

경남지역 농업용 지하수의 수질특성

이성태 · 김은석 · 송원두 · 김진호¹ · 김민경² · 이영한*

경상남도농업기술원, ¹농촌진흥청, ²국립농업과학원

Characteristics in Chemical Properties of Agricultural Groundwater in Gyeongnam Province

Seong-Tae Lee, Eun-Seok Kim, Won-Doo Song, Jin-Ho Kim¹, Min-Kyeong Kim², and Young-Han Lee*

Gyeongsangnamdo Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea

¹Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

²Division of Climate Change & Agro-Ecology, NAAS, RDA, Suwon 441-707, Korea

This survey was conducted to obtain basic data of the quality of groundwater for agriculture in Gyeongnam province. Groundwater samples from paddy 15, upland 15, and plastic film house 30 sites were collected on April, July, and October in every two years from 2002 to 2008. According to the result of water quality analysis, groundwater quality was suitable for irrigation purpose averagely. The NO₃-N contents by land use were in the order of plastic film house > upland > paddy field and its contents were 6.53, 4.80, and 3.68 mg L⁻¹, respectively. In annual changes of water quality, pH was no significant change in paddy, upland, and plastic film house by 6.6~6.9. EC was increased in upland and plastic film house in 2008 and majors factors were NO₃-N and Cl⁻. In upland and plastic film house, NO₃-N contents were 4.72 and 6.52 mg L⁻¹ in 2002, respectively, whereas they were 5.63 and 8.70 mg L⁻¹ in 2008, respectively. Of the investigated sites, NO₃-N was exceeded water quality standards for agriculture by 3.3~15.0% in plastic film house and Cl⁻ was exceeded water quality standards for agriculture by 2.2% in upland of 2004. The NO₃-N contents were decreased with well depth and their contents were 5.38 mg L⁻¹ from 3~10 m, 4.87 mg L⁻¹ from 10~20 m, and 2.58 mg L⁻¹ from above 30 m. The NO₃-N contents by soil texture were highest in sandy loam by 5.73 mg L⁻¹ and lowest in clay loam by 4.13 mg L⁻¹. The NO₃-N contents by crops category were in order of fruit vegetables > leaf vegetables > rice > fruits > beans, contents of fruit vegetables and leaf vegetables were 5.81 and 5.30 mg L⁻¹, respectively.

Key words: Groundwater, Soil texture, Well depth

서 언

지하수는 지표수의 자원의 양적, 질적부족이 심화되고 있는 상황에서 중요한 대체 수자원으로 이용되고 있다 (Baeg et al., 1996). 지하수는 토양체 (soil body)를 통과하여 고인물로서 수질특성이 지표수와 다르며, 각종 광물질이 함유되어 있고, 토양의 여과 기능과 지질학적 특성에 따라 다양하게 나타난다. 지하수의 자유수면 높이는 지상의 수문 상태에 따라 좌우되며, 지표로부터 유입되는 삼투수에 의해 항상 오염에 노출되어 있으나 수질의 변화 폭은 적은 편이다. 지하수의 경우 지표수와는 달리 오염물질의 확산 속도가 매우 느리나 한번 오염되면 회복되는데 아주 긴 시간이 요구된다 (Jung et al., 1997; Kim, 1988).

지하수는 토양의 아래에 위치하므로 지하수의 수질은 지하수층 위에 존재하는 토양의 특성과 오염정도에 크게 영향을 받을 수 있으며, 농업에 의한 지하수의 오염은 지하수 깊이 (Lee et al., 1996), 영농형태 (Chung et al., 1997), 오염원 종류 (Hyun et al., 1994) 등에 영향을 받는다. 농업활동에 의해 과다하게 투입된 비료성분 중 작물에 흡수가 되지 않은 성분들은 대부분 영양물질이며 비점원 오염물질로서 작용하여 지하수 오염의 잠재성을 갖게 되고, 지하수나 지표수에 관계없이 물을 오염시키는 가장 큰 오염원이 된다 (Bergstrom, 1987; Jung et al., 1997). 우리나라 농업지대 지하수 오염에 관해서는 주로 화학비료 및 유기농자재와 같은 질소원의 투입이 많고 연중 집약재배가 이루어 지는 시설재배지 인근의 지하수 중 NO₃-N 오염에 관해 많은 연구가 진행되어 왔다 (Jung et al., 1997; Kim et al., 1999; Kim et al., 2008; Ko et al., 2005; Lee et al., 2005).

본 연구는 논, 밭, 시설재배지에 대한 농업용 지하수의

수질변동을 장기간 모니터링하여 지하수 수질에 대한 기초 자료를 확보하고 농업용 지하수의 오염원인 및 대책 마련에 적극적으로 대응하고자 수행하였다.

재료 및 방법

조사 대상지역 및 시기 경상남도 지역에서 논, 밭, 시설재배지 관개용으로 사용하고 있는 지하수를 대상으로 하였다. 채취지점은 총 60지점으로 경남 전지역별로 고루 분포되게 하였으며 (Table 1), 토지 이용형태별로는 논 15지점, 밭 15지점, 시설재배지 30지점으로 선정하였다.

수질조사는 2002년부터 2008년까지 2년마다 조사하였으며 채취시기는 4월 (영농전 갈수기), 7월 (강우기), 10월 (영농후 갈수기)로 구분하여 연간 3회 채취하였다.

시료채취 및 분석방법 지하수 수질 시료 채취시에는 pump를 이용하여 양수하였고, 양수시에는 포기가 일어나지

않도록 pump의 토출 유속을 최소화하였다. 채취한 시료는 폴리에틸렌 채수용기 (2 L)에 채수하여 ice box에 넣고 실험실로 운반한 후 4°C 이하에 냉장 보관하여 분석하였다. 수질 분석은 수질오염공정시험기준 (Ministry of Environment, 2008)에 준하여 다음과 같이 분석하였다.

pH는 초자전극법 (Orion 900A), 전기전도도는 Conductivity Meter (ORION 150A+)를 사용하여 분석하였으며, NO₃-N은 자외선흡광광도법, PO₄-P는 흡광광도법 중 염화제일주석환원법, Cl⁻은 AgNO₃ 적정법, SO₄²⁻는 BaCl₂ 비탁법, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ 양이온은 AAS (Perkin elmer, Analyst 300, USA)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

토지이용 형태 및 시기별 수질 현황 토지이용 형태와 채취시기별 지하수의 평균 수질은 Table 2와 3에서 보는 바와 같다. 지하수의 pH는 6.7~6.9로 토지이용 형태 및 시

Table 1. Sampling sites of groundwater in the study area.

Area	Geo je	Geo chang	Go seong	Kim hae	Nam hae	Mi ryang	Sa cheon	San cheong	Yang san	Ui ryeong
Number of sample	1	2	4	3	3	4	3	3	2	5

Area	Jin ju	Chang nyeong	Chang won	Tong yeong	Ham an	Ham yang	Hap cheon	Ul san	Bu san
Number of sample	4	3	5	3	3	4	3	3	2

Table 2. Chemical concentrations of groundwater for agriculture different land use types.

Land use		pH	EC	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Paddy	Mean	6.7	0.26	3.68	0.06	16.5	21.1	16.6	4.7	2.8	12.2
	SE [†]	0.1	0.02	0.76	0.03	2.9	5.9	4.8	1.6	2.0	1.8
Upland	Mean	6.9	0.40	4.80	0.08	52.1	26.5	15.3	5.8	4.8	29.1
	SE	0.1	0.09	0.57	0.08	23.0	4.0	4.5	1.3	2.2	8.9
Plastic film house	Mean	6.7	0.39	6.53	0.09	28.6	36.0	23.9	6.3	4.3	18.7
	SE	0.2	0.06	1.54	0.05	4.2	3.2	9.7	2.6	3.0	1.4

[†]SE : Standard error.

Table 3. Chemical concentrations of groundwater for agriculture different seasons.

Month		pH	EC	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
April	Mean	6.8	0.33	5.12	0.05	31.7	29.0	18.5	5.5	3.6	19.5
	SE [†]	0.2	0.02	0.46	0.02	8.0	2.5	5.1	2.6	1.9	4.2
July	Mean	6.7	0.33	5.18	0.08	27.7	27.6	16.1	5.4	4.1	18.9
	SE	0.2	0.03	0.88	0.05	9.1	2.8	8.7	2.2	2.3	2.9
October	Mean	6.7	0.40	5.30	0.13	35.0	29.8	22.6	6.2	4.2	20.6
	SE	0.1	0.14	1.58	0.08	16.7	3.2	6.2	1.3	3.1	2.1

[†]SE : Standard error.

기별로도 큰 차이가 없었으며 농업용수 수질기준 (Ministry of Environment, 2003)에 적합하였다. 지표수와 달리 계절적 변화에 민감하지 않은 지하수의 특성으로 본 연구에서도 대부분의 성분들이 4, 7, 10월 거의 변화가 없어 시기별로는 영향을 받지 않는것으로 나타났다.

그러나 논, 밭, 시설재배지별 토지이용 형태에 따른 수질 관련 몇가지 성분들은 차이가 있는 것으로 조사되었다. EC는 논 0.26, 밭, 0.40, 시설재배지 0.39 dS m⁻¹ 이었다. FAO (1977)는 작물에 대한 농업용수중의 EC에 의한 영향을 평가하는데 있어 0.7 dS m⁻¹ 이하이면 작물의 생산에 영향이 없다고 하였는데 조사된 경남지역 농업용수의 전기전도도는 낮은 수준이었다. NO₃-N 함량은 논, 밭, 시설재배지가 각각 3.68, 4.80 및 6.53 mg L⁻¹ 로서 시설재배지>밭>논 순으로 시설재배지에서 제일 높았는데 이러한 이유는 시설재배지에서 재배되는 과채류 등의 작물들은 대체로 논에 비해 양분요구도가 높고 집약적 농업을 하기 때문이다. Kim et al. (1999)의 경기도 시설재배지 5개 지역의 농업용수중 NO₃-N 평균 함량은 14.47 mg L⁻¹ 로서 경남지역 시설재배지 지하수 중 NO₃-N 함량은 비교적 낮은 수준이었다. 또한, 우리나라 논 관개용 지하수의 NO₃-N 평균 함량은 5.60 mg L⁻¹ (Kim et al., 2003)로서 경남지역 논 지하수 중 NO₃-N 함량 3.68 mg L⁻¹도 전국과 비교해 낮은 수준이었다. Madison and Brunett (1985)은 지하수 수질 연구에서 NO₃-N이 3.0 mg L⁻¹을 초과할 경우 인간의 활동에 의한 오염이라 하였는데, 본 연구에서 대부분 초과되어 농업활동에 의한 영향으로 판단된다. SO₄²⁻ 함량은 논, 밭, 시설재배지

가 각각 21.1, 26.5 및 36.0 mg L⁻¹ 로서 논보다는 밭과 시설재배지에서 약간 높았는데 이는 밭과 시설재배지에서는 칼리비료로서 염화칼리보다는 황산칼리 형태로 공급되기 때문으로 생각된다.

연도별 수질변화와 수질기준 초과율 2002년부터 2008년까지 2년 마다 연도별 수질의 pH, EC, NO₃-N 및 Cl⁻의 변화를 살펴본 결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 논, 밭 및 시설재배지의 pH는 6.6~6.9로서 연도별 변화가 거의 없었지만 EC의 경우 2002년부터 2006년까지는 약간 감소하였는데, 2008년 밭과 시설재배지에서 증가하는 결과를 보였다. EC값 증가에 영향을 미친 인자로는 NO₃-N과 Cl⁻이 주요한 원인으로 작용한 것으로 생각된다 (Fig. 1).

NO₃-N의 경우 밭과 시설재배지에서 2002년 각각 4.72, 6.52 mg L⁻¹ 에서 2008년 5.63, 8.70 mg L⁻¹으로 증가하였는데, 이러한 원인은 Ko et al. (2005)의 영남지역 시설재배지 경작현황 조사결과 퇴비사용 권장량인 3 Mg 10a⁻¹ 이상으로 사용하는 농가가 50% 이상이고 특히 밀양, 창녕, 진주, 부산 등의 지역에서는 6 Mg 10a⁻¹ 이상을 사용하는 농가도 20% 이상이었다는 결과보고로 미루어 영양염류가 강우나 관개시 토양으로부터 용탈되어 증가한 것으로 판단된다. 논에서는 지속적으로 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 2002년 4.73 mg L⁻¹에서 2008년 2.98 mg L⁻¹으로 감소하였는데 이는 벼 재배를 위한 질소 표준소비량이 기존 11 kg 10a⁻¹에서 9 kg 10a⁻¹으로 변경되었고 고품질 쌀 생산과 도복 방지를 위해 적극적으로 시비량을 줄이는 정책을 펴 왔

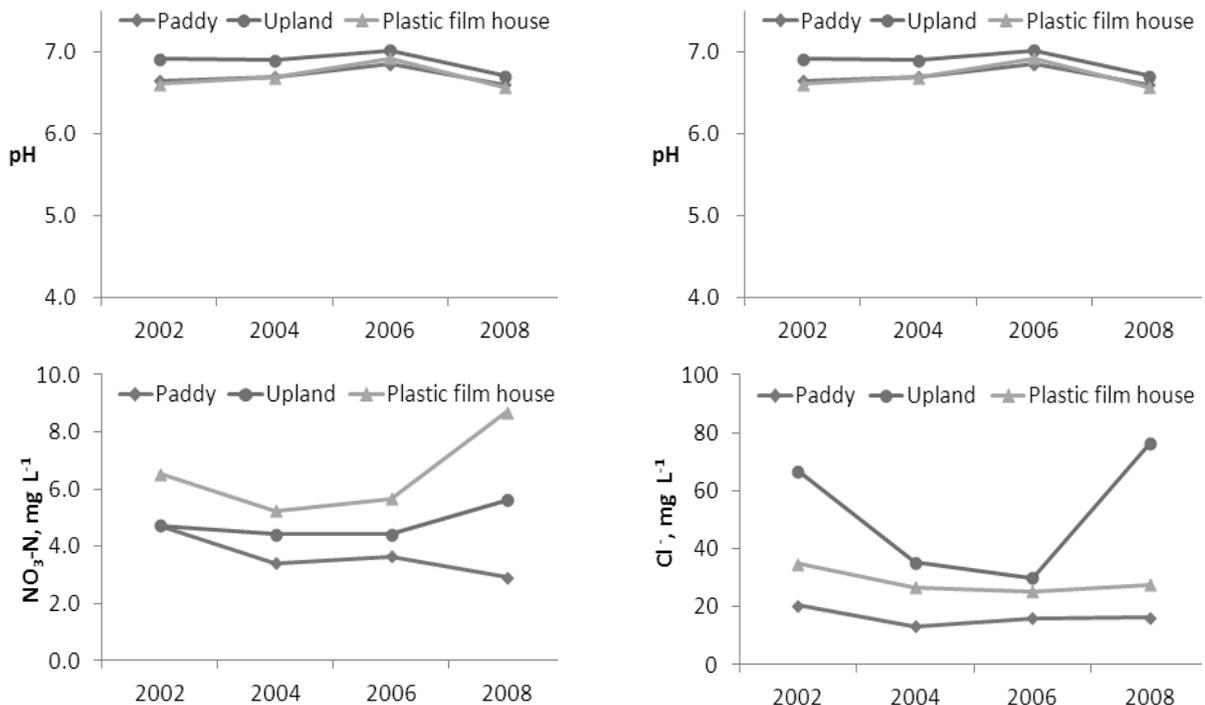


Fig. 1. Yearly changes of water quality of agricultural groundwater.

기 때문으로 생각된다.

그리고 밭에서 년도별 Cl⁻의 변화가 매우 심했는데, 이는 남해, 김해 및 부산지역의 해안가 지역으로 시기별로 지하수 중의 Cl⁻가 해수의 영향을 많이 받는 것으로 생각된다.

농업용수 수질기준 초과율을 살펴본 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다. pH와 중금속에 속하는 Cd, As, Pb, Cr⁶⁺, Hg은 농업용수 수질기준 (Ministry of Environment, 2003)에 적합하였으며, NO₃-N와 Cl⁻는 수질기준 초과율이 약간 있는 것으로 나타났다.

NO₃-N의 수질기준은 20.0 mg L⁻¹ 이하였는데 수질기준 초과율은 3.3~15.0% 로서 주로 시설재배지에서 초과지점이 존재하였다. NO₃-N의 농도가 50 mg L⁻¹인 관개수로 오이를 재배하였을 때 질소 비료를 50% 감비하거나 전혀 주지 않았을 때가 비오염 관개수를 사용하고 질소 비료를 24 kg 10a⁻¹ 수준으로 주었을 때 보다 3~8% 증수되는 보고 (Lee et al., 2005)도 있어 질산성질소 농도가 높은 농업용수를

사용할때는 비료 농도를 조절하여 주면 사용가능하나 주의가 필요하다.

관정깊이, 토성 및 재배작물별 수질 지하수 관정깊이, 지하수가 위치하고 있는 농경지 토성 및 재배작물의 종류에 따른 지하수의 수질을 조사하였다 (Table 5). 지하수 깊이가 증가함에 따라 수질 성분의 뚜렷한 변화는 NO₃-N의 함량 변화이다. 3~10 m 깊이에서 NO₃-N 함량은 5.38 mg L⁻¹, 10~20 m 깊이에서 4.87 mg L⁻¹, 30 m 이상에서는 2.58 mg L⁻¹으로 관정이 깊어 질수록 질산성질소 함량은 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 Jung et al. (1996)의 연구결과와 유사하며 관정깊이가 낮을수록 강우의 영향이 직접적으로 나타나고 질산성질소의 용탈이 빠르기 때문이다.

지하수가 위치하고 있는 농경지의 토성별 지하수 수질은 사양토에서 NO₃-N 함량은 5.73 mg L⁻¹으로 가장 높았고, 식양토에서 4.13 mg L⁻¹으로 가장 낮았다. Ko et al. (2005)

Table 4. Ratio of exceeded water quality criteria of agricultural groundwater for irrigation. (Unit : %)

Year	pH			NO ₃ -N			Cl ⁻			Cd, As, Pb, Cr ⁶⁺ , Hg		
	P [†]	U [‡]	PFH [§]	P	U	PFH	P	U	PFH	P	U	PFH
2002	0	0	0	4.4	0	5.6	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	3.3	0	2.2	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	3.3	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	15.0	0	0	0	0	0	0

[†]P : paddy field.

[‡]U : upland.

[§]PFH : plastic film house.

Table 5. Chemical concentrations of groundwater by locational conditions under cultivated paddy, upland and plastic film house area.

Locational condition	No. of Sample	pH	EC	mg L ⁻¹								
				NO ₃ -N	PO ₄ -P	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
			dS m ⁻¹	-----								
Tube well depth (m)	3~10	31	6.8	0.32	5.38	0.12	25.0	31.8	14.2	6.5	3.3	18.0
	10~20	7	6.9	0.30	4.87	0.03	18.8	26.8	14.3	5.3	1.9	18.6
	20~30	14	7.0	0.34	4.72	0.02	26.6	25.2	15.6	7.6	1.8	22.4
	30~50	5	7.3	0.36	2.58	0.02	24.5	30.3	16.7	8.2	1.7	22.0
	Above 50	3	7.1	0.41	2.55	0.03	16.7	38.6	25.1	11.2	1.6	16.1
Soil texture	Sandy loam	22	6.7	0.33	5.73	0.04	26.1	28.4	14.4	6.3	3.7	21.3
	Loam	10	6.9	0.45	4.77	0.02	35.8	44.9	22.0	10.9	2.2	23.4
	Silt loam	21	7.0	0.26	4.34	0.03	16.8	23.9	12.3	5.2	1.9	16.5
Crop	Clay loam	5	7.0	0.32	4.13	0.02	24.0	21.5	13.4	8.1	1.4	16.4
	Rice	15	6.9	0.29	3.67	0.03	16.0	25.3	14.8	6.7	1.9	15.1
	Soybean	2	7.7	0.33	2.63	0.03	18.3	23.6	23.9	5.5	0.8	17.5
	Fruits	2	6.8	0.12	3.25	0.02	6.1	25.9	3.9	2.5	1.7	7.8
	Fruit vegetables	26	6.9	0.37	5.81	0.04	28.9	31.3	16.1	7.8	3.2	21.1
	Leaf vegetables	12	6.9	0.33	5.30	0.03	29.2	30.5	13.2	6.4	2.7	23.6

은 시설재배지에서 점토 함량에 따른 질산성질소의 이동을 조사하였는데, 사토 쪽으로 갈수록, 점토 함량이 감소할수록 토양의 완충능이 적어지고 물빠짐이 좋은 사양토에서 대류이동에 의한 용탈이 쉬워 지하수의 질산성질소 함량은 뚜렷이 증가한다고 하였다. Kolenbrander (1981)은 질산성질소의 대류이동에 미치는 토양입자의 영향에 대하여 모래 함량이 많을수록 용탈량이 크고, 점토 함량이 40% 이상되는 토양에서는 용탈량의 감소가 거의 없다고 하였다. 사양토에서는 질소비료의 용탈이 많으므로 질산성질소의 오염을 줄일려면 소량씩 자주 시비하는 기술이 필요할 것이다.

작물의 종류에 따른 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 과채류>엽채류>벼>과수>콩 순으로 높았다. 대체적으로 작물들의 양분요구도에 상응하여 양분요구도가 낮은 콩을 재배하는 지점의 지하수에서 2.63 mg L^{-1} 으로 가장 낮고, 다른 작물에 비해 양분의 요구도가 높은 과채류와 엽채류를 재배하는 지점의 지하수에서는 각각 5.81 및 5.30 mg L^{-1} 이었다. 인산염의 경우 관정 깊이 $3\sim 10 \text{ m}$ 에서 0.12 mg L^{-1} 으로 약간 높은 것을 제외하고는 지하수 깊이, 토성 및 작물의 종류에 따른 큰 차이가 없었는데 그 이유는 토양속에서 인산은 철과 알루미늄 등과 쉽게 흡착되어 용탈이 어렵기 때문이다. Ca^{2+} , Mg^{2+} , 및 Na^+ 의 경우 우리나라에서는 수질기준이 마련되어 있지 않고 네덜란드 수경재배 원수의 수질기준 (Benoit, 1992)에서는 각각 80 , 12 및 34.5 mg L^{-1} 을 설정해 놓았는데 기준을 상회하지 않아 양호한 수준이었다.

요 약

경남지역에서 농업용 지하수를 모니터링하여 지하수의 오염원인 및 대책 마련을 위한 기초자료를 확보하고자 2002년부터 2008년까지 2년 마다 논, 밭 및 시설재배지에서 60 지점의 시료를 년 3회 채취하였으며 지하수의 수질은 토지이용 형태별, 조사시기별, 지하수 관정 깊이별, 토성별 및 작물의 종류별로 구분하여 비교 분석하였다.

토지이용 형태별 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 시설재배지>밭>논 순으로 높았으며 시설재배지, 밭 및 논 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 각각 6.53 , 4.80 및 3.68 mg L^{-1} 이었다.

논, 밭 및 시설재배지의 년도별 수질변화에 있어 pH는 $6.6\sim 6.9$ 로서 변화가 거의 없었지만 EC의 경우 2008년 밭과 시설재배지에서 증가하였는데 $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 Cl^- 이 영향을 미친 것으로 판단된다. 2002년 밭과 시설재배지에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 각각 4.72 , 6.52 mg L^{-1} 에서 2008년 5.63 , 8.70 mg L^{-1} 으로 증가하였다.

pH와 중금속은 농업용수 수질기준에 적합하였으나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 시설재배지에서 수질기준 초과율이 $3.3\sim 15.0\%$ 이고 Cl^- 는 2004년 밭에서 수질기준 초과율이 2.2% 있었다.

지하수 관정깊이별 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 $3\sim 10 \text{ m}$ 깊이에서 5.38 , $10\sim 20 \text{ m}$ 깊이에서 4.87 , 30 m 이상에서는 2.58 mg L^{-1} 으로 관정이 깊어 질수록 함량은 감소하였다. 토성별 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 사양토에서 5.73 mg L^{-1} 으로 가장 높았고, 식양토에서 4.13 mg L^{-1} 으로 가장 낮았다. 작물 종류별 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 과채류>엽채류>벼>과수>콩 순으로 높았으며, 과채류와 엽채류 재배지 함량은 각각 5.81 및 5.30 mg L^{-1} 이었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호 : PJ006906212012)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

- Baeg, C.O., S.G. Kang, and K.S. Lee. 1996. A status of agricultural water quality and improvable countermeasure in Korea. Korean J. Environ. Agric. 15(4):506-519.
- Benoit, F. 1992. Practical guide for soilless culture techniques, European Vegetable R&D Center. pp.10-12.
- Bergstrom, L. 1987. Nitrate leaching and drainage from annual and erennial crops in tile-drained plots and lysimeters. J. Environ. Qual. 16, 11-18.
- Chung, J.B., B.J. Kim, and J.K. Kim. 1997. Water Pollution in Some Agricultural Areas along Nakdong River. Korean J. Environ. Agric. 16(2):187-192.
- FAO. 1977. Water quality for agriculture. FAO/UN29 Rev. I :174.
- Hyun, H.N., S.S. Oh, and S.H. Koh. 1994. Studies on pollutant concentrations in ground water and their behavior in soils, Cheju island. Korean J. Environ. Agric. 13(1): 19-30.
- Jung, G.B., J.S. Lee, and B.Y. Kim. 1996. Survey on groundwater quality under plastic film house cultivation areas in southern part of Gyeonggi province. Kor. J. Soil Sci. Fert. 29(4): 389-395.
- Jung, Y.S., J.E. Yang, and B.Y. Kim. 1997. Standards of agricultural environment in Korea, seminar, The Korean Society of Environmental. Agriculture. 79-80.
- Jung, Y.S., J.E. Yang, Y.K. Joo, J.Y. Lee, Y.S. Park, M.H. Choi, and S.C. Choi. 1997. Water quality of streams and agricultural wells related to different agricultural practices in small catchments of the Han River basin, Korean J. Environ. Agric. 16(2):199-205.
- Kim, B.Y. 1988. Water pollution and agriculture. Korean J. Environ. Agric. 7: 152-169.
- Kim, J.H., C.M. Choi, J.S. Lee, S.G. Yun, J.T. Lee, K.R. Cho, S.J. Lim, S.C. Choi, G.J. Lee, Y.S. Kwon, K.C. Kyung, M.J.

- Uhm, H.K. Kim, Y. S. Lee, C.Y. Kim, S.T. Lee, and J.S. Ryu. 2008. Characteristics of groundwater quality for agricultural irrigation in plastic film house using multivariate analysis. *Korean J. Environ. Agric.* 27(1): 1-9.
- Kim, J.H., J.S. Lee, B.Y. Kim, S.G. Hong, and S.K. Ahn. 1999. Analysis of ground water used for agriculture in Kyonggi province. *Korean J. Environ. Agric.* 18(2): 148-154.
- Kim, J.H., K.R. Cho, S.J. Lim, S.C. K.C. Kyung, M.J. Uhm, H.K. Kim, C.Y. Kim, Y.H. Lee, S.C. Lee, and S.G. Yun. 2003. Characteristics of the groundwater quality for paddy fields in Korea. *Korean J. Environ. Agric.* 22(4): 241-245.
- Ko, J.Y. J.S. Lee, M.T. Kim, C.S. Kim, U.G. Kang, and H.W. Kang. 2005. Effects of farming practice and NO₃-N contents of groundwater with different locations under intensive greenhouse area. *Korean J. Environ. Agric.* 24(3): 261-269.
- Kolenbrander, G.J. 1981. Leaching of nitrogen in agriculture. In nitrogen losses and surface run-off. Nijhoff: 199-216.
- Lee, D.B., K.B. Lee, and K.S. Rhee. 1996. Changes of chemical contents in groundwater at controlled horticulture in honam area. *Korean J. Environ. Agric.* 15(3): 348-354.
- Lee, Y.H., S.T. Lee, S.D. Lee, and Y.B. Kim. 2005. Chemical characteristics of soil and groundwater in plastic film house fields under fertigation system. *Korean J. Environ. Agric.* 24(4): 326-333.
- Madison, R.J. and J.O. Brunett. 1985. Overview of the occurrence of nitrate in ground water in the United State. In U.S.G.S National water summary 1984, U.S. Geol. Surv., 2275, 93-105.
- Ministry of Environment. 2003. Standard of water for agriculture. Gwacheon, Korea.
- Ministry of Environment. 2008. Korean standard methods for water quality. Gwacheon, Korea.