

## 활성탄 혼합 비율에 따른 상토의 이화학적 변화와 참외(*Cucumis melo* L.)묘의 생육

김갑철\* · 엄미정 · 문영훈 · 최영근  
전라북도농업기술원

### Changes in the Physico-Chemical Properties of Growing Media and the Growth of Oriental Melon Seedlings(*Cucumis melo* L.) by Charcoal Application

Kab-Cheol Kim\*, Mi-Jeong Uhm, Young-Hun Moon, and Yeong-Geun Choi  
Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Service, Iksan 570-704, Korea

**Abstract.** To investigate the effect of charcoal on the physico-chemical characteristics in the growing media and the growth of oriental melon, six treatments, 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% charcoal, were added into the growing media, Baroker. The value of pH in the charcoal contained growing media (CGM) was recorded higher and further increased by raising the charcoal ratio and by growing period. In 20% CGM, the range of pH was adequate to grow crop as 5.2~5.8. Contents of Ca and K in CGM increased by raising the ratio of charcoal, while contents of Mg and Na decreased. The growth of oriental melon seedlings in 20% and 30% CGM was better than in other treatments, in terms of fresh and dry weight of shoot, plant height, leaf area, leaf width and relative growth rate. Both the physico-chemical properties of growing media and the growth of oriental melon seedlings were changed by the addition of charcoal. These results suggest that charcoal can be used as mixing material with other potting media for producing the seedling of good quality.

**Key words :** charcoal, potting media, oriental melon, substrate.

\*Corresponding author

## 서 언

과채류의 생산에 있어서 가장 큰 영향을 미치는 것은 육묘과정이다. 육묘에서 가장 기본이 되는 것은 상토로서, 좋은 상토는 보수성이 높고 공극률과 양수분의 유지능력이 높으며, 쉽게 혼합하여 사용할 수 있어야 한다.

근래에 들어 활성탄의 농업적 이용에 대하여 관심을 갖고 작물 및 축산 등 여러 분야에서 적용하려는 연구가 진행되고 있으며, 활성탄의 다양한 효과가 인정되기도 하였다. 고추연작지에서 활성탄의 시용에 의하여 pH 상승, 무기성분흡수, 작물생육이 촉진되었으며(Park 등, 1993), 활성탄을 첨가하여 시금치, 청경채, 상추, 배추 등 엽채류를 재배한바 생육이 진전되고 토양의 염류집적방지 효과가 있었다(Yim 등, 1998).

최근 농산물의 품질과 안전성에 대한 관심과 양질의 농산물의 소비자요구가 증가함에 따라 관행농법과는 다른 농법으로 농산물을 생산하는 농가가 증가하는 추세에 있지만, 사용되고 있는 자재에 대한 정밀한 검토가 결여되어 일부 민간단체의 제조기술 및 이용방법만이 보급되어 사용되고 있는 실정이다. 본 시험에서는 이들 자재들 중 활성탄의 특성과 이용방법 및 작물에 미치는 효과를 구명하기 위하여 참외를 대상으로 육묘상토에 활성탄을 첨가하여 육묘시 상토환경의 이화학적 변화와 묘의 생육증진효과를 알아보고자 하였다.

## 재료 및 방법

본 실험의 육묘는 유리온실에서 수행되었다. 실험에

사용된 참외 품종은 황진이(농우종묘)로 종자를 2일간 물에 침종하여 최아시킨 후 35 cm(W)×53 cm(L)×8 cm(H)의 트레이에 바로커상토(서울농자재)를 채운 후 파종하였다. 활성탄(한국목초액, 입경 2~3 mm)과 상토의 혼합비율을 달리하여 흑색비닐 개별포트(φ8 cm, H7.5 cm, 200 ml)에 참외묘를 이식한 후 임의배치법으로 배치하여 25일간 육묘하였으며, 육묘기간중 수분공급은 저면관수하여 동일량이 공급되도록 하였다.

상토와 활성탄의 혼합비율은 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50(V:V)으로 6처리를 하였다. 참외묘의 생육은 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준에 의하여 조사하였고, 육묘상토 및 식물체는 처리마다 동일 조건의 위치에 있는 20개체를 채취하여 분석시료로 사용하였다. 활성탄 및 상토의 분석시료는 80°C dry oven에서 완전 건조 후 분쇄한 시료 0.5 g에 진한 HNO<sub>3</sub> 10 ml를 첨가하여 마이크로 웨이브추출장치에서 분쇄한 여액을 Ammonium meta vanadate법으로 P 함량을 비색(HP 8452A) 측정하였다. 무기물 및 중금속은 분해여액을 증류수로 희석하여 ICP로 분석하였다. T-N는 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 혼액으로 분해하여 Kjeldahl 증류법으로 분석하였으며, pH 및 EC는 시료와 증류수를 1.5(V:V)의 비율로 하여 pH meter(Orion EA 940) 및 EC meter(Istek 450C)로 측정하였다. 상토의 수분함량은 상토수분무게를 잰 상토의 무게로 나누어 백분율한 중량수분함량(%), W/W)으로, 용적밀도는 100 cc Core를 이용하여 포트에 담겨진 상토와 Core의 부피에 대한 건조상토의 무게를 계산하여 측정하였으며 육묘상토의 수분변화량은 포화상태로 수분을 충분히 공급한 후 24시간 간격으로 포트 전체의 무게를 측정하여 중량수분함량으로 하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 상토의 이화학적성

시험에 사용된 상토는 코코피트 65~70%와 피트모스 8~12%, 질석, 제올라이트, 펄라이트를 혼합한 것으로, 이 중 코코피트와 피트모스는 90% 이상의 공극률을 가지며 수분흡수력이 매우 크고 통기성이 좋은 것으로 알려져 있다. Table 1, 2는 상토와 활성탄의 이화학적 특성을 나타낸 것으로 시험에 사용된 상토의 수분함량은 42.6%(W/W), 포장용수량은 227%(W/W), 용적밀도는 0.15 g·cm<sup>-3</sup>로 조사되었으며, EC는 1.1 dS·m<sup>-1</sup>, 무기물함량은 Ca 8.3 cmol<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup>, Mg 20.7 cmol<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup>, K 43.2 cmol<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup>이었다. 활성탄은 pH 8.6으로 알칼리성이었고, K<sub>2</sub>O의 함량은 1.36%로 다른 무기성분에 비해 많았으며, 중금속은 Fe 154 mg·kg<sup>-1</sup>, Zn 14.5 mg·kg<sup>-1</sup>으로 Fe의 함량이 많았으나 Cd, Cr 등은 검출되지 않았다.

용적밀도는 토양의 구조를 잘 반영해 주는 것으로 통기성 및 물의 보수력, 작물의 생육상을 알게 하는 기준이 되고 물리적 인자로서 다른 물리 화학적 특성에 영향을 주며 공극율과는 반비례 관계에 있다 (Beardsell 등, 1979; De Boodt와 Verdonck, 1971). 육묘에 영향을 미치는 상토의 용적밀도는 활성탄의 첨가에 따라 Fig. 1과 같이 변화가 있었는데, 이식하기 전 상토의 용적밀도는 활성탄을 혼합한 비율에 따라 0.145~0.338 g·cm<sup>-3</sup>로 활성탄의 혼합비율이 높을수록 증가하였다. 이식 후 20일이 지난 후는 0.208~0.393 g·cm<sup>-3</sup>으로 처리간 모두 같은 경향으로 증가하였는데 관수에 의해 입단이 파괴되거나 공극을 미세입자가 막아버리기 때문인 것으로 생각한다.

Table 1. Properties of growing media used in the experiment.

Moisture content (%)	Bulk density (g·cm <sup>-3</sup> )	pH (1:5)	EC (dS·m <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> )	Exchangeable cations (cmol <sup>+</sup> ·kg <sup>-1</sup> )		
					Ca	Mg	K
42.6	0.15	4.2	1.1	537	8.3	20.7	43.2

Table 2. Chemical properties of charcoal used in the experiment.

pH (1:5)	EC (dS·m <sup>-1</sup> )	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe Zn Cr Cd			
								(mg·kg <sup>-1</sup> )			
8.6	1.5	0.2	0.16	0.44	0.07	1.36	0.02	154	14.5	ND	ND

Charcoal granule : about 2~3 mm diameter

활성탄 혼합 비율에 따른 상토의 이화학적 변화와 참외(*Cucumis melo* L.)묘의 생육

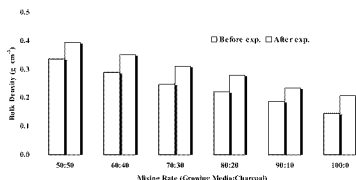


Fig. 1. Comparison of bulk density between before and after the experiment in the growing media mixed with charcoal.

Table 3. Changes in moisture content of charcoal-contained growing media during the growing period.

Mixing ratio (V/V)	Moisture content (%)							
Growing media : Charcoal	FMO <sup>2</sup>	May.27	May.28	May.29	May.30	May.31	Jun.1	Jun.2
50 : 50	135	125	102	75	52.8	32.9	18.4	13.9
60 : 40	153	142	119	88	62.6	39.6	21.7	15.9
70 : 30	171	159	133	97	69.5	44.1	24.7	17.8
80 : 20	193	180	152	108	70.1	48.9	26.9	18.4
90 : 10	222	205	171	121	78.9	48.4	24.7	18.6
100 : 0	227	212	181	132	88.3	52.9	27.5	19.1

<sup>2</sup>FMO field moisture capacity

Table 3은 상토내의 수분변화량을 나타낸 것으로, 상토 100%의 포장용수량은 227%로 가장 크고 활성탄 함유비율의 증가에 따라 감소하여 활성탄 50% 혼합상토에서 135%였으며, 활성탄 20% 혼합상토에서는 193%로 이는 Peatmoss와 TKS의 오이육코시현에서 포장용수량이 200% 내외였던 Park 등(1993)의 결과와 비슷하였다. 이식 후 14일이 지난 후 포장용수량 수준으로 물을 가한 뒤 상토 내의 수분변화량을 8일 동안 조사한 결과 활성탄 혼합비율에 따라 변화폭이 다르며, 시간이 경과 된 수록 변화폭은 감소하여 8일째는 13.9~19.1%이었다.

활성탄의 혼합비율에 따른 상토내의 화학성분의 변화를 Fig. 2에 나타냈다. 활성탄이 혼합된 상토내의 pH는 4.7~7.2, EC 농도는 0.52~1.1 dS·m<sup>-1</sup>로 활성탄의 혼합비율이 높을수록 증가하였는데, 이는 활성탄 자체의 높은 pH와 EC의 영향으로 생각된다. 활성탄을 20% 혼합한 상토의 pH는 5.2~5.8의 범위로 참외생육에 적합한 pH가 유지되었고, 육묘기기가 경과된수록 pH는 초기보다 높아지는 경향이였다. Ho 등(1995)은 근권부위의 높은 EC 농도는 엽채류와 과채류의 영양

학적 상태, 양분의 흡수를 저해시켜 생육이 억제되었다고 하였는데, 25일이 지난 후의 EC 농도는 0.22~0.32 dS·m<sup>-1</sup>로 안정화 되어 생육에 미치는 영향은 적은 것으로 생각된다. Yun 등(1998)은 엽채류의 사경 재배시 모래에 활성탄을 혼합한 배지구에서 활성탄의 비율에 따라 pH 및 EC 농도는 변화하였으며, 재배중의 pH와 EC는 생육초기에 증가하다가 점차적으로 안정화를 나타낸다는 결과와 같은 경향이었다. 무기성분 또한 활성탄 혼합비율에 따라 상토내의 Ca는 5.4~6.5 cmol<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup>, Mg는 7.6~12.3 cmol<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup>, K는 37.8~55.3 cmol<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup>이었으며, 육묘기기가 경과함에 따라 이는 무기성분의 상토내 함량은 감소하였다. 무기성분들의 흡수는 Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 등 양이온들의 상호 감항작용에 의하여 흡수가 억제되며(Bangerth, 1979; Kozai 등, 1992), Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>의 양이온 충분히 있어도 무기성분의 균형이 없으면 양분의 감항 작용에 의하여 생육장애를 일으킬 위험성이 있는 것으로 알려져 있는데 활성탄의 혼합비율에 따른 Ca, K, Mg 성분의 차이에 의해 상토의 Ca/Mg 및 Mg/K 염기비도 변하여 생육에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

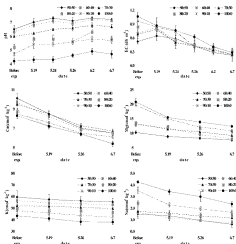


Fig. 3. Change in chemical properties of charcoal-containing growing media by the mixing ratio (growing media : charcoal, V%) during the growing period. Vertical bars represent standard deviation cross.

## 2. 활용도의 평가

각종은 밑에서부터 수확기까지의 생장량 및육단체별로 처리된 환경조건에 따라 다르게 나타나는 생장반응정보로 그 생장반응을 해석할 수 있는데(Clipson 등, 1995), RGR, NAR, LAI, SLA, TR Ratio의 생장해석 값과 Table 4와 같이 황섶탄 20%, 30% 혼합상토에서 다 처리에 비해 좋은 생육이 이루어졌음을 알 수 있었다.

RGR은 황섶탄을 10% 혼합한 상토의 묘에서  $0.089 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 좋은 생육을 보였으며, 상토 100% 사용된 묘에서는  $0.051 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ 이었다. Park 등 (1993)은 고추재배시 황섶탄 사용량에 따라 CGR, NAR 등 생육이 좋아 수량도 6~16% 증가되었다고 하였으나, 본 실험에서 NAR은  $0.008\text{--}0.010 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$

$\cdot \text{day}^{-1}$ 로 황섶탄 사용량의 처리간에 별다른 차이는 없었다. LAR은 황섶탄 40% 혼합상토의 묘에서  $178 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 으로 가장 높아 다른 처리에 비해 열매의 좌보가 가장 많았으며 LAI는 황섶탄 100% 묘에서  $0.96 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ 로 가장 낮았다. TR율은 황섶탄 50% 처리구 묘에서 3.13으로 가장 높았으며, 황섶탄을 0~40% 혼합한 비율에 따라 2.02~2.60으로 나타났다.

Table 5는 황섶탄 혼합에 의한 생육성도를 비교한 결과로 일반적으로 상토 100% 시험구  $98 \text{ cm}^2 \cdot \text{plant}^{-1}$ 에 비해 황섶탄을 20% 혼합한 상토는  $124 \text{ cm}^2 \cdot \text{plant}^{-1}$ 로 27% 증가되었다. 엽장, 엽폭, 초장 등의 조사에서 상토를 100% 사용한 묘에 비해 황섶탄을 20%, 30% 혼합한 상토의 묘에서 생육이 좋았다. Yoo 등(1990)은 황섶탄을 혼합한 배지에서 청경채는 잎수가 많고

**Table 4.** Influence of the mixing ratio of charcoal on growth parameters of oriental melon at 20 days after transplanting.

Mixing ratio (V/V)		<sup>Z</sup> RGR	<sup>Y</sup> NAR	<sup>X</sup> LAR	<sup>W</sup> LAI	<sup>V</sup> SLA	<sup>U</sup> T/R
Growing media	Charcoal	(g · g <sup>-1</sup> · day <sup>-1</sup> )	(g <sup>-2</sup> · day <sup>-1</sup> )	(cm <sup>2</sup> · g <sup>-1</sup> )	(m <sup>2</sup> · m <sup>-2</sup> )	(cm <sup>2</sup> · g <sup>-1</sup> )	Ratio
50 : 50		0.079ab <sup>T</sup>	0.010a	134e	1.49c	295e	3.13a
60 : 40		0.051c	0.007a	178a	0.97e	389b	2.54bc
70 : 30		0.084ab	0.008a	168b	1.57b	432a	2.41c
80 : 20		0.084ab	0.009a	151c	1.59b	332d	2.52bc
90 : 10		0.089a	0.010a	143d	1.68a	326d	2.60b
100 : 0		0.051c	0.008a	174a	0.96d	359c	2.02d

<sup>Z</sup>RGR relative growth rate

<sup>Y</sup>NAR net assimilation rate

<sup>X</sup>LAR leaf area ratio

<sup>W</sup>LAI leaf area index

<sup>V</sup>SLA specific leaf area

<sup>U</sup>T/R top/root

<sup>T</sup>Duncan's multiple range test significant at 5% level within columns.

**Table 5.** Influence of the mixing ratio of charcoal on plant height, leaf length and width of oriental melon at 20 days after transplanting.

Mixing ratio (V/V)		Leaf (cm)		Plant height	Leaf area
Growing media	Charcoal	Length	Width	(cm)	(cm <sup>2</sup> · plant <sup>-1</sup> )
50 : 50		5.8a <sup>Z</sup>	6.5b	12.4c	93b
60 : 40		6.1a	6.9ab	12.9bc	96b
70 : 30		6.2a	7.3a	13.2bc	123a
80 : 20		6.5a	7.3a	14.2a	124a
90 : 10		6.5a	7.2a	13.4b	116a
100 : 0		6.2a	7.0a	13.1bc	98b

<sup>Z</sup>Duncan's multiple range test significant at 5% level within columns.

상추 및 배추는 생체중이 무거웠다고 하였으며, Park 등(1993)은 활성탄 시용에 의하여 토양 pH의 상승, 무기성분의 흡수조장과 같은 토양반응의 조절 등에 의하여 작물생육의 촉진 등이 인정되었다고 하였는데, 본 시험에서도 활성탄의 혼합비율에 따라 상토의 수분 함량과 용적밀도를 비롯하여 pH, EC, 무기성분 등의 화학성분 함량에서 차이를 나타내 참외묘의 생육에 영향을 미쳤을 것으로 보이는데, 이 중 활성탄을 20%, 30% 혼합하여 사용한 상토에서 RGR 등의 생장반응과 엽장, 엽폭, 초장에서 생육이 증진되는 결과를 얻었다.

지상부와 지하부의 무게를 조사한 결과는 Table 6과 같다. 지상부 생체중의 경우 5월 26일 조사에서 상토 100%는 2.43 g · plant<sup>-1</sup>이었으나 활성탄 20% 혼합상토에서는 3.05 g · plant<sup>-1</sup>이었으며, 건물중은 0.32 g · plant<sup>-1</sup>로 무거웠다. 8일이 지난 6월 3일의 생체중 및

건물중에서도 활성탄 20% 혼합상토의 묘는 6.96 g · plant<sup>-1</sup>, 0.82 g · plant<sup>-1</sup>로 조사되어 후기생육까지 좋은 생육이 이루어졌다. Lee 등(2001)은 활성탄을 사용하여 황금을 분화재배시 활성탄 30% 혼합에서 경장과 경태가 크고 가지수가 많아 생육이 가장 양호하였으며, 수량, 근경과 근장이 크고 근중이 무거워서 증수되었다고 하였다. 이와 같은 이유는 활성탄 시용에 의한 토양의 보수력과 보비력이 양호하여 물리성이 향상된 것으로 이보다 더 낮은 농도나 높은 농도에서는 효과가 적다고 하였다.

지하부의 생체중 및 건물중에서도 상토를 100% 사용한 묘보다 활성탄을 10%, 20% 비율로 혼합한 묘에서 좋은 생육이 이루어져 재배포장에 정식한 후에도 좋은 영향을 미칠 것으로 생각된다. 작물은 모든 생육 요소가 균일하게 향상되어야 하는데 일정량의 활성탄을 혼합한 상토에서 양질의 묘를 생산하여, 정식 후에

**Table 6.** Influence of the mixing ratio of charcoal on plant weight of oriental melon after transplanting.

Mixing ratio (V/V)	Fresh weight (g · plant <sup>-1</sup> )				Dry weight (g · plant <sup>-1</sup> )			
	Shoot		Root		Shoot		Root	
	May.26	Jun.3	May.26	Jun.3	May.26	Jun.3	May.26	Jun.3
Growing media : Charcoal								
50 : 50	2.04d <sup>z</sup>	4.27d	1.30d	1.96c	0.22c	0.70b	0.10b	0.22b
60 : 40	2.19d	4.98c	1.35cd	2.07c	0.23c	0.54c	0.01b	0.21b
70 : 30	2.51bc	6.14b	1.38c	2.55b	0.23c	0.73ab	0.11b	0.30a
80 : 20	3.05a	6.96a	2.17a	3.06a	0.32a	0.82a	0.16a	0.33a
90 : 10	2.67b	6.93a	1.73b	2.89a	0.29ab	0.81a	0.13ab	0.31a
100 : 0	2.43c	4.49cd	1.33cd	2.58b	0.26bc	0.59c	0.10b	0.29a

<sup>z</sup>Duncan's multiple range test significant at 5% level within columns.

도 생육의 차이에 의한 수량 증수효과도 있을 것으로 기대된다.

### 적 요

활성탄 혼합비율을 달리하여 육묘상토의 이화학적 변화 및 참외묘의 생육에 미치는 효과를 검토하였다. 활성탄의 혼합비율이 많을수록 상토내의 pH는 높아졌으며 육묘기일이 경과될수록 초기에 비해 높아지는 경향으로 활성탄을 20% 혼합한 상토에서의 pH는 5.2~5.8로 참외생육에 적합한 pH가 유지되었다. 무기성분 또한 활성탄의 혼합비율에 의하여 성분에 차이가 있었으며 육묘기간이 경과함에 따라 낮아지는 경향으로, Ca는 5.4~6.5 cmol<sup>+</sup> · kg<sup>-1</sup>, Mg는 7.6~12.3 cmol<sup>+</sup> · kg<sup>-1</sup>, K는 37.8~55.3 cmol<sup>+</sup> · kg<sup>-1</sup>이었다. 참외묘의 생육 또한 활성탄의 혼합비율에 의하여 차이를 보였는데, 활성탄을 20% 혼합한 상토의 참외묘는 엽장, 엽폭, 초장, 엽면적에서 생육이 좋았다. 상토에 활성탄을 혼합하는 비율에 따라 용적밀도, 수분보유력, pH, 무기성분 등의 함량에 변화가 있었으며, 생육에도 차이가 있었다

**주제어** : 활성탄, 상토, 참외

### 인 용 문 헌

1. Bangerth, F. 1979. Calcium-related physiological disorders of plant. Ann. Rev. Phytopathol. 17:97-122.

2. Beardsell, D.V., D.G. Nichols, and D.L. Jones. 1979. Physical properties of nursery potting mixtures. Scientia Horticulturae 11:1-8.

3. Clipson, N.J.W., S.J. Edwards, J.F. Hall, C.K. Leach, F.W. Rayns, and G.D. Weston. 1994. Crop productivity. Butterworth-Heinemann. United Kingdom.

4. De Boodt, M. and O. Verdonck. 1971. Physical properties of peat and peat-moulds improved by perlite and foampastics in relation to ornamental plant growth. Acta Hort. 18:9-25.

5. Ho, L.C. and P. Adams. 1995. Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. Acta Hort. 396:33-44.

6. Kozai, T., A. Karino, K.G. Grata, and H.O. Ikeda. 1992. New greenhouse management. Asakura. Japan. p.117-122.

7. Lee, J.I., S.K. Choi, and K.W. Youn. 2001. The effect of activated charcoal on growth and yield in *Scutellaria baicalensis* G. Korean journal of plant resources. 14(2):148-151.

8. Park, K.W., J.H. Lee, J.H. Won, and M.H. Chiang. 1993. The effects of growing media and irrigation methods on the growth of hot pepper transplants. Journal of Bio-Environment Control. 2(2):110-118.

9. Park, S.G., K.Y. Kim, J.W. Lee, Y.A. Shin, and E.H. Lee. 1993. Effect of application woody chared materials on plant growth and the chemical properties of soil in the continuous cropping field of red pepper. Korean J. Environ. Agric. 12(1):1-8.

10. Yun, H.K., L.S. Kim, and K.C. Yoo. 1998. Effect of substrates on the growth and nutrient absorption characteristics of leafy vegetables in sand culture. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39(5):497-503.