

하수처리수 및 폐양액의 재이용이 배추 유묘 생장에 미치는 영향

홍기찬^{1)†} · 최봉수^{1)†} · 임경재¹⁾ · 원재희²⁾ · 전신재²⁾ · 허승오³⁾ · 하상건³⁾ · 김남원⁴⁾
양재의¹⁾ · 옥용식^{1)*}

¹⁾강원대학교 농업생명과학대학, ²⁾강원도농업기술원, ³⁾국립농업과학원, ⁴⁾한국건설기술연구원
(2009년 6월 3일 접수, 2009년 6월 24일 수리)

Effects of Reclaimed Wastewater and Waste Nutrient Solution Irrigation on Seedling Growth of Chinese Cabbage

Ki Chan Hong^{1)†}, Bongsu Choi^{1)†}, Kyoung Jae Lim¹⁾, Jae-Hee Won²⁾, Shin Jae Jeon²⁾, Seung Oh Hur³⁾, Sang-Keun Ha³⁾, Nam Won Kim⁴⁾, Jae E Yang¹⁾, and Yong Sik Ok^{1)*} (¹⁾College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea, ²⁾Gangwondo Agricultural Research and Extension Services, Chuncheon 200-701, Korea, ³⁾National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-857, Korea, ⁴⁾Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea)

ABSTRACT: Water shortages are expected to be a major impact of climate change. This study examined the growth of Chinese cabbage seedling using reclaimed wastewater and waste nutrient solution as alternative irrigation resources. Generally, the concentration of nutrients, such as K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} and SO_4^{2-} , in waste nutrient solution was higher than that in wastewater. However, Chinese cabbage seedling irrigated with wastewater was supplied a higher concentration of Na^+ and Cl^- than waste nutrient solution. The growth of Chinese cabbage seedling irrigated with waste nutrient solution was similar or higher than those irrigated with groundwater as control, while the growth of those irrigated with wastewater was similar to those irrigated with groundwater. The total nitrogen uptake in Chinese cabbage seedling irrigated with groundwater, waste nutrient solution from organic and inorganic hydroponic cultures, and wastewater was 5.47, 10.02, 5.20, and 4.59 mg/plant, respectively. The nitrogen uptake of Chinese cabbage seedling irrigated with waste nutrient solution from organic hydroponic substrates in a 50% lower dose than recommended was 8.34 mg/plant, which is higher than that of the cabbage irrigated with groundwater. Overall, the results suggest that waste nutrient solution and wastewater can be used as alternate water resources, and can allow a reduction in the amount of fertilizer needed to raise Chinese cabbage seedling.

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

서 론

최근 지구온난화가 현실로 나타남에 따라 각 국가별로 태풍, 가뭄, 급격한 계절 변화 그리고 생태계 교란 등의 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 인간이 현재와 미래에서 사용할 수 있는 물과 에너지는 각종 연구사업의 핵심 키워드로 부각되었다. 특히 2025년이 되면 거의 모든 국가들이 물 부족을 겪게 되며 그 중 절반의 국가에서는 수자원 고갈을 맞을 것으

로 예측되고 있어 물 부족에 따른 대체용수 개발의 연구가 절실히 필요한 실정이다¹⁾.

특히 우리나라는 연평균 강우량 1,283 mm의 2/3가 6~9월에 집중되고 있으며 농업분야에서 사용되는 용수가 전체 수자원 이용량 309억 톤의 약 50%에 해당되는 149억 톤을 차지하고 있어 물 부족을 간과해서는 안 될 상황에 처해있다²⁾. 이는 생활용수 65억 톤과 공업용수 28억 톤을 합한 양보다도 1.6배가 많은 것으로 기상이변으로 인한 극심한 가뭄이 빈번히 발생하는 상황에서 농업용수원에 대한 근본적인 해결책 마련이 시급히 요구된다. 그러나 이를 해결하기 위한 방법으로 새로운 수자원을 개발하는 것은 많은 비용과 환경문제를 초래할 수 있어 대체 농업용수의 탐색이 하나의 대안으로

*연락처자:

Tel: +82-33-250-6443 Fax: +82-33-241-6640

E-mail: soilok@kangwon.ac.kr

†공동 제1저자

제시되고 있다. 일례로 신 등³⁾과 신 등⁴⁾은 경사지 밭토양 및 시설재배지 표면에서 발생하는 유기수를 농업용수로 활용할 것을 제안한 바 있다. 또한 옥 등⁵⁾은 국내에서 사용 가능한 대체용수로 폐양액 및 하수처리수를 제안하였는데 이는 대체수자원 확보에 따른 물 이용효율 증대라는 양적 측면뿐 아니라 폐양액의 수계 방류시 발생 가능한 부영양화 등의 환경문제를 경감할 수 있는 오염부하 저감 측면에서도 큰 관심을 가지게 한다^{6,7)}.

환경부⁸⁾에 의하면 2007년 현재 하수처리장 가동현황은 344개소에서 1일 23,273천톤의 하수가 처리되고 있으며 이중 1일 18,178천톤의 하수처리수가 발생하고 있다. 하수처리수의 재이용 범위는 농업용수, 조경용수, 공업용수, 지하수충전용수, 환경용수, 음용수 및 비 음용수로 구분할 수 있으며¹⁾ 2007년 현재 우리나라의 하수처리수 재이용률은 6.8%로 보고되고 있다. 지역별로는 인천광역시가 21.2%의 재이용률을 그리고 충청남도가 18.7%, 대구광역시가 16.8%의 재이용률을 나타내었으며 전체적으로는 발생하는 양에 비해 매우 적은 양만이 재이용되고 있음을 알 수 있다⁸⁾.

한편 우리나라의 시설재배 면적은 1998년 94,968 ha에서 2003년 100,400 ha로 증가하였으며⁹⁾ 이 중 양액재배 시설은 1993년 23 ha에서 2003년 811 ha로 급증하였다^{10,11)}. 2008년 국내 양액재배 면적은 총 1,107 ha로 이 중 채소류가 800 ha 그리고 화훼류가 307 ha를 차지하는 것으로 조사되었다¹²⁾. 그러나 양액재배가 증가됨에 따라 발생하는 폐양액의 양도 함께 증가하여 1997년에는 2000 m³/ha/yr를 초과한 것으로 그리고 2003년에는 1일 8,110 톤으로 매년 증가하는 추세에 있는 것으로 보고되고 있다¹³⁾. 폐양액으로 인한 환경오염을 최소화시키기 위해서는 순환식 양액재배 시스템을 이용하는 것이 바람직하나^{14,15)} 국내의 경우 순환식 양액재배 시스템을 도입하는 비용이 고가이고 이를 이용한 재배방법이 확립되어 있지 않아 대부분의 농가는 비 순환식 양액재배 시스템을 이용하고 있다. 이 경우 급액 후 버려지는 폐양액에 함유된 질소 및 인 등으로 하천의 부영양화를 초래할 가능성이 매우 높은 실정이다^{16,17,18)}. 이에 본 연구에서는 기후변화로 인해 발생될 수 있는 물 부족에 대응하기 위한 기초연구로 하수처리수와 폐양액을 대체용수로 이용할 때 배추 유묘 생육에 미치는 영향을 평가하였다.

재료 및 방법

관개용수 수집 및 분석

본 연구에서 이용한 관개용수는 춘천시 하수종말처리장에

서 방류하는 하수처리수와 춘천시에 위치한 강원도농업기술원 및 인근 농가의 토마토 재배지로부터 발생하는 폐양액을 채수하였다. 춘천시 하수종말처리장은 표준활성슬러지공정과 고도처리공정을 갖추고 있으며 1일 150천톤의 생활하수 처리 능력을 가지고 있다. 토마토 시설재배지는 유기배지(코코넛피트; coconut coir dust)로부터 발생하는 폐양액과 무기배지(암면)로부터 발생하는 폐양액으로 구분하여 채수한 후 각각의 영향을 평가하였다. 관개용수에 함유된 무기이온(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, NH₄⁺, Cl⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻)의 함유량은 Ion Chromatography(DX-120, Dionex, USA)를 이용하여 분석하였다.

배추 육묘

폐양액과 하수처리수 이용에 따른 작물의 생육 특성을 평가하기 위해 배추(*Brassica campestris* L.) 종자를 이용하였다. 배추 유묘용으로서 관행으로 사용되는 유비상토의 이화학적 특성은 Table 1과 같다. 실험에 이용된 상토는 농촌진흥청 상토분석법에 따라 pH, EC, CEC(1N ammonium acetate 법), NH₄-N과 NO₃-N(Kjeldahl 증류법), 유효인산(Lancaster 법)을 분석하였다. 분석결과 pH 6.6, EC 0.60 dS/m로 조사되었고 주요 비료성분으로 NH₄-N과 NO₃-N을 각각 200 mg/L, 유효인산은 150 mg/L을 포함하고 있었다¹¹⁾.

한편 폐양액 및 하수처리수로부터 공급되는 양분의 효과를 알아보기 위해 관행으로 이용하는 유비상토에 비료성분이 전혀 첨가되지 않은 무비상토를 1:1(w:w)의 비율로 혼합하여 양분함량이 기존 유비상토의 절반 수준이 되도록 한 상토를 제조하여 이후 두 종류의 상토 처리구를 비교 평가하였다. 관행상토와 관행의 1/2 수준으로 시비한 상토를 각각의 플러그 트레이 포트에 충전한 후 2008년 9월 27일에 배추 종자를 파종하였으며 30일 동안 하수처리수와 폐양액을 저면관수법으로 총 3회 공급하였고 이후 지하수를 이용하여 총 6회 공급하였다. 관개용수의 처리는 대조구로 관행상토에 지하수를 처리한 것(A), 유기배지와 무기배지로부터 발생하는 폐양액 처리구(C와 E), 하수처리수 처리구(G)로 구성되었다. 또한 과량의 양분을 포함한 폐양액에서 유발되는 양분공급 효과를 평가하기 위해 관행배지의 1/2 수준으로 시비한 상토에 대조구로서 지하수를 처리한 처리구(B)와 여기에 유기배지 폐양액을 처리한 처리구(D) 그리고 무기배지 폐양액을 처리한 처리구(F)를 설정하였다(Table 2).

하수처리수와 폐양액 공급에 의한 상토의 화학성 변화를 평가하기 위해 배추 유묘 재배 전후 pH 및 EC 변화를 관찰

Table 1. Selected chemical properties of nursery bed soil used in the experiment

pH	EC (dS/m)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CEC (cmol/L)
			(mg/L)		
6.6	0.60	200	200	150	15

Table 2. Treatments of different sources of irrigation water by two levels of fertilization

Treatments	Fertilization level	
	Conventional(100%)	50%
Groundwater (GW)	A	B
Waste nutrient solution from organic substrate (NS-OS)	C	D
Waste nutrient solution from inorganic substrate (NS-IS)	E	F
Reclaimed wastewater (WW)	G	-

Table 3. Selected chemical properties of different sources of irrigation water used in the experiment

Treatments	pH	EC	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
		dS/m					(mg/L)				
GW	7.0	0.2	8.1	ND ^a	3.9	5.6	38.3	10.1	15.4	ND	4.9
NS-OS	6.0	3.0	21.7	ND	401.6	110.5	244.2	56.2	394.6	61.9	284.9
NS-IS	7.0	1.0	14.7	ND	67.3	61.0	66.0	3.6	84.0	14.3	112.0
WW	7.4	0.5	52.3	9.2	12.6	6.8	48.1	63.4	21.6	1.6	8.1

Treatment codes are described in Table 2.

^a Not determined

하였다. pH와 EC는 풍건 상토 20 mL를 100 mL 삼각 플라스크에 취하고 증류수 100 mL을 첨가한 후 1시간 진탕하여 Whatman No. 2 여과지로 여과한 다음 pH meter(Orion 3-Star, Thermo Scientific, USA)와 EC meter(Orion 3-Star, Thermo Scientific, USA)를 이용하여 측정하였다¹⁹⁾.

생육조사

배추는 종자를 파종한 후 10일 간격으로 시료를 채취하여 생체중을 조사하였으며 이후 건조기에서 70°C로 48시간 건조하여 건물중을 측정하였다. 파종 30일 후 배추 유효를 수확하여 엽장, 엽폭, 엽수, 생체중 및 SPAD(SPAD 502 Meter, Minolta, Japan)를 측정하였고 건조시킨 이후 건물중을 조사하였다. 이후 건조된 식물 시료는 분말화하여 농촌진흥청의 토양 및 식물체 분석법에 따라 총질소(T-N), 총인(T-P) 및 양이온(Ca, Mg, K, Na) 함량을 분석하였다²⁰⁾. 총질소의 분석은 Kjeltec(Kjeltec 2400 Auto Analyzer, Foss Tecator, Sweden)으로, 총인은 UV Spectrophotometer(UVIKON XS, Secomam, France)로, 양이온 분석은 Inductively Coupled Plasma(ICP) Spectrometer(GBC Integra XL, GBS, Australia)을 이용하였다.

통계분석

통계분석은 SAS software Ver. 9.1(SAS, 2003)을 이용하여 ANOVA 검정을 실시함으로써 각 처리간 배추의 생장 및 양분 흡수 차이에 대한 통계적 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

관개용수의 특성

하수처리수와 폐양액 2종에 대한 pH, EC 및 무기 이온 농도를 Table 3에 나타내었다. 대조구로 이용한 지하수(GW)는 pH 7.0, EC 0.2 dS/m로 조사되었다. 유기배지에서 배출된 폐양액(NS-OS)의 pH는 6.0으로 나타나 대조구를 비롯한 다른 용수보다 낮았으며 EC 값은 3.0 dS/m로 가장 높은 수치를 나타내었다. 이는 유기배지로부터 과량의 수용성 이온이 발생되었기 때문인 것으로 판단되었다. 무기배지에서 배출된 폐양액(NS-IS)은 pH 7.0과 EC 1.0 dS/m로 지하수보다 EC 값이 5배 높았으며 하수처리수는 pH 7.4 그리고 EC 0.5 dS/m로 나타나 수처리 공정을 거치면서 EC 값이 감소된 것으로 판단된다. 유기배지로부터 확보한 폐양액의 EC 값이 높은 것은 NO₃⁻와 Cl⁻ 등의 무기 이온 농도가 지하수 및 하수처리수에 비해 상대적으로 높았기 때문이며 이는 농가에서 양액을 고농도로 조제하였기 때문인 것으로 판단되었다.

대체적으로 유기배지로부터 발생하는 폐양액은 무기배지로부터의 폐양액 또는 하수처리수와 비교해서 보다 많은 양분을 함유하고 있었다. 특히 NO₃⁻-N의 경우 394.6 mg/L을 함유하고 있었는데 이는 기존 폐양액 중 질소는 대부분 NO₃⁻-N으로 존재한다는 연구보고와 일치하는 결과이다¹³⁾. 한편 양액재배의 경우 공급되는 양액을 작물이 모두 흡수하지는 못하는데 일례로 질소는 공급 양액 중 57-67% 만을 이용하고 나머지는 배출되는 것으로 알려져 있어 인근 수계로

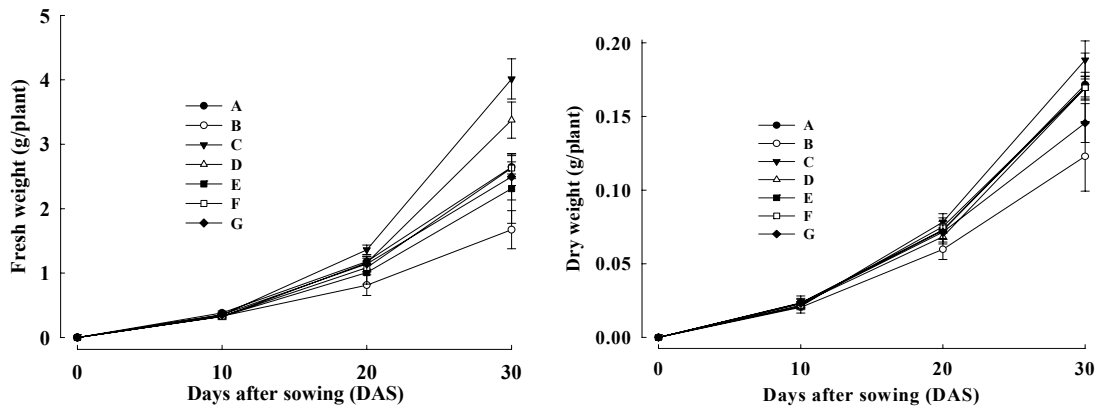


Fig. 1. Changes in fresh weight and dry weight of Chinese cabbage seedling by different sources of irrigation water treatments. Treatment codes are described in Table 4.

유입될 경우 수질오염의 원인이 될 수 있으므로 이에 대한 관리가 필요하다²¹⁾. 또한 관개수 중 SO_4^{2-} 가 다량 존재하는 경우에는 아연결핍을 초래할 수 있다고 알려져 있어 폐양액을 관개용수로 사용 시 주의를 요하며 현재 보고된 농업용수 수질기준 항목²²⁾에는 SO_4^{2-} 에 대한 기준이 없어 이에 대한 기준설정이 필요할 것으로 판단된다²³⁾. 한편 Na^+ 와 Cl^- 는 식물체에 흡수되는 양이 적고 토양에 과량으로 존재할 경우 식물의 삼투압을 상승시켜 뿌리의 흡수능력을 저해할 우려가 있다고 보고하였는데 하수처리수(WW)에서 Na^+ 과 Cl^- 함량이 다른 용수보다 높아 하수처리수의 이용시 주의를 요하는 부분으로 판단된다¹⁸⁾.

배추 묘의 생육특성 및 양분함량

배추묘의 생체중과 건물중의 변화를 조사하여 Fig. 1에 나타냈다. 생육초기에는 배추묘의 생육에서 각 처리 간 차이가 없었지만 파종 후 시간이 경과할수록 각 처리 간 유의성 있는 차이가 나타났다. 관행재배구의 유묘(A)와 비교하여 관행상토의 1/2 수준으로 시비한 처리구(B)에서 유묘의 생장이 37% 억제되었다. 무기배지로부터의 폐양액 처리구(E, F) 및 하수처리수 처리구(G)에서는 관행 유묘 재배구와 비슷한 수준으로 유의적 차이가 없었으나 유기배지로부터의 폐양액 처리구(C, D)에서는 배추의 생장이 가장 왕성하였다. 상토의 시비량을 1/2로 줄였음에도 불구하고 폐양액의 이용은 많은 양분을 함유하고 있어 대조구(A)와 비교하여 비슷하거나 오히려 생육을 촉진시켰다.

배추묘의 건물중은 관행재배구(A)와 비교하여 관행의 1/2수준으로 시비한 처리구(B)에서 약 29% 억제되었으며, 생체중 변화에서와 마찬가지로 양액재배로부터의 폐양액(C, D, E, F) 및 하수방류수(G) 처리구는 관행재배보다 높았다. 관행의 1/2 수준으로 시비한 상토에 유기배지로부터의 폐양액 처리구(D)는 배추묘의 건물중이 관행재배(A)와 차이가 없었는데 이는 폐양액으로부터 공급되는 양분이 기존상토 비료량의 1/2정도를 공급해 주는 것으로 판단된다.

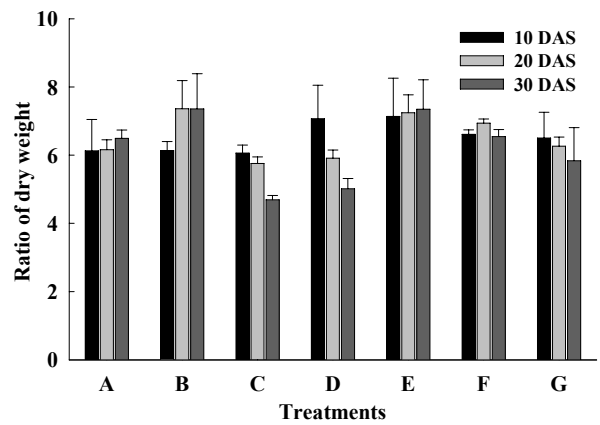


Fig. 2. Changes in ratio of dry weight of Chinese cabbage seedling by different sources of irrigation water treatments. Treatment codes are described in Table 4.

배추묘의 생체중에 대한 건물중을 환산한 건물률을 Fig. 2에 나타내었다. 관행재배(A)에서 파종 10일 후 6.1이었던 건물률은 시간이 경과할수록 증가하여 파종 30일째는 6.5에 달했고, 관행의 1/2 수준으로 시비한 처리구(B)에서는 파종 10일째에 6.1이었던 건물률이 파종 30일째에 7.4로 급격히 증가하였다. 양액재배지의 폐양액 처리구에서는 관행재배와 비슷한 경향을 나타낸 무기배지로부터의 폐양액 처리구(E)와는 달리 유기배지로부터의 폐양액 처리구(C)에서 시간이 경과할수록 건물률이 급격히 낮아지는 것을 확인할 수 있었으며 감소폭은 낮았으나 하수처리수 처리구(G)에서도 비슷한 경향이 관찰되었다.

관행의 1/2 수준으로 시비한 처리구(B)에서 생육기간 경과에 따른 건물률 증가는 상토 내의 양분이 배추묘가 자라는데 충분하게 공급되지 않아 나타나는 현상으로 판단된다. 반면 생육기간이 길어질수록 건물률이 현저히 감소한 유기배지로부터의 폐양액 처리구는 Table 2에서 보는 바와 같이 다량의 양분을 함유하고 있어 배추의 양분흡수를 촉진시켜 유묘

를 웃자라게 한 것으로 판단된다. 작물의 유효기에는 충분한 양분공급이 필요하지만 이 시기에 고농도에 대한 장해를 받기 쉬우므로 상토 중 양분의 함량을 너무 높이는 것은 바람직하지 않은 것으로 판단된다.

30일간 하수방류수와 폐양액으로 재배한 배추묘의 생장은 Table 4와 같다. 관행재배와 비교해서 관행의 1/2수준으로 시비한 상토에서 자란 배추묘에서 SPAD 값을 제외하고는 초장, 엽수, 엽장, 엽폭 값이 현저히 낮았다. 폐양액 처리구(C, D, E, F)에서는 대조구인 지하수 처리구(A)와 비교하여 배추의 생육이 유사하거나 촉진되었으며 하수처리수(G)를 처리한 배추에서도 대조구와 유의적인 차이는 없었다. 양액재배에서 배출된 폐양액 처리구로 상토의 시비량을 관행의 1/2 수준으로 처리한 처리구(D, F)에서는 초기 상토의 양분함량이 적었음에도 불구하고 관행재배(A)와 비교하여 배추의 생육이 처리간 차이가 없었으며 유기배지로부터의 폐양액을 이용하여 관행상토에서 육묘한 배추(C)는 생육을 촉진시키는

것으로 조사되었다. 이와 유사하게 조 등²⁴⁾은 하수처리수를 관개할 때는 이에 포함된 양분의 영향으로 일반 지하수 관개에 비해 작물의 모든 생육지표가 높게 나타난다고 하였는데 본 연구에서도 폐양액과 하수처리수에 함유된 양분으로 인해 지하수를 처리한 대조구(A)보다 폐양액(C, D, E, F)과 하수처리수(G) 처리구에서 생육지표가 높게 나타난 것으로 해석할 수 있었다. 특히 Table 2에서와 같이 유기배지로부터 배출된 폐양액에 많은 양분을 함유하고 있어 무기배지로부터 배출된 폐양액뿐만 아니라 다른 처리구에서보다 배추의 생육을 촉진시킨 것으로 판단된다.

폐양액 및 하수처리수를 이용하여 육묘한 배추의 생장과 양분 흡수량은 Table 5와 같다. 생체 생산량은 관행재배의 2.64 g과 비교해서 관행의 1/2 수준으로 시비한 처리구(B)의 배추 생장은 1.67 g으로 약 37% 억제되었다. 유기배지에서 배출된 폐양액(C) 처리구는 관행재배보다 배추의 생장을 약 52% 촉진하였으며 하수처리수 처리는 5% 억제시켰으나

Table 4. Growth parameters and SPAD values of Chinese cabbage seedling by different sources of irrigation water treatments

Treatments	Plant height (cm)	No. of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	SPAD
A	12.2 bc*	5.0 a	7.4 b	4.7 b	19.7 ab
B	8.5 d	4.0 b	5.4 c	3.7 c	20.0 ab
C	15.5 a	5.1 a	8.9 a	5.6 a	20.8 ab
D	13.2 b	5.0 a	7.9 ab	5.0 ab	21.0 a
E	11.2 c	5.0 a	7.1 b	4.7 b	20.5 ab
F	12.1 bc	5.0 a	7.3 b	4.8 b	19.6 ab
G	11.7 bc	4.9 a	7.3 b	4.7 b	19.4 b

A, Conventional fertilization (100%) with GW; B, Mixed nursery bed soil (w:w=1:1 (fertilized: non-fertilized)) with GW; C, Conventional fertilization (100%) with NS-OS; D, Mixed nursery bed soil (w:w=1:1 (fertilized: non-fertilized)) with NS-OS; E, Conventional fertilization (100%) with NS-IS; F, Mixed nursery bed soil (w:w=1:1 (fertilized: non-fertilized)) with NS-IS; G, Conventional fertilization (100%) with WW

*Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at P=0.05

Table 5. Fresh weight, dry weight and nutrient contents of Chinese cabbage seedling by different sources of irrigation water treatments

Treatments	FW	DW	T-N	P ₂ O ₅	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
	g/plant		mg/plant	μg/plant	----- mg/plant -----			
A	2.64 b*	0.17 ab	5.47 b	8.9 c	0.270 cd	0.785 bc	0.072 bc	0.319 ab
B	1.67 c	0.13 c	3.12 c	3.5 d	0.168 d	0.460 c	0.033 c	0.093 c
C	4.01 a	0.19 a	10.02 a	8.9 c	0.447 ab	1.533 a	0.094 b	0.368 ab
D	3.38 a	0.17 ab	8.34 a	9.6 bc	0.516 a	1.405 a	0.114 b	0.306 b
E	2.31 b	0.17 ab	5.20 b	13.9 abc	0.313 bcd	0.974 b	0.134 ab	0.346 ab
F	2.63 b	0.17 ab	5.25 b	15.6 a	0.422 ab	1.064 b	0.187 a	0.372 ab
G	2.49 b	0.15 bc	4.59 bc	14.4 ab	0.340 bc	0.835 b	0.122 b	0.525 a

Treatment codes are described in Table 4.

*Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at P=0.05

관행유묘와 동일한 수준이었다. 관행상토의 1/2수준 시비구로서 유기배지로부터의 폐양액(D) 처리구는 관행재배보다 배추의 생장을 28% 촉진시켰으며 무기배지로부터의 폐양액(F) 처리구에서는 관행재배와 비슷한 수준이었다.

육묘기간 동안 배추묘가 흡수한 질소(T-N)는 관행재배에서 5.47 mg/plant이었으며 유기배지와 무기배지로부터의 폐양액 처리구에서 각각 10.02 mg/plant, 5.20 mg/plant인 것으로 나타났다. 하수처리수 처리구에서는 배추의 질소 함량이 4.59 mg/plant으로 나타났다. 관행의 1/2 수준으로 시비하고 유기배지로부터의 폐양액(D)을 처리한 배추의 질소 흡수량은 8.34 mg/plant으로 관행재배보다 높은 것으로 나타나 폐양액 이용 시 육묘에 이용되는 비료의 사용을 줄여야 할 것으로 판단되었다.

한편 식물체 내 인산흡수량은 질소흡수량과 다른 경향을 나타내었다. 배추의 인(P_2O_5)함량은 관행재배에서 8.9 $\mu\text{g/plant}$ 로 나타났으며 $PO_4\text{-P}$ 형태로 다른 처리구보다 많이 함유되어 있던 유기배지로부터의 폐양액(C, D) 처리구에서도 관행재배와 비슷한 수준이었다. 반면 인 함량이 낮았던 무기배지로부터의 폐양액(E, F)과 하수처리수(G) 처리구에서 배추가 흡수한 인산 함량이 가장 높은 것으로 나타났다. 배추묘가 흡수한 양이온의 경우 관행재배에 비해 폐양액과 하수처리수 처리구에서 상대적으로 많은 양을 흡수하였다. 이는 관개용수의 특성과 부합되는 것으로 지하수에 비해 많은 양이온을 함유한 폐양액과 하수처리수를 사용하였기 때문인 것으로 판단된다.

폐양액과 하수처리수 처리에 따른 상토의 pH와 EC를 조사하여 Table 6에 나타냈다. 상토의 적정 pH 범위는 5.0-6.5로 보고되고 있으며^{25,26)}, EC의 적정 범위는 일반적으로 정식 전에는 0.5-0.9 dS/m이고, 정식 후에는 0.8-1.2 dS/m이 작물생육에 안정적이며 이는 식물에 따라 요구하는 적정 범위가 조금씩 다르게 나타난다²⁷⁾. 본 연구에 사용된 관행상토의 경우 pH는 적정범위보다 조금 높은 6.6 이었으며, EC 값은 0.60 dS/m로 적정범위에 포함되었다(Table 1).

Table 6. The pH and EC values of nursery bed soil by different sources of irrigation water treatments

Treatments	pH	EC (dS/m)
A	6.4 b*	0.194 cd
B	6.6 a	0.119 d
C	5.9 cd	0.684 a
D	6.0 c	0.539 b
E	5.8 d	0.680 a
F	5.8 d	0.627 ab
G	6.3 b	0.245 c

Treatment codes are described in Table 4.

*Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at $P=0.05$

관개용수 처리 후 각 처리구별 pH와 EC 값을 보면 관행 육묘한 처리구(A, B)에서는 처리 전 pH인 pH 6.6에 비해 큰 변화가 없었지만 EC의 경우 처리 전(0.6 dS/m)에 비해 상당히 낮아진 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과는 하수처리수(G) 처리구에서도 비슷한 경향이 나타났다. 그러나 양액재배로부터의 폐양액(C, D) 처리구에서는 pH가 낮아졌고 EC 값은 크게 변하지 않았다. 관행재배에서는 배추가 성장하면서 상토에 있는 무기이온을 흡수하여 EC 값이 낮아진 것으로 판단되며 양액재배로부터의 폐양액 처리구에서는 공급되는 용수에 다량의 양분이 포함되어 있어 이것을 배추가 흡수하더라도 상토 내 양분의 일부가 축적되어 EC 값이 크게 감소하지 않은 것으로 판단된다. 박 등¹¹⁾의 연구에 의하면 폐양액을 토양에 투여시 폐양액 중 함유된 무기 염류가 토양에 흡착되거나 집적되어 폐양액 처리 전보다 염농도가 증가한다고 보고하였다.

요 약

기후변화로 인해 발생될 수 있는 물 부족 현상에 대응하기 위하여 기존 농업용수에 대한 대체용수로 하수처리수 및 폐양액의 재이용이 유식물 생장에 미치는 영향을 평가하였다. 하수처리수와 폐양액에 대한 수질분석결과 유기배지로부터의 폐양액은 무기배지로부터의 폐양액 및 하수처리수와 비교해서 보다 많은 양분을 함유하고 있었으며 하수처리수에서는 Na^+ 과 Cl^- 함량이 다른 용수보다 높은 것으로 나타났다. 배추묘의 생육은 폐양액 처리구에서 대조구인 지하수 처리구에 비해 유사하거나 촉진되었고 하수처리수 처리구에서는 대조구와 비슷하게 나타났다. 육묘기간 동안 배추묘가 흡수한 질소는 관행재배에서 5.47 mg/plant 이었으며, 유기배지와 무기배지로부터의 폐양액 처리구에서 각각 10.02 mg/plant, 5.20 mg/plant인 것으로 나타났다. 하수처리수 처리구에서는 배추의 질소함량이 4.59 mg/plant으로 나타났다. 관행의 1/2 수준으로 시비하고 유기배지로부터의 폐양액을 처리한 배추의 질소 흡수량은 8.34 mg/plant으로 관행재배보다 높은 것으로 나타나 폐양액 이용 시 육묘에 이용되는 비료의 사용을 줄여야 할 것으로 판단된다. 한편 배추의 인 함량은 관행재배에서 8.9 $\mu\text{g/plant}$ 로 나타났으며 유기배지로부터의 폐양액 처리구에서도 관행재배와 비슷한 수준이었다. 반면 인 함량이 낮았던 무기배지로부터의 폐양액과 하수처리수 처리구에서 배추가 흡수한 인산 함량이 가장 높은 것으로 나타났다. 배추묘가 흡수한 양이온의 경우 관행재배에 비해 폐양액과 하수처리수 처리구에서 상대적으로 많은 양을 흡수하였다. 이상의 결과로부터 선정된 폐양액 및 하수처리수에 대한 농업용수로서의 재이용 가능성을 확인할 수 있었으며 향후 현장실험을 통해 작물의 생육특성 및 생산량 평가를 실시하고 대체용수 사용에 따른 환경영향을 평가하는 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2008년 농업과학기술개발공동연구사업 “물 부족을 대비한 물 절약형 농업기술 개발” 중 “대체용수 사용에 따른 작물생육 및 환경영향 평가 연구”의 지원으로 수행되었습니다. 시료의 기기분석은 강원대학교 공동실험실습관에서 수행되었습니다.

참고문헌

- Kim, I. S. and Oh, B. S. (2008) Technologies of seawater desalination and wastewater reuse for solving water shortage, *J. Korean Soc. Environ. Eng.* 30, 1197-1202.
- Korea Water Resources Corporation. (2001) Water management statistics - year 2001. p. 5-7.
- Shin, J. D., Lee, J. S., Jung, G. B., Jung, K. H., Kim, W. I., Kim J. H., Yun, S. K. and Park, S. D. (2003) Development of run-off reuse technology in cultural complex with the plastic film house, National Academy of Agricultural Science (<http://www.naas.go.kr>).
- Shin, J. D., Lee, J. S., Huh, S. O., Jung, G. B., Kim, W. I., Yun, S. K. and Kim, J. K. (2003) Development of run-off water reuse technology in the sloped land, National Academy of Agricultural Science (<http://www.naas.go.kr>).
- Ok, Y. S., Hong, K. C., Choi, B. S., Hur, S. O. and Ha, S. K. (2009) Waste nutrient solution treatment and reuse for agriculture application, Korea Patent 10-2009-0030893.
- Jung, K. W., Yoon, C. G., An, Y. J., Jang, J. H. and Jeon, J. H. (2004) Microbial risk assessment in treated wastewater irrigation on paddy rice plot, *Korean J. Limnol.* 38, 225-236.
- Cho, J. Y., Park, S. W., Son, J. G., Park, B. J. and Lee, G. L. (2006) Growth response and total coliform distribution of spinach and chinese cabbage and soil quality by irrigation of domestic wastewater, *KSRP.* 12, 57-64.
- Ministry of Environment (2007) Statistics of sewerage, p. 12.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (2004) Agricultural and forestry statistical year book, Gyeonggido, Korea, p. 1-316.
- Yang, J. C., Chung, H. K., Lee, H. S., Choi, S. J., Yun, S. S., Ahn, K. S. and Sa, T. M. (2004) Selection of filamentous cyanobacteria and optimization of culture condition for recycling waste nutrient solution, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37, 177-183.
- Park, C. J., Yang, J. E., Kim, K. H., Yoo, K. Y. and Ok, Y. S. (2005) Recycling of hydroponic waste solution for red pepper (*Capsicum annuum* L.) growth, *Kor. J. Environ. Agric.* 24, 24-28.
- Rural Development Administration. (2008) Current status of hydroponics - year 2008.
- Park, W. Y., Seo, D. C., Lim, J. S., Park, S. K., Cho, J. S., Heo, J. S. and Yoon, H. S. (2008) Optimum configuration, filter media depth and wastewater load of small-scale constructed wetlands for treating the hydroponic waste solution in greenhouses, *Kor. J. Environ. Agric.* 27, 217-224.
- Wohanka, W. 1993. Slow sand filtration and UV radiation: low-cost techniques for disinfection of recirculating nutrient solution or surface water, *In* In proceedings of the 8th international congression soil-less culture, hunter's rest, South Africa. ISOSC, Wageningen, Netherlands, p. 497-511.
- Lee, S. Y., Lee, S. J., Seo, M. W., Lee, S. W. and Sim, S. Y. (1999) Reusing techniques of nutrient solution for recycling hydroponic culture of lettuce, *J. Bio-Env. Con.* 8, 172-182.
- Hollen, B. F., Owens, J. R. and Sewell, J. I. (1992) Water quality in a stream receiving dairy feedlot effluent, *J. Environ. Qual.* 11, 5-9.
- Sharpley, A. N., Chapra, S. C., Wedepohl, R., Sims, J. T., Aaniel, T. C. and Reddy, K.R. (1994) Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options, *J. Environ. Qual.* 23, 437-451.
- Lee, G. J., Kang, B. G., Lee, K. Y., Yun, T., Park, S. G. and Lee, C. H. (2007) Chemical characteristics of ground water for hydroponics and waste nutrient solution after hydroponics in Chungbuk area, *Kor. J. Environ. Agric.* 26, 42-48.
- Rural Development Administration (2002) Standard analysis of substrate, NIAST, Suwon.
- Rural Development Administration (2000) Analyses of soil and plant, NIAST, Suwon.
- Uronen, K.R. (1995) Leaching of nutrients and yield of tomato plants grown in closed hydroponic systems development on the EC-level, *Acta Hort.* 401, 443-449.

-
22. Ministry of Environment (2007) Wastewater reuse guidebook, p. 42.
 23. Lee, J. S., Jung, G. B., Kim, Jung, J. H. Kim and Kim, B. Y. Kim. (1998) Irrigation water quality of the Kyoungan stream, *Kor. J. Environ. Agric.* 17, 136-139.
 24. Cho, J. Y., Park, S. W., Son, J. G., Park, B. J. and Lee, Y. G. (2006) Rice growth response and soil quality by domestic wastewater irrigation on rice paddy field - lysimeter experiment -, *KSRP.* 12, 49-56.
 25. Lemaire, F. (1995) Physical, chemical and biological properties of growing medium, *Acta Hort.* 396, 273-284.
 26. Allaire, S. E., Caron, J., Duchesne, I., Parent, L. E. and Rioux, J. A. (1996) Air filled porosity, gas relative diffusivity, and tortuosity: Indices of *Prunus xcistena* sp. growth in peat substrate, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121, 236-242.
 27. Fonteno, W. C. (1996) Growing media: Types and physical and chemical properties, In: D. W. Reed (ed.). *Water, media, and nutrition for greenhouse crops.* Ball Publishing, Batavia, Illinois, USA, p. 93-122.
-