

양송이버섯으로부터 분리한 두 *Paraburkholderia* 속 세균에 의한 인산가용화 효과

유혜진 · 윤민호*

충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과

Phosphate solubilizing effect by two *paraburkholderia* bacteria Isolated from button mushroom medium

Hye-Jin Yu, Min-Ho Yoon*

Department of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture and Lifesciences, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea.

ABSTRACT: The present study was conducted to investigate the synergistic effects caused by single and co-inoculation of the phosphate solubilizing bacteria (PSB), *Paraburkholderia phenazinium* YH3 and *Paraburkholderia metrosideri* YH4. Phosphate solubilization was assessed by measuring the phosphorus contents for 7 days in a single and co-inoculation medium. Co-inoculation of the two strains was found to release the highest content of soluble phosphorus ($1,250 \mu\text{g mL}^{-1}$) into the medium, followed by the single inoculation of *P. metrosideri* YH4 ($1196.59 \mu\text{g mL}^{-1}$) and *P. phenazinium* YH3 ($994.34 \mu\text{g mL}^{-1}$). The highest pH reduction, organic acid production and glucose consumption was also observed in the co-inoculation medium of the two strains. A plant growth promotion bioassay revealed that co-inoculation with the two strains enhanced the growth of romaine lettuce more than single inoculation with either of the two strains (28.5% for leaf and 16.6% for root). Although there was no significant difference between single and co-inoculation of bacterial strains in terms of phosphorous release and plant growth, the synergistic effects of co-inoculation with PSB could be beneficial for crop growth.

KEYWORDS: Lettuce Growth, *Paraburkholderia metrosideri* YH4, *Paraburkholderia phenazinium* YH3, Phosphate Solubilization

서 론

인(P)은 질소(N), 칼륨(K)과 함께 식물의 성장과 발달에 필요한 필수 영양소 중 하나이며 식물의 에너지 대사와 탄수화물 대사에 중요한 역할을 한다. 인산비료 형태로 토양에 공급되는 인은 HPO_4^{2-} 와 H_2PO_4^- 의 형태로 식물에

흡수 되어지고, 식물에 인산이 부족하게 되면 식물생장은 물론 RNA합성, 단백질 합성 등이 잘 일어나지 않는다 (Lee *et al*, 2012). 인산은 용해도가 낮고 토양 중에 제공된 인산은 거의 대부분이 Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} 등의 양이온과 결합하여 불용성상태인 AlPO_4 , FePO_4 , $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ 으로 고정화되거나, 또는 유기물과 결합하여 phytin과 같은 불용성 인산형태로 토양에 존재하여 작물의 인산 이용률이 감소되고, 그로인해 합성 인산비료의 사용량이 더욱 증가하므로써 염류집적 및 농업환경 오염의 주요 원인이 되고 있다 (EI-Yazeid and Abou-Aly, 2011, Khalimi *et al*, 2012;).

이러한 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ 등과 같은 불용성 인산염을 가용화시키는 근권미생물(rhizosphere microorganism) 중의 하나인 인산가용화균을 이용한 연구가 많이 이루어져 왔다(Qureshi *et al*, 2011; Egamberdieva, *et al*, 2015). 근권에서 식물생육을 촉진하는 미생물인 대표적인 PGPR (Plant growth promoting rhizobacteria)균으로 알려진 인산가용화균은 토양 중에서 chelate 물질로 작용하는

J. Mushrooms 2019 June, 17(2):64-69
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2019.17.2.64>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author
 E-mail : mhyoon@cnu.ac.kr
 Tel : +82-42-821-6731

Received May 28, 2019
 Revised June 18, 2019
 Accepted June 20, 2019

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.

succinic acid, glutamic acid 등의 유기산을 분비하여 토양 내 pH 저하 시킴으로서 고정화 인산의 용해도를 증가시키고, 이로 인해 인산과 결합된 Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} 이온 등을 해리시켜 토양 내 가용화 인산(soluble phosphorus) 함량을 증진시켜주며, 또한 Al^{3+} 의 독성도 줄여주고, 토양의 양분순화 및 작물의 양분흡수를 도와주는 매우 중요한 역할을 하는 미생물이다(Rodríguez and Fraga, 1999; Reyes et al, 2002; Mundra et al, 2011).

인산가용화균에 관한 연구는 *Pantoea agglomerans* (Khalimi et al, 2012), *Burkholderia cepacia* (Braz and Nahas, 2012), *Pseudomonas aeruginosa* (Ahuja et al, 2007) 등의 세균과, *Aspergillus awamori* (Walpolo et al, 2013) 및 *Penicillium rugulosum* (Reyes et al, 2002) 등의 곰팡이를 이용한 식물생장촉진효과 및 병원성 박테리아에 대한 항균효과에 대한 연구결과도 보고되었다. 또한 인산가용화 능력은 인산가용화균의 상호작용에 의하여 시너지 효과를 발생시키는 것으로 알려져, 인산가용화 세균과 세균 간의, 그리고 인산가용화 세균과 인산가용화 곰팡이 사이의 상호작용에 의한 길항작용 또는 시너지효과에 관한 연구결과도 보고되었다(Braz and Nahas 2012; Walpolo and Yoon, 2013; Sane and Mehta. 2015 ; Park et al, 2016).

인산가용화 능력을 가지는 PGPR 미생물을 이용한 미생물비료의 개발은 화학비료를 대체하여 화학비료의 연속적 사용에 의해 발생하는 여러 환경문제와 농업 생산성의 감소와 같은 문제를 해결할 수 있다. 따라서 복합미생물을 이용한 미생물비료를 개발하는 과정에서 미생물간의 상호작용에 의한 길항작용이나 시너지효과를 확인하고, 작물생육에 미치는 영향을 조사함으로써 더욱 효율적인 미생물비료 개발에 도움이 될 것이다. 본실험에서는 양송이버섯으로부터 분리한 인산가용화 세균인 *Paraburkholderia phenazinium* YH3 와 *Paraburkholderia metrosideri* YH4를 이용하여 배지 배양 및 포트 재배실험을 통해 두 균간의 인산가용화능에 관한 상호작용과 작물생장효과를 확인하기 위하여 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

인산가용화균의 분리

인산가용화 박테리아는 충청남도 부여군 석성면 양송이버섯재배농가의 양송이버섯으로부터 분리 하였다. 각 농가로부터 23개의 양송이버섯을 채취하여 배지 1 g을 0.85% NaCl 용액 99 mL이 담긴 플라스크에 넣어 30 분간 진탕한 후 진탕한 용액 1 mL을 0.85% NaCl 용액이 9 mL 담긴 플라스크에 넣어 희석한 후 희석용액을 같은 방법으로 한번 더 희석하여 희석액 100 μ L을 NBRIP배지에 도말하여 균주분리를 하였다. 도말한 배지는 40°C Incubator에 넣고 배양하였고 배지 내 투명한 부분이 형성된 Colony

를 다시 NBRIP 배지에 계대배양 하여 순수분리 하였다. 23 개의 시료 중 7 개의 시료에서 인산가용화 능력을 갖는 박테리아를 발견하였고 이 중에서 배지 내 투명환(Clear zone)을 형성하는 크기가 크고 빠르게 형성하는 *Paraburkholderia phenazinium* YH3, *Paraburkholderia metrosideri* YH4을 분리하여 실험에 사용하였다.

미생물 배양

전배양은 투명환을 형성하는 단일 Colony를 갖는 선발한 두 종의 박테리아를 각각 NB(Nutrient Broth)배지 25 mL이 담긴 100 mL Flask에 접종하여 30°C의 항온실에서 150rpm으로 48 시간 진탕배양 하였다. 전배양액을 NBRIP 액체배지 200 mL가 담긴 500 mL Erlenmeyer Flask에 각각 1 mL 접종하여 본배양 하였다. 그리고 두 종의 인산가용화 박테리아의 시너지효과를 확인하기 위하여 *P. phenazinium* YH3 와 *P. metrosideri* YH4을 배양한 전배양액을 각각 0.5 mL씩 합이 1 mL이 되도록 동시접종 하였고, 멸균한 NBRIP 액체배지를 대조군으로 설정하였다. 본배양한 액체배지는 30°C의 항온실에서 7 일간 150 rpm으로 진탕배양 하였다. 처리구는 control(무접종구), *P. phenazinium* YH3 접종구, *P. metrosideri* YH4 접종구 와 *P. phenazinium* YH3 와 *P. metrosideri* YH4의 동시접종구로 구분하여 3 회 반복 실험하였다.

가용화인의 함량분석

본배양한 배지는 1일, 3일, 5일, 7일차 간격으로 pH, 배지 내 잔류당, 가용화된 인의함량, 유기산 생성분석을 하였으며 배지 내 가용화된 인의 함량분석은 Phosphomolybdate blue color method(Park et al, 2016)를 참고하여 분석하였다. 배양액 1.5 mL을 1.5 mL Tube에 담은 후 Centrifuge를 이용하여 13000 rpm으로 3분간 원심분리 후 상등액을 50 mL Volumetric Flask에 100 μ L넣은 후 발색시약을 8 mL 넣어 증류수를 Volumetric Flask의 50 mL 표시선 까지 채운 후 10 분간 대기 하였다. 가용화된 인의 함량이 많을수록 Ammonium para-molybdate 발색시약과 반응하여 진한 푸른빛을 띄게 되며 10 분이 지난 후에 Spectrophotometer(GENESYS 10S UV-VIS. Thermo, USA)를 이용하여 660nm에서 흡광도를 측정하여 분석하였다.

배지의 pH 및 잔류당 분석

pH 는 배지가 오염되지 않도록 멸균된 pipet 으로 일정량 덜어 pH meter를 이용하여 측정하였다. 배지 내 잔류당 분석은 DNS(3,5-dinitrosalicylic acid)법을 이용하여 측정하였고 시험관(18mm Φ × 150mmH)에 시료 1 mL과 DNS시약 3 mL를 첨가 후 100°C의 물이 있는 수조에 15 분간 반응시킨 후 실온에서 냉각한 후 Spectrophotometer (GENESYS 10S UV-VIS. Thermo, USA)를 이용하여 550 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다.

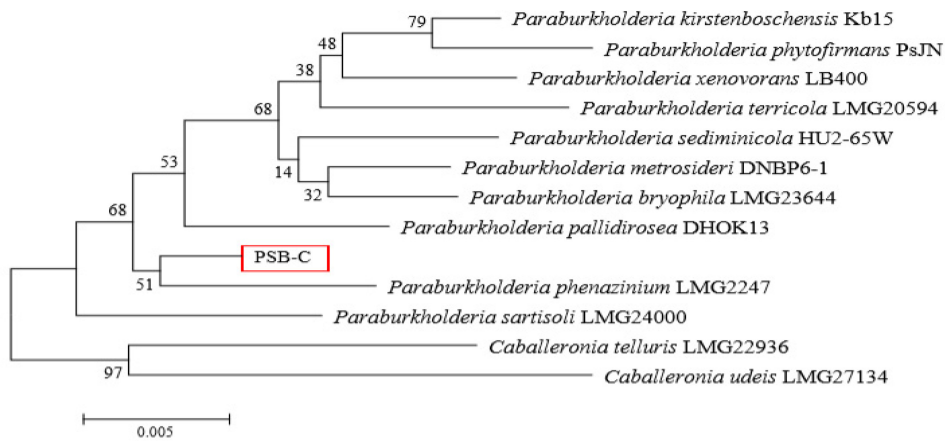


Fig. 1. Phylogenetic tree based on 16S rDNA gene sequences, showing the position of isolate phosphate solubilizing bacterial strains YH3 (PSB-C) with respect to related species. The scale bar indicates 0.005 substitutions per nucleotide position and accession numbers are given in parenthesis.

HPLC에 의한 유기산 분석

유기산 생성분석은 배지 내 존재하는 균이 생성한 유기산을 정성적, 정량적 분석하였으며 1260 series HPLC (Agilent Technologies, CA, USA)을 사용하여 분석하였다. 이동상 용매는 0.008M H₂SO₄를 100%로 사용하였고 칼럼은 Inertsil ODS-3V column (150 × 30 mm I.d. particle size 3 μm)을 사용하였으며 칼럼온도는 40°C, 검출과장 (Detection wavelength)은 210 nm로 설정하였고 시료는 자동주입으로 10 μL 주입하였으며 유속(flow rate)은 0.2 mL min⁻¹로 20 분간 분석하였다.

상추재배실험

두 종의 인산가용화 박테리아를 각각 접종하였을 때와 동시접종 하였을 때 식물생장에 미치는 효과를 비교하기 위하여 상추를 이용한 Pot실험을 하였다. 2017년 5월 5일부터 2017년 6월 2일까지 총 4주 동안 충남대학교 농업생명과학대학의 온실에서 재배하였으며 상추는 묘목 상태로 구입하여 사용하였고 화분에 상토를 담은 후 (NH₂)₂CO₃20mgKg⁻¹, KCl60mgKg⁻¹를 각 Pot마다 처리하였으며 인은 Ca₃(PO₄)₂를 350mg Kg⁻¹처리 하였으며 처리 조건은 접종하지 않은 Control, Control + TCP (Tri-Calcium phosphate) 처리구, *P. phenazinium* YH3 와 *P. phenazinium* YH3 + TCP 처리구, *P. metrosideri* YH4 와 *P. metrosideri* YH4 + TCP 처리구, 그리고 동시 접종구로 *P. phenazinium* YH3 + *P. metrosideri* YH4 와 *P. phenazinium* YH3 + *P. metrosideri* YH4 + TCP 접종구로 총 8 개의 처리구를 이용하여 실험하였다(n=3). 접종할 배양액은 25 mL NB배지에 배양한 액을 사용하였으며 1 주일 간격으로 각 포트당 1 mL씩 배양하였으며 물에 10배 희석하여 고르게 분배되도록 접종하였다. 매주마다 잎의 길이, 잎의 폭, 잎의 수, 뿌리길이, 전체길이를 측정하여 처리군마다 성장변화를 비교하였다.

결과 및 고찰

분리균의 동정

NBRIP배지에 희석평판법을 이용하여 순수분리한 선발 균주들 중 투명한 크기가 큰 두 균주 (PSB-C와 PSB-D)를 최종 선발하여 16S rRNA 유전자염기서열을 분석하여 NCBI Genbank System을 이용하여 염기서열을 확인하였다. 확인 결과 분리균 YH3(PSB-C)는 *Paraburkholderia phenazinium* LMG2247과 99.79%의 유사성을 보였고 (Fig. 1), YH4(PSB-D)는 *Paraburkholderia metrosideri* DNBP6-1과 99.79%의 유사성을 보였다(Fig. 2)

가용화 인의 함량

인산칼슘이 함유된 NBRIP 액체배지에 분리균을 단일 또는 동시접종하고 배양기간에 따른 배지내 가용화된 인의 함량을 측정하였다. 배양기간에 따라 가용화된 인의 함량은 단독 접종 배지와 동시 접종한 배지 모두 배양 3 일차에 가장 높았으며, 동시 접종한 배지는 3일차에 1250 μg mL⁻¹로 *P. phenazinium* 994.34 μg mL⁻¹와 *P. metrosideri* 1196.59 μg mL⁻¹ 보다 다소 높았다(Fig. 3). 결과적으로 단일 접종구보다 동시 접종구에서의 가용화효과가 증진되었으나 동시접종에 의한 큰 시너지 효과는 관찰되지 않았다.

배지 내 pH의 변화

인산가용화 균이 배양된 배지는 균의 생육이 증가함에 따라 인산가용화 균이 생성하는 유기산에 따라 pH변화가 나타나게 된다. 배양 기간 동안 각 배지의 pH 변화는 접종 1일차에 pH가 급격히 감소하는 경향을 보여 배양 3일차에 *P. phenazinium* 접종구는 pH 7.0에서 pH 4.07, *P. metrosideri* 는 pH 4.13, 그리고 동시접종구는 pH 4.01로 가장 낮았다(Fig. 4). 각 처리구간 유의수준의 차이는 없

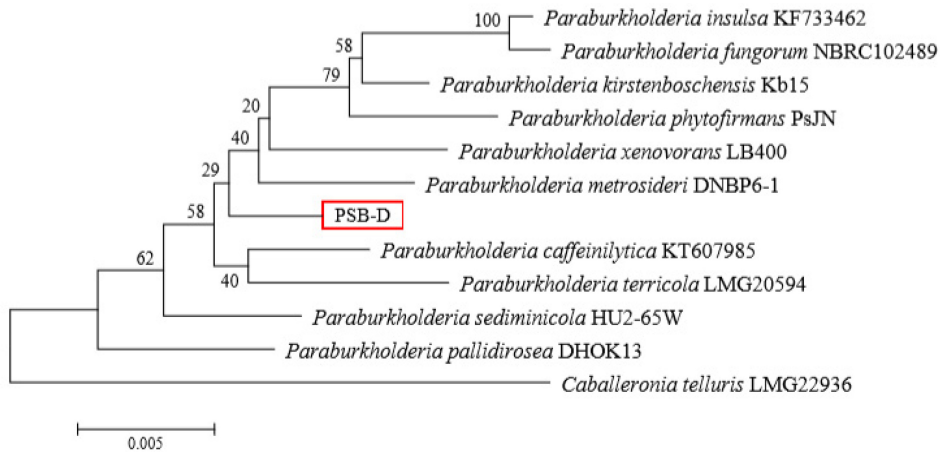


Fig. 2. Phylogenetic tree based on 16S rDNA gene sequences, showing the position of isolate phosphate solubilizing bacterial strains YH4 (PSB-D) with respect to related species. The scale bar indicates 0.005 substitutions per nucleotide position and accession numbers are given in parenthesis.

었으나 배양 7일차에 pH 4.98을 보인 양성대조구의 *Klebsiella oxytoca* 보다 유기산 생성량이 높음을 확인할 수 있었다.

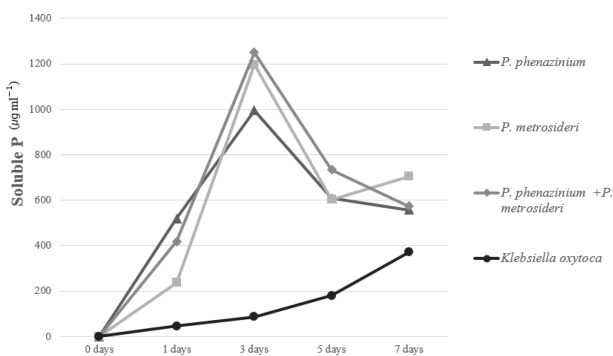


Fig. 3. Comparison of phosphate solubilization between single and co-inoculation of *P. phenazinium* and *P. metrosideri*. Values given here are the means of three replicates (n=3).

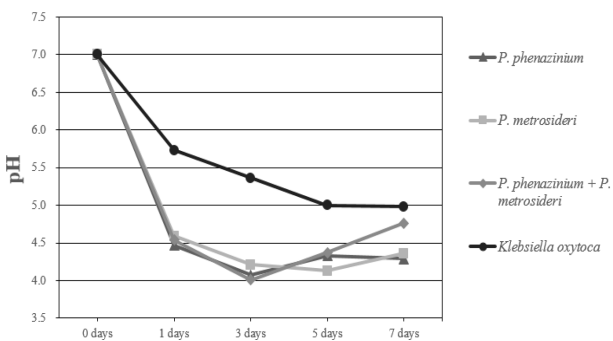


Fig. 4. Comparison of pH change during single and co-inoculation of *P. phenazinium* and *P. metrosideri*. Values given here are the means of three replicates (n=3).

배지 내 잔류당 변화

배지 내 남아있는 glucose 함량의 변화는 배양 1일 후 모든 처리구에서 50% 이상 크게 감소하였으나 그 이후 배양 7일 후까지 감소 폭의 변화가 2 mg mL⁻¹ 정도의 미미한 수준이었다. 결과적으로 배양 1일 후 접종 전 10 mg mL⁻¹에서 *P. phenazinium* 4.91 mg mL⁻¹, *P. metrosideri* 4.83 mg mL⁻¹, 그리고 동시 접종구는 4.59 mg mL⁻¹ 수준으로 감소하여 처리구간에는 큰 차이가 없었으나, 양성대조군인 *Klebsiella oxytoca* 9.19 mg mL⁻¹보다 glucose의 이용능이 현저히 높았다. 배양 7일 후 최종 감소율은 *P. phenazinium* 76.7%, *P. metrosideri* 84.2%, 동시 접종구 81.4%를 보였다(Fig. 5).

HPLC에 의한 유기산 분석

단일 접종 및 동시 접종에 의해 분리균에 의해 생성되는 유기산의 종류 및 함량을 분석하기 위하여 HPLC 분석에 의하여 8종의 표준유기산 glutamic acid, gluconic acid, etc.

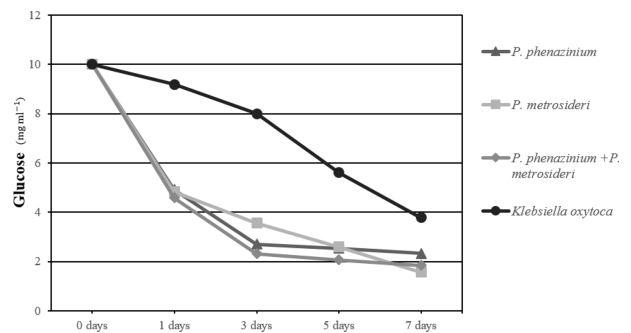


Fig. 5. Comparison of residual glucose in the medium between single and co-inoculation of *P. phenazinium* and *P. metrosideri*. Values given here are the means of three replicates (n=3).

Table 1. HPLC analysis of organic acid by single and co-inoculation of (*Paraburkholderia phenazinium* and *Paraburkholderia metrosideri*) Values given here are the means of three replicates (n=3). ND = Not detected.

	Gluconic acid (mg mL ⁻¹)				Acetic acid (mg mL ⁻¹)			
	Day 1	Day 3	Day 5	Day 7	Day 1	Day 3	Day 5	Day 7
<i>P. phenazinium</i>	0.40 ^a (±0.57)	12.63 (±0.13)	12.71 (±0.23)	11.35 (±2.52)	ND	0.05 ^b (±0.04)	0.05 (±0.01)	0.02 ^b (±0.02)
<i>P. metrosideri</i>	0.21 (±0.04)	0.08 ^b (±0.10)	2.80 (±1.24)	7.41 (±1.18)	ND	ND	0.01 ^a	0.15 ^b (±0.12)
<i>P. phenazinium</i> + <i>P. metrosideri</i>	1.67 (±0.04)	10.52 (±0.34)	11.05 (±0.35)	9.92 (±6.75)	ND	0.07	0.05 (±0.01)	0.05 (±0.02)
	Malic acid (mg mL ⁻¹)				Lactic acid (mg mL ⁻¹)			
	Day 1	Day 3	Day 5	Day 7	Day 1	Day 3	Day 5	Day 7
<i>P. phenazinium</i>	0.74 (±1.00)	ND	1.97 (±1.17)	1.65 (±1.12)	ND	0.14 (±0.01)	0.20 (±0.08)	0.17 ^b (±0.11)
<i>P. metrosideri</i>	ND	0.78 ^b (±1.09)	1.48 (±0.86)	0.82 (±0.64)	ND	0.02 ^b (±0.01)	0.10 (±0.03)	0.09 (±0.05)
<i>P. phenazinium</i> + <i>P. metrosideri</i>	1.17 (±0.67)	3.43 (±0.51)	3.35 (±0.46)	3.20 (±0.42)	ND	0.14 (±0.02)	0.13 (±0.01)	0.19 (±0.02)

^an=1 Even 3 repetitions were analysed, detected in only sample.

^bn=2 Even 3 repetitions were analysed, detected in only sample.

Table 2. Comparison on growth of romaine lettuce after 4 weeks inoculation with *Paraburkholderia phenazinium* and *Paraburkholderia metrosideri*. Values given here are the means of three replicates (n=3).

Treatment	Shoot length (Cm Plant ⁻¹)	Root length (Cm Plant ⁻¹)	Width of leaf (Cm)
Control	19.65±1.38	18.50±2.27	9.62±0.70
Control + TCP	19.88±1.31	18.73±0.61	9.96±0.83
<i>P. phenazinium</i>	20.06±3.30	19.50±1.87	10.32±0.38
<i>P. phenazinium</i> + TCP	22.54±1.19	23.43±2.36	10.07±0.48
<i>P. metrosideri</i>	22.43±1.33	19.67±0.94	9.53±0.37
<i>P. metrosideri</i> + TCP	23.53±0.71	22.73±2.05	10.79±0.59
<i>P. phenazinium</i> + <i>P. metrosideri</i>	20.83±1.52	22.80±3.75	9.19±0.81
<i>P. phenazinium</i> + <i>P. metrosideri</i> + TCP	23.18±1.13	24.07±2.89	10.34±0.52
<i>Klebsiella oxytoca</i>	21.35±0.49	20.67±1.89	10.08±0.68
<i>Klebsiella oxytoca</i> + TCP	20.68±0.97	18.30±0.50	10.03±0.78

acid, oxalic acid, malic acid, lactic acid, citric acid 및 succinic acid의 RT 및 함량을 결정하였다. 배양여액 중에 생성된 기산분석결과 gluconic acid, glutamic acid,, acetic acid , malic acid 및 lactic acid가 검출되었으나, succinic acid, oxalic acid 와 citric acid는 검출되지 않았다. 모든 접종구에서 gluconic acid 와 malic acid의 농도가 높았고, glutamic acid,, acetic acid 및 lactic acid 는 아주 낮은 수준이었다. 특히 gluconic acid 는 가장 높아 배양 5 일차에서 *P. phenazinium* 와 동시 접종구에서 10-12 mg mL⁻¹ 수준으로 가장 높게 검출되었다 (Table 1).

상추생육효과

상추 포트 재배실험을 통한 생육효과를 조사하기 위하여 접종 4주 후의 상추의 생육 차이를 조사하였다. 조사 항목은 처리구 별 잎의 길이, 잎의 폭, 잎의 수 및 뿌리길이의 변화를 조사하였다 (Table 2).

모든 조사항목에서 단일접종구 와 동시 접종구 모두 TCP(인산칼슘)를 첨가 시 생육효과가 향상되었으며, 특히 *P. metrosideri* + TCP 처리구의 잎의 너비와 잎 길이가 10.79 cm 와 23.53 cm 로 가장 높은 값을 나타냈다 (Table 2). 결과적으로 TCP를 첨가하지 않은 *P. phenazinium* 접종구, *P. metrosideri* 접종구 와 동시 접종구에 비해 TCA 첨가한 모든 처리구에서 10-20% 수준의 생육증진효과가 확인되

었다. 그러나 배지를 이용한 실험과는 달리 동시접종에 의한 상추의 생육의 시너지 효과는 나타나지 않았다.

적 요

양송이배지로부터 분리한 인산가용화균 *Paraburkholderia phenazinium* YH3와 *Paraburkholderia metrosideri* YH4의 단일접종 및 동시접종에 따른 인산가용화 능력의 시너지 효과 및 상추생육효과를 조사하였다. 인산감습이 함유된 NBRIP 액체배지에 분리균을 접종하고 해리된 가용인산(soluble phosphorus)함량을 HPLC에 의해 분석하여 인산가용화능을 측정된 결과, 배양 3일차에 동시접종구 1250 µg mL⁻¹, *P. metrosideri* 1196.59 µg mL⁻¹, *P. phenazinium* 994.34 µg mL⁻¹의 순으로 나타나 두 종의 인산가용화 박테리아간의 동시접종에 의한 시너지효과가 관찰되었다. 배지 내 pH와 잔류 glucose 함량 변화도 모든 접종구에서 배양 1일 후 대부분의 변화가 이루어져 pH의 경우 초기 pH 7.0에서 pH 4.0 수준으로 감소하였으며, 잔류 glucose 함량은 초기 10 mg mL⁻¹에서 4.8 mg mL⁻¹ 수준으로 검출되어 인산가용화능과 거의 유사한 경향을 보였다. 배양여액의 유기산 분석결과 gluconic acid 약 11 mg mL⁻¹와 malic acid 약 4 mg mL⁻¹ 수준으로 가장 높게 검출되었으며, Park *et al*(2016)에 의해 보고된 oxalic acid는 검출되지 않았다. 대부분의 유기산이 배양 1일과 3일 후 생성되는 결과를 보임으로서 유기산이 배지의 pH를 감소시키고 인산가용화를 유도하는 주요 원인을 확인할 수 있었다. 접종 4주 후 상추 생육차이를 조사한 결과, TCP를 첨가하지 않은 *P. phenazinium* 접종구, *P. metrosideri* 접종구와 동시접종구에 비해 TCA 첨가한 모든 처리구에서 10-20% 수준의 생육증진효과가 확인되었으나 단일접종과 동시접종구간에 유의수준의 차이를 확인할 수 없었다. 결과적으로 인(P) 결핍 토양 및 염류토양에 인산가용화균을 사용하면 식물과 작물 수확량에 의한 P 섭취가 동시에 증가하고 생육이 촉진된다는 다른 연구결과(Rodríguez *et al*, 1999; Suh *et al*, 2008; Walpola and Yoon, 2013)와 유사한 경향을 보였다.

REFERENCES

Ahuja A, Ghosh SB, D'Souza SE. 2007. Isolation of starch utilizing, phosphate solubilization fungus medium and its

- characterization. *Bioresour Technol* 98:3408-3411.
- Bras RR and Nahas E. 2012. Synergistic action of both *Aspergillus niger* and *Burkholderia cepacea* in co-culture increases phosphate solubilization in growth medium. *FEMS Microbiol Lett* 332:84-90.
- Egamberdieva D, Shrivastava S, Varma A. 2015. Plant-growth promoting rhizobacteria (PGPR) and medicinal plants. *Soil Biology* pp 3-4
- EI-Yazeid, AA and Abou-Aly HE. 2011. Enhancing growth, productivity and quality of tomato plants using phosphate solubilizing microorganisms. *Australian J Basic Appl Sci* 5: 371-379.
- Khalimi K, Suprpta DN, Nitta Y. 2012. Effect of *Pantoea agglomerans* on growth promotion and yield of rice. *Agri Res J* 2:240-249.
- Lee KK, Mok IK, Yoon MH, Kim HJ, Chung DY. 2012. Mechanisms of Phosphate Solubilization by PSB (Phosphate-solubilizing Bacteria) in Soil. *Korean J Soil Sci Fert* 45:169-176
- Mundra S, Arora R, Stobdan T. 2011. Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a novel temperature, pH, and salt tolerant yeast, *Rhodotorula* sp. PS4, isolated from seabuckthorn rhizosphere, growing in cold desert of Ladakh, India. *World J Microbiol Technol* 27:2387-2396.
- Park JH, Lee HH, Han CH, Yoo JA, Yoon MH. 2016. Synergistic effect of co-inoculation with phosphate solubilizing bacteria. *Korean J Soil Sci Fert* 43:401-414
- Qureshi MA, Shakir MA, Iqbal A, Akhtar N, Khan K. 2011. Co-inoculation of phosphate solubilizing bacteria and rhizobia for improving growth and yield of mung bean (*Vigna radiata* L.). *J Animal Plant Sci* 21:491-497.
- Reyes I, Bernier L, Antoun H. 2002. Rock phosphate solubilization and colonization of maize rhizosphere by wild and genetically modified strains of *Penicillium rugulosum*. *Microbial Ecology* 44:39-48.
- Rodríguez H and Fraga R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol Adv* 17: 319-339.
- Sane SA and Mehta SK. 2015 Isolation and evaluation of rock phosphate solubilizing fungi as potential biofertilizer. *J Ferti Pestil* 6:2. DOI: 10.4172/2471-2728.1000156
- Suh JS and Kwon JS. 2008. Characterization of phosphate-solubilizing microorganisms in upland and plastic film house soils. *Korean J Soil Sci Fert* 41:348-353
- Walpola BC and Yoon MH. 2013. Phosphate solubilizing bacteria: Isolation and assess their effect on growth promotion and phosphorous uptake of green gram plants (*Vigna radiata* [L.] R. Wilczek). *Chillenean J Agri Res* 73: 275-281
- Walpola BC, Jang HJ, Yoon MH. 2013. Synergistic phosphate solubilization by *Burkholderia anthina* and *Aspergillus awamori*. *Korean J Soil Sci Fert* 46:117-121