

우리나라 중부지방 시설원예지 토양 및 지하수 환경

Groundwater and Soil Environment of Plastic Film House Fields around Middle Korea

김진호* · 류종수(농과원) · 권순국(서울대)
Kim, Jin Ho · Ryu, Jong Soo · Kwun, Soon Kuk

Abstract

This Study was carried out to know the soil properties and the quality of shallow groundwater in the plastic film house fields around mid-Korea. This study was conducted at 11 sites in Suweon, Pyungtaek, Yongin, and Chunchen on May, June, July and August in 1999. The the average concentration of nitrate-nitrogen was 19.1 mg/L, it reached almost to the limiting level, 20 mg/L. Moreover about 36.4% of survey sites exceeded limiting level to agricultural groundwater quality. And Sulfur concentrations also at some sites exceeded to agricultural groundwater quality limit level (50 mg/L), which could make damage to the crop. Nitrate-nitrogen, which is one of the most important factors in the groundwater quality. It has highly positive correlation with any other ion in groundwater. This result showed that groundwater quality management practices should be taken for the agricultural production as well as for environment at the plastic film house areas.

I. 서론

우리나라는 최근 급격한 산업의 발달과 더불어 소비 농산물의 고급화를 추구하게 되었다. 이에 원예작물의 시설재배가 급진적으로 보급되었는데, 우리나라의 시설원예는 1951년경 김해지방에 연화비닐하우스로 시작된 이래 1954년 폴리에틸렌의 국내생산과 함께 급속도로 성장하여 1997년에는 그 면적이 47,264ha에 달했다. 이러한 시설재배면적의 급증과 더불어 농가소득이 높은 시기에 생산하기 위한 작형의 다양화로, 소비자들은 언제나 신선한 농산물을 구할 수 있게 되었으며, 또한 농가소득증대에 기여한 바가 크다. 그러나 시설원예작물의 생산성 증대를 위한 각종 비료와 가축분 퇴비에 의한 무분별한 시용량 증가 및 연작은 토양내 염류집적을 초래하였고, 이러한 염류의 용탈은 지하수의 오염을 가속화시키고 있는 실정이다. 이는 토양내 축적된 염류의 성분중 음전하를 띤 성분은 토양내 잔류성이 적고, 이동성이 크므로 지하수오염으로 직결된다. 이들 성분 중 일부는 영양염류로서 비점오염원의 잠재성을 지니게 된다.

이번 조사연구는 우리나라 중부지역에 위치한 시설원예지역중 연중 멀칭상태를 유지하면서 주 작목으로 상추를 재배하고 있는 11개 지점의 토양을 대상으로 하였다. 이들 시설원예지 토양의 물리, 화학성분과 시기별 지하수의 화학성분변화 조사를 통해 농산물의 안전성 확보와 농업활동에 의한 환경에 미치는 영향을 최소화하고, 최근 급변하는 환경정책에 농업이 좀더 적극적으로 대응하기 위한 기초자료를 제공하고자 실시하였다

II. 연구의 방법

조사대상지점은 우리나라 중부지방에 위치한 수원(S), 용인(Y), 화성(H), 평택(P), 춘천(C)에 위치한 대표적인 시설원예지로서 연중 멀칭상태를 유지하고 있는 11개 지점을 대상으로 하였으며, 이들 조사대상 지점의 주작목은 상추이었다. 이들 조사대상지점에서 지하수는 6월부터 9월까지, 월 1회 조사하였으며, 시설재배지의 토양시료는 6월에 1회 시료를 채취하여, 토성 및 토양의 화학성분을 조사하였다.

지하수 수질시료는 PE 용기(2L)에 채수하여, 시료의 EC 및 pH를 현장에서 측정한 후 Icebag이 있는 Ice Box에 넣어 실험실로 운반, 수질오염공정시험방법과 Standard Method에 준하여 분석을 실시하였다. COD는 산화제로 $K_2Cr_2O_7$ 을 사용하였으며, NH_3-N 은 Indophenol blue 법, NO_3-N 은 자외선흡광광도법을, PO_4-P 는 흡광광도법 중 염화제일주석 환원법, Cl은 질산은 적정법, SO_4^{2-} 는 $BaCl_2$ 에 의한 비탁법을 이용하여 분석하였다. 또한 양이온은 6번여지로 여과 후 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry, GBC INTERGRA XMP)를 이용하여 측정하였으며, Zn과 Fe는 질산에 의한 분해방법으로 전처리 한 후 ICP를 이용하여 분석하였다. 토양시료는 토양오염공정시험방법에 준하여 샘플링한 후 토양의 화학성 및 토성은 토양 및 식물체분석법에, 토양중의 중금속은 토양오염공정시험방법에 준하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

본 연구는 우리나라 중부지방의 시설원예지중에서 주작목을 상추로 하고 있으며, 일년내내 멀칭상태를 유지하고 있는 수원, 평택, 용인, 춘천의 11개 지점을 대상하여, 토양의 물리성, 화학성 및 지하수의 시기별 화학적 변동특성을 규명하고자 99년 6월, 7월, 8월, 9월에 걸쳐 조사를 실시한 결과는 다음과 같다.

표. 1은 연구대상시설재배지의 깊이별 토양의 물리적 특성을 나타낸 것이다. 연구대상 시설재배지 토양의 물리성은 대부분이 Sand의 비율이 높은 Sandy Loam이나 Loam으로 투수성이 양호할 것으로 판단되나, P2나 S1에서는 Silt의 비율이 높은 Silt Loam으로 투수성 및 통기성이 상대적으로 낮은 것으로 판단된다.

표. 2는 연구대상 토양의 화학성을 깊이별로 나타낸 것이다. 토양의 화학성은 EC의 경우 표토의 대부분이 기준치(2.0dS/m)에 도달하거나, 초과하는 경향이었고, 심토의 경우는 기준치 이하로 조사되었음. 또한 O.M의 경우 적정수준 2~3%보다 조사대상지점의 대부분에서 상회하였고, 특히 심토의 일부 조사지점에서 이 수준을 넘는 곳이 있었다.

표 3은 지하수중의 염류농도의 지표인 EC와 NO_3-N 의 농도를 나타낸 것이다. 조사대상지역의 수질특성 중 시설재배지 지하수의 가장 중요한 염류지표인 EC는 연평균 0.48dS/m로 농업용수로서 작물에 미치는 영향은 없는 것으로 판단되나, 수질오염지표인 질산성질소의 경우 19.1mg/L로 농업용수 수질기준인 20mg/L에 근접한 수준을 나타내었다. 특히 조사대상지점의 36.4%가 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다.

표. 3. The change of EC and COD_{Cr} in the groundwater of the plastic film house areas by months
(Unit : mg/L)

	EC				NO ₃ -N			
	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.
H	268	284	309	297	3.41	4.67	5.27	5.05
P1	986	721	756	705	55.73	31.73	41.16	31.75
P2	794	877	941	958	41.65	47.60	51.02	54.99
S1	346	491	431	498	0.08	1.00	0.77	1.14
S2	344	307	287	274	0.05	0.13	0.17	0.36
C1	291	322	253	326	16.47	18.82	12.49	18.62
C2	628	588	728	759	36.12	34.13	47.49	55.46
Y1	417	476	492	437	20.25	26.64	26.66	20.19
Y2	313	321	392	370	11.97	11.31	19.92	16.09
Y3	324	340	423	470	2.69	2.17	3.39	9.09
Y4	343	343	345	345	12.23	13.75	12.64	14.84
Ave.	459	461	487	494	18.24	17.45	20.09	20.69

표. 4. Correlation coefficients between the ions of groundwater in the surveyed months.

	EC	COD	NH ₃ -N	NO ₃ -N	PO ₃ -P	SO ₄ ²⁻	Cl	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
pH	-0.2412	-0.1394	-0.0784	-0.3146 [*]	-0.0406	-0.3002 [*]	-0.3094 [*]	-0.1195	-0.1309	-0.2409	-0.2388
EC		0.1259	0.3540 ^{**}	0.8944 ^{**}	0.3310 [*]	0.8421 ^{**}	0.8744 ^{**}	0.9252 ^{**}	0.3305 [*]	0.9728 ^{**}	0.7615 ^{**}
COD			0.0628	0.1054	0.0091	0.1007	0.0387	0.1094	0.1284	0.1097	0.0521
NH ₃ -N				0.3018 [*]	0.9758 ^{**}	0.5008 ^{**}	0.2115	0.3556 ^{**}	0.8709 ^{**}	0.2655	-0.0802
NO ₃ -N					0.3052 [*]	0.7252 ^{**}	0.7019 ^{**}	0.8254 ^{**}	0.3160 [*]	0.8497 ^{**}	0.6249 ^{**}
PO ₄ -P						0.4921 ^{**}	0.1856	0.3265 ^{**}	0.8522 ^{**}	0.2444	-0.0883
SO ₄ ²⁻							0.7480 ^{**}	0.7100 ^{**}	0.5780 ^{**}	0.7747 ^{**}	0.6447 ^{**}
Cl								0.7190 ^{**}	0.1889	0.8715 ^{**}	0.8109 ^{**}
Ca ²⁺									0.2691	0.8722 ^{**}	0.5163 ^{**}
K ⁺										0.2150	-0.0118
Mg ²⁺											0.8142 ^{**}
Na ⁺											

*. **: significant at 5% and 1% level, respectively

표. 4는 연구대상 시설재배지의 지하수층의 오염물질 및 이온간의 상관관계를 나타낸 것이다. 지하수층의 이온의 양과 영양염류의 양을 간접적으로 나타내는 전기전도도인 EC는 양이온인 경우 Mg²⁺ > Ca²⁺ > Na⁺ > K⁺ 순으로 정의상관이 있었으며, 특히 2가 양이온인 Mg²⁺와 Ca²⁺간에는 고도의 정의상관을 보이고 있었다. 또한 EC와 음이온간에는 NO₃⁻ > Cl⁻ > SO₄²⁻ > PO₄²⁻의 순으로 상관을 보이고 있었다. 또한 지하수의 오염지표인 NO₃-N의 경우에는 COD를 제외한 모든 ion들과 상관을 보이고 있었다. 특히 SO₄²⁻, Cl⁻, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺와는 고도의 정의상관을 보여주고 있다. 이는 NO₃-N는 EC와 함께 지하수오염의 중요한 지표중의 하나임을 보여주고 있다.

IV. 요약 및 결론

지하수는 지표수와는 달리 일단 오염이 되면 오염물질이 지하수맥을 따라 이동하며, 지하 대수층 내에서 장기간 잔존하므로 지하수 오염의 정도를 추정하거나 인위적으로 정화가 어렵다.

ⓧ. 1. Physical soil characteristics of the plastic film house soils investigated by depth.

Name of Site	Soil	Sand	Silt (%)	Clay	TEX.
	Depth				
H	Surface	61.3	28.3	10.4	SL
	Subsoil	57.3	29	13.7	SL
P1	Surface	52.9	34.6	12.5	SL
	Subsoil	44.1	41.7	14.2	L
P2	Surface	11.9	67.5	20.6	SiL
	Subsoil	9.9	67.1	23	SiL
S1	Surface	17.2	63.7	19.1	SiL
	Subsoil	15.3	63.3	21.4	SiL
S2	Surface	51.8	37.6	10.6	L
	Subsoil	68.5	22.2	9.3	SL
C1	Surface	57	32.3	10.7	SL
	Subsoil	50.5	37.1	12.4	L
C2	Surface	61.4	31.5	7.1	SL
	Subsoil	69.1	22.5	8.4	SL
Y1	Surface	59.6	30.0	10.4	SL
	Subsoil	61.8	28.9	9.3	SL
Y2	Surface	45.3	43.2	11.5	L
	Subsoil	43.7	43.8	12.5	L
Y3	Surface	58.9	30.9	10.2	SL
	Subsoil	60.9	28.3	10.8	SL
Y4	Surface	52.8	38.8	8.4	SL
	Subsoil	56	32.9	11.1	SL

ⓧ. 2. The Chemical properties of the plastic film house soils investigated.

Site	Soil Depth	pH (1:5)	EC (dS/m)	O.M (%)	PO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃	Cl
					---- (mg/kg) ----			
H	Surface	5.73	2.0	2.67	223.5	266.5	651.2	88.3
	Subsoil	5.96	1.63	1.19	155.4	258.6	528.4	73.4
P1	Surface	5.56	0.93	2.05	104.1	29.0	107.5	24.9
	Subsoil	4.56	0.46	1.02	27.8	132.1	94.0	11.6
P2	Surface	6.14	0.46	1.89	17.21	71.5	114.2	23.9
	Subsoil	4.6	0.46	1.65	nd	88.7	111.2	24.5
S1	Surface	4.41	3.50	4.05	190.8	509.8	977.7	305.2
	Subsoil	6.16	2.94	3.02	144.1	351.7	892.4	214.9
S2	Surface	5.82	0.71	3.53	296.3	101.0	162.5	25.2
	Subsoil	5.39	0.93	0.58	190.4	155.7	239.8	46.7
C1	Surface	5.16	1.03	2.80	189.0	69.6	294.0	44.7
	Subsoil	4.75	0.88	1.31	138.6	83.3	259.9	66.7
C2	Surface	5.94	0.27	4.09	72.4	14.4	20.7	7.2
	Subsoil	5.95	0.61	1.76	41.5	29.9	12.1	8.8
Y1	Surface	6.16	0.61	2.68	175.9	123.3	183.2	35.6
	Subsoil	5.9	0.81	1.58	0.0	155.2	193.7	40.2
Y2	Surface	5.43	1.52	5.06	345.3	202.1	426.7	44.3
	Subsoil	4.83	1.43	3.41	247.1	230.0	407.7	50.2
Y3	Surface	6.04	4.06	4.73	469.6	353.7	1279.4	124.3
	Subsoil	4.42	2.30	2.21	237.4	235.7	869.6	66.7
Y4	Surface	6.32	1.85	5.07	312.7	200.2	562.8	77.3
	Subsoil	6.16	0.92	2.61	195.4	155.4	264.8	76.1

이러한 지하수중의 EC와 NO₃-N은 농업용수의 오염의 중요한 척도가 될 수 있다. 이는 이들 EC와 NO₃-N의 농도는 다른 이온들과의 정의 상관관계를 나타내고 있기 때문이다.

농업지역내에서의 지하수오염을 방지하기 위해서는 점원 배출원에서는 오염물질의 지하유출을 차단하고, 농경지에서는 토양검정 등을 통하여 작물별 최적 시비량으로 영농을 하며, 특히 시설재배지와 같이 염류집적의 우려가 높은 것에서는 정밀농업 및 제염을 통해 지하로의 오염물질 유출을 차단한다면 지하수계 오염방지의 첩경이 될 것이다.

참고문헌

1. 김진호, 1999, 경기지방 농업용 지하수질 특성요인 분석, 한국물환경학회지
2. 김복영, 1998, 수질오염과 농업, 한국환경농학회지, 7(2): pp.153-169
3. 남기웅, 1999, 시설재배지 토양병해충 발생과 생물학적 방제, 시설원예의 환경관리개선과 생리장해경감대책에 관한 심포지움, 영남농업시험장
4. 농촌진흥청, 1997, 시설재배지 연작장해 대응기술, 표준영농교본: p.88
5. 박동금, 1999, 시설과채류연작장해 경감을 위한 환경친화형 작부체계 개발, 시설원예의 환경관리개선과 생리장해경감대책에 관한 심포지움, 영남농업시험장 부산원예시험장
6. 박후원, 1998, 상하수도기술사해설, 예문사
7. 신성의, 1998, 환경과학공학대사전, 동화기술
8. 신찬기, 박선구, 유덕희, 유재근, 허인애, 홍기협, 이희정, 이충렬, 권우석, 김고운, 박제철, 1997, 수질환경관리기준 강화에 관한 연구 - COD를 중심으로-, 국립환경연구원
9. 채소중 질산염에 관한 연구, 식의약청연보 제1권: pp.50-56
10. 채소질산염 규제 및 안전성 연구, 식의약청연보 제2권: pp. 617
11. 환경부, 2000, 수질오염공정시험방법
12. 환경부, 1997, 토양오염공정시험방법
13. 환경부, 1997, 지하수의수질보전등에관한규칙 별표3
14. 戸田光晴, 1969, 窒素過剰과 農作物被害, 農業과 公害, 지구출판주식회사: pp.173-214
15. APHA-AWWA-WPCF, 1992, Standard Methods for the examination of water and wastewater. 18th, Washington. DC
16. Chandra A. Madramootoo, William R. Johnson and Lyman S. Willardson, 1997, Management of Agricultural Drainage Water Quality, FAO/UN, Water Reports 13
17. FAO, 1997, Water Quality for Agriculture, FAO/UN29 Rev.1:174