

비순환식 양액재배에서 발생하는 폐양액, 폐배지, 폐작물이 환경에 미치는 영향

박병록^a, 조홍목^b, 김민상^{ct}

Environmental impact of hydroponic nutrient wastewater, used hydroponic growing media, and crop wastes from acyclic hydroponic farming system

Bounglog Park^a, Hongmok Cho^b, Minsang Kim^{ct}

(Received: Feb. 18, 2021 / Revised: Mar. 4, 2021 / Accepted: Mar. 8, 2021)

ABSTRACT: Hydroponic farming is a method to grow a plant without soil. Plants can be grown on water or hydroponic growing media, and they are fed with mineral nutrient solutions, which are fertilizers dissolved into water. Hydroponic farming has the advantage of increasing plant productivity over conventional greenhouse farming. Previous studies of hydroponic nutrient wastewater from acyclic hydroponic farms pointed out that hydroponic nutrient wastewater contained residual nutrients, and they were drained to a nearby river bank which causes several environmental issues. Also, previous studies suggest that excessive use of the nutrient solution and disposal of used hydroponic growing media and crop wastes in hydroponic farms are major problems to hydroponic farming. This study was conducted to determine the impact of hydroponic nutrient wastewater, used hydroponic growing media, and crop wastes from acyclic hydroponic farms on the surrounding environment by analyzing water quality and soil analysis of the above three factors. Three soil cultivation farms and several hydroponic farms in the Gangwon C region were selected for this study. Samples of water and soils were collected from both inside and outside of each farm. Also, a sample of soil and leachate from crop waste piles stacked near the farm was collected for analysis. Hydroponic nutrient wastewater from acyclic hydroponic farm contained an average of 402 mg/L of total nitrogen (TN) concentration, and 77.4 mg/L of total phosphate (TP) concentration. The result of TP in hydroponic nutrient wastewater exceeds the living environmental standard of the river in enforcement decree of the framework act on environmental policy by 993.7 times. Also, it exceeds the standard of industrial wastewater discharge standards under the water environment conservation act by 6~19 times in TN, and 2~27 times in TP. Leachate from crop waste piles contained 11,828 times higher COD and 395~2662 times higher TP than the standard set by the living environmental standard of the river in enforcement decree of the framework act on environmental policy and exceeds 778 times higher TN and 5 times higher TP than the standard of industrial wastewater discharge standards under the water environment conservation act. For more precise studies of the impact of hydroponic nutrient wastewater, used hydroponic growing media, and crop wastes from acyclic hydroponic farms on the surrounding environment, additional information regarding a number of hydroponic farms, arable area(ha), hydroponic farming area, seasonal, weather, climate factor around the river, and the property of the area and farm is needed. Analysis of these factors and additional water and soil samples are needed for future studies.

Keywords: Acyclic Hydroponics, Waste Nutrient Solution, Waste Substrate, Waste Crops

^a 동국대학교 산학협력단 산학협력교수(Industry-Academic Cooperation Visiting Professor, Industry-Academic Cooperation Foundation, Dongguk University)

^b 동국대학교 바이오환경과학과 박사과정(Ph.D Student, Department of environmental science, Dongguk University)

^c 동국대학교 바이오환경과학과 석사과정(Master Student, Department of environmental science, Dongguk University)

† Corresponding author(e-mail: kminsang1234@gmail.com)

초록 양액재배는 기존 비닐하우스 안의 토양재배 방식에서 물이나 배지에 작물을 심고 생육에 필요한 양분(비료)을 녹인 양액을 공급하여 재배하는 방식으로 기존 시설재배 방식에서 영농기술이 발전하여 양액재배는 작물의 생산성을 극대화할 수 있는 큰 장점을 가지고 있다. 본 연구는 폐양액이 다량의 비료 물질을 함유하고 있기에 하천으로 유입되면 인근 하천을 오염시키며, 양액재배에 사용되고 폐기되는 폐배지, 폐작물의 처리에 대한 문제점을 제시하고 있다. 또한, 처리시 처리비용의 발생과 현재 국내 양액재배 농장의 대부분이 비순환식 양액재배 시스템을 사용하여 배출되는 양액의 잔여비료로 인한 환경오염 및 비료의 불필요한 과다 사용 문제점을 지적하는 선행연구를 바탕으로 사전조사와 실험을 진행하였다. 현재 양액재배 비순환식 시스템 재배방식 농장에서 발생하는 폐양액, 폐배지, 폐작물이 농장 주변 환경에 미치는 영향을 수질, 토양분석 결과 수치를 통해 규명하고자 현장자료 연구를 진행하였다. 현장 수질, 토양분석을 위해서 지역별 양액재배 5개 농가의 작형, 양액재배 시스템을 확인하였으며, 강원 C지역 토경재배 3개 농가의 작형, 양액재배 시스템 농장 현장을 방문하여 농장의 시설내·외부 수질, 토양 샘플을 채취하였다. 추가적으로 폐작물 야적지에서 발생하는 침출수 및 토양샘플을 채취하여 수질, 토양분석을 하였다. 연구 결과 비순환식 시스템 재배방식 농장에서 발생하는 폐양액의 평균 total nitrogen(TN) 농도는 402 mg/L 이었고, total phosphate(TP)의 경우 77.4mg/L 이었으며, 이는 환경정책기본법 시행령상 하천의 생활환경 TP기준 993.7배 초과한 수치였다. 또한, 물환경보전법의 산업폐수 배출기준 TN기준 6-19배, TP기준 2-27배 초과한 수치결과를 확인하였다. 폐작물 야적지에서 발생된 침출수의 경우 환경정책기본법 시행령상 하천의 생활환경 COD 기준 11,828배 초과, TP기준 395-2663배 초과한 수치이며, 물환경보전법의 산업폐수 배출기준 TN기준 788배, TP기준 5배 초과한 수치결과를 확인하였다. 비순환식 양액재배에서 발생하는 폐양액, 폐배지, 폐작물이 환경에 미치는 영향에 대한 더 정밀한 연구를 위해 전국 양액재배 농가수(호), 재배면적(ha)를 기준으로 하여 양액재배면적이 넓은 지역 도출해내어야 한다. 이를 통해 넓은 지역의 양액재배 시설 주변 소하천을 중심으로 계절적 요인, 기후 요인, 날씨 요인, 재배면적, 재배지역, 농가 재배특성 등의 다양한 요인을 고려한 수질 및 토양 샘플링 채취와 분석에 관한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

주제어: 비순환식 양액재배, 폐양액, 폐배지, 폐작물

1. 서론

정부는 시설원예농업을 경쟁력 있는 자본, 기술 집약산업으로 육성하고 시설현대화를 위해 1994년부터 농어촌발전대책의 일환으로 ‘원예 산업 경쟁력 제고 대책’을 추진하여 계절과 관계없는 연중 공급체제로 발전하면서 시설재배에서 생산하는 농산물이 다양화되고 생산면적이 확대되면서 소비자들은 언제나 신선한 농산물을 구할 수 있게 되었으며 시설재배 농가들은 지속적인 생산을 통한 소득증대로 이어졌다.

양액재배는 기존 비닐하우스 안의 토양재배 방식에서 물이나 배지에 작물을 심고 생육에 필요한 양분(비료)을 녹인 양액을 공급하여 재배하는 방식으로 기존 시설재배 방식에서 영농기술이 발전하여 양액재배는 작물의 생산성을 극대화할 수 있는 큰 장점을 가지고 있다.

양액재배는 1990년대 초중반부터 시작되었으며,

1992년 13.2ha에 이르던 양액재배 면적은 '15년 재배농가수 4,024호, 재배면적 1,665ha '17년 재배농가 6,560호, 재배면적 2,811h로 재배농가수와 재배면적이 크게 증가하였으며 2010년 이후부터 매년 약 300ha씩 증가하였고 시설재배 중 특히 양액재배 면적은 2019년 기준 시설재배 면적 5만 4,443ha 중 6.7%인 3,696ha 차지하고 있다¹⁾.

농림축산식품부는 2018년 4월 스마트팜 확산방안을 통해 2022년까지 전국에 스마트팜 혁신 벨리 4개 지역을 조성한다는 계획을 밝혔고 1·2차 공모를 거쳐 경북 상주(42.7ha), 전북 김제(21.3ha), 경남 밀양(22.1ha), 전남 고흥(33.3ha) 등 4곳을 선정하였다. 스마트팜(양액재배 중심의 지능형 농업)은 정부의 8대 혁신성장 선도사업으로 생산·유통시설을 집적화한 스마트팜 단지를 조성하고 농업에 4차 산업혁명 기술(사물인터넷, 빅데이터, 인공지능)을 접목하여 고령화에 따른 농촌 일손 부족을 메우고 유능한 청년을 농업으로 유인하고 시설을 현대화하는 종합

대책을 추진하고 있다. 따라서 정부가 추진하는 스마트팜 혁신 벨리 조성정책을 통해 향후 양액재배 면적과 생산 비율이 대폭 증가할 것으로 예상된다.

시설 재배면적의 급증과 더불어 재배 유형이 다양화되었고, 소비자에게 빠른 공급, 농가소득증대에 기여한 바가 크다. 그러나 시설 원예작물의 생산성 증대를 위한 각종 비료와 가축분 퇴비의 무분별한 사용과 작물의 연작은 토양 내 염류 집적을 초래한다. 그 결과물에 의한 염류의 용탈은 지하수의 오염을 가속화시키고 있는 실정이다. 이는 토양 내 축적된 염류의 성분 중 음전하를 띤 성분은 토양 내 잔류성이 적고, 이동성이 크므로 지하수 오염으로 직결된다. 이들 성분 중 일부는 영양염류로서 비점오염원의 잠재성을 지니게 된다²⁾.

양액 재배시 보다 안정적인 작물재배와 폐양액을 재사용하기 위한 기초적인 자료를 얻고자 충주, 보은, 진천 지역의 양액재배농가에서 원수로 사용하는 지하수의 수질 및 작물재배 후 버려지는 폐양액의 양분함량을 조사한 결과, 폐양액의 EC는 0.86, 1.87 dS/m으로 원수보다 상당히 높아졌고, NO₃-N, Ca²⁺, K⁺의 경우는 조사 지역과 계절에 따라 심한 차이가 있었지만, 평균적으로 높은 함량을 보였다. 버려지는 폐양액에는 비료 물질을 다량 함유하고 있으므로, 영양염류가 직접 하천으로 흘러 들어갈 경우, 하천오염을 초래할 것이다³⁾.

양액재배에 이용되고 있는 식물재배용 배지인 암면(rockwool), 코이어(coir), 펄라이트(perlite) 등은 전량 외국의 수입에 의존하고 있어 경영비에 높은 비중을 차지하고 있음에도 불구하고 대부분 사용 후 방치되거나 버려지는 실정이고 암면(휘록암, 석회암 및 코크스를 섞어서 1,600°C에서 용해시킨 후 솜반죽 모양으로 섬유화시킨 것이며, 암면 Slab, Cube, Mat는 이를 압축 열처리하여 성형시킨 것임)은 부피가 크고 연소되거나 부패되지 않으며 인체에 암을 유발할 수 있다는 오해로 인하여 양액재배에 이용된 후 폐기에 심각한 문제점과 폐배지의 처리에도 상당한 경영비의 부담이 문제가 되고 있다⁴⁾.

국내 양액재배 농가의 대부분은 비순환식 양액 공급 방식으로 배출되는 양액의 잔여비료 성분으로 인한 환경오염 및 비료의 불필요한 과다 사용 문제점을

안고 있다. 비순환식 수경재배에 따른 연간 환경부하량은(300일 재배, 30% 방출시 추정) 물 6,000톤/ha, 질소 10톤/ha, 인 1톤/ha, 탄소 배출량 3,285톤/ha이다. 순환식 수경재배 비율은 네덜란드 95%, 일본 45%, 한국 5% 미만이고, 유럽과 일본은 폐양액의 배출을 철저히 규제하고 있다.⁵⁾

특히 양액재배의 경우 비료 성분이 함유된 양액을 사용함으로써 작물이 미처 흡수하지 못하고 남은 양액이 시설물 외부로 다량 배출될 때 소하천, 인근 강의 수질오염과 폐배지, 폐작물의 침출수로 인한 토양오염 등의 환경오염을 발생시킬 가능성이 높다. 환경부에 의하면 토양재배의 연간 인 배출량은 전과 답이 각각 87.6, 222,7kg/km²인 반면, 양액재배의 경우 100,000kg/km²에 이르는 것으로 나타났다⁶⁾.

이에 본 연구는 전국의 양액재배 농가 중 파프리카를 재배하는 재배작형별 농가(여름작형, 겨울작형), 양액을 1회 사용하고 배양하는 비순환식 시스템과 양액을 재배기간 동안 재활용하는 순환식 시스템을 사용하는 농가, 양액과 토경이 혼합된 토경재배 농가들을 비교 대상으로 하여 양액재배 농가의 협조를 받아 폐양액, 폐배지, 폐작물이 수질, 토양 환경에 얼마나 영향을 주는지 현황을 조사하고 실태를 분석하여 문제점 도출 및 파악을 하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 수질, 토양환경 조사 지역 선정

Table 1과 Table 2의 지역에 있는 양액재배 농장 현황을 기반으로 수질, 토양 오염도 조사에 대한 협조가 가능한 농장을 대상으로 기본적인 시설, 작형의 종류, 양액재배 시스템 등에 관한 기본조사를 실시하였다. 이러한 데이터들을 통해서 지역, 시설의 형태 등에 따라 시료의 채취 및 취합이 가능한 양액재배 농장을 조사지역으로 선정하였다.

조사지역 선정 이후에는 직접 지역의 농장 현장을 방문하여 시설내 양액주입라인, 슬라브, 시설 내부의 토양, 시설 외부의 폐양액 유출라인, 하천 합류

Table 1. Hydroponics and Cropping Systems of the Five Farms by Region

지역	농장명	작형	양액재배 시스템
경기 K	H 농장	여름작형	비순환식
강원 C	J 농장	여름작형	비순환식
전북 K	A 농장	겨울작형	비순환식
	C 농장	겨울작형	순환식
경남 J	S 농장	겨울작형	비순환식

Table 2. Hydroponics and Cropping Systems of Three Soil Cultivating Farms in Gangwon C

지역	농장명	작형	양액과 토경이 혼합된 재배
강원 C	K 농장	여름작형	토경재배
	N 농장	여름작형	토경재배
	L 농장	여름작형	토경재배

지점 등 시설내·외부의 조사할 포인트들을 현장에서 확인하고 각각의 포인트에서 수질과 토양의 시료를 채취하여 분석하였다.

2.2. 수질, 토양환경 조사체계

Fig. 1의 지역에 있는 양액재배 농장 현황조사를 바탕으로 선정한 지역 농장의 작형 종류, 양액재배 시스템 유형별 오염 물질 배출특성 파악, 현장 양액재배 농장 조사시 수질(양액 및 폐양액) 및 토양 시료 채취 후 분석, 토경재배(양액과 토경이 혼합된 재배)의 토양 오염도를 확인하기 위해 강원 C 지역 토경재배 농장 3곳에서 토양 시료 채취 후 분석, 폐작물 발생 및 처리 현황 등의 확인을 위해 노지에 야적된 폐작물의 침출수 및 토양 시료 채취 후 분석 등의 프로세스로 조사 및 분석을 수행하였다.

수질 조사 및 평가는 동국대학교 환경미생물 응용연구실에서 기본적인 성상 분석을 진행하였고, 자체적으로 시험이 어려운 항목과 토양에 대한 분석은 외부기관에 분석을 의뢰하였다. 분석을 통해 얻은 결과는 농장의 양액재배 환경과 하천으로 유입되는 오염도 평가를 진행하였고, 현장 양액재배 농장 조사를 통해 얻은 분석 데이터를 이용해 양액과 토경이 혼합된 재배 방식인 토경재배 농장, Fig. 2의 작형이 끝난 뒤 노지에 야적된 폐작물 등과 비교분석을 통해 지역별 양액재배 조사 농장의 수질, 토양의 오염도의 차이를 확인하였다.

2.3. 수질검사(양액, 폐양액, 하천 합류 지점)

파프리카 양액 재배 과정에서 나오는 수질과 화학적 특성을 알아보기 위해 최초 주입되는 양액과 재배 후 배출되는 폐양액, 그리고 폐양액들이 하천과 합류하는 지점으로 총 3개의 종류의 시료를 채취하여 분석을 실시하였다. 수질을 판단하는데 가장 기본적인 항목인 pH, EC, COD, SS, T-N, T-P, 와 양액 주입으로 발생하는 질소에 대해서는 자세한 항목으로 나누어 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, 을 조사하였다. 양이온으로는 Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ 를 측정하였으며, 인을 포함한 음이온으로는 $\text{PO}_4\text{-P}$, SO_4^{2-} , Cl^- 을 수질 오염 공정 시험법과 Standard method에 준하여 분석하였다.

2.4. 토양검사(슬라브 하단, 하천 합류 지점, 폐작물 야적 지점)

폐양액의 유출로 인해 폐양액의 유기물과 무기염류의 축적이 예상되는 지점인 파프리카 재배용 슬라브 하단의 토양과, 하천과 폐양액이 합류하는 지점의 토양 두 개의 시료를 채취하여 인근 토양 오염을 분석하였다. 수질과 마찬가지로 pH, EC를 각각 pH meter와 ECmeter로 측정하고, T-N, T-P, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 과 이온 형태로 존재하는 Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^- 에 대해 분석하였다. 모든 분석 과정은 수질 오염 공정 시험법과 토양 오염 공정 시



Fig. 1. Investigation point of inside and outside of facility, and river confluence point of hydroponic farms by region.



Fig. 2. Crop wastes piled on field (Gyeonggi-do K, Jeollabuk-do C).

험법에 따라 수행되었다.

파프리카 양액 재배와 관련된 시료 채취 직후 측정 가능한 수질에 대한 항목 중 pH와 COD, T-N, T-P는 동국대학교 환경미생물 응용연구실에서 실시하였다. 분석에 사용된 기기는 COD, T-N, T-P 분석 키트(Humas, South Korea), 흡광도 측정 원리를 이용하는 UV spectrophotometer(Think HS 3300, Humas, South Korea)와 수소 이온 농도를 측정하는 pH meter (Orion star A211, Thermo scientific, United state of

America)를 사용하였다.

동국대학교 환경미생물응용 연구실에서 진행하기에 제한적인 수질과 토양에 대한 오염 분석은 서울대학교 농생명과학 공동기기원 (NICEM)에서 의뢰하여 분석하였다. 토양 수질 전문 분석 기기실에서 질소, 음이온, pH, 전기전도도(EC), 부유물질(SS), 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소 요구량(COD), 총유기 탄소(TOC)를 액체 크로마토그래피(HPLC)와 질소 자동 분석기를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 지역별 양액재배 5개 농장의 수질분석 결과

Table 3의 지역별 양액재배 5개 농장의 수질 분석 결과를 살펴보면 양액주입 라인을 통해 주입되는 양액의 경우 지역별 양액재배 농장 간의 차이가 조금씩 존재했지만, 비슷한 조성을 가진 것으로 나타났으며 슬라브를 통해 나오는 폐양액의 경우 비순환식, 순환식 양액재배 시스템의 재배방식과 관계없이 모두 높은 EC, TN, TP 수치 결과를 나타내고 있는 것을 확인하였다. 하천 합류 지점에서 측정된 수질은 폐양액의 유입으로 적정 수질에 비해 높은 오염도를 보였다.

3.2. 지역별 양액재배 5개 농장의 폐양액 성상 분석 결과

Table 4의 지역별 양액재배 5개 농장의 폐양액 성상 분석 결과를 살펴보면 양액재배 비순환식 시스템을 사용하는 농장의 경우 EC는 평균 4.7, TN는 평균 402.0, TP는 평균 77.4 수치를 나타내며 하천의 생활환경기준 COD 기준으로 4.4 ~ 69.8 배 초과, TP 기준으로 993.7 배 초과하고 있으며 산업폐수 배출 시설 배출허용기준 TN 기준으로 6 ~ 19배, TP 기준으로 2 ~ 27배 초과하고 있음을 확인하였다.

3.3. 폐작물 야적지 침출수 성상 분석 결과

Table 5의 지역 노지에 야적된 폐작물에서 발생한

Table 3. Result of the Water Quality Analysis in Five Hydroponics Farms

지역	pH	EC (dS/m)	BOD	COD	TN	TP	(mg/L)							
							PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₃	Ca	Mg	K	
H농장	양액주입 라인	6.50	2.09	1.70	27.88	254.40	15.90	32.30	305.00	195.00	9.23	180.31	28.78	206.92
	슬라브 폐양액	5.63	6.11	2.10	40.93	553.20	106.50	112.30	964.00	778.00	0.20	549.65	114.44	503.22
	저류조	6.70	0.85	2.80	89.87	58.30	61.20	8.50	87.40	70.50	1.86	63.13	14.32	58.21
	하천 합류	7.06	0.48	1.60	155.57	6.60	0.30	5.80	84.00	5.74	1.31	39.86	5.89	8.19
J농장	양액주입 라인	7.02	1.24	2.40	91.61	100.20	15.20	16.80	126.20	107.30	6.11	110.59	19.97	80.34
	슬라브 폐양액	5.96	3.56	2.30	217.56	357.20	57.80	90.70	490.50	461.25	0.20	372.35	99.11	205.89
	하천 합류	5.98	3.03	1.60	21.40	282.40	49.60	56.10	606.80	378.25	0.52	286.39	77.17	170.29
C농장 (순환식)	저류조	6.48	4.14	1.90	33.16	270.00	21.40	24.30	1311.50	309.00	3.18	438.46	83.76	80.89
	폐양액 (살균후)	6.41	4.34	2.30	17.49	379.80	15.80	20.80	1217.50	417.50	6.52	490.42	92.62	90.82
	하천 합류	6.57	3.51	2.40	38.64	264.10	43.40	48.60	1066.00	321.50	0.91	358.77	113.15	100.65
A농장 (비순환식)	양액주입 라인	5.87	2.62	4.30	29.03	232.70	42.00	44.10	408.60	238.20	13.32	185.28	43.47	235.77
	슬라브 폐양액	6.71	4.42	2.60	279.10	340.30	55.40	50.40	2122.50	438.75	6.45	487.38	166.28	37.94
	하천 합류	6.17	3.64	2.80	39.43	283.40	46.20	56.50	997.00	304.50	0.14	368.98	117.04	100.32
S농장	양액주입 라인	6.26	2.97	3.30	17.07	237.10	73.00	77.10	632.40	243.60	11.09	205.06	59.10	332.46
	폐양액 (저류조)	6.24	4.74	2.20	28.20	357.20	90.00	96.70	1163.00	446.25	8.26	384.46	127.51	452.09
	하천 합류	6.29	0.49	1.60	3.93	10.60	6.60	7.37	N.D.	9.24	2.83	13.68	3.37	18.95

침출수의 성상 분석 결과를 살펴보면 하천의 생활 환경 기준 COD 기준으로 11,828 배, TP 기준으로 395 ~ 2663 배 초과하고 있으며 수질오염배출 시설 배출허용기준 TN 기준으로 788 배, TP 기준으로 5 배 초과하고 있음을 확인하였다.

3.4. 지역별 양액재배 5개 농장, 강원 C 지역 토경재배 3개 농장, 폐작물 야적지의 토양분석 결과

Table 6의 지역별 양액재배 5개 농장의 토양분석 결과를 살펴보면 일반적으로 토양 화학성의 적정 범

Table 4. Analysis Result of Hydroponic Nutrient Wastewater in Five Hydroponic Farms

지역	pH	EC (dS/m)	BOD	COD	TN	TP	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₃	Ca	Mg	K
H농장	5.63	6.11	2.10	40.93	553.20	106.50	112.30	964.00	778.00	0.20	549.65	114.44	503.22
J농장	5.96	3.56	2.30	217.56	357.20	57.80	90.70	490.50	461.25	0.20	372.35	99.11	205.89
C농장 (순환식)	6.41	4.34	2.30	17.49	379.80	15.80	20.80	1217.50	417.50	6.52	490.42	92.62	90.82
A농장 (비순환식)	6.71	4.42	2.60	279.10	340.30	55.40	50.40	2122.50	438.75	6.45	487.38	166.28	37.94
S농장	6.24	4.74	2.20	28.20	357.20	90.00	96.70	1163.00	446.25	8.26	384.46	127.51	452.09

Table 5. Analysis Result of Leachate from Crop Wastes Pile from Jeollabuk-do K Region

구분	pH	COD	TN	TP
전북 K 폐작물 야적지 침출수	7.39	47,314	943.50	39.75

Table 6. Soil Analysis Result of Crop Waste Pile, Three Soil Cultivation Farms in Angwon C, and Five Hydroponic Farms in Different Regions

지역	pH	EC (dS/m)	O.M. (%)	T-N (%)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P ₂ O ₅	SO ₄ ²⁻	
												mg/kg
H농장	슬라브	6.89	13.65	1.80	0.24	16.30	257.20	8209.56	314.17	1536.01	686.05	8414.41
	하천 합류	7.81	0.41	1.29	0.04	2.58	2.58	331.98	16.14	45.35	33.84	34.58
J농장	하천 합류	7.45	0.98	2.78	0.15	4.30	33.50	470.37	72.87	162.69	630.65	75.60
K농장	토경1	7.31	12.80	4.63	0.25	24.90	112.70	3008.08	317.58	749.57	449.02	8196.30
N농장	토경2	6.61	2.19	0.05	0.16	6.88	128.20	1251.84	143.82	321.25	307.02	87.24
L농장	토경3	5.85	7.22	1.06	0.20	4.30	137.60	2038.39	245.77	74.52	324.72	2908.10
A농장 (비순환식)	슬라브	7.77	1.66	2.60	0.07	1.72	37.80	918.46	60.09	268.80	361.70	285.32
	하천 합류	7.26	1.27	2.42	0.02	6.02	33.50	214.89	43.96	33.28	79.48	91.16
폐작물 야적지	야적지	9.09	13.20	3.47	0.29	54.20	ND	1109.68	309.92	7726.87	468.75	58.62
S농장	슬라브	6.32	23.75	2.63	0.21	9.46	1389.90	9009.65	821.85	1640.05	1056.43	7558.10
	하천 합류	7.30	0.98	0.94	0.07	9.46	14.60	1486.03	152.56	166.42	49.68	150.25
C농장 (순환식)	하천 합류	8.31	0.68	4.11	0.14	19.80	ND	355.63	40.96	77.79	240.47	118.93

위 pH의 경우 6.0~6.5, EC의 경우 2.0 dS/m 이하인 반면, 토양분석을 통해 나온 양액 재배 농장들의 슬라브 하단 인접 토양의 EC가 일반적인 토양 화학성의 적정 범위와 비교 하였을 때 대부분 초과하는 것을 확인하였다.

토양에 양액을 직접 주입하는 강원 C지역 토경재배 3개 농장의 경우 타 지역의 슬라브 하단 인접 토양과 비슷한 수준의 성장분석 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 노지에 폐작물을 야적한 지역의 토양은 식물체의 부패로 인해 나오는 침출수의 영향으로 높은 유기물과 pH를 보였고, 특히 암모늄 이온과 함께 영양 염류의 축적이 심각한 상황인 것을 확인하였다.

3.5. 시설재배지 토양 비옥도 적정 기준과 비교

농촌진흥청에서 제시한 시설재배지 내 토양 비옥도의 적정 수준은 Table 7과 같다. Table 8에서 지역마다 차이는 있지만, 토경재배를 포함한 양액재배 비순환식 시스템 재배방식 농장에서는 양액재배 순환식 시스템 재배방식 C농장에 비해 높은 농도로 양분이 토양에 축적되어 있고 특히 양액재배 비순환식 시스템 재배방식 농장들의 슬라브 하단 토양

에서는 양분이 오랜 기간 지속적으로 축적되어 고농도의 수치결과를 확인하였다.

4. 결론

본 연구는 폐양액이 다량의 비료 물질을 함유하고 있기에 하천으로 유입되면 인근 하천을 오염시키고 양액재배에 사용되고 폐기되는 폐배지, 폐작물의 처리에 대한 문제점과 제도적으로 처리시 처리비용이 발생하고 현재 국내 양액재배 농장의 대부분이 비순환식 양액재배 시스템을 사용하여 배출되는 양액의 잔여비료로 인해 환경오염 및 비료의 불필요한 과다 사용 문제점을 지적하는 선행연구를 바탕으로 현재 양액재배 비순환식 시스템 재배방식 농장에서 발생하는 폐양액, 폐배지, 폐작물이 농장 주변 환경에 미치는 영향을 수질, 토양분석 결과 수치를 통해 규명하고자 현장자료 연구를 진행하였다.

현장 수질, 토양분석을 위해서 지역별 양액재배 5개 농장의 작형, 양액재배 시스템, 강원 C지역 토경재배 3개 농장의 작형, 양액재배 시스템 농장 현장을 방문하여 농장의 시설내·외부 수질, 토양 샘플

Table 7. Standard for Soil Fertility in Facility Cultivation (Rular Development Administration)

구분	pH (1:5 H ₂ O)	OM (%)	Avail. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. K	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg	EC (ds/m)
기준	6.0 ~ 7.0	2.5 ~ 3.5	300 ~ 550	195 ~ 312	1950 ~ 2340	585 ~ 780	2.0 이하

Table 8. Major Soil Analysis Result of Crop Waste Pile, Three Soil Cultivation Farms in Gangwon C, and Five Hydroponic Farms in Different Regions

		pH	EC (dS/m)	O.M. (%)	T-N (%)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P ₂ O ₅	SO ₄ ²⁻
		mg/kg										
H농장	슬라브	6.89	13.65	1.80	0.24	16.30	257.20	8209.56	314.17	1536.01	686.05	8414.41
J농장	토경1	7.31	12.80	4.63	0.25	24.90	112.70	3008.08	317.58	749.57	449.02	8196.30
A농장 (비순환식)	슬라브	7.77	1.66	2.60	0.07	1.72	37.80	918.46	60.09	268.80	361.70	285.32
폐작물 야적지	야적지	9.09	13.20	3.47	0.30	54.20	ND	1109.68	309.92	7726.87	468.75	58.62
S농장	슬라브	6.32	23.75	2.63	0.21	9.46	1389.90	9009.65	821.85	1640.05	1056.43	7558.10
C농장 (순환식)	하천 합류	8.31	0.68	4.11	0.14	19.80	ND	355.63	40.96	77.79	240.47	118.93

을 채취하고 추가적으로 폐작물 야적지에서 발생되는 침출수 및 토양샘플을 채취하여 수질, 토양분석을 하였다.

연구 결과 비순환식 시스템 재배방식 농장에서 발생하는 폐양액의 평균 TN 농도는 402 mg/L 이었으며, TP의 경우 77.4mg/L 였으며 이는 환경정책기본법 시행령상 하천의 생활환경 TP기준 993.7배 초과한 수치이며, 물환경보전법의 산업폐수 배출기준 TN기준 6~19배, TP기준 2~27배 초과한 수치결과를 확인하였다. 폐작물 야적지에서 발생된 침출수의 경우 환경정책기본법 시행령상 하천의 생활환경 COD 기준 11,828배 초과, TP기준 395~2663배 초과한 수치이며, 물환경보전법의 산업폐수 배출기준 TN기준 788배, TP기준 5배 초과한 수치결과를 확인하였다. 현장자료 연구결과를 통해 현재 양액재배 농장에서 발생하는 폐양액, 폐배지, 폐작물이 주변 환경에 환경기준을 초과하여 영향을 미치고 있으며 현재 양액재배 시설은 비점오염원으로 분류되어 오염규제를 받지 않지만 양액재배 도입과 기술에서 선진국인 유럽과 일본은 폐양액의 배출을 철저히 규제하고 있기에 향후 점오염원으로 분류되어 폐양액 배출, 폐배지, 폐작물 처리에 대한 규제를 받을 가능성이 매우 높은 것으로 사료된다.

References

1. MAFRA, Greenhouse status of facility vegetables and vegetable production performance (2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019).
2. Kim, J. H., Lee, W. S., Kim, W. I., Jung, G. B., Yun, S. G., Jung, Y. T. and Kwun, S. K., "Groundwater and Soil Environment of Plastic film House Fields around Central Part of Korea", Korean J. Environ. Agric., 21(2), pp. 109~116. (2002).
3. Lee, G. J., Kang, B. G., Lee, K. Y., Yun, T., Park, S. G. and Lee, C. H., "Chemical Characteristics of Ground Water for Hydroponics and Waste Nutrient Solution after Hydroponics in Chungbuk Area", Korean J. Environ. Agric., 26, pp. 42~48. (2007).
4. Jung, B. Y., Development of Horticultural Media Reusing Waste Hydroponic Rockwool Slabs and Wood, MAFRA, Gyeonggi-do, Korea. (2000).
5. RDA, "Development of closed hydroponic technologies with an environment-friendly substrate in cultivation of export fruit vegetable", Korea. (2018).
6. KEI, "Prevention Measures of Water Pollution Originated from New Agricultural Facilities", Korea. (2018).