

폐양액과 하수처리수 재이용이 배추생육 및 토양에 미치는 영향

최봉수^{1,2} · 임정은² · 신용건³ · 양재의² · 이상수^{2**} · 옥용식^{2*}

¹농촌진흥청 국립식량과학원, ²강원대학교 바이오자원환경학과, ³강원도 보건환경연구원

Effect of Waste Nutrient Solution and Reclaimed Wastewater on Chinese Cabbage Growth and Soil Properties

Bongsu Choi^{1,2}, Jung Eun Lim², Yong Keon Shin³, Jae E Yang²,
Sang Soo Lee^{2**}, and Yong Sik Ok^{2*}

¹National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

²Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

³Gangwon Institute of Health & Environment, Chuncheon 200-822, Korea

This study evaluated the effect of using waste nutrient solution (WNS) and reclaimed wastewater (WW) on the growth of Chinese cabbage and soil quality. The pH and electrical conductivity (EC) values of waste nutrient solution were 6.3 and 1.5 dS m⁻¹ and being 6.8 and 0.4 dS m⁻¹ in reclaimed WW, respectively. WNS found to be included more than 10 g m⁻² of NO₃⁻, K⁺, SO₄²⁻ and Ca²⁺, thereby enhancing Chinese cabbage growth. However, Cl⁻ and Na⁺ contents were higher than other nutrients in WW. Among the three irrigation resources, no significant differences were found for the growth of Chinese cabbage plants. On the other hand, pH was decreased in WNS-treated soil when compare to that in WW-treated soil which pH was increased. In spite of the uptake of nutrients by the growing plants, irrigation of the WNS led to an increase in available P₂O₅ and exchangeable cations such as K⁺ and Mg²⁺ in the soil when compared to soil that irrigated by groundwater or WW. Taken together, the use of WNS can remarkably reduce the amount of the chemical fertilizer for Chinese cabbage production; however, WNS can possibly cause a problem as nutrients accumulation in soil.

Key words: Chinese cabbage, Reclaimed wastewater, Waste nutrient solution, Water reuse

서 언

물은 모든 생물의 생존에 불가결한 귀중한 요소이다. 특히 지역별 수자원의 분포차이로 인한 물 부족현상은 기후 변화 및 인구증가로 인해 미래에는 더욱 심화될 것이며, 이는 식량안보와 같은 사회경제적 상황에 영향을 주기 때문에 식량과 물은 강한 연관성을 지니고 있다 (Zhou and Tol, 2005).

물 공급의 지속성은 그 지역의 계절적, 지리적인 차이에 영향을 받는다. 예를 들어 우리나라의 연평균 강우량은 1,274 mm로 그 양은 세계 평균의 약 1.3배에 달하지만 연 강우량의 약 75%가 6월부터 8월에 집중되어 있어 (Jin et al., 2005), 봄철에 물 부족으로 인한 작물의 파종 및 이앙이 지연되는 피해가 속출하고 있다. 또한, 최근 기후변

화에 의해 한발의 발생이 증가하고 있어 지속적인 작물생산을 위한 수자원의 효율적인 관리가 요구되고 있는 실정이다.

한편 대체 수자원으로서 빗물, 해수 등이 있으나 집수 및 염 제거 등을 위한 설비비용이 발생하여 경제성이 낮다. 그러나 하수처리수 및 폐양액은 지속적으로 발생하며 시설이 있는 곳이라면 손쉽게 이용할 수 있는 수자원이다.

전국에 가동 중인 하수처리시설의 하수처리량은 연간 66억톤에 달한다 (MOE, 2009). 정부에서는 하수처리장 방류수를 농업, 공업, 하천유지용수로 재이용함으로써 별도의 수자원 개발 없이 부족한 용수를 공급하여 지속가능한 물 공급체계를 구축하는 것을 목표로 2016년까지 하수처리수 재이용량을 2008년 현행 10.8% (7.14 억톤)에서 19%까지 끌어올릴 계획이다. 하수처리수는 세계 50개국 이상에서 농업을 포함한 다양한 분야에서 재이용되고 있으며 (Scott et al., 2001), 이에 대한 연구로서 수자원의 보존 (Cooper, 1991; Kang et al., 2007; Kim et al., 2009)과 작물생산에 미치는 영향 (Ehret et al., 2001; Kang et al.,

접수 : 2011. 5. 24 수리 : 2011. 6. 10

*연락처 : Phone: +82332506443, +82332507214

E-mail: soilok@kangwon.ac.kr,
sslee97@kangwon.ac.kr

2007) 등이 보고된 바 있다.

한편 수경재배의 경우 작물생육에 필요한 양분을 수용액 상태로 토양없이 작물에게 공급해 줄 수 있어 최근 원예생산 분야에서 중요한 역할을 담당하고 있으며 그 재배면적이 꾸준히 증가하는 추세이다 (Göhler and Molitor, 2002; Nelson, 1998). 수경재배 방법 중 하나인 비순환식 수경재배 시스템 (Open hydroponic system)은 수용액에 포함되어 있는 양분이 특별한 처리 없이 외부로 방출되기 때문에 심각한 환경오염을 야기할 수 있으나 (Yang et al., 2005), 수자원 재이용 측면에서는 작물재배 시 관개수로 이용하는 것이 가능하다 (Jensen and Collins, 1985).

한편 순환식 수경재배 시스템 (Closed hydroponic system)은 버려지는 양분의 재이용이 가능할 뿐만 아니라 공급되는 물의 약 30%를 절약할 수 있어 보다 효율적이긴 하나 (van Os, 1999), 초기 투자비용이 비순환식 수경재배 시스템보다 높은 것이 단점이다 (Seo, 1999). 순환식 수경재배 시스템은 작물의 형태, 성장 단계 및 기상조건 등과 같은 다양한 변수를 가지고 있으며 배출되는 양액의 상태를 제어하기 어려워 순환식 수경재배 시스템보다 비순환식 수경재배 시스템이 널리 이용되고 있다 (Seo, 1999). 그러나 현재 널리 적용되고 있는 비순환식 수경재배 시스템으로부터 배출되는 양분은 현행 수질보전법에서 산업폐수로 분류되어 있으며 이로 인해 수경재배로부터 배출되는 양분과 관련된 환경위해를 저감하기 위한 기술개발이 필요한 실정이다. 특히 농업분야에서 폐양액 및 하수처리수를 재이용하는 경우 수자원 보호, 양분의 재이용 및 표층수의 수질오염 방지에 기여할 수 있으며, 폐양액의 경우 질소와 인 같은 식물영양소를 다량 함유하고 있기 때문에 이를 작물재배에 재이용하는 것은 상당히 유익하다.

이에 본 연구에서는 한발 및 물 부족에 대응하기 위한 대체수자원으로서 폐양액과 하수처리수의 재이용이 배추의 생육 및 토양에 미치는 영향을 평가하였다.

재료 및 방법

배추재배지 토양 특성 및 시비량 배추재배를 위한 폐양액 및 하수처리수의 재이용 가능성 평가는 강원도 농

업기술원의 원예작물 시험포장에서 실시하였다. 실험 전 배추재배지 토양의 물리·화학적 특성을 알아보기 위하여 토양을 채취, 농촌진흥청 농업과학기술원의 토양 및 식물체 분석법 (RDA, 2000)에 준하여 분석을 실시하였다. 토양의 pH와 전기전도도 (Electrical conductivity; EC)는 각각 pH meter와 EC meter (Orion 3-Star, Thermo Scientific, USA)로 측정하였다. 토양특성은 pH 7.3, EC 0.2 dS m⁻¹ 및 유기물 26 g kg⁻¹으로 배추재배를 위해 적당하였으나 유효인산 및 칼륨과 칼슘이온의 함량은 적정범위보다 높았다 (Table 1).

배추재배를 위한 시비량은 토양분석 결과를 토대로 농촌진흥청의 토양시비처방 프로그램을 이용하여 산정하였다. 이에 따른 배추재배의 권장시비량은 질소 110 kg ha⁻¹ 수준이었으며 인산과 칼리는 토양 내에 충분히 함유되어 있어 시비하지 않았다. 배추재배를 위하여 권장시비량을 사용하고, 폐양액 및 하수처리수를 관수한 후 배추의 생육 및 토양특성 변화를 평가하였다. 또한, 다량의 양분을 함유하고 있는 폐양액 이용에 따른 비료절감효과를 평가하기 위하여 배추재배 시 질소비료를 권장시비량의 25, 50 및 75% 수준으로 감비한 처리구를 추가로 구성하였다. 대조구는 질소비료를 권장시비하고 지하수를 관개하였다.

배추 (*Brassica campestris* L.) 재배 배추재배를 위한 각 처리구 면적은 4.2 m² (3.5×1.2 m)이고, 배추의 재식거리는 60×45 cm로 plot당 2열로 총 14주를 재배하였다. 모든 처리구는 난괴법 3반복으로 하였으며, 붕소결핍에 의한 생리장해를 방지하기 위하여 밀거름으로 붕사를 20 kg ha⁻¹ 사용하였다. 30일 동안 육묘한 배추를 정식하여 분밭에서 70일간 재배하였으며, 모든 재배시험은 자연 온도조건의 비가림하우스에서 실시하여 재배기간 동안 외부로부터 물의 유입을 차단하였다.

폐양액과 하수처리수를 관수하여 재배한 배추는 정식 70일 후에 수확하였으며, 이 후 배추의 구고, 구폭, 생체중 및 외관상 상품가치가 없는 외엽을 제거한 뒤 상품율과 수량 등 배추의 생육을 조사하였다. 또한, 폐양액과 하수처리수 이용에 따른 토양의 이화학성 변화를 평가하기 위하여 배추 수확 후 재배지 토양을 채취하여 이화학성 특성을 분석하였다.

Table 1. Chemical properties of soil for cultivation of Chinese cabbage.

Soil	pH	EC	OM [†]	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation		
					K	Ca	Mg
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹		
Detected value	7.3	0.2	26	1,036	1.8	7.1	1.2
Optimum range	6.0-6.5	0-2.0	25-35	350-450	0.65-0.80	5.0-6.0	1.5-2.0

[†]Organic matter.

관수용수의 특징 관수용수는 춘천시 소재 하수처리장에서 발생하는 하수처리수와 강원도 농업기술원의 토마토 양액재배지에서 발생하는 폐양액을 이용하였다. 토마토 양액재배는 유기배지인 코코피트(cocopeat)를 베드로 이용하고 있었다.

지하수, 폐양액 및 하수처리수의 관수는 채수한 용수를 비가림하우스 인근의 저장탱크로 옮긴 뒤 동력 모터를 이용하여 각각의 처리구로 일정하게 관수하였다. 배추재배 기간 동안 토양이 건조하지 않도록 유지하였으며 이를 통해 배추 재배기간 동안 관수한 용수의 총량은 각 처리구당 약 400 L로 조사되었다. 폐양액과 하수처리수에 함유된 Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , PO_4^- 및 SO_4^{2-} 은 ion chromatograph (DX-120, DIONEX, Sunnyvale, Canada)를 이용하여 정량분석 하였다.

통계분석 폐양액과 하수처리수의 관수에 의한 배추의 생육에 미치는 영향을 평가하기 위한 통계분석은 SAS program (ver. 9.1)을 이용하여 ANOVA 검정을 실시하였으며, $P < 0.05$ 수준에서 최소유의차 검정 (Turkey's LSD)에 의한 각 처리간 통계적 유의성을 평가하였다.

결과 및 고찰

폐양액과 하수처리수의 특징 배추재배 기간에 대조구로서 관수한 지하수의 pH는 7.0으로 중성이었으며, EC는 0.06 dS m^{-1} 였다 (Fig. 1). 관수용수로 이용한 폐양액은 pH 6.3, EC 1.5 dS m^{-1} 였으며, 하수처리수는 pH 6.8, EC 0.4 dS m^{-1} 로 폐양액이 지하수 및 하수처리수보다 pH 값은 낮았고 EC값은 높았다.

이러한 결과는 수경재배에서 작물의 생육기간 증가에 따라 공급된 양액으로부터 양이온의 흡수를 촉진시켜 폐양액의 pH가 낮아졌으며 (Zang et al., 2006), 양액재배 시 작물에 의한 양이온의 흡수가 증가함과 동시에 뿌리 외부에 H^+ 가 증가되는 현상에서 기인한 것 (Park and Kim, 1998)이라는 연구결과와도 일치한다.

배추재배 기간 동안 공급한 폐양액, 하수처리수 및 지하수가 함유하고 있는 Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- ,

NO_3^- , PO_4^- 및 SO_4^{2-} 의 총량은 Table 2와 같다. 지하수는 NH_4^+ 와 PO_4^- 가 검출되지 않았으며, 다른 성분의 함량도 현저히 낮았다. 폐양액은 NH_4^+ 함량이 낮았으나 작물이 자라는데 필요한 다량의 필수원소인 NO_3^- , K^+ , SO_4^{2-} 및 Ca^{2+} 가 배추재배지에 10 g m^{-2} 이상 공급되었는데 이를 통해 폐양액이 지속적으로 투입되는 경우 양분의 집적이 우려되었다. 반면 하수처리수는 폐양액과 달리 Cl^- , NH_4^+ 및 Na^+ 함량이 높았지만 그 외의 양분함량은 낮았다.

van Os (1994)는 작물재배 방식에 따라서 양분흡수량은 토양재배 시 30~50%, 비순환식 수경재배 시 70~80%, 순환식 수경재배 시에 90% 이상이라고 하였다. 이는 양액재배 후 버려지는 폐양액에 양분이 다량 함유되어 있어 인근 하천으로 방류될 경우 수질오염을 야기할 수 있지만 (Park et al., 2005), 이를 작물재배에 이용하는 경우 사용되는

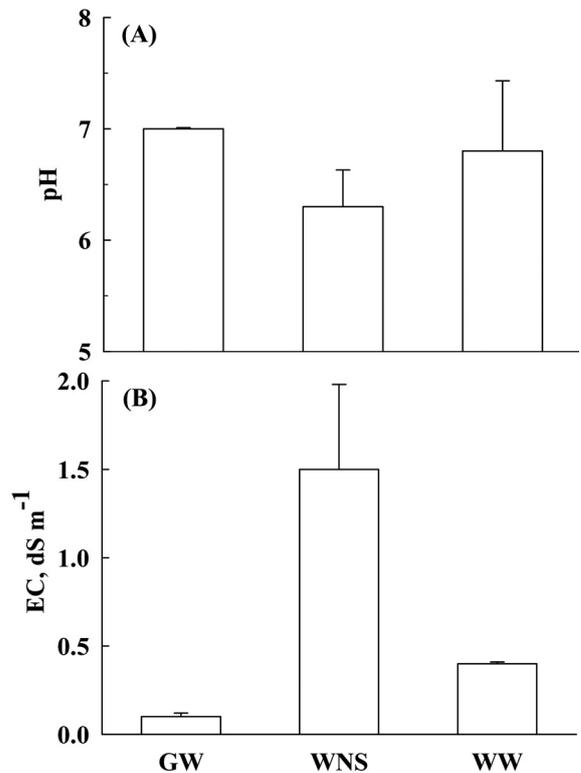


Fig. 1. The pH and EC values of different irrigation sources supplied for cultivation of Chinese cabbage. Treatment codes are described in Table 2.

Table 2. Total amount of nutrients supplied by different irrigation sources.

Water sources [†]	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_3^-	PO_4^-	SO_4^{2-}
	g m ⁻²								
GW	0.39	N.D. [‡]	0.37	0.53	1.74	0.48	1.08	N.D.	0.37
WNS	1.32	0.01	16.03	4.16	10.40	1.01	24.12	2.77	11.57
WW	4.65	0.66	1.34	0.62	4.05	6.13	1.50	0.06	0.75

[†]GW, Groundwater; WNS, Waste nutrient solution; WW, Wastewater.

[‡]N.D, Not detected.

화학비료의 양을 절감할 수 있는 재배방법이기도 하다.

한편 Domeno et al. (2009)은 Cl^- 과 Na^+ 함량이 폐양액의 EC 값을 증가시킨다고 보고하였으나 본 연구에서는 Cl^- 과 Na^+ 함량이 높은 하수처리수보다 폐양액의 EC 값이 높은 것으로 나타나 Cl^- 과 Na^+ 뿐만 아니라 기타 양분에 의해 영향을 받은 것으로 판단된다.

폐양액 및 하수처리수 관수에 따른 배추생육 질소 비료를 사용하지 않고 폐양액만 처리하고 재배한 배추의 수확기 생산량은 관행재배구의 4.52 kg plant⁻¹과 비교하여 값은 낮았지만 하수처리수 처리구와 비슷한 수준이었다 (Table 3). 또한, 상품가치가 없는 외엽을 제외한 배추의 상품중량은 관행재배구에서 2.77 kg plant⁻¹으로 폐양액 및 하수처리수 처리구와 차이가 없었다 ($P>0.05$). 폐양액 및 하수처리수 관수는 배추의 생체중으로부터 환산한 상품율에서도 각각 58.6~63.0%로 관행재배구의 61.3%와 비교하여 차이가 없었으며, 건물율은 4.2~4.6%로 관행재배구와 각 처리구 간에 유의적 차이가 나타나지 않았다 (Fig. 2).

이는 폐양액에 함유되어 있는 다양한 양분이 배추에 의해 흡수·이용될 수 있도록 지속적으로 공급되었으며 비료 사용을 하지 않은 무비구에서도 배추생육이 가능했을 것으로 판단된다.

유사연구 결과로 폐양액을 관비 처리하여 관행재배보다 고추의 수량을 증대시킨 바 있으며 (Zang et al., 2004), 수경재배에서 배출된 폐양액을 이용한 멜론의 재배 시 수확 후 과중, 과장, 과경 등의 생육이 촉진된 바 있다 (Zang et al., 2006). 또한, Kim et al. (2000)의 연구에 의하면 장미의 수경재배로부터 방출되는 폐양액의 재이용 시 포인세티아(Poinsettia)의 생장이 촉진되었다. 이러한 결과들은 폐양액을 관수용수로 이용할 경우 배추를 비롯한 다양한 작물재배에서 화학비료의 사용량을 현저히 절감할 수 있다는 것을 시사한다.

폐양액 및 하수처리수 이용에 따른 토양환경 영향

배추 재배기간 동안 폐양액과 하수처리수의 관수에 의한 배추재배 토양의 이화학적 변화를 조사하여 Table 4에 나타내었다. 지하수를 관수한 관행재배구에서 배추 재배 후 토양의 pH는 작물 재배 전 토양과 비교하여 차이가 없었

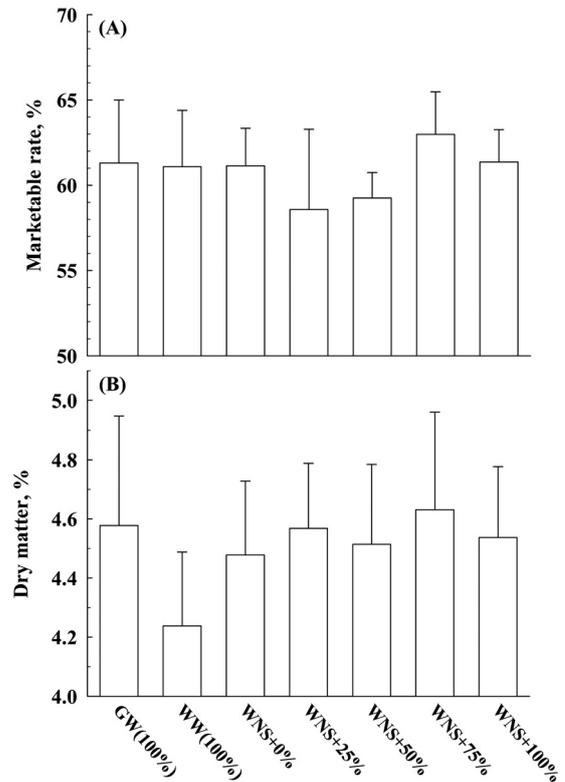


Fig. 2. Marketable rate (A) and dry matter percentage (B) of Chinese cabbage plants grown with different N fertilizer levels on waste nutrient solution (WNS) and wastewater (WW) applied. Groundwater (GW) was used as a control. Treatments of X-axis indicate percentage of the recommended fertilizer applied. Values are mean of three replications with five plants. Vertical bars indicate the standard error.

Table 3. The effects of supply of wastewater and waste nutrient solution with different fertilizer levels on growth and yield of Chinese cabbage during the harvesting stage.

Water resources [†]	Fertilizer levels	No. of leaf	Height		Fresh weight	Marketable biomass
			cm			
GW	100%	81.8	28.9	19.0	4.52	2.77
	0%	87.2	28.9	19.0	4.34	2.66
	25%	85.0	26.2	18.1	4.37	2.56
WNS	50%	89.3	27.8	18.8	4.38	2.60
	75%	85.2	28.3	18.8	4.35	2.71
	100%	88.7	28.3	18.9	4.38	2.68
WW	100%	78.8	28.4	18.7	4.35	2.66

[†]GW, Groundwater; WNS, Waste nutrient solution; WW, Wastewater. All data did not significantly different among treatments at 0.05 significance level.

Table 4. The effects of supply of different irrigation sources on the physicochemical properties of Chinese cabbage cultivated soil during the harvesting stage.

Water resources [†]	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation		
					K	Ca	Mg
	(1:5)	dS m ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----
GW	7.4a [‡]	44b	59.9a	832b	0.35b	0.80a	2.63a
WNS	6.9b	411a	41.8b	1,536a	2.61a	0.82a	2.99a
WW	7.7a	36b	36.0bc	895b	0.30b	0.74a	2.27a
Optimum range	6.0-6.5	<2000	25-35	300-500	1.5-2.0	0.65-0.8	1.5-2.0

[†]GW, Groundwater; WNS, Waste nutrient solution; WW, Wastewater.

[‡]Means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level.

으나 폐양액 처리구는 pH가 감소하였고 (Table 1), 반대로 하수처리수 처리구는 관행재배구보다 0.38 상승하였다. 이는 관수한 용수의 특성으로 pH가 상대적으로 낮은 폐양액 시용에 따른 토양집적 현상으로 판단되며, 상대적으로 중성의 하수처리수 처리는 큰 영향을 미치지 않았다. 또한 양분을 다량 포함하고 있는 폐양액은 토양의 EC 값을 현저히 증가시켰으며, 배추재배에 의한 양분의 흡수에도 불구하고 토양 내 유효인산 및 칼륨과 마그네슘 등의 양이 온 함량은 증가하는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 전술한 바와 같이 폐양액을 배추 육묘에 이용할 때 폐양액에 포함된 다량의 양분이 배추에 의해 흡수되더라도 상토 내로 그 일부가 축적되기 때문인 것으로 판단된다 (Hong et al., 2009). 이와 마찬가지로 Park et al. (2005)도 폐양액의 토양처리 시 폐양액에 함유된 무기염류가 토양에 흡착되거나 집적되어 폐양액 처리 전보다 토양의 염농도가 증가한다고 보고한 바 있다.

이와 같이 하수처리수 또는 양액재배지로부터 발생하는 폐양액은 주변에서 획득이 용이하다는 장점이 있으나 다량 이용할 경우 토양 내 양분집적을 야기할 수 있다. 그러므로 효율적인 물 관리 및 토양 지속성을 유지하기 위해서는 폐양액 이용 시 지하수와 혼용하여 관수하는 방법이 향후 연구에서 검토되어야 할 것이다.

요 약

배추 재배를 위해 관수한 용수의 특성은 대조구인 지하수가 pH 7.0, EC 0.06 dS m⁻¹였으며, 폐양액이 pH 6.3, EC 1.5 dS m⁻¹, 하수처리수가 pH 6.8, EC 0.4 dS m⁻¹였다. 배추재배지에 관수된 폐양액은 NH₄⁺ 함량이 낮았으나 NO₃⁻, K⁺, SO₄²⁻ 및 Ca²⁺이 10 g m⁻² 이상으로 작물생육에 필요한 다량의 원소를 함유하고 있었으며, 이와 달리 하수처리수는 폐양액과 달리 원소 함량이 낮았으며 Cl⁻와 Na⁺ 함량이 높았다. 지하수, 폐양액 및 하수처리수를 혼용하여 재배한 배추는 모든 처리구에서 구고, 구폭, 생체중, 건물

중, 상품율 등 그 생육에 차이가 없었으며, 다양한 수준으로 질소 비료를 절감하고 폐양액을 관수한 처리구에서도 모든 처리구간 생육이 유사하였다. 한편 배추재배지의 배추수확 후 토양 pH는 대조구인 지하수 처리구에서 작물재배 전과 차이가 없었으며 폐양액 처리구는 양분의 토양집적으로 인하여 pH가 감소하였고 하수처리수 처리구는 pH가 상승하는 것으로 나타났다. 다량의 양분을 함유하고 있는 폐양액 관수는 토양의 EC를 관행재배구보다 현저히 증가시켰으며, 배추재배에 의한 양분의 흡수에도 불구하고 토양 내 인산과 칼륨 함량도 관행재배구보다 증가하는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구에서 시료의 기기분석은 강원대학교 환경연구소와 공동실험실습관의 지원으로 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- Cooper, R.C. 1991. Public health concerns in wastewater reuse. *Water Sci. Technol.* 24:5-65.
- Domeno, I., N. Irigoyen, and J. Muro. 2009. Evolution of organic matter and drainages in wood fibre and coconut fibre substrates. *Sci. Hort.* 122:269-274.
- Ehret, D.L., B.W. Alsanus, W. Wohanka, J.G. Menzies, and R. Utkhede. 2001. Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture. *Agronomie* 21:323-339.
- Göhler, F. and H.D. Molitor. 2002. *Erdlose Kulturverfahren im Gartenbau*. Verlag Eugen Ulmer, p. 267.
- Hong, K.C., B. Choi, K.J. Lim, J.H. Won, S.J. Jeon, S.O. Hur, S.K. Ha, N.W. Kim, J.E. Yang, and Y.S. Ok. 2009. Effects of reclaimed wastewater and waste nutrient solution irrigation on seedling growth of Chinese cabbage. *Korean J. Environ. Agric.* 28:171-178 (In Korean).

- Jensen, M.H. and W.L. Collins. 1985. Hydroponic vegetable production. Hort. Review 7:483-558.
- Jin, Y.H., A. Kawamura, K. Jinno, and R. Berndtsson. 2005. Detection of ENSO-influence on the monthly precipitation in South Korea. Hydrol. Process. 19:4081-4092.
- Kang, M.S., S.M. Kim, S.W. Park, J.J. Lee, and K.H. Yoo. 2007. Assessment of reclaimed wastewater irrigation impacts on water quality, soil, and rice cultivation in paddy fields. J. Environ. Sci. Heal. A. 42:439-445.
- Kim, J.H., T.J. Kim, H.D. Lee, J.W. Lee, C.H. Lee, and K.Y. Pack. 2000. Growth and development of 'Gutbier V-10 Amy' Poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd) as affected by application of waste nutrient solution. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 18:518-522.
- Kim, T.H., Y.S. Kim, Y.H. Choi, J.H. Kweon, J.H. Song, and N.W. Gang. 2009. Biofilm formation and its effect on biofouling in RO membrane processes for wastewater reuse. Desal. Water Treat. 2:70-74.
- Ministry of Environment (MOE). 2009. Guidebook for reclaimed wastewater reuse. City, Country (In Korean).
- Nelson, P.V. 1998. Greenhouse operation and management. 5th edition. Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, U.S.A. pp. 355-374.
- Park, K.W. and Y.S. Kim. 1998. Hydroponic culture. Academy Book. Seoul. Country (In Korean).
- Park, C.J., J.E. Yang, K.H. Kim, K.Y. Yoo, and Y.S. Ok. 2005. Recycling of hydroponic waste solution for red pepper (*Capsicum annum* L.) growth. Korean J. Environ. Agric. 24:24-28 (In Korean).
- Rural Development Administration (RDA). 2000. Soil and plant analysis. City, Country (In Korean).
- Scott, C.A., J.A. Zarazua, and G. Levine. 2001. Urban-wastewater reuse for crop production in the water-short Guanajuato river Basin, Mexico. Research Report 41. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, p. 35.
- Seo, B.S. 1999. Future prospects and countermeasures for hydroponics in 21C. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 17:796-802.
- van Os, E.A. 1999. Closed soilless growing systems: A sustainable solution for Dutch greenhouse horticulture. Water Sci. Technol. 39:105-112.
- Yang, J.E., C.J. Park, Y.S. Ok, K.Y. Yoo, and K.H. Kim. 2005. Fate of nitrogen and phosphorous in hydroponic waste solution applied to the upland soils. Korean J. Environ. Agric. 24:132-138 (In Korean).
- Zhang, C.H., E.S. Sun, H.M. Kang, and I.S. Kim. 2004. Effect of fertigation on the growths and yields of Chinese cabbage and hot pepper. Korean J. Hort. Sci. Technol. 22:57.
- Zhang, C.H., H.M. Kang, and I.S. Kim. 2006. Effect of using waste nutrient solution fertigation on the musk melon and cucumber growth. J. Bio-Environ. Cont. 15:400-405.
- Zhou, Y. and R.S.J. Tol. 2005. Economic analysis of domestic, industrial and agricultural water demands in China. Water Sci. Technol.: Water Supply 5:85-93.