

전 략 체 계	혁신 - 2 - 3		수행시기	완료	
기술분야코드	V1	기술유형코드	PO1	작목구분코드	IC-03-1901
과 제 종 류	기관고유		과 제 번 호	LP003663	
과 제 명	인삼 안정생산을 위한 친환경 병해 경감기술 개발				
과제책임자	성명		직급	소속기관 및 부서	
	이기욱		농업연구사	작물연구과	
연 구 기 간	2023 ~ 계속		참여연구기관		
세부과제명			부서	세부책임자	연구기간
1) 토양병원균 밀도저감기술 개발 및 현장 지원 연구			작물연구과	이기욱	'18~'23
키 워 드	인삼, 친환경 방제, 밀도분석, 뿌리썩음병, 재작기간				

ABSTRACT

This study was conducted at the test field of the Ginseng and Medicinal Herb Research Institute (currently the Wild Vegetable Research Institute and Vegetable Experimental Station) located in Kimhwa-eup, Cheorwon-gun, Gangwon state. After harvesting ginseng, a three-year management of the planned site was carried out through rice cultivation and waterlogging treatment to shorten the replanting period. Ginseng was then replanted, and the possibility of shortening the replanting period was confirmed through the analysis of ginseng growth characteristics and the density of root rot pathogen in the soil. During the three years of planned site management, a small amount of *Cylindrocarpon destructans* below the standard was detected in the waterlogging treatment plots T1 and T4, but it was considered not to affect the replanting of ginseng, and it was not detected in other treatments. By the time the ginseng reached three years of age, in March, the T1 treatment group showed 33.9 copies/g, and in September, the untreated group (NC) showed concentrations below the standard, but it was not detected in other treatment groups, maintaining a stable level. In the fourth year, NC, T1, and T4 were detected below the standard in September, but a separate analysis of the ginseng rhizosphere showed that the pathogen was detected above the standard in the T4 treatment group. However, among the ginseng growth characteristics of each treatment group, the emergence rate from the time of reaching three years of age was lower in all treatment groups compared to the control, especially 20.2% lower in the T4 treatment group. Also, the

above-ground growth of all treatment groups was highest in NC and T2 based on the fourth-year period, followed by T4, T1, T3, but significantly poor compared to the control of the fourth-year original site. The below-ground growth characteristics were also significantly poor in the T2 treatment group, which had the highest fresh root weight of 25.2g, compared to the control of 36.1g. Among the below-ground growth characteristics, all treatment groups showed a significantly lower number of fine roots compared to the control, especially in T3 and T3 treatment groups, where the emergence rate and fresh root weight were poor, the number of fine roots was 7.4, significantly lower compared to the control of 59.5, suggesting that the physical environment within the soil, such as poor drainage and waterlogging, had a greater impact than the density of soil pathogens. However, through this study, it was possible to confirm the decrease in soil pathogen density and the flexible relationship in the soil microbial community due to waterlogging treatment, indicating the need for continuous research related to this.

1 연구목표

인삼(*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 동일한 장소에서 다년간 재배하는 작물로서 고년근일수록 토양 병원균에 의한 뿌리썩음병 발생이 많아 6년근 인삼의 수확 비율은 50~70%로 낮으며 재작할 경우 2년생부터 뿌리썩음병 발생이 급증하여 연작 장애가 심하다(Lee et al., 2018). 인삼의 연작장애는 주로 *Cylindrocarpon destructans*와 *Fusarium solani* 등과 같은 토양전염성 병원균에 의한 뿌리썩음병으로 발생하는데 (Rahman and Punja, 2005; Kang et al., 2007), 이러한 병원균은 후막포자를 만들어 토양에서 10년 이상 생존하기 때문에 인삼을 수확한 후 10년 이상이 경과되어야 비로소 재작이 가능하며 (Kang et al., 2007), 농촌진흥청이 고시한 표준인삼경작방법(시행 2019. 8. 16.)에서도 돌려짓기를 할 경우 밭은 10년 이상, 논은 5년 이상 경과한 곳이 안전하다고 고시하고 있다. 그 동안 현장에서는 인삼 연작장애 극복을 위한 여러 시도가 있었는데 벼를 4~5년간 재배할 경우 토양전염성 병원균의 밀도를 낮출 수 있고 유기산 등 생육 억제물질 등을 씻어내는 효과가 있어 농가에서 주로 사용하고 있으나 이 역시 4년근 이상에서는 병원균 밀도 증가로 병 발생이 많아지는 단점이 있다(Jo et al., 1996). 이러한 이유로 여전히 인삼 재배 농가는 초작지 선호가 높으며 초작지를 찾아 먼거리를 이동하는 원정 재배는 농가 경영비 상승의 주요 원인이 되고 있다(이성우 등., 2020). 따라서 본 연구에서는 6년생 인삼을 수확한 포장을 대상으로 재작기간 단축을 위한 다양한 예정지 관리를 실시한 후 다시 인삼 재배를 실시하여 뿌리썩음병 발생 및 인삼 생육 특성, 토양 미생물상을 비교 분석하여 인삼 재작기간 단축 가능성을 확인하고자 실시하였다.

2 재료 및 방법

<제1세부과제 : 토양병원균 밀도저감기술 개발 및 현장 지원 연구>

(시험 1) 재작기간 단축을 위한 토양병원균 밀도 저감효과 구명

가. 포장 준비 및 시험 처리

본 연구는 강원특별자치도 철원군 김화읍에 위치한 강원특별자치도농업기술원 인삼약초연구소 (현 산채연구소 과채류시험장) 시험포장에서 2018년 3월부터 2023년 11월까지 수행되었다. 시험포장은 인삼 재배가 가능한 논토양으로 2017년에 6년생 인삼을 수확하였으며 인삼 수확 후 각 시험 처리 전 토양 화학성은 표 1과 같이 pH와 칼슘은 허용범위 이내였으나 염류 농도를 나타내는 EC와 유기물, 칼륨, 마그네슘은 허용범위보다 낮았다(표 2). 인삼 수확 후 재작기간 단축을 위한 처리 방법과 기간은 벼재배를 통한 담수 처리 등 5 처리로 총 3년간(표 1 및 그림 1, 2)의 처리 내용에 따라 반복하여 실시하였으며 각 시험 처리 후 인삼 재배는 1년간 상지에서 재배한 묘상을 칸당(90 cm × 180 cm) 63주 정식하였고 표준인삼경작방법에 준하여 재배하였다.

나. 토양 병원균 밀도 분석

시험 처리 후 인삼을 정식한 2021년부터 토양병원균 밀도 저감효과를 확인하기 위해 각 처리별 토양을 채취하여 농촌진흥청에서 개발한 인삼 뿌리썩음병원균 밀도 측정법(RDA., 2017)에 따라 토양 병원균 밀도 분석을 실시하였다. 먼저 토양 병원균 밀도 분석을 위해 각 처리구의 토양을 시기별로 5~7 지점에서 무작위로 채취하여 2 mm 체로 정선한 후 5 g을 라디시콜 선택배지(MM+50ppm) 10 ml를 첨가한 후 20 °C 항온기에서 2일간 진탕 배양하였다. 이 후 원심분리하여 상등액은 제거하고 동결 건조시킨 후 0.5 g의 토양 시료를 덜어내 DNeasy mini kit(Qiagen, Hilden, Germany)을 이용하여 제조회사의 지침에 따라 DNA를 추출하였다. 추출한 DNA 시료는 인삼 뿌리썩음병원균 동정용 primer를 포함하는 혼합액을 만들어 real time PCR(CFX96 real time system, Bio-Rad Inc., Hercules, CA, USA)을 수행하였으며 각 결과는 병원균 밀도 정량 곡선에 대입하여 토양 내 병원균 밀도로 표시하였다.

$$\text{copy No.} = \frac{Xng * 6.0221 * 10^{23} \text{ molecules/mole}}{(N * 660g/mole) * 1 * 10^9 ng/g}$$

※ X=ds DNA의 양(ng), N=dsDNA의 길이(bp)

다. 처리구별 토양미생물 군집 분석

3년간 각 시험 처리 후 인삼 정식을 완료하고 처리구별로 토양 내 미생물 군집 특성을 확인하기 위해 토양미생물 군집 분석을 실시하였다. 채취한 토양 시료의 Total Genomic DNA (gDNA) 추출은 FastDNA® Spin Kit (MP Biomedicals, Santa Ana, USA)를 사용하였으며 염기서열 증폭 (Polymerase chain reaction, PCR)은 ITS3(5'-TCGTCGGCAGCGTC-AGATGTGTATAAGAGACAG

-GCATCGATGAAGAACGCAGC-3') 과 ITS4(5'-GTCTCGTGGGCTCGG-AGATGTGTATAAGAGACAG-TCTCCGCTATTGATATGC-3') Primer를 사용하여 ITS2 region을 타겟으로 실행하였다. PCR 조건은 Initial denaturation: 95°C, 3min, Denaturation: 95°C, 30 sec (25 cycles), primer annealing: 55°C, 30 sec, Extension: 72°C, 30 sec, Final extension : 72°C, 5 min 이었다. PCR 산물은 1% 아가로스겔 전기영동으로 확인하였으며 Gel Doc 시스템(BioRad, Hercules, CA, USA)에서 시각화되었다. 증폭된 생성물은 CleanPCR(CleanNA, OmegaBioTek Inc., Winooski, VT, USA)을 사용하여 정제되었다. 같은 농도의 정제된 생성물을 모으고, CleanPCR 을 사용하여 짧은 단편 (비표적 생성물)을 제거하였다. 품질 및 생성물 크기는 Bioanalyzer 2100 (Agilent, Palo Alto, CA, USA)에서 DNA 7500 칩을 사용하여 측정하였으며 혼합된 amplicons을 모아 Illumina Miseq sequencing system(Illumina Inc., San Diego, CA, USA) 을 이용하여 분석하였다. raw read 처리는 Trimmomatic ver. 0.32(Bolger et al., 2014)을 사용하여 quality를 확인하고 25미만 저품질 read를 필터링하였으며 paired and sequence data는 기본 매개변수로 VSEARCH version 2.13.4(Rognes et al., 2016) 의 fastq_mergepairs 명령을 사용하여 병합하였다. 그리고 Myers & Miller³의 정렬 알고리즘을 사용하여 유사성 임계값 0.8로 primer를 잘라내었다. unique read는 VSEARCH의 derep_fulllength 명령을 사용하여 추출되었고, 중복되는 read는 unique read와 함께 군집화되었다. UNITE ITS database(Nilsson et al., 2019)는 VSEARCH의 usearch_global 명령을 사용하여 분류 체계 할당에 사용되었으며, 이후 더 정확한 pairwise 할당이 수행되었다. 키메라 read는 UCHIMEalgorithm(Edgar et al., 2011)과 UNITE non-chimeric ITS database를 사용하여 97% 유사수준 미만의 read중에서 제외되었다. 키메라 제거 후, UNITE 데이터베이스를 통해 종 수준에서 식별되지 않은 read (97% 미만 유사수준)는 편집되었고, 추가적인 OTUs를 생성하기 위해 de-novo 클러스터링을 수행하였으며 추가 분석에서 single reads(singletons)는 생략되었다. 다양성 지수와 바이오마커 탐색을 포함하는 이차 분석은 천랩 (Seoul, Korea)의 내부 프로그램으로 수행되었다.

라. 인삼 생육특성 조사

인삼 수확 후 3년간 시험 처리한 처리구별 인삼 생육 특성을 조사하기 위해 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA., 2012)에 따라 지상부 생육 특성은 6월 하순에, 지하부 생육 특성은 10월 하순에 조사하였으며 년생이 경과함에 따라 매년 동일하게 실시하였다.

마. 통계 분석

각 처리구 결과는 통계프로그램 SAS(version 9.2, SAS Institute Inc. Cary, NC, USA)을 이용하여 DRMT(Duncan's Multiple Range Test) 5 % 수준에서 유의성을 검정하였다($p < 0.05$).

3 결과 및 고찰

<제1세부과제 : 토양병원균 밀도저감기술 개발 및 현장 지원 연구>

(시험 1) 재작기간 단축을 위한 토양병원균 밀도 저감효과 구명

가. 시험 처리 기간 내 토양 이화학성 비교

6년근 인삼 수확 후 각 시험 처리 전 토양 화학성 특성은 표 1과 같이 pH와 칼슘은 허용범위 이내였으나 염류 농도를 나타내는 EC와 유기물, 칼륨, 마그네슘은 허용범위보다 낮았다. 그러나 각 시험 처리를 1년간 실시한 결과 토양 화학성 특성은 처리 전과 비교하여 담수 처리구인 T1과 T3, T4에서 EC 값이 낮아졌으며 담수 처리하지 않고 녹비작물인 수단그라스를 재배하고 미생물 처리한 T2 처리구는 유기물 함량이 무처리구인 NC에 비해 증가하였다(표 2).

표 1. 인삼 수확지 시험포장 구획 및 시험처리

구 분	처리 내용
NC	무처리
T1	담수(벼재배, 5~9월)
T2	미생물(바실러스 4월·10월)+수단그라스(5~9월)
T3	담수(벼재배)+미생물(10월)
T4	담수(6~8월)+미생물(9월)+양파(10~익년 6월)



그림 1. 인삼 수확지 시험포장 구획

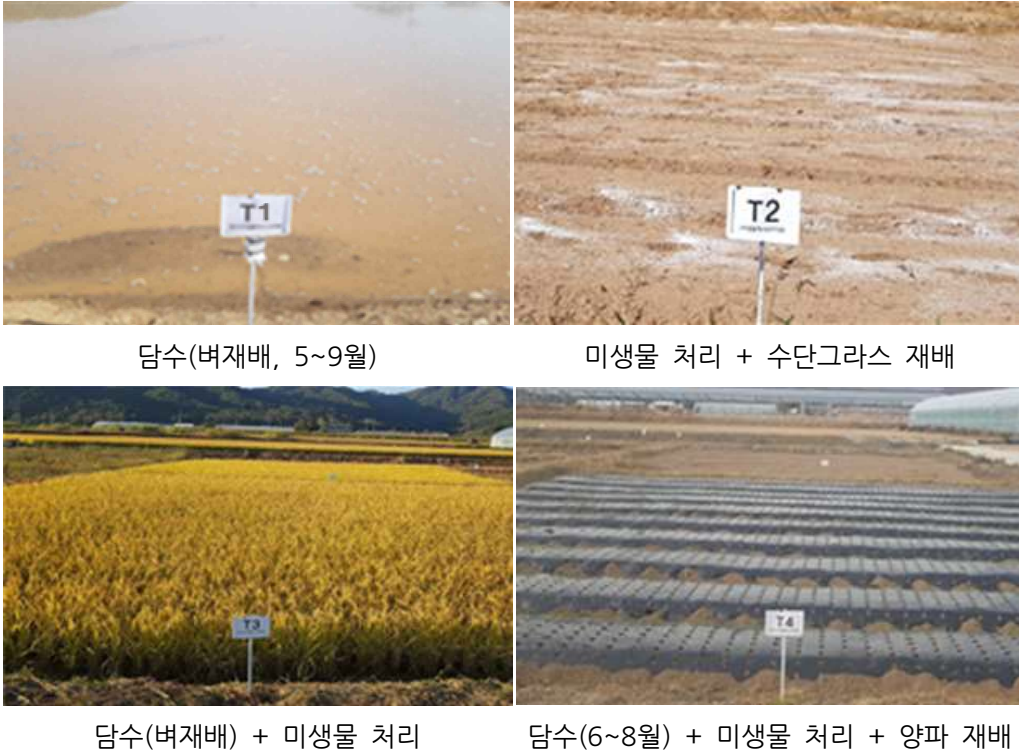


그림 2. 인삼 수확지 시험포장 구획 및 시험처리

표 2. 인삼 수확 후 시험처리 전과 처리 후 1년 경과 토양 화학성 특성 비교

구 분	pH	EC	SOM	Ca	K	Mg	Na
처리 전*	6.3	0.23	18.3	5.2	0.4	1.3	0.1
NC	6.4	0.20	19.7	4.9	0.5	1.2	0.1
T1	6.4	0.15	19.7	5.4	0.3	1.2	0.1
T2	6.4	0.24	22.4	5.3	0.5	1.3	0.1
T3	6.4	0.15	19.7	5.4	0.3	1.2	0.1
T4	6.6	0.18	15.1	6.0	0.4	1.3	0.1
허용범위**	6.0~6.4	0.50~1.00	20~30	5.0~6.5	0.60~1.00	2.0~4.0	0.15~0.2

* : 인삼 수확 후 각 시험 처리 전 토양 화학성(4월)

** : 표준인삼경작방법 [별표 2] 인삼 예정지 토양의 화학성 기준

각 시험 처리를 2년간 실시한 결과 처리구별 토양 화학성은 담수 처리구인 T1과 T3, T4에서 1년간 처리와 마찬가지로 EC 값이 낮아졌으며 수단그라스를 재배하고 미생물 처리한 T2 처리구는 유기물 함량이 무처리구인 NC에 비해 여전히 증가하는 경향을 보였다(표 3).

표 3. 인삼 수확 후 시험처리 전과 처리 후 2년 경과 토양 화학성 특성 비교

구 분	pH	EC (ds/m)	SOM (g/kg)	Ca	K	Mg	Na
				cmol(+)/kg			
처리 전	6.3	0.23	18.4	5.3	0.5	1.3	0.1
NC	6.3	0.20	19.6	4.8	0.5	1.3	0.1
T1	6.3	0.16	19.8	5.5	0.4	1.3	0.1
T2	6.4	0.23	22.3	5.43	0.5	1.3	0.1
T3	6.4	0.16	19.6	5.4	0.4	1.2	0.1
T4	6.5	0.17	15.2	6.1	0.4	1.2	0.1
허용범위**	6.0~6.4	0.50~1.00	20~30	5.0~6.5	0.60~1.00	2.0~4.0	0.15~0.2

* : 인삼 수확 후 각 시험 처리 전 토양 화학성(4월)

** : 표준인삼경작방법 [별표 2] 인삼 예정지 토양의 화학성 기준

각 시험 처리를 3년간 실시하고 인삼 정식 전 토양 화학성에서는 pH 등 대부분의 항목에서 모든 처리구간 큰 차이를 보이지 않았으나 T3에서 칼륨이 다소 높은 경향을 보였고 NC와 T1, T2에서 인산 함량이 비교적 낮았다(표 4).

표 4. 3년간 시험 처리 후 인삼 정식 전 토양 화학성 특성 비교

구 분	pH	EC (ds/m)	SOM (g/kg)	Ca	K	Mg	P ₂ O ₅ (mg/kg)
				cmol(+)/kg			
NC	6.3	0.1	23	3.7	0.4	0.9	166
T1	6.4	0.1	23	3.9	0.4	1.0	180
T2	6.4	0.1	25	4.2	0.4	1.0	220
T3	6.3	0.2	24	4.6	0.7	1.1	340
T4	6.4	0.1	23	4.5	0.4	1.0	410
허용범위	5.0~6.5	1.0이하	10~30	3.0~6.5	0.3~1.0	1.0~4.0	100~400

나. 시험 처리 및 인삼 정식 후 년생별 토양 이화학성 비교

각 시험 처리 후 1년간 상자에서 재배한 묘삼을 정식하고 1년을 경과한 인삼 3년생부터 토양 화학성 특성을 분석한 결과에서 3년생과 1년이 경과한 4년생 모든 처리구가 분석 항목별로 허용 기준치 이내로 적합하거나 허용범위에서 크게 벗어나지 않았다(표 5, 6 및 그림 3, 4).

표 5. 인삼 3년생 토양 화학성 특성 비교

구 분	pH	EC (ds/m)	SOM (g/kg)	Ca	K	Mg	P ₂ O ₅ (mg/kg)
				cmol(+)/kg			
NC	5.6	0.61	24	3.8	0.5	0.98	176
T1	5.5	0.46	24	4.4	0.6	1.21	194
T2	5.9	0.51	26	4.5	0.7	1.07	249
T3	5.8	0.71	25	4.7	0.5	1.13	329
T4	5.7	0.91	23	5.2	0.5	1.24	385
허용범위	5.0~6.5	1.0이하	10~30	3.0~6.5	0.3~1.0	1.0~4.0	100~400

표 6. 인삼 4년생 토양 화학성 특성 비교

구분	pH	EC (ds/m)	SOM (g/kg)	Ca	K	Mg	P ₂ O ₅ (mg/kg)
				cmol(+)/kg			
T1	5.9	0.4	25	4.3	0.4	1.1	179
T2	6.1	0.2	32	4.1	0.3	0.9	205
T3	6.0	0.3	25	4.4	0.3	1.0	248
T4	6.0	0.4	21	4.9	0.4	1.0	352
NC	5.9	0.4	24	4.0	0.3	1.0	170
허용범위	5.0~6.5	1.0이하	10~30	3.0~6.5	0.3~1.0	1.0~4.0	100~400

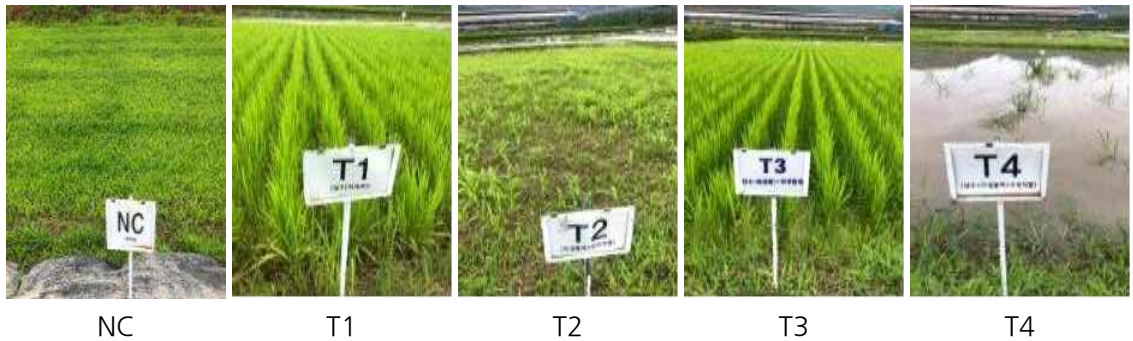


그림 3. 시험 처리 3년차 처리구별 포장 상황



묘삼 정식(4. 8.) 해가림시설 설치(4. 12.) 관수라인 설치

그림 4. 처리구별 묘삼 정식 및 해가림시설 설치

다. 시험 처리 기간 내 지온 변화

인삼 수확 후 각 시험 처리 기간 동안 지온 변화는 담수 처리구인 T1, T3, T4에서 평균지온이 대기온도와 비교하여 1~2℃ 낮았으나 담수 처리하지 않은 NC와 T2 처리구에서는 대기온도에 비해 1~3℃ 높았다. 또한 NC 처리구의 토양 깊이별로(표면 5cm, 25cm) 6~9월 중 평균지온 차이는 최대 2.6℃였으나, 담수 처리한 처리구에서는 1.1℃로 무처리구에 비해 비교적 균일한 온도 분포를 나타내었다. 각 시험 처리의 2년차에는 1년차와 비슷한 양상을 보였으나 T4의 경우 양파 수확 후 담수처리 기간(7-8월)에 지하수를 계속 공급하여 다른 처리구에 비해 2~5℃ 낮은 수치를 보여주었다(그림 5, 6, 7).

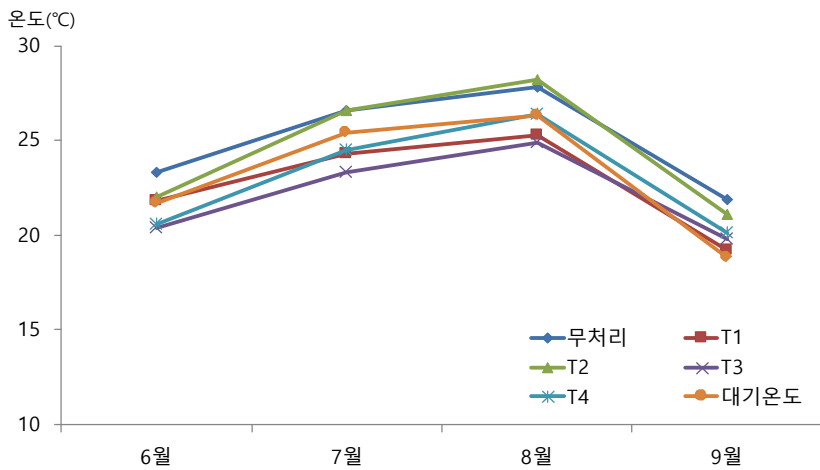


그림 5. 시험 처리 1년간 처리구별 지중온도 변화(토심: 25cm)

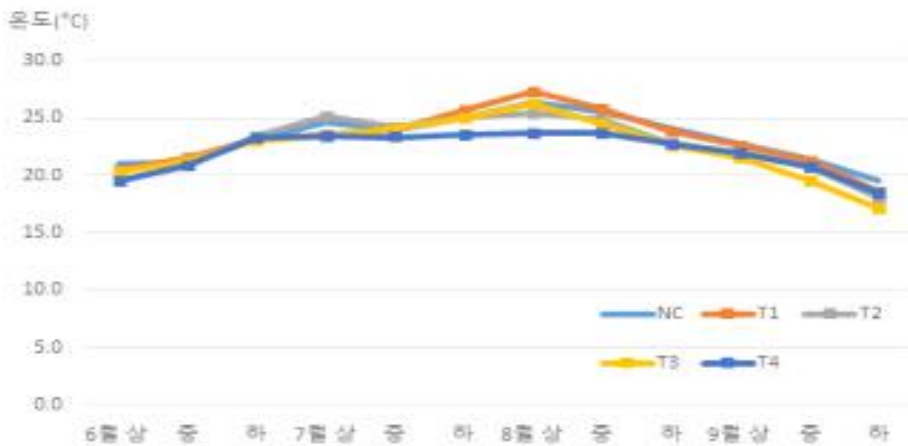


그림 6. 시험 처리 2년간 처리구별 지중온도 변화(토심: 25cm)

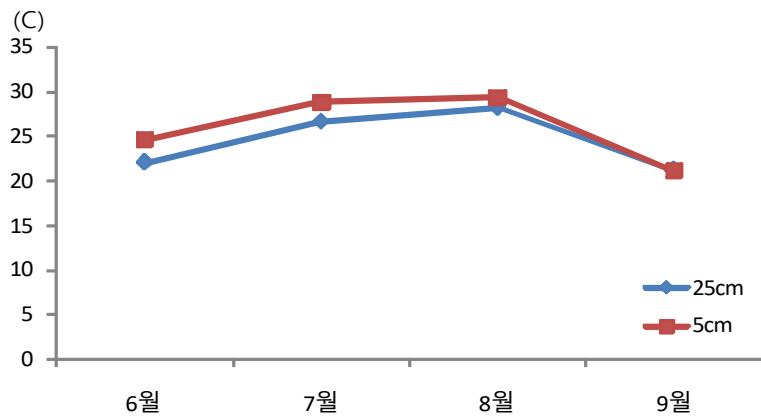
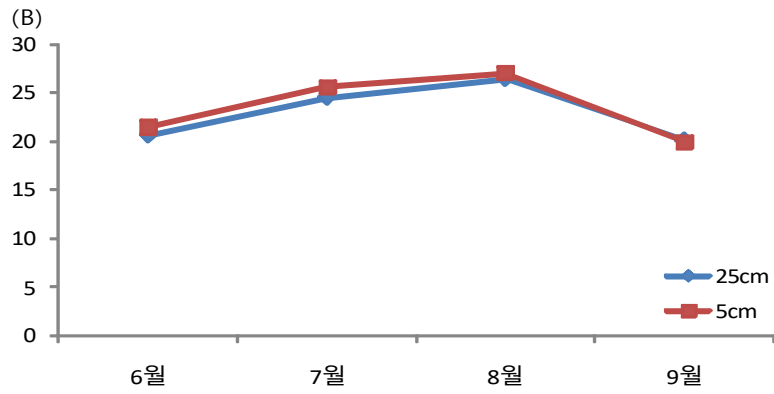
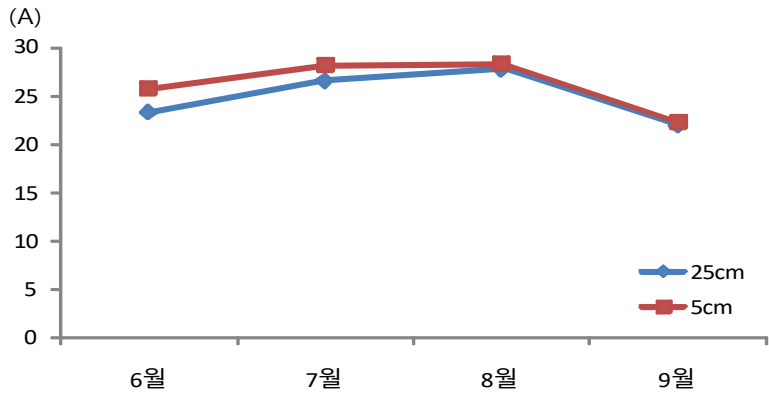


그림 7. 토양 깊이별 평균지온(A: NC, B: T1, C: T2)

라. 경제 작물 도입 및 생육 특성

인삼 수확 후 예정지 관리 기간 동안 농가 소득 확보를 위해 처리구 T4의 시험 처리로 도입한 양파 재배의 경우 (표 7 및 그림 8)과 같은 결과를 보였다.

표 7. T4 처리구 양파 구 특성

구 분*	구 경 (mm)	구 고 (mm)	구 중 (g)	인 편				분구율 (%)	열구율 (%)
				경도 (N)	당도 (Bx°)	개수 (개)	두께 (mm)		
대	79.3	82.2	240.2	1.85	7.51	8.3	4.3	0.0	0.0
중	66.2	71.7	146.8	1.74	7.17	8.0	4.1	0.0	0.0
소	58.3	66.4	103.7	1.48	7.96	7.5	3.9	0.0	0.0

* :대 200g 이상, 중 120-200g 미만, 소 80-120g 미만, 비상품과 80g 미만



그림 8. 양파 수확 및 특성 조사

마. 시험 처리 기간 내 뿌리썩음병 원인균 밀도 변화

인삼 수확 후 시험 처리 전 토양 내 뿌리썩음병 원인균 밀도는 *Fusarium solan*의 경우 0.24 CFU/g 수준이었으며 각 시험 처리를 1년간 실시한 후 밀도는 0.19~0.28 CFU/g로 큰 변화를 보이지 않았다(그림 9). 시험 처리 2년차에서는 *F. solan*의 밀도가 담수 처리구에서 낮은 경향이었으며(그림 11), *F. solan*와 함께 주요 인삼 뿌리썩음병 원인균인 *Cylindrocarpon destructans*의 밀도가 NC에서 77.4 Copy/g 였으나 처리구 T3에서는 33.7 Copy/g로 약 58%가 감소하였다(그림 10). 시험 처리 3년차에도 담수 처리구인 T1, T3, T4에서 *F. solan*의 밀도가 낮은 경향을 보였다(그림 12). 3년간 시험 처리를 완료하고 인삼을 정식하기 전 각 처리구의 뿌리썩음병원균 밀도에서는 담수 처리구였던 T1과 T4에서 기준치 이하의 *C. destructans*가 소량 검출되었으나 인삼 재작에는 영향이 없을 것으로 판단되는 수치였고 그 외 처리구에서는 검출되지 않았다(표 8). 인삼 정식 후 3년생 처리구별 뿌리썩음병원균 밀도에서는 T1 처리구의 3월 토양 시료에서 33.9 copy/g으로 뿌리썩음병 원인균이 기준치 이하로 검출되었고 9월에 실시한 분석에서는 무처리구인 NC에서 기준치 이하의 농도로 검출되었다(그림 13). 그 외 처리구에서는 검출되지 않았다. 인삼 정식 후 4년생 처리구별 뿌리썩음병원균 밀도에서는 9월 분석시 NC, T1, T4에서 기준치 이하로 검출되었으며 인삼 근권부를 별도로 분석한 결과에서는 T4 처리구에서 기준치 이상의 병원균이 검출되었다(표 9).

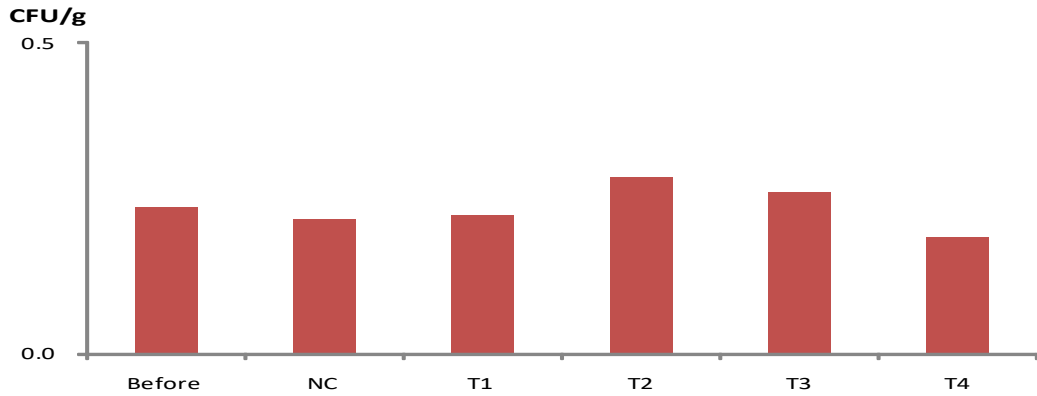


그림 9. 1년간 시험 처리 후 처리구별 토양 내 뿌리썩음병 원인균(*Fusarium solani*) 밀도 (Before: 시험 처리 전(4월), 그 외: 각 시험 처리 후(10월))

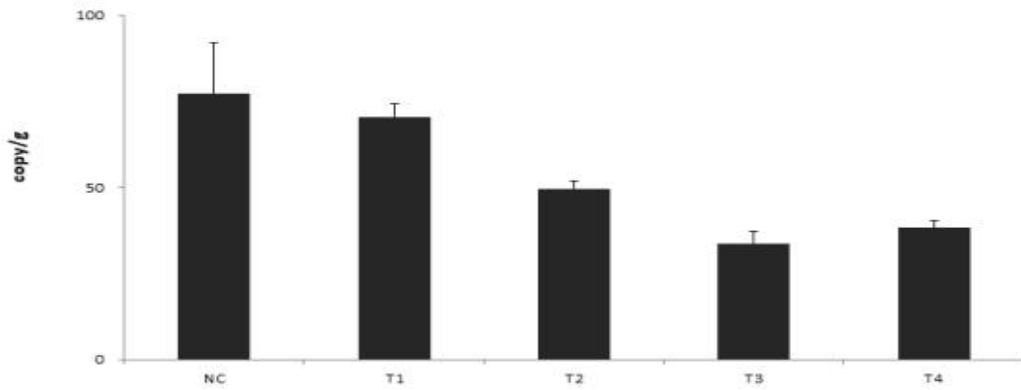


그림 10. 2년간 시험 처리시 처리구별 토양 내 병원균(*Cylindroncarpon destructans*) 분석

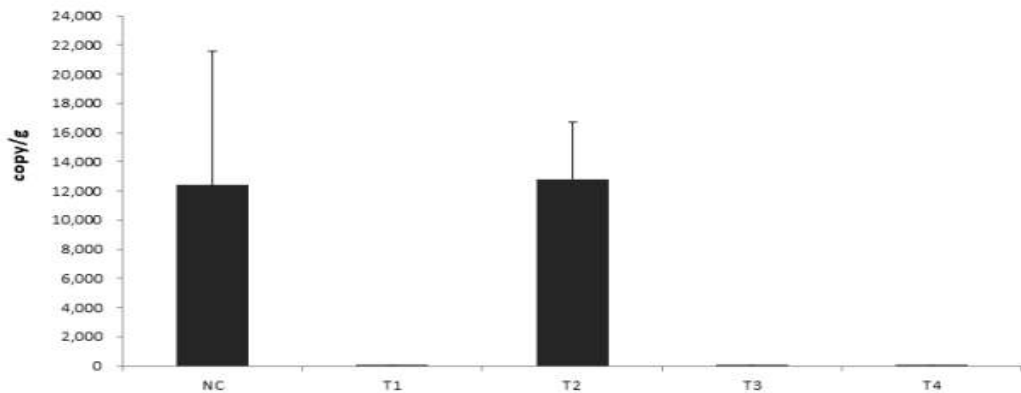


그림 11. 2년간 시험 처리시 처리구별 토양 내 병원균(*Fusarium solani*) 분석

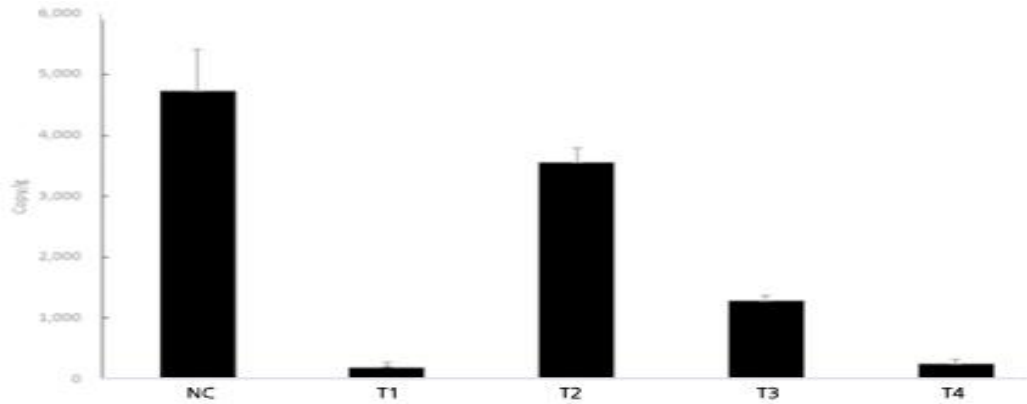


그림 12. 3년간 시험 처리시 처리구별 토양 내 병원균(*Fusarium solani*) 분석

표 8. 인삼 정식 후 인삼 2년생 처리구별 토양병원균 밀도 분석 결과

처리구	FAM ^X Copy ^Z /g		
	3월	6월	9월
NC	ND ^Y	ND	ND
T1	ND	ND	1.95E+01
T2	ND	ND	ND
T3	ND	ND	ND
T4	1.87E+00	ND	ND

X: *Cylindrocarpon destructans* 검출 필터, Y: Not detective

Z: DNA의 양을 나타낼 때 쓰는 단위, 1.00E+02 copy/g 가 기준치 농도임

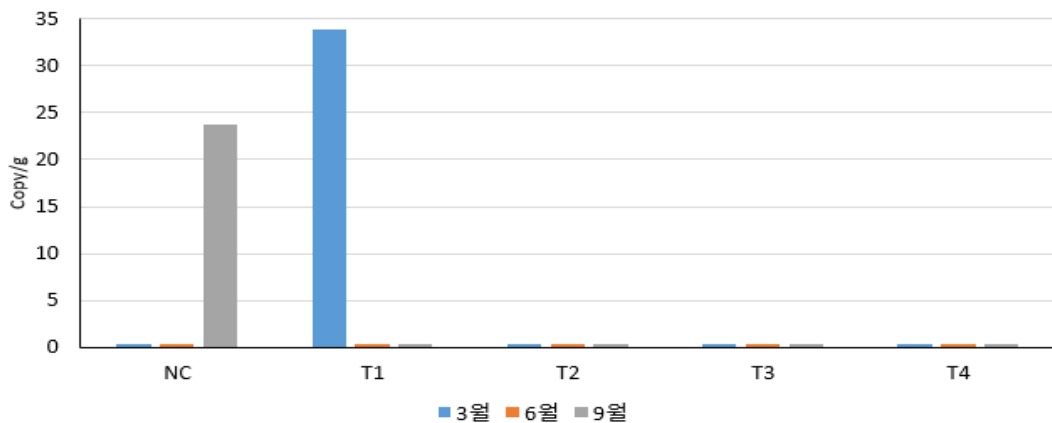


그림 13. 인삼 정식 후 인삼 3년생 처리구별 토양 내 병원균(*Cylindrocarpon destructans*) 분석

표 9. 처리구별 토양병원균 밀도 추이(3년근→4년근, 2022-2023)

(단위: Copy*/g)

구 분	2022년(3년생)			2023년(4년생)			
	3월	6월	9월	3월	6월	9월	9월(근권)
T1	33.9	ND	ND	ND	ND	35.8	1.4
T2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.7
T3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11.4
T4	ND	ND	ND	ND	ND	2.4	2.7E+07
무처리	ND ^Y	ND	23.8	ND	ND	95.4	1.8

*copy No. = $\frac{Xng \cdot 6.0221 \cdot 10^{23} \text{ molecules/mole}}{(N \cdot 660g/mole) \cdot 1 \cdot 10^9 ng/g}$, ※ X=ds DNA의 양(ng), N=dsDNA의 길이(bp)

X: DNA의 양을 나타낼 때 쓰는 단위, 1.00E+02 copy/g 가 기준치 농도

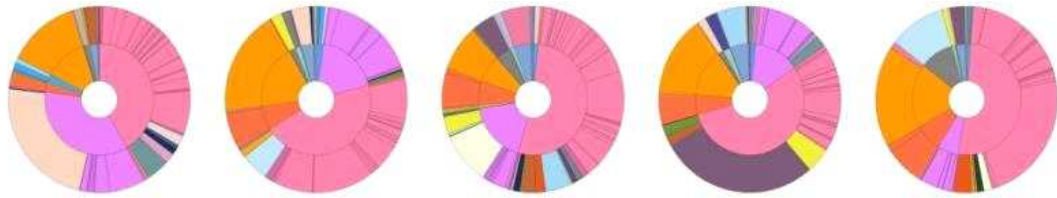
Y: Not detective(검출되지 않음)

5. 인삼 정식 후 처리구별 토양미생물 군집 특성

각 처리구의 인삼 정식 후 처리구별 미생물 군집 특성을 확인하기 위해 인삼 3년생부터 토양 미생물 군집 분석을 실시한 결과(표 10), 인삼 3년생 시기에서 종 다양성은 무처리구인 NC 및 T2에 비해 담수 처리한 T1, T3 및 T4 처리구에서 낮게 분포하였고(그림 14, 15), 특히 담수 처리구 중 벼 재배 처리구 T1과 T3에서 뚜렷하게 낮은 분포를 보였다(그림 15). 또한 뿌리썩음병 원인균인 *Cylindrocarpon destructans*와 *Fusarium solani*의 분포 차이도 확인할 수 있었다(그림 16, 17, 18, 19). 인삼 4년생 시기에서는 토양 미생물 중 세균 군집에서 T2와 무처리구인 NC가 가까운 유연관계를 형성하고, T1, T3, T4가 가까운 유연관계를 보였는데 이들은 각각 담수와 비담수 처리라는 특성을 보였다(그림 20, 21).

표 10. 인삼 뿌리썩음병 원인균 *Cylindrocarpon destructans* 계통학적 분류

구 분	분 류
문(Phylum)	<i>Ascomycota</i>
강(Class)	<i>Sordariomycetes</i>
목(Order)	<i>Hypocreales</i>
과(Family)	<i>Nectriaceae</i>
속(Genus)	<i>Ilyonectria</i>
종(Species)	<i>Ilyonectria destructans</i>



NT

T1

T2

T3

T4

그림 14. 처리구별 인삼 2년생 토양미생물 분포 비교

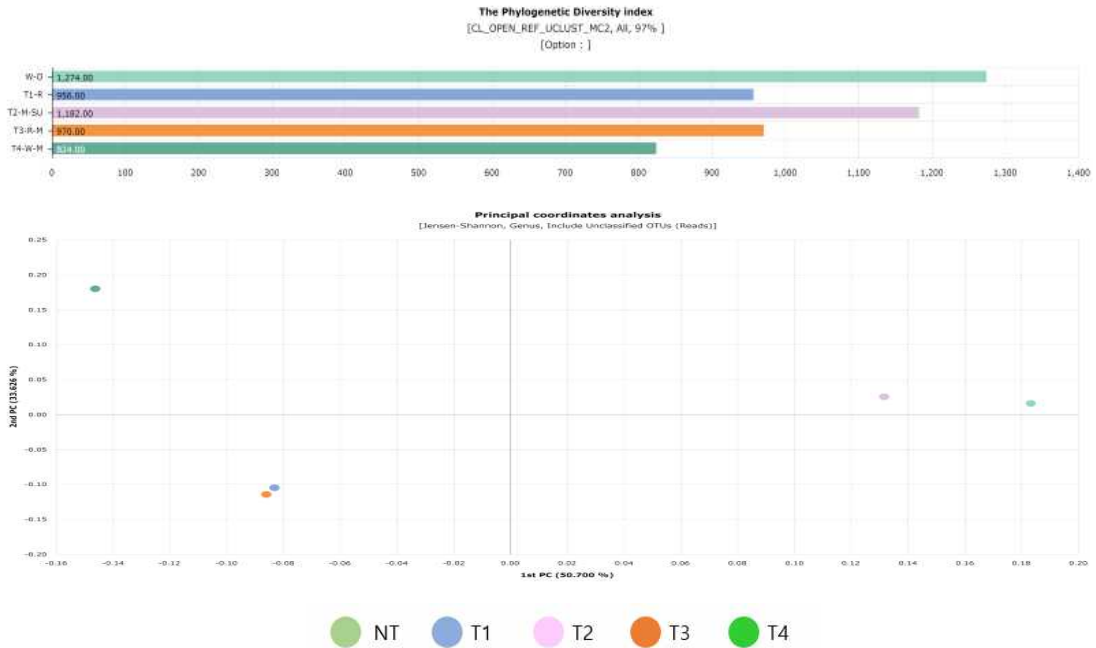


그림 15. 처리구별 인삼 2년생 토양미생물 종 다양성 비교

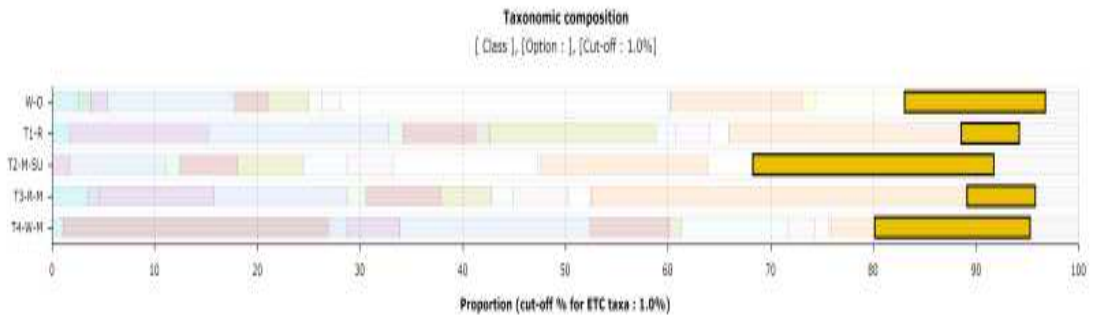


그림 16. 처리구별 인삼 2년생 토양미생물 강(class) 수준(Sordariomycetes)

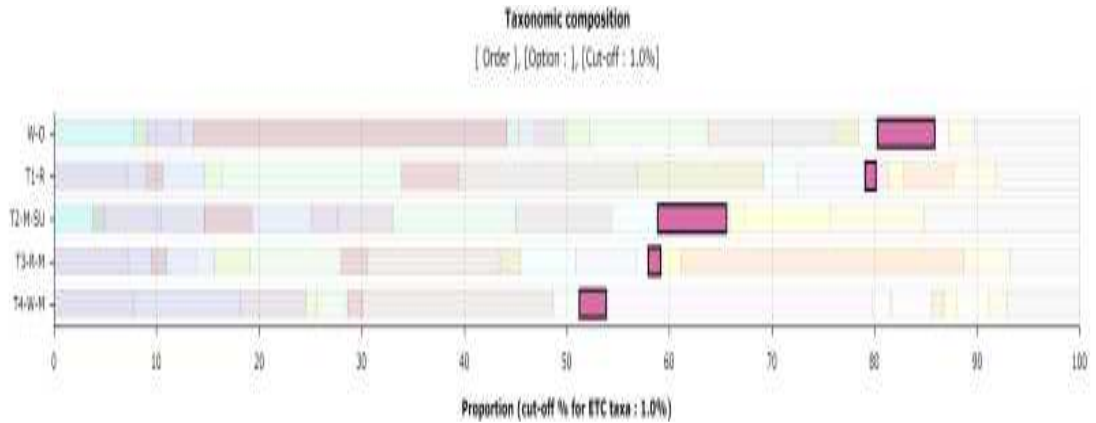


그림 17. 처리구별 인삼 2년생 토양미생물 목(Order) 수준(*Hypocreales*)

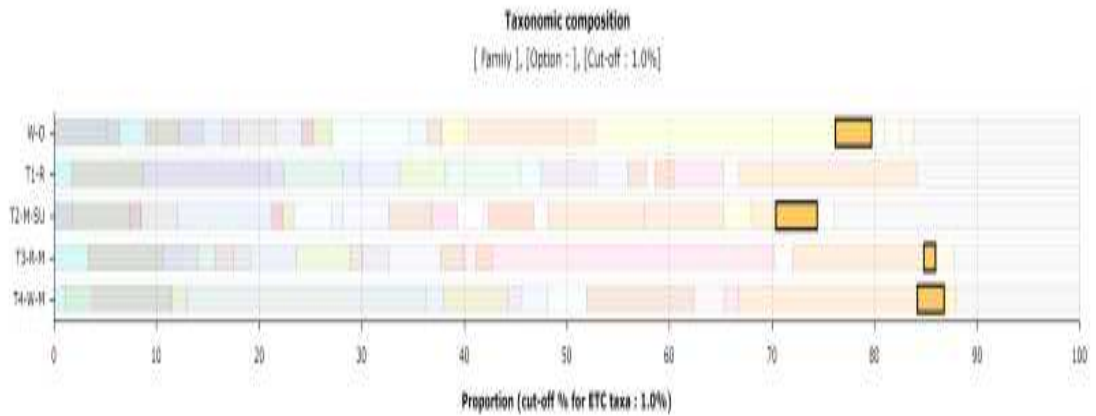


그림 18. 처리구별 인삼 2년생 토양미생물 과(Family) 수준(*Nectriaceae*)

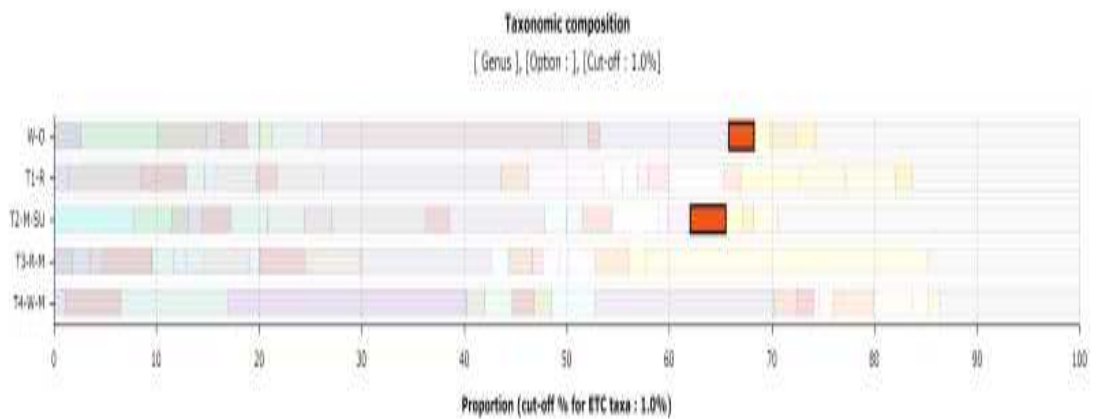


그림 19. 처리구별 인삼 2년생 토양미생물 속(Genus) 수준(*Fusarium* sp.)

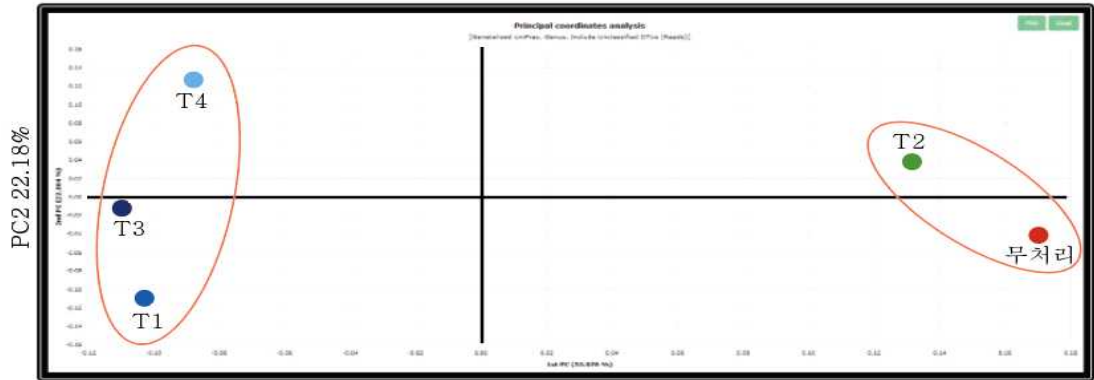


그림 20. 인삼 4년생 처리구별 토양 세균 군집 PCoA 분석

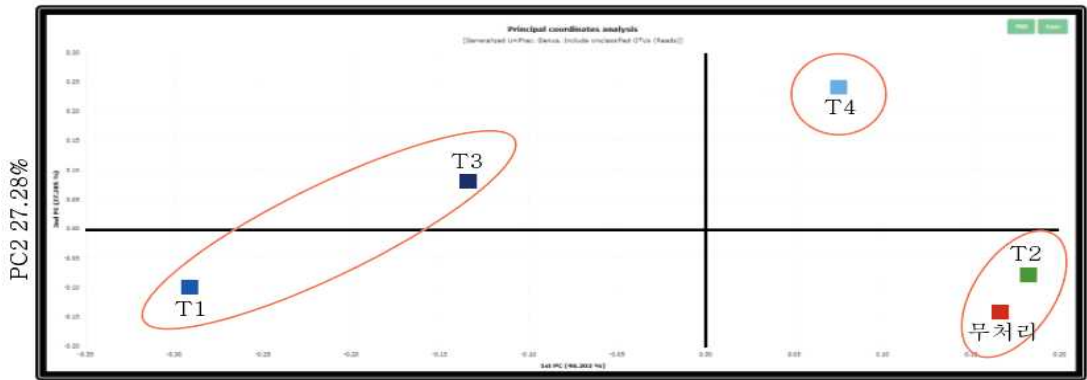


그림 21. 인삼 4년생 처리구별 토양 진균 군집 PCoA 분석

6. 처리구별 인삼 생육 특성

3년간 시험 처리 후 인삼 정식을 완료한 처리구별 인삼 생육 특성에서 처리구별 2년생의 출아율은 T1부터 T4까지 모든 처리구에서 무처리구인 NC와 비교하여 다소 높게 확인되었다(표 10). 2년생 인삼의 지상부 생육 특성에서는 NC 처리구가 초장이 12.1cm로 낮은 경향이었으나 큰 차이는 없었고 그 외 생육 특성은 비슷하였다(표 11).



NC T1 T2 T3 T4

그림 22. 처리구별 인삼 2년생 초기 생육 현황

표 11. 처리구별 인삼 2년생 출아율

처리구	정식수(개/1.6㎡)	출아수(개/1.6㎡)	출아율(%)
NC	65.3	35.7	56.0
T1	70.0	55.7	79.5
T2	67.7	51.0	75.4
T3	65.3	47.3	72.2
T4	63.0	43.3	68.8

표 12. 처리구별 인삼 2년생 지상부 생육 특성

처리구	초장 (cm)	경장 (cm)	경수 (개)	경직경 (mm)	엽병수 (개)	엽수 (개)	엽병장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
NC	12.1	3.5	1.0	1.7	2.1	10.0	3.6	4.9	2.5
T1	13.7	3.7	1.0	2.0	2.1	10.3	4.4	5.2	2.8
T2	13.4	3.6	1.0	1.8	2.0	9.9	4.2	5.2	2.7
T3	14.1	4.2	1.0	1.8	2.0	10.3	4.5	5.7	2.4
T4	13.7	3.9	1.0	3.2	2.2	10.8	4.1	5.8	2.7

다음 해인 3년생 인삼의 출아율은 T2 처리구에서 66.8%로 가장 높았으며 T3 처리구에서 48.7%로 가장 낮은 출아율을 보였다. T3 처리구가 상습 침수지역이라 출아율이 낮은 것으로 판단되며 인삼약초연구소 시험 포장 중 인삼 초작지 3년생과 비교했을 때 모든 처리구의 출아율이 낮았다(표 13). 지상부 생육 특성에서는 모든 처리구가 비슷하였으나(표 14), 지하부 생육특성에서는 근장, 근중, 근직경, 동장, 뿌리썩음 정도에서 통계적 유의성이 없었으며, 대조구인 초작지 3년생과 T2 처리구에서 적변율이 높은 수준으로 나와 통계적 유의성이 있었다(표 15).



T1

T2

T3

T4

그림 23. 처리구별 인삼 3년생 생육 현황

표 13. 처리구별 인삼 3년생 출아율

구 분	출아율(%)
NC	65.8
T1	56.7
T2	66.8
T3	48.7
T4	51.3
3년근	71.5

표 14. 처리구별 인삼 3년생 지상부 생육 특성

구 분	초장 (cm)	경장 (mm)	경직경 (mm)	엽병수 (개)	엽수 (개)	엽병장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
NC	23.3±4.3	9.8±3.3	2.7±0.3	2.8±0.4	14.1±1.5	5.5±0.7	7.6±0.5	3.5±0.3
T1	25.7±3.9	11.0±3.0	2.6±0.2	2.9±0.1	15.2±0.8	6.0±0.7	7.9±0.3	3.5±0.5
T2	25.1±3.1	11.0±2.4	2.7±0.1	3.1±0.4	15.7±2.0	5.7±0.3	7.7±1.0	3.5±0.3
T3	24.3±2.6	10.8±2.1	2.7±0.2	3.1±0.5	15.7±2.5	5.3±0.3	7.7±0.7	3.4±0.4
T4	28.0±4.9	14.1±3.6	2.8±0.4	3.3±0.6	16.9±3.2	5.4±0.7	7.8±1.0	3.4±0.6
3년근	28.3±3.3	13.2±1.3	2.5±0.3	3.4±0.4	16.4±1.7	6.0±0.8	7.8±0.4	3.5±0.5

표 15. 처리구별 인삼 3년생 지하부 생육 특성

구 분	근장 (cm)	근중 (g)	근직경 (mm)	동장 (mm)	적변율 (%)	뿌리썩음률 (%)
NC	19.2a*	10.8a	13.7a	8.3a	3.5a	0.7a
T1	16.9a	7.3a	11.3a	6.8a	4.9ab	0.1a
T2	17.5a	7.3a	10.7a	8.1a	22.6c	0.3a
T3	13.7a	6.0a	11.7a	6.0a	7.6ab	0.5a
T4	15.1a	6.1a	11.2a	4.8a	3.7a	0.2a
대조구*	16.3a	8.3a	11.3a	8.1a	18.6bc	4.3a

*: 대조구는 시험 포장 초작지 3년생이며 모든 처리구는 DMRT $p < 0.05$ 유의 수준임



NC

대조구

T3

그림 24. 처리구별 인삼 3년생 지하부 생육 비교

인삼 4년생 시기에는 출아율의 경우 T2와 NC가 가장 높았으며 이는 시험 포장 주변 인삼 초작지 4년생과 비슷한 수준이었으며 T3의 경우 가장 낮게 나타났다. 지상부 생육에서는 NC와 T2가 가장 높았고 T4, T1, T3 순이었으나 모든 처리구가 대조구인 초작지 4년생보다 부진하였다(그림 25 및 표 16). 인삼 4년생 시기에서는 지상부에 발생하는 주요 생리장애를 추가로 조사하였는데(그림 26), 처리구에 따라 황화형 황증(척박지 양분 부족 또는 염류농도 과다로 발생)과 황색 반점형 황증(EC가 높고 칼륨 함량이 높을 때 발생)이 발생하였으나 처리구간 유의적인 차이는 없었다(표 17). 인삼 4년생의 지하부 특성은 생근중에서 T2가 가장 높고 그 외 처리구는 유의적으로 낮았으며, 지근수와 세근수는 담수 처리하지 않은 T2와 NC에서 유의적으로 높았다(표 18 및 그림 27). 인삼 세근은 수분과 양분 흡수를 담당하며 침수시 빠르게 소실하는데(Reid and Petrie, 1991; Fujita et al., 2021), 담수 처리한 처리구에서 침수 및 배수 불량에 의한 피해가 발생한 것으로 추정된다. 처리구별 휴면율은 T3에서 가장 많이 발생하였는데 전반적인 재배 환경이 불량했던 것으로 판단되며 적변율과 뿌리썩음병 발생율은 T3, T4에서 높았고 뿌리혹은 NC에서 유의적으로 가장 높게 발생하였다(표 19).

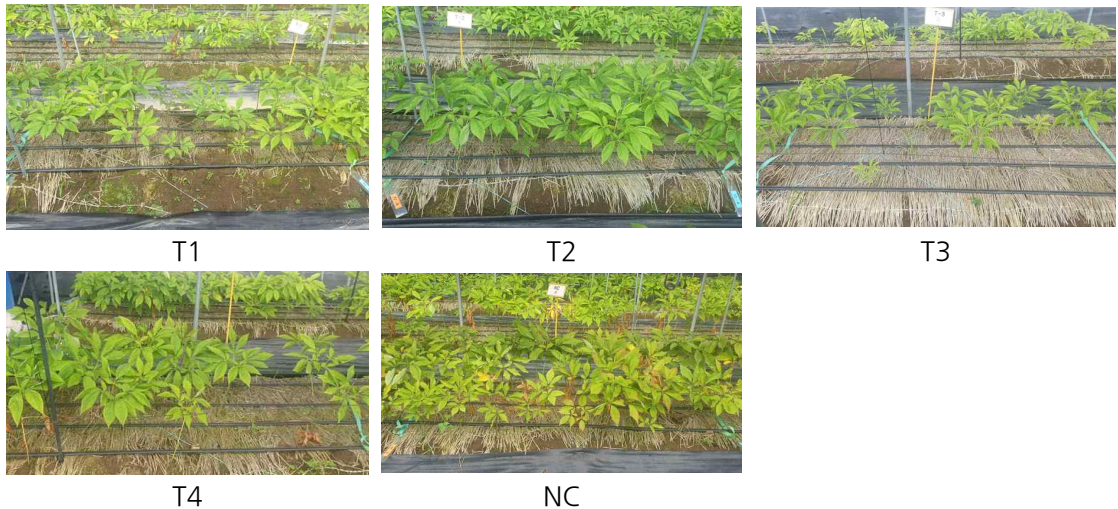


그림 25. 처리구별 인삼 4년생 지상부 생육 비교

표 16. 처리구별 인삼 4년생 출아율 및 지상부 생육 특성

구 분	출아율 (%)	초장 (cm)	경장 (mm)	경직경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	장엽수 (개)	소엽수 (개)
T1	3.4ab	44.7cd	24.0c	4.5	11.8	4.7	22.3	1.5
T2	68.3a	54.9b	31.1b	5.3	14.2	5.8	23.1	1.6
T3	42.9b	43.2d	23.9c	4.5	11.2	4.3	20.9	2.3
T4	5.5ab	49.4bc	27.9b	4.8	12.5	4.8	21.3	1.6
NC	69.8a	51.9b	29.0b	4.8	13.2	5.4	20.5	1.0
대조구	69.6a	64.0a	34.7a	6.2	16.3	6.9	24.2	1.6

*DMRT: $p < 0.05$



황화형 황증

황색 반점형 황증

황갈색 반점형 황증

엽연형 황증

그림 26. 인삼 주요 생리장해

표 17. 처리구별 인삼 4년생 지상부 주요 생리장해 발생율

(단위: %)

구 분	황화형 황증	황색 반점형 황증	황갈색 반점형 황증	엽연형 황증
T1	18.8	3.2	0.0	1.0
T2	13.4	4.4	0.0	0.8
T3	16.5	7.6	0.0	0.0
T4	15.0	3.1	0.0	0.0
무처리	3.8	8.2	0.0	0.0

표 18. 처리구별 인삼 4년생 지하부 생육 특성

구 분	생근중 (g)	근장 (cm)	근직경 (mm)	동장 (mm)	지근수 (개)	세근수 (개)
T1	10.7c	15.6b	12.7b	5.8	10.6b	17.0bc
T2	25.2b	18.0b	18.7a	5.2	19.7a	24.3bc
T3	11.7c	15.2b	12.9b	6.4	8.7b	7.4c
T4	15.7c	16.3b	15.5b	5.6	7.7b	7.4c
NC	13.8c	18.5b	14.2b	5.7	11.9b	35.3ab
대조구	36.1a	26.7a	19.7a	7.4	18.3a	59.5a

*DMRT: $\rho < 0.05$

표 19. 처리구별 인삼 4년생 지하부 병해 특성

구 분	휴면율(%)	적변율(%)	뿌리썩음병 발생율(%)	뿌리혹 발생율(%)
T1	34.9abc	28.2a	3.2a	16.5a
T2	15.5bc	24.6a	6.3ab	2.0a
T3	43.5a	44.5ab	11.0b	3.3a
T4	37.7ab	63.6b	20.8c	2.1a
무처리	32.1abc	28.3a	3.2a	43.4b
초작지	10.0c	34.3a	6.3ab	3.3a

*DMRT: $\rho < 0.05$

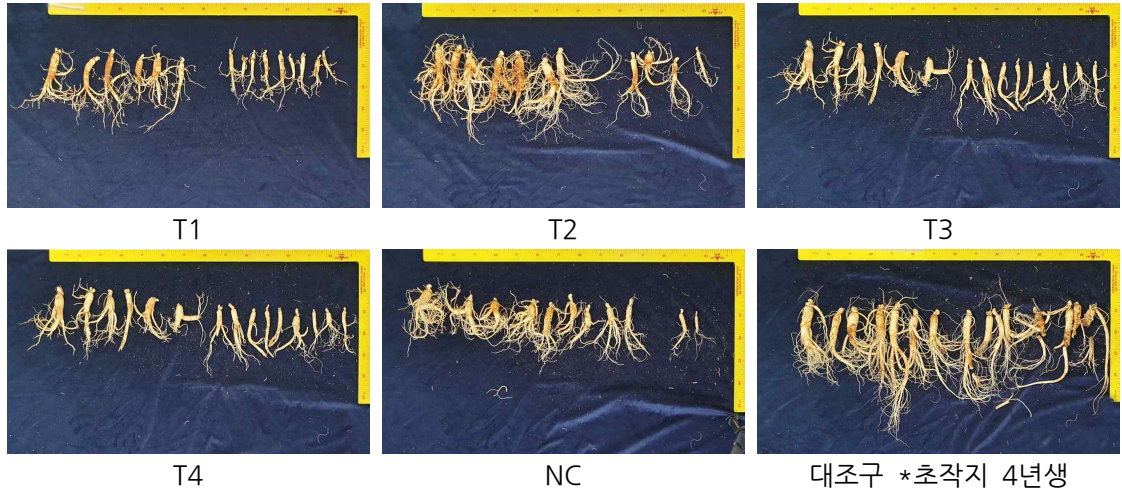


그림 27. 처리구별 인삼 4년생 지하부 수량 비교

4 적 요

<제1세부과제 : 토양병원균 밀도저감기술 개발 및 현장 지원 연구>

(시험 1) 재작기간 단축을 위한 토양병원균 밀도 저감효과 구명

본 연구에서는 인삼 수확 후 재작기간 단축을 위해 벼재배를 통한 담수처리 등 예정지 관리를 3년간 실시한 후 인삼을 다시 재배하여 인삼의 생육 특성 및 토양 내 뿌리썩음병 원인균 밀도 분석 등을 통해 재작기간 단축 가능성을 확인하였다. 3년간 각 처리에 따른 예정지 관리 후에는 뿌리썩음병 원인균 밀도가 담수 처리구였던 T1과 T4에서 기준치 이하의 *Cylindrocarpon destructans*가 소량 검출되었으나 인삼 재작에는 영향이 없을 것으로 판단되는 수치였고 그 외 처리구에서는 검출되지 않았다. 인삼 정식 후 3년생이 되는 시기에는 3월에 T1 처리구에서 33.9 copy/g, 9월에 무처리구인 NC에서 기준치 이하의 농도로 검출되었으나 그 외 처리구에서는 검출되지 않아 안정적인 수준을 유지하였다. 다음 해인 4년생에서도 9월 분석시 NC, T1, T4에서 기준치 이하로 검출되었으나 인삼 근권부를 별도로 분석한 결과에서는 T4 처리구에서 기준치 이상의 병원균이 검출되었다. 그러나 각 처리구의 인삼 생육 특성 중 출현율은 3년생이 되는 시기부터 모든 처리구에서 대조구로 비교한 초작지 3년생 대비 낮았으며 특히 T4 처리구에서는 20.2% 낮았다. 또한 모든 처리구의 지상부 생육에서도 4년생 시기를 기준으로 NC와 T2가 가장 높았고 T4, T1, T3 순이었으나 대조구인 초작지 4년생과 비교하여 크게 부진하였다. 지하부 생육 특성 역시 4년생 시기를 기준으로 T2 처리구가 생근중에서 25.2g으로 가장 높았으나 대조구 36.1g과 비교하여 크게 부진하였다. 지하부 생육 특성 중 모든 처리구는 대조구 대비 세근수에서는 크게 낮은 경향을 보였는데 특히 출현율과 생근중이 부진했던 T3와 T3 처리구에서 세근수가 7.4로 대조구 59.5와 비교하여 크게 낮아 토양병원균 밀도의 영향 보다는 배수 불량에 의한 과습 등 토양 내 물리 환경이 더 큰 영향을 미친 것으로 판단되었다. 그러나 본 연구를 통해 담수 처리에 의한 토양병원균 밀도 감소와 토양 미생물 상의 유연관계를 확인할 수 있었으며 이와 관련된 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

- Bolger, A. M., Lohse, M., & Usadel, B. (2014). Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data. *Bioinformatics*, 30(15), 2114-2120.
- Edgar, R. C., Haas, B. J., Clemente, J. C., Quince, C., & Knight, R. (2011). UCHIME improves sensitivity and speed of chimera detection. *Bioinformatics*, 27(16), 2194-2200.
- Jo JS, Kim CS and Won JY. (1996). Crop rotation of the Korean ginseng(Panax ginseng C. A. Meyer) and the rice in paddy field. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 4:19-26.
- Kang SW, Yeon BY, Hyeon GS, Bae YS, Lee SW and Seong NS. (2007). Changes of soil chemical properties and root injury ratio by progress years of post-harvest in continuous cropping soils of ginseng. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 15:157-161.
- Nilsson, R. H., Larsson, K. H., Taylor, A. F. S., Bengtsson-Palme, J., Jeppesen, T. S., Schigel, D. & Abarenkov, K. (2019). The UNITE database for molecular identification of fungi: handling dark taxa and parallel taxonomic classifications. *Nucleic acids research*, 47(D1), D259-D264.
- Rahman M and Punja ZK. (2005). Factors influencing development of root rot on ginseng caused by *Cylindrocarpon destructans*. *Phytopathology*. 95:1381-1390.
- Rognes, T., Flouri, T., Nichols, B., Quince, C., & Mahé, F. (2016). VSEARCH: a versatile open source tool for metagenomics. *PeerJ*, 4, e2584.
- Sung Woo Lee, Seung Ho Lee, Moon Won Seo, Kyung Hoon Park and In Bok Jang. (2018). Effects of Irrigation and Ginseng Root Residue on Root Rot Disease of 2-Years-Old Ginseng and Soil Microbial Community in the Continuous Cropping Soil of Ginseng. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* 26(5): 345-353.
- Sung Woo Lee, Seung Ho Lee, Mun Won Seo, In Bok Jang, Ra Yeong Kwon and Hye Ji Heo. (2020). Soil Chemical Properties, Microbial Community and Ginseng Root Rot in Suppressive and Conducive Soil Related Injury to Continuously Cropped Ginseng. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* 28(2): 142-151.
- 농촌진흥청. (2019). 표준인삼경작방법.

6 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2019(2년)	기초자료	인삼 재배지 토양병원균 밀도 분석
2020(3년)	홍보	강원BBS ‘인삼재배지 토양병원균 밀도 분석’
2021(4년)	홍보	강원BBS ‘인삼 친환경 방제제 개발’
2022(5년)	홍보	강원BBS ‘인삼 예정지 현장지원’
2023(6년)	홍보	강원일보 등 인삼재배예정지 뿌리썩음병원균 분석 지원

성과지표	연도	1년차 (2018)		2년차 (2019)		3년차 (2020)		4년차 (2021)		5년차 (2022)		6년차 (2023)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적
기초자료		-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
홍보		-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4
계		-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5

7 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도					
					'18	'19	'20	'21	'22	'23
과제책임자	작물연구과	농업연구사	이기욱	과제 총괄	-	-	-	-	-	○
세부책임자	작물연구과	농업연구사	이기욱	세부주관 수행	-	-	-	-	-	○
공동연구자	농업환경연구과	농업연구사	이재형	시험수행 및 평가	○	○	○	○	○	○
	작물연구과	"	모영문	조사분석 지원	-	-	-	-	-	○
	작물연구과	"	이안수	조사분석 지원	-	-	-	-	-	○
	작물연구과	농업연구관	김영진	평가분석 지원	-	-	-	-	-	○
	작물연구과	"	박종열	평가분석 지원	-	-	-	-	-	○
	작물연구과	공업주사보	최병철	연구관리 지원	-	-	-	-	-	○
	연구협력과	농업연구관	고병대	평가분석 지원	-	-	-	○	○	-
	농식품연구소	"	엄남용	평가분석 지원	-	-	-	○	○	-
	산채연구소	농업연구사	윤병성	조사분석 지원	-	-	-	○	○	○
	작물연구과	"	윤예지	조사분석 지원	○	○	○	○	-	-
	농산물원종장	공업서기	이상규	조사분석 지원	○	○	○	○	-	-
	작물연구과	농업연구관	원재희	평가분석 지원	○	○	○	-	-	-
	작물연구과	운전서기	심재남	조사분석 지원	○	○	○	-	-	-
	연구협력과	농업연구관	정정수	평가분석 지원	○	-	-	-	-	-
	산채연구소	공무직	홍지은	조사분석 지원	○	○	○	○	○	○
산채연구소	공업서기	박준영	연구관리 지원	-	-	-	○	○	○	
산채연구소	운전서기보	조태희	연구관리 지원	-	-	-	○	○	○	