

토양에서 분리한 *Aspergillus* sp. PS-104 균주에 의한 난용성 인산염 분해

강선철* · 신승용

대구대학교 생명공학과

(2007년 2월 21일 접수, 2007년 3월 23일 수리)

Solubilization of Insoluble Phosphates by *Aspergillus* sp. PS-104 Isolated from Soil
Sun-Chul Kang*, and Seung-Yong Shin (Department of Biotechnology, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea)

ABSTRACT: Phosphate-solubilizing microorganisms were isolated from soil around Kyungnam and Kyungbook regions using potato dextrose agar-calcium phosphate medium. A fungus with the greatest phosphate-solubilizing activity was selected and identified to *Aspergillus* sp. PS-104, based on the morphological characteristics of conidiophore and conidia; unbranching type of conidiophore, terminally swelling of conidiophore and septate of mycelium, in malt extract agar and potato dextrose agar media. The optimum temperature and initial pH to solubilize rock phosphate in potato dextrose broth-rock phosphate medium were 30°C and pH 7.0, respectively. In these optimum conditions, phosphate-solubilizing activities of *Aspergillus* sp. PS-104 against four types of insoluble phosphate, tricalcium phosphate, aluminium phosphate, hydroxyapatite and rock phosphate, were quantitatively determined. As results, the maximum phosphate-solubilizing activity was obtained with tricalcium-phosphate (1,900 ppm) while minimum activity was obtained with hydroxyapatite (320 ppm). Furthermore, phosphate-solubilizing activity of *Aspergillus* sp. PS-104 was found higher when treated with nitrates as compared to the ammonium salts as a nitrogen sources.

Key Words: Phosphate solubilization, *Aspergillus* sp., insoluble phosphate, rock phosphate

서 론

인은 식물체에서 핵산, 인지질, phytates 등의 중요 구성 성분이며, 식물성장에 필요한 에너지 대사에서도 중요한 역할을 하는 원소이다. 식물에 충분한 양의 인을 공급하기 위해서 인산염 형태의 비료를 공급한다. 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 칼륨 이온과 쉽게 결합하여 불용화됨으로서, 토양 중에는 식물이

이용할 수 있는 유리인산(free phosphate)의 양은 거의 없게 되고 식물이 이용할 수 없는 불용성 인산의 양만 증가되는 결과를 가져다 준다¹⁾. 따라서 인 자원의 재활용이란 측면에서 불용성 인산을 가용화시킬 수 있는 토양미생물의 탐색과 실용화는 비료성분의 이용효율성을 제고시킬 수 있는 하나의 방법이 된다.

인산가용화균을 이용한 환경친화형 생물비료(biofertilizers)의 개발노력은 부단히 이루어져왔다. 이미 1950년대에 러시아와 동유럽에서 불용성 인산을 가용화시킬 수 있는 미생물(phosphobacteria)를 분리하여 토양에 처리한 결과 작물의 인산 흡수를 증대시킬 수 있었으며 평균 10%의 수량 증가를 보았다²⁾. 1980년대는 *Penicillium bilaji* 등의 사상균이 인산의 흡수를 증대시키는 것으로 밝혀졌다³⁾. 최근에는 토양에 천연 인광석을 시비하거나 *Bacillus megaterium*²⁾, *B.*

*연락처:

Tel: +82-53-850-6553 Fax: +82-53-850-6559
E-mail: sckang@daegu.ac.kr

*polymyxa*⁴⁾, *Pseudomonas striata*^{4,5)}, *Pseudomonas* sp.(PI18/89)⁶⁾, *Penicillium simplicissimum*⁷⁾, *P. aurantiogriseum*⁸⁾, *P. bilaji*³⁾, *Aspergillus awamori*^{5,9)}, *A. aculeatus*¹⁰⁾, *A. niger*⁷⁾ 등의 인산가용화균²⁾을 biofertilizers로 사용했을 때 cereals, legumes, potatoes, 기타 작물들의 생산량이 증대하는 것으로 보고되고 있다.

미생물을 이용한 biofertilizer의 개발은 인도 등에서는 일부 실용화되어 사용되고 있지만, 국내에서는 균주선발 및 배양특성조사, 포장시험 등에 관한 폭넓은 연구의 부족으로 아직 실험실 수준의 초보적인 단계에 머무르고 있다^{11,12)}.

따라서 본 연구는 난용성인을 가용화시킬 수 있는 미생물을 개발하여 경제적, 환경조화형, 고효율의 biofertilizers를 개발함에 있으며, 이를 달성하기 위한 기초연구로서 난분해성 인산염 분해 촉진 미생물을 토양으로부터 선발한 후 선정된 균주의 기초적인 생리적 특성을 파악함으로서 미생물 인산비료의 실용화를 위한 기초자료를 구축하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에 사용한 인광석은 중국산으로서 (주)경기화학으로부터 공급받았다. 그리고 인광석의 성분분석 결과 총인산함량(P_2O_5)이 34.24%이었으며 인산, CaO (50.21%), SiO_2 (7.16%) 등이 주성분으로서 전체의 약 92%를 차지하였다. 이것은 B.P.L. (bone of phosphate lime = 총인산함량×2.185) 기준으로는 76.76의 중급 품질의 인광석이었다.

인산가용화균의 분리

난용성 인산염의 분해능이 우수한 토양미생물을 선발하기 위하여 경상남북도 일대에서 토양시료를 채취하였다. 균주 선별방법은 토양 1 g을 0.5% peptone을 포함한 5 mL의 수용액에 잘 혼합하여 이를 10~1,000배의 적절한 농도로 희석하고 PDA-calcium phosphate 분리용 평판배지(배지 제조방법: PDA; potato dextrose agar, 20 g L^{-1} 을 121°C에서 15분간 멸균하고 55°C로 식힌다. 여기에 $CaCl_2$ 와 K_2HPO_4 를 각각 따로 멸균하여 최종농도가 0.5% 되도록 배지에 첨가하여 PDA-calcium phosphate 분리용 평판배지를 만든다.)에 도말하고, 30°C에서 1~4일간 배양한 후 균체 주위에 투명대를 형성하는 균체를 난용성 인산염 분해능이 있는 균으로 판정하고 그 중에서 상대적으로 투명대가 큰 균주를 선별하였다.

유리인산의 농도측정

균체배양액 1.5 mL을 취하여 Eppendorf tube에 담은 후 15,000 rpm에서 5분간 원심분리하였다. 원심분리 후 상등액 1.0 mL을 취하여 중류수 4.0 mL을 첨가하여 총 5.0 mL이 되게 하였다. 여기에 몰리브덴산 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. 몰리브덴산 암모늄용액: 몰리브덴산 암모늄(4수화물) 25 g을 중류수 175 mL에 녹인 다음 황산 280 mL을 중류수 약 400 mL에 천천히 넣고 방냉하면서 혼합한 다음 최종적으로 1,000 mL이 되도록 한다. 염화제일주석용액: 염화제일주석(2수화물) 2.5 g을 글리세린 1,000 mL에 넣어 수용액상에서 유리봉으로 섞으면서 빨리 녹인다.

분리균의 동정

상기방법에 따라 최종 선발된 사상균 PS-104 균주의 동정은 MEA배지(malt extract agar; glucose 2.0%, malt extract 2.0%, peptone 0.1% and agar 2.0%)와 PDA 배지에 이 균주를 접종하여 25°C에서 10일간 배양하면서 형태학적인 특징을 광학현미경(Nikon, Labophoto-2, Japan)과 육안으로 관찰하면서 Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi(7th ed.)¹³⁾의 분류체계에 따라 동정하였다.

선발된 균주의 배양특성 조사

인산가용화균 PS-104 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 PDB배지에서 5일 동안 진탕배양한 균체배양액 1 mL을 접종하여 각각 25, 30, 37°C의 배양온도에서 200 rpm으로 8일 동안 진탕배양하면서 하루간격으로 이 균주에 의한 유리인산 생성능을 측정하였다.

또한 분리균주의 인광석 분해능이 최대가 되는 배양 최적 pH를 결정하기 위해서 PDB 배지에서 5일 동안 진탕배양한 균체배양액 1 mL을 위와 동일한 배지에 접종한 후 다양한 pH(6.5, 7.0, 7.5, 8.0)에서 25°C, 200 rpm의 조건으로 8일 동안 진탕배양하면서 매일 유리인산의 농도를 측정하였다.

난용성 인산염의 종류에 따른 분리균주의 유리인산 생성능을 조사하기 위해서 PDB배지에 aluminum phosphate, hydroxyapatite, rock phosphate 및 tricalcium phosphate를 각각 0.5%(w/v)씩 첨가하여 액체배지(pH 7.5)를 제조하였다. 이것을 100 mL 삼각플라스크에 각각 20 mL씩 넣고 여기에 PDB 배지에서 5일 동안 진탕배양한 PS-104 균체배양액 1 mL을 접종하여 25°C, pH 7.5, 200 rpm의 조건에서 18일간 진탕배양하면서 하루 간격으로 생성되는 유리인산의 양을 측정하였다.

질소원에 따른 분리균주의 유리인산 생성능을 조사하기 위해서 질소원으로 KNO_3 , $NaNO_3$, NH_4Cl , $(NH_4)_2SO_4$ 및 NH_4NO_3 을 첨가한 PDB배지에 추가로 인광석을 0.5%(w/v)로 첨가하여 제조한 액체배지(pH 7.5)를 100 mL 삼각플라스크에 20 mL씩 분주하고 여기에 PDB배지에서 5일 동안 진탕배양한 PS-104 균체배양액 1 mL을 접종하여 25°C, pH 7.5, 200 rpm의 조건에서 18일간 진탕배양하면서 하루 간격으로 생성되는 유리인산의 양을 측정하였다. 배양특성에 관한 모든 실험은 3회 반복 수행하여 평균값을 구하였다.

결과 및 고찰

인산가용화균의 분리 및 동정

다양한 토양시료로부터 PDA-calcium phosphate 분리용 평판배지 상에서 난용성 인산염 분해능이 우수한 미생물 균주를 1차적으로 약 1,000종의 세균과 200여종의 사상균 균주를 선별하였다. 1차 선별한 균주를 인광석이 0.5%(w/v) 포함된 PDB배지에서 액상배양하면서 유리인산 생성능을 조사하여 유리인산 생성능이 우수한 10종의 균주를 2차 선별하였다. 이 상에서 선별한 균주를 순수분리한 후 상업적 응용가능성이 가장 높은 인광석을 효율적으로 분해하여 유리인산을 방출하는 균주를 최종선발의 주대상으로 삼았다. 2차 선별에서 얻은 각각의 균주를 3~7일간 PDB-rock phosphate 액체배지에서 배양하면서 매일 유리인산의 양을 정량하여 인광석 분해능이 가장 우수한 PS-104 균주를 최종 분리하였다(Fig. 1).

사상균 PS-104 균주를 동정하기 위하여 MEA배지 및 PDA배지에서 균체를 배양하면서 육안과 광학현미경을 이용하여 행태관찰을 수행한 결과 colony 표면의 색은 짙은 검은색을 띠었으며 분생자는 비가지형으로 끝이 돌출되어 있고 균사는 격막을 형성하였다(Table 1). 이상의 결과를 이용하여 Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi(7th ed.)¹³⁾의 분류체계에 따라 동정한 결과 *Aspergillus* sp.로 동정되었으며 이 균주를 *Aspergillus* sp. PS-104로 명명하였다.

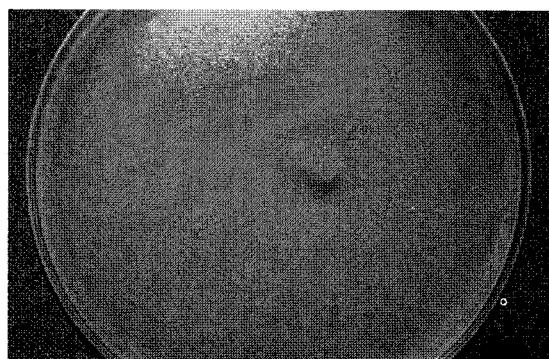


Fig. 1. Phosphate solubilization by strain *Aspergillus* sp. PS-104, as indicated by hollow formation around the fungal growth, on PDA medium with 0.5% calcium phosphate.

Table 1. Morphological characteristics of *Aspergillus* sp. PS-104

Characteristics	MEA (malt extract agar)
Colony color	Dark black
Colony reverse color	Yellowish white
Type of conidiophore-branching	Unbranched
Conidiophore	Terminally swelling
Mycelium	Septate

인산가용화균의 배양특성 조사

배양온도(25, 30, 37°C)에 따른 *Aspergillus* sp. PS-104의 인광석 분해능에 대한 정량적 분석 결과는 Fig. 2와 같다. 이 균주는 30°C에서 배양했을 때 배양 8일째 최대 450 ppm의 유리인산을 생성하였으며, 25°C 및 37°C에서 배양한 경우 각각 330 및 250 ppm의 유리인산을 생성하였다. 이것은 30°C에서 배양했을 때 37°C에 비해 약 1.8배 정도 유리인산 생성능이 높음을 나타낸다. 이와 같은 인광석 분해능은 최근 서 등¹¹⁾이 보고한 *Penicillium* sp. 균주의 인광석 분해능이 최적조건인 28°C에서 배양했을 때 질소원의 종류에 따라 47~80 ppm 수준인 점과 비교했을 때 월등히 높은 결과였으며 최 등¹²⁾이 보고한 *Penicillium* sp. GL-101 균주의 인광석 분해능이 최적조건인 25°C에서 배양했을 때 565 ppm 수준과 비교했을 때보다는 약간 낮은 결과였다.

한편, 초기 pH(pH 6.0, 6.5, 7.0, 7.5)에 따른 *Aspergillus* sp. PS-104 균주의 인광석 분해능에 대한 정량적 분석 결과는 Fig. 3과 같다. 이 결과에 따르면 배양온도를 30°C로 고

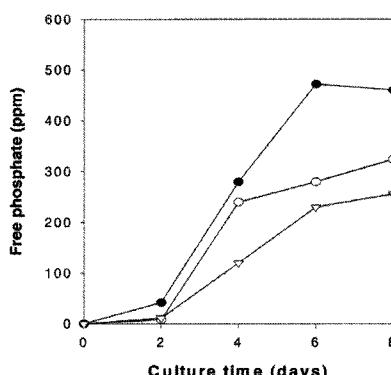


Fig. 2. Changes of free phosphate concentrations during the cultivation of *Aspergillus* sp. PS-104 at various temperatures with time courses. Symbols denote ○-○; 25°C, ●-●; 30°C and ▽-▽; 37°C.

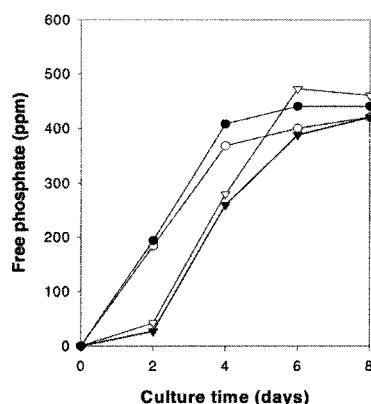


Fig. 3. Changes of free phosphate concentrations during the cultivation of *Aspergillus* sp. PS-104 at various initial pHs with time courses. Symbols denote ▼-▼; pH 6.0, ○-○; pH 6.5, ▽-▽; pH 7.0 and ●-●; pH 7.5.

정했을 때 pH 7.0에서 배양 6일째 유리인산의 방출량이 480 ppm으로 최대가 되었다. pH가 6.0~6.5일 때보다 7.0~7.5 일 때 이 균주의 유리인산 방출량이 증가한 것으로 미루어 이 균주는 중성 pH에서 배양했을 때 유리인산 생성능이 높음을 알 수 있다. 이상의 결과는 일반적으로 인산가용화균은 pH 6.5~7.5 범위의 중성부근에서 인광석 분해능이 최대가 된다는 보고와 일치하는 결과이다^{12,14)}.

인산가용화 균주 *Aspergillus* sp. PS-104의 aluminium phosphate, hydroxyapatite, rock phosphate 및 tricalcium phosphate와 같은 난용성 인산염에 대한 인산가용화능을 측정한 결과 tricalcium phosphate(1,750 ppm) > aluminium phosphate(1,620 ppm) > rock phosphate(480 ppm) > hydroxyapatite(310 ppm) 순서로 분해가 잘 되는 것으로 나타났다(Fig. 4). 이와 같은 인산가용화능은 최 등¹²⁾ 이 보고한 *Penicillium* sp. GL-101 균주를 다양한 인산염이

첨가된 PDB 배지에 배양했을 때 배양 후 14일째 tricalcium phosphate에 대한 인산가용화능이 1,150 ppm 수준과 비교했을 때보다 1.5배 높은 결과였으며 동일한 균주의 aluminium phosphate에 대한 인산가용화능이 292 ppm 수준과 비교했을 때는 5.5배 월등히 높은 결과였다. 또한 Kang 등¹⁵⁾이 보고한 *Fomitopsis* sp. PS 102 균주는 배양 후 12일째 tricalcium phosphate에 대한 인산가용화능이 1,235 ppm 수준과 비교했을 때보다 1.4배 높은 결과였으며 배양 후 14일째 aluminium phosphate에 대한 인산가용화능은 1,013 ppm 수준과 비교했을 때보다도 1.6배 높은 결과였다. 이러한 결과는 이미 보고된 *Penicillium* sp. GL-101¹²⁾ 및 *Fomitopsis* sp. PS 102 균주¹⁵⁾보다 *Aspergillus* sp. PS-104 균주의 난용성 인산염에 대한 인산가용화능이 훨씬 우수하다는 것을 보여주는 것이다.

Aspergillus sp. PS-104에 의한 질소원별 aluminium

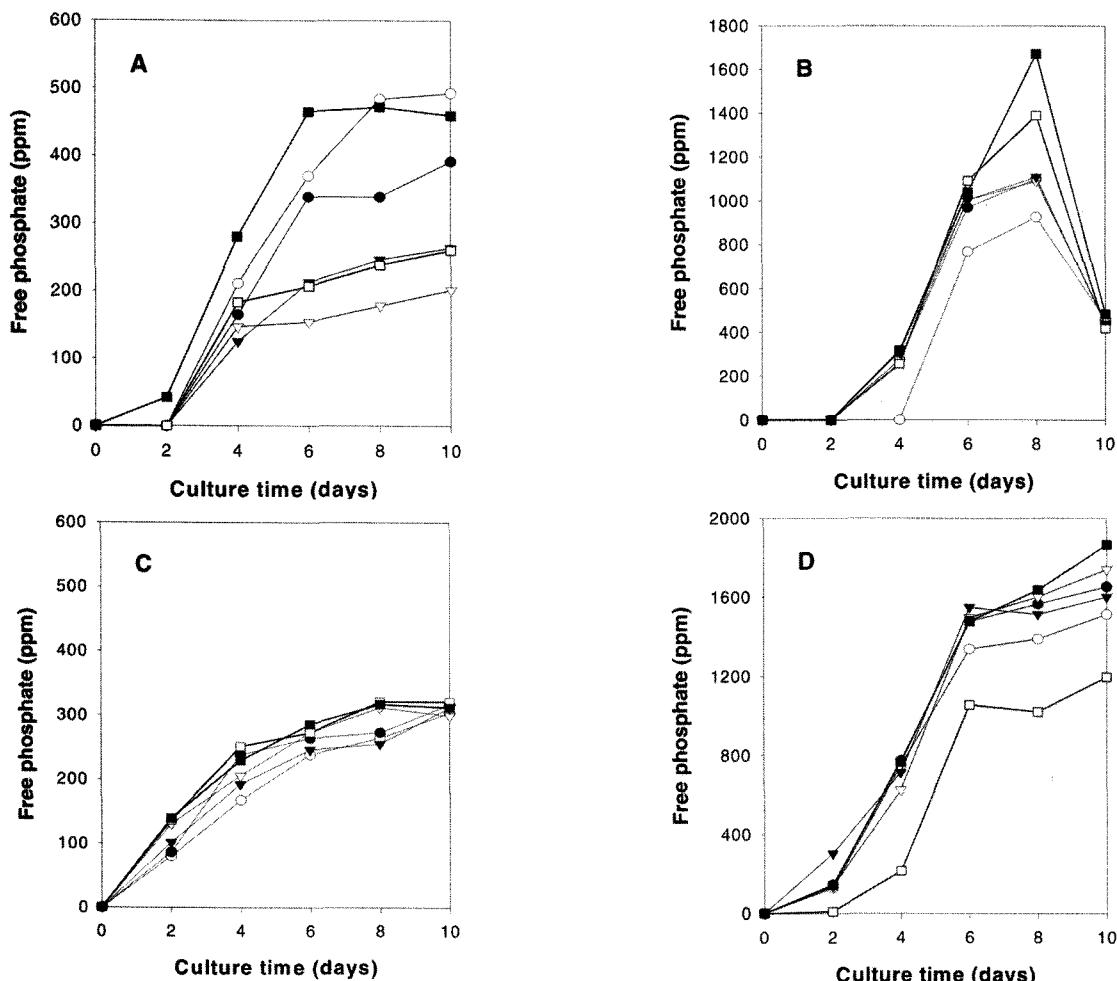


Fig. 4. Changes of free phosphate concentrations during the cultivation of *Aspergillus* sp. PS-104 in the PDB media containing various insoluble-phosphates (A ; rock phosphate, B ; aluminium phosphate, C ; hydroxyapatite and D ; tricalcium phosphate) and nitrogen sources with time courses.

○-○ ; potassium nitrate, ●-● ; sodium nitrate, ▽-▽; ammonium chloride, ▼-▼ ; ammonium sulfate. □-□ ; ammonium nitrate, ■-■ ; control.

phosphate 가용화능은 Fig. 4와 같이 모든 질소원 첨가구에서 대조구에 비해 상대적으로 낮은 인산가용화능을 보였다. 이와 같은 결과는 이 균주가 PDB 배지 외에 추가적으로 제공된 질소원에 의해 오히려 인산가용화능이 저해될 수 있음을 나타낸다. 질소원 첨가시 질소원간의 비교에서 배양 8일째의 인산 방출량에서 ammonium nitrate일 때 가장 높았으며 potassium nitrate일 때 가장 낮았다. 그리고 sodium nitrate, ammonium chloride와 ammonium sulfate에서는 거의 비슷한 용해도를 보였다. 또한 배양 최종일의 인산 방출량은 모든 질소원에서 감소하였는데 이것은 균주가 성장하는데 필요한 배지 내의 양분이 고갈되어 나타난 것으로 사료된다. 인광석에 대한 *Aspergillus* sp. PS-104에 의한 질소원별 가용화능은 potassium nitrate일 때 가장 높았으며 hydroxyapatite에 대한 질소원별 가용화능은 질소원에 관계없이 비슷한 용해도

를 보였다. 또한 tricalcium phosphate의 질소원별 용해도는 배양 최종일 인산방출량은 ammonium nitrate 처리구를 제외한 나머지 질소원 처리구에서 거의 비슷하였으며 방출량도 상대적으로 가장 높았다. 이는 본 공시균주인 *Aspergillus* sp. PS-104가 토양 인산염 중 hydroxyapatite와 tricalcium phosphate와 같은 calcium형 인산염을 가용화할 때 다양한 질소원을 영양원으로 쉽게 이용할 수 있다는 것을 보여주는 결과이다.

Aspergillus sp. PS-104 균주 배양액의 경시적 pH 변화는 Fig. 5와 같이 질소원별 인산염 형태에 따라서 최종 pH가 aluminium phosphate 처리구 2.3~3.8, hydroxyapatite 처리구 2.9~4.9, tricalcium phosphate 처리구 2.3~4.2, 그리고 rock phosphate 처리구에서는 5.3~5.5였다. 인산염의 종류는 pH에 큰 영향을 미치지는 않았으나 hydroxyapatite

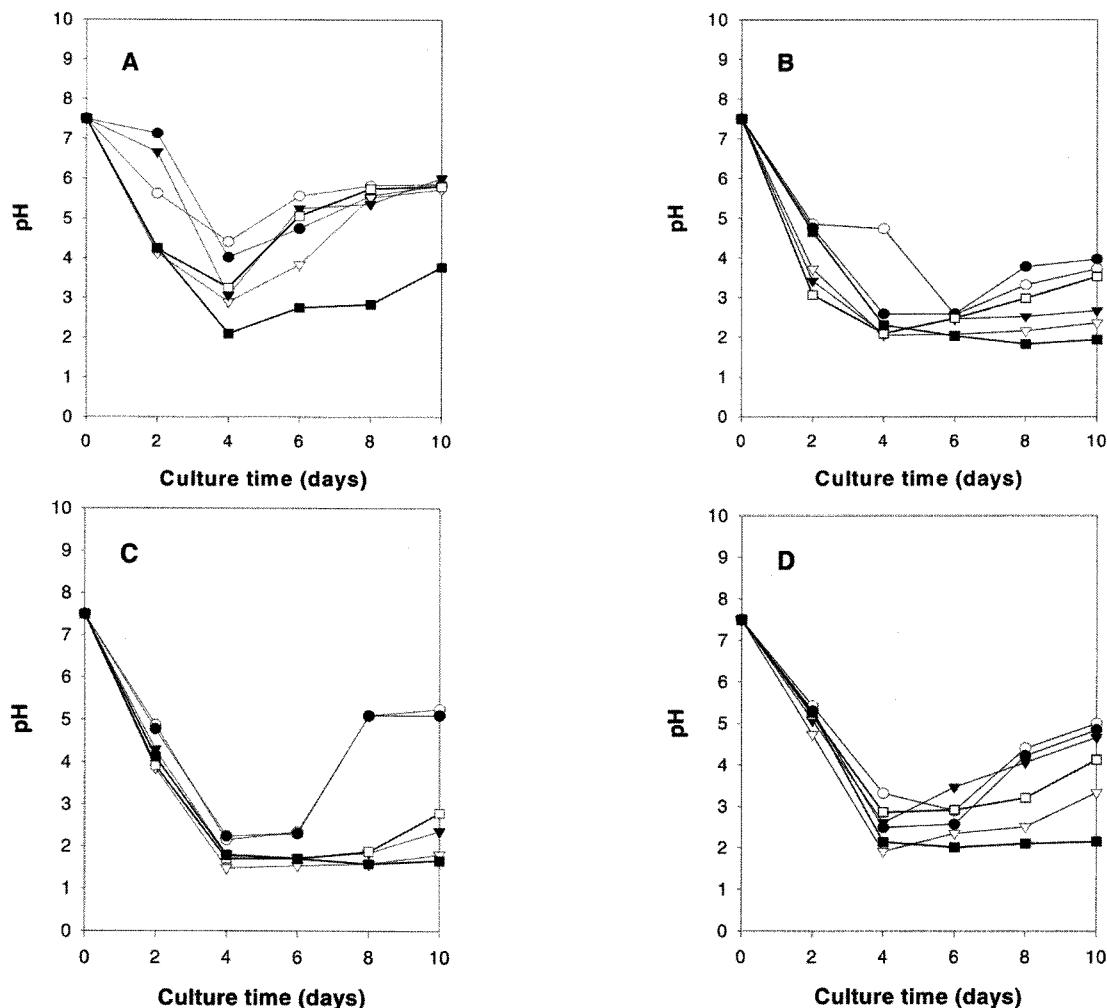


Fig. 5. Changes of pH values during the cultivation of *Aspergillus* sp. PS-104 in the PDB media containing various insoluble-phosphates (A ; rock phosphate, B ; aluminium phosphate, C ; hydroxyapatite and D ; tricalcium phosphate) and nitrogen sources with time courses.

○-○ ; potassium nitrate, ●-● ; sodium nitrate, ▽-▽ ; ammonium chloride, ▼-▼ ; ammonium sulfate. □-□ ; ammonium nitrate, ■-■ ; control.

와 rock phosphate 처리구의 최종 pH가 약 1 이상 높았다. 이들 결과는 최근 서 등¹¹⁾이 보고한 *Aspergillus niger* 균주의 결과와 일치하는 결과이다.

이상의 결과로부터 이 균주는 상업적 이용 가능성이 가장 높은 인광석에 대해서 상대적으로 높은 분해능을 보임을 알 수 있다. 그러나 이 균주를 biofertilizers로 실용화하기 위해서는 탄소원, 미량원소첨가 등에 따른 균체의 배양특성 조사 및 고체배양에서 포자형성능이 높은 배지의 개발, 포장실험을 통한 유리인산의 작물생육에 미치는 영향 등에 대한 폭넓은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

요약

PDA-calcium phosphate 평판배지를 이용하여 경상남북도 일대의 토양으로부터 인산가용화능이 우수한 사상균을 분리하고 배양특성을 조사하였다. 최종적으로 분리한 인산가용화능이 우수한 사상균 PS-104 균주를 선발하여 형태적 특성을 조사한 결과 이 균주의 분생자는 비가지형으로 끝이 돌출되어 있으며, 균사가 격막으로 형성되는 등의 특징을 갖는 *Aspergillus* sp. PS-104 균주로 동정되었다. 이 균주의 인광석 분해능이 최대가 되는 최적 배양온도와 pH는 각각 30°C 와 pH 7.0이었다. 이와 같은 배양조건에서 tricalcium phosphate, aluminium phosphate, hydroxyapatite, 인광석 등의 난용성 인산염에 대한 이 균주의 인산가용화능을 살펴보면 최대 인산가용화능은 tricalcium-phosphate 처리구(1,900 ppm)에서, 최소 인산가용화능은 hydroxyapatite 처리구(320 ppm)에서 확인되었다. 또한 이 균주의 인산가용화능은 질소원으로 첨가한 ammonium 염보다 nitrate 염에서 높게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행된 연구결과이며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Paul, E. A. and Clark, F. E. (1989) Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, New York, USA.
- Dubey, S. K. and Billore, S. D. (1992) Phosphate solubilizing microorganism(PSM) as inoculant and their role in augmenting crop productivity in India - A review. *Crop Res. Hisar.* 5, 11.
- 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.
- Tiwari, V. N., Pathak, A. N. and Lehri, L. K. (1993) Rock phosphate-superphosphate in wheat in relation to inoculation with phosphate solubilizing organism and organic waste. *Ind. J. Agr. Res.* 27, 137-145.
- Agasimani, C. A., Mudlagiriyappa and Sreenivasa, M. N. (1994) Response of groundnut to phosphate solubilizing microorganisms. *Groundnut News* 6, 5.
- Illmer, P., Barbato, A. and Schinner, F. (1995) Solubilization of hardly-soluble AlPO₄ with P-solubilizing microorganisms. *Soil Biol. Biochem.* 27, 265-270.
- Sayer, J. A., Raggett, S. L. and Gadd, G. M. (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.
- Illmer, P. and Schinner, F. (1995) Solubilization of inorganic calcium phosphates-solubilization mechanisms. *Soil Biol. Biochem.* 27, 257-263.
- Varsha, N., Jugnu, T. and Patel, H. H. (1993) Solubilization of natural rock phosphates and pure insoluble inorganic phosphates by *Aspergillus awamori*. *Ind. J. Exp. Biol.* 31, 747-749.
- Varsha, N., Jugnu, T. and Patel, H. H. (1995) Mineral phosphate solubilization by *Aspergillus aculeatus*. *Ind. J. Exp. Biol.* 33, 91-93.
- Suh, J. S., Lee, S. K., Kim, K. S. and Seong, K. Y. (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.
- Choi, M. C., Chung, J. B., Sa, T. M., Lim, S. U. and Kang, S. C. (1997) Solubilization of insoluble phosphates by *Penicillium* sp. GL-101 isolated from soil. *Agric. Chem. Biotechnol.* 40, 329-333.
- Hawksworth, D. L., Sutton, B. C. and Ainsworth, G. C. (1983) Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi(7th ed.). Commonwealth Mycological Institute. England.
- Choi, M. C. and Kang, S. C. (1999) Solid culture of phosphate-solubilizing fungus, *Penicillium* sp. PS-113. *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 27, 1-7.
- Kang, S. C., Ha, C. K., Lee, T. G. and Maheshwari, D. K. (2002) Solubilization of insoluble inorganic phosphate by a soil-inhabiting fungus *Fomitopsis* sp. PS 102. *Curr. Sci.* 82, 439-442.