| 과제구분 | 기본연구 | 수행시기 | | 전반기 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 연구과제 및 세부과제 | | 연구분야 | 수행기간 | 연구실 | 책임자 |
| 농업미생물 자원확보 및 실용화 기술 개발 | | 미생물 | ’20~’23 | 친환경미생물연구소<br>친환경농업연구팀 | 문지영 |
| **작물 생육촉진용 미생물 개발 및 현장적용 연구** | | 미생물 | ’20~’23 | 친환경미생물연구소<br>친환경농업연구팀 | **임성희** |
| **색인용어** | 작물 생육촉진, 미생물, 현장적용 | | | | |


## ABSTRACT

In order to select microorganisms for crop growth promotion that can be used for eco-friendly agriculture, microorganisms were collected and identified from various collection sites, and the results of testing the effect of promoting microbial growth by pot and soil cultivation are as follows.

From 2020 to 2023, a total of 855 accessions of microorganisms were collected, and 48 species of microorganisms with excellent phosphate solubility, nitrogen fixation capacity, IAA production ability, and siderophore production ability were tested about the effect of promoting crop growth using the pot and soil cultivation method.

In 2021, the phosphate solubility was tested through the analysis of water-soluble phosphate content and effective phosphate content for 20OF33-1 and 20BM2-23 strains with excellent phosphate solubility, and it was found that the period of high soluble potency differed depending on the strain.

Strain of 19SMO742 (*Arthrobacter Globiformis*) with excellent nitrogen fixation capacity is selected in 2021 and tested with soil cultivation with the tomato in 2022. As a result, the quantity index increased by 20% compared to the commercially available microbial treatment, and the weight of fruits increased by 6%. But there was no statistical significance in the quantity. In order to secure statistical significance, hydroponic cultivation and on-site cultivation of farms with the tomato were carried out. In the 19SMO742 treatment, the quantity increased by 3.5% and quantity that can be commercialized increased by 9% compared to the commercially available microbial treatment during hydroponic cultivation, but this was also not statistically significant. Also, there were no significant difference in the product quantity between the control plot and the 19SMO742 treatment during on-site cultivation of farms.

In 2022, 20OF21-1 (*Bacillus safensis*), 19EO582 (*Pseudomonas umsongensis*), and 20OF28 (*Pseudomonas* sp.) strains were selected as a result of the pot plant test of the growth promotion effect of tomato and cabbage. In 2023, the mass culture conditions of the selected strains is established and the growth promotion effect is tested by soil cultivation. As a result, in the treatment of 20OF28, the fresh tomato yield increased by 35% compared to the commercially available microbial treatment and the rate of commercialization was 89.9%.

Key words: Microorganism, Growth promotion, Phosphate solubilization, Nitrogen fixation, Hormone-producing capacity

## 1. 연구목표

미생물(microorganism)은 진균(fungi), 세균(bacteria), 바이러스(virus), 조류(algae), 원생동물류(protozoa) 등을 포함하는 육안으로는 관찰이 어렵거나 불가한 아주 작은 생물을 말한다. 지구상의 미생물 종류는 1조 종 이상이지만 세계미생물정보센터에 보존 중인 미생물은 310만 종 정도이다. 활용도가 낮은 보전종과 아직 분류 동정 되지 못한 종들의 활용도를 향상시킬 수 있는 연구를 통해 미생물의 산업적 활용 가능성을 높여 나가는 것이 필요한 시점이다. 뿐만아니라 활용되고 있는 미생물에 대해서도 작용기작과 토양과의 상호작용에 관한 연구가 같이 수행되어야 하고, 미생물이 효과를 잘 나타낼 수 있도록 적정 환경을 찾아 만들어 주고 토양에 우점할 수 있도록 정착시킬 수 있는 기초기술도 필요하다. 최근에는 건강한 작물 주변 마이크로바이옴을 진단하여 미생물 군집을 인공적으로 토양에 처리하여 병을 방제하고 수량을 증가시키는 식물 마이크로바이옴 연구도 이루어지고 있다.

친환경농업에서 농업미생물의 사용은 화학비료와 농약을 대체하기 위한 친환경농자재로서 없어서는 안 될 중요한 수단이다. 친환경 재배작물 농가에서는 작물 생육촉진, 병충해방제 등을 목적으로 유용한 미생물을 활용하고 있다. 미생물은 질소고정, 유기물 분해, 불용성 인산 가용화, 호르몬 및 특정 효소 생성 등의 다양한 역할로 식물의 생육을 촉진하거나, 병을 일으키는 병원성 미생물과의 길항작용이나 항생물질 생성으로 병 방제제의 역할을 하기도 한다. 곤충에 병원성을 갖거나 살충성 단백질 생성 등의 기능은 해충을 방제하는데 활용되기도 하고 건조, 염류집적 등 환경 스트레스에 대한 내성을 유도하기도 한다. 이렇게 미생물은 식물 및 동물 생태계와 유기적으로 연계되어 농업 현장에서 중요한 역할을 하고 있다. 미생물 종류별로 가지고 있는 기능적 특성이 다른 것을 보면 토양 내 상호작용으로 작물 생육에 다른 영향을 미치고 있는

것은 분명하며 균주의 고유한 특성을 파악하여 친환경농업에 활용할 수 있는 방안을 모색해 나가야 할 것이다.

특히, 근권에서 식물 생육을 촉진하는 미생물을 PGPR(plant growth promoting rhizobacteria)로 분류하고 있으며, PGPR은 식물의 뿌리에 흡착하거나 군락을 형성하여 식물의 뿌리 삼출물을 이용하여 성장하면서 항생물질을 생성하여 식물병원균으로부터 식물을 보호하거나 대기 중의 질소를 고정하여 식물에게 질소원을 공급한다. 또한, 식물의 성장을 조절하는 다양한 효소를 생산하여 여러 가지 대사를 통해 토양 내의 인과 철과 같은 미네랄을 가용화시켜 식물이 흡수하기 쉽게 도와주는 등의 역할을 하기도 한다. 특히, 식물은 외부에서 공급되는 다양한 호르몬에 대해서 생리적 영향을 받게 되는데, PGPR이 생성하는 호르몬으로 인해 식물의 생육에 변화가 생기게 된다.

이에 친환경미생물연구소에서는 토마토나 쑥갓 등에서 수량을 증대시키고 품질을 좋게 할 수 있는 생육촉진 미생물을 선발하여 친환경 재배 농가에 보급하고자 본 연구를 추진하였으며 그 결과를 다음과 같이 보고한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 균주 수집 및 기능적 특성 검정

유기재배 토양이나 하천, 지하수, 강물 등에서 생육촉진 미생물을 수집하였다. 수집된 토양이나 물을 멸균 생리 식염수와 1:9 비율로 잘 섞은 후 TSA 배지에 100 ul씩 도말하고 30±2℃에서 2~4일 배양하여 모양, 크기, 색, 집락 형태가 다른 균주를 선발하였다. 선발된 균주는 3rd streak 방법으로 single colony를 순수분리하였으며, IAA형성능, 인산가용화능 등의 기능적 특성을 검정한 후 기능적 특성이 우수한 균주는 16rRNA 유전자 분석방법으로 동정을 실시하였다.

IAA 생성능 검정을 위해서 0.1% L-tryptophan이 함유된 액체배지 5 ml에 검정할 미생물의 single colony를 따서 접종한 후 30℃에서 2 일간 진탕배양하고 8,000~13,000 rpm으로 15분간 원심분리하였다. 배양액 상등액을 2 ml 취하고 10 mM orthophosphoric acid 100 ul와 Salkovasky reagent 4 ml를 첨가한 후 발색을 유도하였다. 25분 후 UV-spectrophotometer 530 nm에서 흡광도를 측정하고 IAA standard curve를 작성하여 미생물별 IAA 생성량을 계산하였다. 질소고정능은 Nfb semi solid media를 제조한 후 가느다란 니들을 이용하여 배지의 2/3 깊이에 균주를 접종하고 28~30℃에서 7일 배양하여 배지가 파란색으로 변하는 정도로 판단하였다.

사이드로포어 생성능은 FeⅢ와 Chrome azurol S가 포함된 배지를 제조한 후 멸균된 페이퍼 디스크를 올리고 그곳에 검정하고자 하는 균주를 접종하여 일정기간 배양한 후 배지의 파란색이 투명하게 변하는 크기를 측정하여 조사하였다. 인산가용화능은

Tricalcium phosphate($Ca_3(PO_4)_2$)가 포함된 Pikovaskaya 고체배지를 제조한 후 멸균된 페이퍼 디스크를 올리고 그곳에 검정하고자 하는 균주를 접종하여 일정 기간 배양한 후 불투명한 배지가 투명하게 변하는 크기를 캘리퍼스로 측정하여 조사하였다.

## 나. 인산가용화능 우수 균주의 인산가용화 정도 구명

선발 균주의 인산가용화능을 조사하기 위하여 균주와 불용성 인산을 같이 배양한 후 수용성 인산과 유효인산 함량을 분석하여 불용성 인산이 가용화되는 정도를 비교 조사하였다. 수용성 인산 함량은 배양 배지에 불용성인산(TCP) 1%를 첨가한 후 고압멸균을 하고 20MB2-23, 20OF33-1 균주를 단용 또는 혼용으로 1, 5, 10% 첨가하여 30℃에서 150rpm 속도로 진탕배양한 후 조사하였다. 배양시, 배양 7일, 14일, 21일, 28일 후 처리구별로 생균수, pH, 수용성 인산함량을 측정하였는데 수용성 인산함량은 염화제일주석환원법으로 분석하였다. 여과한 시료와 증류수를 각각 10㎖씩 취한 후 몰리브덴산암모늄 0.4㎖를 추가하여 충분히 섞고 염화제일주석 용액 한 방울(약 0.1㎖)을 넣어 혼합하였다. 20~30℃에서 10분간 청색 반응이 일어나게 한 후 690 ㎚에서 흡광도를 측정하였다. 인산염인 표준액 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0ppm 3㎖를 시험관에 각각 넣고 시료액과 동일한 방법으로 시약을 첨가한 후 비색을 측정하여 얻어진 표준곡선으로 처리구별 인산염인 함량을 계산하였다.

유효인산함량은 상토에 일정량의 물과 불용성인산(TCP)을 첨가한 후 고압멸균을 하고 20MB2-23, 20OF33-1 균주를 단용 또는 혼용으로 1, 5, 10% 첨가하여 30℃에서 정치 배양한 후 조사하였다. 배양 시, 배양 7일, 14일, 21일, 28일 후 처리구별로 생균수, pH, 유효인산 함량을 측정하였는데 유효인산 함량은 Lancaster법을 이용하여 분석하였다. 상토의 용적밀도 계산 후 10cc에 해당하는 상토무게에 인산침출액 40㎖를 넣고 10분간 진탕한 후 여과지 No. 2를 사용하여 여과하였다. 여과된 시료액을 희석하여 조작액 6㎖와 발색시약 0.4㎖를 넣어 30℃에서 30분간 항온 발색시킨 후 파장 720nm에서 측정하였는데 인산표준용액 0, 5, 10, 15, 20, 25ppm 3㎖를 시험관에 각각 넣고 시료액과 동일한 방법으로 시약을 첨가한 후 비색을 측정하여 얻어진 표준곡선으로 처리구별 인산함량을 계산하였다.

## 다. 기능적 특성 우수 균주의 작물 생육촉진 효과 검정

### 1) 포트재배를 통한 작물 생육촉진 미생물 1차 선발

질소고정능 등 기능적 특성이 우수한 선발된 미생물을 대상으로 포트재배를 통해 효과를 검정하고자 하였다. 공시 대상 미생물은 -70℃에서 보존 중인 균주를 꺼내 LB 고체배지에 3rd streak을 한 후 30℃에서 1~2일간 배양하고, single colony를 선발하여 사용하였다. Single colony를 LB 액체배지에 전배양 한 후 전배양액 1ml를

100ml LB 액체배지에 접종하여 30~31℃에서 24~48시간 배양한 후 시험에 사용하였다.

시험 작물은 직접 파종, 육묘하여 사용하였으며 파종 전 종자는 균주 배양 100배 희석액에 3시간동안 침지처리하였다. 수분관리의 용이성을 위하여 밭 흙과 원예용 바로크 상토를 1: 3 부피 비율로 혼합하여 정식에 사용하였으며, 무처리, 배양배지, 시판미생물제품 처리구를 같이 두어 조사하였다. 미생물 관주액은 원배양액(약 $1\times10^8$cfu/ml)을 100배 희석(약 $1\times10^6$cfu/ml)하여 본엽 발생 후 7일 간격으로 6~8회 관주하여 생육촉진 효과를 조사하였다. 이때 관주량은 포트 크기에 따라 다르게 하였는데, 직경 10㎝ 포트에는 100㎖/회, 직경 12.5㎝ 포트에는 생육 초기 150㎖/회, 생육중기 400㎖/회, 직경 24㎝ 포트에는 1,000㎖/회를 관주하였으며 정해진 관주일 외 화분이 건조하여 생육이 원활하지 못하면 전체적으로 물 관주를 실시하였다. 관주되는 미생물에 대해서는 $NH_4$-N, $NO_3$-N 함량 등의 화학성을 분석하였다.

**2) 최적 배양 조건 구명**

포트검정 결과 기능성이 우수한 균주에 대해서는 토양재배를 통한 효과 검정 전에 균수를 최대한으로 확보할 수 있는 적합배지, 배양시간, 배양온도 등 최적 배양 조건을 Multi Channel Bioreactor(RTS 8 plus)를 이용하여 구명하였다. 우선 시험에 사용할 상용화 배지 6종을 수집하였으며, 수집 배지별 성분은 표1과 같다. 선발된 배지를 이용하여 배양시간을 24시간, 36시간, 48시간으로 처리하여 적합 배양시간을 구명하고, 선발된 배지와 배양시간을 조건으로 하여 배양 온도를 30℃, 32℃, 35℃으로 처리하여 적합 배양 온도를 구명하였으며 처리별로 OD 값과 인산가용화능, 질소고정능 등 기능적 특성 변화를 조사하였다.

표 1. 수집 배지 종류별 성분 조성

| 구 분 | 성 분(%) |
|---|---|
| A | 포도당 40, 효모배양액 30, 옥수수전분 26.5, 글루타민산 3.5 |
| B | 무수포도당 52, 효모추출물 30, 소이펩톤 15, 타우린 2, 미네랄 1 |
| C | 무수포도당 35, 효모추출물 35, 황산마그네슘7수화물 15, 제2인산칼륨 10, 식염 5 |
| D | 효모추출물 45, 효모배양물 35, 포도당 10, 구연산 5, 제2인산칼륨 3, 제1인산칼륨 2 |
| E1 | 효모추출물 69, 설탕 21, 포도당 10 |
| E2 | 효모배양물 62, L-글루타민산나트륨 38 |
| F | LB 배지(대조) |

### 3). 토경 및 양액재배를 통한 생육촉진 미생물 효과 검정

포트재배를 통해 효과가 우수하게 선발된 미생물은 토경재배를 통해 효과를 검정하였다. 포트재배에서 선발된 미생물은 2022년에 19SMO742, 2023년에 20OF21-1, 20OF28, 19EO582 등 총 4종이었다. 시험은 친환경시험포장(경기도 광주시 곤지암읍 삼리 683)에서 추진하였으며, 대상작목은 2022년 방울토마토, 2023년 완숙토마토로 품종은 각각 맛나대추, 슈퍼도태랑 이었다. 방울토마토는 재식거리 90×27 cm, 1조 재배, 완숙 토마토는 재식거리 100×20 cm, 1조 재배하였다. 처리구별로 비료를 시비한 후 점적관수를 설치하고 비닐멀칭 하여 재배에 활용하였다.

처리구에 시비하는 유박 함량은 토양검정을 통해 작목별 토양검정 시비량 중 질산태질소 함량을 기준으로 계산하였으며 관행시비구, 시판미생물구, 배양배지구, 선발균주구 총 4개 처리구를 두었고 3반복 완전임의배치법으로 시험구를 배치하였다. 관행시비구는 구당 100%에 해당하는 유박을 시비하였고, 시판미생물구, 배양배지구, 선발균주구는 관행 시비량의 50%에 해당하는 유박을 시비하였다. 시판미생물은 *Lactobacillus rhamnosus*와 *Pichia deserticola*가 포함된 대유 마이크로빅 제품을 이용하였으며 권장사용량인 500배로 시비하였다. 선발 균주는 $10^6$~$10^7$ cfu/ml 농도가 되도록 100배 희석하여 사용하였고 배양배지 처리구도 균주 처리 시 희석비율인 100배로 희석하여 처리하였다. 토마토 묘는 전문육묘장에서 구입하였으며, 본엽 10~11매가 전개되고 제1화방 꽃 1~2개가 개화되었을 때 정식하였다. 미생물 관주처리는 정식시부터 시작하였으며, 7일 간격으로 최종수확 3주 전까지 처리하였다. 관주량은 생육 초기는 500 ml/회, 생육 후기는 700 ml/회로 하였으며, 정상적인 생육을 위해 물이 추가로 필요할 경우는 전 처리구에 물을 동일하게 관주하였다. 곁순 따기는 수시로 실시하였으며, 생육중기부터는 누렇게 된 잎, 병든 잎, 과번무 부위의 잎을 따거나 잎의 선단부를 1/3정도 잘라주며 관리하였다. 마지막으로 수확할 화방 위의 잎 2~3개를 남기고 적심한 후 7~8화방까지 수확하였는데 4회 관주 후 초장, 엽장, 엽수 등 생육 특성을 조사하였고 7~8화방까지의 착과수, 과중, 과경, 수확량, 상품 수량 등을 조사하였다.

2023년에 토경재배 시 생육촉진 효과가 있었던 미생물인 '19SMO742'를 양액재배에 적용하여 생육촉진 효과를 추가로 검토하였다. 배지는 코코피트 그로우백(100×15×10 cm, 5구)을 이용하였고 재식 거리를 100×40 cm로 하였으며 양액처리구(무처리), 배양배지 처리구, 시판미생물 처리구, 19SMO742 처리구를 2반복 완전임의배치하였다. 양액은 야마자키 양액조성에 따라 하였고, 양액공급은 생육 단계별로 하루에 10~20회, 회당 1분씩 처리하였다. 미생물은 7일 간격으로 공급하였는데 전날 마지막 6회 ~ 다음날 2회까지 총 8회에 걸쳐 양액관주 시 미생물을 공급하였으며 시판미생물과 배양배지 처리구도 동일하게 시행하였다. EC는 생육 단계별로 0.7~1.3

로, pH는 6.8 전후로 조정하였으며 기타 관리와 조사는 토경재배에 준하여 추진하였다.

19SMO742 미생물 농가실증은 2023년 양액재배 방식으로 완숙토마토를 재배하는 광주시 퇴촌면 정지리의 안○준 농가의 억제재배 작형에서 추진하였다. 양액배지는 펄라이트, 품종은 슈퍼탑, 양액은 야마자키 양액조성으로 하였다. 정식 후 7일 간격으로 관주 하였으며, 마지막 양액관주 시 미생물을 처리하여 배지에 머무를 수 있는 시간을 최대한 길게 하였다. 양액공급은 기상에 따라 하루 1~3회, 회당 5분으로 하였으며 미생물 처리구와 무처리구의 수확량과 과중을 비교하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 균주 수집 및 기능적 특성 검정

작물 생육촉진용 미생물을 선발하기 위하여 2000년에는 양송이 수확 후 배지, 버섯 오염 낙하균, 유기 및 무농약 논토양 등에서 153 균주를 수집하였으며, 경기도농업기술원 환경농업연구과 유기농업팀에서 가지 유기 재배지에서 수집한 327개 균주를 이관받았다. 2021년에는 양평, 이천 등 계곡, 저수지와 유기 논 토양에서 미생물을 수집하고 분리 동정하여 107종의 광합성 균주를 확보하였다. 확보된 광합성균은 *Rhodobacter*속 66종, *Rubrivivax*속 39종, *Rhodopseudomonas*속 1종, *Rhodoferax*속 1종 이었다.

2022년에는 당근 유기재배지, 표고버섯 발효배지, 과수원 유기 재배지에서 101종의 미생물을 분리하여 인산가용화능, 질소고정능, IAA 생성능, 사이드로포어 형성능이 우수한 16균주를 선발하였으며, 2023년에는 제주도 배추 재배지, 파주, 평택, 수원지역 유기 논, 파주지역의 쑥갓, 양배추 친환경 재배지, 광주지역의 토마토 친환경 시설재배지, 여주지역의 콩, 들깨 유기재배지, 양평지역의 감자 유기 재배지에서 미생물을 78종 분리하여 동정하고 기능적 특성이 우수한 11개 균주를 선발하였다(표 2, 표 3). 선발된 균은 16rRNA 유전자 분석 방법으로 동정하였다(표 3).

표 2. 작물 생육촉진용 미생물 수집 목록 (2020~2023년)

| 수집 년도 | 수집처 | 분리 균주수 | 분리균주명 |
|---|---|---|---|
| 2020 | 계 | 569 | |
| | 양송이 수확후 배지(양평,여주) | 89 | *Chryseobacterium sp. Rahuella sp. Luteibacter sp. Pseudomonas sp. Ochrobactrum sp.* 등 |
| | 버섯 오염농가 낙하균 | 53 | *Bacillus sp. Pseudomonas sp. Stenotrophomonas sp. Acinetobacter sp.* 등 |
| | 가지 유기재배지 (유기농업팀) | 327 | 주로 *Pseudomonas sp.* |
| | 유기논토양 (양평) | 100 | 주로 *Rhodobacter capsulatus* |
| 2021 | 계 | 107 | |
| | 계곡 및 저수지(양평) | 2 | *Rhodopseudomonas faecalis, Rhodoferax fermentans, Ideonella sakaiensis, Methylobacterium phyllosphaerae Rhodococcus corynebacterioide* 등 |
| | 저수지(이천) | 3 | *Rubrivivax gelatinosus* |
| | 강 및 저수지 (연천) | 8 | *Rhodobacter blasticus, Rhodobacter sp., Rubrivivax gelatinosus, Aquincola tertiaricarbonis Pedobacter glucosidilyticus, Micromonospora aurantiaca* 등 |
| | 저수지(양주) | 5 | *Rhodobacter capsulatus, Rhodobacter sp. Ideonella sakaiensis* |
| | 유기논토양 (이천 , 평택, 화성) | 89 | *Rhodobacter capsulatus, Rhodobacter sp. Rubrivivax gelatinosus* |

| 수집 년도 | 수집처 | 분리 균주수 | 분리균주명 |
|---|---|---|---|
| 2022 | 계 | 101 | |
| | 당근 재배지 (가평) | 18 | *Bacillus megaterium, Bacillus altitudinis, Bacillus cucumis, Pseudomonas mandelii, Pseudomonas lurida, Pseudomonas azotoformans* |
| | 당근 재배지 (제주도) | 17 | *Bacillus marisflavi, Bacillus megaterium, Pseudomonas azotoformans, Pseudomonas moraviensis, Pseudomonas migulae* |
| | 버섯배지 | 14 | *Pseudomonas plecoglossicida, Pseudomonas boreopolis, Acinetobacter bereziniae, Novosphingobium pokkalii, Enterobacter hormaechei* |
| | 포도 친환경 재배지(가평) | 7 | *Comamonas testosteroni, Bacillus pseudomycoides, Arthrobacter pascens, Bacillus altitudinis* |
| | 배 유기재배지 (파주) | 9 | *Ensifer adhaerens, Rossellomorea marisflavi, Bacillus megaterium, Cupriavidus necator* |
| | 사과 유기 재배지(연천) | 14 | *Bacillus megaterium, Cupriavidus necator, Rossellomorea marisflavi, Pseudomonas knackmussii* |
| | 블루베리 유기 재배지(시흥) | 11 | *Lysinibacillus varians, Aeromonas sanarellii* |
| | 복숭아 유기 재배지(이천) | 11 | *Bacillus megaterium, Pseudomonas granadensis, Paenarthrobacter nicotinovorans* |
| 2023 | 계 | 78 | |
| | 배추 재배지 (제주) | 4 | *Arthrobacter cryoconiti, Arthrobacter globiformis, Cupriavidus necator, Bacillus megaterium* |
| | 유기논 (파주, 평택, 수원) | 18 | *Bacillus megaterium, Bacillus safensis, Bacillus australimaris, Bacillus pseudomycoides, Bacillus cereus, Bacillus velezensis, Bacillus xiamenensis, Neobacillus niacini, Gottfriedia acidiceleris, Sporosarcina luteola, Priestia koreensis, Rossellomorea aquimaris, Rossellomorea marisflavi* |
| | 유기재배지 | 56 | *Bacillus amyloliquefaciens, Bacillus megaterium, Bacillus siamensis, Bacillus subtilis, Bacillus timonensis, Bacillus velezensis, Cytobacillus firmus, Pseudomonas guariconensi, Pseudomonas knackmussii, Rossellomorea aquimaris, Rossellomorea marisflav, Rossellomorea marisflavi, Serratia nematodiphila* |

표 3. 수집 선발균 동정 및 기능적 특성검정

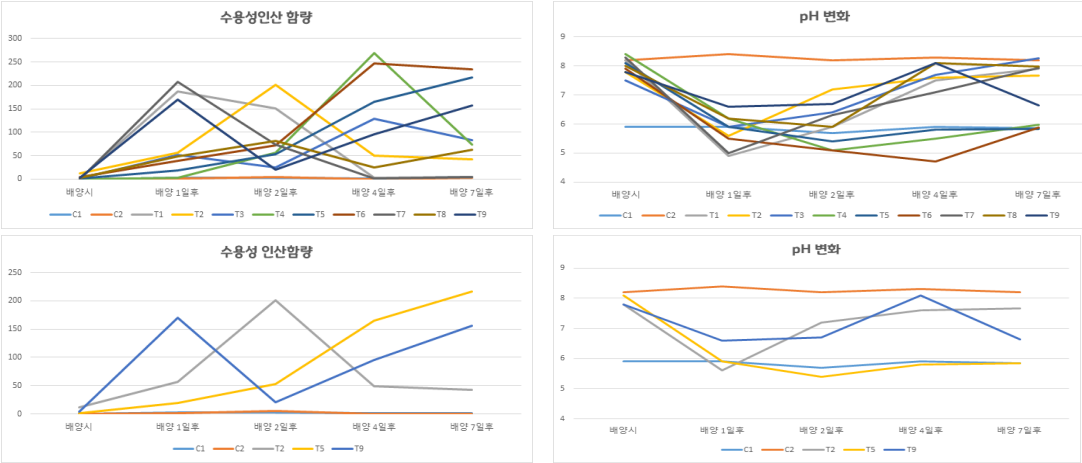
| 수집 년도 | 균주명 | 균종 | IAA 생성능 (mg/L) | 인산 가용화능 (환크기, mm) | 사이드로포어 생성능 (환크기, mm) | 질소 고정능 (색변화) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2020 (17종) | 20BM3-2 | *Pseudomonas tolaasii* | <Min | 15.1 | 0 | ++ |
| | 20BM3-24 | *Pseudomonas tolaasii* | <Min | 15.1 | 0 | ++ |
| | 20OF23 | *Pseudomonas tolaasii* | <Min | 12.5 | 0 | ++ |
| | 20OF28 | *Pseudomonas sp.* | <Min | 13.9 | 0 | ++ |
| | 20OF36-1 | *Pseudomonas lurida* | <Min | 12.6 | 0 | ++ |
| | 20OF9 | *Bacillus safensis* | <Min | 0 | 8.0 | +++ |
| | 20OF19 | *Bacillus safensis* | <Min | 0 | 6.8 | +++ |
| | 20OF21-1 | *Bacillus safensis* | <Min | 0 | 7.1 | +++ |
| | 20OF40 | *Bacillus altitudinis* | <Min | 0 | 6.3 | +++ |
| | 20OF43 | *Micrococcus sp.* | 74.3 | - | - | - |
| | 20BM2-23 | *Rahnella aquatilis* | 27.6 | 21.1 | - | + |
| | 20OF33-1 | *Pseudomonas sp.* | <Min | 13.5 | - | +++ |
| | 19EO528 | *Pseudomonas granadensis* | <Min | 15.2 | - | ++ |
| | 19EO582 | *Pseudomonas umsongensis* | <Min | 12.4 | 0 | ++ |
| | 19SMO666 | *Pseudomonas granadensis* | <Min | - | - | ++ |
| | 19SMO742 | *Arthrobacter Globiformis* | 24.2 | - | - | + |
| | 19SMO793 | *Arthrobacter Globiformis* | <Min | - | - | - |
| | 19SMO830 | *Arthrobacter Globiformis* | 17.6 | - | - | - |
| 2021 (4종) | 21PW61 | *Rhodobacter sp.* | 23.3 | 0 | 0 | + |
| | 21PW67 | *Rhodobacter sp.* | 21.8 | 0 | 0 | - |
| | 21PW74 | *Rhodobacter sp.* | 23.4 | 0 | 0 | - |
| | 21PW82 | *Rhodobacter sp.* | 22.1 | 0 | 0 | - |
| 2022 (16종) | 22DCO111 | *Bacillus megaterium* | 12.5 | 0 | 11.2 | ++ |
| | 22DCO117 | *Pseudomonas mandelii* | <Min | 13.6 | 25.2 | +++ |
| | 22DCO118 | *Pseudomonas lurida* | <Min | 12.1 | 24.5 | +++ |
| | 22DCO120 | *Pseudomonas azotoformans* | <Min | 18 | 12.1 | +++ |
| | 22DCS203 | *Pseudomonas migulae* | <Min | 4.5 | 24.0 | +++ |
| | 22DCS205 | *Pseudomonas moraviensi* | <Min | 13.9 | 11.0 | +++ |
| | 22NNF309 | *[Pseudomonas] boreopolis* | <Min | 0 | 11.3 | +++ |
| | 22PPO304 | *Paenarthrobacter nicotinovorans* | 5.7 | 0 | 16.2 | + |
| | 22PPO310 | *Pseudomonas granadensis* | <Min | 16.9 | 18.1 | +++ |
| | 22VVO405 | *Arthrobacter pascens* | 16.6 | 0 | 14.9 | - |
| | 22MPO601 | *Bacillus megaterium* | 17.8 | 0 | 13.2 | ++ |
| | 22MPO608 | *Cupriavidus necator* | <Min | 0 | 14.1 | +++ |
| | 22MPO609 | *Rossellomorea marisflavi* | <Min | 0 | 0 | +++ |
| | 22MPO613 | *Pseudomonas knackmussii* | <Min | 0 | 0 | +++ |
| | 22PPO307 | *Bacillus megaterium* | 9.9 | 0 | 20.6 | + |
| | 22PSO505 | *Bacillus megaterium* | 12.0 | 0 | 15.8 | + |

| 수집 년도 | 균주명 | 균종 | IAA 생성능 (mg/L) | 인산 가용화능 (환크기, mm) | 사이드로포어 생성능 (환크기, mm) | 질소 고정능 (색변화) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2023 (11종) | 23OSO001 | *Bacillus megaterium* | 17.4 | 0 | 15.2 | +++ |
| | 23OSO012 | *Bacillus megaterium* | 17.6 | 0 | 14.2 | +++ |
| | 23OSO018 | *Bacillus megaterium* | 22.8 | 0 | 14.7 | ++ |
| | 23CCO025 | *Bacillus megaterium* | 14.3 | 0 | 12.1 | +++ |
| | 23CCO033 | *Bacillus megaterium* | 15.7 | 0 | 12.3 | +++ |
| | 23BOO039 | *Bacillus megaterium* | 16.8 | 0 | 13.7 | +++ |
| | 23BOO042 | *Bacillus subtilis* | 11.6 | 0 | 14.9 | + |
| | 23GMO048 | *Bacillus megaterium* | 18.1 | 0 | 12.2 | ++ |
| | 23PFO077 | *Rossellomorea marisflavi* | <Min | 0 | 12.0 | +++ |
| | 23PFO089 | *Bacillus subtilis* | 5.4 | 0 | 16.2 | + |
| | 23SLO094 | *Pseudomonas guariconensi* | <Min | 17.5 | 0 | +++ |

※ 배양온도 30℃, 배양배지 LB / IAA 생성능: $R^2$=0.992~0.981, < Min: 2.5mg/L 이하
질소고정능(파란색 변화정도): 변화없음, (+) 매우 약, + 약, ++ 중, +++ 강

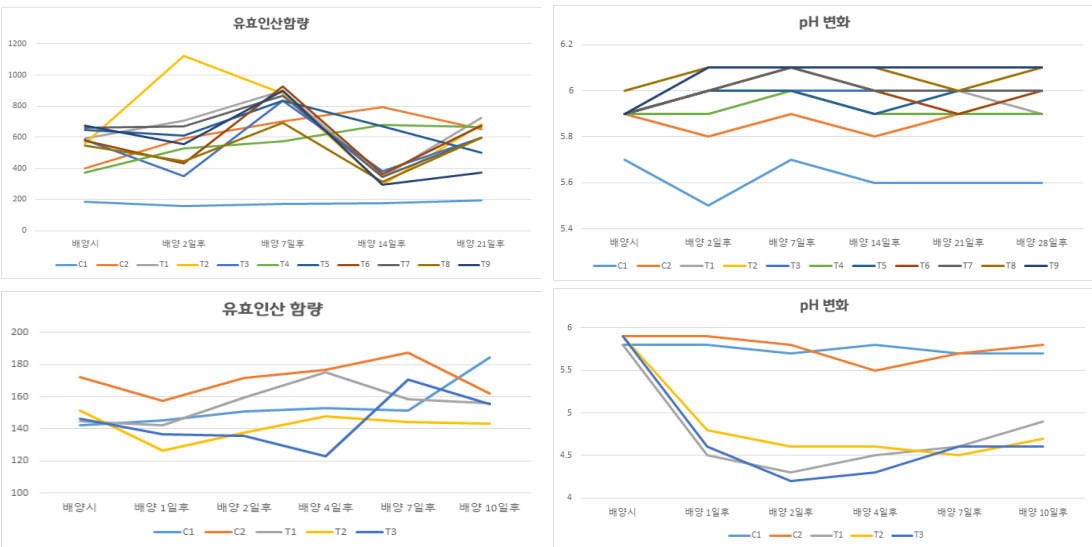
## 나. 인산가용화능 우수 균주의 인산 가용화 정도 구명

2021년 인산가용화능이 우수한 20OF33-1, 20BM2-23 균주를 대상으로 수용성 인산 함량 측정을 통해 인산가용화능을 검정한 결과 20BM2-23는 배양 1~2일후 20OF33-1은 배양 4일 후에 인산 가용화능이 높았으며, 접종 균주 농도는 1%가 적당한 것으로 나타났다. 수용성 인산 생성능 검정시 PVK 배지를 이용하는 것이 효과적이었으며, 균주별 인산가용화능이 최적화 될 수 있는 조건(탄소원 종류 및 농도, 배양시간 등)을 확립하는 것이 필요할 것으로 판단되었다(그림 1). 유효인산 측정 방식으로 인산 가용화능을 검정한 결과 20BM2-23 균주 5% 접종 처리구에서 배양 2일 후 1,122mg/L의 가장 높은 유효인산 함량을, 배양 7일 후에는 20OF33-1 균주 10% 접종 처리구에서 925mg/L의 높은 유효인산 함량을 나타냈다(그림 2).




※ C1: Pikovaskaya's 배지, C2: Pikovaskaya's 배지+TCP 1%, T1: C2 + 20MB2-23 배양액 1%,
T2: C2 + 20MB2-23 5%, T3: C2 + 20MB2-23 10%, T4: C2 + 20OF33-1 1%, T5: C2 + 20OF33-1 5%,
T6: C2 + 20OF33-1 10%, T7: C2 + 20MB2-23 0.5% + 20OF33-1 0.5%
T8: C2 + 20MB2-23 2.5% + 20OF33-1 2.5%, T9: C2 + 20MB2-23 5% + 20OF33-1 5%

그림 1. 인산가용화능 우수 균주적용시 수용성 인산함량 변화




※ C1: 상토 79.3g, C2: 상토 79.3g+TCP 0.793g(1%), T1: C2 + 20MB2-23 배양액 1%,
T2: C2 + 20MB2-23 5%, T3: C2 + 20MB2-23 10%, T4: C2 + 20OF33-1 1%, T5: C2 + 20OF33-1 5%,
T6: C2 + 20OF33-1 10%, T7: C2 + 20MB2-23 0.5% + 20OF33-1 0.5%
T8: C2 + 20MB2-23 2.5% + 20OF33-1 2.5%, T9: C2 + 20MB2-23 5% + 20OF33-1 5%

그림 2. 인산가용화능 우수 균주적용시 유효인산함량 변화

## 다. 기능적 특성 우수 균주의 작물 생육촉진 효과 검정

### 1) 포트 재배를 통한 작물 생육촉진 미생물 1차 선발

2021년 IAA 생성능과 질소고정능이 있는 19SMO666(*Pseudomonas granadensis*), 19SMO742, 19SMO793, 19SMO830(이상 *Arthrobacter Globiformis)* 균주를 추가로 선발하여 유묘기 생육을 조사한 결과 질소고정능이 있는 19SMO666, 19SMO742 균주가 토마토, 상추, 쑥갓(데이터 생략) 생육을 촉진시키는 효과가 있었다(표 4, 표 5, 그림 3). 그중 19SMO742 균주의 생육촉진 효과가 가장 좋을 것으로 판단하여, 2022년 토경재배로 생육촉진 효과를 검정하였다.

표 4. IAA 생성능과 질소고정능 균주의 토마토 생육촉진 효과(2021)

| 미생물 | 초장(cm) | 엽장(cm) | 엽폭(cm) | 경경(mm) | 엽수(개) | 생체중(g) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 시판배지 | 34.4c♩ | 29.7b | 24.0bc | 9.0a | 10.1c | 68.0bc |
| 19SMO666 | 39.1b | 29.9b | 25.7ab | 8.7ab | 10.8ab | 65.2bc |
| 19SMO742 | 44.0a | 32.1a | 26.9a | 8.8a | 11.2a | 78.4a |
| 19SMO793 | 38.8b | 30.8ab | 25.6ab | 8.7ab | 10.4bc | 72.1ab |
| 19SMO830 | 36.7bc | 26.3c | 23.1c | 8.1b | 10.8ab | 58.2c |

♩. DMRT at 5%, 파종 55일 후 조사

표 5. IAA 생성능과 질소고정능 균주의 상추 생육촉진 효과(2021)

| 미생물 | 엽장(cm) | 엽폭(cm) | 엽수(개) | 생체중(g) | 근장(cm) | 근중(g) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 시판배지 | 17.7 | 13.8 | 6.0 | 14.3b♩ | 16.2b | 0.16b |
| 19SMO666 | 18.1 | 14.3 | 6.8 | 18.7ab | 17.9ab | 0.21b |
| 19SMO742 | 17.9 | 14.4 | 6.0 | 21.6a | 15.6b | 0.21b |
| 19SMO793 | 18.5 | 13.4 | 6.6 | 17.2ab | 19.6a | 0.30a |
| 19SMO830 | 18.6 | 14.5 | 6.2 | 15.8b | 17.9ab | 0.14b |

♩. DMRT at 5%, 파종 40일 후 조사

좌-시판미생물, 우-19SMO742

좌-시판미생물, 우-19SMO742

**그림 3. IAA 생성능과 질소고정능 균주의 토마토 및 상추 생육촉진 효과(2021)**

2022년 토마토와 배추를 대상으로 생육촉진 효과를 포트검정한 결과 초장, 생체중, 줄기굵기, 개화속도 등에 효과가 있는 20OF21-1(*Bacillus safensis*) 19EO582 (*Pseudomonas umsongensis*), 20OF28 (*Pseudomonas* sp.) 균주를 최종 선발 하였다(표 6, 표 7). 관주에 사용한 500배 희석된 배양액의 화학성을 분석해 본 결과 20OF21-1은 질산태 질소함량이 20OF28은 암모니아태 질소함량과 가용인산 함량이 높은 것으로 나타났으며(표 8), 선발된 3개 균주는 2023년 토경재배 방법으로 생육촉진 효과를 검정하였다.

표 6. 기능적 특성 우수 미생물의 토마토 생육촉진 효과(2022)

| 구 분 | 초장 (cm) | 절간장 (cm) | 경경 (mm) | 엽장 (cm) | 엽폭 (cm) | 엽수 (개/주) | 화방수 (개/주) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20OF9 | 89.2±6.3d[♩] | 4.3±0.9a | 10.8±1.3 | 32.5±2.1b | 26.3±1.8ab | 15.1±1.2ab | 2.6±0.5b |
| 20OF21-1 | 91.9±4.2bcd | 4.2±0.9ab | 10.6±0.8 | 34.4±2.9ab | 25.7±2.8ab | 14.6±1.4bc | 2.9±0.2a |
| 20OF36-1 | 93.4±6.6abcd | 3.6±0.7ab | 10.7±1.4 | 31.9±3.7b | 25.8±3.8ab | 14.8±1.6bc | 3.1±0.3a |
| 20OF28 | 96.1±7.1ab | 4.2±0.9a | 10.2±0.9 | 33.7±2.7ab | 25.2±2.4ab | 15.3±1.7ab | 3.0±0.3a |
| 19EO582 | 98.0±7.0a | 3.4±0.7b | 10.3±1.3 | 32.9±3.7b | 26.4±3.5a | 16.3±1.9a | 3.1±0.3a |
| LB배지 | 94.7±5.9abc | 3.5±0.8ab | 10.8±0.8 | 35.7±2.5a | 26.9±3.0a | 15.3±0.9ab | 3.0±0.0a |
| 시판미생물 | 89.0±8.8d | 4.1±1.1a | 10.4±1.2 | 33.6±3.9ab | 24.9±3.0ab | 13.8±1.2c | 3.1±0.2a |
| 물처리 | 90.7±8.4cd | 3.7±1.1ab | 10.3±1.0 | 32.7±3.8b | 24.2±4.1b | 14.7±1.6bc | 3.1±0.4a |

♩. DMRT at 5%

표 7. 기능적 특성 우수 미생물의 배추 생육촉진 효과(2022)

| 구 분 | 엽장(cm) | 엽폭(cm) | 엽수(mm) | 생체중(g/주) |
|---|---|---|---|---|
| 20OF9 | 26.7±1.7ab[♩] | 15.1±1.1abcd | 27.2±2.1ab | 177.2±13.5ab |
| 20OF21-1 | 26.7±1.1ab | 15.9±1.0ab | 27.1±1.5ab | 169.8±21.3b |
| 20OF36-1 | 26.9±1.8a | 15.6±1.4abc | 26.3±2.0ab | 173.4±18.2ab |
| 20OF28 | 27.1±1.5a | 16.0±1.2a | 27.1±1.9ab | 182.8±15.6a |
| 19EO582 | 27.2±1.4a | 15.7±1.1abc | 26.4±2.4ab | 177.2±12.2ab |
| LB배지 | 26.6±1.4ab | 15.0±1.2bcd | 27.5±1.7a | 175.3±12.7ab |
| 시판미생물 | 25.5±2.1c | 14.6±1.4d | 25.8±1.8b | 157.8±15.3c |
| 물처리 | 25.6±1.2bc | 14.8±1.0cd | 27.0±1.2ab | 157.3±9.2c |

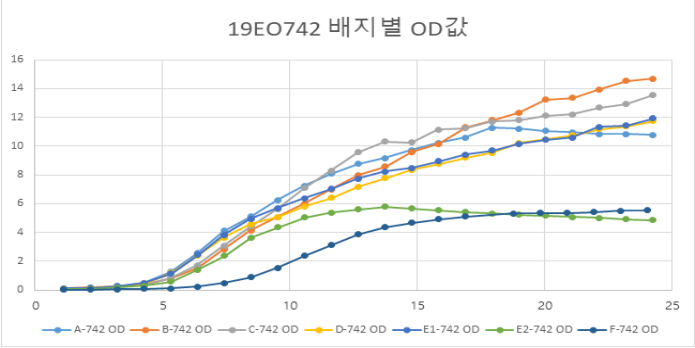
♩. DMRT at 5%

표 8. 2022년 선발균주 관주액 화학성

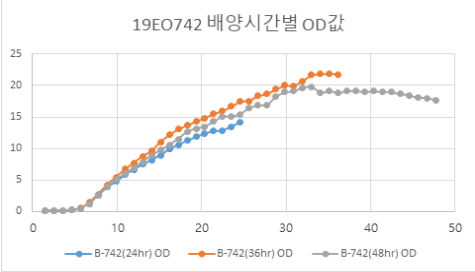
| 구분 | pH (1:5) | EC (dS/m) | $PO_4$-P (mg/L) | $NH_4$-N (mg/L) | $NO_3$-N (mg/L) | Ex.Cations (mg/L) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | K | Ca | Mg | Na |
| 배양배지 | 7.5 | 0.45 | 0.38 | 2.35 | 4.34 | 16.29 | 27.9 | 5.7 | 49.3 |
| 19EO582 | 6.8 | 0.37 | 0.39 | 0.28 | 3.53 | 8.74 | 27.9 | 5.8 | 28.9 |
| 20OF28 | 7.2 | 0.38 | 0.95 | 5.61 | 4.57 | 8.24 | 27.7 | 5.9 | 29.4 |
| 20OF21-1 | 7.2 | 0.36 | 0.38 | 3.60 | 10.98 | 16.20 | 27.6 | 5.5 | 49.6 |

## 2. 최적 배양조건 구명

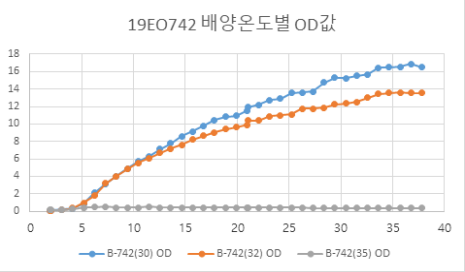
포트 검정 결과 선발된 균주는 토경재배 시험 전에 균주의 적합 배지, 배양시간, 배양 온도 등 최적 배양 조건을 구명하였다. 19SOM742에 적합한 배지는 무수포도당 52, 효모추출물 30, 소이펩톤 15, 타우린 2, 미네랄 1%로 구성된 배지였으며, 배양시간은 36시간, 배양온도는 30℃였다(그림 4).




【적합배지】



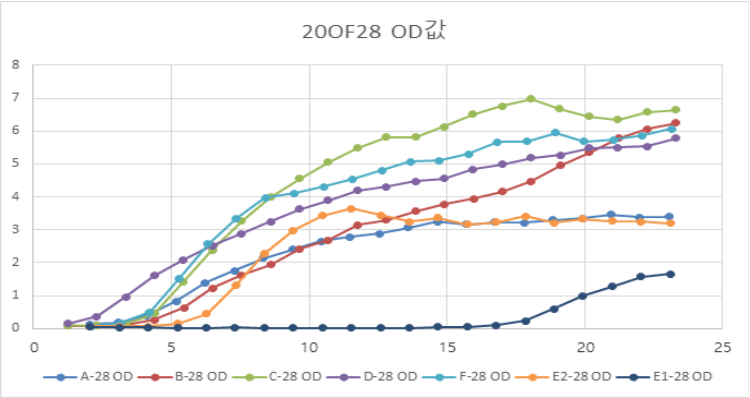

【배양시간】



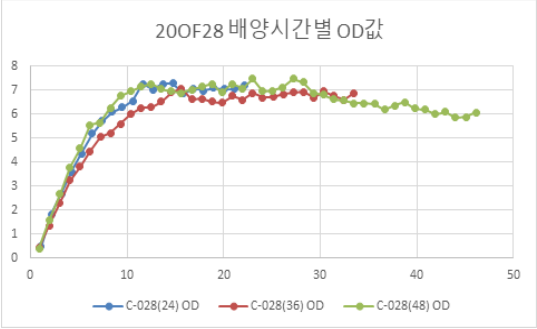

【배양온도】

그림 4. 19SOM742 미생물의 최적 배양조건

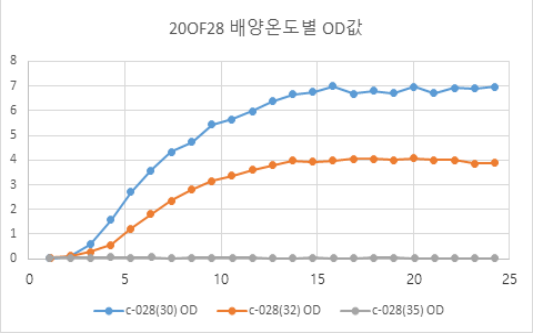
20OF21-1, 20OF-28 미생물은 무수포도당 35, 효모추출물 35, 황산마그네슘 $7H_2O$ 15, 제2인산칼륨 10, 식염 5%가 포함된 배지에서, 19EO582 미생물은 효모추출물 69, 설탕 21, 포도당 10%가 포함된 배지에서 OD값이 높게 나타났다. 3균주 모두 배양시간은 24시간이, 배양온도는 30℃가 적합하였다(그림 5).




【적합배지】




【배양시간】




【배양온도】

그림 5. 20OF-28 미생물의 최적 배양조건

### 3. 토경 및 양액재배를 통한 생육촉진 미생물 효과검정

2022년 19SMO742 미생물을 대상으로 토경재배시 토마토 생육에 미치는 영향을 조사한 결과 초장, 수량, 과중이 좋아지는 경향을 보였다. 19SMO742 처리구는 시판 미생물 처리구 대비 수량지수는 120으로 20% 증수되었고 과중은 개당 14.1g으로 6% 증가되었으나 수량에 통계적 유의성은 없었다(표 9). 화분 관주 전 19SMO742 배양액의 화학성을 분석해 본 결과 암모니아태 질소 함량이 다소 높게 나타나 생육촉진 미생물은 질소의 무기화율을 높이는 효과가 있는 것으로 판단되었다(표 10).

*Arthrobacter Globiformis* 미생물은 식물이 자라는 데 필요한 질소를 안정적으로 공급하고 식물이 잘 자랄 수 없는 3가 크롬양을 줄이며 다양한 유형의 오염 물질을 생분해하는 특성이 있다. 하지만 토경재배에서 수량 차이에 대한 통계적 유의성이 나타나지 않아 재현성과 효과를 다시 검정하고자 2023년에 양액재배와 농가 현장 실증을 추진하였다. 양액재배시 미생물을 처리해 본 결과 수량은 시판미생물 대비 3.5%, 상품수량은 9% 증가하였으나 이 역시 통계적인 유의성이 나타나지 않았다(표 11). 경기도

광주지역 양액재배 농가에서 현장실증을 추진한 결과에서도 상품수량이 대조구와 처리구간에 큰 차이가 없게 나타나 본 미생물은 일반기탁하여 향후 생육촉진에 대한 효과를 재검토해야 할 것으로 판단하였다(그림 6).

표 9. 토마토 토경재배시 19SMO742 미생물 처리 효과

| 처리구 | 주당수량 (개/주) | 주당중량 (g/주) | 과실당 무게 (g/개) | 과경 (cm) | 과폭 (cm) | 당도 (° Brix) | 산도 (pH) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19SMO742 | 77.1±4.7$^{ns}$♩ | 849±128$^{ns}$ | 14.1±2.3a♩ | 31.9±1.9a | 27.3±1.7a | 9.8±0.7$^{ns}$ | 4.2±0.05a |
| 관행시비 | 65.2±11.9 | 659±208 | 12.8±2.2b | 30.6±1.9c | 26.5±1.7b | 9.8±0.8 | 4.1±0.05b |
| 시판미생물 | 70.8±5.1 | 708±75 | 13.3±1.9b | 31.0±2.2bc | 26.9±1.8ab | 10.1±0.6 | 4.2±0.05ab |
| 배양배지 | 70.3±2.8 | 692±84 | 13.3±2.0b | 30.8±1.8bc | 26.8±1.5b | 10.0±0.5 | 4.2±0.03ab |

♩. DMRT at 5%

표 10. 19SMO742 배양 관주액 화학성

| 구분 | pH (1:5) | EC (dS/m) | PO4-P (mg/L) | $NH_4$-N (mg/L) | $NO_3$-N (mg/L) | Ex.Cations (mg/L) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | K | Ca | Mg | Na |
| 19SMO742 | 6.9 | 0.27 | 0.55 | 3.42 | 0.03 | 3.4 | 0.42 | 0.05 | 44.3 |
| 배양배지 | 6.7 | 0.24 | 0.45 | 0.34 | 0.01 | 3.2 | 0.41 | 0.08 | 44.8 |
| 시판미생물 | 4.4 | 0.03 | 0.00 | 0.02 | 0.04 | 1.7 | 0.65 | 0.22 | 3.7 |

표 11. 토마토 양액재배시 19SMO742 미생물 처리 효과

| 처리구 | 수량 (g/주) | 상품수량 (g/주) | 상품화율 (%) | 배꼽썩음병 발생율(%) | 과경 (cm) | 과폭 (cm) | 과실당무게 (g/개) | 당도 (° Brix) | 산도 (pH) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19SMO742 | 2,145a♩ | 1,620a | 76 | 6.5 | 55.7a | 70.8a | 145.2$^{ns}$ | 6.0a | 4.1a |
| 무처리(양액) | 1,957ab | 1,479ab | 76 | 13.6 | 53.6a | 70.4a | 156.1 | 6.1a | 4.1a |
| 배양배지 | 1,639b | 1,173b | 72 | 9.5 | 54.1a | 69.1ab | 146.5 | 6.1a | 4.2a |
| 시판배지 | 2,072a | 1,486ab | 72 | 3.2 | 54.8a | 67.5b | 150.9 | 5.7b | 4.1a |

♩. DMRT at 5%

※ 수량: 수확한 과실 전체 / 상품수량: 100g이상 과실 / 과실당 무게: 상품과의 과실당 무게 / 과경, 과폭, 당도, 산도: 반복당 15개체 조사

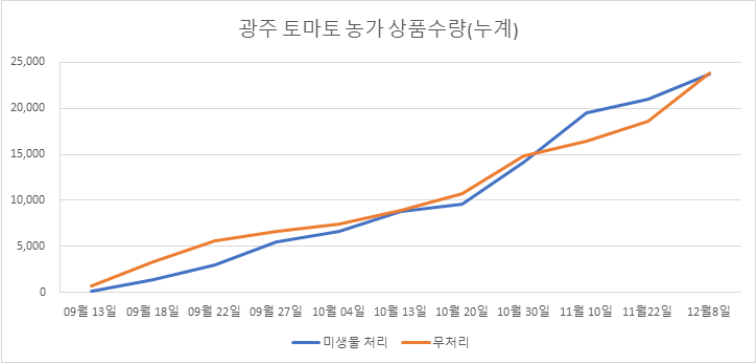



그림 6. 토마토 현장실증시 19SMO742 미생물 처리구와 무처리구의 상품수량 차이

2023년에 20OF21-1, 20OF28, 19EO582 미생물을 공시하여 토마토 토경재배를 추진한 결과 20OF28 처리구의 상품수량은 주당 2,443g으로 시판미생물 1,810g 대비 35% 증가하였으며 상품화율이 89.9%로 우수하였다. 20OF21-1 처리구에서 초장, 줄기굵기 등 생육특성이 우수하였으며, 상품수량은 2,037g/주로 시판미생물에 비해 12.5% 증가하였다(표 12, 13). 20OF28을 농가현장에 적용하였을 경우 10a 당 5,167,377원의 경제적 효과가 있는 것으로 추정되었다(표 14).

표 12. 토마토 토경재배시 20OF28 등 3종 미생물이 생육에 미치는 효과

| 처리구 | 초장(cm) | 경경(mm) | 엽수(개/주) | 엽장(cm) | 엽폭(cm) | 화방수(개/주) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 20OF21-1 | 113.2a♩ | 12.2a | 19.7a | 40.2bc | 41.1bc | 5.3a |
| 20OF28 | 109.8abc | 11.9a | 19.3ab | 40.4bc | 42.1bc | 5.3ab |
| 19EO582 | 101.8d | 11.2a | 18.5b | 42.2ab | 45.2ab | 5.0c |
| 배양배지 | 107.0bc | 9.4b | 19.1ab | 40.8bc | 44.0ab | 4.9bc |
| 시판미생물 | 111.7ab | 10.4b | 19.1ab | 45.4a | 46.0a | 4.9c |
| 관행 | 105.5cd | 9.7b | 18.7ab | 37.3c | 36.6c | 4.9bc |

♩. DMRT at 5% / 관주 4주후 조사 / 초장: 지표면~생장점까지 길이, 경경: 줄기 중간지점 굵기

표 13. 토마토 토경재배시 20OF28 등 3종 미생물이 과실 및 수량에 미치는 효과

| 처리구 | 수량 (g/주) | 상품수량 (g/주) | 상품 화율(%) | 배꼽썩음병 발생율(%) | 과경 (cm) | 과폭 (cm) | 과실당 무게(g/개) | 산도 (pH) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20OF21-1 | 2,279b♩ | 2,037b | 89.4 | 28.3 | 55.3 | 75.0 | 183.5 | 4.2a |
| 20OF28 | 2,718a | 2,443a | 89.9 | 21.8 | 55.8 | 75.7 | 182.6 | 4.2ab |
| 19EO582 | 2,191b | 1,913b | 87.3 | 47.4 | 56.1 | 76.5 | 186.2 | 4.2ab |
| 배양배지 | 1,545d | 1,281c | 82.9 | 40.1 | 54.1 | 71.9 | 158.2 | 4.1b |
| 시판미생물 | 2,044bc | 1,810b | 88.5 | 26.6 | 55.7 | 76.8 | 183.4 | 4.2ab |
| 관행 | 1,687cd | 1,321c | 78.3 | 48.0 | 56.0 | 74.0 | 178.1 | 4.2ab |

♩. DMRT at 5%

※ 수량: 수확한 과실 전체 / 상품수량: 100g이상 과실 / 과실당 무게: 상품과의 과실당 무게 / 과경, 과폭, 당도, 산도: 반복당 15개체 조사

표 14. 토마토 토경재배시 20OF28 미생물 처리에 따른 경제성 분석

| 손실적 요소(A) | 이익적 요소(B) |
|---|---|
| o 증가되는 비용<br>- 수량 증가에 따른 수확 인건비 (남성, 1일): 127,215원<br>- 수량 증가에 따른 포장비: 380,000원<br>- 계(A): 507,215원 | o 증가되는 이익<br>- 수량증가: 633g/주×3,000주= 1,899kg<br>→ 14,941원/5kg(상품)×379.8박스 =5,674,592원<br>- 계(B): 5,674,592원/10a<br>※ 3,000주/10a 식재 시 기존 농가 미생물 기활용 가정 시 |
| o 추정수익액(B-A): 5,674,592원-507,215원 = 5,167,377원 | |

※ 시설토마토 생산이력관리 시스템을 이용한 농작업별 소요시간 산정
- 1,779.4kg 수확시 노동력 소요시간 409.8분(6.83시간)

※ 2022 경제성분석기준자료집: ’21 남성농업노임 127,215원, 여성농업노임 93,826원
’21 일반토마토 연평균 가격(상품, 5kg 기준) 14,941원

※ 포장비 = 380상자(5kg 기준) × 1,000원 = 380,000원

## 4. 적요

친환경농업에 활용할 수 있는 작물 생육촉진용 미생물을 선발하기 위하여 다양한 수집처에서 미생물을 수집, 동정하고 포트와 토경재배 방법으로 미생물 생육촉진 효과를 검정한 결과는 다음과 같다.

가. 2020년부터 2023년까지 총 855종의 미생물을 수집 확보하였으며, 인산가용화능, 질소고정능, IAA 생성능, 사이드로포어 형성능이 우수한 48종의 미생물을 대상으로 포트와 토경재배 방식으로 작물 생육촉진 효과를 검정하였음.

나. 2021년 인산가용화능이 우수한 20OF33-1, 20BM2-23 균주를 대상으로 수용성 인산 함량과 유효인산 함량 분석을 통해 인산가용화능을 검정한 결과 균주에 따라 가용화능이 높은 시기가 다름을 알 수 있었음.

다. 2021년 질소고정능이 우수한 19SMO742(*Arthrobacter Globiformis*) 균주를 선발하고 2022년 토마토 토양재배로 검정한 결과 시판미생물 처리구 대비 수량지수는 120으로 20% 증수되었고 과중은 개당 14.1g으로 6% 증가되었으나 수량에 통계적 유의성은 없었음.

라. 통계적 유의성을 확보하기 위해서 19SMO742 균주를 대상으로 토마토 양액재배와 농가현장실증을 추가로 추진한 결과 양액재배시 19SMO742 처리구에서 시판미생물 대비 수량 3.5%, 상품수량 9%가 증가하였으나 이 또한 통계적인 유의성이 없었으며, 농가에서 현장실증에서도 상품수량이 대조구와 처리구간에 큰 차이가 없었음.

마. 2022년 토마토와 배추를 공시하여 생육촉진 효과를 포트검정한 결과 20OF21-1 (*Bacillus safensis*) 19EO582 (*Pseudomonas umsongensis*), 20OF28 (*Pseudomonas* sp.) 균주를 선발하였고, 선발 균주에 대해 대량배양 조건을 확립한 후 토마토 토경재배로 생육촉진 효과를 검정한 결과 20OF28 처리 시 상품수량이 시판미생물 대비 35% 증가하였으며 상품화율이 89.9%로 우수한 결과를 얻었음.

## 5. 인용문헌

Kim J.W. 2001. *Bacillus* sp. WRD-1 배양액 처리가 토마토 생육에 미치는 영향. 동아대학교 대학원 석사학위논문

Kim J.H., Chio Y.H., Kang S.J., Joo G.J., Suh J.S., and Lim T.H., 2003. Isolation of *Bacillus amyloliquefaciens* MJ-3 and Its Effect on the Early Growth Promotion of Red Pepper Plug Seedlings in Compost. Journal of Life Science, 13(5): 582-589

Kim Y.S., Ham, S.K., Lee S.J. 2010. Effect of Liquid Fertilizer Contained Medium of *Lactobacillus* sp. and *Saccharomyces* sp. on Growth of Creeping Bentgrass. Kor. Turfgrass Sci. 24(2):138-144

Kim W.J. and Song H.G., Interactions between Biosynthetic Pathway an Productivity of

IAA in Some Rhizobacteria. 2012. Korean Journal of Microbiology. 48(1): 1-7

Kim E.J., Kim C.W., Kim S.K., Chang W.B., Kim Y.H., Song J.K., and Kwon J.S. 2018. Effect of Effective Microorganism Applications on Growth, Yield and Fruit Nutrient Contents in Fresh Tomato. Trends in Agriculture & Life Sciences. 56:15-21

Mehnaz S., Mirza M. S., Hanrat J., Bally R., Normand P., Bano A. and Malik K. A. 2001. Isolation and 16S rRNA sequence analysis of the beneficial bacteria from the rhizosphere of rice. Can. J. Microbiol. 47:110-117.

Sasikala Ch, and Ch V. 1995. Biotechnological potentials of anoxygenic phototrophic bacteria. I. Production of single-cell protein, vitamins, ubiquinones, hormones, and enzymes and use in waste treatment. Advances in applied microbiology, 41: 173-226

서장선, 노형준, 최수임. 2006. 논토양의 Indole Acetic Acid 생성능. 한국토양비료학회지. 39(6): 386-391

Yoo J.Y., Lee H.H., Han C.H., and Yoon M.H. 2017. Characterization of auxin production plant growth promotion by a bacterium isolated from button mushroom compost. Journal of Mushroom, 15(1): 8-13.

Lee K.K., Mok I.K., Yoon M.H., Kim H.J., and Chung D.Y. 2012. Mechanisms of Phosphate Solubilization by PSB (Phosphate-solubilizing Bacteria) in Soil. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 45(2): 169-176

이강형, 송홍규. 2007. 근권에서 분리한 Bacillus sp.의 적용에 의한 토마토의 생장 촉진. The Korean Journal of Microbiology. 43(4): 279-284

이강국, 목인규, 윤민호, 김혜진, 정덕영. 2012. 인산가용화 미생물에 의한 토양 내 인산이온 가용화 기작. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(2): 169-176

Hong I.S. 2010. 배지조성이 식물 생장 촉진 미생물의 대량배양에 미치는 영향. 충북대학교 대학원 석사학위논문

Hong S.H., Kim J.S., Sim J.G., and Lee E.Y. 2016. Isolation and Characterization of the Plant Growth Promoting Rhizobacterium, Arthrobacter scleromae SYE-3 on the Yam Growth. Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal 31(1): 58-65

## 6. 연구결과 활용제목

❍ *Arthrobacter*속 생육촉진 미생물 19SMO742 활용 방법 토마토 생육촉진 효과가 있는 슈도모나스속 20OF28 미생물 활용방법(영농활용)

## 7. 연구원 편성

| 세부과제 | 구 분 | 소 속 | 직 급 | 성 명 | 수행업무 | 참여년도 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | '20 | '21 | '22 | '23 |
| 작물 생육촉진용 미생물 개발 및 현장적용 연구 | **책임자** | **친환경미생물연구소** | **농업 연구관** | **임성희** | **세부과제 총괄** | - | ○ | ○ | ○ |
| | 공 동 연구자 | 〃 | 농업 연구사 | 장재은 | 작물재배 관련자료 수집 | - | - | ○ | ○ |
| | 〃 | 〃 | 〃 | 문지영 | 미생물 관련자료 수집 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 〃 | 〃 | 〃 | 신민우 | 시험분석법 자료수집 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 〃 | 〃 | 〃 | 남주희 | 기능성 관련 자료수집 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 〃 | 〃 | 농업 연구관 | 임갑준 | 과제 관리 및 추진방향 설정 | - | - | ○ | ○ |
| | 〃 | 원예연구과 | 농업 연구사 | 백일선 | 시험 설계 및 추진 | ○ | ○ | - | - |
| | 〃 | 소득자원 연구소 | 〃 | 원태진 | 시험분석법 자료수집 | ○ | ○ | - | - |
| | 〃 | 선인장다육 식물연구소 | 농업 연구관 | 정구현 | 과제 관리 및 추진방향 설정 | ○ | ○ | - | - |