



하천변 양배추 밭에서의 영양물질의 거동

Nutrient Behavior in an Upland Field of Cabbage Adjacent to the River

송철민* · 김진수**† · 장 훈**

Song, Chul Min * · Kim, Jin Soo **† · Jang, Hoon **

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the dynamics of nutrients such as total nitrogen (TN), nitrate nitrogen (NO₃-N) total phosphorous (TP), and phosphate phosphorous (PO₄-P) in outflow from a cabbage farmland in a mixed land-use watershed. The TN concentrations in groundwater showed twice peaks in late July 2006 and late March 2007 (3.8, 4.7 mg/L, respectively), when it rained shortly after fertilizer application, indicating that nitrogen leaching is greatly influenced by fertilization and rainfall. The mean concentrations of TN and NO₃-N in surface water were not significantly higher than those in groundwater, while the mean concentrations of TP and PO₄-P in surface water were significantly ($p < 0.05$) were higher than those in groundwater. The TN concentrations in groundwater were generally higher than those in surface water during fertilization and early growing season due to the effect of fertilization, but vice versa in the other periods. In contrast, the TP concentrations in groundwater were always lower than those in surface water due to the sorption of particulate phosphorous by soil. The ratio of TN load in baseflow to that in total TN load (39 %) was much greater than the TP ratio (7 %), suggesting that baseflow contribute to nitrogen export. Therefore, proper fertilization management should be taken to reduce nitrogen load through baseflow.

Keywords: Surface water; Groundwater; Nitrogen; Outflow load

I. 서 론

비점오염원의 유출특성은 수문 현상과 밀접한 반응을 하는데, 농촌 지역의 비점오염원은 다양한 형태의 토지이용으로 구성되어 도시지역보다 복잡한 유출 메커니즘을 갖는다. 농경지 내에 시비된 과잉의 영양물질(질소, 인)은 기저유출과 직접유출을 통하여 하천으로 유입되어 하천수를 오염시키는 오염원으로 작용하는 것으로 알려져 있다(Sharpley, 1995; Munoz-Arboledaa et al., 2008). 체코슬로바키아의 엘베강 유역에서는 시비량 8 배의 증가가 지하수의 질산성 질소의 농도를 2배 증가시킨다고 보고되었다(Pekny et al., 1989). 또한, 지하배수를 통한 질소성분의 손실량은 과다시비구가 중시비구나 소시비구보다 유의적으로 큰 것으로 나타났다(Jaynes et al., 2000).

국내에서는 밭이 포함된 농촌유역에서의 영양물질의 농도 및

유출 특성을 파악하는 연구(Joo et al., 2007; Oh et al., 2009)가 수행되었는데, 유역 지표수가 중심으로 되어 있어 유역 전체의 특성은 알 수 있으나 밭에 의한 영향은 잘 알려져 있지 않다. 우리나라에서 밭은 하천변에 분포하고 있는 경우가 많고, 여기에 비교적 시비량이 많고, 일년에 2-3회 재배되는 배추, 양배추 등이 존재하는 경우에는 시용(施用)된 비료성분이 평상시에도 지하수를 통하여 하천으로 쉽게 유입될 수 있다. 이에 본 연구에서는 농촌 유역내의 하천변에 존재하는 양배추 밭을 대상으로 밭 지하수의 영양물질 농도 변화를 검토함으로써 평상시 양배추 밭에서의 영양물질의 거동 특성을 파악하고자 한다.

II. 조사유역과 연구방법

1. 조사유역과 조사포장

본 조사유역은 충청북도 청원군 낭성면의 문박리와 인경리(E127° 35'-127° 37', N36° 37'-36° 40') 일대로서 산림이 우세하고, 논과 밭으로 이루어진 전형적인 농촌 유역이다. (Fig. 1(a)). 조사 유역은 유역면적 6.67 km², 하천장 5.4 km, 하천 경사는 0.015이며, 형상계수 0.22인 폭에 비하여 길이가 긴 유

* 팔당호수질정착협의회

** 충북대학교 지역건설공학과

† Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2573

Fax: +82-43-271-5922

E-mail address: jskim@cbnu.ac.kr

2010년 3월 23일 투고

2010년 5월 4일 심사완료

2010년 5월 10일 게재확정

역특성을 갖고 있다. 유역 전체의 토지 이용 형태는 산림 80.6 %, 논 7.7 %, 밭 9.4 %로 산림과 농지가 98.3 %를 차지하고 있다. 산림의 식생은 침엽수림 53 %, 활엽수림 31 %, 혼효림 16 %로써 소나무, 전나무 및 낙엽송이 주류를 이루고, 주요 밭 작물은 양배추, 배추, 고추 등이 있다 조사유역의 총인구는 240 명이며 대규모의 축산단지나 공장 등의 점오염원이 조사유역에는 거의 존재하지 않는다. 조사포장은 양배추 밭으로 면적 0.16 ha, 표고 283 m이며 조사유역 말단의 하천에 인접하고 있다 (Fig. 1 (a)).

2. 연구방법

본 연구는 2006년 7월부터 2007년 6월까지 1년 동안 실시되었다. 수량 측정 및 수질 샘플링은 조사유역의 지표수와 조사포장의 지하수에 대하여 각각 10일 간격으로 실시하였다. 또한, 지표수에 대해서는 2개의 강우사상에 대하여 수위 상승이 일어나기 전부터 시작하여 상승 전의 수위로 하강할 때까지 2 ~ 12시간 간격으로 유량측정과 수질샘플링을 실시하였다. 유역말단에는 압력식 수위계 (WL-14, Global Water)를 설치하여 1시간 간격으로 압력을 측정하였고, 측정된 압력과 정기적으로 측정된 유량과의 관계곡선을 이용하여 시간별 유량을 추정하였다.

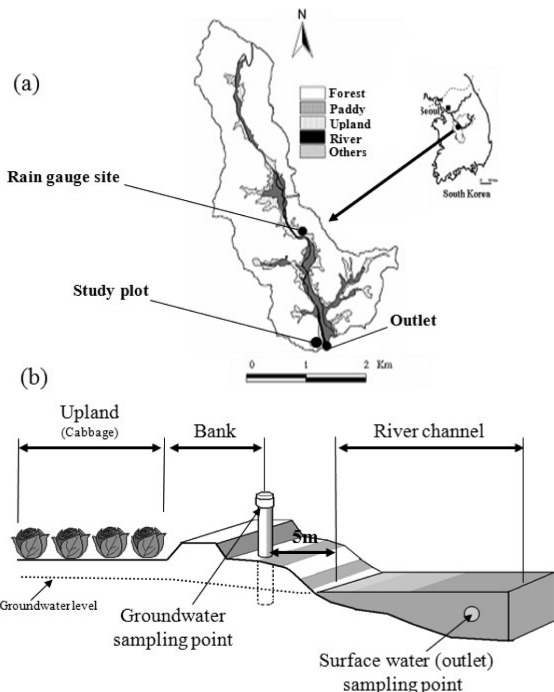


Fig. 1 Study area (a) and schematic diagram of groundwater measurement point of study plot (b)

조사포장인 양배추 밭에서 5 m 떨어진 곳에 위치한 홍수터 (Fig. 1 (b))에 Ø80 mm PVC 파이프를 설치하고 지하수위 측정기 (Model 101, Solinst)를 이용하여 지하수위를 측정하였고, 채수기를 사용하여 지하수 샘플링을 실시하였다. 강수량은 데이터 로거 형식의 강수량계 (103800D, Casella)를 조사유역 내에 설치하여 그 값을 얻었다. 수질항목은 총질소 (TN), 질산성 질소 (NO₃-N), 총인 (TP) 및 인산성인 (PO₄-P)의 4가지로 환경부 공정시험법 (Ministry of Environment, 1997)에 의한 흡광도법으로 분석되었다. 조사포장의 토성은 물리적 특성과 이화학적 특성으로 나누어 조사하였다. 2006년도 11월과 2007년 3월에 포장 내 두개 지점에서 지표로부터 30 cm 깊이까지의 토양을 채취하여 미국 농무성 (USDA)의 삼각좌표법 (textural triangle)으로 물리적 특성을 분석하였다. 또한, 이화학적 특성은 공정토양분석법을 이용하여 분석하였다.

두 집단 간의 평균농도를 비교하기 t검정을 실시하였고, p < 0.05인 경우 유의적인 차이가 있는 것으로 판단하였다.

3. 오염부하량 산정방법

조사유역의 유출부하량은 식(1)과 같이 평상시부하량과 강우시부하량의 합으로 계산되었다.

$$\text{유출부하량} = \sum (\text{평상시 유출부하량} + \text{강우시 유출부하량}) \quad (1)$$

여기서 평상시 유출부하량은 식(2)과 같이 산정하였다.

$$\text{평상시유출부하량} = \sum (\text{10일간의 평균농도} \times \text{10일간유량}) \quad (2)$$

강우시 부하량은 강우로 인해 유출곡선이 상승한 후 다시 하강하여 상승전의 유량으로 된 시점까지의 부하량으로 간주하였다. 강우시 총 유출부하량은 식(3)과 같이 강우시 시간별 부하량의 합으로 산정하였다.

$$L_T = \int l_T dt \quad (3)$$

여기서, L_T : 강우시 총 유출부하량(kg/ha), l_T : 강우시 시간별 유출부하량(kg/ha · hr)

강우시 유출 중 기저유출과 직접유출은 수평분리법으로 분리하여 (McCuen, 1998), 각각의 부하량을 산정하였다. 기저유출 부하량은 평상시 유출부하량에 강우시의 기저 유출부하량을 더하여 얻었다.

Table 1 Chemical properties of soil in the study plot

Date	pH	EC	TN	OM	K	Ca	Mg	CEC
	(w/v, 1:5)	dS/m	mg/kg	%	cmol+ /kg			cmol+ /kg
Nov. 2006	6.8	1.05	1,027	1.58	0.59	2.48	0.45	12.0
Mar. 2007	6.5	0.43	1,232	2.00	0.15	1.92	0.44	9.4

III. 결과 및 고찰

1. 토양 특성

양배추 밭의 물리적 토양특성은 모래가 78.3 %, 실트가 15.2 %, 점토가 6.5 %로 구성되어 있으며, 이를 미국 농무성의 삼각작표법으로 분류하면 사질로 (sandy loam)에 해당된다.

휴경기인 2006년도 11월과 경작기 직전인 2007년 3월의 양배추 밭 토양을 2지점 채취하여 분석하였다 (Table 1). TN은 2006년 11월에는 1,027 mg/kg, 2007년 3월에는 1,232 mg/kg을 보여, 경작기 직전에는 시비로 인해 토양 속의 질소 농도가 휴경기보다 높아진 것으로 나타났다.

2. 영농형태와 시비량

양배추는 1년에 2회 재배되었으며, 가을에는 8월 중순에 모종심기 (transplanting)를 하여 11월 중순에 수확하였고, 봄에는 4월 중순에 모종심기를 하여 7월 초순에 수확하였다. 각 재배에서 시비는 2차례 (기비와 추비)로 이루어졌으며, 기비는 각각 3월 초순-중순에, 7월 초순-중순에 이루어졌고, 추비는 각각 5월 초순과 8월 하순에 이루어졌다. 조사기간 동안 가을에 시비된 질소량은 175 kg N/ha (기비 135 kg N/ha, 추비 40 kg N/ha), 인량은 35 kg P/ha (전량 기비)이었고, 봄에는 퇴비가 추가되어 질소량 213 kg N/ha, 인량 57 kg P/ha로 조사되었다.

3. 조사구역에서의 강수량 및 유출량

연구기간인 2006년 7월부터 2007년 6월까지의 연강수량은 1,208.6 mm로 기록되었고, 일 최고 강수량은 2006년 7월 18일에 최대 136.2 mm를 기록하였다. 월 최고 강수량은 2006년 7월에 641.0 mm으로 연 강수량의 53 %를 기록하였다. 조사구역에서의 1년간 유출량은 795.7 mm이고, 유출률은 66 %로 나타났다 (Fig. 2). 이는 동 유역 선행연구(Oh, 2006)에서 보고된 2002-04년의 유출률 52-66 %와 비슷한 수준을 나타낸다.

또한, 영농기간인 8월 중순에서 11월 중순까지의 강우량은 94 mm, 유출률 32 %, 4월 중순에서 7월 초순까지의 강우량은

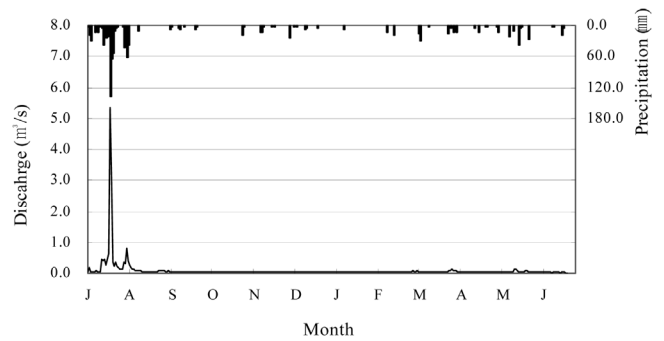


Fig. 2 Temporal variation of precipitation and discharge in study area

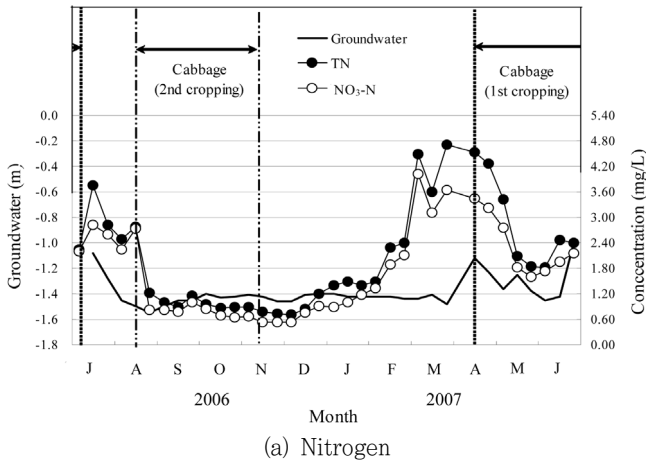
218 mm, 유출률 59 %로, 봄 재배기간 동안 더 높은 유출률을 나타냈다.

4. 밭 지하수위와 지하수 농도

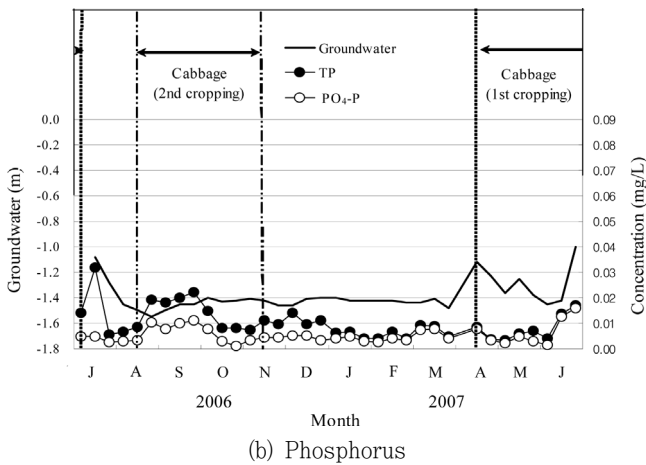
지하수위는 -1.55 m에서 -1.00 m의 사이에서 변동하였다. 지하수위는 강수량이 많은 6-7월에는 높고, 강수량이 적은 10월에서 2월까지의 낮은 값을 보여, 지하수위는 강수량에 크게 좌우되는 것으로 나타났다 (Fig. 3).

TN 농도는 시비 직후인 2006년 7월 중순과 2007년 3월 하순에 2번의 피크값 (각각, 3.8 4.7 mg/L)을 보인 후 영농기 동안 점차적으로 감소하였고, 2006년 8월 하순부터 2007년 2월 초순까지는 1.5 mg/L 이하의 비교적 낮은 값을 나타냈다 (Fig. 4(a)). 2007년 3월에 TN 농도가 최대값을 보인 것은 시비량이 봄이 가을보다 많았기 때문으로 생각된다. NO₃-N 농도는 TN 농도보다 약간 낮아 TN 성분의 대부분은 NO₃-N으로 나타났다. 양배추는 모종심기 (transplanting) 전에 밭에 시비를 하기 때문에 기비 후 높은 질소 농도 값이 나타나고, 그 이후 지속적인 질소 농도의 감소는 양배추가 성장함에 따라 질소 성분을 흡수하기 때문으로 판단된다. 3월의 급격한 질소 농도 상승은 수확하지 않고 밭에서 썩은 채로 남아있던 양배추가 화학비료와 함께 투입되었고, 시비 후 비교적 높은 강수량 (34.0 mm)으로 질소성분이 침투하였기 때문으로 생각된다. 일반적으로 시비 후 강수의 영향으로 지하수위가 높게 되었을 때, 질소 농도도 높게 나타났다 (Fig. 3(a)). 미국 플로리다주에서 감자밭에서의 높은 지하수 농도는 감자를 심은 후의 강수량의 크기에 비례하는 것으로 보고되었다 (Munoz-Arboleda et al., 2008).

또한 8월 하순에는 질소 농도가 1.2 mg/L로 급감하였는데, 이는 8월의 적은 강수량 (12.4 mm)으로 질소의 지하 침투가 작아졌기 때문으로 생각된다. 캐나다에서는 경운 방법 (경운없음과 전통적인 경운)의 차이에 의한 지하수에서의 NO₃-N 농



(a) Nitrogen



(b) Phosphorus

Fig. 3 Change of nutrient concentrations in the groundwater

도의 영향은 크게 나타나지 않았다 (Patni et al., 1998) 따라서, 밭 지하수의 질소 농도는 시비조건 (시비량 및 시비시기), 영농패턴 및 강수량의 크기에 크게 좌우하는 것으로 생각된다.

지하수의 TP 농도는 TN 농도에 비하여 크게 변동하지 않았다. 2006년 7월 중순 사이에서 0.03 mg/L 전후의 값을 보였으나, 10월 중순 이후로는 0.01 mg/L 전후의 값을 보였고, PO₄-P는 대부분 0.01 mg/L 이하의 낮은 값을 보였다 (Fig. 3(b)). 이곳에서의 지하수의 TP 농도는 호소의 농업용수 TP 농도 기준인 0.10 mg/L보다 낮은 수준에 해당된다.

5. 유역 지표수와 밭 지하수의 평균 농도

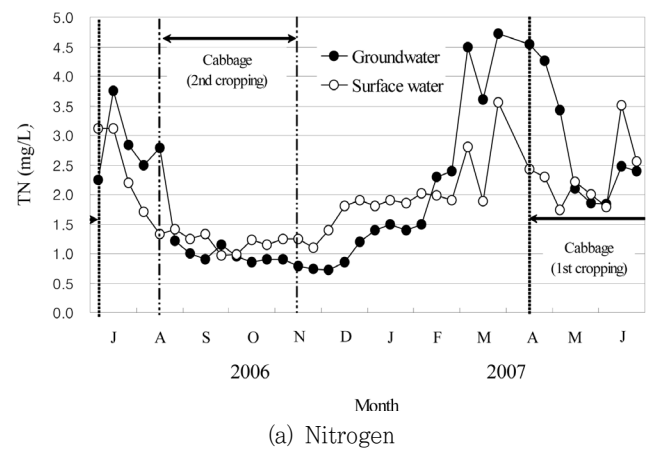
정기측정 기간 동안의 밭 지하수의 산술 평균 농도는 TN이 2.1 mg/L, TP가 0.01 mg/L, NO₃-N가 1.7 mg/L, PO₄-P가 <0.01 mg/L로 나타났고, 지표수의 산술 평균 농도는 TN이 1.9 mg/L, TP가 0.02 mg/L, NO₃-N가 1.6 mg/L, PO₄-P가 <0.01 mg/L로 나타났다(Table 2). 지하수와 지표수의 평균농도에 대

Table 2 Comparison of mean nutrient concentration between surface water and groundwater

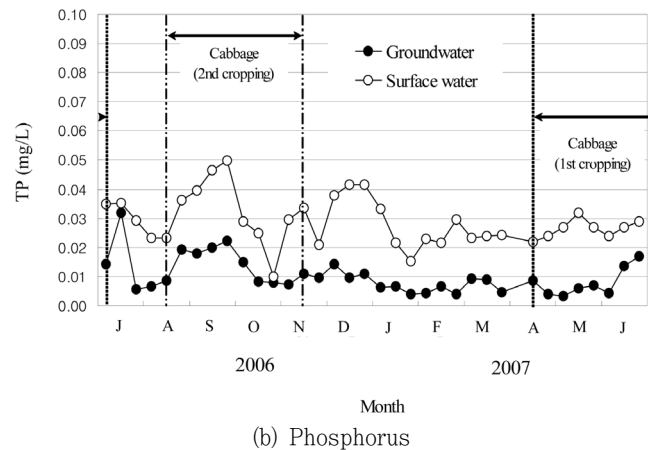
Type	Groundwater	Surface water	p value
No. of samples	35	35	-
Constituents (mg/L)	TN	1.9 (1.0 ~ 3.6)	N. S. ^a
	TP	0.02 (< 0.01 ~ 0.05)	p < 0.001
	NO ₃ -N	1.6 (0.8 ~ 2.9)	N. S. ^a
	PO ₄ -P	< 0.01 (< 0.01 ~ 0.02)	p < 0.001

^a Not Significant

^b The value in parenthesis indicates range of concentrations



(a) Nitrogen



(b) Phosphorus

Fig. 4 Comparison of nutrient concentrations between surface flow and groundwater

하여 t검정을 실시한 결과, TN과 NO₃-N 농도는 지표수가 지하수보다 유의하게 높게 나타나지 않았으나, TP와 PO₄-P 농도는 지표수가 지하수보다 유의하게 높게 나타났다.

TN 농도에 대한 NO₃-N의 비율이 지하수와 지표수에서 모두

83 %를 보여 대부분 NO₃-N으로 존재하는 것으로 나타났다.

6. 유역 지표수와 발 지하수 시기별 농도 비교

TN 농도는 지표수가 상승할 때 지하수도 상승하는 유사한 경향을 보였다. 일반적으로 봄철인 3월에서 5월까지 높은 농도값을 보였고, 2차 재배의 성숙기인 10월 중순부터 다음해 2월까지 농도가 감소하여 2.0 mg/L 이하로 나타났다 (Fig. 4(a)).

지표수 및 지하수의 TN 농도는 시기별로 역전하는 현상을 나타냈다. 일반적으로 시비기와 영농초기에 해당되는 2006년 7월 하순부터 8월 중순까지, 2007년 2월 중순부터 5월 초순까지는 지하수의 농도가 지표수의 농도보다 높게 나타났고, 그 외의 시기에는 지하수의 농도가 지표수의 농도보다 낮게 나타났다 (Fig. 4(a)). 기비기 전인 2월 하순에서 3월 초순 사이에 지하수 농도가 지표수 농도보다 높게 나타나는 것은 해빙기 동결된 토양이 녹으면서 토양 속의 질소가 지하로 이동하였기 때문으로 생각된다.

TP 농도는 항상 지표수가 지하수보다 높게 나타났으며, 지하수는 지표수에 비하여 거의 변동이 없고, 대부분 0.02 mg/L 이하의 비교적 낮은 값을 보여 (Fig. 4(b)), 양배추 밭으로부터의 인의 기저유출은 매우 작은 것으로 판단된다. 지하수의 TP 농도가 낮은 것은 TP의 주성분인 입자성인이 침투수와 함께 이동하면서 대부분 토양에 흡착되었기 때문으로 생각된다.

7. 유역 지표수와 발 지하수의 계절별 TN 평균농도 비교

지표수와 지하수의 TN의 평균 농도는 봄에 높게 가장 높게 나타났고, 가을에 가장 낮게 나타났다 (Fig. 5). TN 평균 농도

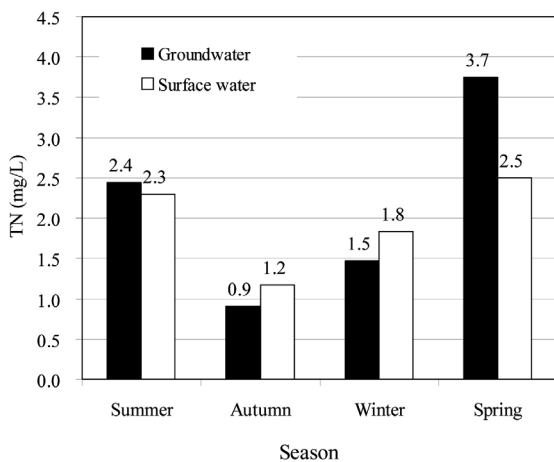


Fig. 5 Comparison of mean TN concentrations between surface water and groundwater

는 봄에는 지하수가 지표수보다 유의하게 높게 나타났으나, 가을과 겨울에는 역으로 유의하게 지표수가 지하수보다 높게 나타났다. 특히 봄에는 밭이 유역의 전체에 대하여 질소 오염원으로 작용하고 있어, 이에 대한 관리가 필요하다.

8. 조사유역에서의 유출부하량

조사유역에서의 TN과 TP의 월별 및 연유출부하량은 Table 3과 같다. TN 및 TP의 연부하량은 각각 18.4 kg/ha와 1.28 kg/ha로 나타났는데, 이는 산림지역에서의 연부하량인 TN 5.9 kg/ha, TP 0.15 kg/ha (Kim et al., 2003)보다 높은 값에 해당된다. 월별부하량은 7월에 가장 높은 값을 나타냈다. 전체 부

Table 3 Monthly outflow load of nutrient in study area

Month	TN (kg/ha)			TP (kg/ha)			
	Baseflow	Stormflow	Sub-total	Baseflow	Stormflow	Sub-total	
2006	July	2.2	9.0	0.02	0.81	0.83	
	Aug.	0.5	0.3	0.8	0.00	0.05	0.05
	Sep.	0.3	0.1	0.4	0.01	0.02	0.03
	Oct.	0.3	0.0	0.3	0.01	0.00	0.01
	Nov.	0.2	0.0	0.2	0.01	0.00	0.01
	Dec.	0.3	0.0	0.3	0.01	0.00	0.01
2007	Jan.	0.2	0.0	0.2	0.01	0.00	0.01
	Feb.	0.3	0.0	0.3	0.01	0.00	0.01
	Mar.	0.4	0.1	0.5	0.00	0.00	0.00
	Apr.	0.5	0.1	0.6	0.00	0.00	0.00
	May	0.8	0.6	1.4	0.00	0.00	0.00
	June	1.1	1.1	2.2	0.01	0.31	0.32
Total	7.1 (39) ^a	11.3 (61)	18.4 (100)	0.09 (7)	1.19 (93)	1.28 (100)	

^a The numbers in parentheses indicate the percentage of baseflow and stormflow loads to total load

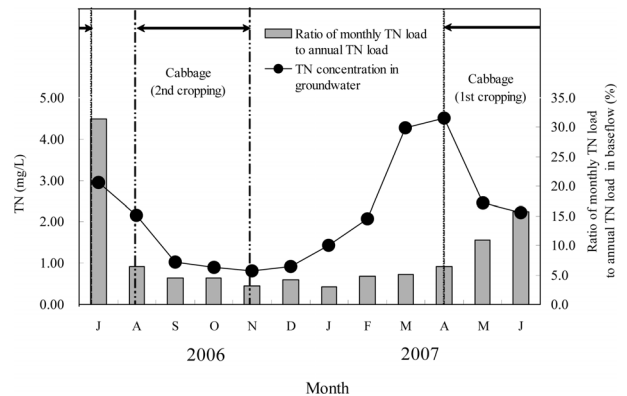


Fig. 6 TN monthly mean concentration in groundwater and ratio of monthly TN load to annual TN load in baseflow

하량 중 기저 부하량이 차지하는 비율은 TN이 39 %로 TP의 7 %보다 5배 이상 크게 나타나, TN은 기저유출에 의하여 상당히 유출되는 것으로 생각된다.

Fig. 6은 지하수의 TN 월평균농도 및 유역 지표수의 연간 TN 기저유출 부하량에 대한 월별 TN 기저유출 부하량의 비를 나타낸다. 연간 TN 기저유출 부하량에 대한 월별 TN 기저유출 부하량의 비는 2006년 7월에 최고 31 %, 1월에 최저 3 %로 나타났다. 특히 지하수 농도가 높은 3-7월 동안의 기저유출부하량은 연간 기저유출부하량의 70 %를 보여, 시비가 평상시 유출부하에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 미국 농업유역에서 NO₃-N의 연간 유출부하량에 대한 기저유출 부하량의 비는 2/3라고 보고되었다 (Schilling and Zhang, 2004). 따라서 양배추 밭이 질소의 오염원으로 작용하는 시비기와 영농 초기에 적절한 질소 관리를 실시하여 기저유출을 통하여 유출되는 질소를 경감하거나 시비량이 많은 작물의 재배를 하천변에서 회피하는 방안을 마련해야 할 필요가 있을 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본 연구는 1년 동안 농촌유역의 소하천에 인접한 양배추 밭의 지하수 및 유역 지표수의 영양물질 (TN, NO₃-N, TP, PO₄-P) 농도를 비교함으로써 양배추밭에서의 영양물질의 거동 특성을 검토하였다. 여기서 얻은 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 밭 지하수의 TN 농도는 기비기 직후인 2006년 7월 중순과 2007년 3월 하순에 2번의 피크값 (각각, 3.8, 4.7 mg/L)을, 강수량이 적은 8월 하순 이후로 급감하여 1.5 mg/L 이하의 값을 보여, 시비조건 및 강수량이 지하수의 농도에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

2. 밭 지하수와 유역 지표수의 TN 농도는 시기별로 역전하는 현상을 보였다. 일반적으로 시비기와 영농초기에 해당되는 2006년 7월 중순부터 8월 중순까지, 2007년 2월 중순부터 5월 초순까지는 지하수의 농도가 지표수의 농도보다 높게 나타났고, 그 외의 시기에는 지하수의 농도가 지표수의 농도보다 낮게 나타났다.

3. TP 농도는 항상 밭 지하수가 지표수보다 낮게 나타나, 양배추 밭으로부터의 인의 기저유출은 매우 작은 것으로 판단된다.

4. 조사유역에서의 TN 및 TP의 연부하량은 각각 18.4 ka/ha와 1.28 kg/ha를 나타냈으며, 전체 부하량 중 기저유출 부하량이 차지하는 비율은 TN이 39 %로 TP의 7 %보다 5배 이상 크게 나타나, TN은 기저유출에 의하여 상당히 유출되는 것으로 생각된다.

5. 따라서, 양배추 밭이 질소의 오염원으로 작용하는 시비기와 영농초기에는 적절한 질소관리를 실시하여 기저유출을 통하여 하천으로 유출되는 질소를 경감하거나 시비량이 많은 밭작물의 재배를 하천변에서 회피하는 방안을 마련할 필요가 있다.

향후 하천변 논과 밭의 지하수에 대한 장기간의 수질 모니터링 결과를 비교함으로써 평상시 밭이 하천 수질에 미치는 영향이 보다 명확히 파악될 수 있으리라고 생각된다.

이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었습니다.

REFERENCES

1. Joo, J. H., Y. S. Jung, J. E. Yang, Y.S. Ok, S. E. Oh, K. Y. Yoo, S. C. Yang, 2007, Assessment of pollutant loads from alpine agricultural practices in Nakdong River basin, *Korean J. Environmental Agriculture* 26(3): 233-239 (in Korean).
2. Kim, J. S., S. J. Kim, K. Y. Oh, S. Y. Oh, J. S. Kim, and Y. H. Jeong, 2003, Outflow loads of total nitrogen, total phosphorus, and COD in mountain stream water, *J. KWRA*, 36(5): 787-797 (in Korean).
3. McCuen, R. H., 1998, *Hydrological Analysis and Design*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NU, USA, 479-482.
4. Ministry of Environment, 1997, *Standard Methods for Water Quality*, pp. 199-204, 208-209 (in Korean).
5. Munoz-Arboleda, F., R. Mylavarapub, C. Hutchinson and K. Portier, 2008, Nitrate-nitrogen concentrations in the perched ground water under seepage-irrigated potato cropping systems, *J. Environmental Quality* 37: 387-394.
6. Oh, K.Y., 2006, Characteristics of outflow concentrations and loads of pollutants from a non-point source dominated watershed, Ph.D. thesis, Chungbuk. National University, 37 (in Korean).
7. Oh, K.Y., J. S. Kim, S. Y. Oh, 2009, Behavior of nutrients in runoff water from a small rural watershed, *J. KSAE* 51(2): 51-57 (in Korean).
8. Patni, N. K., L. Masse, P. Y. Jui, 1998, Groundwater quality under conventional and no tillage: I. nitrate, electrical conductivity, and pH, *J. Environmental Quality* 27: 869-877.

9. Pekny V., J. Skorepa and J Vrba, 1989, Impact of nitrogen on groundwater quality: some examples from Czechoslovakia, *J. Contaminant Hydrology* 4(1): 51-67.
10. Sharpley, A. N., 1995, Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental impacts, *Ecological Engineering* 5: 261-279.
11. Schilling K., Y-K. Zhang, 2004, Baseflow contribution to nitrate-nitrogen export from a large agricultural watershed, USA, *J. Hydrology* 295: 306-313.