

목탄분말 시용이 고추의 생육 및 토양미생물상 변화에 미치는 영향

김승환* · 이상민* · 이윤정* · 김한명* · 손석용** · 송범현**

Effects of Charcoal Powder on the Growth and Development of
Red Pepper and the Changes of Soil Microflora

Kim, Seung-Hwan* · Lee, Sang-Min* · Lee, Yoon-Jeong* · Kim, Han-Myung*
Son, Seok-Yong** · Song, Beom-Hun**

〈 목 차 〉

ABSTRACT	Ⅲ. 결과 및 고찰
I. 서 언	Ⅳ. 적 요
Ⅱ. 재료 및 방법	참고문헌

ABSTRACT

It was investigated the possibility to use charcoal powder as beneficial soil conditioner, which used frequently in environmentally friendly agricultural farming system. For this purpose, the effects of charcoal powder on the growth of red pepper and chemical and microbiological properties of soil were also determined. The application of charcoal powder resulted in no significant differences of pH and EC in the soil compared to those of control. However,

* 농업과학기술원

** 충북대학교 농과대학

small particle size of charcoal powder increased yield of red pepper while large charcoal powder resulted in decrease of root growth of red pepper. Furthermore, the application of charcoal powder resulted in changes of soil microflora relating to plant growth stage. The number of the nitrogen fixing bacteria and fungi increased at the early growth stage, while phosphate releasing fungi in the soil increased at the late stage of growth by charcoal powder application. These beneficial effect of charcoal powder on the soil microbial properties was larger by the use of smaller particle size of charcoal powder. Therefore, it indicated that the small size of charcoal powder might be more influential on the red pepper yield and soil microbial properties may be due to large capacity of nutrients uptake for the plant and microorganisms. Additionally the optimal application amount of charcoal powder for the red pepper could be suggested as much as $300\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ for the both purposes of improvement of crop yield and retardation of the nutrients accumulation by excess charcoal application.

Key Words : charcoal powder, red pepper, soil conditioner, particle size, soil microorganisms

I. 서 언

우리나라에 보급되고 있는 유기·자연농업기술은 민간영농단체에 의하여 도입되어 농업 현장에 적용된 기술형태로서 FAO의 국제식품규격위원회(Codex) 또는 국제유기농업운동연맹(IFORM)에서 규정한 유기농업기술과는 다소 차이가 있다.¹⁰⁾ 국내 유기·자연농업 활용자재와 이용기술은 농약과 화학비료를 사용하지 않거나 사용량을 절감하면서 천연자재에 의존한 영농 기술로 증수, 병해충방제, 농산물 품질향상 등이 가능하다고 주장하고 있다.^{1, 3, 7, 8)} 그러나 자재나 기술에 대한 객관적인 효과검증이나 연구가 미흡하고, 관련단체에서 현장기술을 중심으로 교육, 자재공급 및 제조기술 등을 보급하고 있는 실정이다.

Codex의 규정에 의하면 유기식품생산에 허용되는 물질은 토양의 비옥화 및 토양개선을 위한 유기물, 인광석, 마그네슘 등 40종과 식물병해충 방제에 사용 가능한 제충국, 테리스 등 37종에 대한 성분요건과 사용조건을 제시하고 있으며, 국가별로 허용된 자재 이외의

물질은 사용을 엄격히 제한시키고 있다. 우리나라에서도 1998년 7월 농수산물가공산업 및 품질관리에 관한 법률에 근거하여 유기농산물 품질관리 요령에 의거하여 유기농산물 생산에 허용되는 물질이 제시되었다.⁴⁾ 이들 자재 중 목탄의 경우 토양개량제로서 10a당 180~300kg을 사용하고 주로 유기·자연농업을 실천하고 있는 농가에서 많이 활용하고 있다.¹⁷⁾

목탄의 효과는 주로 흡착능에 기인한다고 알려져 있다. 암모니아태 질소의 흡착은 화학적 흡착과 물리적 흡착에 의하며, 목탄제조시 탄화온도가 높을수록 무기양이온 흡착량은 적어진다. 이것은 목탄표면에 존재하는 -COOH, -OH 등의 작용기가 탄화온도 상승에 따라 분해 이탈되어 500℃부근부터 급격하게 감소하기 때문이며, 저온 탄화물은 비료성분의 흡수능이 적다고 보고되고 있다.⁹⁾ 또한 목탄의 효과는 토양의 투수성, 통기성 등 토양물리성 개선과, 칼륨, 칼슘, 인산 등 무기양분 공급, 산성토양 중화, 유용미생물 활성화, 과잉농약과 비료의 흡착 등이 있으며, 그 효과는 토양의 성질, 작물의 종류, 목탄재료의 종류, 입도 및 사용량에 따라 상이하다고 보고되었다.^{5, 9)}

따라서 본 연구는 유기·자연농업을 수행하는 농가에서 많이 사용하고 있는 목탄 분말의 특성파악과 작물생육에 대한 시용효과를 구명하여 목탄분말의 효과적인 이용방안에 대한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재료분석 및 미생물조사

목탄분말, 토양 및 식물체의 질소는 Kjeldahl법, 인산은 Vanadate법으로 분석 하였으며,¹¹⁾ K, Ca, Mg, 미량원소 및 중금속 분석은 유도결합플라즈마 분광 광도계(ICP, Plasmalab 8440, Australia)를 사용하였다. 공시재료로 사용한 목탄분말의 이화학성은 Table 1과 같다.

Table 1. The chemical properties of charcoal powder used.

T-C	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	pH
g · kg ⁻¹					(1 : 10)
870	0.4	4.6	16.9	0.8	9.9

토양미생물 조사는 세균, 방선균 및 사상균은 농촌진흥청 토양미생물 분석법에 준하여 조사하였다. 질소고정균인 *Rhizobium sp.*는 YEM 배지를 사용하여 조사하였다. YEM 배지는 증류수 1ℓ에 Yeast extract 1.0g, Mannitol 10g, K₂HPO₄ 0.5g, MgSO₄·7H₂O 0.2g, NaCl 0.2g, FeCl₃·6H₂O 2mg, Agar 18g, Bromothymol blue solution 5ml를 각각 첨가하여 제조하였다. 인 가용화 사상균수는 선택배지를 사용하여 조사하였다. 선택배지는 증류수 1ℓ에 Dextrose 10g, KNO₃ 0.8g, NH₄Cl 0.4g, MgSO₄ 0.5g, CaCl₂·2H₂O 0.1g, Ca₃(PO₄)₂ 5.0g, NaCl 0.1g, Agar 18g을 각각 첨가하여 제조하였다.

2. 고추재배 시험

1/2,000a 와그너 포트에 토양 16kg을 충전하고 삼요소(NPK=22.5-14.1-27.8kg 10a⁻¹)를 시비하였으며, 질소와 칼리는 50%를 기비로 사용하고 나머지 50%는 3회 분시하였다. 삼요소가 처리된 포트에 직경이 약 0.5, 1.0 및 5.0mm정도로 선별된 참나무 목탄분말을 10a당 100, 300, 600kg 수준으로 토양에 혼합처리하고 고추(마니파 : 40일 유묘)를 1999년 5월 14일에 포트당 1주씩 정식하였다. 고추생육 및 토양미생물에 대한 온도, 수분 등 외 부환경 요인을 고려하여 포트는 상단부분이 지면과 일치하도록 토양에 매립하였다.

Ⅲ.결과 및 고찰

입도 및 사용량을 달리하여 목탄분말을 처리하고 고추를 재배한 결과 고추 수량을 조사한 결과는 Table 2에서와 같다. 입도별로는 0.5mm 처리구에서 가장 높았으며, 입도가 커질수록 감소하였다. 사용량별로는 0.5mm 처리구에서 300kg 10a⁻¹을 처리했을 경우 100kg과 600kg 10a⁻¹을 처리한 것에 비해 수량이 높았다. 주당 과실수 또한 0.5mm 입도의 목탄분말을 300kg·10a⁻¹처리한 구에서 가장 많아 수량과 같은 결과를 보였다. 목탄은 다공성으로 1g당 내부표면적이 200~300㎡이기 때문에 보수성, 통기성, 투수성이 크며, 양분흡착능이 뛰어난 물질로 알려져 있다.^{2,9)} 따라서 입도가 작은 목탄이 내부표면적이 더 크기 때문에 생육 및 수량에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다.

고추의 생육은 0.5mm와 1mm 목탄분말에서는 사용량이 증가할수록 식물체중이 증가하는 경향이었으나, 5mm 목탄분말에서는 반대로 식물체중이 감소하였다. 뿌리의 생육은 1mm 또는 5mm 목탄분말을 처리한 고추에 비해 0.5mm 목탄분말 처리시 높았으며, 삼요소구와 대등하거나 약간 증가하는 경향이였다. 따라서 10a당 0.5mm 목탄분말을 300kg 사용할 때 고추

의 생육 및 뿌리발달이 양호하고 증수효과가 인정되어 고추에 대한 목탄분말 적정 시용량은 300kg 10a⁻¹이며, 입도가 고운 0.5mm 정도의 소립 목탄분말이 유리할 것으로 판단되었다.

Table 2. Effects of particle sizes and quantities of charcoal powder applied on the growth and yield of red pepper.

Charcoal powder		Shoot weight (g · FW · plant ⁻¹)	Root weight (g · FW · plant ⁻¹)	No. of fruits (per plant)	Fruit weight (g · DW · plant ⁻¹)
Particle size (mm)	Application amount (kg · 10a ⁻¹)				
Control		124 a*	94 a	92 a	101.0 bc
0.5	100	91 c	93 a	68 bc	95.2 c
	300	124 a	99 a	95 a	142.5 a
	600	118 a	82 ab	88 a	118.8 b
1	100	70 d	58 c	62 bc	75.0 d
	300	86 c	66 c	72 b	103.0 bc
	600	117 a	85 a	70 b	103.6 bc
5	100	107 b	57 c	56 c	63.3 d
	300	99 bc	71 b	56 c	80.6 cd
	600	98 bc	71 b	51 c	65.3 d

* DMRT(0.05).

목탄분말 시용에 따른 토양의 화학성을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 목탄 자체는 pH가 10정도인 알칼리성 자재임에도 불구하고 목탄분말 시용으로 토양의 산도는 변화가 없어 토양산도 교정효과는 인정되지 않았다. 고추재배 후 토양의 유효인산 함량은 목탄분말의 시용량간에는 차이가 적었으나 목탄분말의 입도가 작은 분말일수록 토양 중 인산 잔존량이 적었다. 소립 목탄 분말인 0.5mm, 1mm 시용구에서 고추수량이 증가하고 토양 인산함량이 감소된 것은 소립 목탄분말을 시용할 때 토양입자에 인산이 고정되는 것을 감소시켜 식물체에 흡수 이용된 것이 많았음을 시사하고 있다.

목탄은 작물생육에 필요한 양분으로 칼슘, 칼륨, 등과 붕소와 같은 미량 원소를 함유하여 작물생육을 촉진한다고 알려져 있다.^{9, 12, 14)} 본 시험의 경우 토양 중 양이온 함량을 입도별 목탄분말 시용량과 관계하여 분석한 결과 0.5mm의 목탄분말은 600kg · 10a⁻¹, 1mm 및 5mm의 목탄분말은 300kg · 10a⁻¹ 이상 시용한 경우 크게 증가하였다. 또한 환경친화적 농업을 활용하여 영농하고 있는 농가에서는 토양의 EC를 경감시키기 위하여 목탄분말을 사용하고 있으나 오히려 대립 목탄분말을 시용한 경우 EC가 증가되었다. 이것은 목탄분말

시용으로 토양내 양이온 함량을 증가시킨 결과로 여겨지며 과도한 목탄분말 사용은 오히려 토양내 양분집적을 초래할 수 있음을 시사하고 있다.

Table 3. Effects of the application of charcoal powder on soil chemical properties after harvest of red pepper.

Particle size (mm)	Application amount ($\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$)	pH (1:5)	Av. P_2O_5 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Ex. cations ($\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$)			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	EC ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)
				K	Ca	Mg		
Control		5.7 a*	114 a	0.30 c	1.89 d	0.79 b	7.2 b	2.03 bc
0.5	100	5.7 a	76 e	0.29 c	2.33 c	0.91 b	7.2 b	1.91 c
	300	5.8 a	95 cd	0.36 c	2.29 c	0.80 b	5.6 c	2.01 bc
	600	5.8 a	77 e	0.81 a	7.09 a	0.83 b	7.7 b	2.07 bc
1	100	5.6 a	91 d	0.19 d	2.44 c	0.69 b	7.1 b	2.21 bc
	300	5.7 a	97 bd	0.98 a	7.95 a	3.08 a	11.4 a	2.12 bc
	600	5.6 a	90 d	0.84 a	7.23 a	2.48 a	14.1 a	2.04 bc
5	100	5.7 a	112 a	0.19 d	2.22 c	0.76 b	7.8 b	2.27 bc
	300	5.7 a	104 ac	0.57 b	6.50 b	2.11 a	8.4 b	2.57 bc
	600	5.7 a	107 ab	1.06 a	7.66 a	2.71 a	6.9 bc	3.25 a

* DMRT(0.05).

목탄은 토양물리성 개선, 비료성분의 흡착효과 이외에 공극이 많아 유용한 토양미생물이 번식할 수 있다는 이유로^{6, 9, 12, 13, 14)} 환경농업을 수행하는 농가에서 사용량이 증가하는 추세이다. 또한 국내의 목탄 사용량을 조사한 결과 10a당 150kg 이하가 24%, 180~300kg이 43%, 630kg 이상을 사용하는 농가가 13%이며, 작물별 평균 목탄분말 사용량은 오이 510kg, 토마토 470kg, 고추 330kg 및 상추 300kg으로 조사된 바 있다¹³⁾. 따라서 입도별, 사용량별로 목탄분말을 시용한 후의 토양미생물 변동을 경시적으로 조사한 결과는 Fig. 1, Fig. 2, 및 Fig. 3과 같다.

Rhizobium 屬 세균은 Fig. 1과 같이 대조구에서는 고추 수확초기까지 균수가 가장 적었으나 후기에 증가하였으며, 목탄분말을 처리하였을 때는 생육 초기부터 균수가 증가하였다. 이것은 입도가 작을수록 토양입자와의 접촉면적이 증가하기 때문에 목탄 표면이나 공극내에 미생물이 정착하기가 용이하였던 것으로 사료되며, 목탄분말이 토양으로부터 질소고정 세균의 생육에 필요한 각종 무기양분과 수분 등을 공급하여 미생물 생육에 유리한 환경이 조성된다^{9, 15)}는 결과에 의한 것으로 판단되었다.

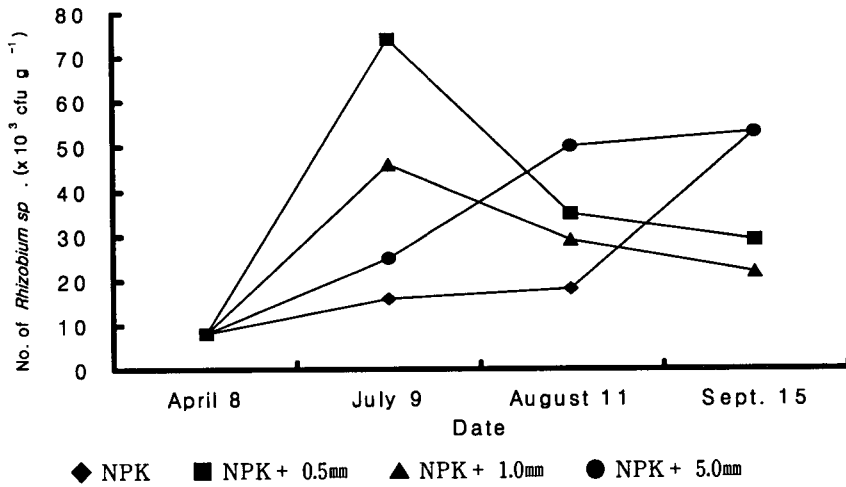


Fig. 1. Rhizobium sp. population as affected by the application of charcoal powder.

Fig 2는 목탄분말 처리에 따른 사상균수의 경시적 변화를 나타낸 것으로 생육초기에 대조구에 비하여 사상균수가 현저하게 증가하였다가 생육후기에는 차이가 없었다. 즉, 고추 생육중기인 7월 9일에 최고에 도달하였던 것으로 보아 작물생육과 밀접한 관계가 있음을 나타내고 있다. 또한 사상균수 역시 질소고정세균처럼 목탄분말의 입도가 적을수록 많은 경향이였다.

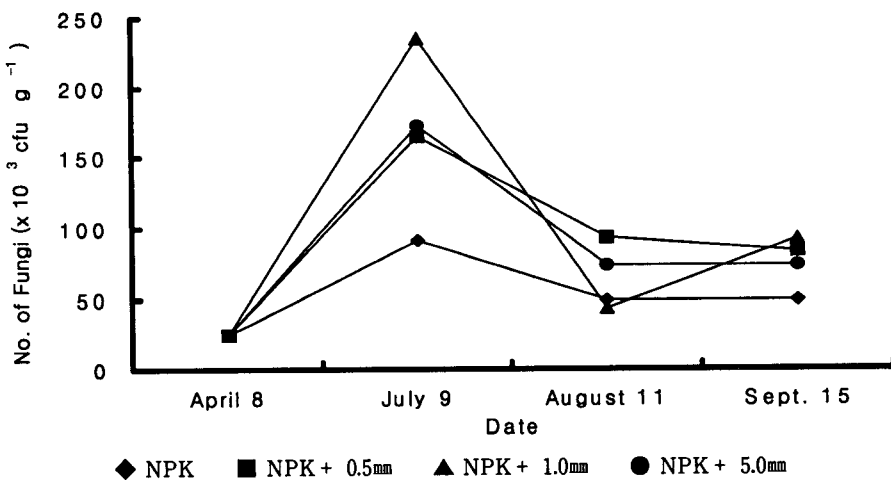


Fig. 2. Fungi population as affected by the application of charcoal powder.

작물생육에 유리한 인 가용화 사상균수의 변동을 조사한 결과는 Fig 3과 같다. 분리된 인 가용화 사상균은 주로 *Aspergillus* 속 이었는데, 입도가 작은 목탄분말을 사용한 경우 증가되었다.

목탄 중 樹皮炭과 赤松炭이 토양 중 미생물수의 증가, 특히 B/F치를 높이는 효과가 있으며, 토양을 細菌型으로 변화시키는 자재로서 가치가 높은 것으로 보고되었다.⁹⁾ 또한 목탄은 식물뿌리에 공생하여 식물의 인산흡수를 향상시킴으로서 작물생육에 유리한 역할을 하는 내생균근의 활성화에도 영향을 주며^{16, 17, 19, 20)} 사상균, 색소 내성균, 방선균, 세균은 모두 목탄의 내부보다는 표면에서 많이 증식되고, 목탄 종류별로 보면 樹皮炭은 미생물의 증식에 적합한 자재인 반면에 활성탄은 미생물 증식에 부적합하다고 보고하였다.⁹⁾

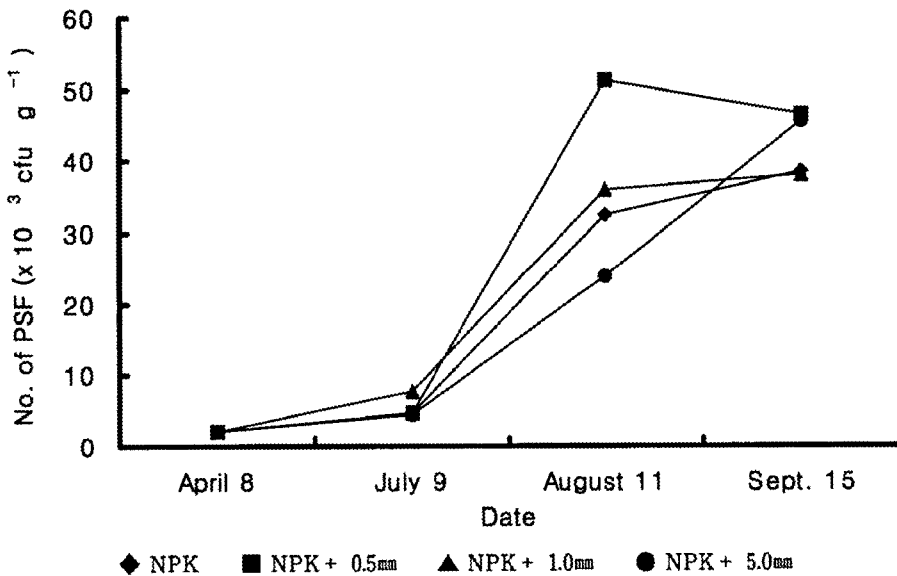


Fig. 3. Population of phosphate solubilizing fungi(PSF) as affected by charcoal powder

앞서 검토한 바와 같이 목탄분말 사용은 고추의 생육기에 따라 토양 미생물상의 변화를 초래하였으며 질소고정균과 사상균은 질소를 많이 요구하는 고추 생육초기 및 중기에 밀도가 현저히 증가하는데 비하여 인 가용화 사상균은 고추 생육후기에 급격히 증가하였다. 이와 같이 목탄분말을 사용할 경우 고추 생육시기에 따른 토양 미생물상의 변화는 양분 요구도가 증가하는 시점에 특정 미생물의 양적 증가를 초래하여 작물에 영향을 미칠 수 있다고 사료된다.

IV. 적 요

유기·자연농업 등 환경친화적 농업을 수행하는 농가에서 많이 사용하고 있는 목탄분말에 대한 특성과약과 작물생육, 토양화학성 및 토양미생물에 대한 영향을 검토하여 목탄분말의 효율적인 이용방안에 대한 기초자료를 얻고자 본 연구를 수행하였다.

목탄분말을 시용하고 고추를 재배한 결과 토양의 pH와 EC는 큰 변화가 없었으며, 대립 목탄분말 처리시 뿌리생육이 저하되어 목탄분말 입경과 뿌리 발육은 밀접한 상관이 있는 것으로 나타났으며, 목탄분말의 입도가 작을수록(5mm < 1mm < 0.5mm) 고추의 수량이 증가되었다. 0.5~1mm 정도의 소립 목탄분말은 식물체의 양분흡수와 이용율을 향상시키나, 과도한 목탄분말 시용은 양분집적을 초래할 수 있기 때문에 고추에 대한 목탄분말의 적정시용량은 300kg 10a⁻¹ 정도인 것으로 판단되었다. 목탄분말 처리로 토양 중의 *Rhizobium* 屬 질소고정균과 사상균 특히, 인 가용화 사상균수가 고추 생육시기에 따라 변화를 나타냈으며, 소립 목탄분말을 처리하였을 때 그 효과가 현저하였다.

참고문헌

1. 조한규. 1995. 조한규의 自然農業. 농림수산정보센터.
2. 조성택. 1998. 목질탄화물 규격화 및 자료개발. 목포대학교 심포지엄. pp.151~176.
3. 韓國有機農業研究會. 1992. 有機農業百科.
4. 흙살림연구소. 1998. 환경농업의 이론과 실제. pp.145~164.
5. 白川憲夫·市川 正·小山良之助. 1995. 木酢液の物性とイネ 生育に及ぼす影響. 農業および園藝 70(6) : 673~676.
6. 김광은·박상범·안경모. 1998. 숯과 목초액. 한림저널사.
7. 김의정·김재성·김재현·성규철·정상기·정하현. 1998. 폐목재의 발생 및 재활용 실태. 임업연구원 연구자료. 제142호.
8. 이주삼. 1995. Ladino clover(*Trifolium repens* L.)의 건물생산에 미치는 chitosan 용액의 전면시용 효과. 한국유기농업학회지 4(2) : 79~85.
9. 木材炭化成分多用途利用技術研究組合. 1990. 木炭と木酢液の 新用途開發研究成果. pp.191~248.
10. 농촌진흥청. 1995. 해외농업기술정보 제38호. 외국의 유기농업.
11. 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법. pp.35~99.

12. 박상근 · 이응호 · 신영안 · 이지원. 1992, 원예토양 탄소시용법 개발 연구. 목질탄화물의 성분이용 연구보고서(Ⅲ). pp.51~64.
13. 석현덕 · 장철수 · 서영완. 1998. 목질 탄화물의 농 · 축산업적 이용현황과 전망. 목포대학교 심포지엄. pp.129~150.
14. 윤봉기. 1998. 목질 탄화물을 이용한 토양개량과 안전농산물생산. 목포대학교 심포지엄. pp.85~99.
15. Kandasamy, D. and N. N. Prasad. 1979. Colonization by rhizobia of the seed and roots of legumes in relation to exudation of phenolics. Soil Biol. Biochem 11 : 73~75.
16. Kucey, R. M. N. 1987. Increased phosphorus uptake by wheat and field beans inoculated with a phosphorus-solubilizing *Penicillium bilaji* strain and with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Appl. Environ. Microbiol 53 : 2699~2703.
17. Moghimi, A., D. G. Lewis and J. M. Oades. 1978. Release of phosphate from calcium phosphate by rhizosphere products. Soil Biol. Biochem 10 : 277~281.
18. Molla, M. A. Z., A. A. Chowdhury, A. Islam and S. Hoque. 1984. Microbial mineralization of organic phosphate in soil. Plant and Soil 78 : 393~399.
19. Trasar-Cepeda, M. C. and F. Gil-Sotres. 1987. Phosphatase activity in acid high organic matter soils in galicia(NW Spain). Soil Biol. Biochem 19 : 281~287.
20. Yahya, A. I. and S. K. Al-Azawi. 1989. Occurrence of phosphate solubilizing bacteria in some Iraqi soils. Plant and Soil 117 : 135~141.