

인산가용화 사상균 *Penicillium* sp. PS-113의 고체배양

강선철* · 최명철

대구대학교 공과대학 생물공학과

Solid Culture of Phosphate-solubilizing Fungus, *Penicillium* sp. PS-113. Kang, Sun-Chul* and Myoung-Chul Choi. Department of Biotechnology, College of Engineering, Taegu University, Kyungsan, Kyungbook 712-714, Korea - A fungus, *Penicillium* sp. PS-113, isolated from soil showed the high phosphate-solubilizing activity in potato dextrose broth-rock phosphate to produce free phosphates to the culture broth with the concentrations of 585 ppm against rock phosphate. In this medium, the optimum temperature and initial pH to solubilize rock phosphate were 30°C and pH 7.5, respectively. In order to make the mass production of the conidia from this fungus, we cultured it on various solid-based media like barley, corn, wheat, rice, rice bran, and compost. As a result, the fungus highly produced conidia ranging from 2.1 to 5.1×10^9 conidia/g · media on these solid media except compost-based medium, which was 10 times less than others. Effects of inoculation of the phosphate-solubilizing fungus as a biofertilizer were studied in perlite-based pot cropped with *Zea mays* Suwon 19. Inoculation of *Penicillium* sp. PS-113 increased in plant height (1.4 times), plant weight (5.2~8.1 times) and root length (1.1~1.2 times) at 60-day cultivation, compared to Hogland solution either without $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ or displaced $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ to powdered rock phosphate, a phosphorus source for plant growth.

Key words: solid culture, phosphate-solubilizing fungus, *Penicillium* sp. PS-113

인은 식물체에서 핵산, 인지질, phytates 등의 중요 구성성분이며, 식물성장에 필요한 에너지 대사에서도 중요한 역할을 하는 원소이다. 식물에 충분한 양의 인을 공급하기 위해서 인산염 형태의 비료를 공급하고 있다. 그러나 토양에 처리된 인산비료 중에서 실제 식물이 이용하는 인산의 양은 극히 적으며 대부분은 화학적, 생물학적 반응을 거쳐 비료성분의 불용화나 유실현상이 일어나게 된다. 특히 인산은 산성토양에서는 철 및 알루미늄 이온과 그리고 알칼리성 토양에서는 칼슘이온과 쉽게 결합하여 불용화됨으로서 토양중에는 식물이 이용할 수 있는 유리인산(free phosphate)의 양은 거의 없게 되고 식물이 이용할 수 없는 불용성 인산의 양만 증가되는 결과를 가져다 준다[13]. 따라서 인자원의 재활용이란 측면에서 불용성 인산을 가용화시킬 수 있는 토양미생물의 탐색과 실용화는 비료 성분의 이용효율성을 제고시킬 수 있는 하나의 방법이 된다.

인산가용화균을 이용한 환경친화형 생물비료(biofertilizers)의 개발노력은 부단히 이루어져 왔다. 이미 1950년대에 러시아와 동유럽에서 불용성 인산을 가용화시킬 수 있는 미생물(phosphobacteria)을 분리하여 토양에 처리한 결과 작물의 인산흡수를 증대시킬 수 있었으

며, 평균 10%의 수량증가를 보았다[6]. 1980년대에는 *Penicillium bilaji* 등의 사상균이 인산의 흡수를 증대시키는 것으로 밝혀졌다[12]. 최근에는 토양에 천연 인광석을 시비하거나 *Bacillus megaterium*[6], *B. polymyxa*[16], *Pseudomonas striata*[1, 16], *Pseudomonas* sp. (PI18/89)[8], *Penicillium simplicissimum*[14], *P. aurantiogriseum*[9], *P. bilaji*[12], *Aspergillus awamori*[1, 18], *A. aculeatus*[19], *A. niger*[14] 등의 인산가용화균을 biofertilizers로 사용했을 때 cereals, legumes, potatoes, 기타 작물들의 생산량이 증대하는 것으로 보고되고 있다[6].

미생물을 이용한 biofertilizers의 개발은 인도 등에서는 일부 실용화되어 사용되고 있지만 국내에서는 균주선발 및 배양특성 조사, 발효공정 개발, 포장시험 등에 관한 폭넓은 연구의 부족으로 아직 실험실 수준의 초보적인 단계에 머무르고 있다[11, 15, 17]. 2,000년대에는 환경보전을 위한 갖가지 규제강화로 화학비료에 대한 제약이 심화될 것으로 판단되기 때문에 난용성 인산염을 효율적으로 분해하여 작물이 필요로 하는 인산질비료성분을 충분히 공급해줄 수 있는 biofertilizers의 개발은 시급히 해결해야 할 과제가 될 것이다.

따라서 본 연구에서는 난용성 인산염을 가용화시킬 수 있는 토양미생물을 biofertilizers로 개발하기 위한 기초 연구로서 본 연구실에서 수년간에 걸쳐 인산가용화능이 우수한 균주를 탐색하여 최종적으로 선발한 *Penicillium*

*Corresponding author

Tel. 82-53-850-6553, Fax. 82-53-850-6509
E-mail: sckang@biho.taegu.ac.kr

sp. PS-113 균주[10]를 공시균주로 이용하여 이 균주의 인광석 분해능이 최대가 되는 최적배양환경(배양온도, 초기 pH)을 결정하고 아울러 이 균주의 포자를 대량생산하기 위하여 쌀겨, 보리, 옥수수 등의 값싼 원료를 이용한 고체배지를 제조하여 각 배지에 대한 공시균주의 포자(conidia) 생성능을 결정하였다. 또한 생산된 포자를 pot에서 옥수수 재배에 시비했을 때 미생물이 식물성장에 미치는 효과 등을 검정하여 그 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

균주배양 및 실험재료

공시균주는 본 연구실에서 인산가용화능이 우수한 균주를 탐색하여 토양으로부터 선발 및 동정한 *Penicillium* sp. PS-113 균주를 사용하였다[10]. 이 균주는 PDA (potato dextrose agar; potatoes infusion 200 g, dextrose 20 g, agar 17 g, 증류수 1 liter)배지에서 배양하여 유지하였으며, 인산가용화능을 측정할 경우에는 PDA에서 agar를 제외한 PDB(potato dextrose broth)배지 5 ml에 인광석을 0.5%(w/v) 첨가한 후 30°C에서 3~7일 동안 200 rpm으로 진탕배양하면서 매일 배양상등액 내의 유리인산의 농도를 조사하였다. 이때 사용한 인광석은 중국산으로서 (주)경기화학으로부터 공급받아 사용하였다[4].

유리인산의 농도측정

균체배양액 1.5 mL을 취하여 Eppendorf tube에 담은 후 microfuge로 15,000 rpm에서 5분간 원심분리하였다. 원심분리 후 상등액 1.0 mL을 취하여 증류수 4 mL을 첨가하여 총 5 mL이 되게 하였다. 여기에 폴리브덴산 암모늄용액 0.2 mL과 염화제일주석용액 0.025 mL을 가하여 잘 섞은 후 30°C에서 10분간 방치한 다음 690 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 실험에 사용한 용액은 다음과 같은 방법으로 제조하였다[15]. 폴리브덴산 암모늄용액: 폴리브덴산 암모늄(4수화물) 25 g을 증류수 175 mL에 녹인 다음 황산 280 mL을 증류수 약 400 mL에 천천히 넣고 방냉하면서 혼합한 다음 최종적으로 1,000 mL이 되도록 한다. 염화제일주석용액: 염화제일주석(2수화물) 2.5 g을 글리세린 100 mL에 넣어 수용액상에서 유리봉으로 섞으면서 빨리 녹인다.

배양환경조사

인산가용화균 *Penicillium* sp. PS-113 균주의 인광석 분해능이 최대가 되는 배양온도를 결정하기 위하여 PDB배지에 인광석을 0.5%(w/v)로 첨가하여 제조한 액체배지(pH 7.5)를 100 mL 삼각플라스크에 20 mL씩 분주하고 여기에 PDB 배지에서 5일 동안 진탕배양한 균체배양액 1 mL을 접종하여 각각 25, 30, 37°C의 배양온도

에서 200 rpm으로 8일 동안 진탕배양하면서 하루간격으로 이 균주에 의한 유리인산 생성능을 측정하였다.

또한 분리균주의 인광석 분해능이 최대가 되는 배양 초기 pH를 결정하기 위하여 PDB 배지에서 5일 동안 진탕배양한 균체배양액 1 mL을 위와 동일한 배지에 접종한 후 다양한 초기 pH(6.0, 6.5, 7.0, 7.5)에서 30°C, 200 rpm의 조건으로 8일 동안 진탕배양하면서 매일 유리인산의 농도를 측정하였다. 이상의 배양환경에 관한 모든 실험은 3회 반복 수행하여 평균값을 구함으로써 실험오차를 최소화하였다.

고체배양 및 포지수 측정

인산가용화 사상균 *Penicillium* sp. PS-113 균주의 포자(conidia)를 대량생산하기 위하여 보리, 옥수수, 쌀, 쌀겨, 밀, 퇴비와 같은 값싼 고체배지를 이용하여 각 배지에 대한 배양시간별 포자생성능을 조사하였다. 배지 원재료의 전처리 과정으로서 쌀은 마쇄하지 않고 고두밥을 만들어 사용하였으며, 다른 고체배지는 곡물마쇄기로 1회 분쇄하여 1 mm 규격의 체로 쳐서 미세분말을 제거한 후 사용하였다. 이렇게 준비한 배지용 원재료를 각각 5 g씩 정량한 후 50 mL의 conical tube에 넣고 121°C에서 30분간 멸균하여 배지를 제조하였다. 이때 배지의 수분함량은 배지를 멸균한 후 멸균수를 첨가하여 최종적으로 40, 50, 60%로 각각 조절하였다. 이상에서 준비한 고체배지에 공시균주의 포자를 1.0×10^3 /g 농도로 접종한 후 내용물을 고루 혼합시켰다. 그리고 배양용기의 뚜껑을 닫고 25°C에서 20일간 항온배양 하면서 5일 간격으로 배양배지를 0.5 g씩 들어내어 멸균수로 적정한 농도로 희석하여 PDA 평판배지에 도말하였다. 이때 인산가용화균의 포자가 도말된 배지를 25°C에서 2-3일간 배양한 후 생성되는 colony 수를 측정하여 배지내의 생존포자수를 결정하였다.

인산가용화균의 시비효과에 대한 pot 시험

인산가용화균의 생물비료로서의 작물생육에 대한 생육증진 효과를 pot에서 검정하기 위하여 옥수수(*Zea mays* Suwon 19) 재배시험을 실시하였다. 실험방법은 옥수수를 양토에서 발아시킨 후 약 250 g의 perlite(삼순; 국산)를 채운 pot(Φ30×30 cm)에 옮겨 심은 후 다양한 영양조건 하에서 growth chamber를 이용하여 60일간 배양하면서 5일 간격으로 성장한 식물의 높이 및 최종 수확 후의 식물의 무게와 뿌리길이를 측정하여 생물비료를 시비하지 않은 무처리구와 비교하였다. 이때 대조구로 사용한 양액재배용 Hogland 용액의 영양조성은 KNO_3 101.1 g/L, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 236.15 g/L, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 115.08 g/L, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 246.49 g/L, KCl 3.728 g/L, H_3BO_3 1.546 g/L, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.338 g/L, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.575 g/L, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.125 g/L, H_2MoO_4

0.081 g/L, FeEDTA 6.922 g/L로 되어있다. 그리고 공시균주의 접종은 냉장 보관중인 4.3×10^6 conidia/mL 농도의 포자원액 1 mL을 취하여 멸균증류수로 200배 희석한 후 이것을 perlite 250 g과 충분히 섞은 후 pot에 옮겨 담은 과정으로 실험을 수행하였다. 이상의 작물시비 효과에 대한 모든 실험은 3회 반복 수행하여 평균값을 구함으로써 통계상의 오류를 최소화하였다.

결과 및 고찰

공시균주의 최적배양환경

배양온도(25, 30, 37℃)에 따른 *Penicillium* sp. PS-113 균주의 인광석 분해능에 대한 정량적 분석 결과는 Fig. 1과 같다. 이 균주는 30℃에서 배양했을 때 배양 8일경에 최대 585 ppm의 유리인산을 생성하였으며, 25℃에서는 420 ppm, 37℃에서는 205 ppm 등의 순서로 유리인산을 생성하였다. 이것은 30℃에서 배양했을 때 37℃에 비해 약 3배 정도 유리인산 생성능이 높음을 나타낸다. 이와 같은 인광석 분해능은 최근 서 등이 보고한 [15] *Penicillium* sp. 균주의 인광석 분해능이 최적조건인 28℃에서 배양했을 때 질소원의 종류에 따라 47~80 ppm의 수준인 점과 비교했을 때 월등히 높은 결과였다. 또한 *Aspergillus niger*와 *Pseudomonas putida*의 경우와 비교했을 때도 이들의 인산가용화능이 질소원의 종류에 따라 각각 42~398 ppm 및 13~22 ppm 범위인 것과 비교해서도 월등히 높은 결과였다. 지금까지 알려진 유리인산 생성 기작은 황화수소 생성, 황 및 암모니아 산화에

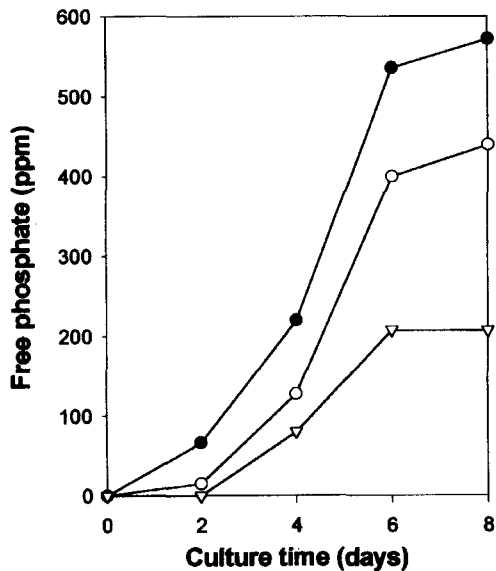


Fig. 1. Changes of free phosphate concentrations during the cultivation of *Penicillium* sp. PS-113 at various temperatures with time courses. ○-○; 25℃, ●-●; 30℃, ▽-▽; 37℃.

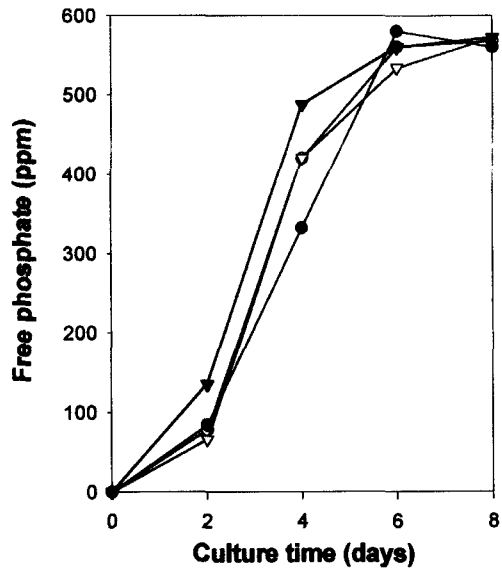


Fig. 2. Changes of free phosphate concentrations during the cultivation of *Penicillium* sp. PS-113 at various initial pHs with time courses. ▼-▼; pH 6.0, ○-○; pH 6.5, ▽-▽; pH 7.0, ●-●; pH 7.5.

의한 황산과 질산 생성, 2-ketogluconate 등의 킬레이트 물질의 생성, 유기산 생성 등이다[3, 5]. 본 균주가 어떤 기작으로 유리인산을 생성하는지 정확히 알기 위해서는 배양액의 성분분석이 필요할 것이다.

배양 초기 pH에 따른 *Penicillium* sp. PS-113 균주의 인광석 분해능에 대한 정량적 분석 결과는 Fig. 2와 같다. 이 균주는 배양 초기 pH가 7.5일 때 배양 6일경에 최대 590 ppm의 유리인산을 방출하였으며, pH 6.0~7.0 범위에서는 배양 8일경에 580 ppm의 거의 유사한 수준

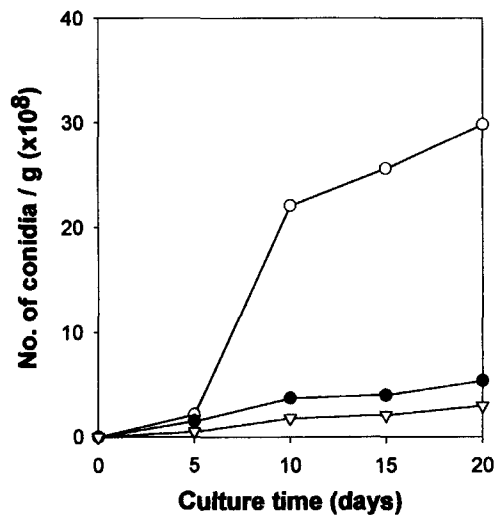


Fig. 3. Conidial numbers of *Penicillium* sp. PS-113 culturing on rice-cooked solid media at various humidities. Symbols denote ○-○; 40% humidity, ●-●; 50% humidity and ▽-▽; 60% humidity.

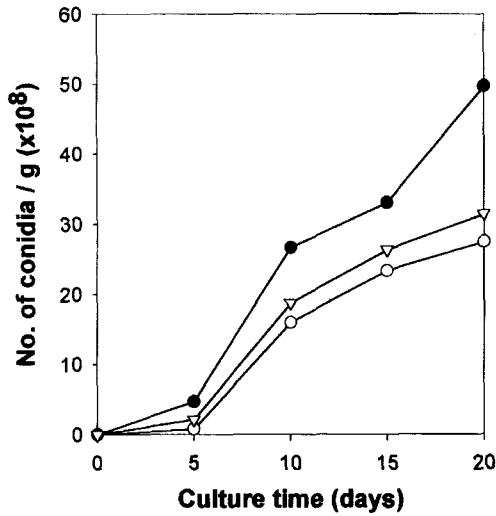


Fig. 4. Conidial numbers of *Penicillium* sp. PS-113 culturing on barley-based solid media at various humidities. Symbols denote ○—○; 40% humidity, ●—●; 50% humidity and ▽—▽; 60% humidity.

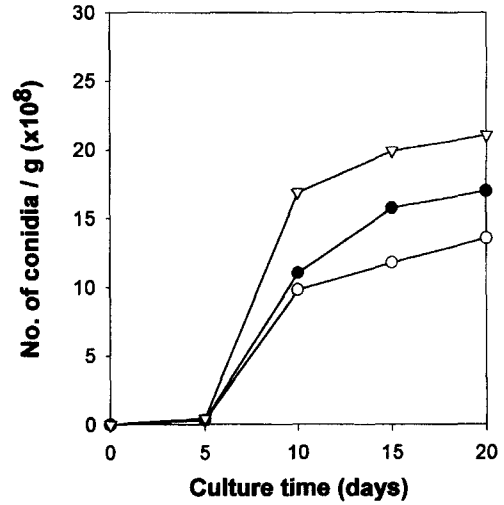


Fig. 6. Conidial numbers of *Penicillium* sp. PS-113 culturing on corn-based solid media at various humidities. Symbols denote ○—○; 40% humidity, ●—●; 50% humidity and ▽—▽; 60% humidity.

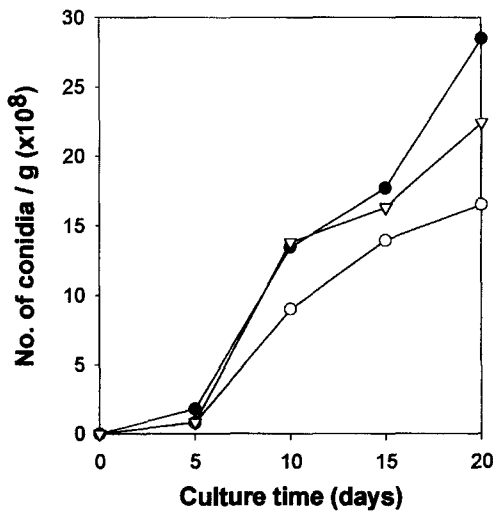


Fig. 5. Conidial numbers of *Penicillium* sp. PS-113 culturing on wheat-based solid media at various humidities. Symbols denote ○—○; 40% humidity, ●—●; 50% humidity and ▽—▽; 60% humidity.

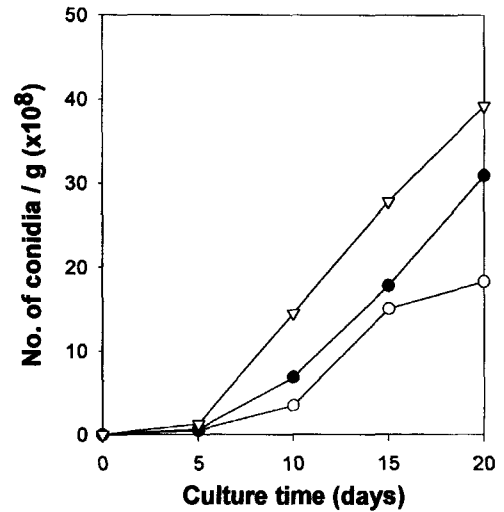


Fig. 7. Conidial numbers of *Penicillium* sp. PS-113 culturing on rice bran solid media at various humidities. Symbols denote ○—○; 40% humidity, ●—●; 50% humidity and ▽—▽; 60% humidity.

의 유리인산을 방출하였다. 이상의 결과로부터 이 균주는 pH 6.0~7.5 범위의 중성 pH에서 유리인산 생성능이 높게 나타남을 알 수 있다.

배양환경에 대한 이상의 연구결과로부터 이 균주는 인산질비료로서 상업적 이용 가능성이 높은 인광석에 대해서 높은 분해능을 보임을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이 균주를 biofertilizers로 실용화하기 위해서 포자형성능이 높은 공업용 배지의 개발 및 pot시험을 통한 이 균주의 작물생육에 미치는 영향 등에 관한 폭넓은 연구를 순차적으로 수행하였다.

인산가용화균의 고체배양

Penicillium sp. PS-113 균주를 쌀(Fig. 3), 보리(Fig. 4), 밀(Fig. 5), 옥수수(Fig. 6), 쌀겨(Fig. 7), 퇴비(Fig. 8)를 원재료로한 고체배지에 수분함량을 각각 40, 50, 60%로 조절하여 20일간 배양하면서 5일 간격으로 포자형성능을 검토한 결과 대체적으로 5~10일 범위에서 포자형성율이 가장 높았으나, 그 이후로도 20일까지는 완만하게 포자수가 증가함을 알 수 있었다. 쌀을 원재료로한 고두밥 배지에서는 40%의 수분함량에서 배양 20일에 3.0×10^9 conidia/g으로 포자수가 가장 높았으며, 50과 60%의 수분함량에서는 배양 5일째까지는 40%와 포자수

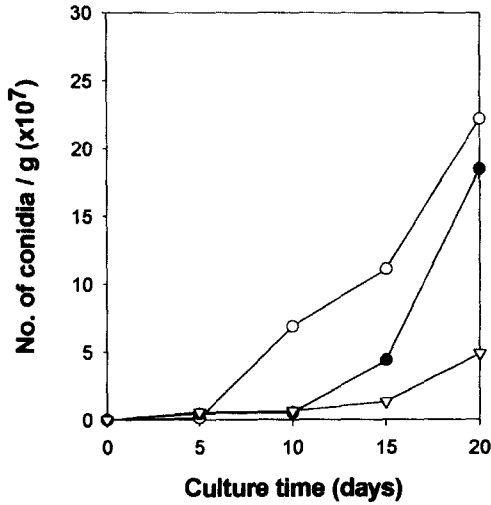


Fig. 8. Conidial numbers of *Penicillium* sp. PS-113 culturing on compost-based solid media at various humidities. Symbols denote ○ ○; 40% humidity, ● ●; 50% humidity and ▽ ▽; 60% humidity.

가 비슷하였지만 그 이후에는 성장이 미미하여 배양 20일에는 40%의 수분함량에 비해 1/6 이하의 포자수를 보였다. 보리의 경우에는 50%의 수분함량에서 배양 20일에 5.1×10^9 conidia/g으로 가장 높은 포자수를 보였으며, 40과 60%에서도 50%에 비해 약 1/2 정도의 대체로 높은 포자수를 나타내었다. 밀의 경우에도 50%의 수분함량에서 포자수가 2.8×10^9 conidia/g으로 최대를 보였으며, 40과 60%에서도 대체로 높은 수준의 포자형성을 보였다. 그러나 옥수수의 경우에는 60%의 수분함량에서 2.1×10^9 conidia/g으로 최대의 포자를 생성하였으며, 40과 50%에서도 이와 비슷한 수준의 포자생성을 보였다. 또한 쌀겨의 경우에도 옥수수와 마찬가지로 60%의 수분함량에서 4.0×10^9 conidia/g으로 최대의 포자수를 보였으며, 50%에서도 대체로 유사한 포자형성 경향을 보였다. 그러나 40%에서는 배양 15일까지는 비슷한 포자형성 경향을 보였으나 이후로는 포자생성량이 거의 증가하지 않고 평형을 유지하였다. 마지막으로 퇴비의 경우에는 포자수가 다른 배지에 비해 10배 이하의 수준으로 낮은 값을 보였으며, 이것은 퇴비속의 영양성분이 퇴비속과정에서 퇴비화 미생물에 의하여 대부분 이용되고 분해되기 어려운 영양성분만이 남아 있어서 인산가용화균의 포자생성이 상대적으로 낮아진 것으로 생각된다[7].

인산가용화균의 옥수수에 대한 시비효과

Penicillium sp. PS-113 균주를 생물비료로서 옥수수 (*Zea mays* Suwon 19) 재배에 시용한 결과 재배 후 60일 간의 옥수수 키는 Fig. 9에서 보여주는 바와 같이 양액 재배용 Hogland 용액에서 인산염($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)을 제외한 경우 및 인산염을 인광석으로 대체한 경우보다 30% 이

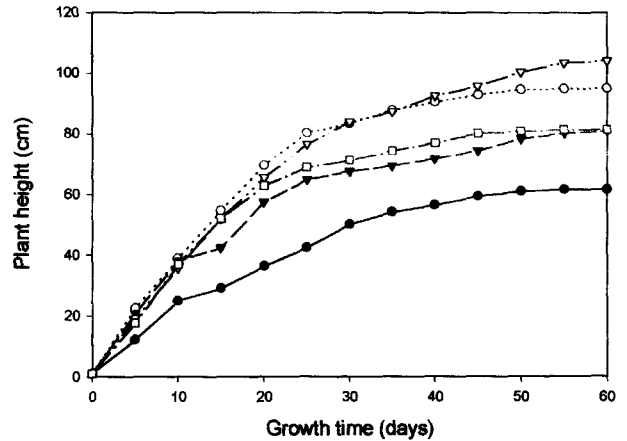


Fig. 9. Time-dependent height of corn (*Zea mays* Suwon 19) influenced by different nutrients with or without phosphate-solubilizing fungus as a microbial fertilizer. All data were means of three replicate.

Symbols denote nutrients treated as followings: ● ●, distilled water; □ □, Hogland solution without $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; ○ ○, Hogland solution; ▼ ▼, Hogland solution displaced $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ to rock phosphate as a phosphorus source; ▽ ▽, Hogland solution displaced $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ to rock phosphate as a phosphorus source and inoculated with *Penicillium* sp. PS-113.

상 더 성장하는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 Hogland 용액중의 인산염을 인광석으로 대체하고 인산가용화균을 접종했을 때가 Hogland 용액으로 재배한 경우보다 오히려 옥수수의 성장이 나은 것으로 나타났다(Fig. 9). 이것은 인산가용화균이 인광석을 분해하면서 식물이 필요로 하는 인산비료 외에 기타 미량성분까지 효과적으로 공급해 주기 때문에 식물성장이 더욱 증가하는 것으로 보이며, 이때 식물도 뿌리를 통하여 미생물의 성장에 필요한 비타민 혹은 영양성분을 공급하여 식물과 미생물간에 상리공생적 관계가 형성될 것으로 생각된다[2]. 그러나 이에 대한 정확한 기작을 이해하기 위해서는 옥수수와 공시균주간의 보다 정밀한 생태적, 영양화학적 분석 결과가 필요할 것이다.

한편 Hogland 용액에 인산염 대신 인광석을 넣고 인산가용화균을 접종하여 60일간 재배한 옥수수의 무게를 조사한 결과 Table 1에서 보여주는 바와 같이 Hogland 용액에 인산염($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)을 제외한 경우 및 인산염을 인광석으로 대체하고 미생물을 접종하지 않은 대조구보다 5배 이상 더 무거운 것으로 나타났다. 또한 옥수수의 키 성장에서 보여준 결과와 마찬가지로 Hogland 용액으로 옥수수를 재배한 경우에 비해 생물비료를 이용한 경우에서 식물의 무게가 더 무거운 것으로 나타났다(Table 1).

그러나 옥수수의 뿌리길이를 조사한 결과(Table 2)에서는 인산가용화균을 접종한 경우에서 가장 긴 것으로 나타났으나 옥수수 키와 옥수수 무게를 비교했을 때의 결과에 비해서는 그 차이가 상대적으로 미미하였다.

Table 1. Wet weight (g/plant) of corn (*Zea mays* Suwon 19) influenced by different nutrients with or without phosphate-solubilizing fungus, a microbial fertilizer, after 60 day cultivation

Nutrient	Wet weight (g/plant)
Distilled water	3.1
Hogland solution-NH ₄ H ₂ PO ₄	5.6
Hogland solution	41.3
Hogland solution-NH ₄ H ₂ PO ₄ +Rock phosphate	8.8
Hogland solution-NH ₄ H ₂ PO ₄ +Rock phosphate+ <i>Penicillium</i> sp. PS-113	45.5

All data were means of three replicate.

Table 2. Root length of corn(*Zea mays* Suwon 19) influenced by different nutrients with or without phosphate-solubilizing fungus, a microbial fertilizer, after 60 day cultivation

Nutrient	Root length (cm/plant)
Distilled water	43.0
Hogland solution-NH ₄ H ₂ PO ₄	45.3
Hogland solution	47.1
Hogland solution-NH ₄ H ₂ PO ₄ +Rock phosphate	50.6
Hogland solution-NH ₄ H ₂ PO ₄ +Rock phosphate+ <i>Penicillium</i> sp. PS-113	56.9

All data were means of three replicate.

요 약

토양에서 분리된 사상균 *Penicillium* sp. PS-113은 PDB-인광석 배지의 인광석을 고효율로 분해하여 유리인산을 최대 585 ppm까지 생성하였다. 또한 이와 같은 배지조건에서 이 균주의 인산가용화능이 최대가 되는 최적 배양온도와 초기 pH는 각각 30°C와 pH 7.5이었다. 그리고 이 균주의 포자를 대량생산 하기 위하여 보리, 옥수수, 밀, 쌀, 쌀겨, 퇴비와 같은 다양한 고체배지에서 균주를 배양한 결과 퇴비를 제외한 모든 고체배지에서 배양 20 일경에 $2.1 \sim 5.1 \times 10^9$ conidia/g 정도의 높은 포자생성능을 보였다. 이때 생성된 포자를 생물비료로서 그 효과를 검증하기 위하여 pot에서 옥수수(*Zea mays* Suwon 19) 재배시험을 실시한 결과 인산가용화균을 접종한 경우가 Hogland 용액에 인산염이 없거나 혹은 인광석을 인산염 대신 투입한 후 미생물을 접종하지 않은 대조구들에 비해 옥수수의 키는 1.4배, 무게는 5.2~8.1배, 뿌리길이는 1.1~1.2배가 각각 증가하였다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의

하여 수행된 연구결과이며 연구비 지원에 대하여 감사드립니다.

REFERENCES

1. Agasimani, C., A. Mudlagiriyappa, and M. N. Sreenivasa. 1994. Response of groundnut to phosphate solubilizing microorganisms. *Groundnut News* 6: 5.
2. Ahn, S. K., S. J. Kim, S. J. Kim, T. S. Ahn, K. H. Lee, T. Y. Ahn, K. S. Cho, O. S. Kwon, and S. J. Park. 1995. *Environmental Microbiology*, pp. 193-216. Shin Kwang Press, Seoul, Korea.
3. Berrow, M. L., S. Davidson, and J. C. Burridge. 1982. Trace elements extractable by 2-ketogluconic acid from soils and their relationship to plant contents. *Plant Soil* 66: 161-171.
4. Choi, M. C., J. B. Chung, T. M. Sa, S. U. Lim, and S. C. Kang. 1997. Solubilization of insoluble phosphates by *Penicillium* sp. GL-101 isolated from soil. *Agric. Chem. Biotechnol.* 40: 329-333.
5. Cline, G. R., P. E. Powell, P. J. Szanislo, and C. P. P. Reid. 1982. Comparison of the abilities of hydroxamic, synthetic, and other natural organic acids to chelate iron and other ions in nutrient solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 1158-1164.
6. Dubey, S. K. and S. D. Billore. 1992. Phosphate solubilizing microorganism(PSM) as inoculant and their role in augmenting crop productivity in India-A review. *Crop Res. Hisar.* 5: 11.
7. Eun, N. K. 1993. The aerobic solid waste composting process. *Biol. Chem. Eng.* 7: 9-13.
8. Illmer, P., A. Barbato, and F. Schinner. 1995. Solubilization of hardly-soluble AlPO₄ with P-solubilizing microorganisms. *Soil Biol. Biochem.* 27: 265-270.
9. Illmer, P. and F. Schinner. 1995. Solubilization of inorganic calcium phosphates-solubilization mechanisms. *Soil Biol. Biochem.* 27: 257-263.
10. Kang, S. C. and M. C. Choi. 1998. Isolation and cultural characteristics of a phosphate-solubilizing fungus, *Penicillium* sp. PS-113. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 13: 497-501.
11. Kim, H. O., Z. K. Uo, S. C. Lee, and R. M. N. Kucey. 1984. Mycorrhizae distribution and rock phosphate dissolution by soil fungi in the citrus fields in Jeju-do. *Cheju National University Journal* 17: 45-50.
12. Kucey, R. M. N. 1988. Effect of *Penicillium bilaji* on the solubility and uptake of P and micronutrients from soil by wheat. *Can. J. Soil Sci.* 68: 261-270.
13. Paul, E. A. and F. E. Clark. 1989. *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, New York, USA.
14. Sayer, J. A., S. L. Raggett, and G. M. Gadd. 1995. Solubilization of insoluble metal compounds by soil fungi: Development of a screening method for solubilizing ability and metal tolerance. *Mycological Res.* 99: 987-

- 993.
15. Suh, J. S., S. K. Lee, K. S. Kim, and K. Y. Seong. 1995. Solubilization of insoluble phosphates by *Pseudomonas putida*, *Penicillium* sp. and *Aspergillus niger* isolated from Korean soils. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* **28**: 278–286.
 16. Tiwari, V. N., A. N. Pathak, and L. K. Lehri. 1993. Rock phosphate-superphosphate in wheat in relation to inoculation with phosphate solubilizing organism and organic waste. *Ind. J. Agr. Res.* **27**: 137–145.
 17. Uo, Z. K., H. O. Kim, and S. C. Lee. 1985. Improvement of rock phosphate utilization efficiency-Distribution of *V. A. mycorrhizae* on Cheju island, and isolation and cultivation of rock phosphate solubilizing fungi. *Cheju National University Journal* **20**: 81–92.
 18. Varsha, N., T. Jugnu, and H. H. Patel. 1993. Solubilization of natural rock phosphates and pure insoluble inorganic phosphates by *Aspergillus awamori*. *Ind. J. Exp. Biol.* **31**: 747–749.
 19. Varsha, N., T. Jugnu, and H. H. Patel. 1995. Mineral phosphate solubilization by *Aspergillus aculeatus*. *Ind. J. Exp. Biol.* **33**: 91–93.

(Received December 23, 1998)