

## 임지이용이 계류의 수질변화에 미치는 영향

마호섭<sup>1)</sup> · 구소영<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 경상대학교 농과대학 산림과학부(농업생명과학연구원)

### A Change of the Stream Water Quality by Forest Land Use

Ma, Ho-Seop<sup>1)</sup> and Goo, So-Young<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Division of Forest Science, Gyeongsang Nat'l Univ.(Institute of Agriculture and Life Science)

#### ABSTRACT

This study was carried out to clarify the change characteristics of stream water quality by land-use of forest from July to September, 2000 in three stands(*Pinus densiflora*, *Castanea crenata*(I), *Castanea crenata*(II) stand) of Jeongpyeong-ri, Jinju-si, Gyeongnam.

The mean pH of rainfall results in acid rain of 5.3. The pH of stream water in three stands was high in order of *Pinus densiflora* (pH 6.59), *Castanea crenata*(II)(pH 6.53) and *Castanea crenata*(I) stand(pH 6.47). The electrical conductivity of stream water was high in order of *Castanea crenata*(I), *Pinus densiflora* and *Castanea crenata*(II) stand.

Cations contents of three stands in stream water were high in order of  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  and  $NH_4^+$ . But anions of stream water in *Pinus densiflora* stand and *Castanea crenata*(II) stand were high in order of  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  and  $NO_3^-$ . In *Castanea crenata*(I) stand cations of stream water were high in order of  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  and  $Cl^-$ .

The level of pH,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$  and  $SO_4^{2-}$  of stream water in *Pinus densiflora* stand and *Castanea crenata*(II) stand reached within the level of domestic use standard for drinking water. But the level of  $NO_3^-$  of stream water in *Castanea crenata*(I) stand was higher than that of domestic use standard.

Therefore, non-point sources like forest watersheds which are fertilizer application lands should be taken to the appropriate mitigation measures.

Key words : *anions contents, cations, domestic use standards, non-point sources*

#### I. 서론

토지이용의 고도화에 따른 비점오염원의 증가로 인하여 강우시 유출되는 비점오염이 유역

전반의 수질에 미치는 영향은 커지고 있다. 비점오염원은 농경작지, 삼림, 방목지, 매립지, 광산촌 등 주로 토지이용에 따라 유출되는 오염물로서 유출수의 대부분이 하천이나 호소로 그

대로 유입되어 수질의 저하와 함께 수변의 환경을 악화시키는 오염원이다. 우리 나라의 연평균 강수량은 1,274mm로 비교적 많은 편이지만 강수의 60%가 6~9월에 편중되어 있어 대부분이 하천으로 유출되므로 1995년에는 UN의 산하기구인 국제인구행동연구소에 의해 물부족 국가로 분류되었다. 이러한 가운데 국민들의 맑은 물에 대한 관심은 지속되고 있고 정부차원의 노력이 수반되고 있다. 비점오염원은 오염물질의 발생이 특정지점이 아닌 면적으로 분포하여 처리시설에 의해 처리되지 않고 강우, 강설, 바람 등에 의해 수계로 유출되는 특성을 가지고 있다. 공공수역의 수질개선을 위해서는 비점오염원에 대한 문제점을 찾아 해결해야만 하는데 이에 대한 부하량 산정조차 제대로 하지 못하고 있다. 수질의 안정화를 위하여 소유역 중심으로 토지이용에 따른 기초적인 연구를 수행하였다(Osborne *et al.* 1998). Huang과 Ferng(1990)은 수질상황과 토지이용 등에 관한 연구를 하였고, 이인선 등(1993)은 토지이용현황과 하천수질 조사를 통하여 유역의 토지이용별 오염물질 배출원에 대한 단위산정을 하였으며, 최지용과 신은성(1998)은 농촌지역 토지이용에 따른 비점오염원에 관하여 연구한 바 있다. 이와 같이 비점오염에 대한 연구는 소유역과 농촌지역의 토지이용에 관한 연구들이 주류였다. 그러나 실제 최상류 지역에 위치한 산림지역에서의 비점오염에 관한 연구는 부족한 실정에 있다.

산림에 있어 오염과 관련하여 국내 연구를 살펴보면 박재현과 마호섭(1999), 박재현(2000)이 인위적인 오염이 예상되는 북한산국립공원에서 탐방객수의 증가에 따른 계류수질의 저하를 우려한 계류수의 수질변화 모니터링이 있었고, 김명희 등(1997)은 폐탄광지역 하천수의 중금속 오염에 관련한 분석을 실시하였다. 그리고 정용호 등(2000)은 간벌이나 가지치기의 산림시업을 통한 수질동태를 파악하였으며, 전근우 등(1996), 오재만 등(1999)은 임도 개설 후 부유토사로 인한 계류수질의 변화를 보고하였다.

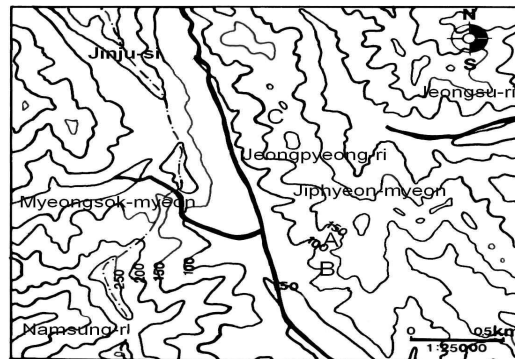
따라서 본 연구는 순수산림으로 존재하고 있

는 소나무림과 밤나무재배 등으로 임지를 이용하고 있는 밤나무림 그리고 밤나무 재배 후의 휴경지에 있어 비점오염원으로서의 영향을 살펴보기 위해 계류수를 조사하여 임지이용에 따른 수질변화를 통하여 향후 비점오염과 관련한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

임지이용에 따른 계류수의 수질변화와 관련한 연구를 수행하기 위하여 선정된 지역은 경남 진주시 집현면 정평리에 위치하고 있는 소나무(*Pinus densiflora*) 임분과 밤나무(*Castanea crenata*) I 임분, 밤나무(*Castanea crenata*) II 임분의 계류수이다. 조사지의 위치는 Figure 1과 같다.



A, B, C; *Castanea crenata* (I), *Castanea crenata* (II), *Pinus densiflora* stand

**Figure 1.** The location map of survey areas.

본 조사지역의 산지소유역은 인접하고 있어 모암과 토성, 지형조건 등이 비슷하므로 임지이용에 따른 계류수질의 특성을 비교적 적절하게 평가할 수 있는 지역이라 볼 수 있다. 조사지의 환경인자는 Table 1과 같다. 소나무임분의 경우 소나무는 평균수고 9m, 흉고직경 12cm, 임령은 25년이며, 임분밀도 45본/100m<sup>2</sup>이었다. 대조지역으로 선정된 소나무임분은 산지소유역으로서 면적은 3ha이며, 토양은 양토로서 모암은 퇴적암이다.

밤나무 I 임분은 평균수고 8m, 흉고직경 12.4 cm, 임령 10년으로써 임분밀도 6본/100m<sup>2</sup>이며, 전체 5ha 내에 3,000본 정도가 식재되어 있었다. 이 임분의 관리를 위해서는 매년 시비(1회 : 130포/5ha), 밤나무 항공방제(2회), 풀베기(2회) 등이 실시되고 있었다. 조사년도인 2000년의 시비는 4월 20일에 경기화학의 밤나무전용 복합비료(고형비료 1개당 15g이며, 전질소 12%, 가용성인산 16%, 수용성칼륨 4%)를 사용하여 전면적에 걸쳐 흩어뿌리기가 실시되었다. 그리고 밤나무 항공방제는 1차 방제와 2차 방제로 각각 7월 7일과 8월 8일에 실시되었으며, 풀베기는 6월과 8월에 각각 1회씩 실시하였다.

밤나무 II 임분은 수고 8m, 흉고직경 12cm, 임령 20년으로 임분밀도 6본/100m<sup>2</sup>이었다. 이 임분은 15년간 임지를 이용(밤생산) 하다가 밤나무의 수세약화로 인하여 1995년 이후부터 인위적인 관리가 중단되어 있으며, 주 임상인 밤나무 외에 졸참나무, 철쭉류, 칩 등이 우점하고 있는 임분형태를 보이고 있다.

**Table 1.** General descriptions of survey areas

	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Castanea crenata</i> (I)	<i>Castanea crenata</i> (II)
Mean height(m)	9	8	8
	8-12	7-10	7-10
Mean D.B.H.(cm)	12	12.4	12
	10-14	9.5-15.4	10.5-14
Tree age(year)	25	10	20
Density of stand(trees/100m <sup>2</sup> )	45	6	6
Altitude(m)	100-200	100-200	100-200
Aspect(°)	N45E, S60W	S65W~S80W	N40W~N85W
Degree of slope (°)	28~30	30~32	28~30
Parent rock	sedimentary	sedimentary	sedimentary
Soil texture	loam	loam	loam

2. 조사방법

1) 계류수의 채수방법

계류수는 2000년 7월에서 9월의 3개월 동안 매 강우가 종료된 직후, 각 임분에서 계곡의 최

하단부 1지점을 선정하여 혼탁물질을 일으키지 않도록 주의하면서 500ml용량의 polyethylene통을 이용하여 채수하였다.

2) 계류수 분석

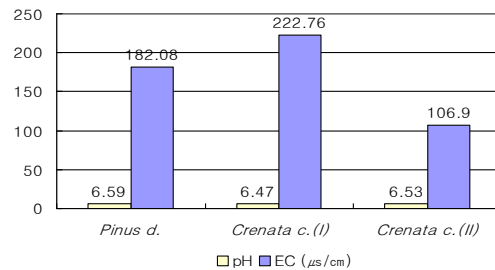
계류수의 수질분석은 계류수질 평가인자라 판단되는 pH는 pH meter (Consort C831)를 이용하였으며, 수질의 변화 상태를 쉽게 파악할 수 있는 지표로서 물이 함유하고 있는 이온 용해 염의 농도를 종합적으로 표시해 주는 전기전도도의 측정은 전기전도도 측정기(HI 9033MCM)로 하였다. 또한 양이온(K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 5개 항목과 음이온(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>) 3개 항목의 분석에는 Whatman #42 filter paper로 여과 후 Ion Chromatography(Dionex DX-120)를 이용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 계류수의 분석

1) pH와 전기전도도 변화

7월~9월 동안 수집된 계류수의 pH와 전기전도도를 나타낸 결과는 Figure 2와 같다.



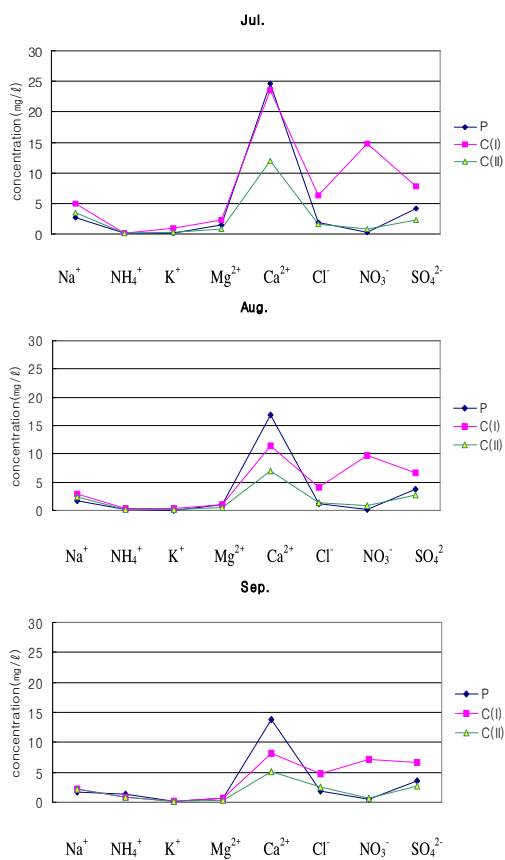
**Figure 2.** Changes of pH and EC in the stream water.

본 조사지의 계류수는 pH가 6.5~6.6 내외인 중성으로서 나타나 홍사환과 정규혁(1982)의 울릉도 계방산 계류수질 조사결과 평균 pH 6.4~6.6의 범위를 보인 것과 유사하였다. 이는 세 임분에서 산림의 산성완충능력이 크기 때문에 계류수의 pH가 중성 부근으로 나타난 것으로 보인다.

또한 계류수의 전기전도도는 Whitehead 등 (1988)이 일반 산지 계류수의 전기전도도 범위로 보고한 30~150 $\mu$ S/cm 보다 넘어서는 106.90~222.76 $\mu$ S/cm로 범위로 나타났다. 이것은 본 조사지가 지질의 특성상 퇴적암지역으로서 계류수내에 함유된 이온의 농도가 높기 때문에 일반적인 산지계류의 전기전도도 범위를 넘어서는 것으로 사료된다.

2) 양이온 및 음이온의 변화

세 임분에서 계류수의 월별이온변화는 Figure 3과 같다.



Note) P : *Pinus densiflora*, C ( I ) : *Castanea crenata* ( I ), C(II) : *Castanea crenata*(II)

Figure 3. Monthly changes of each ion in the stream water.

Figure 3에서 계류수의 이온변화는 7, 8, 9월

이 비슷한 경향으로 나타났고, 특히 양이온은 세 임분의 계류수 모두 Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 순으로 높게 나타났다. 음이온은 소나무임분과 밤나무II 임분 계류수에서는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 순으로 높게 나타났으나, 밤나무 I 임분 계류수에서는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>의 순으로 높게 나타나 차이를 보이고 있다.

志水와 坪山(1990)에 따르면 Ca<sup>2+</sup>와 Mg<sup>2+</sup> 이온들은 모암과 토양 등 지질적 요인에 기인한다고 하였는데, 소나무임분의 계류수에서 Ca<sup>2+</sup>의 농도가 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 이 지역의 모암이 퇴적암이며, 토양 내에 가장 많이 함유되어 있는 Ca<sup>2+</sup>이 강우시 쉽게 용탈되어 계류로 유입되었기 때문인 것으로 사료된다.

그러나 Ca<sup>2+</sup>의 농도는 소나무임분 계류수에서 높게 나타났지만 Ca<sup>2+</sup>을 제외한 대부분의 이온농도가 밤나무 I 임분 계류수에서 높게 나타났으므로 세 임분의 계류수질을 비교하면 밤나무 I, 소나무, 밤나무II 임분 순으로 이온농도가 높아 임지이용에 따른 계류수질의 변화를 명확하게 나타내고 있음을 알 수 있었다.

3) 임분간의 계류수질 비교

임지이용 형태에 따라 각 임분별 계류수질의 차이를 살펴보기 위하여 Duncan test를 이용한 다중검정을 실시한 결과는 Table 2과 같다.

세 임분의 계류수 간에 차이를 살펴보기 위하여 다중검정을 실시한 결과 10개 항목 중에서 Na<sup>+</sup>과 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>를 제외한 나머지 8개 항목들은 임분 간에 유의성이 인정되므로 각 임분별 수질의 차이가 인정되는 것으로 나타났다.

수질과 관련하여 우리에게 이용되고 있는 물의 대부분은 먹는 물, 지하수, 호소수, 하천수 등의 수질기준을 통하여 수질이 평가되고 있다. 그러나 산림에 있어서 계류수는 현재까지 적절한 수질기준이 마련되어 있지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 계류수질을 평가하기 위해 조사항목 10개 중 5개의 항목이 포함되어 있는 먹는 물 수질기준과의 비교를 통하여 계

**Table 2.** Duncan test of each ion of the stream water

	EC	pH	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	T.C.	T.A.
P	182.08	6.59	2.04	0.37	0.10	1.06	18.24	1.47	0.24	3.75	21.81	5.46
	A	B A		A	A		B A	A				A
C I	222.76	6.47	3.42	0.40	0.48	1.39	14.68	4.83	10.73	6.96	20.39	22.51
	A	A	B		B	B A	B A					
C II	106.90	6.53	2.64	0.33	0.13	0.58	8.34	1.58	0.80	2.53	12.03	4.91
		A B A	B	A	B A	B A		A				A
F-value	11.636	3.676	3.031	0.127	8242	4.526	4.769	61.114	58.799	150.474	3.392	82.455
p-value	0.000**	0.034*	0.060	0.881	0.001**	0.017*	0.014*	0.000**	0.000**	0.000**	0.044*	0.000**

Note) A, B : meaning same group by Duncan test

류수질의 상태를 평가하고자 하였다. 먹는 물 수질기준과 각 임분의 계류수내 성분의 농도는 Table 3와 같다.

**Table 3.** Evaluation of stream water quality in three stands by Drinking water quality standard (unit; mg/ℓ)

	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Drinking water quality standard	5.8~8.6	below 0.5	below 150	below 10	below 200
<i>P.densiflora</i>	6.59	0.37	1.47	0.24	3.75
<i>C.crenata</i> (I)	6.47	0.40	4.83	10.73	6.96
<i>C.crenata</i> (II)	6.53	0.33	1.58	0.80	2.53

본 조사지 계류수 분석 항목과 동일한 항목이 포함되어 있는 먹는물 수질기준을 살펴보면 pH 5.8~8.6, 암모니아성 질소 0.5mg/ℓ 이하, 질산성질소 10mg/ℓ 이하, 염소이온 150mg/ℓ 이하, 황산이온 200mg/ℓ 이하이다.

소나무임분과 밤나무II 임분의 계류수는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 미량 용존되어 있어 이 임분들이 위치한 상류지역은 수질이 비교적 양호한 편으로 나타났다. 그러나 임지이용을 통하여 생산활동이 이루어지고 있는 밤나무 I 임분에서 계류수의 평균 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 1개 항목은 평균 10.73mg/ℓ로 나와 먹는 물 수질기준을 넘어서

는 범위로 나타났다. 이는 Emmett 등(1998)이 계류수내로 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 용탈이 많으면 부영양화와 산성화가 예상된다고 한 보고에서와 같이 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도가 높은 밤나무 I 임분의 계류수가 하류로 유입될 경우 용존이온의 농도 증가와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 등으로 인한 부영양화의 발생으로 하류수질의 저하가 예상된다.

따라서 이러한 임지이용에 있어서도 경제성 위주의 연구에서 나아가 환경적 측면의 문제에도 많은 관심을 쏟아야 할 것이며, 상류에 위치한 산림에서부터 하류로 이동하는 오염원의 유입을 차단하기 위한 간이 수질정화시설과 같은 적절한 대비책이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

#### IV. 적 요

순수산림으로 존재하고 있는 소나무림과 밤나무재배 등으로 임지를 이용하고 있는 밤나무림 그리고 밤나무 재배 후의 휴경지 등 3개 조사구(소나무, 밤나무 I, 밤나무II 임분)에서 비점오염원으로서의 영향을 살펴보기 위해 계류수를 조사하여 임지이용에 따른 수질변화를 분석하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 세 임분의 계류수 pH는 소나무임분(pH 6.59)>밤나무II 임분(pH 6.53)>밤나무 I 임분(pH 6.47)계류수 순으로 나타났다.
2. 전기전도도는 밤나무 I 임분>소나무임분>

- 밤나무Ⅱ임분 계류수의 순으로 높게 나타났다.
3. 양이온은 세 임분의 계류수 모두  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ 의 순으로 높게 나타났다.
  4. 음이온은 소나무임분과 밤나무Ⅱ 임분 계류수에서는  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ 의 순으로 높게 나타났고, 밤나무Ⅰ 임분 계류수에서는  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ 의 순으로 높게 나타나는 차이를 보였다.
  5. 소나무, 밤나무Ⅱ임분 계류수는 pH,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 이 먹는 물 수질기준 범위 내에 있었다. 그러나 밤나무Ⅰ 임분 계류수에서 5항목 중  $\text{NO}_3^-$ 는 먹는 물 수질기준을 넘어서는 범위에 있어 임지이용에 따른 하류수질의 오염이 우려된다. 따라서 이러한 상류지역에서 오염원 차단을 위한 수질정화시설 등의 대책이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

### 인 용 문 헌

- 김명희 · 민일식 · 송석환. 1997. 금산 폐탄광지역의 오염이 하천수에 미치는 영향. 한국임학회지 86(4) : 435-442.
- 박재현 · 마호섭. 1999. 북한산국립공원내 휴식년 계곡의 수질관리를 위한 계류수질모니터링. 한국환경복원녹화기술학회 2(2) : 88-96.
- 박재현. 2000. 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질 특성(Ⅱ)- 이화학적 특성을 중심으로-. 한국임학회지 89(2) : 241-248.
- 오재만 · 井上章二 · 江崎次夫 · 전근우. 1999. 산지소유역에 개설된 임도가 부유사 유출에 미치는 영향. 한국임학회지 88(4) : 477-484.
- 이인선 · 신상철 · 정동일. 1993. 토양 컬럼실험을 통한 비점오염원 오염물질 배출원단위 산정. 한국수질보전학회지 pp. 240-245.
- 전근우 · 김민식 · 江崎次夫. 1996. 임도개설이 계류수질에 미치는 영향(Ⅰ)-임도개설에 따른 부유토사량의 변화-. 한국임학회지 85(2) : 280-287.
- 정용호 · 박재현 · 윤호중 · 김경하. 2000. 전나무림, 잣나무림 유역에서 산림의 수질정화기능에 미치는 산림시업 영향(Ⅲ) - 임외우, 수관통과우, 수간류의 pH와 전기전도도를 중심으로-. 한국임학회지 89(2) : 223-231.
- 최지용 · 신은성. 1998. 농업지역 비점오염원 관리방안 연구. 한국환경정책평가연구원 p. 138.
- 홍사환 · 정규혁. 1982. 계방산 계류의 이화학적 수질조사. 한국자연보존협회 20 : 171- 179.
- 志水俊夫 · 坪山良夫. 1990. 宝川流域における融雪流出水の水質特性. 日本林學會誌 72 (2) : 171-174.
- Emmett, B. A. · B. Reynolds · M. Silgram · T. H. C. Sparks and Woods. 1998. The consequences of chronic nitrogen additions on N cycling and soil water chemistry in a Sitka spruce stand, North Wales. For. Ecol. Management. 101(1-3) : 165-175.
- Huang Shu-Li and Ferng Jiun-Jiun. 1990. Applied land classification for surface water utility management I. : Watershed Classification. Journal of Environmental Management 31 : 107-126.
- Osborne, L. · L. Wiley and J. Michael. 1988. Empirical relationships between land use/cover and stream water quality in an agricultural watershed. Journal of Environmental Management 26 : 9-27.
- Whitehead, P. G. · S. Bird. · M. Hornung. · J. Cosby. · C. Neal. and P. Paricos. 1988. Stream acidification trends in the welsh uplands-a modelling study of the Llyn Brianne catchments. J. of Hydrology 101 : 191-212.

接受 2002年 11月 17日