

太陽熱 消毒에 의한 양배추 시들음병 防除 效果

張田益 · 秦石天 · 文英仁 · 姜榮吉

Control of Soil-borne Diseases of Cabbage by Soil Solar Sterilization

Chang, Jeun-Ik · Chin, Seok-Cheon · Moon, Yung-In · Kang, Young-Kil

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the efficacy of soil solarization, alone and combined with various treatments for the control of soil-borne diseases of cabbage at Cheju from 1998-1999.

The results obtained are summarized as follows ;

1. The average of maximum soil temperature at the 10cm depth under soil surface from Aug. 4 to Sept. 3, 1998 were 6.5°C higher under polyethylene(P.E.) film mulch compared with 35.4°C of control. The maximum soil temperatures of above 40°C at the 10cm depth were recorded for 23 days in the P.E. film mulch.
2. The infection rate of *F. oxysporum* wilt of cabbages grown after the treatment of disinfectant dazomet + P.E. film mulch, was lowest. followed by manure + P.E. film mulch. and alone P.E. film mulch.
3. The leaf length of cabbages grown after P.E. film mulch were greater compared with untreated control but head weight showed no difference between P.E. film mulch and control.

緒 論

우리 나라의 菜蔬栽培는 한정된 耕地面積 때문에 불가피하게 連作을 하고 있는 경우가 많아서 各種 土壤 傳染病 被害로 生産量 減少 및 品質 低下 등 여러 가지 問題點이 發生하고 있다.

지금까지 土壤傳染性 병해충의 防除 手段(駒田, 1989)으로 土壤消毒藥劑를 주로 사용하여 왔으나 그 처리 방법이 까다롭고 藥效가 持續되지 못하는 점 때문에 忌避하고 있는 실정이며 또한 環境汚染에 대한 負擔이 클 뿐만 아니라 農藥使用에 따른 栽培者의 건강에 미치는 影響도 우려되므로 物理的 防除, 耕種的 防除, 抵抗性 品種의 이용 등 여러 가지 方法을 이용한 綜合的인 防除體系를 갖추는 것이 시급한 課題라 생각된다(成田, 1983; 西尾, 1985; 庄子, 1993).

太陽熱을 이용한 土壤消毒法(Elad 등, 1980; 福井 등, 1981; Grinstein 등, 1979; Hirano 등, 1996; Moorman, 1982; Springer와 Johnston, 1982; 山口 등, 1987)은 休閑期에 비닐 필름 멀칭을 하여 自然的인 太陽熱에 의해 높은 地溫을 維持함으로써 土壤病害蟲을 죽이거나 活動能力을 鈍化시키고 아울러 除草 效果도 얻는 方法이다.

作物에 寄生하는 病原菌이나 害蟲은 수많은 土壤微生物 중에서 耐熱性이 약한 편으로 그다지 높지 않은 온도에서 死滅하는 것이 많고 유익한 拮抗微生物은 보다 높은 온도에서도 잘 견디는 것으로 알려져 있다(小玉 등, 1980; Olson과 Baker, 1967). 土壤薰煙劑나 蒸氣消毒이 短期間에 卽效的이고 非選擇的으로 모든 土壤微生物을 죽여버리는데 비하여 太陽熱을 이용한 이 方法은 溫도와 生物的 效果의 結合에 의하여 해로운 病害蟲만을 選擇的으로 死滅시켜 남아있는 土壤微生物의 拮抗作用 등에 따라 二次汚染의 危險性도 줄일 수 있을 것으로 기

대된다(清水 등, 1987).

양배추 시들음병(萎黃病)은 登錄된 農藥이 없을 뿐만 아니라 効果적인 防除 對策도 없어서 栽培農家가 큰 어려움을 겪고 있는 실정이다. 재배농가에서는 防除 對策으로 다른 作物에 登錄되어 있는 土壤消毒劑를 撒布하고 있지만 사용횟수가 거듭될수록 效果가 떨어지고 農藥 값이 負擔이 될 뿐만 아니라 栽培者의 건강 및 自然 環境에도 나쁜 影響을 미칠 수 있으므로 앞으로 계속 이용하기가 곤란한 方法으로 예측된다.

太陽熱을 이용한 土壤消毒 方法은 주로 外國에서 많이 이루어지고 있는데 露地보다는 비닐 하우스에서 連作障害로 인한 病害 發生을 抑制할 目的으로 進行되어 왔으며 그 特徵은 自然 에너지를 活用한 消毒으로서 作業이 간단하여 어떤 特定の 器具들을 필요로 하지 않고, 安全하며 費用이 低廉할 뿐만 아니라 有機物 施用과 土壤 消毒이 동시에 可能하다는 점이다. 그리고 작물에 해가 없는 耐熱性의 有用微生物을 남길 수 있으므로 土壤病原菌의 再汚染 우려도 없으며, 二次的인 效果로서 殺草效果가 있으므로 除草 노력이 節減되고, 生育이 促進되는 效果도 있다(宮本과 小玉, 1995). 이 處理의 短點이라면 여름철의 氣象條件에 따라 適用地域이 制限되며, 土壤消毒 效果에 차이가 나타날 수 있어서 실시지역의 기상조건에 따라서 處理 時期, 기간 등을 고려하여야 하며, 또 病害蟲의 종류에 따라서도 그 棲息範圍나 耐熱성에 차이가 있으므로 보다 높은 效果를 얻기 위해서는 輪作, 抵抗性 品種 및 拮抗微生物의 이용 등 綜合的인 防除 對策을 講究할 必要가 있다.

우리 나라에 양배추가 導入된 것은 유럽, 미국 등지와 交易이 이루어진 이후에 비롯된 것으로 그 역사가 길지 못하며 배추와 같은 것이 西洋에서 들어왔다는 意味로 양배추라고 불려

지기 시작한 것으로 알려지고 있다.

제주도의 양배추 栽培面積은 1999년 925ha에서 46,969톤이 生産되어, 生産額 113억 원으로 제주도 農産物 生産액 순위 9위(濟州道農業技術院, 1998)를 차지하고 있으며 특히 북제주군은 全國 最高의 主産地를 形成하고 있다.

양배추는 서늘한 氣候를 좋아하는 好冷性 菜蔬지만 배추보다 高溫과 低溫에 잘 견딘다. 따라서 여름 栽培가 가능하며 겨울동안 露地에서 越冬도 가능하여 제주도에서는 겨울철 新鮮菜蔬로서 栽培가 이루어지고 있지만 시들음병을 비롯한 土壤病害에 대한 對策은 매우 미흡한 실정이다(高, 1998; 文, 1998).

이웃 日本에서는 1952년에 처음 양배추 시들음병이 發見되었는데 1967년 무렵부터는 日本의 모든 지역에서 발생하게 되어 여름 收穫과 여름 播種 栽培地에서 심각한 問題點으로 대두되었다고 한다(全國農村教育協會, 1979).

제주지역에서 주로 栽培되고 있는 양배추 品種인 '晩秋理想'과 '四季穫'은 시들음병에 매우 약한 것으로 알려져 있다(高, 1998; 송 등, 1996).

양배추 시들음병의 原因菌으로 알려진 *Fusarium oxysporum*은 眞菌界의 不完全菌에 속하며 小型 分生胞子와 大型 分生胞子, 그리고 내구체인 厚膜胞子를 형성하며 病原菌은 병든 植物體의 組織이나 土壤 속에서 菌絲와 厚膜胞子の 형태로 越冬한다(Snyder와 Hansen, 1940). 보통 土壤 중에 널리 分布하며 주로 흙의 粒자에 묻어 農器具나 사람 등에 의해 먼 거리로 이동되기도 하는 것으로 알려져 있다.

우리 나라의 경우 菜蔬의 土壤病害는 連作地에서 주로 發生하는 것으로 알려져 있는데 다른 作物에 登錄되어 있는 土壤消毒劑를 處理하는 防除 方法에 依存하고 있다. 그 이외의 방제 방법으로 播種期의 調節, 輪作, 抵抗性 品種의 이용 등과 같은 방법을 고려해 볼 수 있

나 어느 한가지 防除 方法에만 依存하는 것은 限界가 있으므로 여름철 休閑期에 太陽熱을 이용한 土壤消毒法을 中心으로 여러 가지 防除法를 複合 處理하는 것이 效果的이며 확실한 防除 手段이 될 것으로 생각되어 太陽熱을 이용한 土壤消毒 防除法의 確立으로 여러 가지 土壤病害의 致命的인 被害를 줄여 菜蔬栽培 地域에 있어서 生産의 安定化를 기하는데 이바지하고자 양배추 시들음병을 대상으로 본 試驗을 實施하였다.

材 料 및 方 法

試驗 1. P.E. 필름 멀칭에 의한 太陽熱 土壤消毒 效果

가. 遂行方法

(1) 試驗場所

제주도 북제주군 한림읍 수원리 264-14 농가 포장 및 애월읍 상귀리 제주도농업기술원 시험포장에서 실시하였다.

(2) 處理內容

토양을 耕耘 후 너비 1.2m, 길이 15m의 이랑을 만들어 토양 깊이 5cm, 10cm, 15cm, 20cm에 地溫 測定用 溫度計(MODEL TH-018, 테스트ン株式會社)를 設置하였다. 온도계는 外部 센서가 附着되어 있어서 最高溫度를 記憶할 수 있는 디지털온도계를 사용하였고 太陽熱 土壤消毒 處理區는 1998년 8월 1일(1999년은 7월 26일)에 두께 0.03mm, 폭 150cm의 폴리에틸렌 필름으로 멀칭 처리를 하였다.

나. 調査內容

(1) 土壤溫度의 差異

토양깊이 5cm, 10cm, 15cm, 20cm에 설치한 디

지털온도계로 여름철 休閑期인 1998년 8월 4일부터 9월 3일까지, 그리고 1999년에는 8월 2일부터 9월 1일까지 1개월간 매일 16:00시경에 조사하여 대조구, P.E. 필름 멀칭구의 地溫을 比較하였다.

(2) 土壤微生物의 檢出

태양열 토양소독이 여러 가지 土壤微生物에 미치는 影響을 알아보려고 비닐 멀칭하기 前과 멀칭 後의 토양을 採取하여 微生物을 分離 比較하였다.

各 處理區別로 5군데에서 植物體 부근의 土壤表面 5~10cm의 土壤試料를 100g씩 採取하여 混合한 後 2mm 채로 쳐서 試驗區當 30g의 토양을 殺菌水 270mL에 稀釋하여 30분간 振盪하였다. 이것을 土壤稀釋平板法에 준하여 全體 細菌과 放線菌은 10^4 , 絲狀菌은 10^5 , *Fusarium oxysporum*은 10^3 배의 稀釋液으로 調整하고, 土壤稀釋液의 0.1mL를 各 選擇培地の 샤레 內에 塗布하여 28°C에서 培養하고 사상균과 세균은 4일 후, 방선균과 *F. oxysporum*은 6일 후에 검토했다.

사상균 분리배지는 rosebengal寒天培地를 使用하여 rosebengal(1g) 3.3mL, 蒸溜水 1.0L를 殺菌(121°C, 15분간)하여 40°C까지 식힌 後 초산스트렙토마이신 30.0mg을 添加하여 샤레에 분주하였다.

세균, 방선균의 분리배지는 알부민배지를 사용하였고 *F. oxysporum*의 분리는 Komada배지를 조제하여 사용하였다(駒田, 1975).

(3) 土壤의 理化學性 變化

處理 前·後의 試驗圃場內 5개소에서 토양 깊이 10cm까지 試料를 採取하여 pH, 有機物, 磷酸, 置換性鹽基 등 토양의 이화학성질을 조사하였다.

試驗 2. 太陽熱 消毒에 의한 양배추시들음병 防除

가. 試驗場所

시들음병에 罹病性 品種인 '四季穫'을 공시하여 제주도 북제주군 한림읍 수원리 264-14 農家 圃場에서 실시하였다.

본 포장은 양배추를 7년간 連作 栽培한 포장으로 1997년에 양배추 시들음병 發病率이 25%로 나타났던 곳이다(農業科學技術院, 1997; 濟州道農業技術院, 1998).

나. 遂行方法

(1) 處理內容

圃場을 耕耘 後 퇴비 施用 등 處理別 投入物을 定量씩 처리한 다음 처리구당 $24m^2(1.5 \times 16m)$ 의 區劃으로 나누어 다시 약 10cm 깊이로 耕耘 作業을 하였다. 그리고 두께 0.03mm, 폭 150cm의 P.E. 필름으로 P.E. 필름 멀칭구, 퇴비 사용($72kg/24m^2$)후 P.E. 필름 멀칭, Dazomet(상품명: 밭사미드 분제 $360g/24m^2$, 노바티스 아그로코리아) 처리+P.E. 필름 멀칭, 청예수수 사용($96kg/24m^2$)후 P.E. 필름 멀칭, 대조구로 설치하였다.

멀칭한 기간은 1998년 7월 19일부터 9월 5일(1999년은 7월 23일부터 9월 12일)까지 실시하였고 亂塊法 3反復으로 시험구를 배치하였다.

(2) 一般 管理

1998년 8월 5일(1999년은 8월 12일) 128공育苗箱子에 床土를 채워 播種하고 蛭石(버미클라이트)으로 覆土한 後 30일간 育苗한 것(본엽 3~4매)을 1998년 9월 5일(1999년은 9월 12일) 각 처리구별 3반복으로 定植하였으며 定植 間隔은 줄 사이 60cm, 포기 사이 40cm로 하여 매 시험구 마다 12포기씩 定植하였다. 태양열 토

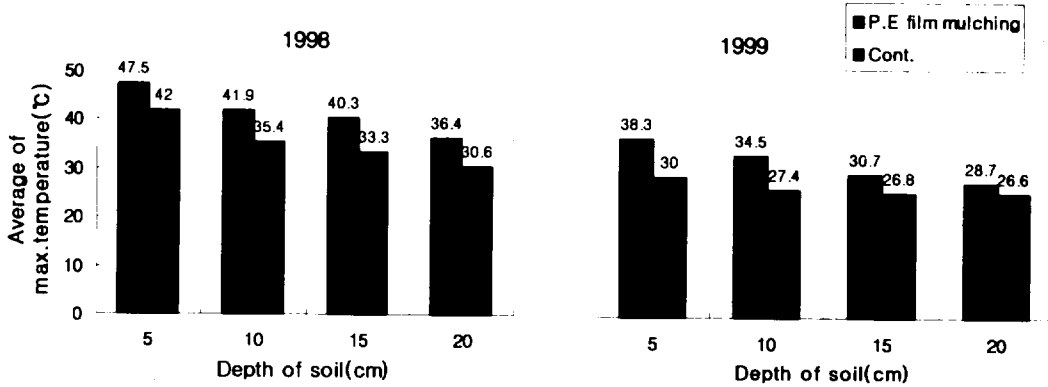


Fig. 1. Soil temperature according to the depth of soil in treatment plots. Duration of survey : from Aug. 4 to Sept. 3, 1998 ; from Aug. 2 to Sept. 1, 1999.

양소독을 위한 P.E. 필름 被覆 등을 처리하기 전에 밑거름을 耕種基準에 준하여 N 11.2, P₂O₅ 9.0, K₂O 12.0kg/10a을 全面的에 골고루 뿌린 다음 耕耘하였으며 퇴비는 堆肥施用 시험구에만 施用하였고, 웃거름은 N 12kg/10a을 2회에 나누어 施用하였으며 K₂O 6kg/10a을 1회 施用하였다.

定植할 때부터 收穫할 때까지 灌水 및 除草, 病害蟲 防除 등은 耕種 基準에 의하여 관리하였다.

다. 調査內容

農事試驗研究調査基準(農振廳, 1995)에 준하여 각 시험구별 12포기씩 조사하였다. 罹病率은 9월 중순부터 10월 중순까지 잎의 畸形化, 병든 잎의 脫落, 導管의 變色 등을 눈으로 관찰하여 양배추 시들음병의 特徵的인 症勢를 나타내고 병에 걸린 것이 확실하다고 판단되는 식물체를 罹病株로 判定하여 罹病 포기수/12포기×100으로 算出하였다. 生育調査는 처리구별 각 5주씩 무작위로 선정하여 結球 전에 草長을 조사하였고, 수확기에 球重을 조사하여 P.E. 필름 멀칭재배구와 대조구를 비교하였다.

結果 및 考察

試驗 1. P.E. 필름 멀칭에 의한 太陽熱 土壤消毒 效果

가. 土壤溫度의 差異

태양열을 이용한 토양소독 기간 동안의 地溫은 해에 따라 차이가 있으나 1999년처럼 여름이 서늘하고 비가 많이 내린 해에도 멀칭처리구가 대조구에 비하여 어느 정도 높게 유지됨을 알 수 있었다.

1998년의 경우 깊이 5cm의 最高 平均地溫은 대조구가 42.0°C였는데 비하여 P.E. 필름멀칭구에서는 47.5°C로 5.5°C 정도 높게 나타났다. 깊이 10cm에서 대조구는 35.4°C였는데 비하여 P.E. 필름 멀칭구에서는 41.9°C로 나타났고, 가장 깊이는 20cm에서도 대조구 30.6°C에 비하여 P.E. 필름멀칭구는 36.4°C로 차이가 있었다. 여름에 비가 많았던 1999년에는 5cm에서의 지온이 대조구인 경우 30.0°C에 비하여 P.E. 필름 멀칭구는 最高地溫의 平均溫度가 38.3°C로 8.3°C 높게 나타났다지만 1998년에 비해 높은 온도로 유지된 지속기간은 매우 짧게 유지되었다(Fig. 1, 2).

Table 1. Number of days above 40°C according to the depth of soil treated.

| Year | Depth of soil (cm) | P.E. film mulching (days) | Control (days) |
|------|--------------------|---------------------------|----------------|
| 1998 | 5 | 27 | 5 |
| | 10 | 23 | 0 |
| | 15 | 20 | 0 |
| | 20 | 3 | 0 |
| 1999 | 5 | 20 | 0 |
| | 10 | 5 | 0 |
| | 15 | 0 | 0 |
| | 20 | 0 | 0 |

* Duration of survey : from Aug. 4 to Sept. 3, 1998; from Aug. 2 to Sept. 1, 1999.

福井 등(1981)은 露地에서 비닐 또는 폴리에틸렌 被覆으로 地溫 上昇 效果가 나타나는 것을 확인하였는데, 얇은 곳일수록 피복에 의한 최고 地溫의 上昇은 큰 것으로 나타났으며 지하 5~20cm의 平均最低地溫은 무처리구보다 5°C 높은 31~34°C였는데, 最低地溫은 最高地溫에 비하여 피복처리에 따른 상승효과가 적었다고 하였다.

이 시험 결과 40°C 이상 기록된 날은 토양깊이 5cm에서 1998년은 27일, 1999년은 20일이었

고, 10cm에서는 1998년 23일, 1999년은 5일로 나타났다. 15cm 깊이에서 40°C 이상 기록된 날은 1998년에 20일이었지만 1999년에는 없었다. 이것은 1999년에 비가 자주 내린 이상기상 때문인 것으로 생각되었으며, 작물의 뿌리가 분포되어 있고 토양미생물도 많이 서식하고 있는 부분인 토양 깊이 10cm에서 병원균 사멸 가능 온도로 알려진 40°C를 상회하는 날은 1998년의 경우 P.E. 필름멀칭구가 23일로 나타나 태양열 토양소독 효과가 크게 기대되었다(Table 1).

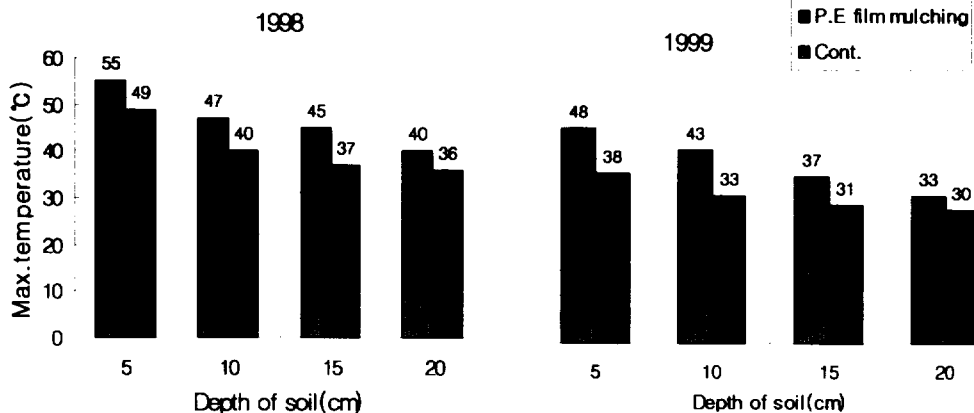


Fig. 2. Maximum soil temperature according to the depth of soil in treatment plots. Duration of survey : from Aug. 4 to Sept. 3, 1998 ; from Aug. 2 to Sept. 1, 1999.

Table 2는 태양열 토양소독 기간 동안 시험 포장에서 가까운 제주기상대에서 측정한 기상 자료를 정리한 것이다.

1999년의 기상은 平年이나 1998년에 비하여 기온이 다소 낮고 降水量은 많았으며 日照時間은 부족한 것으로 나타났는데, 8월부터 9월 상순까지의 일조시간은 141.2 시간으로 평년보다 매우 부족하게 나타났으며, 강수량은 721mm로 평년보다 많았다.

8월과 9월에 비가 내린 날(2.0mm 이상 기록된 날)은 1998년은 10일인데 비하여 1999년에는 26일이었고 강수량도 매우 많았음을 알 수 있었다.

태양열로 토양을 소독할 경우 날씨에 따라 地溫의 上昇 程度가 좌우되는데, 태양열 처리 기간 중에 하루 동안 積算日射量이 20MJ/m² 이상되는 맑은 날이 20일 이상되면 효과가 있고, 태양열 토양처리에 따른 地溫의 상승은 토양 표면으로부터 깊을수록 적어지게 되므로 파

종전의 耕耘은 알고 가볍게 하여 深層部에 있는 병원균이 地表面으로 이동하지 않도록 작업하면 효과가 높아질 것으로 추찰되었다(北田, 1997).

福井 等(1981년)은 딸기 萎黃病에 대해 露地에 被覆處理하면 病 發生을 줄이는 효과가 있었고 하우스밀폐처리는 안정적인 방제효과가 있어 *Fusarium oxysporum*의 균량은 지하 0~5cm에서 현저히 적었으나 10~15cm에는 다수 존재하였다고 보고하였으며, Hirano 등(1996)도 태양열토양소독 처리기간 중 하우스내 최고 온도가 58.4℃일 때 토양깊이 5cm는 46.3℃, 30cm는 39.9℃까지 상승하였고 계속하여 40℃ 이상 경과시간은 깊이 5cm에서 305시간, 15cm에서 329시간, 30cm에서는 39℃이상의 온도로 200시간이 되어 토양중의 疫病菌을 死滅하는데 높은 효과가 있었다고 발표한 바 있다.

이러한 점에 비추어 볼 때 여름철 休閑期에 멀칭에 의해 地溫을 충분히 높이면 병원균이

Table 2. Comparison with weather condition between common year and investigation years.

| Items | | Aug. | | | Sept. |
|-------------------------------|-------------|-------|--------|-------|-------|
| | | Early | Middle | Late | Early |
| Average of air temperature(℃) | 1998 | 29.9 | 29.1 | 25.9 | 25.4 |
| | 1999 | 25.9 | 26.8 | 24.3 | 25.7 |
| | Common year | 27.4 | 26.7 | 25.9 | 24.5 |
| Maximum air temperature(℃) | 1998 | 33.2 | 32.6 | 28.6 | 28.4 |
| | 1999 | 28.2 | 29.5 | 26.4 | 28.1 |
| | Common year | 30.6 | 29.9 | 29.0 | 27.6 |
| Sunny hours for 10days | 1998 | 94.6 | 74.9 | 62.9 | 74.0 |
| | 1999 | 26.1 | 56.6 | 19.8 | 38.7 |
| | Common year | 83.8 | 70.7 | 69.8 | 60.1 |
| Rainfall(mm) | 1998 | 22.1 | 3.1 | 51.6 | 0.0 |
| | 1999 | 347.0 | 17.1 | 278.7 | 78.2 |
| | Common year | 42.4 | 79.3 | 119.6 | 75.7 |

* Date of common year is average during 30 years from 1961 to 1990. (by Cheju meteorological observatory)

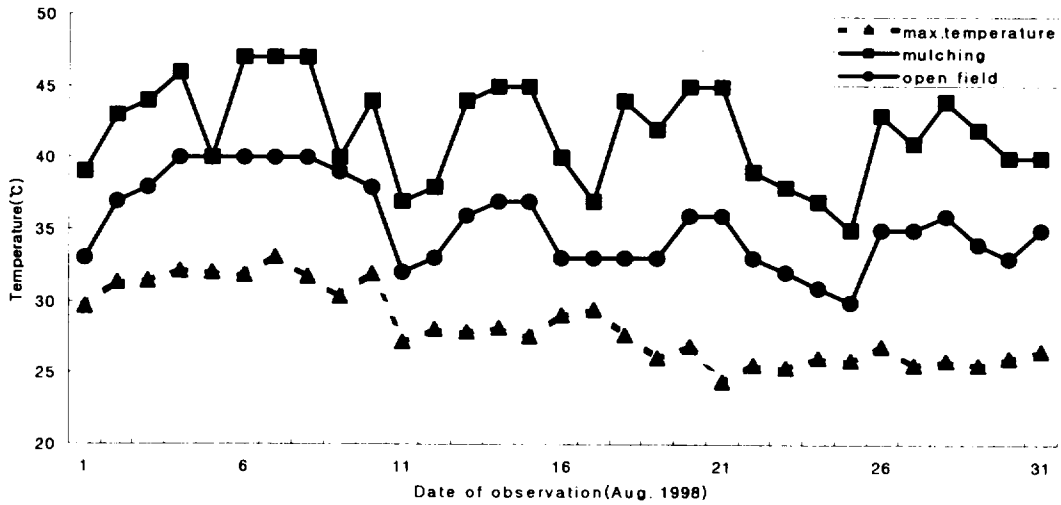


Fig. 3. Changes in maximum air and soil(10cm depth) temperature according to the treatment.

많이 분포되어 있는 根圈 部分의 토양병원균 밀도가 줄어들게 되어 병해 방제에 효과적인 것으로 사료되었다.

토양온도의 상승은 기상의 연차 변동에 따라 차이가 있어 담수처리의 병용으로 딸기위황병 등의 사멸조건을 충족시킬 수 있었다고 小玉 등(1979)이 보고한 바 있는데, 여름철에 비가 많이 내리어서 무덥지 않고 서늘한 기상이 계속되는 해는 태양열에 의한 토양 소독 효과가 충분하지 못할 우려가 있으므로 멀칭 기간을 더 연장하면서 다른 방제 수단을 병행할 필요가 있을 것으로 생각되었다(Hirano 등, 1996; 山本, 1987).

小玉 등(1979)과 福井 등(1981)은 하우스 내 토양온도의 日變化에 대하여 조사하였는데, 지표면의 日最高地溫은 13~14시에 60~70°C로 되고 심층부로 갈수록 시간적으로 늦어져서 地表下 20cm에서는 19~20시경에 나타났고, 日較差는 地表面일수록 크고 深層部로 갈수록 적었으며 地表下 20cm에서는 약 5°C의 變溫이었다고 하였다.

猪坂(1985)는 태양열 이용에 의한 露地의 토

양병해 대책에 대하여 보고하였는데, 露地의 태양열 처리 효과는 병원균의 死滅 또는 不活性化에 요하는 地溫이나 그 적산시간에 따라 결정된다고 하였으며, 耕種的인 면에서 불 때 소독효과가 미치는 土層은 地表下 10~15cm 정도이므로 淺根性 菜蔬나 재배기간이 짧은 채소에는 효과가 높았다고 하였다. 처리기간중의 地溫 上昇 程度는 그 해의 기후에 좌우되기 때문에 몇 일을 처리해야 소독효과가 있을까 결정하기가 어려우므로 최고기온으로부터 地溫을 추정하여 처리기간을 설정할 수 있다고 하였다. 또 최고 기온에 따른 地表下 10cm의 지온이 40°C 이상에 달한 시간과의 관계를 측정하였는데, 최고기온 30°C의 날은 40°C 이상의 地溫이 4.5시간, 31°C인 날에는 5.9시간, 32°C의 날에는 7.2시간 지속되었다고 하였다.

Fig. 3은 1998년 8월 한 달 동안 토양깊이 10cm 地溫의 變化를 나타낸 것으로서 멀칭 처리구의 地溫이 노지 보다 훨씬 높게 유지되는 것을 알 수 있었다.

福井 등(1981)은 露地에서 비닐 또는 폴리에

탈렌 필름에 의한 피복으로 지온 상승 효과가 나타나는 것을 확인하였는데, 3년간 처리기간 중 피복구는 지하 5cm에서 평균 日最高地溫 46.5℃로 되었고 무처리구보다 11.8℃나 높았으며 일사량이 많은 1979년에 최고지온을 나타낸 8월 2일에는 지하 5cm에서 피복구는 무처리구에 비하여 最高地溫이 15℃ 높았고 50℃가 되었다고 하였다. 지하 10cm에서는 피복구의 하루 평균 최고지온은 무처리구에 비하여 9.5℃ 높은 41.9℃로 되었고, 지하 20cm에서는 7.9℃ 높게되어 38.9℃로 되었다고 한 결과와 비슷한 경향이었다.

나. 土壤微生物의 檢出

여름철 休閑期 P.E. 필름 멀칭 처리가 여러 가지 토양미생물 사멸에 미치는 영향을 알아보고자 비닐 멀칭하기 전과 태양열 토양소독 후의 토양을 채취하여 미생물을 분리 비교하였다 (Table 3).

토양 10cm 깊이에서 태양열 토양 소독 처리 전과 처리 후의 *Fusarium oxysporum* 및 絲狀菌, 放線菌, 細菌의 密度 變化를 분석한 결과, 양배추 시들음병의 병원균인 *Fusarium oxysporum*은 P.E. 필름멀칭처리구에서 현저히 줄어든 반면 사상균은 무처리구에서는 늘어났고 P.E. 필름멀칭처리구에서는 감소하는 경향이있

다. 해로운 병원균에 대하여 拮抗菌으로 활용이 가능한 방선균 및 세균의 수는 멀칭처리구에서 처리 전보다 상당히 많이 늘어나 높은 온도에 잘 적응하는 것으로 보이며 태양열 처리에 拮抗菌을 이용한 生物學的 防除 方法을 병행한다면 토양병해에 의한 피해를 줄이는 효과가 더욱 향상될 것으로 생각되었으며, 이러한 결과는 宮本와 小玉(1995)가 태양열 토양소독 처리를 하면 높은 온도를 좋아하는 유익한 拮抗微生物이 많이 분포하게 되고 따라서 해로운 병원균이 차후에 二次的으로 침입하는 것까지 막을 수 있을 것이라고 한 보고 내용과 비슷한 경향이었다.

작물의 뿌리 부분에 있는 사상균 構成集團의 多樣性은 작물 뿌리 발달과 밀접하게 관여한다고 하였는데, 사상균 구성집단이 다양화됨에 따라 뿌리의 생육이 촉진되는 機作은 현재 밝혀져 있지 않지만 根圈에 생육하는 사상균의 종류가 풍부해짐에 따라 사상균 상호 작용이 다원화되기 때문에 뿌리의 발달을 저해하는 병원균의 증식은 제어되고, 뿌리의 발달에 좋은 根圈 形成이 이루어진다고 하였으며, 사상균 구성집단이 단순화되기 쉬운 連作 圃場에 있어서도 堆廐肥의 施用에 따라 뿌리의 발달이 촉진되는 것으로 알려져 있는데 그 배경에는 根圈의 사상균 구성집단의 다양화가 관여하고 있

Table 3. Changes in the density of microorganisms by P.E. film soil mulching.

| Items | <i>F.oxysporum</i> ($\times 10^3/g$ soil) | | Fungi ($\times 10^5/g$ soil) | | Actinomycetes ($\times 10^4/g$ soil) | | Bacteria ($\times 10^7/g$ soil) | |
|--------------------|---|----------------|----------------------------------|----------------|--|----------------|-------------------------------------|----------------|
| | Before mulching | After mulching | Before mulching | After mulching | Before mulching | After mulching | Before mulching | After mulching |
| P.E. film mulching | 6.0 | 1.0 | 14.0 | 5.0 | 1.5 | 21.0 | 19.0 | 30.5 |
| Control | 5.5 | 3.0 | 14.5 | 19.0 | 2.5 | 6.5 | 20.5 | 21.5 |

는 것으로 생각되며, 토양병해에 대해서 지금까지는 병원균의 활성 억제가 주요 과제로 되었지만 앞으로는 병원균 자체의 활성 억제와 함께 미생물 구성집단 전체를 어떻게 관리하여 나갈 것인가가 큰 과제로 될 것이다. 또 토양 중에 있는 병원균을 완전히 없애는 것은 불가능하므로 풍부한 구성집단을 이루게 하여 해로운 병원균의 활성을 약화시키고 작물 생육을 좋게 하는데 기여하도록 하는 것이 바람직하다고 생각되었다(新田, 1989).

梁(1999)은 發病地의 토양이 無發病地의 토양보다 세균 밀도가 높은 경향이었고 방선균은 발병지 토양이 무발병지의 토양보다 낮았으며 사상균의 밀도는 무발병지의 쪽이 발병지 보다 높은 경향이었고 *Fusarium* 균의 밀도도 발병지가 무발병지 보다 높았다고 하였다. 그리고 新田(1989)는 연작을 하였을 때 토양 중의 사상균 구성집단 변화에 대한 보고에서 연작을 하면 사상균 집단이 단순화되는 이유로 수확 후 포장에 남겨진 농작물의 찌꺼기가 영향을 주는 것이라고 하였다. 미생물은 환경 조건에 따라서 優點하는 종이나 대사능력이 변하기 쉬우므로 새로운 환경조건에 적용한 그 때까지와는 다른 균이 불어나고 잠재적 저해능력이 활성화하는 것으로, 유기물을 첨가하면 根圈의 細菌, 放線菌이나 絲狀菌이 증가하고, 방제효과가 높은 토양에서는 세균 수와 방선균 수와의 비가 적은 것으로 알려져 있지만 이것은 유기물의 종류나 첨가 후 조사시기에 따라 변동이 커서 반드시 정확하지는 않다고 하였다. 그러나 拮抗性細菌 數는 옥수수를 첨가한 경우에는 처리 후 3주 째에 최고의 균수로 되고 拮抗性의 放線菌 수는 5주 째에 최고치로 되었으며, 옥수수 등의 유기물 첨가에 따라 拮抗性 放線菌이 증가하면 *Rhizoctonia* 속 균의 着生率이 저하한다고 하였다(渡辺, 1980). 그리고 小田

(1979)는 하우스를 밀폐하거나 지표면 P.E. 필름 멀칭 등에 의해 급격히 올라가는 地溫의 변화와 산소의 缺乏(還元化)이 토양 미생물의 활동에 상당한 영향을 미친다고 하였다.

北田(1997)는 태양열 처리가 완료된 토양을 처리일수별로 채취하고 稀釋平板法에 의해 토양 중의 *Fusarium oxysporum*과 그 외 다른 사상균 포자 수를 조사한 결과 *Fusarium oxysporum*은 20일간 처리로 현저히 胞子密度가 줄어들었고, 그 밖의 사상균은 40일간 이상 처리했을 때 密度가 현저하게 저하하는 것을 밝혔다. 비교적 낮은 온도가 계속되는 우기인 경우에도 40일 이상의 처리에서는 장시간의 고온 효과가 기대되어 병원균 밀도저하가 될 것으로 사료된다고 하였고, 태양열 토양소독에 의해 잡초의 발생도 억제되었는데 20일간 처리하였을 경우 잡초의 밀도를 1/6 정도로 억제할 수 있었고 40일간 이상 처리하면 거의 발생하지 않았다고 하였다.

다. 土壤의 理化學性 變化

태양열 토양소독 처리 전후에 시험포장의 토양 시료를 채취하여 pH, 유기물, 인산, 置換性鹽基 등 土壤의 理化學性을 조사하였다(Table 4).

토양 pH는 처리 전에 5.1로 적정치 6.0~6.5보다 매우 낮았는데 처리 후에는 전반적으로 pH 數值가 올라가는 경향을 보였다. P.E. 필름 멀칭 처리구는 pH 6.7로 가장 높았고, 그 다음이 Dazomet 처리후 P.E. 필름멀칭 처리구가 pH 6.0으로 나타나 적정치 범위로 되었다.

유효 인산은 처리 전에 적정치 350~450mg/kg보다 다소 높은 583mg/kg이었으나 청예수수 施用後 P.E. 필름멀칭 처리구, P.E. 필름멀칭 처리구, Dazomet 처리후 P.E. 필름멀칭 처리구에서는 처리전보다 함량이 내려가 적정치로 되었다.

칼슘은 처리 전에 적정치 6~7me/kg보다 낮

Table 5. Effect of solar sterilization on the control of *Fusarium oxysporum* by various treatments. (%)

| Treatment \ Year | P.E. film mulching | Manure and P.E. film mulching | Dazomet and P.E. film mulching | Sorghum and P.E. film mulching | Control | Average |
|------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|---------|
| 1998 | 44.5 | 16.7 | 8.3 | 27.8 | 69.5 | 33.3 |
| 1999 | 19.5 | 19.4 | 13.9 | 16.7 | 27.8 | 19.4 |
| Average | 32.0 | 18.1 | 11.1 | 22.2 | 48.7 | |
| LSD(5%) | between year means | | | | | 11.6 |
| LSD(5%) | between treatment means | | | | | 10.0 |
| LSD(5%) | between treatment means for same year | | | | | 14.1 |

16.7% 및 27.8% 순으로 낮아지는 경향을 보였다. 이것은 태양열 토양소독 처리로 地溫이 높아져 土壤內 병원균의 밀도가 낮아졌기 때문에 시들음병 罹病率이 낮아진 것으로 推察되었다 (Katan, 1980; Grinstein 등, 1979; Pullman 등, 1981; 小E 등, 1979; 駒田 등, 1980; 清水 등, 1987; Hirano 등, 1996).

1999년의 여름은 비가 내린 날이 많아 日照時間이 平年보다 매우 부족하게 나타났고 강수량도 平年보다 매우 많았다(Table 2). 이러한 氣象條件으로 인하여 全般的으로 양배추 시들음병이 다른 해보다 덜 발생하였고 태양열 처리 효과도 크지 않았던 것으로 思料되었다.

약제 처리에 의한 토양소독은 병원균뿐만 아니라 유익한 拮抗菌까지 모두 죽이는 것으로 알려져 있는데(小E 등, 1979), 1998년, 1999년 두 해 모두 약제 처리에 의한 토양소독은 罹病率이 가장 적게 나타나 방제효과가 다른 처리구보다 높았지만 1998년의 이병율 8.3%에서 1999년에는 13.9%로 增加하는 경향이 나타났다. 이것은 병원균의 토양소독 약제에 대한 耐性 發達 때문이거나 拮抗菌의 死滅에 기인한 것이 아닌가 생각되었다.

小E 등(1979)도 태양열 토양 소독에 의해 *Fusarium oxysporum*은 無處理土壤, 하우스 密閉處理土壤에서 적게 검출되었고, 취화메틸제,

高壓蒸氣消毒 및 클로르피클린제 처리토양의 順으로 많았다고 하였는데, 各處理土壤에 菌接種 3일 후에 심은 딸기 어린 묘의 萎黃病 發生에는 差異를 인정할 수 없었지만, 畝 積종 30일 후에 심은 딸기에서는 發病 差가 크게 나타났고 무처리 및 하우스 밀폐처리토양에서는 發病率이 크게 감소되었으나 클로르피클린제로 소독한 토양에서는 그 發病率이 높았다고 하였는데 이 부분에 대해서는 앞으로 深度 있는 研究가 이루어져야 할 것으로 생각되었다.

퇴비처리구에서 罹病率이 비교적 낮게 나타났는데 有機物 施用과 토양 병 발생에 관한 연구보고는 많다(松田, 1978; 新田와 松川, 1988; 今野 등, 1988). 그러나 같은 유기물을 施用하여도 반응이 다르고 발병이 경감되거나 조장되는 등 유기물의 시용 효과는 작물 및 병해의 종류에 따라서 복잡한 반응을 나타내며, 이와 같은 현상은 유기물의 종류 뿐만 아니라 화학비료 施用量이나 施肥 時期에 따라서도 반응이 다르며 *Fusarium* 병에 대한 발병 정도도 다르게 나타나는 것에 대하여 梁(1999)은 그 이유를 퇴비 성질이 다른 것을 사용하였기 때문이며, 같은 有機物일지라도 그 성상이나 시용 방법에 따라 작물에 미치는 영향이 크게 달라질 수 있다고 하였다.

畝作作物을 밭에 넣어주면 토양병해 방제에

효과가 있는 것으로 알려져 있는데, 토양 병의 발생을 줄이기 위하여 靑劑 보리를 밭에 添加 하면 土壤 中の 細菌이 증식될 뿐만 아니라 병원균이 감염될 때 가장 필요한 질소 성분이 細菌에 의해 먼저 이용되기 때문이라고 한 것(渡辺, 1980)과 유사한 결과로 생각되었다.

시들음병에 의한 양배추의 枯死率(Table 6)은 대조구가 1998년에 75.9%였고, 1999년에 69.5% 정도로 큰 차이가 없었다. P.E. 필름 멀칭처리구는 1998년 36.7%, 1999년 27.8%로 낮

은 경향을 보였으나 枯死되지 않은 罹病株도 生育이 부진하여 商品性이 매우 떨어졌다. 따라서 土壤病은 걸린 다음에 대책을 세우는 것보다 미리 준비를 철저히 하여 병에 걸리지 않도록 하는 것이 중요할 것으로 생각되었다.

양배추 시들음병이 발생한 포장과 罹病된 양배추 비율을 조사한 결과(Table 7) 1998년에는 조사포장 81개소 중에서 발병포장이 10%를 나타내었고, 발병포장에서 50주씩 조사한 결과 병에 걸린 양배추는 68포기로 罹病率 17%를

Table 6. The mortality rate of cabbage yellows in the fields by various treatments. (%)

| Treatment | P.E. film mulching | Manure and P.E. film mulching | Dazomet and P.E. film mulching | Sorghum and P.E. film mulching | Control | Average |
|-----------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|---------|
| 1998 | 36.7 | 27.7 | 100 | 76.7 | 75.9 | 63.4 |
| 1999 | 27.8 | 33.3 | 83.3 | 72.2 | 69.5 | 57.2 |
| Average | 32.2 | 30.5 | 91.7 | 74.5 | 72.7 | |
| LSD(5%) | between year means | | | | | 21.9 |
| LSD(5%) | between treatment means | | | | | 28.2 |
| LSD(5%) | between treatment means for same year | | | | | 39.8 |

Table 7. The infection rate of cabbage yellows in the fields by various treatments.

| Year | Rate of infected fields | | | Rate of infected cabbage yellows | | |
|------|-------------------------|------------------------|----------------|----------------------------------|--------------------------|----------------|
| | No. of surveyed fields | No. of infected fields | Percentage (%) | No. of surveyed cabbages | No. of infected cabbages | Percentage (%) |
| 1998 | 81 | 8 | 10 | 400 ^z | 68 | 17 |
| 1999 | 84 | 3 | 3.6 | 150 | 21 | 14 |

^z No. of infected fields × 50

Table 8. Changes in the density of *F. oxysporum* according to depth of soil in the experimental field.

| Treatment | Density of <i>F.oxysporum</i> (×10 ³ /g soil) | | |
|--------------------------|--|--------|---------|
| | 0~5cm | 5~10cm | 10~15cm |
| Soil solar sterilization | 17 | 96 | 98 |
| Control | 168 | 212 | 298 |

Table 9. Comparison with cabbage leaf length according to various treatments by soil solar sterilization. (cm)

| Treatment | P.E. film mulching | Manure and P.E. film mulching | Dazomet and P.E. film mulching | Sorghum and P.E. film mulching | Control | Average |
|-----------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|---------|
| Year | | | | | | |
| 1998 | 35.6 | 39.2 | 39.8 | 38.4 | 23.7 | 35.3 |
| 1999 | 37.4 | 34.3 | 35.1 | 31.9 | 31.5 | 34.0 |
| Average | 36.5 | 36.7 | 37.4 | 35.2 | 27.6 | 34.7 |
| LSD(5%) | between year means | | | | | 1.2 |
| LSD(5%) | between treatment means | | | | | 1.2 |
| LSD(5%) | between treatment means for same year | | | | | 1.7 |

Table 10. Comparison with cabbage head weight according to various treatments by soil solar sterilization. (kg)

| Treatment | P.E. film mulching | Manure and P.E. film mulching | Dazomet and P.E. film mulching | Sorghum and P.E. film mulching | Control | Average |
|-----------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|---------|
| Year | | | | | | |
| 1998 | 1.8 | 2.1 | 2.2 | 2.0 | 2.1 | 2.0 |
| 1999 | 2.7 | 2.1 | 1.8 | 1.6 | 1.8 | 2.0 |
| Average | 2.3 | 2.1 | 2.0 | 1.8 | 1.9 | 2.0 |
| LSD(5%) | between year means | | | | | |
| LSD(5%) | between treatment means | | | | | 0.1 |
| LSD(5%) | between treatment means for same year | | | | | 0.2 |

나타내었다. 그러나 1999년에는 조사포장 84개소 중 3개 포장에서만 발병이 확인되었고, 발병포장에서의 이병율도 14%로 낮게 나타났다. 이것은 1999년은 비가 많이 내려 서늘한 날씨가 계속되었으므로 *Fusarium* 균의 생육 및 번식에 적합하지 않았기 때문이라고 推察되었다.

Table 8은 양배추 재배포장의 토양 깊이에 따른 *F. oxysporum*의 밀도 변화를 나타낸 것이다.

무처리구에 비하여 태양열 토양소독 처리구의 *F. oxysporum*이 顯著하게 減少하였고 토양 깊이가 깊을수록 菌이 많이 검출되어 어린 양배추의 뿌리는 알개 분포되므로 태양열 토양소독 처리로 시들음병 방제 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각되었다.

나. 生育調査

양배추 定植 2개월 후 草長을 조사하였는데 (Table 9) 1998년의 경우 대조구가 23.7cm로 가장 작았고 Dazomet 處理後 P.E. 필름멀칭구, 퇴비시용후 P.E. 필름멀칭구, 청예수수 施用後 P.E. 필름멀칭구, P.E. 필름멀칭구 順으로 큰 차이를 보였으며 1999년에는 P.E. 필름멀칭구가 다소 증가하는 경향을 보였다.

1999년의 경우에는 대조구 1.8kg/포기에 비하여 P.E. 필름멀칭구는 2.7kg/포기로 다소 차이가 있었지만 전체적으로 볼 때 대조구와 처리구간에 큰 차이는 없었다(Table 10). 따라서 태양열 토양소독처리가 작물 생육에 나쁜 영향을 미치는 경우는 없을 것으로 생각되었다.

摘 要

太陽熱 消毒에 의한 양배추 시들음병 發生을 抑制하기 위해서 實施한 試驗의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 太陽熱을 이용한 土壤消毒 期間 동안의 地溫은 해에 따라 差異가 있었지만 폴리에틸렌(P.E.) 필름 멀칭구가 대조구에 비하여 높게 유지되었다. 1998년 8월 4일부터 9월 3일까지 측정된 토양깊이 10cm의 最高地溫의 平均은 대조구 35.4℃보다 P.E. 필름 멀칭처리구가 6.5℃ 높은 41.9℃였다. 그리고 P.E. 필름 멀칭구의 토양깊이 10cm에서 40℃ 이상 기록된 날은 1개월중 23일이었다. 비가 많이 내렸던 1999년의 경우 10cm의 最高地溫 平均은 대조구가 27.4℃, P.E. 필름 멀칭처리구는 34.5℃로 7.1℃ 높았다.
2. 양배추 시들음병에 대한 防除 效果는 대조구에 비하여 太陽熱 土壤消毒處理區가 높게 나타났다. 1998년의 양배추 시들음병 罹病率은 Dazomet 施用+P.E. 필름 멀칭 處理區에서 가장 낮았고, 그 다음 퇴비 施用後 P.E. 필름 멀칭 處理區, 청예수수 施用後 P.E. 필름 멀칭, P.E. 필름 멀칭 處理區 順으로 낮았다.
3. P.E. 필름 멀칭 처리가 양배추 생육에 미치는 效果를 조사한 결과 초장은 대조구에 비하여 크게 나타났지만 구중은 큰 차이가 없었다.

引用 文 獻

1. Elad, Y., J. Katan, and I. Chet. 1980. Physical, biological, and chemical control integrated for soilborne diseases in potatoes. *Phytopathology* 70:418~422.

2. 福井俊男, 小玉孝司, 中西喜徳. 1981. 太陽熱 とハウス密閉處理土壤消毒法について IV 露地型被覆處理による土壤傳染性病害虫に對する適用擴大. 奈良縣農業試驗場研究報告 12: 109~119.
3. Grinstein, A., J. Katan, A. Abdul Razik, O. Zeydan, and Y. Elad. 1979. Control of *Sclerotium rofsii* and weeds in peanuts by solar heating of the soil. *Plant Disease Reporter* 63:1056~1059.
4. Hirano, T., T. Nakagome, M. Takimoto, U. Ohsawa, and Y. Kinbara. 1996. Physical control of calla phytophthora rot with soil solarization in greenhouse conditions. *Res. Bull. Aichi Agric. Res. Ctr.* 28:241~246.
5. 今野一男, 平井義孝, 東田修司. 1988. パーク堆肥の腐熟度指標と畝地への施用法. *日本土壤肥料學會誌* 59:621~625.
6. 猪坂律次. 1985. 太陽熱利用による露地の土壤病虫害對策. *今月の農業* 29(4):108~109
7. 濟州道農業技術院. 1998. 濟州道の 農業概觀, pp.1~4.
8. 全國農村教育協會. 1979. 野菜の病虫害診斷と防除, pp.271~273.
9. Katan, J. 1980. Solar pasteurization of soils for disease control: status and prospects. *Plant Disease* 64:450~454.
10. 北田幹夫. 1997. 太陽熱土壤消毒による夏播きホレンソウの安定栽培技術. *農業および園藝* 72(2):295~298.
11. 小玉孝司. 1979. 太陽熱利用によるハウス土壤消毒[1]. *農業および園藝* 54:193~194.
12. 小玉孝司, 福井俊男, 中西喜徳. 1979. 太陽熱 とハウス密閉處理による土壤消毒法について II.イチゴ萎黄病ほか土壤傳染性に對する土壤消毒効果と効果判定基準の設定. 奈良

- 縣農業試驗場研究報告 10:83~92.
13. 小玉孝司, 福井俊男, 松本恭昌. 1980. 太陽熱とハウス密閉處理による土壤消毒法について III. ハウス密閉處理が土壤微生物數およびイチゴ萎黃病菌の行動に及ぼす影響. 奈良縣農業試驗場研究報告 11:41~52.
 14. 駒田 旦. 1975. *Fusarium oxysporum*의選擇分離培地とその利用. 植物防疫 29:125~130.
 15. 駒田 旦. 1989. 土壤病害の綜合防除. 今月の農業 9:80~84.
 16. 駒田 旦, 加藤喜重郎, 吉野正義, 戸崎正弘, 米山伸吾, 木暮春幹夫, 後藤 昭. 1980. 太陽熱利用等による土壤病害防除對策, 特に關東東山東海地域連絡試驗を中心として. 太陽熱利用による土壤消毒に関する實證的研究, pp.135~146.
 17. 高順保. 1998. 양배추 시들음병균 *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*의 특성과 품종별 저항성 검정. 제주대학교 석사학위논문.
 18. 松田 明. 1978. 土壤病害からみた有機物のほ場施用法. 植物防疫 32:231~237.
 19. 宮本重信, 小玉孝司. 1995. 太陽熱を利用した土壤消毒の開発・普及. 農業技術 50:104~107.
 20. 文英仁. 1998. 太陽熱 土壤消毒에 의한 양배추 安定栽培技術開發. 제주대학교 석사학위논문.
 21. Moorman, G. W. 1982. The influence of black plastic mulching on infection rates of *Verticillium* wilt and yield of eggplant. *Phytopathology* 72:1412~1414.
 22. 成田保 三郎. 1983. 連作障害の對策について. 日本土壤肥料學會雜誌 52:170~179.
 23. 新田恒雄. 1989. 有機物施用による微生物的地力の増進. 農業および園藝 64:235~239.
 24. 新田恒雄, 松口龍彦. 1988. 堆きゅう肥の根圏局所施用によるアズキ落葉病の制御. 日本土壤肥料學會雜誌 59:140~148.
 25. 西尾道德. 1985. 最近の連作障害の實態と發生要因. 化學と生物 23:582~589.
 26. 農村振興廳. 1995. 農事試驗研究調査基準, pp.310~313.
 27. 農業科學技術院. 1997. 1996年度 農作物病害蟲調査事業報告書, pp.223~227.
 28. Olsen, C.M. and K.F. Baker. 1967. Selective heat treatment of soil, and its effect on the inhibition of *Rhizoctonia solani* by *Bacillus subtilis*. *Phytopathology* 58:79~87.
 29. Pullman, G.S., J.E. Devay, and R.H. Garber. 1981. Soil solarization and thermal death: A logarithmic relationship between time and temperature for four soilborne plant pathogens. *Phytopathology* 71:959~961.
 30. 清水寛二, 鈴木郎治, 高士祥助, 川田 和. 1987. 太陽熱利用による水田轉換畝露地野菜の土壤病害防除に関する研究(第2報, 第3報). 滋賀縣農業試驗場 研究報告 28:7~30.
 31. 庄子貞雄. 1993. 植物土壤病害抑止對策. 博友社, pp.129~143.
 32. Snyder, W.C. and H.N. Hansen. 1940. The species concept in *Fusarium*. *Amer. Bot.* 27:64~67.
 33. 송준호, 김용욱, 조준형. 1996. 양배추 萎黃病 抵抗性의 品種間 差異 및 遺傳. 韓育誌 28:171~177.
 34. Springer, J.K. and S.A. Johnston. 1982. Black polyethylene mulch and phytophthora blight of pepper. *Plant Disease* 66:281.
 35. 渡辺恒雄. 1980. 植物土壤病害[3]. 農業および園藝 64:235~239.

- び園藝 55:707~712.
36. 山口純一郎, 浦田丈一, 菅正 道. 1987. 施設栽培のナス青枯病に對する太陽熱利用の防除効果. 九州病害虫研究會報 33:45~47.
37. 山本敏夫. 1987. 園藝作物における線虫の總合防除. 農業および園藝 62:417~422.
38. 梁成錫. 1999. 施設果菜類のフザリウム病の發生生態と生物的防除に關する研究(- 根腐萎ちょう病およびつる割病を對象として-). 北海道大學博士學位論文.