

과제구분	기본	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
농업미생물 자원 확보 및 실용화 기술 개발		미생물	'21~'27	친환경미생물 연구소	문지영
미생물 활용 친환경 무 상품성 향상 기술 개발		미생물	'24~'25	친환경미생물 연구소	문지영
색인용어	친환경농업, 무, 미생물, 생리장애				

ABSTRACT

This study was conducted to identify the causes of physiological disorders such as hollow root and internal browning, which have been increasingly observed in eco-friendly radish cultivation fields in Gyeonggi Province. To achieve this, surveys on cultivation practices, soil chemical properties, plant mineral composition, and soil temperature and humidity were carried out. In addition, soil microorganisms were isolated from these fields and screened for their tolerance to high temperature and drought conditions, as well as for their indole-3-acetic acid (IAA) production ability, in order to evaluate their potential as beneficial microbes for improving crop stress tolerance. Soil chemical analysis showed that, most soils were within the neutral pH range. Potassium levels were 1.1 to 3.1 times higher than the optimal range in most farms, and calcium levels were 1.2 to 3.4 times higher than recommended. Boron concentrations in the soils were 32 to 207 times higher than the required levels.

Analysis of mineral contents in harvested radish showed that, in spring phosphorus, boron, and calcium were deficient. In autumn all nutrients except nitrogen were found to be deficient. Soil temperature measurements using data loggers indicated that soil temperatures reached up to 30-31° C, which was approximately 3-4° C higher than the air temperature. Soil microbes isolated from radish fields were screened. Four strains (GP10-2, PJ1-4, GP22-11, and GP1-12) were identified that exhibited IAA production under high temperature and drought conditions, similar to those observed under normal conditions.

Key words: Eco-friendly cultivation, Radish, Soil microbes, Physiological disorder

1. 연구목표

경기도 친환경 무 생산면적은 약 79ha(유기 9 및 무농약 70, '25기준, 국립농산물 품질관리원) 정도이고, 학교급식 납품에서 친환경 무 계약 이행율은 65~70%로 관내 수급 비중이 높은 편이지만 '23년 이후로 공동, 검은썩음, 검은점 증상의 비상품 비율이 크게 증가하고 있다(경기도친환경농업인연합회 애로사항). 무는 서늘한 기후를 좋아하는 작물로 우리나라에서는 가을재배가 기본 작형이며 여름재배는 주로 고랭지에서 이루어지고, 늦은 월동 작형은 제주도 등 겨울철에도 비교적 따뜻한 지역에서 재배된다. 무의 공동증상이나 흑심증의 원인은 어느정도 알려져 있으며 공동증상은 영양 요인으로는 생육 후기의 뿌리에 인산, 붕소 함량이 적을 때, 토양화학성 요인으로 토양이 산성화되어 붕소가 용출되거나 알칼리화되어 붕소가 흡착될 때, 칼륨과 칼슘의 과잉으로 붕소 흡수가 저해될 때 많이 발생할 수 있다. 또한 기상 요인으로 생육 초기 온도가 높고 건조한 경우 등 여러 요인이 복합적으로 작용하는 생리장애 중 하나이다. 흑심증은 생육 후기 기온이 상승하고 특히 지온이 높은 경우 많이 발생할 수 있다(농업기술길잡이 126 『무』). 식물의 양분 흡수는 토양 pH에 의해 영향을 받고 일반적으로 pH 6.5~7.0 내외의 중성 조건에서 유효 미네랄 등이 풍부하므로 토양 관리를 통해 산성 또는 알칼리화를 막는 것이 중요하다. 최근에는 기후변화로 인한 이상고온, 폭우 등의 여파로 농작물의 피해 규모가 증가하고 있으며 지온이 지나치게 높아지면 토양 경화를 유발하므로 양분 흡수에 간접적으로 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 경기도 친환경 무 생산 현장에서 증가하고 있는 공동, 흑심증 등의 원인을 파악하기 위해 일반 재배현황 조사, 재배지 화학성 분석, 식물체 무기성분 분석, 재배지 온습도 측정 등을 수행하였다. 그리고 조사한 친환경 무 재배 토양으로부터 미생물을 수집하고 고온·건조 내성 및 IAA 생성능을 스크리닝하여 향후 작물의 스트레스 저항성 향상을 위한 유용미생물 선발 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

친환경 무 재배현황 조사는 도내 친환경 무 재배 농가를 대상으로 재배유형, 재배면적, 사용하는 농자재 종류(밀거름, 병해충 방제용 자재), 로터리 방식, 두둑 높이, 이랑 간격, 멀칭 유무, 사용 품종, 파종일, 솟음 유무, 병충해 이력, 전작물을 설문조사와 현장조사를 병행하여 수행하였다. 조사 농가의 토양 화학성은 농촌진흥청의 연구조사분석기준에 준하여 표토 토양을 작토층의 깊이에서 채취한 후 풍건 및 체별(2 mm)하여 경기도농업기술원 환경농업연구과에 pH, EC, 유기물, 유효인산, 질산태질소, 치환성 K, Ca, Mg을 분석 의뢰하였다. 식물체 무기성분(N, P, K, Ca, Mg, B)과 토양 붕소는 한국농업기술진흥원에 분석 의뢰하였다. 조사 농가의 기온, 상대습도, 토양 온습도는 로

거(ONSET MX2307, HOBO)를 설치하여 데이터를 수집하였고 해당 지역의 기온 및 강수량은 기상청의 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/>)을 참고하였다. 토양 주요 병원균 밀도는 NGS(Next Generation Sequencing)를 수행하여 속(genus) 단위의 taxonomy abundance ratio를 비교하여 간접적으로 분석하였다. 식물체에서의 미생물 분리는 해당 증상이 심한 식물체 부위를 멸균한 메스로 잘라내어 TSA(Tryptic Soy Agar, BD Difco) 또는 PDA(Potato Dextrose Agar, BD Difco) 배지에 치상하고 25°C에서 배양하며 순수분리한 균주를 16S rRNA 또는 ITS 동정하였다.

미생물 수집은 재배현황 조사 농가에서 수집한 발토양을 멸균 증류수와 1:10(w/v)의 비율로 섞고 150 rpm으로 30분간 교반한 후 상등액을 멸균 생리식염수로 연속희석하였다. 10^4 ~ 10^7 배 희석액을 TSA 배지에 100 μ l씩 도말하고 25°C에서 배양하여 형성된 모양, 크기, 색, 형태가 다른 콜로니를 순수분리하여 실험에 사용하기 전까지 -80°C에 동결 보존하였다. 수집 균주들의 환경 스트레스(고온, 건조) 내성 스크리닝은 배양 온도를 40°C로 설정하고 TSB(Tryptic Soy Broth, BD Difco) 배지에 polyethylene glycol 6000을 10, 20, 30% 농도별로 첨가하여 삼투 조건이 다른 배지를 조성하여 실험하였다. IAA(indole-3-acetic acid) 생성능은 배지에 L-tryptophan 0.1%(w/v)를 첨가하여 배양하고 배양 상등액 2 ml, salkowski 용액 4 ml, 10 mM orthophosphoric acid 100 μ l를 혼합하여 상온에서 25분 반응 후 530 nm에서 흡광도를 측정하였다. 포트재배 검정은 식물재배챔버(PHCbi MLR-352H)를 사용하여 일반 및 스트레스 조건을 설정하였으며(표 1) 바로키 상토와 발토양을 2:1로 혼합하여 포트 당 1.2 kg씩 일정하게 담고 청운플러스 품종을 파종하여 본엽 6~7매 출현시부터 스트레스를 부여하고 4주간 재배하였다. 실험 결과에 대한 통계처리는 SAS (SAS Enterprise Guide 8.3) 프로그램을 활용하여 t-test 분석으로 유의성을 검정하였다.

표 1. 식물 재배챔버 설정 조건

일반	재배기간 동안 7~10일 간격 3회 관수*									
Time	6:00	9:00	11:00	13:00	14:00	15:00	17:00	19:00	22:00	23:00
Temp.(°C)	18	20	23	25	23	20	18	18	15	15
Light	1	2	3	5	4	3	1	0	0	0
Humid.(RH%)	80	80	60	60	60	70	75	80	80	80
고온·건조	재배기간 동안 관수 안함									
Time	6:00	9:00	11:00	13:00	14:00	15:00	17:00	19:00	22:00	23:00
Temp.(°C)	18	20	25	30	32	25	23	20	15	15
Light	1	2	3	5	4	3	1	0	0	0
Humid.(RH%)	80	80	60	60	60	70	75	80	80	80

*관수량: 1회차 800 ml/포트, 2회차 500 ml/포트, 3회차 500 ml/포트



3. 결과 및 고찰

가. 친환경 무 재배현황 조사

경기도의 친환경 무 출하량은 가평(약 170톤), 파주(146톤), 이천(106톤), 안성(88톤), 광주(48톤) 순으로 많으며('25, 국립농산물품질관리원) 재배현황도 가평, 파주지역의 '24년도 봄무 재배 10농가(표 2), 가을무 재배 7농가(표 3), '25년도 봄무 재배 10농가(표 4)를 조사하였다. 재배면적은 평균 1,017 m²으로 농가별로 330~3,300 m²의 범위로 조사되었다. 밑거름은 대부분의 농가가 퇴비, 유기질비료, 석회, 붕사, 콩복합비료, 원예용비료 등을 사용하였다고 응답하였다. 로터리는 23농가가 일반 로터리를 하였고, 4농가만 심경 로터리를 하였다. 밑거름 및 로터리 후 두둑은 20~50 cm 높이로, 이랑은 한줄·두줄재배에 따라 차이는 있지만 30~120 cm 간격으로 조사되었다. 대부분의 농가가 멀칭을 하였고 품종은 봄작기는 주로 새푸른봄무와 스타일봄무, 가을작기는 주로 청황무를 심는 것으로 조사되었다. 봄작기 파종일은 '24년에는 4월 20일 이내, '25년에는 4월 30일 이내, 가을작기는 8월 20일 전후이고, 재식거리는 한줄재배 농가는 25~40 cm, 두줄재배 농가는 20~40 cm로 심었다고 응답하였다. 모든 농가가 숙음작업을 하였으며, 웃거름은 10농가만 하였는데 NK비료, 유박, 요소 등을 사용하였다. 특별한 병해 이력은 대부분의 농가가 없다고 하였으며, 충해는 주로 톱토기, 깍지벌레, 청벌레 등의 피해를 입었다고 응답하였다. 충해 방제를 위해 톱각이파위(데리스추출물 10%, 시트로넬라오일 70%, 보조제 20%), BT제 등을 사용한다고 응답하였다. 두 농가만 연작을 하였으며 나머지 농가의 해당 경작지 전작물은 들깨, 콩, 옥수수, 실과, 마늘, 양파, 생강 등이었다.

표 2. 2024년 봄무 재배현황

농가	주소	노지/ 하우스	재배면적 (m ²)	밑거름	로터리	두둑높이 (cm)	이랑간격 (cm)	멀칭	품종
GP1	북면 화악리 4*	노지	1,300	퇴비	심경	40	60	유	새푸른봄무
GP4	북면 화악리 5*	노지	990	콩복합비료	일반	20	60	유	새푸른봄무
GP7	북면 목동리 6*	노지	1,300	퇴비 석회 붕사	일반	30	120	유	새푸른봄무
GP13	북면 소범리 1*	노지	660	석회 유기질비료	일반	20~30	100	유	스타일봄무
GP16	설악면 방일리 4*	노지	660	계분퇴비	일반	25	40	유	스타일봄무
GP19	북면 소범리 1*	노지	660	원예용비료	일반	20	40~50	유	강일무
PJ1	적성면 자장리 7*	노지	1,650	돈분퇴비	일반	30~35	100	유	스타일봄무
PJ4	파평면 눌노리 3*	노지	2,970	계분퇴비 유박	일반	25	105	유	스타일봄무
PJ7	적성면 장좌리 3*	노지	1,980	유기질비료	일반	30	50~60	유	스타일봄무
PJ10	적성면 장좌리 4*	노지	990	유박	일반	25	105	무	생된봄무



파종일	한줄/두줄 재배	재식거리 (cm)	숙음	웃거름	병해이력	충해이력	사용자재	전작물
' 24/4/14	두줄	30	유	안함	없음	톡토기, 깍지벌레	톡각이파위	옥수수
' 24/4/15	두줄	40	유	안함	없음	톡토기, 깍지벌레	톡각이파위	무
' 24/4/6	두줄	20~40	유	안함	없음	톡토기, 깍지벌레	톡각이파위	백태
' 24/4/20	한줄	25	유	안함	없음	톡토기, 깍지벌레	톡각이파위	콩
' 24/4/15	두줄	30	유	안함	없음	톡토기, 깍지벌레	안함	실파
' 24/4/23	두줄	30	유	안함	없음	톡토기, 깍지벌레	톡각이파위	휴경
' 24/4/8	한줄	35	유	NK	없음	없음	BE, 톡각이파위	들깨
' 24/4/13	두줄	30	유	NK	없음	없음	톡각이파위	마늘양파
' 24/4/17	한줄	25	유	안함	없음	톡토기, 깍지벌레	BE, 톡각이파위	생강
' 24/4/16	두줄	25	유	유박	없음	톡토기, 깍지벌레	붕사	들깨

표 3. 2024년 가을무 재배현황

농가	주소	노지/ 하우스	재배면적 (m ²)	밑거름	포타리	두둑높이 (cm)	이랑간격 (cm)	멀칭	품종
PJ13	파평면 금과리 3*	노지	3,300	안함	일반	20	50	유	청황무
PJ16	파평면 덕천리 1*	노지	990	유박	일반	30	70	유	청황무
PJ19	적성면 자장리 2*	노지	3,300	요소, 유기질비료	일반	30	30	유	스타인봄무
PJ22	적성면 자장리 7*	노지	1,300	유기질비료	심경	30	70	무	청운무
PJ25	적성면 자장리 2*	노지	1,980	유기질비료	일반	30	60	유	청황무
PJ28	적성면 자장리 5*	노지	2,310	유박	일반	30	60	유	청황무
PJ31	적성면 장좌리 6*	노지	2,310	유박, 복합비료	일반	25	70	유	청황무

파종일	한줄/두줄 재배	재식거리 (cm)	숙음	웃거름	병해이력	충해이력	사용자재	전작물
' 24/8/9	두줄	30	유	요소	없음	청벌레	없음	귀리
' 24/8/25	한줄	30	유	안함	없음	없음	BE, 톡각이파위, 이노충킬러	휴경
' 24/8/16	두줄	25	유	요소	없음	없음	응찰이, 벌레잡이	휴경
' 24/8/25	한줄	40	유	NK	없음	톡토기, 청벌레	응찰이, 톡각이파위	마늘
' 24/8/19	한줄	25	유	유박	없음	청벌레	BE, 톡각이파위	마늘
' 24/8/20	한줄	25	유	유박	없음	톡토기, 청벌레	톡각이파위, 벌레잡이	감자
' 24/8/20	한줄	25	유	안함	없음	청벌레, 벼우잎벌레, 진딧물	충격탄	감자

표 4. 2025년 봄무 재배현황

농가	주소	노지/ 하우스	재배면적 (m ²)	밀거름	로타리	두둑높이 (cm)	이랑격 (cm)	멀칭	품종
GP16	가평 설악면	노지	1,650	붕사 계분퇴비	일반	20	40	유	새푸른봄무
GP25	가평 북면	노지	1,980	원예용 복비	일반	15	60	유	새푸른봄무
GP28	가평 북면	노지	660	원예용 복비	일반	15	60	유	새푸른봄무
GP31	가평 북면	노지	1,980	땅콩비료, 우황붕사	일반	25	30	유	토광골드
GP19	가평 북면	노지	1,320	안함	일반	20	70	유	새푸른봄무
GP34	가평 북면	노지	990	NK, 붕사	일반	25	40	유	새푸른봄무
GP13	가평 북면	노지	1,320	땅콩비료	심경	20	50	유	청일춘
PJ34	파주 법원읍	노지	330	유박	일반	25	90	유	스타일봄무
PJ37	파주 적성면	노지	2,310	유박	일반	50	60	유	스타일봄무
PJ40	파주 군내면	노지	990	가축분퇴비	심경	20	40	유	늘생봄무

파종일	한줄/두줄 재배	재식거리 (cm)	숙음	웃거름	병해이력	충해이력	사용자재	전작물
' 25/4/2	두줄	30	유	자카양계	뿌리혹병	없음	자가제조	감자
' 25/4/18	두줄	40	유	안함	없음	독도기, 창별레	특각이파워, 청충불레	양파
' 25/4/20	두줄	40	유	안함	없음	독도기, 창별레	특각이파워, 청충불레	마늘
' 25/4/27	두줄	35	유	안함	없음	빨간집, 독도기	특각이파워, 청충불레	무
' 25/4/30	한줄	25	유	안함	없음	독도기	땅지옥, 특각이파워	배추
' 25/4/30	한줄	25	유	NK	없음	빨간집	특각이파워, 비트	생강
' 25/5/20	두줄	40	유	안함	없음	충채벌레	특각이파워, 청충불레	감자
' 25/4/17	한줄	23	유	안함	없음	벼룩벌레	충채, 특각이파워, 이리	생강
' 25/4/25	한줄	25	유	안함	없음	없음	특각이파워, 빨대잡이	마늘, 대파
' 25/4/26	두줄	30	유	안함	없음	고자리파리	충격탄, 어그리	당근

나. 친환경 무 재배지 토양화학성

조사한 친환경 무 재배지 토양화학성 분석 결과는 표 5에 나타내었다. pH는 5.1~7.7 범위에서 분포되어 있었고, 농진청 비료사용처방에서 제시한 적정 범위에 해당하는 농가는 4농가에 불과하였다. 하지만 pH가 5.5 미만 또는 7.5 초과인 4농가를 제외하고 대부분은 중성 범위를 크게 벗어나지 않았다. EC는 3농가를 제외하고는 모두 적정 범위인 2.0 이하였다. 유기물 함량은 적정 범위보다 높거나(10농가) 낮은 농가(8농가)가 대부분이었고, 유효인산 함량은 대부분의 농가가 적정 범위(350~450)보다 1.4~3.7배 더 높았다. 질산태질소 함량은 시설재배 기준이기는 하나 대부분의 농가가 부족하거나 적정 범위에 해당하였다. 칼륨 함량은 3농가를 제외하고는 적정 범위보다 1.1~3.1배

더 높았고 칼슘 함량은 대부분의 농가가 적정 범위보다 1.2~3.4배 더 높았다. 일반적으로 토양 중의 유효태 붕소는 0.5 ppm(mg/kg) 이상 필요하고 고온기 작형에서는 더 많은 붕소를 필요로 한다고 알려져 있다(Muthumanickam, D. and Janaki, D., 2019). 붕소에 대해서는 적정 범위가 설정되어 있지 않으므로 필요량을 기준으로 분석해보면 조사한 토양들은 필요량의 약 32~207배 많은 붕소를 함유하고 있는 것으로 나타났다. 공동증상의 토양화학성 요인에서 볼 때 농가마다 차이는 있지만 칼슘, 칼륨이 과다하지 않도록 적정 관리가 필요하다고 생각되며 유효인산과 붕소도 적정량 또는 필요량보다 높은 수준인 것으로 분석되었다.

표 5. 조사 농가 밭토양 화학성

농가	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	B (mg/kg)
GP1	7.0	1.2	60	1,035	48.9	1.81	7.7	2.8	16.0
GP4	6.4	0.5	38	1,276	10.3	1.28	6.9	1.0	19.6
GP7	6.7	0.6	31	297	1.7	0.70	5.1	1.7	23.8
GP10	6.5	0.3	7	173	12.4	0.33	4.3	1.8	21.4
GP13	7.1	0.3	25	1,038	2.3	0.84	7.1	1.4	22.9
GP16(* 24)	6.9	1.0	45	1,681	27.3	2.17	8.7	2.4	20.8
GP19	5.1	1.9	40	1,247	64.2	0.64	4.8	0.8	24.3
GP22	6.6	0.4	26	854	15.2	1.03	5.2	1.9	27.4
PJ1	7.3	3.3	53	1,065	62.3	2.08	12.2	2.3	26.9
PJ4	7.7	1.1	17	662	27.9	1.21	6.9	1.2	17.5
PJ7	6.6	1.1	14	638	44.1	1.46	5.2	2.0	34.8
PJ10	5.8	2.1	23	900	113.7	1.54	5.1	1.9	36.0
PJ13	7.7	4.0	34	738	201.7	2.13	20.1	3.1	35.9
PJ16	6.3	0.7	19	878	53.2	0.62	7.5	1.7	38.0
PJ19	7.0	2.3	6	208	110.7	0.18	9.9	3.3	40.3
PJ22	6.7	5.8	39	790	377.7	1.93	15.7	4.5	44.1
PJ25	5.8	1.5	8	363	145.3	0.37	5.3	1.5	43.8
PJ28	5.2	0.8	18	311	82.5	0.77	3.4	0.8	37.0
PJ31	6.9	1.4	19	897	47.2	1.11	7.1	1.7	36.4
GP16 (*25) 근비대기	6.3	0.5	43	1,259	4.9	1.39	7.2	1.9	97.0
수확기	6.2	0.5	43	1,165	11.7	0.93	7.3	1.6	100.8
PJ34 근비대기	6.9	0.8	51	1,079	24.6	1.09	11.1	2.2	100.9
수확기	6.8	1.6	49	997	104.6	1.12	11.0	2.5	103.3
적정 범위*	6.0-6.5	2 이하	20-30	350-450	50-150	0.60-0.70	5.0-6.0	1.5-2.0	5 이상

*출처: 농촌진흥청 작물별 비료사용처방



다. 식물체 무기성분 함량

토양 속 양분이 식물체에 전이된 정도를 확인하기 위해 조사한 농가에서 수확한 무의 무기성분을 분석하여 표 6에 나타내었다. '24년 봄무(GP4, GP13) 분석 결과, 인, 붕소, 칼슘 함량이 부족으로 나타난 반면, '25년 봄무(GP16, PJ34)는 붕소 함량이 부족이긴 하나 걱정 범위의 하한선에 근접하였고, 칼슘은 부족으로 나타났다. '24년 가을무는 질소를 제외한 모든 성분의 함량이 적었다. 공동증상의 영양 요인에서 볼 때 인은 작기나 농가마다 차이가 있고 뿌리의 붕소 함량은 전반적으로 적었다. 뿌리/토양 붕소 비율인 식물체 전이계수(TC; translocation coefficient) 값을 정리해보면(Gláucia Cecilia *et al.*, 2010) 작물별로 토마토 약 3.6, 감자 2.9, 콩 1.9, 양배추 1.3 정도이고 무에 대한 데이터는 거의 없으며, 본 연구에서 무에 대한 조사 결과 0.2~0.4 수준이었다.

표 6. 조사 농가에서 수확한 무의 무기성분 함량

농가		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	B (ppm)
GP4	뿌리	1.9±0.1	0.02±0.00	3.9±0.2	0.3±0.0	0.1±0.0	7.6±0.5
GP13	뿌리	2.0±0.0	0.02±0.00	3.4±0.5	0.3±0.1	0.1±0.0	7.3±2.9
PJ13	잎	5.3±0.7	0.003±0.001	1.0±0.0	0.2±0.0	0.1±0.0	4.4±0.6
	뿌리	4.0±0.3	0.003±0.000	1.1±0.1	0.2±0.1	0.1±0.0	4.4±3.0
PJ16	잎	5.0±0.4	0.004±0.000	1.2±0.0	0.2±0.0	0.1±0.0	N.D. ²⁾
	뿌리	3.6±0.1	0.004±0.000	1.4±0.1	0.2±0.0	0.1±0.0	N.D.
PJ19	잎	5.5±0.0	0.005±0.002	1.2±0.2	0.2±0.1	0.1±0.0	N.D.
	뿌리	4.2±0.1	0.005±0.002	1.4±0.2	0.3±0.1	0.1±0.0	N.D.
PJ22	잎	4.8±0.6	0.005±0.000	1.2±0.0	0.3±0.0	0.1±0.0	N.D.
	뿌리	3.3±0.2	0.005±0.000	1.2±0.1	0.3±0.0	0.1±0.0	N.D.
PJ25	잎	5.6±0.3	0.004±0.001	1.6±0.0	0.3±0.0	0.1±0.0	N.D.
	뿌리	4.4±0.2	0.005±0.000	1.5±0.4	0.3±0.0	0.1±0.0	N.D.
PJ28	잎	5.1±0.5	0.004±0.000	1.3±0.6	0.3±0.0	0.1±0.1	N.D.
	뿌리	3.2±0.1	0.004±0.000	1.1±0.3	0.3±0.1	0.1±0.0	N.D.
PJ31	잎	4.2±1.2	0.003±0.001	1.1±0.2	0.3±0.1	0.1±0.0	N.D.
	뿌리	3.1±0.4	0.005±0.002	0.5±0.5	0.1±0.1	0.1±0.0	N.D.
GP16	뿌리	2.0±0.1	0.6±0.1	4.8±1.1	0.4±0.1	0.1±0.0	20.6±4.0
PJ34	잎	5.2±0.0	0.7±0.0	4.8±0.1	1.3±0.0	0.3±0.0	106.4±0.3
	뿌리	3.9±0.9	0.5±0.1	4.8±1.0	0.4±0.1	0.1±0.0	25.3±1.7
걱정 범위 ¹⁾	근비대기	3.2-4.5	0.4-0.5	3.1-5.7	2.0-3.2	0.2-0.4	68-132
	수확전	4.5-5.5	0.4-0.5	3.9-5.7	3.1-3.6	0.3-0.4	27-49

¹⁾출처: 홉토람>비료사용처방>작물영양진단>작물 걱정 무기성분함량

²⁾N.D.; Not detected



라. 조사 지역의 기온 및 강수량

조사 지역의 기온 및 강수량 정보를 표 7, 8에 제시하였다. 봄, 가을작기 모두 평균 기온이 평년값보다 높아지고 있는 추세이고 6월의 최고기온은 27℃를, 8월은 30℃를 초과하였다. 특히 9월까지 6월 수준의 고온이 지속되었다. 강수량은 연차별, 지역별로 차이가 크게 나타났다. 공동증상의 기상 요인에서 볼 때 봄작기의 생육후기, 가을작기의 생육 초중기에 고온의 영향을 받는 것으로 판단된다.

표 7. 최근 3년 봄작기 기온 및 강수량

지역	구분	연도	4월	5월	6월	지역	구분	연도	4월	5월	6월
동천 (가평 인근)	평균기온(°C) (최저-최고)	'23	12.7 (66-194)	18.0 (116-250)	22.0 (173-274)	과주	평균기온(°C) (최저-최고)	'23	11.8 (52-183)	17.2 (108-242)	21.5 (171-269)
		'24	15.2 (90-232)	17.2 (114-235)	23.0 (169-298)			'24	14.0 (74-218)	16.3 (104-229)	22.2 (161-292)
		'25	12.3 (56-198)	16.5 (111-226)	22.5 (178-281)			'25	11.0 (40-182)	15.7 (101-218)	21.8 (170-273)
		평년값	10.3	16.3	20.9		평년값	10.8	16.8	21.4	
	강수량(mm)	'23	94.6	158.7	218.4	과주	강수량(mm)	'23	102.3	139.2	212.0
		'24	22.2	140.6	96.7			'24	23.3	130.7	56.7
		'25	128.5	104.0	203.4			'25	140.5	98.2	159.7
		평년값	74.9	93.5	130.2		평년값	74.2	102.0	107.4	
	강수일수	'23	10	8	14	과주	강수일수	'23	10	7	13
		'24	6	8	7			'24	5	7	9
'25		9	12	11	'25			7	11	11	

※ 출처: 기상청 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/>)

표 8. 최근 3년 가을작기 기온 및 강수량

지역	구분	연도	8월	9월	10월	지역	구분	연도	8월	9월	10월
과주	평균기온(°C) (최저-최고)	'23	25.2 (218-297)	21.6 (175-272)	12.9 (69-205)	동천 (가평 인근)	평균기온(°C) (최저-최고)	'23	25.6 (221-301)	21.8 (177-270)	13.6 (82-205)
		'24	27.4 (237-326)	23.0 (190-285)	13.8 (88-204)			'24	27.6 (242-325)	23.4 (194-286)	14.4 (95-207)
		'25	26.3 (228-311)	21.2 (175-268)	14.2 (101-197)			'25	26.5 (229-310)	21.5 (177-268)	14.9 (108-199)
		평년값	24.9	19.9	12.6		평년값	24.0	18.5	11.2	
	강수량(mm)	'23	247.8	43.1	46.5	동천 (가평 인근)	강수량(mm)	'23	255.9	56.3	38.5
		'24	92.1	114.2	52.4			'24	146.5	178.0	57.2
		'25	379.3	270.5	197.3			'25	354.7	279.8	187.0
		평년값	282.9	134.5	50.1		평년값	346.3	120.1	52.1	
	강수일수	'23	9	4	5	동천 (가평 인근)	강수일수	'23	12	11	5
		'24	10	11	7			'24	11	11	7
'25		12	12	15	'25			15	12	14	

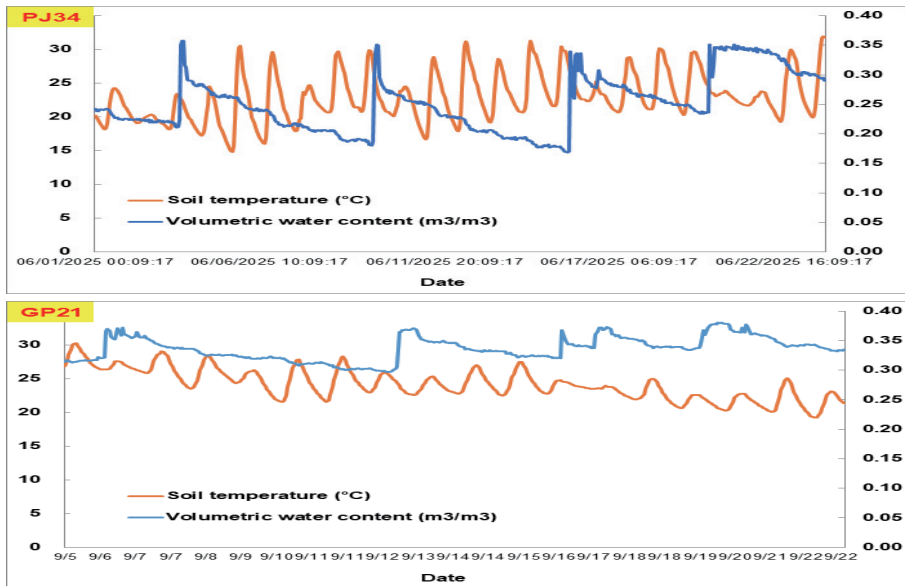


마. 조사 농가 토양 온습도

생육기간 중 토양의 온도, 용적수분함량의 변화를 데이터로거로 측정한 결과(표 9), 고온기 지온은 최고 30~31℃에 달하였고 해당 지역 최고기온보다 약 3~4℃ 높게 나타났다. 용적수분함량은 보통~적정 수준을 유지하는 것으로 나타났다.

표 9. 조사 농가 토양 온도 및 용적수분함량 변화

농가	측정기간	지온(℃)			토양 용적수분함량(수분 m ³ /토양 m ³)		
		최저	평균	최고	최저	평균	최고
GP19	'25 6/1-7/3	16.3	23.1	31.1	0.12	0.20	0.32
PJ34	'25 6/1-6/23	14.8	22.9	31.9	0.17	0.25	0.36
GP20	'25 9/5-9/24	19.6	24.4	30.7	0.28	0.30	0.34
GP21	'25 9/5-9/22	19.2	24.3	30.6	0.28	0.33	0.37



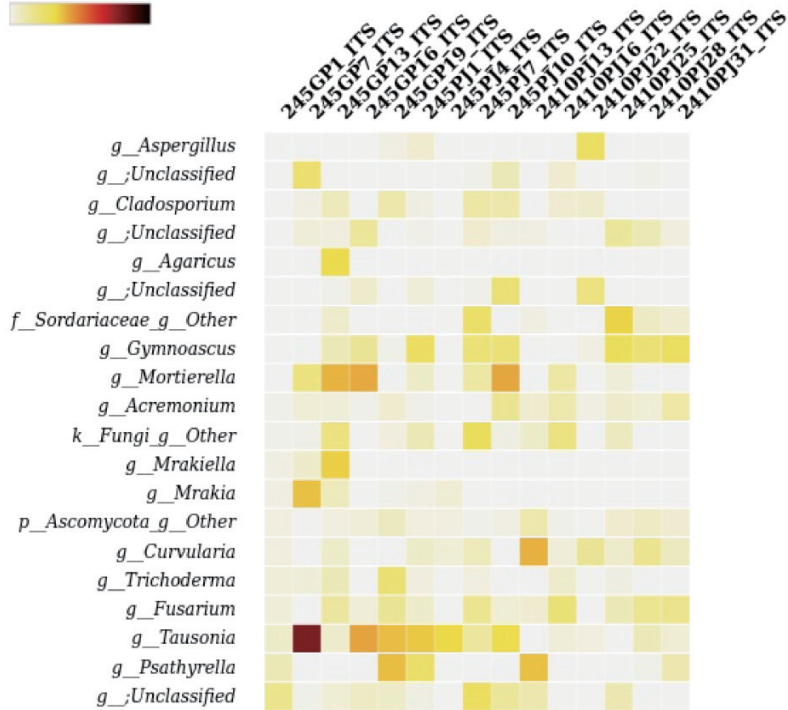
마. 조사 농가 토양미생물 균집분석 및 식물체 미생물 분리

공동증상에 병원성 미생물(*Xanthomonas campestris* 등)이 관여하는지 확인하기 위해 농가별 토양미생물 균집분석(표 10)과 무 공동과에서 미생물을 분리한 결과, 토양에서는 *Xanthomonas campestris*가 검출되지 않았고, 곰팡이 중에서는 *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp., *Fusarium* spp.이 일부 농가에서만 검출되었다. 무 공동과에서는 *Enterobacter kobei*, *Raoultella planticola*, *Penicillium digitatum*, *Rhizopus microspores*의 부생균만 검출되어 병원성 미생물이 관여하는 것은 아니라고 판단하였고, 수집 미생물 스크리닝 실험에서도 주요 병원균 길항력 검정은 배제하였다.



표 10. 조사 농가 토양 진균 taxonomy abundance ratio (Genus level) (%)

농가	<i>Alternaria</i> spp.	<i>Cladosporium</i> spp.	<i>Fusarium</i> spp.
GP1	N.D.*	N.D.	0.08
GP7	0.04	0.08	N.D.
GP13	0.20	0.44	0.85
GP16	N.D.	N.D.	0.16
GP19	0.12	0.65	1.05
PJ1	0.12	0.08	0.28
PJ4	N.D.	N.D.	N.D.
PJ7	0.16	0.73	1.05
PJ10	0.28	0.65	0.20
PJ13	N.D.	N.D.	0.24
PJ16	N.D.	0.24	1.82
PJ22	N.D.	0.28	N.D.
PJ25	N.D.	N.D.	0.53
PJ28	N.D.	N.D.	1.09
PJ31	N.D.	N.D.	1.21



*N.D.; Not detected



사. 친환경 무 재배지 토양 유래 미생물 수집 및 스크리닝

공동, 검은점 증상은 여러 환경 요인이 복합적으로 작용하는 생리장애인 것으로 보이며, 향후 작물의 스트레스 저항성 향상을 위한 유용미생물 선발 가능성을 확인하고자 무 재배지에서 토양미생물을 순수분리하여 107균주를 수집하였다(표 11). 먼저 고온(40℃), 건조(PEG 6000 10%, 20%, 30%) 내성을 스크리닝하기 위해 30℃, PEG 6000 0% 조건에서와 비교하여 생장이 불가능한 균주들을 제외하고 75균주를 대상으로 다음 스크리닝을 진행하였다. 이어서 고온·건조 조건에서 균주의 IAA(Indole-3-acetic acid) 생성능을 스크리닝한 결과, 고온·건조 조건에서 IAA 생성능이 나타나지 않은 균주들을 제외하고 35균주를 선별하였다(표 12). 선별한 균주들을 대상으로 일반 조건(T1, 30℃, PEG 0%)과 스트레스 조건(T2, 40℃, PEG 20%) 배양 시간에 따른 IAA 생성능의 변화를 분석한 결과(그림 1), 일반 조건에서와 유사하게 고온·건조 조건에서도 IAA 생성이 우수한 4균주(GP10-2, PJ1-4, GP22-11, GP1-12)를 선발하였다.

표 11. 조사 농가별 수집한 토양미생물 균주 수

농가	수집일	분리 균주 수	농가	수집일	분리 균주 수
GP1	' 24.5.22.	12	GP19	' 24.5.22.	10
GP4	' 24.5.22.	10	GP22	' 24.5.22.	14
GP7	' 24.5.22.	8	PJ1	' 24.5.24.	5
GP10	' 24.5.22.	10	PJ4	' 24.5.24.	8
GP13	' 24.5.22.	6	PJ7	' 24.5.24.	4
GP16	' 24.5.22.	7	PJ10	' 24.5.24.	13

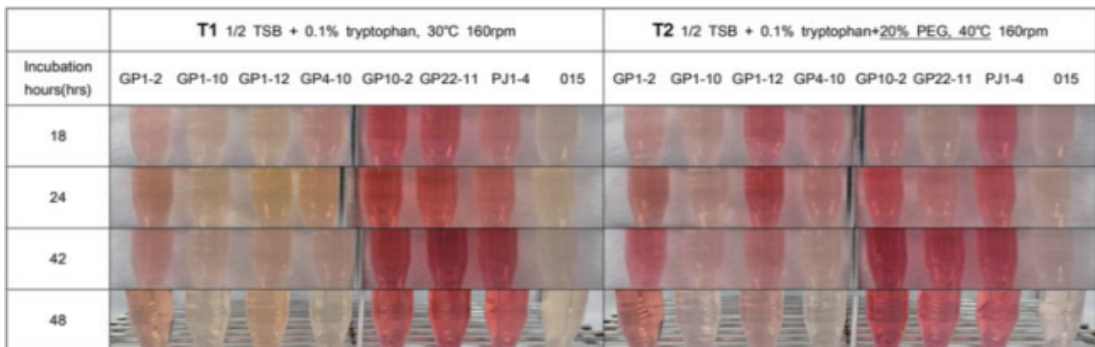
표 12. 고온·건조 조건에서 IAA 생성능 스크리닝

(530 nm absorbance)

균주	온도	PEG 농도			균주	온도	PEG 농도		
		0%	10%	20%			0%	10%	20%
GP1-2	30℃	0.240	0.184	0.132	GP10-9	30℃	0.128	0.118	0.106
	40℃	0.356	0.246	0.189		40℃	0.148	0.172	0.117
GP1-4	30℃	0.467	0.335	0.261	GP10-11	30℃	0.140	0.099	0.078
	40℃	0.113	0.103	0.101		40℃	0.185	0.113	0.098
GP1-5	30℃	0.147	0.110	0.107	GP19-1	30℃	0.247	0.190	0.127
	40℃	0.101	0.094	0.140		40℃	0.218	0.116	0.088
GP1-8	30℃	0.218	0.162	0.141	GP19-4	30℃	0.136	0.122	0.126
	40℃	0.169	0.170	0.138		40℃	0.140	0.104	0.131
GP1-9	30℃	0.186	0.123	0.111	GP22-11	30℃	0.322	0.221	0.293
	40℃	0.109	0.140	0.095		40℃	0.419	0.101	0.197



균주	온도	PEG 농도			균주	온도	PEG 농도		
		0%	10%	20%			0%	10%	20%
GP1-10	30°C	0.232	0.146	0.139	GP2-14	30°C	0.106	0.109	0.104
	40°C	0.158	0.165	0.168		40°C	0.119	0.111	0.093
GP1-11	30°C	0.429	0.254	0.216	PJ1-4	30°C	0.172	0.155	0.150
	40°C	0.117	0.104	0.111		40°C	0.131	0.130	0.163
GP1-12	30°C	0.338	0.126	0.316	PJ4-2	30°C	0.549	0.403	0.281
	40°C	0.461	0.657	0.589		40°C	0.120	0.113	0.103
GP4-1	30°C	0.146	0.126	0.127	PJ4-3	30°C	0.134	0.110	0.116
	40°C	0.221	0.135	0.143		40°C	0.187	0.143	0.117
GP4-3	30°C	0.345	0.202	0.161	PJ7-1	30°C	0.118	0.102	0.097
	40°C	0.109	0.113	0.138		40°C	0.247	0.131	0.128
GP4-4	30°C	0.278	0.242	0.126	PJ7-2	30°C	0.342	0.252	0.153
	40°C	0.132	0.119	0.105		40°C	0.161	0.150	0.144
GP4-5	30°C	0.146	0.131	0.128	PJ7-4	30°C	0.101	0.097	0.090
	40°C	0.120	0.107	0.101		40°C	0.115	0.100	0.103
GP4-10	30°C	0.126	0.151	0.177	PJ10-6	30°C	0.141	0.108	0.098
	40°C	0.158	0.194	0.186		40°C	0.233	0.182	0.138
GP10-2	30°C	0.454	0.492	0.341	PJ10-10	30°C	0.377	0.328	0.192
	40°C	0.119	0.115	0.160		40°C	0.118	0.104	0.099
GP10-4	30°C	0.255	0.156	0.139	PJ10-11	30°C	0.112	0.101	0.091
	40°C	0.218	0.138	0.127		40°C	0.124	0.134	0.120
GP10-5	30°C	0.160	0.155	0.213	PJ10-12	30°C	0.396	0.278	0.185
	40°C	0.226	0.108	0.104		40°C	0.118	0.107	0.102
GP10-6	30°C	0.124	0.091	0.084	PJ10-13	30°C	0.110	0.114	0.157
	40°C	0.141	0.113	0.115		40°C	0.123	0.122	0.123
GP10-7	30°C	0.217	0.209	0.144					
	40°C	0.131	0.107	0.099					



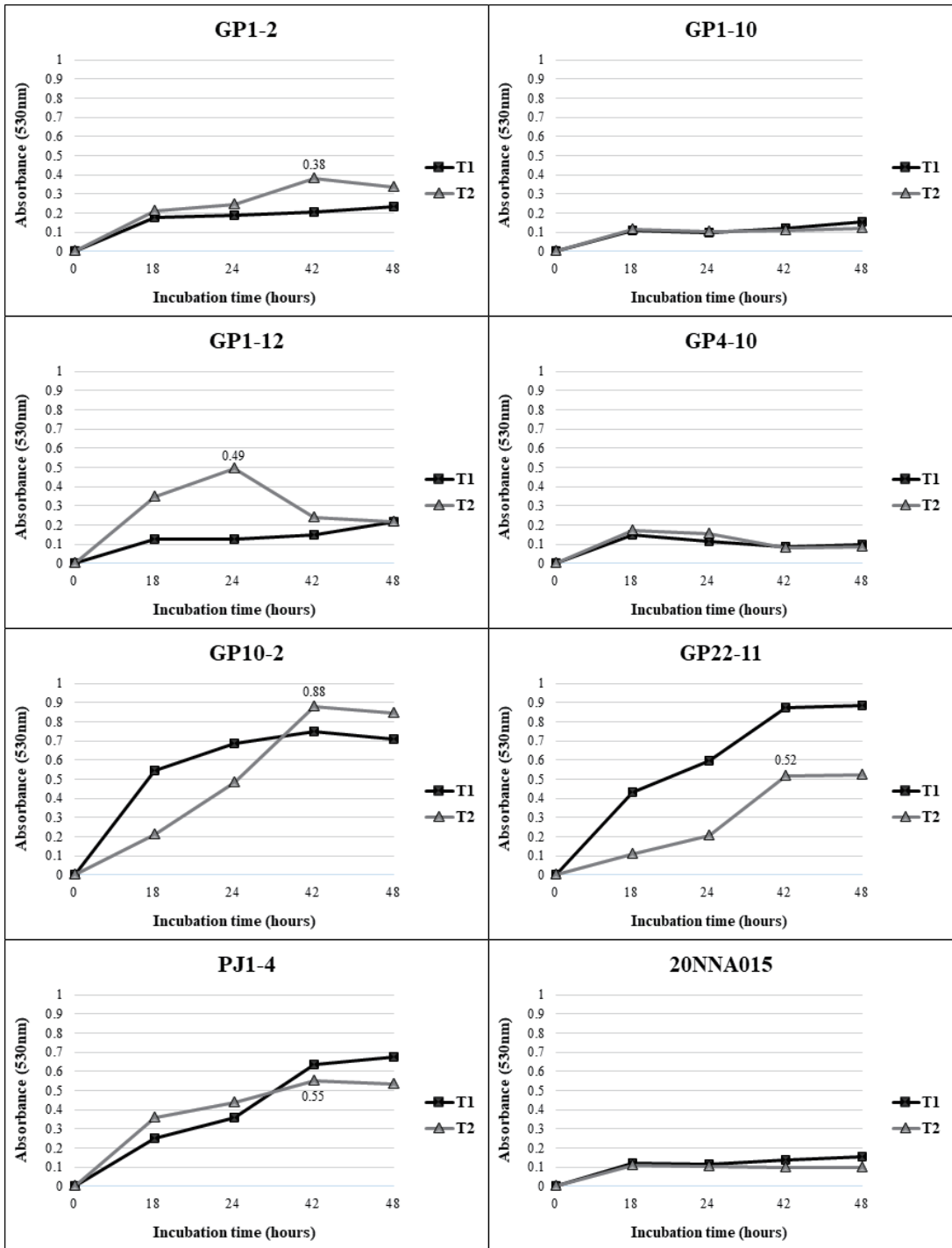


그림 1. 균주별 일반 조건과 스트레스 조건에서 IAA 생성 정도

아. 일반 및 스트레스 조건에서 식물체 무기성분 함량 비교(포트 검정)

농가 조사만으로는 다양한 변수가 작용하여 정확한 원인 파악이 어려울 수 있으므로 일반 및 스트레스(고온·건조) 조건에서 식물체와 토양의 양분 함량을 비교하기 위해 식물재배 챔버로 포트 검정하였다. 각 조건에서 4주간 재배한 무 잎의 인, 붕소, 칼슘, 질소, 마그네슘 함량은 일반 조건에서 재배된 것이 스트레스 조건에서보다 유의미하게 높았고 칼륨은 시험구간 차이가 없었다(표 13). 토양 양분 중에서는 붕소와 칼륨이 시험구간 유의미한 차이를 보였으며 일반 조건에 노출된 토양이 스트레스 조건에서보다 낮게 나타났다(표 14). 앞서 선발한 수집 균주들에 대해 포트 검정을 수행하고자 하였으나 포트 재배만으로는 무 뿌리까지 비대하기 어렵고 스트레스 저항성 개선과 공동 및 검은점 증상과의 명확한 인과관계를 실험적으로 규명하는데 한계가 있어 본 과제는 친환경농업인연합회 애로사항에 대해 지난 2년간 조사한 현황을 정보 제공하는 것으로 일단락하고자 하였다(2025년도 결과평가회 반영사항).

표 13. 일반 및 스트레스 조건에서 재배한 식물체(무 잎) 무기성분 함량

	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	B (ppm)
일반	6.2±0.1	0.5±0.0	3.2±0.1	2.5±0.1	0.8±0.0	76.9±8.4
재배후 스트레스	5.9±0.1	0.4±0.0	3.2±0.1	1.6±0.0	0.4±0.0	51.6±2.1
<i>P</i> value*	0.0172	0.0071	0.7608	0.0005	<.0001	0.0071

**P* value: two-sample t-test for control(n=9) and experimental(n=9) group



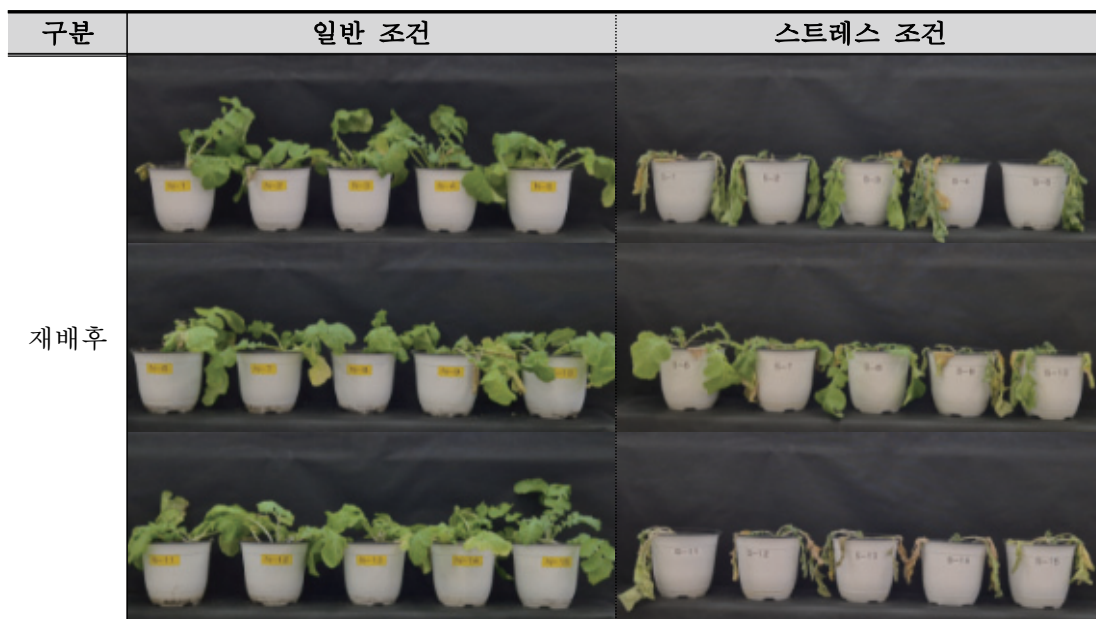


표 14. 일반 및 스트레스 조건에서 포트 토양 화학성

구분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	B (mg/kg)
시험전	4.9	0.9	10	221	1.50	5.7	2.6	25.4
일반	5.2	0.6	10	221	1.39	5.3	2.4	25.0
재배 후 스트레스	5.1	0.8	10	249	1.54	5.2	2.7	27.5
<i>P</i> value*	<.0001	0.3619	0.9063	0.2199	0.0316	0.7993	0.2584	0.0013

**P* value: two-sample t-test for control(n=9) and experimental(n=9) group

4. 적 요

본 연구는 경기도 친환경 무 생산 현장에서 증가하고 있는 공동, 흑심증 등의 원인을 파악하기 위해 일반 재배현황 조사, 재배지 화학성 분석, 식물체 무기성분 분석, 재배지 온습도 측정 등을 수행하였고 조사한 친환경 무 재배 토양으로부터 미생물을 수집하고 고온·건조 내성 및 IAA 생성능을 스크리닝하여 향후 작물의 스트레스 저항성 향상을 위한 유용미생물 선발 가능성을 확인하고자 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 가. 친환경 무 재배 일반현황 조사 결과 재배면적은 평균 1,017 m²으로 밭거름은 퇴비, 유기질비료, 석회, 붕사, 콩복합비료, 원예용비료 등을 사용하였다. 심경 로터리보다 일반 로터리를 하는 농가가 대부분이었고 품종은 봄작기는 주로 새푸른봄무와 스타일봄무, 가을작기는 주로 청황무를 심는 것으로 조사되었다. 봄작기 파종일은 4월 20~30일 이내, 가을작기는 8월 20일 전후이었다. 특별한 병해이력은 대부분의 농가가 없다고 하였으며, 해충은 주로 톡토기, 각지벌레, 청벌레 등의 피해를 입었다고 응답하였다. 전작물은 들깨, 콩, 옥수수, 실과, 마늘, 양파, 생강 등으로 대부분의 농가가 돌려짓기 하였다.
- 나. 토양화학성 분석 결과 pH는 5.5 미만 또는 7.5 초과인 4농가를 제외하고 대부분은 중성 범위를 크게 벗어나지 않았다. 유효인산은 대부분의 농가가 적정 범위(350~450)보다 1.4~3.7배 더 높았다. 칼륨 함량은 일부 농가를 제외하고는 적정 범위보다 1.1~3.1배 더 높았고 칼슘 함량은 대부분의 농가가 적정 범위보다 1.2~3.4배 더 높았다. 붕소에 대해서는 적정 범위가 설정되어 있지 않으므로 필요량을 기준으로 분석해보면 조사한 토양들은 필요량의 32~207배 많은 붕소를 함유하고 있는 것으로 나타났다.
- 다. 수확한 무의 무기성분 분석 결과 '24년 봄무는 인, 붕소, 칼슘 함량이 부족으로 나타난 반면, '25년 봄무는 붕소 함량이 부족이긴 하나 적정 범위의 하한선에 근접하였고, 칼슘은 부족으로 나타났다. '24년 가을무는 질소를 제외한 모든 성분의 함량이 적었다.
- 라. 봄, 가을작기 모두 평균기온이 평년값보다 높아지고 있는 추세이고 6월의 최고기온은 27℃를, 8월은 30℃를 초과하였으며 특히 9월까지 6월 수준의 고온이 지속되었다. 강수량은 연차별, 지역별로 차이가 크게 나타났다. 생육기간 중 토양의 온도 변화를 데이터로거로 측정한 결과 고온기 지온은 최고 30~31℃에 달하였고 해당 지역 최고기온보다 약 3~4℃ 높게 나타났다.
- 마. 농가 조사만으로는 다양한 변수가 작용하여 정확한 원인 파악이 어려울 수 있

으므로 일반 및 스트레스(고온·건조) 조건에서 식물체와 토양의 양분 함량을 비교하기 위해 식물재배챔버로 포트 검정한 결과 무 잎의 인, 붕소, 칼슘, 질소, 마그네슘 함량은 일반 조건에서 재배된 것이 스트레스 조건에서보다 유의미하게 높았다. 토양 양분 중에서는 붕소와 칼륨이 시험구간 유의미한 차이를 보였으며 일반 조건에 노출된 토양이 스트레스 조건에서보다 낮게 나타났다.

- 바. 향후 작물의 스트레스 저항성 향상을 위한 유용미생물 선발 가능성을 확인하고자 무 재배지에서 수집한 토양미생물을 스크리닝한 결과 일반 조건에서와 유사하게 고온·건조 조건에서도 IAA 생성능을 나타내는 4균주(GP10-2, PJ1-4, GP22-11, GP1-12)를 선발하였다.

이상의 결과를 종합하면 농가마다 재배환경의 차이, 토양 관리 방식 등이 다양하여 토양 화학성, 식물체 분석 결과 공동증상과의 뚜렷한 상관관계가 보이지 않았고 고온 등 기후적 영향이 클 것으로 사료된다. 유용한 토양미생물은 환경 스트레스 대응, 작물 생육 촉진(PGPR) 기능을 통해 농업 환경에서 유의미한 역할을 하므로, 향후 유용미생물 활용 가능성 검증 등 추가적인 연구가 필요하다.

5. 참고문헌

2025년도 유기식품 등 인증통계. 2026. 국립농산물품질관리원

농업기술길잡이126 『무』. 2020. 농촌진흥청

Ahmed I., Yokota A., Fujiwara T. 2007. A novel highly boron tolerant bacterium, *Bacillus boroniphilus* sp. nov., isolated from soil, that requires boron for its growth. *Extremophiles*. 11: 217-224.

Ahmad W., Niaz A., Kanwal S., Khalid Rasheed M. 2009. Role of boron in plant growth: A review. *J. Agric. Res.* 47: 329-338.

Bellaloui N., Mengistu A., Kassem M. A. 2014. Role of boron nutrient in nodules growth and nitrogen fixation in soybean genotypes under water stress conditions in *Advances in biology and ecology of nitrogen fixation*, ed. Ohyama T. London: IntechOpen Limited; 237-257.

Bilen S., Bilen M., Bardhan S. 2011. The effects of boron management on soil microbial population and enzyme activities. *Afr. J. Biotechnol.* 10: 5311-5319.

Gláucia Cecília Gabrielli dos Santos, Arnaldo Antonio Rodella, Cleide Aparecida de A breul, Aline Renée Coscione. 2010. Vegetable species for phytoextraction of boron, copper, lead, manganese and zinc from contaminated soil. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 67(6): 713-719.



Manzoor A, Bashir MA, Naveed MS, Cheema KL, Cardarelli M. 2021. Role of Different Abiotic Factors in Inducing Pre-Harvest Physiological Disorders in Radish (*Raphanus sativus*). *Plants* (Basel). 10(10): 2003.

Muthumanickam, D. and Janaki, D. 2019. Optimizing boron and zinc requirement of root vegetables grown under acidic soil conditions. *Acta Hort.* 1241: 395-400.

Naoyuki Sotta, Bian Bian, Danhan Peng, Phattharawan Hongkham, Takehiro Kamiya, Satoshi Niikura, Toru Fujiwara. 2019. Local boron concentrations in tuberous roots of Japanese radish (*Raphanus sativus* L.) negatively correlate with distribution of brown heart. *Plant Physiology and Biochemistry*. 136: 58-66.

Sang Tae Kim, Sung-Je Yoo, Jaekyeong Song, Hang-Yeon Weon and Mee Kyung Sang. 2019. 고추 식물의 건조 스트레스 완화를 위한 미생물 선발. *Res. Plant Dis.* 25(3): 136-142.

Yoo, Sung-Je, Shin, Da Jeong, Weon, Hang-Yeon, Song, Jaekyeong, Sang, Mee Kyung. 2018. 토마토 염류와 온도 스트레스에 대한 내성을 유도하는 미생물 선발. *Korean J. Org. Agric.* 26(3): 463-475.

6. 연구결과 활용제목

- 경기도 친환경 무 재배 발토양 화학성 정보(영농활용, 2024년)
- 친환경 무 재배현황 및 재배지 환경 정보(영농활용, 2025년)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
						' 24	' 25
미생물 활용 친환경 무 상품성 향상 기술 개발	책임자	친환경미생물 연구소	농업연구사	문지영	세부과제 총괄	○	○
	공동연구자	〃	농업연구관	하태문	자료수집	○	-
	〃	〃	농업연구사	장재은	데이터 분석	○	-
	〃	〃	농업연구사	신민우	생육조사	○	○
	〃	〃	농업연구사	남주희	토양채취	○	○
	〃	〃	농업연구관	최병열	연구자문	○	○
	〃	〃	농업연구관	진명희	데이터 분석	-	○
	〃	〃	농업연구사	이영수	자료수집	-	○