

고추 連作地에 있어서 木質炭化物 施用이 生育 및 土壤의 化學性에 미치는 效果

朴尚根 · 金光勇 · 李志遠 · 申榮安 · 李應鎬

Effect of Application of Woody Chared Materials on the Plant Growth and the Chemical Properties of Soil in the Continuous Cropping Field of Red Pepper

Sang-Keun Park, Kwang-Yong Kim, Ji-Weon Lee, Young-An Shin, Eung-Ho Lee

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of woody chared materials on the injuries and growth of plant, and chemical properties of soil in the continuous cropping field of red pepper. The field for the experiment was selected among districts, where have been taking place seriously injuries by continuous cropping of red pepper for above 20 years.

The growth of red pepper was promoted and the growing period was prolonged about 2 weeks longer than that of control, and yield was increased with the increment of charcoal application amount.

The occurrence rate of phytophthora blight disease was 9% lower at charcoal 500 kg/10a application treatment than at control in the experiment of application amount of the first year, but was not significantly different between sizes of charcoal. The mix of charcoal and pyroligeous liquor had no effect on the growth of red pepper. In applicated soil of charcoal, pH was increased, EC was decreased, and Ca and Mg content was low somewhat. In all, charcoal granule was most effective type.

The B/F value of soil was higher at the charcoal powder treatment on July 18 than other treatment, but was no difference between treatments in anytime else.

원예시험장

Horticultural Experiment Station, Suwon, Korea

* 본 연구는 科學技術處에서 시행한 特定研究開發事業의 연구결과중 일부임.

1. 緒 言

우리나라의 경우 고추는 單一作物로서는 栽培面積이 가장 많아서 全體 菜蔬栽培面積中 약 30% 정도를 차지하고 있다. 그러나 고추는 圃場에서 栽培되는 期間이 다른 채소 작물에 비하여 매우 길고, 비교적 所得이 높은 作物이므로 농민들의 栽培 選好도가 높아 輪作을 實施하지 못하고, 連作을 하게 되어 그에 따른 被害가 심각한 實情이다. 특히 고추의 連作障害에 대하여는 農民은 물론 研究者들의 關心의 對象이 되었고, 多數의 研究者들에 의하여 發生原因과 防止對策에 관한 研究가 遂行되었지만 아직 뚜렷한 結果는 물론 確實한 發生實態조차 把握하지 못하고 있는 實情이다. 고추는 連作이 거듭될 수록 病害發生의 增加, 收量의 減少, 土壤 理化學性的 惡變等 그 被害程度는 심하게 나타난다고 알려져 있다⁵⁾.

作物에 있어서 木炭의 土壤改良材로서의 效果는 養分の 保持, 土壤 pH의 上昇, 土壤 微生物에 대한 棲息環境 調整, 透水性의 改良 및 有毒 有機化合物의 無毒化等 物理化學的 및 生物的 改良效果가 認定된다는 여러 報告^{2,3,6,7,9)}가 있다.

따라서 本 研究는 고추 連作土壤에 있어서 土壤의 化學的 性質의 改善과 植物體의 障害를 輕減시킬 수 있는 材料로서 木炭과 그 副産物인 木醋液의 施用效果를 究明하기 위하여 實施되었다.

2. 材料 및 方法

本 試驗은 1990부터 1991년까지 2년간에 걸쳐 고추 主産地이고 連作障害가 심하게 發生하는 地域인 慶北의성군의 20年 以上 고추를 連作한 現地 圃場에서 실시되었다.

1年次 試驗에서는 금수레 고추를, 2年次 시험에서는 새마을금장고추를 供試品種으로 使用하였고, 木質炭化合物은 粉末木炭, 粒相木炭(φ 1 ~ 2mm), 小粒木炭(φ 2~3mm) 및 木醋液을 供試하였다.

連作地 土壤에 있어서 適正 木炭 施用量 究明(1990년) 試驗은 粒相木炭을 供試하였고, 처리는 施用量에 따라

100, 300, 500 kg/10a 및 木醋液에 浸漬한 木炭 300kg/10a(木炭+木醋液)區 와 無處理區를 두었다.

木炭粒子的 適正 크기 究明 試驗(1991년)은 粉末木炭, 粒相木炭, 小粒木炭 및 木醋液을 供試材料로 處理는 木炭 500 kg/10a 單獨處理區, 木醋液은 300 l /10a 單獨處理區, 그리고 木醋液 300 l /10a와 粉末木炭 500 kg/10a의 混合處理區 및 無處理區를 두었으며, 試驗區는 두 試驗 公히 亂塊法 3反復으로 配置하였다.

圃場의 整理는 고추 定植 2週日 前에 堆肥 및 化學 肥料를 圃場의 全面에 고루 撒布한 後 耕耘하였으며, 定植 3일 전에 處理別로 木炭 및 木醋液을 試用한 後 整地하였다. 整地 後 0.03mm 두께의 黑色 플라스틱 필름으로 멀칭하였으며, 이랑의 幅이는 75cm로 하였다. 매년 2월 10일경에 播種하여 80日間 育苗한 後 定植하였다. 栽植距離는 75×40cm로 하여 1줄로 個別支柱를 세워 定植하였다.

生育 狀況, 疫病 發生率 및 土壤微生物相 等을 比較하였는데, 生育調査 및 土壤試料의 採取는 定植後 1個月 間隔으로 실시하였으며, 草長, 莖徑 및 收量調査는 現地圃場에서 葉面積, 乾物重 等은 實驗室內에서 실시하였는데, 土壤 및 植物體의 無機物 含量은 土壤 化學 分析法¹⁾에 準하여 實施하였다.

3. 結果 및 考察

<표 1>과 <표 2>는 각각 木炭 施用量과 施用 木炭粒子的 크기에 따른 고추의 生育反應을 나타낸 것이다.

施用量에 따른 生育反應은 시용량이 많아질수록 다소 좋아지는 傾向을 나타냈다. 生育은 無處理에 비해 粒相木炭 500kg/10a 施用區에서 草長 5cm, 莖徑 1mm, 葉面積 2,000cm²/株 정도가 많았고, 收量도 生育狀況과 마찬가지로 木炭의 施用量이 많을수록 증가하는 경향을 보였다(<그림 1>). 無處理區에서는 1果重은 10.31g/個로 가장 무거웠으나 收穫果數가 48.3 個/株로 가장 적은 반면, 木炭+木醋液 混合處理區에서는 收穫果數는 가장 많았으나 1果重은 가장 적었다. 木炭 500kg/10a 施用區에서는 1果重과 收穫果數가 많아 收量이 332.4kg/10a로 無處理區에 비해 16%

增收되었으며, 300kg/10a 施用區에서는 9~11% 增收되어 木炭의 施用이 고추의 生育 및 收量에 促進的인 影響을 미친 것을 인정할 수 있었다.

〈표 2〉는 2年次에 실시한 施用 木炭粒子的 크기에 따른 고추의 生育反應을 나타낸 것인데 草長, 莖徑, 葉面積 및 乾物重 等の 모든 生育 要素가 小粒木炭을 除外한 全處理區에서 無處理에 비하여 다소 좋은 경향이었는데 그 중에서도 粒相木炭 處理區에서 가장 좋은 결과를 보였다. 그러나 收量에 있어서는 全般的으로 低調한 傾向으로 處理間에 거의 差異를 보이지 않았다(그림 2).

1年次 結果와는 달리 이렇게 處理間 또는 無處理와 比較하여 收量에 큰 차이를 나타내지 않은 것은 2年次 시험에서는 거의 全試驗圃場에서 植物體의 약 50% 이상이 명확하게 病名을 확인할 수 없는 바이러스병과 類似한 症狀으로 있는 심하게 生長이 抑制되고 表面이 심한 凹凸 및 모자이크 증상을 보이고, 果實은 正常 크기의 절반 이하로 밖에 生長을 못하는 病에 罹病되어 全般的으로 收量이 낮아졌기 때문이다. 따라서 정확하게 木炭이 고추의 生育과 收量에 미치는 影響을 파악하는데 무리가 있었다.

Table 1. Effect of soil application of woody charred materials on the growth of red pepper(1990).

Treatments (kg/10a)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf area (cm ² /pl.)	Dry weight (g/pl.)	Fruit weight (g/ea)	No.of har- vested fruit (ea/pl)
Charcoal ^{z)} 100	98.8	13.0	7,225	258.8	9.76	51.5
Charcoal 300	100.8	13.2	8,654	244.7	9.69	55.4
Charcoal 500	102.9	13.4	9,517	232.9	10.02	55.4
Charcoal 300 +Pyrol. liquor	100.8	12.1	7,957	262.5	9.40	57.2
Control	97.1	12.5	7,505	224.0	10.31	48.3

z) : Charcoal granule (about 1~2mm diameter)

Table 2. Effect of soil application of woody charred materials on the growth of red pepper(1991).

Treatment (kg/10a)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf area (cm ² /pl.)	Dry weight (g/pl.)	Fruit weight (g/ea)	No.of har- vested Fruit (ea/pl.)
Charcoal powder	86.3	12.6	5,171	163.5	7.22	42.8
Charcoal granule ^{z)}	86.3	13.1	5,781	188.9	7.35	46.1
Charcoal grain ^{y)}	81.8	12.7	5,561	174.5	6.99	43.8
Charcoal powder ^{x)}	85.8	12.1	5,122	160.5	8.04	42.3
+Pyrol. liquor						
Pyrol. liquor	85.5	11.5	5,141	166.4	7.15	44.8
Control	81.5	12.7	5,116	163.3	7.44	45.1

Z) : About 1~2 mm diameter

y) : About 2~3 mm diameter

x) : Wood charcoal 500 kg/10a + Pyrolygineous liquor 300 ℓ /10a

Table 3. Growth analysis of red pepper by the applied amount of woody charred materials(1990)

Treatment (kg/10a)	CGR(g/m ² /day)				NAR(g/m ² /day)				av. LAI(m ² /m ²)			
	May	June	July	Aug.	May	June	July	Aug.	May	June	July	Aug.
Charcoal ^{z)} 100	0.78	6.85	10.6	10.4	10.3	11.3	5.82	4.68	0.07	0.61	1.82	2.23
Charcoal 300	0.74	6.42	9.1	11.0	9.9	11.6	5.36	4.47	0.07	0.54	1.70	2.46
Charcoal 500	0.76	5.45	10.2	9.4	10.0	10.0	6.86	4.09	0.08	0.54	1.48	2.30
Charcoal 300 +Pyrol. liquor	0.86	6.12	11.8	10.2	10.0	8.8	6.00	4.46	0.09	0.70	1.88	2.30
Control	0.82	7.35	9.7	6.9	12.1	12.1	5.07	2.96	0.07	0.61	1.92	2.31

z) : Charcoal granule(about 1~2 mm diameter)

〈表 3〉은 生育時期別로 星野⁴⁾ 등의 方法에 의하여 조사한 목질탄화물의 사용량에 따른 고추의 생육반응을 解析한 결과이다. 植物生長速度 CGR(Crop Growth Rate: g/m²/day)는 木炭 300kg/10a 施用區를 除外하고는 모두 7월과 8월 사이에서 最大生長速度를 나타내었으며, 8월과 9월 사이의 植物生長速度는 木炭施用區가 9.4~10.4 사이로 無處理區의 6.85에 비해 2.5이상 높았는데 이는 木炭을 사용함으로 인하여 後期까지 生育이 持續되었으며, 이러한 결과로 收量도 무처리에 비하여 6~16% 增收된 것으로 생각된다.

無處理區의 純同化率 NAR(Wet Assimilation Rate: g/m²/day)은 5월과 6월에서 最高 同化率을 나타내 初期生育이 빨랐으며, 木炭施用區는 5월에는 무처리구보다 모든 處理 平均 약 20정도 낮았으나, 6월의 純同化率은 木炭 100kg/10a와 300kg/10a 施用區에서는 무처리구와 비슷한 반면, 木炭 500kg/10a와 木炭+木醋液 混用區는 낮은 경향을 보였다. 그러나 7월과 8월사이의 純同化率은 木炭施用區가 無處理區보다 持續的인 生長을 한 것으로 나타났으며, 특히 9월의 純同化率은 더욱 큰 차이를 나타내었다.

葉面積指數 LAI(Leaf Area Index: m²/m²)는 각 處理間에 큰 차이없이 生長한 것으로 나타났다.

〈그림 1〉과 〈그림 2〉는 木炭施用量 및 施用 木炭粒子的 크기에 따른 고추의 收量 및 疫病發生率을 나타낸 것이다.

施用量 究明 試驗에 있어서 疫病의 發生率은 木炭

施用時 無處理에 비해 3.18~6.51%가 減少되었는데, 木炭 500kg/10a 施用區에서 9.08%로 가장 낮게 발생하여 木炭의 疫病 發生 抑制效果가 認定되었다. 반면 木炭粒子的 크기 시험에서는 1년차 시험에 비하여 전반적으로 역병의 발생율이 높았고, 處理間에는 粒相 및 小粒木炭의 施用區에서 다소 疫病 發生이 적었으나 木炭+木醋液 處理區를 除外하고는 無處理 및 다른 처리구와 有意差를 보이지는 않았다. 그러나 두 시험 모두에서 疫病의 發生率은 木質炭化物的 施用으로 抑制 傾向이 인정되었다. 이처럼 疫病의 發生程度가 해에 따라 차이를 보이는 것은 疫病의 發生樣相이 그 해의 氣象環境, 특히 降雨과 밀접한 관련을 갖기 때문으로 생각되는데 2年次 시험에서는 1年次보다 강우가 빈번하여 疫病 發生의 好適條件이 조성되어 이것이 목탄의 시용에 따른 抑制效果를 相殺하였기 때문으로 생각되었다. 杉甫¹⁾는 木炭은 吸着能이 커 有害 微生物의 移行을 抑制할 수 있다고 하였다.

〈표 4〉는 木質炭化物的 施用量에 따른 토양의 化學性을 분석한 것이다. pH는 목탄의 施用量이 많아짐에 따라 높아지는 경향을 나타냈으며 無處理 토양보다 0.13~0.29가 上昇하였는데 이는 木炭 自體의 pH가 7이상이므로¹⁾으로 높은데 기인된 것으로 생각되었고 이는 左野 등^{6,9)}의 결과와 일치하였다. 그러나 목탄+木醋液 施用區는 pH 4.80으로 무처리에 비하여 상당히 낮았는데 이는 목탄의 炭化時 炭가마의 排煙溫度(90~275℃)에 따라

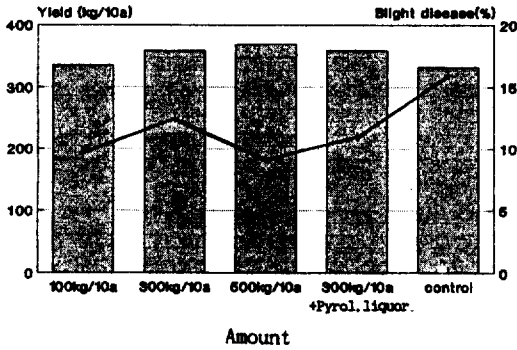


Fig. 1. Yield and the occurrence rate of phytophthora blight disease by the application amount of woody charred materials in red pepper(1990).

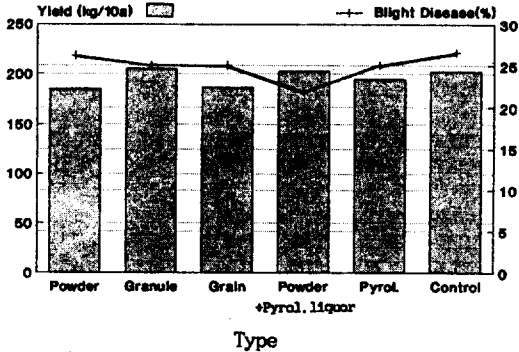


Fig. 2 Yield and the occurrence rate of phytophthora blight disease by the type of woody charred materials in red pepper(1991).

생산되는 木醋液의 pH가 2.65~3.78로 매우 낮기 때문에 생각된다.

EC는 無處理區에서 木炭施用區에 비해 2배이상 높은 것으로 나타나 목탄의 시용이 어느 정도는 土壤內 鹽類集積 防止에 효과가 있음을 인정할 수 있었다. 그러나 磷酸의 토양내 집적량은 處理間에 차이가 없었고, 목탄 + 목초액 시용구에서는 오히려 1,044ppm으로 無處理에 비해 100ppm 정도 높게 나타났다. 陽이온 중 Ca과 Mg은 대체로 목탄 시용량이 많아질수록 토양에 集積하는 양이 적어지는 경향을 나타냈다. K는 이와 반대로 木炭 施用량이 많아짐에 따라 土壤集積량도 많아지는 경향이 있으나 처리구간 또는 무처리구와의 사이에 뚜렷한

차이는 보이지 않았다. 이처럼 K이온이 줄지 않은 것은 木炭을 培養土로 사용한 試驗⁸⁾에서 나타난 결과와 같이 K이온이 木炭으로부터 어느정도 溶出되어 나오는데 기인하는 것으로 생각된다. 토양내 有機物 含量은 處理間에 差異가 없었다.

〈표 5〉는 목질탄화물의 施用粒子 크기별 시험에 있어서 木質炭化物 處理 前後 시험 포장의 토양 화학성을 조사한 것이다. pH는 1년차 시험의 결과와 마찬가지로 木醋液 單獨處理 및 混合處理區에서 낮았고 木炭處理區에서는 無處理와 비슷하거나 높은 경향을 보였는데 粒相木炭 處理에서 pH의 上昇효과가 가장 커 1년차 시험의 결과와 一致하는 결과를 나타냈다. EC의 경우는 작물재배 후 뚜렷히 감소하는 경향은 보이지 않았으나 무처리구의 경우에 작물을 재배하기 前보다 後에 오히려 0.17 mS/cm 上昇한 것에 비하면 EC 上昇을 抑制하는 效果도 있는 것으로 생각된다. 1년차의 결과와는 다소 상이한 이러한 결과에 대한 원인은 施肥량이 지나치게 많았거나 施肥 量은 적합하더라도 병해 등의 원인으로 작물이 養分과 水分을 원활히 흡수할 수 없는 조건에 처해 있었던데 원인이 있는 것으로 생각된다.

有機物 含量은 1년차의 경우와 같이 處理間에 차이가 인정되지 않았다. 無機成分에 있어서도 처리간에 뚜렷한 差異나 變化 樣相을 보이는 않았으나 陽이온 중 Ca와 Mg 成分이 全處理區에서 공히 무처리에 비하여 土壤內 殘存量이 적었으며 그 중에서도 木醋液과의 混用處理 區에서 가장 적었다. 반면 磷酸의 集積量은 處理間에 차이가 없이 매우 높은 수준을 維持하고 있었다. 이러한 결과는 1년차 시험의 결과와 유사한 경향으로 木質炭 化물을 시용함에 따라 토양의 理化性이 改善되어 養分과 水分의 흡수가 다소 원활이 이루어졌기 때문에 나타난 효과라고 推測되는데 자세한 내용은 좀 더 세밀한 검토가 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

〈표 6〉은 木質炭化物의 處理後 公시 土壤微生物의 B/F值를 經時的으로 조사한 결과이다. 처리 후 60일 經過한 7월 18일에는 粉末木炭과 粉末木炭+木醋液 混用 處理區에서 他處理區에 비하여 B/F值가 높았으나, 시간이 경과함에 따라 모든 처리구에서 전반적으로 낮아져 9월 10일 이후에는 處理間에 差異를 보이지 않았다.

Table 4. Chemical properties of soil according to the application of woody charred materials before and after cultivation of red pepper(1990).

Treatment	pH ^{y)} (1:5)	EC (mS/cm)	O.M. ^{x)} (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	Cation(me/100g)		
					K	Ca	Mg
Before cultivation	5.07	0.17	0.65	702	0.96	3.79	1.23
Charcoal 100	5.16	0.56	1.40	888	1.05	5.30	1.58
Charcoal 300	5.29	0.35	1.47	936	1.21	5.59	1.50
Charcoal 500	5.32	0.47	1.42	972	1.30	5.10	1.40
Charcoal 300 +Pyrol. liquor ^{z)}	4.80	0.49	1.63	1,044	1.06	5.01	1.23
Control	5.03	1.17	1.50	930	1.13	5.91	1.64

x) : Organic material
 y) : Distilled water : soil = 5 : 1
 z) : Soaking wood charcoal in pyroligneous liquor

Table 5. Chemical properties of soil according to the type of woody charred materials before and after cultivation of red pepper(1991).

Treatment	pH ^{y)}	EC (mS/cm)	O.M. ^{x)} (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	Cation(me/100g)		
					K	Ca	Mg
Before cultivation	5.03	0.30	1.69	808	0.82	2.53	1.16
Charcoal powder	5.09	0.26	1.93	896	0.64	3.73	1.40
Charcoal granule	5.45	0.39	2.01	869	0.68	4.24	1.53
Charcoal grain	5.02	0.25	1.75	859	0.71	4.17	1.62
Charcoal powder +Pyrol. liquor ^{z)}	4.80	0.34	2.04	779	0.65	3.96	1.46
Pyrol. liquor	4.72	0.42	2.13	832	0.70	4.23	1.46
Control	5.02	0.47	1.99	880	0.84	4.82	1.65

x) : Organic material
 y) : Distilled water : soil = 5 : 1
 z) : Wood charcoal 500 kg/10a + Pyroligneous liquor 300 ℓ/10a

목탄을 사용하면 土壤中에 有用 微生物의 密度가 증가하여 작물의 生育 促進 및 病發生 抑制效果가 있는 것으로 報告¹¹⁾ 되어 있다. 그런데 本 試驗에서는 시용 목탄의 量 및 粒子の 크기에 따라서 生育의 촉진효과는 다소 인정되었으나 疫病發生의 抑制에 있어서는 확실한

효과가 인정되지는 않았다. 그러나 목탄의 시용으로 疫病의 발생이 심한 高溫多濕期인 7월 中旬경에 土壤內 B/F值의 上昇과 같은 바람직한 微生物相의 變化를 어느 정도 확인할 수 있었다.

以上的 結果로 보아 고추 連作地에 있어서 목탄의 施用

Table 6. Change of B/F²⁾ value of soil after application of woody charred materials

Treatment	Observed Date			
	Jul. 18	Aug. 14	Sep. 10	Oct. 14
Charcoal powder	256	13	9	4
Charcoal granule	27	14	7	3
Charcoal grain	34	27	14	6
Charcoal powder +Pyrol. liquor ^{y)}	290	13	8	3
Pyrol. liquor	23	128	30	9
Control	100	95	10	10

Y) : Wood charcoal 500 kg/10a +Pyroligneous liquor 300 ℓ /10a

Z) : Bacteria/Fungi, Bacteria; Nutrient Agar Medium, Fungi; Rose Bengal Agar Medium

효과는 토양 pH의 상승, 無機成分의 흡수 助長과 같은 토양반응의 調節, 有用 微生物 增殖 및 이로 인한 作物 生育의 촉진 등이 어느정도 認定되었다. 그러나 土壤改良材로써의 목탄의 사용은 사용효과에 비해 사용량이 많을 뿐만 아니라 값이 비교적 高價이므로 土壤全面施用은 문제가 있다고 생각된다. 따라서 育苗用 培養土, 養液栽培用 培地 및 다른 土壤改良材와의 混用 등에 이용하는 方案이 더욱 現實的일 것으로 思料된다.

4. 摘 要

고추 連作地에 있어서 木炭의 施用이 고추의 生育反應과 土壤改良에 미치는 效果를 알아보기 위하여 20년 이상 고추를 연작한 포장을 선정하여 2年間に 걸쳐 試驗을 實施하였다. 고추의 生育은 木炭의 施用量이 많아 질수록 促進되었으며 生育이 後期까지 持續적으로 維持되었고 收量은 增加하는 傾向을 보였다. 疫病의 發病率은 1年次의 施用量 시험에 있어서는 목탄 500kg/10a 處理區가 가장 적었는데 無處理에 비하여 9%이상 減少하였다. 2년차 施用粒子의 形態 試驗에서는 疫病 發病率이 處理間에 有意性있는 차이를 보이지 않았다. 木炭과 木醋液의 混用效果는 크게 나타나지 않았다. 木炭施用으로 토양의 pH는 上昇하였으며 EC는 低下하였다. 陽이온中 Ca 및 Mg의 土壤內 殘存量은 木炭施用區에서

감소하는 傾向을 보였다. 施用 木炭粒子의 形態는 粒相 木炭이 가장 効果的이었다. 木炭處理區에서 生育中期인 7월에 B/F값이 다소 上昇하는 傾向이었으나 後期에는 處理間에 差異가 없었다.

5. 引用文獻

1. 農業技術研究所 (1988): 土壤化學分析法-土壤, 植物體, 土壤微生物.
2. 日本農林水産省 (1984): 地力維持, 連作障害克服を基幹とする畑地管理方式の開發に關する綜合研究
3. 趙成鎮, 朴天緒 (1973): 新制 土壤學: 268, 鄉文社, 서울.
4. 星野和生, 吉川雅夫, 野口正樹, 池田燈男 (1987): 野菜の收量成立要因の解析に關する研究. 1. 生長解析法による レタス多收條件の檢定. 日本野試年報. a. 3:1~19.
5. 金光勇, 申榮安, 朴尚根 (1987): 고추 連作障害實態 調査. 園試研究報告書
6. 小川眞 (1988): 木質炭化物의 農林業 利用. 林業研究院 招請 特講資料:13.
7. 奥津正彦 外 6人 (1990): 木炭及び木炭を用いた土壤改良材の水稻, 園藝作物, りんご等に對する效果. 木炭と木醋液の 新用途開發研究成果集, 121~131.

8. 朴尚根, 金光勇, 李應鎬, 申榮安, 李志遠 (1992): 園藝土壤 炭素 施用法 開發 研究. 木質炭化物의 成分利用研究(Ⅲ), 51~64.
9. 佐野英男 外2人 (1990): 木炭混入綠化用生産基盤材の 草, 木本植生の生産に及ぼす効果, 木炭と木醋液の 新用途開發研究成果集, 155~165.
10. 杉甫銀治 (1979): 木材炭化の現況と展望, 日山林誌 1137: 25~32
11. 杉甫銀治 (1988): 日本에 있어서 木質炭化物의 農業的 利用의 實體. 木質炭化物의 農業的 利用 特別세미나 資料: 4~13.