

ORIGINAL ARTICLE

수경재배 배액 재이용을 위한 주요 곰팡이 및 박테리아 종 파악

이동관 · 손진관* · 강태경 · 장재경 · 박민정 · 이태석 · 임류갑

농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부 에너지환경공학과

Identification of Major Fungi and Bacterial Species in Solid Medium Drainage for Circulating Hydroponics System

Donggwan Lee, Jinkwan Son*, Taegyeong Kang, Jaekyung Jang, Minjung Park, Taeseok Lee, Ryugap Lim

Division of Energy & Environmental Engineering, NIAS, RDA, Jeonju 54875, Korea

Abstract

In this study, the amount of harmful fungi and bacteria contained in the drainage and culture medium from the paprika hydroponic facility is identified. In addition, by proposing the necessity of effective purification of discharged drainage, this study attempted to confirm the possibility of drainage reuse. Finally, this study provides basic data on the basis for calculating the need for purification facilities in the future, as well as improvements in horticulture facility for sustainable agriculture. As a result of the analysis, a total of 12 types of fungi were detected in paprika medium and 10 types of fungi were detected in the drainage, and their densities were 130 and 68, respectively. Among the fungi detected in the media and drainage of the paprika hydroponic facility, the fungi with the highest detection frequency are *Fusarium*, *Phytophthora*, and *Pythium*. In the case of bacteria, a total of 2 types of bacteria were detected in the paprika facilities, and the density was 28 and 23, respectively. Therefore, in order to reuse the drainage and settle the circulating hydroponic cultivation system, a water treatment process capable of appropriate treatment is required.

Key words : Horticulture, Greenhouse, Purification, Reuse, Recycle

1. 서론

우리나라 농업 중 시설원에 산업은 많은 소득과 고부가가치 창출하여 백색혁명으로 평가받아왔다(Son et al., 2017). 이러한 시설원예가 차지하는 비중은 전체 원예산업의 40% 이상으로 큰 비중을 차지하고 있고(Lee, 2004; Ko et al., 2013; MAFRA, 2014a, 2014b), 자동

화에 따른 노동력 절감, 질 높은 작물 생산을 통한 고부가가치 창출이라는 장점으로 그 규모가 증가하는 추세이다(Jeoung and Park, 2003; MAFRA, 2017). 현대는 이러한 시설원예 산업 중 토양을 이용하지 않고 작물을 고정 후 생육에 필요한 원소가 포함된 액상비료(양액)로 재배하는 방법인 수경재배가 각광받고 있다(Jun et al., 2011). 이러한 수경재배는 전통적인 토양재배보다 시설

Received 29 October, 2020; Revised 16 November, 2020;

Accepted 16 November, 2020

*Corresponding author: Jinkwan Son, Division of Energy & Environmental Engineering, NIAS, RDA, Jeonju 54875, Korea
Phone : +82-63-238-4096
E-mail : son007005@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

비용이 저렴하고, 여러 가지 방법으로 작물을 재배할 수 있다는 장점으로 (Baek et al., 2012) 면적 및 생산량의 비중이 증가하고 있다(Lee, 2014). 네덜란드 등 유럽 선진국에서는 95%, 일본에서는 45% 이상이 양액을 재사용하는 순환식 수경재배 방식을 도입했고, 특히 네덜란드는 온실로부터 배출되는 폐액으로부터 지하수의 오염을 막기 위해 2004년 이후 수경재배 방식을 100% 순환식 전환으로 법제화 하고 있다(Son et al., 2019). 국내 수경재배 시설원에 산업의 경우 2000년도 700 ha 였던 면적이 2017년 3,355 ha로 약 5배 이상 증가하고 있고(MAFRA, 2017), 면적기준으로 세계 10위권 이내의 수준이다(Lee, 2014; Suzuki, 2018). 또한 신규로 건설되는 온실을 중심으로 배액 재이용을 위한 순환식 시스템 및 양액 재처리 시설을 갖추고 있는 추세이나(Chungo CO.,LTD., 2016; ShinHAN A-TEC Co.Ltd., 2016), 하지만 수경식 순환재배의 경우 살균기, 배액 저장 탱크, 복잡한 순환 구조 등을 추가로 설치 해야하는 경제적 비용이 발생하는 단점이 있다(Lee, 2014). 이러한 이유로 농가 대부분은 비순환식으로 운영되며 약 5% 만이 순환식 수경재배를 실시하고 있는 것으로 파악되었고(Jang et al., 2017; Tripodi, 2018), 배출 배액의 배출 정도와 살균 및 정화과정에서의 경제적 문제 등을 고려할 때 농업적 재활용에 관한 기술의 정립이 필요한 실정이다(Chung et al., 2010).

산업발달과 더불어 시설채소 수요의 증가는 시설원예 규모의 증가로 이어졌고, 이에 다른 대규모 수경재배 시설원에 단지가 조성되며 지하수 고갈, 비점오염 배출, 토지이용 변경 등 여러 가지 환경적, 생태적 문제점이 보고되고 있다(Giurgiu et al., 2014; Kumar and Cho, 2014; Son et al. 2016a; Son et al. 2016b; Son et al., 2019). 또한, 수경재배에서는 수질을 세밀하게 관리할 수 있어서 높은 생산성과 품질향상 등의 장점을 가지지만, 병원성 미생물이 침투하게 되면 뿌리와 접촉기회가 많아서 배지를 따라 빠르게 확산되는 단점이 있고(Ehret et al., 2001; Baek et al., 2012a), 비순환식 재배방법을 운영할 시 폐기되는 배액은 다량의 질소, 인, 병원균을 함유하고 있기 때문에 수계에 배출될 경우 지하수와 토양오염, 하천의 부영양화 등의 악영향을 초래한다(Son et al., 2019). 순환식 수경재배를 실시하고 정착시키기 위해서는 지속적으로 배액 및 배지 내 발병 가능한 곰팡이, 박테

리아 등의 병원균을 모니터링하고, 배액을 재이용하려는 작물의 특성에 알맞도록 살균 문제를 완벽하게 해소해야 하며(Naidu et al., 2019), 체계적인 시스템을 갖출 때 양액 생산 비용을 절감함과 동시에 배액 폐기에 따른 수질 오염을 막을 수 있는 기대효과를 가져올 수 있다(Baek et al., 2012b).

따라서 본 연구의 목적은 연구대상지를 대상으로 배액 및 배지의 미생물을 파악하고 정량화 하는 것이며, 배출되는 배액의 살균 필요성을 검토하고 재이용성을 판단하는 것을 설정하였다. 최종적으로 본 연구를 통해 지속 가능한 농업을 위한 시설원예의 개선점과 향후 친환경 시설원예단지 조성 시 살균 시설의 투입 필요성과 당위성 산출 근거의 기초자료를 제공하기 위해 진행되었다.

2. 방법 및 재료

2.1. 연구대상지 선정

연구대상지는 국내 수경재배 현황에 대한 MAFRA (2017)의 조사를 반영하여 높은 비율인 파프리카를 연구 대상 작물로 선정하고 국내 파프리카 수경재배 시설원에 단지 12곳을 대상지로 선정하였다(Table 1).

작물 생육 과정에서 공급된 후 배출되는 배액과 배지 내에서의 유해 곰팡이와 박테리아를 분석하였다. 파프리카 비닐하우스 4곳, 파프리카 유리온실 8곳을 대상지로 선정하였고 12곳의 대상지를 작기 초기(Group 1; The beginning of the cultivation), 중기(Group 2; The middle of the cultivation), 말기(Group 3; The end of the cultivation)로 구분하여 각각 4곳씩 선정하였다. 배지와 배액의 샘플링은 작기 시기별로 초기 8월, 중기 1~2월, 말기 6월말(강원도 평창군: 초기 1월, 중기 6월, 말기 9월말)에 각각 분류한 4곳에서 진행하였고, 유해 곰팡이와 박테리아를 분석하여 작물 생육 과정에 따라 유해 곰팡이와 박테리아의 종과 밀도가 어떻게 변화하고 지역별로 어떠한 차이를 보이는지 나타내었다. 마지막으로 대상지 그룹별, 배지와 배액에서 검출된 곰팡이 종의 밀도를 SPSS 19.0 통계프로그램을 이용하여 ANOVA 분석을 실시하고 F-value를 나타내었다.

2.2. 곰팡이, 박테리아 주요 대상 종 선별 및 검출

대상 종은 국내 파프리카 수경재배 시 가장 많이 발견되는 종으로 주요 대상 종은 곰팡이 57종, 박테리아 11종

Table 1. The classification of paprika hydroponics facility sites

Division		Destination	Sampling time	Hydroponic cultivation facility type
Group 1	A	Pyeongchang-gun, Gangwon-do		Vinyl
	B	Gimje-si, Jeollabuk-do	The beginning of the cultivation	Glass
	C	Gimje-si, Jeollabuk-do		Glass
	D	Jeongeup-si, Jeollabuk-do		Glass
Group 2	E	Pyeongchang-gun, Gangwon-do		
	F	Jinju-si, Gyeongsangnam-do	The middle of the cultivation	Glass
	G	Gimje-si, Jeollabuk-do		Glass
	H	Iksan-si, Jeollabuk-do		Glass
Group 3	I	Jeongeup-si, Jeollabuk-do		
	J	Jinju-si, Gyeongsangnam-do	The end of the cultivation	Vinyl
	K	Jeongeup-si, Jeollabuk-do		Glass
	L	Gimje-si, Jeollabuk-do		Glass

Table 2. The major target species of pathogenic fungi and bacteria in paprika culture

Fungi		
<i>Athelia (Sclerotium) rolfsii</i>	<i>Fusarium solani</i>	<i>Pythium aphanidermatum</i>
<i>Alternaria sp.</i>	<i>Macrophomina phaseolina</i>	<i>Pythium dissotocum</i>
<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Myrothecium roridum</i>	<i>Pythium irregulare</i>
<i>Colletotrichum sp.</i>	<i>Olpidium bornovanus</i>	<i>Pythium polymastum</i>
<i>Colletotrichum acutatum</i>	<i>Olpidium brassicae</i>	<i>Pythium sylvaticum</i>
<i>Colletotrichum coccodes</i>	<i>Olpidium virulentus</i>	<i>Pythium tracheiphylum</i>
<i>Colletotrichum gleosporioides</i>	<i>Passalora fulva</i>	<i>Pythium ultimum</i>
<i>Cylindrocarpon destructans</i>	<i>Phoma destructiva</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>
<i>Cylindrocladium sp.</i>	<i>Phomopsis sclerotoides</i>	<i>Sclerotinia sp.</i>
<i>Didymella sp.</i>	<i>Phytophthora sp.</i>	<i>Sclerotinia minor</i>
<i>Fusarium sp.</i>	<i>Phytophthora capsici</i>	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
<i>Fusarium culmorum</i>	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	<i>Sclerotinia trifoliorum</i>
<i>Fusarium lactis</i>	<i>Phytophthora cryptogea</i>	<i>Septoria lycopersici</i>
<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Phytophthora drechsleri</i>	<i>Spongospora subterranea f.sp sub.</i>
<i>F. oxysporum f.sp. cucum.</i>	<i>Phytophthora infestans</i>	<i>Stemphyllium sp.</i>
<i>F. oxysporum f.sp. radicle-cucum.</i>	<i>Phytophthora nicotianae</i>	<i>Thielaviopsis basicola</i>
<i>F. oxysporum f.sp. lycopersici</i>	<i>Plectosphaerella cucumerina</i>	<i>Verticillium sp.</i>
<i>F. oxysporum f.sp. radicle-. lycop.</i>	<i>Pyrenochaeta lycopersici</i>	<i>Verticillium albo-atrum</i>
<i>Fusarium sacchari</i>	<i>Pythium sp.</i>	<i>Verticillium dahliae</i>
Bacteria		
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	<i>Erwinia chrysanthemi</i>	<i>Pseudomonas syringae</i>
<i>A. tumefaciens Ti-plasmide</i>	<i>Pseudomonas cichorii</i>	<i>Pseudomonas syringae pv. porri</i>
<i>Erwinia carotovora subsp. Atroseptica</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas viridiflava</i>
<i>Erwinia carotovora subsp. Carotovora</i>	<i>Pseudomonas marginalis</i>	

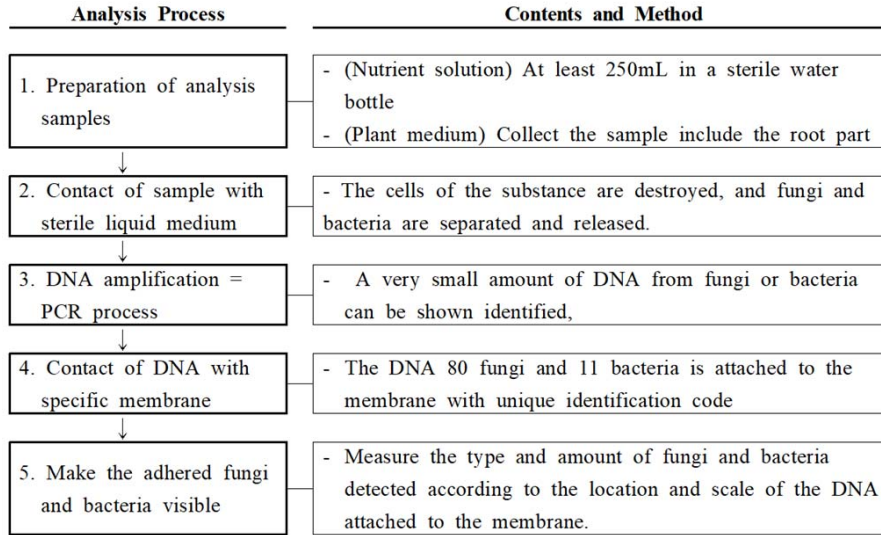


Fig. 1. The detection flow process of the target fungi, bacteria.

(Table 2)을 선별하였다(Kim et al., 2013).

곰팡이 주요 대상 종은 잣빛곰팡이병(*Botrytis cinerea*), 잘록병(*Phythium* spp.), 흰가루병(*Leveilluataurica*), 썩음병(*Fusarium* spp.), 반점병(*Cladosporium* spp.), 겹무늬병(*Alternaria solani*), 역병(*Phytophthora capsici*), 탄저병(*Colletorichum loeosporioides*), 과실썩음병(*Nectria haematococca*), 저장병(*Penicillium* spp.), 흰얼룩병(*Acremonium* spp.) 및 잎마름병(*Nigrospora* spp.) 등이며, 박테리아는 무름병(*Erwinia carotovora* subsp.), 꽃썩음병(*Pseudomonas* spp.)을 일으키는 종으로 파프리카 시설원에 운영 시 대표적인 목표 관리종으로 Eurofins agro사에 DNA multiscan 분석항목으로 지정되어 있다(Eurofins agro, 2020)

주요 대상 곰팡이와 박테리아의 검출은 Eurofins agro사에 DNA multiscan을 의뢰하여 진행하였다(Eurofins scientifics, agro, LLC, Netherland). DNA multiscan은 Fig. 1.과 같이 총 5단계에 걸쳐서 진행되었다.

먼저 배액 시료의 경우 멸균된 채수병에 배액 샘플을 약 1 L 채수하였고, 식물 혹은 배지의 경우 뿌리와 줄기를 포함하는 식물 샘플을 채취하여 준비하였다. 그 다음 채취한 시료를 멸균 액체 배지가 들어있는 시험관에서

물질의 세포가 파괴되어 곰팡이와 박테리아가 분리되어 방출되는 과정을 거치게 된다. 세 번째로 DNA는 16S rRNA 유전자의 프라이머를 사용하여 증폭과정인 중합효소 연쇄반응(Polymerase Chain Reaction, PCR)을 거쳐 곰팡이와, 박테리아에서 나오는 아주 적은 DNA까지 측정이 가능하도록 하였다. DNA가 PCR을 통해서 증폭되면 80개 이상의 곰팡이 혹은 11개의 박테리아의 DNA가 고유의 식별코드를 포함하는 멤브레인 막과 접촉하여 부착된다. 마지막으로 해당 멤브레인 막에 부착된 DNA의 위치와 규모에 따라 검출되는 곰팡이와 박테리아의 종류와 양을 측정한다. 마지막으로 해당 멤브레인 막에 부착된 DNA의 위치와 규모에 따라 검출되는 곰팡이와 박테리아의 농도를 유럽의 곰팡이, 박테리아 관리 기준에 따라 $<25 \text{ CFU/m}^3 = \text{very low (1)}$, $<100 \text{ CFU/m}^3 = \text{low (2)}$, $<500 \text{ CFU/m}^3 = \text{moderate (3)}$, $<1,000 \text{ CFU/m}^3 = \text{moderate high (4)}$, $<2,000 \text{ CFU/m}^3 = \text{high (5)}$, $>2,000 \text{ CFU/m}^3 = \text{very high (6)}$ 이상 6단계로 나누어서 표현하였다(Balasubramanian et al., 2012).

3. 결과 및 고찰

3.1. 연구대상지 배지 및 배액 내 곰팡이 성분 분석결과
연구대상지 12곳의 배지와 배액에서 검출된 곰팡이 종 분석 결과는 Table 3, Appendix 1에 나타내었고,

Table 3. The results of fungi detection in medium and drainage of paprika hydroponic facilities

Classification		Class	Order	Family	Genus	Species	Total Conc.
Medium Sampling							
Group 1	A	1	1	1	1	2	8
	B	0	0	0	0	0	0
	C	1	1	1	1	1	3
	D	0	0	0	0	0	0
	Sum	2	2	2	2	3	11
	Ave.	0.50	0.50	0.50	0.50	0.75	2.75
Group 2	S.D	0.58	0.58	0.58	0.58	0.96	3.77
	E	1	2	2	2	3	10
	F	1	1	1	1	2	10
	G	1	1	1	1	2	8
	H	1	1	1	1	2	11
	Sum	1	2	2	2	4	39
Group 3	Ave.	1.00	1.25	1.25	1.25	2.25	9.75
	S.D	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	1.26
	I	4	4	5	5	8	28
	J	2	2	3	3	6	22
	K	2	2	2	2	6	11
	L	3	3	3	3	5	19
Medium Total	Sum	3	4	5	6	12	80
	Ave.	2.75	2.75	3.25	3.25	6.25	20.00
	S.D	0.96	0.96	1.26	1.26	1.26	7.07
	Medium Total Sum	3	4	5	6	12	130
	Medium Total Ave.	1.42	1.5	1.67	1.67	3.08	10.83
	Medium Total S.D	1.16	1.17	1.44	1.44	2.57	8.53
Drainage Sampling							
Group 1	A	1	1	1	1	1	2
	B	0	0	0	0	0	0
	C	0	0	0	0	0	0
	D	1	1	1	1	1	2
	Sum	2	2	2	2	2	4
	Ave.	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00
Group 2	S.D	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	1.15
	E	1	1	1	1	2	4
	F	1	1	1	1	2	4
	G	2	2	2	2	5	8
	H	2	2	2	2	2	10
	Sum	3	3	3	3	7	26
Group 3	Ave.	1.50	1.50	1.50	1.50	2.75	6.50
	S.D	0.58	0.58	0.58	0.58	1.50	3.00
	I	2	2	2	2	4	11
	J	1	1	1	1	2	7
	K	2	2	2	2	6	13
	L	2	2	2	2	3	7
Drainage Total	Sum	4	5	5	5	10	38
	Ave.	1.75	1.75	1.75	1.75	3.75	9.50
	S.D	0.50	0.50	0.50	0.50	1.71	3.00
	Drainage Total Sum	4	5	5	5	10	68
	Drainage Total Ave.	1.25	1.25	1.25	1.25	2.33	5.67
	Drainage Total S.D	0.75	0.75	0.75	0.75	1.87	4.33
Statistic Analysis							
Medium 3 Group	F	13.400**	10.500**	11.192**	11.192**	35.273***	13.720**
	P.H	1, 2 < 3	1, 2 < 3	1, 2 < 3	1, 2 < 3	1, 2 < 3	1, 2 < 3
Drainage 3 Group	F	5.727*	5.727*	5.727*	5.727*	6.045*	11.534**
	P.H	1 < 2, 3	1 < 2, 3	1 < 2, 3	1 < 2, 3	1 < 2, 3	1 < 2, 3
Sampling 2 Material	F	0.173	0.388	0.793	0.793	0.665	3.501
	P.H	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S

* F : F-value, P.H : Post-Huc., Test result is statistically significant level at the $P = 0.05$ (*), 0.01 (**), 0.001 (***), N.S = Not significant.

검출된 종을 생물분류단위에 따라 종(Species), 속(Genus), 과(Family), 목(Order), 강(Class) 단위로 세분화하여 표현하였다. 또한 전체 결과를 배지에서 검출된 결과와 배액에서 검출된 결과로 나누어서 표기하고 그룹간, 샘플링 재료간으로 나누어 합계, 평균, 표준편차를 제시하고 통계분석을 통해 차이를 알아보았다.

먼저 배지(Medium Sampling)의 작기 초기인 Group 1의 곰팡이 검출밀도는 총 3개의 종이 검출되었으며, 검출된 종은 *Fusarium* sp., *Fusarium lactis*, *Stemphyllium* sp.으로 확인되었다. 연구대상지 4곳 중 2곳에서 검출되었으며, 2곳은 미검출로 확인되었다. 검출된 2곳의 곰팡이는 연구대상지 A에서 2종, C에서 1종 확인되고 검출된 농도의 합은 각각 8, 3으로 분석되었다. 검출된 3종 곰팡이의 생물 분류 단위는 2속으로 분류할 수 있으며, 검출된 곰팡이의 총 농도는 11로 나타났다. 작기 중기인 Group 2 대상지의 배지에서는 총 4개의 종(*Fusarium* sp., *Fusarium lactis*, *Fusarium oxysporum*, *Plectosphaerella cucumerina*)이 검출되었으며, 해당 곰팡이는 1과 2속으로 구분되었다. 검출 종의 총 농도는 1그룹의 3배 이상인 39로 나타났다. 마지막으로 검출밀도가 가장 높은 작기 말기인 Group 3 대상지의 배지에서는 총 12개의 종(*Fusarium* sp., *Fusarium lactis*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Phytophthora* sp., *Phytophthora capsici*, *Phytophthora cinnamomi*, *Plectosphaerella cucumerina*, *Pythium* sp., *Pythium dissotocum*, *Pythium tracheiphylum*, *Rhizoctonia solani*)의 곰팡이가 검출되었고, 3강 4과 5속 6종류로 구분되었다. 검출 종의 총 농도는 1그룹의 약 8배 높은 80으로 나타났다(Table 3).

파프리카 배지 12개 샘플에서 확인된 곰팡이는 총 3강 4목 5과 6속 12종이었으며, 검출된 농도의 총 합은 130으로 분석되었다. 검출된 12종 중 가장 많이 검출된 속은 *Fusarium* 속으로 4종이 검출되었으며 검출된 농도의 합은 총 69로 분석되었다. 다음은 *Pythium* 속으로 3종에서 총 31의 농도가 확인되었으며, *Phytophthora* 속은 3종에서 17의 검출 농도가 분석되었다. 파프리카 수경재배 배지에서 검출되는 주요 곰팡이는 본 연구결과로 미루어 봤을 때 *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora* 속으로 판단할 수 있다. *Fusarium* 속의 곰팡이는 수경재배에서 가장 문제되는 대표적인 곰팡이로 시들음병을 유발

하는 것으로 알려져 있으며(Jamenez et al., 2008; Lee et al., 2016), *Pythium*, *Phytophthora* 속을 포함해 시설 재배에서 뿌리를 침해하는 빈도가 높은 균으로 알려져 있는 것과 일맥 상통하는 조사결과이다(Kusakari, 2009). *Fusarium*은 사상균에 속하며, *Pythium*과 *Phytophthora*균은 유주자를 형성하는 편모류균에 속하는 병원균이며(Jamenez et al., 2008), *Phytophthora*균의 경우 *Pythium*균 보다 발생빈도가 낮으나 더 높은 살균 저항력을 가지는 병원균이다. 위의 3종류의 곰팡이 모두 난포자를 형성하고, 극한 조건에서도 수년간 생존이 가능한 특징을 가지므로 적절한 관리방안 수립이 필요하다고 판단된다(Raudales et al., 2014).

배지의 작기별 그룹간 평균은 Group 1이 0.50 ± 0.58 과 0.75 ± 0.96 종으로 검출 농도는 2.77 ± 3.77 로 확인되었으며, Group 2는 1.25 ± 0.50 과 2.25 ± 0.50 종으로 9.75 ± 1.26 농도, Group 3이 3.25 ± 1.26 과 6.25 ± 1.26 종으로 20.00 ± 7.07 농도로 확인되었다. Avova 분석을 통한 그룹간 차이를 알아본 결과 배지 내 초기, 중기, 말기의 곰팡이 종 검출은 F-value 35.273***로 Group 1, 2에 비해 3이 높다는 통계적 분석결과가 도출되었다.

배액(Drainage Sampling) 내 곰팡이 검출밀도를 분석한 결과, 가장 낮은 작기 초기의 1그룹 대상지에서는 총 2개의 종이 검출되었으며 검출된 종은 *Fusarium* sp., *Pythium* sp.으로 검출되었다. 생물분류단위로는 속, 과, 목, 강 단계에서 모두 2종류의 곰팡이로 분류할 수 있으며, 검출된 곰팡이의 총 농도는 4로 나타났다. 검출밀도가 중간인 작기 중기의 2그룹 대상지의 배액에서는 총 7개의 종(*Fusarium* sp., *Fusarium lactis*, *Fusarium oxysporum*, *F. oxysporum* f.sp. *cucum.*, *Olpidium virulentum*, *Pythium* sp., *Pythium dissotocum*)이 검출되었으며, 해당 곰팡이는 각각 3종류의 속, 과, 목, 강 단계로 세분화하였다. 검출 종의 총 농도는 26으로 나타났다. 마지막으로 검출밀도가 가장 높은 작기 말기의 3그룹 대상지의 배액에서는 총 10개의 종(*Alternaria* sp., *Fusarium* sp., *Fusarium lactis*, *Fusarium oxysporum*, *Olpidium virulentum*, *Pythium* sp., *Pythium aphanidermatum*, *Pythium dissotocum*, *Pythium tracheiphylum*, *Rhizoctonia solani*)이 검출되었고, 해당 곰팡이는 5종류의 속, 과, 목단위와 4종류의 강 단위로

Table 4. The results of bacteria detection in medium and drainage of paprika hydroponic facilities

Classification		Class	Order	Family	Genus	Species	Total Conc.
Medium Sampling							
Group 1	A	1	1	1	1	1	6
	B	0	0	0	0	0	0
	C	1	1	1	1	1	5
	D	1	1	1	1	1	1
	Sum	1	1	1	1	1	12
	Ave.	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	3.00
	S.D	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	2.94
Group 2	E	1	1	1	1	1	6
	F	1	1	1	1	1	1
	G	1	1	1	1	1	3
	H	1	1	1	1	1	1
	Sum	2	2	2	2	2	11
	Ave.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.75
	S.D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.36
Group 3	I	0	0	0	0	0	0
	J	1	1	1	1	1	5
	K	0	0	0	0	0	0
	L	0	0	0	0	0	0
	Sum	1	1	1	1	1	5
	Ave.	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.25
	S.D	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	2.50
Medium Total Sum		1	2	2	2	2	28
Medium Total Ave.		0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	2.33
Medium Total S.D		0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	2.50
Drainage Sampling							
Group 1	A	1	1	1	1	1	5
	B	0	0	0	0	0	0
	C	1	1	1	1	1	1
	D	1	2	2	2	2	5
	Sum	1	2	2	2	2	11
	Ave.	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	2.75
	S.D	0.50	0.82	0.82	0.82	0.82	2.63
Group 2	E	1	1	1	1	1	2
	F	0	0	0	0	0	0
	G	1	1	1	1	1	1
	H	1	1	1	1	1	3
	Sum	1	2	2	2	2	6
	Ave.	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.50
	S.D	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.29
Group 3	I	0	0	0	0	0	0
	J	1	1	1	1	1	5
	K	1	1	1	1	1	1
	L	0	0	0	0	0	0
	Sum	1	1	1	1	1	6
	Ave.	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.50
	S.D	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	2.38
Drainage Total Sum		1	2	2	2	2	23
Drainage Total Ave.		0.67	0.75	0.75	0.75	0.75	1.92
Drainage Total S.D		0.49	0.62	0.62	0.62	0.62	2.07
Statistic Analysis							
Medium 3 Group	F	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	0.524
	P.H	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
Drainage 3 Group	F	0.300	0.600	0.600	0.600	0.600	0.439
	P.H	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
Sampling 2 Material	F	0.000	0.133	0.133	0.133	0.133	0.198
	P.H	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S

* F : F-value, P.H : Post-Huc., Test result is statistically significant level at the $P = 0.05$ (*), 0.01 (**), 0.001 (***), N.S = Not significant.

구분할 수 있었다. 검출 종의 총 농도는 1그룹의 약 9배 높은 38으로 나타났다(Table 4). 배지와 배액내 곰팡이 검출결과를 비교하면 배지에서 배액보다 더 많은 종류의 곰팡이가 더 높은 농도로 검출됨을 확인할 수 있었고, 이는 양액을 따라서 병원균이 배지 전체에 확산된 것으로 판단된다.

파프리카 배액 12개 샘플에서 확인된 곰팡이는 총 4강 5목 5과 5속 10종이었으며, 검출된 농도의 총 합은 68으로 분석되었다. 검출된 10종 중 가장 많이 검출된 속은 *Fusarium* 속으로 4종이 검출되었으며, 검출된 농도의 합은 총 35로 분석되었다. 다음은 *Pythium* 속으로 4종에서 총 17의 농도가 확인되었으며, *Phytophthora* 속은 배지에서 주요하게 검출되었으나 배액에서는 검출되지 않았다. 파프리카 수경재배 배액에서 검출되는 주요 곰팡이는 본 연구결과로 미루어 봤을 때 배지와 마찬가지로 뿌리에 검출된 주며, 시들음병의 원인이 되는 *Fusarium*, *Pythium*, 속으로 판단할 수 있다.

배액의 작기별 그룹간 평균은 Group 1이 0.50 ± 0.58 과 0.50 ± 0.58 종으로 검출 농도는 1.00 ± 1.15 로 확인되었으며, Group 2는 1.50 ± 0.58 과 2.75 ± 1.50 종으로 6.50 ± 3.00 농도, Group 3이 1.75 ± 0.50 과 3.75 ± 1.71 종으로 9.50 ± 3.00 농도로 확인되었다. Avova 분석을 통한 그룹간 차이를 알아본 결과 배지 내 초기, 중기, 말기의 곰팡이 종 검출은 F-value 6.045*로 Group 1에 비해 2, 3이 높다는 통계적 분석결과가 도출되었다.

배지와 배액 각각 12개 샘플의 평균적 출현 종과 농도는 배지가 1.67 ± 1.44 과 3.08 ± 2.57 종으로 10.83 ± 8.53 농도가 확인되었으며, 배액은 1.25 ± 0.75 과 2.33 ± 1.87 종으로 5.67 ± 4.33 농도 분석되었다. 출현종은 배지 3.08종 배액 2.33종이며, 농도는 10.83, 5.67로 차이가 있었지만 통계적으로는 확인이 불가능하였다. 하지만 배지에서 출현되는 곰팡이 종이 배액에도 출현함에 따라 수경재배 구조적 특성상 배액과 배지는 연결과 연관이 있다고 판단 할 수 있다.

3.2. 연구대상지 배지 및 배출 배액 내 박테리아 분석결과

연구대상지 12곳의 배지와 배액에서 검출된 박테리아 종 분석 결과는 Table 4, Appendix 1.에 나타내었고, 검출된 종을 생물분류단위에 따라 종(Species), 속(Genus), 과(Family), 목(Order), 강(Class) 단위로 세분

화하여 표현하였다. 또한 전체 결과를 배지에서 검출된 결과와 배액에서 검출된 결과로 나누어서 표기하고 그룹간, 샘플링 재료간으로 나누어 합계, 평균, 표준편차를 제시하고 통계분석을 통해 차이를 알아보았다.

먼저 배지(Medium Sampling)의 작기 초기인 Group 1의 박테리아 검출밀도는 *Pseudomonas fluorescens* 1종이 검출되었으며, 4곳의 샘플 중 3곳에서 동일하게 출현하였다. 검출된 박테리아의 총 농도는 12로 나타났다. 작기 중기인 Group 2 대상지의 배지에서는 *Erwinia carotovora* subsp. *Carotovora*, *Pseudomonas fluorescens*의 두종류 박테리아가 검출되었으며, 해당 박테리아는 2과 2속으로 구분되었다. 검출 종의 총 농도는 1그룹과 유사한 11로 나타났다. 마지막으로 작기 말기인 Group 3 대상지의 배지에서는 총 *Pseudomonas fluorescens* 1종이 2 샘플에서 검출되었고, 검출 종의 총 농도는 1그룹 보다 낮은 5로 나타났다.

파프리카 배지 12개 샘플에서 확인된 박테리아는 총 2강 2목 2과 2속 2종이었으며, 검출된 농도의 총 합은 28로 분석되었다. 검출된 2종 중 가장 많은 대상지에서 확인된 종은 *Pseudomonas fluorescens* 으로 6곳의 샘플에서 검출되었으며 검출된 농도의 합은 총 19로 분석되었다. 다음은 *Erwinia carotovora* subsp. *Carotovora* 으로 2곳에서 9의 농도가 확인되었다. 파프리카 수경재배 배지에서 검출되는 주요 박테리아는 본 연구결과로 미루어 봤을 때 *Pseudomonas fluorescens*으로 판단할 수 있다. 검출 박테리아의 식물체 검출된 살펴보면 먼저 *Erwinia carotovora* subsp. *Carotovora*종은 무름병을 일으키는 박테리아로 수침상의 병반이 생기면서 물러 썩으며, 작물 전체가 부패하며 악취가 나게 된다고 알려져 있다(Yap et al., 2004). 또한 광범위한 숙주범위를 가지는 식물 병원균으로 대부분의 식물 조직에서 질병을 일으키는 대표 박테리아로 구분할 수 있다(Darrasse et al., 1994). *Pseudomonas fluorescens*종의 경우 세균성 꽃 싹음병을 일으키는 녹농균으로 산소가 없는 극한의 환경에서도 증식이 가능하다(Rainey, 1999). 또한 각종 항생제에 높은 내성을 나타내기 때문에 치료제가 적어서 중증이 되는 경우가 빈번한 것으로 알려져 있다(Bopp and Ehrlich, 1988).

배지의 작기별 박테리아 발생양상은 Group 1이 0.75 ± 0.50 과 0.75 ± 0.50 종으로 검출 농도는 3.00 ± 2.94 로

확인되었으며, Group 2는 1.00 ± 0.00 과 1.00 ± 1.00 종으로 2.75 ± 2.36 농도, Group 3이 0.25 ± 0.50 과 0.25 ± 0.50 종으로 1.25 ± 2.50 농도로 확인되었다. Avova 분석을 통한 그룹간 차이를 알아본 결과 배지 내 초기, 중기, 말기의 곰팡이 종 검출은 모든 그룹에서 통계적 차이가 확인되지 않았다.

배액(Drainage Sampling) 샘플 중 Group 1에서의 박테리아 검출은 *Erwinia carotovora* subsp. *Carotovora*, *Pseudomonas fluorescens*, 2종이 검출되었으며, 4곳의 샘플 중 3곳에서 출현하였다. 검출된 박테리아의 총 농도는 11로 나타났다. 작기 중기인 Group 2 대상지의 배액에도 같은 두종류 박테리아가 검출되었으며, 검출 종의 총 농도는 1그룹 보다 낮은 6으로 나타났다. 마지막으로 작기 말기인 Group 3 대상지의 배지에서는 *Pseudomonas fluorescens* 1종이 6의 농도로 검출되었다.

파프리카 배액 12개 샘플에서 확인된 박테리아는 총 2강 2목 2과 2속 2종이었으며, 검출된 농도의 총 합은 23로 분석되었다. 검출된 2종 중 가장 많은 대상지에서 확인된 종은 *Pseudomonas fluorescens* 으로 4곳의 샘플에서 검출되었으며 검출된 농도의 합은 총 18로 분석되었다. 다음은 *Erwinia carotovora* subsp. *Carotovora* 으로 2곳에서 5의 농도가 확인되었다. 파프리카 수경재배 배액에서 검출되는 주요 박테리아는 본 연구결과로 미루어 봤을 때 배지와 마찬가지로 *Pseudomonas fluorescens*으로 판단할 수 있다.

배지의 작기별 박테리아 발생양상은 Group 1이 1.00 ± 0.82 과 1.00 ± 0.82 종으로 검출 농도는 2.75 ± 2.63 로 확인되었으며, Group 2는 0.75 ± 0.50 과 0.75 ± 0.50 종으로 1.50 ± 1.29 농도, Group 3이 0.50 ± 0.58 과 0.50 ± 0.58 종으로 1.50 ± 2.38 농도로 확인되었다. Avova 분석을 통한 그룹간 차이를 알아본 결과 배지 내 초기, 중기, 말기의 곰팡이 종 검출은 모든 그룹에서 통계적 차이가 확인되지 않았다.

배지와 배액 각각 12개 샘플의 평균적 박테리아 출현 종과 농도는 배지가 0.67 ± 0.49 과 0.67 ± 0.49 종으로 1.25 ± 2.50 농도가 확인되었으며, 배액은 0.75 ± 0.62 과 0.75 ± 0.62 종으로 1.92 ± 2.007 농도 분석되었다. 출현종은 배지와 배액 모두 통계적으로 1종보다 낮게 출현하였으며, *Pseudomonas fluorescens*가 배액과 배지 모두에서 출현하는 것으로 볼 때 배액과 배지는 연결과 연

관이 있다고 판단 할 수 있다.

3.3. 주요 분석 결과 및 고찰

시설원예에서 곰팡이가 원인이 되어 일으키는 대상종은 잿빛곰팡이병(*Botrytis cinerea*), 질록병(*Phythium* spp.), 흰가루병(*Leveillula taurica*), 썩음병(*Fusarium* spp.), 반점병(*Cladosporium* spp.), 겹무늬병(*Alternaria solani*), 역병(*Phytophthora capsici*), 탄저병(*Colletotrichum loeosporioides*), 과실썩음병(*Nectria haematococca*), 저장병(*Penicillium* spp.), 흰얼룩병(*Acremonium* spp.) 및 잎마름병(*Nigrospora* spp.) 등이 있으며, 박테리아는 무름병(*Erwinia carotovora* subsp.) , 꽃썩음병(*Pseudomonas* spp.)이 대표적으로 발병하는 것으로 알려져 있다(Papadopoulos et al., 1999; Tahmasbi et al., 2014; Barquero et al., 2016; Guo et al., 2017; Gilardi et al., 2020).

본 연구에서 분석된 파프리카 배지 및 배액의 곰팡이, 박테리아 주요 출현종은 *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium* 속 곰팡이와 *Pseudomonas fluorescens*, *Erwinia carotovora* subsp. *Carotovora*의 박테리아로 판단 하였다. 이러한 곰팡이 및 박테리아군은 양액을 통해서 급속도로 배지 내에서 감염되고 위조병, 청고병, 뿌리/꽃 썩음병 등의 병을 유발시키는 원인이 될 수 있으므로 재이용을 위해서는 적절한 관리방안 수립이 필요하다(Utkhede et al., 1991; Eriksson et al., 1998; Tewoldemedhin et al., 2011; Algeblawi et al., 2013).

따라서 순환식 수경 재배를 위해서는 병의 주요 원인이 될 수 있는 곰팡이류 및 박테리아를 살균, 제거할 필요가 있다고 판단된다. 더불어 지속가능한 농업환경조성을 위한 배액 재이용 및 순환식 수경재배 시스템 정착을 위해서는 주요 곰팡이 및 박테리아를 제거할 수 있는 수처리 공정이 필수적으로 요구되므로 관련 연구의 추진을 제안한다.

4. 결론

순환식 수경재배를 정착시키기 위해서는 지속적으로 배액 내 양액 성분을 센싱하여 작물에 필요한 성분을 유지 시켜줄과 동시에 곰팡이, 박테리아와 같은 병원성 미생물에 의한 검출된 줄여야 한다.

따라서 본 연구에서는 국내 파프리카 수경재배 시설

원예단지에서 배출되는 배액 및 배지에 함유된 유해 곰팡이, 박테리아 종을 파악하고, 그 양을 정량한다. 또한 이러한 결과를 바탕으로 배출되는 배액의 효과적인 살균의 필요성을 제안하여 배액 재이용 가능성을 확인하고자 하였다. 최종적으로 지속 가능한 농업을 위한 시설원예의 개선점과 향후 친환경 시설원예단지 조성 시 살균 시설의 투입 필요성과 당위성 산출 근거의 기초자료를 제공한다. 국내 파프리카 재배 시설 12곳을 대상으로 선정하였고, 파프리카에 유해한 병을 일으킬 수 있는 곰팡이와 박테리아에 대해 존재하는 양을 정량 평가하였다.

분석결과 곰팡이는 파프리카 배지 내에서 총 12종, 배액 내에서 10종의 유해 곰팡이가 검출되었고, 그 밀도는 각각 130, 68로 나타났다. 파프리카 수경재배 시설원예단지 배지와 배액내에서 검출된 곰팡이 중 가장 높은 검출 빈도를 가지는 곰팡이는 *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium*으로 높은 살균 저항력을 가지며 극한 조건에서도 생존이 가능한 특성을 가진다. 박테리아의 경우 파프리카 배지 내에서 총 2종, 배액 내에서 2종의 박테리아가 검출되었고, 그 밀도는 각각 28, 23으로 나타났다. 검출된 2종은 모두 *Gammaproteobacteria*의 강 단위의 하위 단위로 식물 전체가 부패하여 악취가 나는 무름병, 꽃썩음병을 일으키고 산소가 없는 극한에 환경에서도 증식이 가능한 박테리아로 판단되었다. 이처럼 곰팡이균 및 박테리아균은 양액을 통해서 급속도로 배지 내에서 감염되고 뿌리/꽃 썩음병 등의 병을 유발한다. 또한, 각종 항생제를 비롯한 약품에 높은 저항성과 내성을 나타내기 때문에 치료제가 적어서 증증이 되는 경우가 많다. 따라서 배액의 재이용 및 순환식 수경재배 시스템의 정착을 위해서는 적절한 처리가 가능한 수처리 공정이 필수적으로 요구된다. 이러한 결과를 바탕으로 효과적인 살균시설 개발이 필요하며, 지속 가능한 농업을 위한 작물 맞춤형 배액 재이용 기술을 개발하는 기초자료로 이용할 수 있다고 기대한다.

감사의 글

연구는 2020년도 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(PJ014190)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Algeblawi, A., Adam, F., 2013, Biological control of *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* by *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis* and *Bacillus thuringiensis*, *Int. j. chem. environ. biol. sci.*, 1(5).
- Back, S. E., Kim, D. S., Park, Y. S., 2012, Inactivation of *Ralstonia Solanacearum* using aquatic plasma process, *J. Environ. Sci.*, 21(7), 797-804.
- Back, S. E., Kim, D. S., Park, Y. S., 2012a, Application of disinfection models on the plasma process, *J. Environ. Sci.*, 21(6), 95-704.
- Back, S. E., Kim, D. S., Park, Y. S., 2012b, Inactivation of *Ralstonia Solanacearum* using aquatic plasma process, *J. Environ. Sci.*, 1(7), 797-804.
- Balasubramanian, R., Nainar, P., Rajasekar, A., 2012, Airborne bacteria, fungi, and endotoxin levels in residential microenvironments: a case study, *Aerobiologia*, 28(3), 375-390.
- Barquero, M., Terrón, A., Velázquez, E., González-Andrés, F., 2016, Biocontrol of *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* and *Phytophthora capsici* with autochthonous endophytes in common bean and pepper in Castilla y León, In *Biological nitrogen fixation and beneficial plant-microbe interaction*, 221-235, Spain.
- Bopp, L. H., Ehrlich, H. L., 1988, Chromate resistance and reduction in *Pseudomonas fluorescens* strain LB300, *Arch. Microbiol.*, 150(5), 426-431.
- Chung, S. W., Ha, Y. S., Lee, J. W., Park, J. M., Kwon, S. H., Lee, K. M., 2010, Development of a hydroponic recycle system using the visible light-reactive titanium dioxide photocatalyst for sterilization of nutrient solution (I)-Determination of factors, *J. Biosyst. Eng.*, 35(6), 420-425.
- Chungo CO., LTD, 2016, Recycle supplying systems of nutrient solution of cultivation under structure used ICT, Korea Konzession, Application No. 10-2016-0183339.
- Darrasse, A., Priou, S., Kotoujansky, A., Bertheau, Y., 1994, PCR and restriction fragment length polymorphism of a *pel* gene as a tool to identify *Erwinia carotovora* in relation to potato diseases, *Appl. Environ. Microbiol.*, 60(5), 1437-1443.
- Ehret, D., Alsanius, B., Wohanka, W., Menzies, J., Utkhede, R., 2001, Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture.

- Eriksson, A. R., Andersson, R. A., Pirhonen, M., Palva, E. T., 1998, Two-component regulators involved in the global control of virulence in *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*, *Mol. Plant-Microbe Interact.*, 11(8), 743-752.
- Gilardi, G., Pugliese, M., Gullino, M. L., Garibaldi, A., 2020, Effect of biocontrol agents and potassium phosphite against *Phytophthora crown rot*, caused by *Phytophthora capsici*, on zucchini in a closed soilless system, *Sci. Hortic.*, 265, 109207.
- Giurgiu, R. M., Morar, G. A., DUMITRAȘ, A., BOANCĂ, P., Duda, B. M., Moldovan, C., 2014, Study regarding the suitability of cultivating medicinal plants in hydroponic systems in controlled environment, *J. Agric. Sci.*, 46(2).
- Guo, Z., Wang, Q., 2017, Efficacy of ozonated water against *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* in *Brassica campestris* ssp. *chinensis*, *Ozone: Sci. Eng.*, 39(2), 127-136.
- Jang, D. C., Choi, K. Y., Yeo, K. H., Kim, I. S., 2017, Effect of Reused Cocopeat Substrate on Growth and Yield of Summer-cultivated Paprika in EC-based Recycling Hydroponic Cultivation, *Protected Horticulture and Plant Factory*, 26(2), 100-107.
- Jeoung, J. H., Park, S. K., 2003, Calculation of Pumping Rate Considering the Change of Groundwater Level, *KCID Journal*, 10(1), 64-72.
- Jiménez, J. J., Sánchez, J. E., Romero, M. A., Belbahri, L., Trapero, A., Lefort, F., Sánchez, M. E., 2008, Pathogenicity of *Pythium spiculum* and *P. sterilum* on feeder roots of *Quercus rotundifolia*, *Plant Pathol.*, 57(2).
- Jun, H. J., Byun, M. S., Liu, S. S., Jang, M. S., 2011, Effect of nutrient solution strength on pH of drainage solution and root activity of strawberry 'Sulhyang' in hydroponics, *J. Hortic. Sci.*, 29(1), 23-28.
- Ko, D. K., Kwon, J. K., Lee, E. H., 2013, Starting and development of the horticulture industry, Korea. Korean society for Horticultural Science, Separate, 458-489.
- Kim, G. D., Lee, S., Kang, E. H., Shin, Y. G., Jeon, J. Y., Heo, N. Y., Lee, H. S., 2013, The pests survey of paprika export complexes and packing house in Korea, *Korean J. Agric. Sci.*, 40(2), 93-99.
- Kumar, R. R., Cho, J. Y., 2014, Reuse of hydroponic waste solution, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 21(16), 9569-9577.
- Lee, H. C., 2014, Necessity and challenge project of closed-system in the hydroponics, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 32 (Suppl II), 31-32.
- Lee, J. H., 2004, The optimum schemes for the removal of Nitrogen and Phosphorus in industrial wastewater, Master thesis, Graduate School of Ajou University, Suwon, Korea.
- Lee, M. H., Kim, S. E., Lee, S. D., Lee, J. E., Kim, H. S., Cho, S. K., Sim, S. Y., Kim, Y. S., 2016, Development of Drainage Water Disinfection System by Electric Shock in Recirculating Soilless Culture. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 25(1), 49-56.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2014a, 2013 Greenhouse Status and Vegetable Production Performance, Sejong, Korea.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2014b, 2013 Greenhouse Status and Vegetable Production Performances, Sejong, Korea.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2017, The organic law about agriculture, farming village & food industry, Sejong, Korea.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2017, Status of greenhouse and vegetable production, Sejong, Korea.
- Naidu, G., Ryu, S., Thiruvengkatachari, R., Choi, Y., Jeong, S., Vigneswaran, S., 2019, A critical review on remediation, reuse, and resource recovery from acid mine drainage, *Environ. Pollut.*, 247, 1110-1124.
- Papadopoulos, A. P., Pararajasingham, S., Hao, X., 1999, Fertilizer substitutions in hydroponically grown greenhouse tomatoes, *HortTechnology*, 9(1), 59-65.
- Rainey, P. B., 1999, Adaptation of *Pseudomonas fluorescens* to the plant rhizosphere, *Environ. Microbiol.*, 1(3), 243-257.
- Raudales, R. E., Parke, J. L., Guy, C. L., Fisher, P. R., 2014, Control of waterborne microbes in irrigation: A review, *Agric. Manage. Water Qual.*, 143, 9-28.
- ShinHAN A-TEC Co.Ltd., 2016, Sterilizing method of waste nutrient solution using uv lamp., Korea Konzession, Application No. 10-2016-0147011.
- Son, J. K., Kong, M. J., Kang, D. H., Park, M. J., Yun, S. W., Lee, S. Y., 2016a, The Change Analysis of Plant Diversity in Protected Horticulture of Agricultural Ecosystems, *J. Wetl. Res.*, 18(2), 173-182.
- Son, J. K., Kong, M. J., Kang, D. H., Kang, B. H., Yun, S.

- W., Lee, S. Y., 2016b, The Comparative Studies on the Terrestrial Insect Diversity in Protected Horticulture Complex and Paddy Wetland, *J. Wetl. Res.*, 18(4), 395-402.
- Son, J., Choi, D., Kong, M., Yun, S., Park, M., Kang, D., 2019, The Water Quality and Purification Load Assessment of Drain Water of Facility Horticulture Areas, *J. Environ. Sci.*, 28(12), 1199-1208.
- Suzuki, H., 2018, Current state and challenges of greenhouse horticulture in Japan, Japan and the Netherlands Horticulture Seminar, Japan Greenhouse Horticulture Association.
- Tahmasbi, F., Lakzian, A., Khavazi, K., PAKDIN, P. A., 2014, Isolation, identification and evaluation of siderophore production in *Pseudomonas* bacteria and its effect on hydroponically grown corn, *J. Mol. Cell. Res.*, 27(1), 75-87.
- Tewoldemedhin, Y. T., Mazzola, M., Botha, W. J., Spies, C. F., McLeod, A., 2011, Characterization of fungi (*Fusarium* and *Rhizoctonia*) and oomycetes (*Phytophthora* and *Pythium*) associated with apple orchards in South Africa, *Eur. J. Plant Pathol.*, 130(2), 215-229.
- Tripodi, P., Massa, D., Venezia, A., Cardi, T., 2018, Sensing technologies for precision phenotyping in vegetable crops: current status and future challenges, *Agron.*, 8(4), 57.
- Utkhede, R. S., Smith, E. M., 1991, *Phytophthora* and *Pythium* species associated with root rot of young apple trees and their control, *Soil Biol. Biochem.*, 23(11), 1059-1063.
- Yap, M. N., Barak, J. D., Charkowski, A. O., 2004, Genomic diversity of *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* and its correlation with virulence, *Appl. Environ. Microbiol.*, 70(5), 3013-3023.
-
- Researcher. Dong-Gwan Lee
Division of Energy & Environmental Engineering, NIAS, RDA
dgrapa@korea.kr
 - Researcher. Jin-Kwan Son
Division of Energy & Environmental Engineering, NIAS, RDA
son007005@korea.kr
 - Researcher. Tae-Gyeong Kang
Division of Energy & Environmental Engineering, NIAS, RDA
tkkang@korea.kr
 - Researcher. Jae-Kyung Jang
Division of Energy & Environmental Engineering, NIAS, RDA
jkjang1052@korea.kr
 - Researcher. Min-Jung Park
Division of Energy & Environmental Engineering, NIAS, RDA
mjpark0107@korea.kr
 - Researcher. Tae-Seok Lee
Division of Energy & Environmental Engineering, NIAS, RDA
taeseok84@korea.kr
 - Researcher. Ryu-Gap Lim
Division of Energy & Environmental Engineering, NIAS, RDA
limrg11@korea.kr

Appendix 1. Analysis of the target fungi in the culture medium and drainage (글꼴 스타일 - 기움림체 변경)

Division	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L						
Fungi	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II						
Basidiomycota (Phylum)																		
Agaricomycetes (Class)																		
Atheliales (Order)																		
Atheliaceae (Family)																		
<i>Alternaria</i> sp.												3						
Ascomycota (Phylum)																		
Sordariomycetes (Class)																		
Hypocerales (Order)																		
Nectriaceae (Family)																		
<i>Fusarium</i> sp.	4	2			4	3	6	2	4	4	6	5	2	4	4	5	3	4
<i>Fusarium lactis</i>	4						4	2	4	4	1			4	2			
<i>Fusarium oxysporum</i>					3	1	4	2					3				1	4
<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>cucum.</i>											1							
<i>Fusarium solani</i>													2				1	
incertae sedis (Phylum)																		
incertae sedis (Class)																		
incertae sedis (Order)																		
Olpidiaceae (Family)																		
<i>Olpidium virulentus</i>																5		5

Division	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Bacteria	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Proteobacteria (Phylum)												
Gammaproteobacteria (Class)												
Enterobacteriales (Order)												
Pectobacteriaceae (Family)												
<i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>Carotovora</i>				4	6		3	1				
Gammaproteobacteria (Class)												
Pseudomonadales (Order)												
Pseudomonadaceae (Family)												
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	6	5		5	1	1	1	1	2	1	1	3
										5	5	5
												1

※ Presence : I Culture medium, II Waste nutrient solution, 1 Very low detection, 2 Low detection, 3 Moderate detection, 4 Moderate-high detection, 5 High detection, 6 Very high detection