

## 탄화물이 토양미생물 및 고추 생육에 미치는 영향<sup>1</sup>

안병준<sup>2</sup> · 조성택<sup>2</sup> · 조태수<sup>2</sup> · 이성재<sup>3</sup> · 이윤수<sup>4</sup>

### Effect of Wood Charcoal and Pyroligneous Acid on Soil Microbiology and Growth of Red Pepper<sup>1</sup>

Byoung Jun Ahn<sup>2</sup>, Sung Taig Cho<sup>2</sup>, Tae Su Cho<sup>2</sup>,  
Sung Jae Lee<sup>3</sup> and Yoon Su Lee<sup>4</sup>

#### 요 약

목재의 탄화과정 산물인 목탄과 목초액의 농업적 이용의 일환으로 고추 생육 및 토양미생물에 미치는 영향을 조사하였다. 목탄과 목초액을 토양에 처리할 경우 토양을 중성으로 개량하는데 효과적이고 토양의 이화학적성질이 유용 미생물이 생육하기에 적합한 환경조건으로 변화되어 토양 내 유용미생물의 밀도 증가로 나타났다. 고추의 생육에 있어서도 탄화물 처리로 고추모의 길이, 직경생장 및 고추 결과 수가 증가되었다. 특히 결과 수에서는 목탄 1kg, 목초액 1000배액 및 세균 처리에 의하여 대조구보다 약 50% 정도의 증수 효과를 나타냈다. 고추모의 길이 및 줄기직경 증가는 노지에서 여러 가지 환경 변화 요인에 대한 저항성을 갖게 하여 최종 수확량의 증대로 나타날 것으로 사료된다. 고추 탄저병균에 대한 길항성 실험에서는 목초액 농도 2배, 10배에서는 곰팡이가 사멸되었고, 100배, 1000배 희석농도에서는 대조구보다 성장 속도가 둔화되었다.

#### ABSTRACT

As a part of agricultural utilization of charcoal and pyroligneous acid, the effect of wood carbonization products on the growth of red pepper and soil microorganisms was investigated. The treatment of charcoal and pyroligneous acid provided good growth conditions to microorganisms through neutralizing soil acidity and improving the physicochemical properties of soil. Therefore the density of useful microorganism in the soil has been increased. In the growth of red pepper, the length, diameter, and the fruit numbers of red pepper have been increased by treating with wood carbonization products. It was especially shown that yield has increased about 50% in the fruit number, by treating charcoal 1kg, 1000 time-diluted

1. 접수 2003년 12월 20일 Received on December 20, 2003
2. 국립산림과학원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea
3. 강원도 산림개발연구원 Kangwon Forest Development Research Institute, Chunchon 200-939, Korea
4. 강원대학교 식물응용과학부 Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

solution of pyroligneous acid and bacteria, compared with the control. It was estimated that increasing the length of seedling and the diameter of red pepper stem contributed to the resistance against the prerequisites of various environmental changes in open field. Therefore, the final yield would be increased. In the antagonism experiment of red pepper mold (*Colletotrichum gloeosporioides*), the mold became extinct in the 2- and 10-time diluted solution of pyroligneous acid, compared with the control. On the other hand, their growth speed was delayed in the 100- and 1000 time-diluted solution.

**Keywords** : charcoal, pyroligneous acid, red pepper, *Pseudomonas fluorescense*, *Colletotrichum gloeosporioides*, colony, soil

## 서 론

현재 우리나라에서 작물을 재배하는 대부분의 토양은 화학비료의 과다 사용과 연작으로 산성을 나타내고 있지만 화학비료의 사용량은 지속적으로 증가하고 있어, 환경오염뿐만 아니라 인체에도 유해한 영향을 끼치고 있다. 우리나라는 리우환경회담에 따라 2010년에는 화학비료 사용량을 현재의 50% 수준으로 낮추야 하지만 OECD 회원국 중 단위면적당 농약 사용량이 가장 높은 실정이다. 화학비료와 화학농약을 다량 사용하면 토양 내의 유용미생물이 서식할 수 없고, 유용 미생물의 생성물질이 작물에게 영향을 미치지 못하기 때문에 원활한 작물 생육이 어렵게 된다. 따라서 화학비료와 화학농약 사용을 줄이는 친환경 영농법에 대한 연구가 광범위하게 요구되고 있는 실정이다.

농업 분야에서는 이러한 탄화물을 감퇴된 토양의 힘을 살리는 토양개량제, 농작물의 생육촉진제, 미네랄 양분의 공급, 근권 토양 내 유용미생물 증대 등에 관한 효과를 검토하고 유효한 이용법을 어느 정도 확립하는 단계에 있으며 다각적인 용도 개발에 주력하고 있다. 특히 일본에서는 간벌재와 용재로 이용하기 곤란한 나무를 사용하여 목탄과 목초액을 생산하여 그 이용성과 효과에 관해 연구하며 활용하고 있다. 또한 골프장과 같이 다량의 비료

와 농약 사용이 불가피한 분야에 있어서도 비료 사용량을 효과적으로 감소시킬 수 있다<sup>(1)</sup>

목탄의 가장 중요한 특성은 다공성이다. 목탄의 표면적은 100~300m<sup>2</sup>/g로서 매우 크기 때문 투수성 및 보수력을 증진시키며, 비료나 농약성분을 흡착하였다가 식물의 요구에 따라 서서히 방출하는 능력을 가지고 있다. 이러한 특성을 이용하여 토양을 개량하는 방법은 이미 오래 전부터 시도되어 왔다. 또한 화학적으로 탄소와 미네랄에 의해 토양의 산화 방지와 pH 조절 및 미량원소를 보급한다.

식물의 생육을 촉진하는 미생물로서 콩과에 공생하는 뿌리혹박테리아, 여러 식물에 공생하는 VA균근균, 버섯류 같은 공생미생물과 PGPR(Plant Growth Promoting Rhizobacteria)이나 PGPF(Plant Growth Promoting Fungi)와 같은 근권미생물이 알려져 있다. 식물과 미생물은 서로 협력하면서 공생관계를 맺고 있다. 그러나 미생물과 공생한 식물의 생육은 모두 촉진된다고는 할 수 없고, 미생물의 공생밀도에 따라 반대로 생육이 억제되는 경우도 있다. 또한 식물호르몬은 일반적으로 생육을 촉진하는 것으로 알려져 있지만, 농도에 따라서는 제초제로 이용되는 경우도 있고, 반대로, 2,4-D와 같은 제초제가 극히 묽은 농도에서 생육촉진제나 착과제로 이용될 수 있다<sup>(2)</sup>.

목초액도 공생미생물이나 식물호르몬과 같은 형태로 처리농도에 따라 그 효과가 전혀

다르다. 따라서 목초액을 생육촉진자재로 이용하는 경우에는 사용 농도에 충분히 주의를 기울일 필요가 있다. 또한 수종 차이에 따라 품질이나 유효성분에 대한 실험결과에서도 흔히 볼 수 있는 것과 같이 목초액의 방제효과는 화학합성농약과 비교하여 불안정하기도 하고, 효과가 완만하게 나타난다. 또한 채취하는 수종이 다르다면 품질도 다소 상이하다.

본 실험에 사용된 *Pseudomonas fluorescence* 는 토양 미생물로서 2,4-diacetylphloroglucinol 이나 phenazine-1- carboxylate와 같은 항생물질을 생성하여 병 저항성을 유도하며, 작물의 성장을 돕고 수확량을 증가시키는 효과가 있다고 보고하였다<sup>(11)</sup>. 그런데 *Pseudomonas fluorescence* 세균이 길항성을 보이기 위해서는 토양 내에 세균 밀도가 증가해야 하는데 그러기 위해서는 토양의 pH가 6.5-7.5, 철, 아연, 붕소, 구리, 마그네슘 등 무기물의 함량이 높아야 효과가 좋다. 따라서 본 연구에서는 탄화물을 토양에 처리하여 pH 증가, 세균증식 유도, 작물의 병 저항성 향상 및 작물의 생산량 증가 여부를 조사하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1 공시재료 및 토양

실험용 토양으로는 다른 미생물에 의한 고추의 생육이 영향을 받지 않게 하기 위하여 멸균토양을 사용하였다. 멸균처리 된 토양을 4개의 처리구별로 10개 포트씩 조제하여 혼합하였다. 처리 1구는 목탄(1kg/m<sup>2</sup>), 목초액(1,000배) 및 세균처리(*Pseudomonas fluorescence*), 처리 2구는 목초액(1,000배)과 세균처리(*P. fluorescence*), 처리 3구는 세균처리(*P. fluorescence*), 처리 4구는 다른 처리구와 비교하기 위하여 대조구로 하였다. 목초액 처리구에는 1,000배액의 목초액을 포트 표면의 토양이 완전히 젖을 정도로 충분히 처리하였다. 대조구는 물로만 처리하였으며, 목초액 처리 1주일 후 고추묘목을 포트에 1개씩 식재하였다.

### 2 세균배양 및 접종

-80℃에 보관되어 있는 *P. fluorescence* 세균을 K·B(King' B Media, Proteose peptone No.3 20g, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 1.5g, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 1.5g, Glycerol 15ml, Agar 15g)배지에 24시간 동안 인큐베이터 내에서 배양하고, 육안으로 확인할 수 있는 상태에서 *P. fluorescence* 세균을 500ml의 K·B broth에서 다시 24시간 동안 진탕 인큐베이터에서 배양 후 100ml을 1ℓ K·B broth에 분주하고 24시간 동안 진탕 인큐베이터에서 배양하였다. 배양된 세균을 고추 묘목을 이식한지 일주일 정도 지난 상태에서 한 개의 포트 당 배양된 세균을 300ml 정도로 고추를 중심으로 5cm의 간격을 두고 4군데에 각각 분주 접종하였다.

### 3 성적조사

#### 3.1 *P. fluorescence* 세균의 밀도조사

세균을 접종 후 10일 간격으로 1처리구별로 3개 포트씩 토양을 채취하여 1g당 균 밀도를 조사하였다. 균 밀도 조사방법은 생토 10g을 일정한 포트에서 채취한 다음 그늘에서 건조한 후 그 중 1g을 100ml의 증류수에 희석하여 그 중 1ml을 10<sup>6</sup>이 되도록 희석하였다. 그리고 *P. fluorescence* 세균이 선택적으로 자라는 K·B 고체배지를 만들고 조제된 배지를 충분히 냉각시킨 후에 10<sup>6</sup>의 토양 희석액 250μl를 배지 표면에 도말하였다. 도말 후에 37℃의 인큐베이터에서 24시간 배양한 후에 형성된 균을 3650Å 자외선을 쬐어서 형광색을 발광하는 균 숫자를 계수하였다.

#### 3.2 고추모의 신장생장, 직경생장 및 결과수 조사

조사일수는 10일 간격으로 전수조사를 하였고, 고추모의 신장생장과 직경생장 및 결과수를 간격별로 조사하였다.

### 3.3 토양의 이화학적 성질

시험토양의 이화학적 성질변화를 조사하였다. 시험 전, 후 토양 300g을 채취하여 그늘에서 3~4일 정도 수분이 제거될 정도로 충분히 건조시킨 후 강원도 농업기술연구원에 의뢰하여 비교 분석하였다.

### 3.4 고추탄저병의 길항성 검정

공시균주는 농촌진흥청 농업 미생물 보존센터에서 분양받은 고추탄저병 균주(*Colletotrichum gloeosporioides*)를 사용하였다. 길항성 검증 배지조성은 목초액 희석농도 2배, 10배, 100배, 1000배의 조성으로 하였으며, 목탄가루 희석농도는 5g/l, 10g/l, 15g/l, 20g/l 조성으로 조제하여 사용하였다. 또한 각 각의 조건을 교차하여 배지를 조제하여 고추탄저병 길항성의 유무를 대조구와 비교하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 탄화물 처리에 따른 *P. fluorescence*

#### 세균 밀도 변화

탄화물 처리에 따른 토양 내 *P. fluorescence* 세균 밀도 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 탄화물과 균 처리에 따라 토양 내의 *P. fluorescence* 세균의 밀도 형성계수는 처리 1구(목탄 1kg+목초액 1000배액+세균처리), 처리 2구(목초액+세균처리), 처리 3구(세균처리) 순서로 높은 반면, 대조구에서는 세균 밀도 증가가 아주 완만한 상태를 나타내고 있다. 결과적으로 목탄과 1000배 목초액 처리는 *P. fluorescence* 세균의 생육에 양분을 제공하고 활력을 증진시켜 주는 것으로 사료된다. 탄화물과 균 처리 후 50일까지는 탄화물 처리구와 큰 차이를 나타내고 있지 않았으나, 접종 70일 후에 가장 높은 수치를 기록한 것은 기온이 높은 7월경이라 세균의 활동이 외부

환경 조건과 일치하여 수치가 높아진 것으로 판단된다. 대조구도 목초액 및 목탄가루를 처리하지 않음에도 불구하고 자연적으로 세균 밀도가 증가하는 것을 확인하였다. 그 이후에는 세균 밀도 형성 계수가 전체적으로 감소하는 것을 볼 수가 있었다. Saito 등<sup>(10)</sup>은 작물의 지속적인 생산과 환경보전을 유지하는데 유익한 *arbuscular mycorrhizal*(AM)의 토양 접종실험에서, 목탄은 다공질이며 약알칼리성으로 AM균 접종의 매개체 및 서식처로서 토양 내에서 작용함으로써 목탄 처리가 유용하다고 하였으며, 목초액은 유기물의 분해를 가속화하여 식물의 영양과 부식을 생성하며, 이때 생성되는 후민산, 히마토메란산 등은 식물의 생장을 촉진시키며, 토양에 목초액을 산포하면 유용한 토양미생물 발생이 현저해 진다고 보고하였다<sup>(2)</sup>.

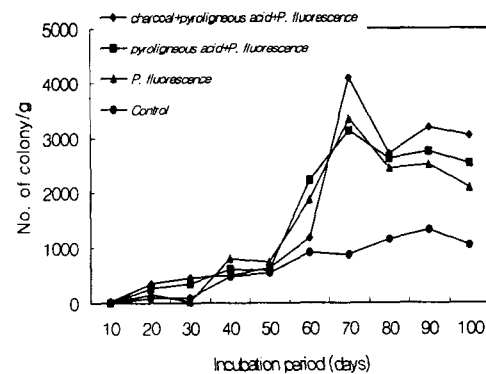


Fig. 1. Changes of *Pseudomonas fluorescence* colony during incubation period.

### 2. 탄화물이 고추 생육에 미치는 영향

탄화물이 고추 생육에 미치는 영향은 Fig. 2~5와 같다. 고추의 길이생장은 처리 1구가 가장 우수하였으며, 처리 2구와 처리 3구는 대조구와 확실히 차이가 있었지만 두 구간의 차이는 크지 않았다(Fig. 2).

그러나 처리 1구는 대조구와 비교하여 20 cm 이상의 길이 증가가 나타났다(Fig. 2). 또한 고추모의 줄기 직경에서도 처리 1구가 대조구보다 1.8mm 증가하여 탄화물 처리에 따른 고추모의 생육 증진효과를 확인할 수 있었다(Fig. 3, Fig. 5). 이러한 고추모의 길이 및 줄기직경 증가는 노지에서 여러 가지 환경 변화 요인에 대한 저항성을 갖게 하여 최종 수확량의 증대로 나타날 것으로 판단된다. 고추의 결과수에 있어서도 고추모의 길이 및 직경생장에서 보인 결과와 비슷한 경향을 보였다. 특히 결과 수에서는 처리 1구가 대조구와 비교했을 때 50% 정도의 증수 효과를 나타내었다. 그리고 처리 2구와 처리 3구 역시 대조구보다 우수한 결과수를 나타내었다(Fig. 4, Fig. 5).

社冠華 등<sup>(7)</sup>은 여름에 식재된 사탕수수 재배에 목탄과 목초액 혼합물을 이용하여 사탕수수 줄기 중량, 길이 직경 및 당 함량 등 수확구성요소가 증가하였음을 보고한 바 있다. 결과적으로 pot에 어떠한 영양분 또는 비료도 주지 않은 상태에서 목탄 분말과 목초액 균 처리에 의해서 이와 같은 생육의 차이를 보이는 것은 목탄, 목초액 및 균이 토양 내에서 서로 유용한 기작에 의하여 고추의 생육을 촉진하는 것으로 사료된다. Lehmann 등<sup>(8)</sup>도 목탄 분말을 토양에 첨가하여 식물 생육 등을 조사한 실험에서, 목탄 처리를 함으로써 식물 성장 및 토양 내 영양성분 함량이 증가하고, 식물에 의한 질소, 칼륨, 칼슘, 아연 및 구리성분의 흡수가 증가하며, 토양 내 유용성분의 용탈량이 감소함으로써 지속적인 효과를 나타낼 수 있다고 하였다. 한편 작물의 맛과 관련하여 Uddin 등<sup>(12)</sup>은 목초액과 목탄 혼합물을 메론에 적용할 경우 sucrose 함량을 증가시키는 것으로 보고하였다.

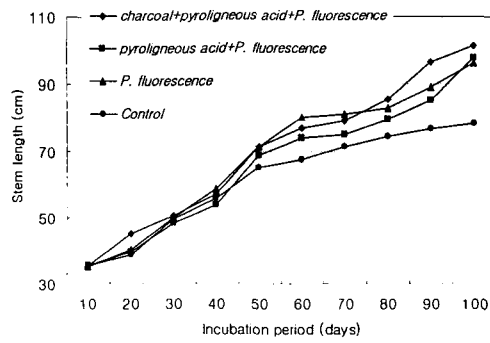


Fig. 2. Changes of stem length of red pepper during incubation period.

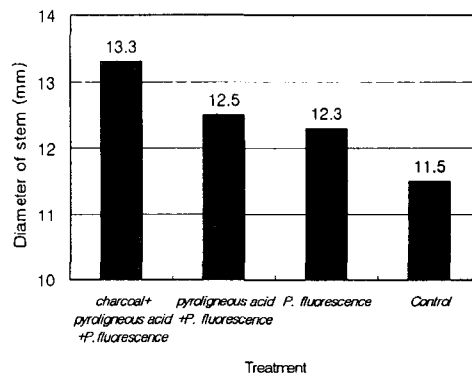


Fig. 3. Changes of diameter of red pepper stem according to treatment.

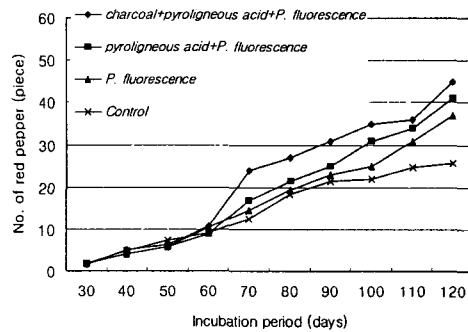


Fig. 4. Changes of number of red pepper during incubation period.



Fig. 5. State of red pepper growth according to treatment.

3. 토양의 이화학적 성질 변화

시험토양을 철판 위에 넣고 불을 가열하여 토양이 먼지처럼 수분이 완전히 제거될 때까지 전체 살균 처리하였으며, 살균 처리된 토양에 목탄, 목초액 및 균을 처리하였다. 시비 전, 후 토양의 이화학적 성질을 비교 분석하였으며 나타내었다(Table 1). pH의 경우 목탄, 목초액 및 세균을 처리한 구에서 6.5로 대조구의 6.0보다 증성을 나타내었다. 전기전도도, 유기물,

유효인산, 칼슘 함량의 경우에는 목초액과 세균을 처리한 구가 다른 처리구에 비해 가장 높았다. 또한 목탄, 목초액, 세균 처리구와 목초액, 세균 처리구에서 마그네슘, 칼륨양이 높았다. 이와 같은 결과로 보아 무처리구에 비해 목탄, 목초액, 세균처리로 인해 토양 내부의 이화학적 성질이 작물의 생육과 *P. fluorescence* 세균 활력에 유리하게 개선되어지고 있다는 것을 알 수 있다.

목재를 탄화하여 얻어지는 목초액 중에는

Table 1. Physico-chemical properties of soil before and after various treatment.

Treatment	pH (1:5)	EC (ds/m)	OM (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Ca	Mg	K
					(cmol(+)/Kg)		
Charcoal + Pyroligneous acid + <i>P. fluorescence</i>	6.5	0.90	3.0	670	3.42	0.31	1.31
Pyroligneous acid + <i>P. fluorescence</i>	6.3	1.68	2.1	616	3.31	0.25	1.32
<i>P. fluorescence</i>	6.4	0.88	1.2	658	3.21	0.18	1.03
Control	6.0	0.17	1.1	546	2.07	0.25	1.09

주요 비료성분인 질소, 인산 및 칼리는 거의 포함되어 있지 않지만, 목초액을 비료와 혼합하여 사용할 경우 비료의 흡수 효과를 개선시키며, 토양 중의 질소, 인산 및 칼리의 잔류량을 감소시킨다<sup>(4,5)</sup>. 또한 목탄이나 목탄분에는 투수성 개선 등 토양개량효과 이외에도 미네랄 보충, 유용미생물의 활성화 및 과잉양분이나 농약을 흡착하는 효과가 있는 것으로 보고되고 있다<sup>(6)</sup>.

#### 4. 고추탄저병의 길항성 검정

고추탄저병에 대한 탄화물의 길항성 검증을 위하여 목초액 희석농도 2배, 10배, 100배, 1000배액과 목탄가루 희석 농도는 5g/ℓ, 10g/ℓ, 15g/ℓ, 20g/ℓ 조성으로 조제하였다. 목초액의 경우 2배 및 10배 희석 농도에서는 균사체가 사멸되었고 희석농도가 100배에서는 대조구와 약간의 차이만을 나타내었다. 목탄을 처리한 배지에서는 15g/L, 20g/L에서 높은 길항성을 보였는데, 균사체가 조금 발달하다 소멸되는 것을 확인할 수 있었다.

목초액에 대한 감수성은 미생물 종류에 따라 상이하다. 목초액의 세균 억제력은 높은 반면, 곰팡이 생장 억제력은 낮은 경향이 있다. 토마토 청고병균(세균)은 200배액 희석액으로도 완전히 생육이 억제되지만, 야채류의 탄저병균(곰팡이)은 50배 이하의 희석액에서 생육 억제가 가능하다고 하였다<sup>(3)</sup>. 병해방제에 목초액을 이용한 경우, 병원균을 완전히 억제할 수 있는 농도보다 다소 묽은 농도에서 사용하는 것이 미생물의 다양화 측면에서 유리하며, 목초액 성분도 많은 성분이 포함된 미정제 상태가 효과적이다.

한편 표고버섯 등의 해균에 대한 초산 및 목초액의 해균방제 실험에서 초산 및 목초액은 표고버섯 자실체의 발생을 저해하는 것이 아니라 *Trichoderma harzianum* 균사생장을 현저하게 억제하는 것이 밝혀져 표고버섯 완숙균상에의 해균감염의 유력한 방제약제로서 사

용이 가능하며, 약제사용은 해균 감염 후보다는 감염 전에 사용하는 것이 효과적이라고 발표하였다<sup>(2,9)</sup>.

### 결론

탄화물의 농업적 이용의 일환으로 유용미생물과 함께 처리하여 토양 내 미생물 밀도 및 고추 생육 등을 조사한 결과는 다음과 같다.

목탄과 목초액을 토양에 처리할 경우 토양을 중성으로 개량하는데 효과적이고 토양의 이화학적성질이 유용 미생물이 생육하기에 적합한 환경조건으로 변화되었으며, 특히 목탄 1kg, 목초액 1000배액 및 *P. fluorescence* 세균을 처리한 토양에서는 *P. fluorescence* 세균 밀도가 대조구와 비교하여 최고 3배 이상 높게 나타났으며, 목탄이 유용 미생물의 매개체 및 서식처로서 작용한 것으로 사료된다. 고추의 생육에 있어서는 목탄과 목초액 처리로 20cm 이상의 고추모의 길이 증가가 나타났으며, 직경생장 및 고추 결과 수에 있어서도 유사한 결과를 나타내었다. 고추모의 길이 및 줄기직경 증가는 노지에서 여러 가지 환경 변화 요인에 대한 저항성을 갖게 하여 최종 수확량의 증대로 나타날 것으로 판단된다. 특히 목탄 1kg, 목초액 1000배액 및 *P. fluorescence* 세균을 처리한 구를 대조구의 고추 결과 수와 비교했을 때 50% 정도의 증수 효과를 나타내었다. 고추 탄저병균의 기내에서의 길항성 실험에서도 목초액의 농도가 2배, 10배에서는 곰팡이가 사멸되었고 100배, 1000배에서는 대조구보다 성장 속도가 둔화되었다.

### 참고 문헌

1. 이상재, 허근영. 2002. 목초액의 잔디 생육 효과 - 용평 골프 코스 그린을 대상으로. 한국조경학회지. 30(2):95-104
2. 目黒貞利, 河内進策, 田中貴司. 1992. 酢酸および木酢液によるシタケ害菌の防除. 日本 木材學會誌 68(11):1057-1062

3. 木嶋利男. 2001. 木酢液の生育促進効果と病害防除について. 特産情報 2001年 7月号:24~27
4. 三枝 敏郎. 1998. 木酢液の研究 - 木酢液の有機農業における效用. 特産情報 1998年 12月号:72~74
5. 三枝 敏郎. 1997. 有機農業への木酢液の利用—農業による環境破壊の軽減. 特産情報 1997年 8月号:64~66
6. 美濃健一. 1997. 農業用資材としての木炭粉理化学的特性. 特産情報 1997年 11月号:64~67
7. 社冠華, 小川正則, 安藤定美, 續榮治, 村山盛一. 1997. 木酢液と木炭の混合物がメロン果實のスクロース含量に及ぼす影響. 日本作物學會記事. 66(3):369-373
8. Lehmann, J., Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and B. Glaser. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central Amazon basin:fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*. 249:343-357
9. Ohta, A. and L. Zhang. 1994. Acceleration of mycelial growth and fruiting body production of edible mushrooms by wood vinegar fractions. *Mokuzai Gakkaishi*. 40(4):429-433
10. Saito, M. and T. Marumoto. 2002. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi:the status quo in Japan and the future prospects. *Plant and Soil*. 244:273-279
11. Timms-Wilson, T. M., R. J. Ellis, A. Renwick, D. J. Rhodes, D. V. Mavrodi, D. M. Weller, L. S. Thomashow, and M. J. Bailey. 2000. Chromosomal insertion of phenazine-1-carboxylic acid biosynthetic pathway enhances efficacy of damping-off disease control by *Pseudomonas fluorescens*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 13(12):1293-1300
12. Uddin, S. M. M., Murayama, S., Ishimine, Y., Tsuzuki, E., and J. Harada. 1995. Studies on Sugarcane Cultivation - II. Effects of the mixture of charcoal with pyroligneous acid on dry matter production and root growth of summer planted sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Jpn. J. Crop Sci.* 64(4):747-753