.B.N. Hynes. 1968. Experimental study on the role of autumn shed leaves in aquatic environments. *J. Ecol.* 56:229-243.
- Kucera, C.L. 1959. Weathering characteristics of deciduous leaf litter. *Ecology* 40:485-487.
- Lowman, Margaret D. 1988. Litterfall and leaf decay in three Australian rainforest formation. *J. Ecol.* 76:451-456.
- Marinucci, A.C., J.E. Hobbie and John V.K. Helfrish. 1983. Effect of litter nitrogen on decomposition and microbial biomass in *Spartina alterniflora*. *Microb. Ecol.* 9:27-40.
- Mathews, C.P., and A. Kowalczewski. 1969. Disappearance of leaf litter and its contribution to production in the River Thames. *J. Ecol.* 57:543-552.
- Meentemeyer, V. 1978. Macroclimate and lignin control of decomposition rates. *Ecology* 59:465-472.
- Meyer, J.L. and C. Johnson. 1983. The influence of elevated nitrate concentration on rate of leaf decomposition in a stream. *Freshwater Biol.* 13:177-183.
- Sharma, E. and R.S. Ambasht. 1987. Litterfall, decomposition and nutrient release in an age sequence of *Abnus nepalensis* plantation stands in the eastern Himalaya. *J. Ecol.* 75:997-1010.
- Suberkropp, K., G.L. Godshark and M.J. Klug. 1976. Changes in the chemical composition of leaves during processing in a woodland stream. *Ecology* 57:720-727.
- Valiela, I., J.M. Teal and S.D. Allen. 1985. Decomposition in salt marsh ecosystems: the phases and major factors affecting disappearance of above-ground organic matter. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 89:29-54.
- Van der Valk, A.G. and P.M. Attiwill. 1984. Decomposition of leaf and root litter of *Avicennia marina* at westernport bay, victoria, Australia. *Aquatic Botany* 18:205-221.
- Wilson, J.O., I. Valiela and T. Swain. 1986. Carbohydrate dynamics during decay of litter of *Spartina alterniflora*. *Marine Biology* 92:277-284.
- Yavitt, T.B. and T.J. Fahey. 1986. Litter decay and leaching from the forest floor in *Pinus contorta*(Lodgepole pine) ecosystems. *J. Ecol.* 74:525-545.

(1992年 11月 11日 接受)