

호남지역의 시설원예재배지 지하수중 화학성분 변동요인 조사

이덕배* · 이경보* · 이경수*

Changes of Chemical Contents in Groundwater at Controlled Horticulture in Honam Area

Deog-Bae Lee*, Kyeong-Bo Lee* and Kyeong-Su Rhee*

Abstract

This study was carried out to investigate factors influencing on the groundwater quality at controlled horticulture in Honam area in 1995.

The deeper groundwater sampling, the lower concentrations of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ were observed. There was no difference in concentrations of SO_4^{2-} and Na^+ in the groundwater below 15m.

Contents of $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and PO_4^{3-} in groundwater were the highest at rice transplanting season(the late May) and that of SO_4^{2-} , Na^+ and Cl^- were the highest at dry season(the mid-February).

Continuous cultivation of horticultural crops showed higher concentration of $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, PO_4^{3-} , Na^+ and Cl^- in groundwater than rotational culture with rice.

The longer cultivation years with horticultural crops, the higher concentrations of $\text{NO}_3\text{-N}$, PO_4^{3-} , SO_4^{2-} and Cl^- were shown, and constitutional ratio of $\text{NO}_3\text{-N}$ among the anions increased gradually.

Nitrate-N level, exceeded 20mg/l, the critical level for agricultural usage, frequently at Yongjinmyeon Wanju and Janglockdong Kwangju, and PO_4^{3-} levels were higher at Seogtandong Iksan than the other places.

*호남 농업시험장(Honam Agriculture Experiment Station, RDA, Iksan, 570-080, Korea)

서론

자연상태에서 빗물의 1/3 이상은 토양을 통과하여 지하로 스며들며 이때 토양에 포함되어 있는 여러 성분이 빗물과 함께 용탈되나 하우스 같이 강우가 차단된 곳에서는 소량관수인 경우 하우스 내부 온도 상승과 함께 물이 아래에서 위로 상승하여 토양중 염류가 표토에 집적된다. 더욱이 빗물에 의한 토양양분 유실이 전혀 없는 하우스재배의 시비량 결정도 노지재배 기술을 그대로 도입하고 있고 작물경작 횟수도 많아 사용한 비료중 작물흡수량을 제외한 대부분이 토양에 남아 있게 되어 염류집적을 야기시키고 있다. 이같이 시설원예작물의 재배에 따른 염류과잉 장애가 나타나고 있어 시설재배 농가에서는 작물수확후 다량관수와 깊이갈이를 병행하여 과잉의 염류를 제거하고 있다. 그러나 이같은 방식의 염류제거는 지하수중 염류농도를 높이고, 이러한 지하수를 이용한 관행의 시설원예작물 재배는 경작지 토양중 염류농도를 높이고 다시 지하수질을 저하시키는 악순환을 야기시킨다. 더구나 농촌의 지하수는 농업용수로는 물론 식수, 생활용수로 쓰이고 있기에 지하수질 변동에 관련된 요인분석과 이를 바탕으로 한 지하수 오염경감 방향제시는 매우 중요하다고 생각된다.

본 연구는 만경강 유역과 영산강 상류지역의 시설원예재배지를 중심으로 지하수질을 조사하여 이와 관련된 요인을 분석하고 지하수 보전형 영농방법을 모색하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사시기 및 지점

만경강 유역과 영산강 상류지역에 있는 시설원예추산단지들 선정하여 경작년수, 지하수심 등을 청취 조사한 뒤 1995년 2월 10~12일, 5월 22~24일, 8월 29~31일에 익산시 석탄동(Fig. 1의 A) 4지점, 완주군 삼례읍 신금리(B)의 3지점, 완주군 봉동읍 낙평

리(C)의 3지점, 완주군 용진면 구억리(D)의 5지점, 전주시 산정동(E)의 7지점, 담양군 봉산면(F) 6지점, 광주시 장록동(G) 5지점, 광주시 선암동(H) 5지점, 장성군 남면(I) 4지점에서 시설재배지 지하수를 모터작동 1분후 채취하였다.

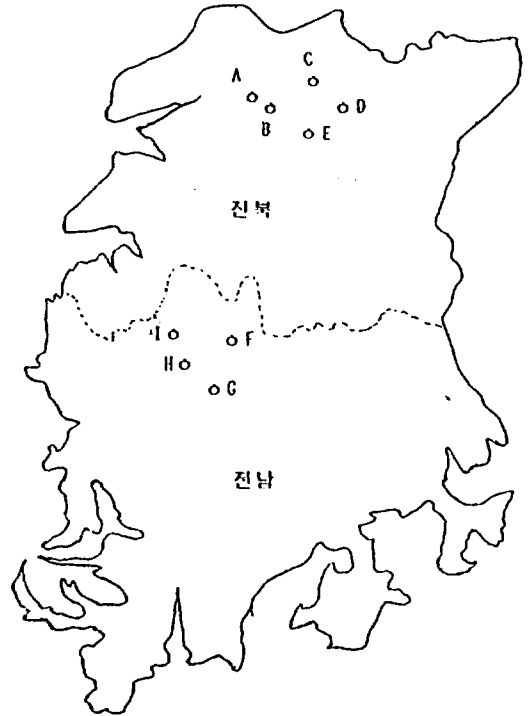


Fig. 1. Sampling sites of the groundwater.

분석방법

폴리에틸렌 용기에 채수된 지하수는 실험실로 운반 즉시 분석하였으며 산성우 등 조사분석법¹⁾에 따라 여과액(여과지 No. 6)을 NH₄-N은 Indophenol법, NO₃-N은 혼합산성시액법, PO₄³⁻는 염화제1주석 환원법, Cl⁻은 티오시안산제2수은법, SO₄²⁻는 BaCl₂법으로 분석하였으며 Na⁺는 Perkin elmer 2380원자 흡광광도계를 이용하여 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 채수 깊이별 성분함량 변화

표 1은 채수깊이별 성분함량 변화를 나타낸 것인데 암모니아성 질소와 질산성 질소는 지하수심이 깊어질수록 농도가 낮아졌다. 이는 작토층의 용탈수가 지하로 깊이 스며드는 과정에서 토양의 흡착작용 등을 거치게 된 결과로 생각된다.

인산염의 경우 지하수 깊이별 농도차는 크지 않았다. 그 이유는 인산이 물에 쉽게 용해되지 않고, Fe, Al 등과의 흡착이 쉬어 용탈이 어렵기 때문으로 생각된다.

황산염은 천층 지하수에서 높고 10m이하에서는 큰 차이가 없었다. 산성강우, 비료의 부성분 등으로 농경지에 집적되는 황산염은 산소가 충분한 조건에서는 이동성이 낮아 그대로 존재하지만 산소가 단절된 상내에서는 황화수소로 환원되어 가스형태로 휘산되는데, 토심이 깊어질수록 산소함량은 낮아지게 되어 황산염은 황화수소로 환원되어 휘산하다가 산소를 만나 황산염으로 산화 집적되기에 지하수가 깊어질수록 황산염 함량이 낮았던 것으로 보인다. 관정과 같은 4m이하의 천층 지하수층의 황산염 농

도는 농업용수 기준을 초과했으나 만경강 유역 토양층에는 철 함량이 200~800mg/kg(평균 510mg/kg)으로 매우 높아²⁾ 난용성의 FeS 등을 형성하여 벼 재배시 황화수소로 인한 장애는 나타나지 않고 있는 것으로 보인다.

2. 조사시기별 지하수질 변이

표 2는 시기별 지하수질 변이를 나타낸 것인데 암모니아성 질소와 질산성 질소 농도는 5월이 가장 높았고, 다음으로는 장마기, 갈수기 순이었고, 인 농도는 갈수기와 벼이앙기가 비슷하였으나 장마기에 절반정도 낮아졌으며, SO₄²⁻, Na⁺, Cl⁻은 벼이앙기 농도가 가장 낮았다.

시설원예작물은 9~10월경에 이식하여 이듬해 1~2월 수확하고 2~3월 이식하여 5~6월 수확한 뒤 여름철 고온기 휴작한 다음 다시 9~10월 정식하는 형태의 재배력을 가지고 있다.

본 조사에서 지하수를 채취하였던 갈수기인 2월 10일경은 시설원예작물 정식후 10~20일 이내였기에 정식된 다량의 퇴비와 화학비료가 사용되었을

Table 1. Chemical contents by depth of the groundwater

Depth of groundwater (m)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Cl ⁻
4	0.6	9.2	0.2	123.1	16.5	52.9
10-15	0.03	4.0	0.2	21.0	10.4	22.6
20	0.04	3.1	0.4	37.8	10.5	13.9
70	> 0.01	1.2	0.2	21.4	11.4	74.2
Critical content for agricultural usage	-	20	-	50	250	250

Table 2. Seasonal variation of chemical contents in the groundwater

Sampling time	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Cl ⁻
Dry season(mid-Feb.)	0.3	6.2	0.9	33.4	19.7	40.8
Rice transplanting season(late-May)	0.5	9.6	1.0	24.7	12.5	27.0
Rainy season(late-Aug.)	0.1	7.3	0.5	29.2	23.5	29.4

것이며 이후 토양중 비료성분은 다량관수로 서서히 침투가 진행되어 지하수로 이동되고 더욱이 4~5월 사이의 벼 직파기 및 이앙시기를 맞아 시설재배지 인근 논 토양에 일시에 다량의 비료가 농경지에 투입된 결과 5월 20일경의 질소, 인 농도가 높았던 것으로 생각되며 이후 침투수 중 비료성분 농도가 서서히 낮아지면서 장마기인 8월 하순중 비료성분 함량이 낮아진 것으로 생각된다. SO_4^{2-} 와 Cl^- 은 갈수기 농도가 가장 높았고 다음으로 장마기, 벼이앙기 순이었다.

3. 영농형태별 함량차이

시설하우스에 원예작물만을 연작한 경우는 원예작물과 수도를 유회재배하는 것보다 지하수중 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, Na^+ , Cl^- 함량이 높았다(Table 3). 이같은 원인은 첫째, 시비량이 많은 작물은 야채류가 가장 많고 다음으로 과수류, 보통작물, 벼 순으로³⁾ 원예작물의 시비량이 수도에 비해 1.5~2배 이상 많고, 둘째, 벼의 양분 흡수량도 원예작물보다 많아 벼 재배시 집적되는 염류량도 적고, 셋째, 시설원예지에 유회재배되는 벼는 염류제거를 목적으로하여 보통재배되는 벼보다 시비량이 적기 때문일 것이다.

또한 원예작물 연작은 토양의 산화로 NH_4^+ 이 NO_3^- 로의 전환이 용이해지고, 음이온 치환용량이 낮은 토양입자에 NO_3^- 의 흡착이 낮아 용탈되기 쉬우나, 벼 윤작은 NH_4^+ 이 NO_3^- 로의 전환량이 적고, NH_4^+ 는 토양입자에 흡착되고 탈질작용에 의해 대기중으로 휘산되기⁴⁾ 때문에 지하수중 NH_4^+ , NO_3^- 함량이 낮았던 것으로 생각된다.

지하수중 SO_4^{2-} 의 농도는 벼 윤작지역이 오히려 원예작물 연작지보다 높았는데 이는 벼 재배시 SO_4^{2-} 농도가 높은 빗물이나 하천수가 관개수로 다량 유입되어지기 때문으로 생각되어진다.

4. 경작년수별 함량 차이

경작년수가 길어질수록 질산성 질소, 인산염, Na^+ , Cl^- 농도가 높아졌다(Table 4). 이는 원예작물

경작년수가 길어질수록 작물별 시비량과 양분흡수량의 차이로 토양중 양분 집적량이 매년 일정량씩 증가하고 그중 일부가 지하로 용탈되어 지하수중 염류농도를 높인 것으로 생각된다, 더욱이 질소 시비량의 30%가 침투에 의해 용탈된다고 볼때 두류, 서류작물 재배지 질소 용탈량은 6~9 kg/ha, 맥류는 15~45kg/ha, 야채류는 60~180kg/ha가 용탈되기⁵⁾ 때문에 원예작물의 장기적인 연작재배는 토양이나 수질에 대해 악영향을 미칠 수 있다.

Table 4에서 시설원예작물 경작년수가 길어질수록 음이온중 PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^- 구성비 보다 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 차지하는 비율이 증가되고 있는 것으로 보아 시설원예재배지는 질소를 중심으로 시비량이 증가되고 있고 그 결과 지하수의 음이온중 차지하는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 비율이 높아진 것으로 생각된다. 한편 음이온의 토양중 흡착순위는 $\text{SiO}_4^{4-} > \text{PO}_4^{3-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- \approx \text{Cl}^-$ 로서⁷⁾ NO_3^- 과 Cl^- 은 토양에 대한 흡착력이 비슷하나, NO_3^- 은 NH_4^+ 이 토양에 쉽게 흡착한뒤 질화작용에 의해 NO_3^- 으로 전환된 뒤 지하수로 용탈되기 때문에 시간이 지날수록 지하수중 NO_3^- 구성비가 높아진 것으로 생각된다. 결과적으로 과다한 비료를 살포하는 시설원예작물의 연작은 곧바로 질산성 질소에 의한 지하수 오염을 야기시킨다고 하겠다.

5. 지역간 차이

조사지역별 지하수중 PO_4^{3-} 함량은 만경강 중·하류 인근에 위치한 익산시 석탄동 지역이 타지역에 비해 월등히 높았는데, 토양중 인산은 철이나 알루미늄과 결합하여 고정되기 쉽고 용출되는 일이 적어 토양용액농도를 높이지 않는 점으로 보아 이 지역 지하수중 PO_4^{3-} 농도에 대해 좀 더 연구되어야겠다고 생각된다, 질산성 질소함량은 완주군 용진면 지역이 매우 높았는데 이같은 원인은 이 지역이 상추와 호박 주산지로서 농경지에 다량의 가축분비료가 사용되고 있고, 여기에

Table 3. Chemical contents by farming type in the groundwater

(mg/l)

Farming type	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Cl ⁻
Pumpkin+Cucumber	1.0	11.4	0.2	97.8	17.0	53.8
Watermelon+Cucumber	0.2	11.5	0.1	61.8	23.8	67.9
Mean	0.6	11.5	0.2	79.8	20.4	60.9
Pumpkin+Paddy rice	0.1	7.2	0.2	148.5	16.0	52.0
Watermelon+Paddy rice	0.3	8.5	0.3	66.2	19.7	49.0
Mean	0.2	8.5	0.3	107.4	17.9	50.5

Table 4. Chemical contents by farming year in the groundwater

(Wanju Yongjin, mg/l)

Farming year	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Cl ⁻	ΣAnions
5 years <	> 0.1	15.7 (19.7)	0.06 (> 0.1)	38.5 (48.4)	9.4	25.2 (31.6)	79.5
10~15 years	> 0.1	18.0 (21.6)	0.11 (0.1)	41.0 (49.1)	10.6	23.4 (28.0)	83.5
16~20 years	> 0.1	29.5 (26.7)	0.14 (0.1)	45.0 (40.7)	10.9	35.7 (32.3)	110.3

()=(Anion / ΣAnions)×100

Table 5. Local differences of chemical contents in the groundwater

(mg/l)

Local name	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Cl ⁻
Iksan Seogtandong	0.9	1.8	5.5	29.8(2/21)	85.1	68.4
Wanju Samryeup	0.03	8.8	0.1	24.1	5.9	17.1
Wanju Pongdongeup	0.07	2.8	0.2	18.5	4.0	9.5
Wanju Yongjinmyeon	0.03	24.0(10/15)	0.2	42.8(5/15)	9.4	34.7
Chonju Sanjeongdong	0.6	3.6	0.3	28.6(7/24)	9.8	21.1
Tamyang Bongsanmyeon	0.07	7.2	0.2	54.3(12/27)	20.7	55.4
Kwangju Changlockdong	0.2	12.4(3/9)	0.2	25.4	12.6	30.6
Kwangju Seonamdong	0.3	4.3	0.2	26.0	10.6	31.2
Changsung Nammyeon	0.2	4.3	0.4	12.5	19.0	23.8

()=Times (Above critical concentration for agricultural usage/Monitoring)

다 화학비료를 표준량 이상 사용하고 있는 결과 비료 투입량이 많으며, 대부분 농경지가 배수가 양호한 남계통이어서 투입된 질소가 NO_3^- 로 산화된 뒤 용탈되기 쉬운 토양특성을 갖고 있기 때문으로 생각된다. 여기에서 상대적으로 적은 논면적 비율이 지하수중 NO_3^- 함량을 높이는 원인⁶⁾이 되었을 것이다. 그 결과 완주군 용진면 지역의 지하수는 NO_3^- 를 기준으로 볼때 음용수는 물론 농업용수로도 부적합한 것으로 나타나 이 지역 지하수질을 개선하기 위해서는 지역농민 전체가 가축분뇨와 화학비료 사용량을 줄이거나 벼 윤작 재배를 하는 등의 환경보전형 농업 실천이 필요하다고 하겠다.

벼재배시 관개수중 질소농도가 5mg/l 이상에서는 연간 72kg/ha 이상의 질소가 유입되어 가수분해성 질소가 축적되며⁸⁾ 질소농도 8~10mg/l의 물을 관개하면 유입질소량은 약 150kg/ha 되어⁹⁾ 논토양으로부터 오히려 80~90kg/ha의 질소가 방출되기¹⁰⁾ 때문에 관행 시비 체계하에서 안전한 관개수중 질소농도는 5mg/l 이하가 바람직하다¹¹⁾고 한다. 이같은 결과로 볼때 시설재배지 지하수중 질소함량이 높다면 비료사용량을 줄여 주는 것이 타당하다고 하나 영양생장만을 추구하는 원예작물에서 시비량 감소는 쉽지 않은 일이라 생각된다.

SO_4^{2-} 농도는 완주군 용진면, 담양군 봉산면 지역이 타지역보다 높았는데, 이의 원인은 염의 형태로 사용된 비료의 부성분으로서 유산근의 토양중 유입량의 차이와 이들 지역의 토양중 천연함량 등이 원인이라고 생각된다.

Na^+ 와 Cl^- 은 익산시 석탄동 지역이 높았는데 이는 만조시 바닷물이 인근까지 도달하기 때문으로 생각된다.

결과 요약

만경강유역과 영산강 상류지역에 있는 시설원에 주산단지에서 사용하는 지하수 수질을 지하수심, 조사시기, 농업의 형태, 경작연수별로 검토한 결과는

다음과 같다.

- 가. 채수수심이 깊어질수록 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 낮아졌으며 SO_4^{2-} 와 Na^+ 는 10~15m 이하에서는 큰 차이가 없었다.
- 나. 지하수중 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, PO_4^{3-} 는 벼 이앙기인 5월 하순에 가장 높았고 SO_4^{2-} , Na^+ , Cl^- 은 갈수기인 2월 중순이 가장 높았다.
- 다. 시설원에 연작에 비해 시설원예와 벼의 윤환재배로 지하수중 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, PO_4^{3-} , Na^+ , Cl^- 함량이 낮아졌으나 SO_4^{2-} 는 높아졌다.
- 라. 완주군 용진면과 광주시 장록동은 지하수중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 농업용수기준을 초과하였고, 익산시 석탄동은 지하수중 PO_4^{3-} , Na^+ , Cl^- 함량이 타지역보다 매우 높았다.

參考文獻

1. 公害研究對策センター(1990): 酸性雨 土壤・植生への影響, 日環境廳酸性雨土壤植生影響研究會集, p. 114-121.
2. 權泰午(1985): 만경강 유역 논토양의 미량요소 진단과 아연 및 철이 수도생육에 미치는 영향, 원광대학교 박사학위 논문.
3. 臼田誠ほか(1990): 地下水の 酸態窒素濃度の年間の変動, 日農醫雜誌 39 : 726-727.
4. 小川吉雄(1994): 施肥と窒素負荷量-地下水の硝酸汚染と農薬とのかわり- 12(8) : 30-45.
5. 農山漁村文化協會(1991): 農業技術大系III 土壤と活用IV 14-15.
6. 農水省資源課 農村環境保存室(1991): 農業用地地下水の水質調査結果の概要, (日本農業技術大系土壤と活用: 16의3~4)
7. Bolt, G.H.(1976): Adsorption of anions by soils. In soil chemistry. A Basic Elements, G. H. Bolt and M. G. M. Bruggenwert(eds.) Elsevier Scientific, Amsterdam, 91-95.
8. 農林水産技術會議事務局(1974): 水質汚濁が農作物被害に及ぶ影響と解析に關する研究, 研究成果, 71
9. 埼玉縣農業試驗場(1988): 下水處理の農業利用に關する調査報告書, I. 總括編, II. 年次別成績編

10. 徳永美治, 本莊吉男, 淺野次朗(1972): 窒素汚濁水田における水稻栽培試験土壤交換による被害發現機構の解明-, 東海近畿農試年報 24, 151-

180.

11. 日高伸(1993): 水の多重利用と灌漑水質, 日土肥誌, 64(4), 465-473.