太陽能在土壤傳播性病害之應用

黃秀華
台中區農業改良場

摘要

土壤傳播性病害是當前植物病害中最困擾的問題之一，不但其病原菌之生態複雜，且病害也不易防治，由鐮刀病菌 (*Fusarium* spp.) 引起之香蕉、蘿蔔、芹菜等之黃葉病及由 *Phytophthora* spp. 引起之蔬菜疫病等即是典型例子。近幾十年來，植物病理學家致力研究如何防治土壤傳播性病害的方法，以降低土壤中病原菌的數目，減少病害的發生。過去利用化學藥劑燻蒸及蒸汽消毒以降低土壤中病原菌數目，減少病害發生，頗著績效，尤其對 *Fusarium* spp., *Verticillium* spp., 及 *Phytophthora* spp. 所引起的病害有顯著的防治效果，但是使用不當，反而使病害發生更爲嚴重，因此未能普遍推廣。殺菌劑施於土中，常被土壤顆粒吸收，無法發揮其防治效果。輪作雖可減少土壤傳播性病害之發生，但台灣可耕地面積有限，農業趨向高度集約經營，輪作制度不易實行。生物防治是防治土壤傳播性病害最有希望的方法，但尚未達到實用階段。因之土壤傳播性病害，尚無良好防治措施。

Katan 等人在夏季利用透明 PE 塑膠布覆蓋土壤，經 3～4 週強烈的陽光照射，提高土壤的溫度，而將土壤中的 *Verticillium dahliae* ，*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* 植物病原菌殺死，降低了由這些病原菌所引起之病害 ，乃是最先提出利用此方法防治土壤傳播性病害的文獻 ，並將此方法稱爲 Solarization（日光消毒）。 而後經由國外多位學者之研究可以利用此方法防治多種之土傳病害，如 Verticillial wilt, Fusarial wilt, *Rhizoctonia solani* 及根腐線蟲。筆者在本省亦曾利用此方法可減少西瓜蔓割病約爲 38.8～73.84 %，蘿蔔黃葉病約爲 60.60 %，翠菊萎凋約爲 73.43 %左右。

Katan 等人認爲在炎熱的夏季，以透明的塑膠布覆蓋土壤，使土壤溫度提高約 10C 左右，病原菌的密度急劇下降； 至夜晚溫度下降，則會打破靜菌作用，而使得病原菌發芽，易受其他微生物的危害。在本省的試驗則可增加土溫約 9～10C 左右 ，降低土壤病原菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *apii* 及 *Fusarium oxysporum* 的密度約 75～100 % 。經過覆蓋處理後，除了上述效果外，尚可減少缺株，植株生長良好，此外也可以防治田間雜草。

關鍵字：日光消毒，土壤傳播性病害，防治。

前言

根據美國在31種作物，2000個主要病害當中，所作的調查，顯示有91％是土壤傳播性病原菌所致；由於此些病原菌生態環境的複雜性，加上其存活構造，如厚膜胞子（Chlamydospore）、卵胞子（Oospore）以及菌核（Sclerotinia）等，在土壤中能存活一段甚長的時間，且病害也不易防治，由鐮刀病菌（*Fusarium* spp.）引起之香蕉、蘿蔔、芹菜等之黃葉病及由*Phytophthora* spp.引起之蔬菜疫病等即是典型例子。因此如何防治這些病菌在作物上所造成的爲害，實爲當前植物病理學家所致力研究的主要課題之一。

近幾十年來，植物病理學家致力研究如何防治土壤傳播性病害的方法，以降低土壤中病原菌的數目，減少病害的發生。過去利用化學藥劑燻蒸及蒸汽消毒以降低土壤中病原菌數目，減少病害發生，頗著績效，尤其對 *Fusarium* spp., *Verticillium* spp., 及 *Phytophthora* spp. 所引起的病害有顯著的防治效果，但使用不當，易造成土壤生態眞空，反而使病害發生更爲嚴重；另殺菌劑施於土中，常被土壤顆粒吸收，無法發揮其防治效果。因此未能普遍推廣。生物防治是防治土壤傳播性病害最有希望的方法，但尚未達到實用階段[15]。輪作雖可減少土壤傳播性病害之發生，但台灣可耕地面積有限，農業趨向高度集約經營，輪作制度不易實行，因之土壤傳播性病害，尚無良好防治措施。本文主要是介紹利用物理方法來防治土壤傳播性病害，以提供農民參考。

內容

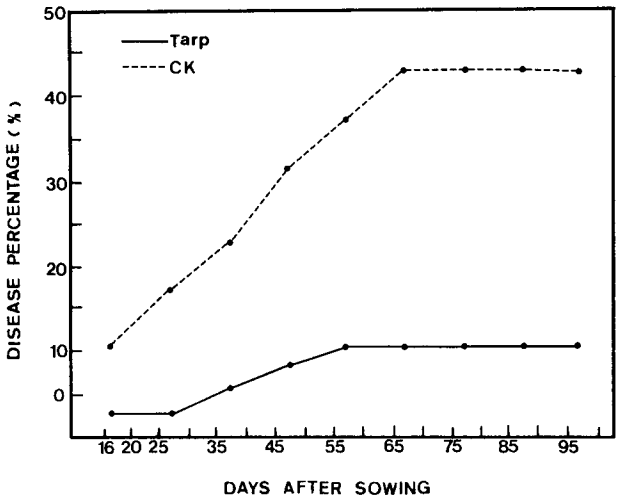
自古以來，世界各地普遍利用日光消毒器物，農業上則在寒冷季節利用日光及玻璃或塑膠布築造溫室及溫床栽種作物幼苗。至於水稻田於收穫後翻耕曝晒土壤以利生產，亦爲民間常聞之事，土壤經加熱處理以防止植物病害，亦早被普遍利用。羅馬古代已有以焚燒方法改良土地之生產力[11]。Groosheroy(1939)將煙草的種子及苗床的土壤直接在太陽下曝晒，以殺死煙草苗期黑色根腐病病原菌（*Thielaviopsis basicola*）的厚膜胞子，而達到防治效果，乃是最早有關利用太陽輻射能防治植物病害的報告[15]。

Katan 等人在夏季利用透明PE塑膠布覆蓋土壤，經3～4週強烈的陽光照射，提高土壤的溫度，而將土壤中的棉花萎凋病（*Verticillium dahliae*），蕃茄萎凋病（*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*）的植物病原菌殺死，降低了由這些病原菌所引起之病害，乃是最先提出利用此方法防治土壤傳播性病害的文獻，並將此方法稱Solarization（日光消毒）[1213]。現就有關利用此方法防治土壤傳播性病害作一介紹。

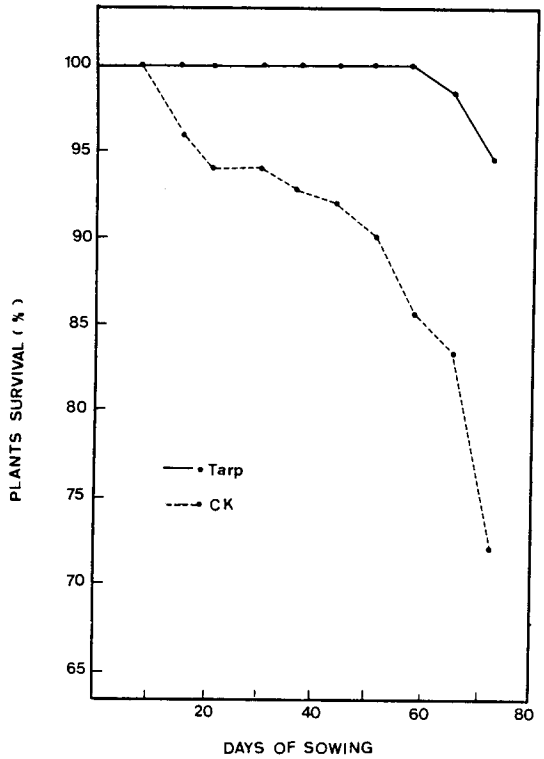
一．對病害的防治效果

Katan 等人在以色列研究利用此方法防治其他土壤傳播性病害，防治效果頗佳，如馬鈴薯的Verticillial wilt（*Verticillium dahliae*）及根腐線蟲（*Pratylenchus thornei*）防治效果在80％～100％之間[7,8,9,14]。Pullman等人也利用此方法在美國加州防治棉花的 *Verticillium dahliae*，*Pythium spp.*，*Thielaviopsis basicola* 及 *Rhizoctonia solani* 的病害及紅花子苗期的 *Verticillium dahliae* 病害效果良好，防治率皆達90％[16,17,18]。筆者也利用此方法在名間、屏東、鳳山、台中、新社等地防治胡瓜疫病、西瓜蔓割病、翠菊

萎凋病及蘿蔔黃葉病，結果發現也有很好的防治效果可以達到 40 ～ 75 %之間的防治效果（表一、圖一、圖二），顯示此方法在本省也是可以用來防治土壤傳播性病害。



圖一 日光消毒對翠菊萎凋病之影響
Fig 1 Effect of PE tarping on disease incidence of China aster



圖二 日光消毒對胡瓜疫病之影響
Fig 2 Effect of soil solarization on survival of cucumber plant

表一 日光消毒對病害防治之影響
Table 1 Effect of solarization on incidence of plant diseases.

Locality	Disease	Disease incidence(%)	
		Tarped	Nontarped
Pingtung	Fusarial wilt of watermelon	44	72
Fengshan	Fusarial wilt of china aster	11.4	42.9
Taichung	Fusarial wilt of watermelon	23.08	88.24
Shuiching	Radish of yellows	24.12	61.22

二. 日光消毒對土壤傳播性病害防治之機制

日光消毒法爲何能用來防治土壤傳播性病害的機制，大約有下列因素，現加以簡單介紹：

(1) 土壤溫度之提高

利用透明塑膠布在炎熱的季節覆蓋土壤，可提高土壤溫度，Katan[6,7,9,13,14]和Pullman[16,17]的覆蓋處理中，可以提高土壤溫度達52～60℃，較不覆蓋的土壤約高10℃，筆者在台灣研究亦與Katan 和Pullman 略同（表二）。此外筆者想了解本省能利用Solarization（日光消毒）來防治土壤傳播性病害的時間有多長，於中部地區由三月開始實行覆蓋，直到十月爲止，在此期間作覆蓋處理，測量溫度發現可以提高溫度達48.5℃，較未覆蓋區之土壤約高出10℃，可見本省可利用之時間很長，幾可長達半年之久（表三）。但覆蓋期間如遇下雨則溫度急劇下降，是爲本省覆蓋處理上的最大障礙，如何克服此障礙尚待更進一步的研究。

表二 塑膠布覆蓋對土壤溫度之影響
Table 2 Effect of soil solarization on soil temperature at various soil depths

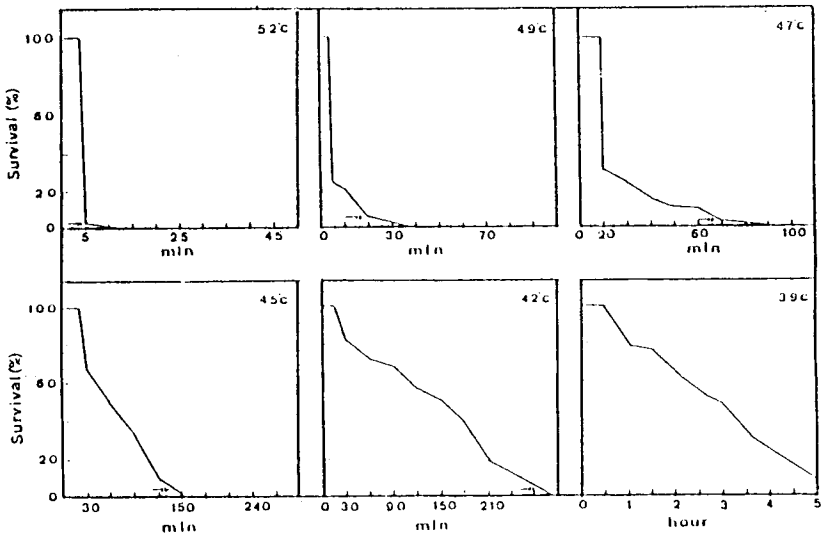
Treatment	Maximum soil temperatures (C)			
	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	45-60 cm
Pingtung (June 24 - July 22)				
Tarped	50.5	44	41	39
Nontarped	40	35	35	33.5
Taichung (Sep. 14 - Oct. 16)				
Tarped(Clay)	48.5	43	-	-
Nontarped(Clay)	40	38	-	-
Tarped(Sand)	45	41	-	-
Nontarped(Sand)	41	38	-	-

表三 塑膠布覆蓋對土壤溫度之影響
Table 3 Effect of soil solarization on soil temperature at various soil depths

Treatment	Maximum soil temperatures (C)			
	0- 5 cm	5-10 cm	10-15 cm	15-20 cm
Lukang (June 20 - July 18)				
Tarped	48	44	41	38
Nontarped	32	31.5	30	29
Taichung (Mar. 9 - Apr. 6)				
Tarped	49	47	42	38
Nontarped	41	38	34	31
Shuiching (July 4 - Aug. 3)				
Tarped	47	47	38	33
Nontarped	34.5	32	29	29

(2) 對病原菌之抑制作用

微生物對溫度的感受性依微生物的種類不同而不同，一般植物病原菌的致死溫度在50～60C之間。筆者曾在實驗室中試驗病原菌對溫度之反應情形發現溫度愈高對病原菌之50%致死時間則愈短（圖三）。由於覆蓋期間，會提高土壤的溫度至50C以上，在短時間內可以殺死病原菌，因此可以降低土壤中病原菌的密度。此外到了晚上無陽光照射時溫度則下降，形成間接消毒的環境。Katan[7,8,9,13,14]，Pullman[16,17]及Kodama[19]曾報告經過2～4週的覆蓋處理以後，可以降低病原菌密度達54～100%。筆者在田間試驗的結果也是可以降低病原菌的菌量（表四）。在防治土壤傳播性病害方面，能否降低土壤中病原菌的密度，常常是決定此防治方法能否成功的重要因子。



圖三 溫度對蘿蔔黃葉病菌之影響
Fig 3 Percentage survival of fungal propagules in soil in relation to temperature and time exposure. The arrows show the exposure time required to kill 90%(*Fusarium oxysporum f. sp. raphani*)

表四 日光消毒對植物病原菌之影響
Table 4 Effect of solarization on the viability of plant pathogen in naturally infested soil

Location and treatment	Viable propagules per garm of soil at the indicated depths										
	Fusarium oxysporum f. sp. *niveum*				*Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*			*Fusarium oxysporum* f. sp. *apii*			
	0-15	15-30	30-45	45-60	0-5	5-10	10-15	0-5	5-10	10-15	15-20
Pingtung											
Tarped	0	100	50	50							
Nontarped	300	176	76	50							
Lukang											
Tarped								360	960	1200	360
Nontarped								1320	3700	1800	360
Shuiching											
Tarped					0	1560	1200				
Nontarped					4200	3240	4560				
Puli											
Tarped					1200	1320	1560				
Nontarped					5520	4920	5160				

三．日光消毒對作物生長及缺株之影響

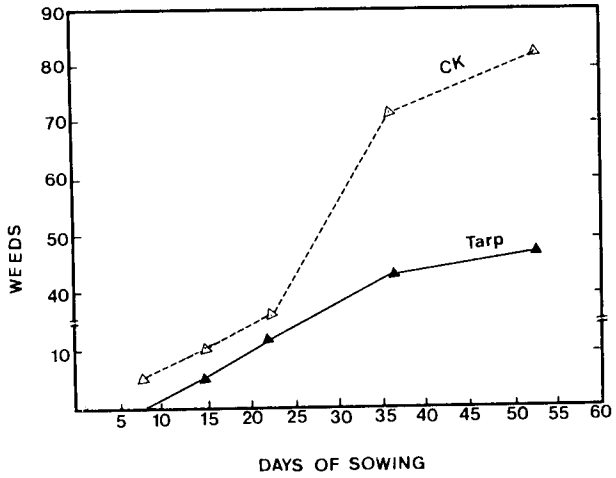
Katan[7,8,10]，Pullman[17] 及筆者均發現覆蓋後，作物生長良好，產量增加，缺株少（表五）。Baker[4]，Baker 和 Cook[5] 報告植株生長在部份消毒或沒有病原菌的土壤中可以增加植物的生長能力。Altman[3] 推論經過熱處理之土壤種植作物生長良好的機制包括土壤釋放微量元素，刺激其他微生物的活動，或者防治了次要病原菌 (minor pathogen) 所致；Katan[6] 將經過日光消毒之土壤抽出物種植作物，作物生長良好，並分析發現可溶性的有機物質和無機元素增加，如 NO_3^-，NH_4^+，Ca^{+2}，Mg^{+2} 和 Cl^{-1}。

表五 日光消毒對植株生長及缺株之影響
Table 5 Effect of soil solarization on the plant growth and poor stand during experiment at three locations

Location and treatment	Poor stand (%)	Growth length (cm)	Plant weigth (g)
Fengshan			
Tarped	14	19.7	-
Nontarped	30	11.2	
Taichung			
Tarped	-	-	2.8256
Nontarped	-	-	0.6860
Meinchin			
Tarped	2.17	21	-
Nontarped	18.71	11	-

四. 日光消毒對田間雜草之防治

日光消毒除了對病害及病原菌有抑制效果外；尚有一副效應就對田間的雜草也有防治效果。Katan [10] 發現對蘿蔔的野菰寄生有很好的防治效果。筆者在屏東鳳山及台中等地的覆蓋試驗中發現，經過覆蓋可以防治田間雜草有80 %之防治率，此外田間雜草出現的時間較晚（圖四、表六）。在有機栽培中田間雜草是一重要問題，可以考慮利用太陽能來降低田間雜草之密度，以減少人工成本。



圖四 日光消毒對西瓜田間雜草之影響
Fig 4 Effect of soil solarization on weed control.

表六 日光消毒對雜草防治之影響
Table 6 Effect of solarization in weed control

Locality	Treatment	Weed control (Weeds/m2)
Pingtung	Tarped	0.80
	Nontarped	5.02
Fengshan	Tarped	32.09
	Nontarped	54.93
Taichung	Tarped	40.00
	Nontarped	143.00

五、日光消毒對土壤微生物之影響

利用透明塑膠布覆蓋土壤，雖然會提高土壤溫度至50C 以上，對土壤中之微生物有殺死情形，但並非將土壤中微生物完全滅絕，不像藥劑薰蒸使得土壤形成眞空狀況，筆者調查經由塑膠布覆蓋之土壤中亦存有多種微生物（表七）。所以可以利用此方法來降低病原菌之密度而不影響土壤中之其它微生物，以減少因生態眞空而造成病害更爲嚴重之風險。

表七 日光消毒對土壤中微生物之影響
Table 7 Effect of soil solarization on the viability of *Fusarium*, *Penicillium*, *Trichoderma* and other fungi in naturally infested soils.

Fungal	Treatment	Soil of depth(cm)			
		0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60
Total	Tarped	8050	11500	4200	1800
	C K	20350	11450	9700	5050
Fusarium sp.	Tarped	50	1251	426	126
	C K	2950	1078	278	126
Penicillium sp. and *Trichoderma* sp.	Tarped	2650	1750	800	250
	C K	5100	2300	1500	1100

結 語

利用太陽能來防治土壤傳播性病害是一種非常簡單的方法，因其沒有像生物防治或有機質添加有專一性，是一種高效率的防治方法，固並不會將土壤中之微生物完全殺死，不像利用化學藥劑燻蒸會造成整個生態環境眞空，而且在覆蓋期間土壤中會產生一些微量元素促進根系生長，對作物有促進作用，但並不是說此種方法就沒有缺點，主要是塑膠布需要利用化學製品使用後之廢棄物不易處理，而且需要有 3 ～ 4 星期的空間期不能種植作物，此外對於常年性的作物病害也不易利用此方法來防治。

參考文獻

1. 黃秀華 1982 太陽能防治土壤傳播性病害之研究 p72 國立中興大學植病所碩士論文
2. 黃秀華 孫守恭 1991 利用太陽能防治 Fusarial wilt之研究 台中場研究彙報 30:71-78
3. Altman, J. 1970 Increased and decreased plant growth responses resulting from soil fumigation. In Root Diseases, and Soilborne Pathogens, ed., T.A. Tousson, R.V.Baga, and R.E.Nelson, PP. 216-221. Berkeley:Univ. Calif. Press.
4. Baker, K. F. 1970. Selected killing of soil microorganisms by aerated steam. In Root Diseases and Soilborne pathogens, Pathogens, ed., T.A. Tousson, R.V. Baga, and R.E.Nelson, PP. 216-221. Berkeley:Univ. Calif. Press.
5. Baker. K. T. and R. J. Cook. 1974. Biological control of plant pathogens. San Francisco: Freeman, 433p.
6. Chen, Y. and J. Katan. 1980. Effect of solar heating of soils by transparent polythylene mulching on their chemical properties. Soil Sci. 130: 271-277.
7. Elad, Y., J.Katan and I. Chet. 1980.Physical, Biological and chemical control integrated for soilborne diseases in potatoes. Phytopathology 70:418-422.

8. Grinstein, A., J. Katan, A. Abdul-Razik, O. Zeydan and Y. Elad. 1979 Control of *Sclerotium rolfsii* and weeds in peanuts by solar heating of soil. Plant Dis. Reptr. 63:1056-1059.

9. Grinstein, A., D. Orion, A. Greenberger and J. Katan. 1979. Solar heating of the soil for the control of *Verticillium dahliae* and *Pratylenchus thomei* in potatoes. In Soilborne plant pathogens, pp. 431-438, ed., B. Schippers, and W. Gams, London, New York, San Francisco, Academic, 686 pp.

10. Jacobsohn, R., A. Greenberger, J. Katan, M. Levi and H. Alon. 1980. Control of *Egyption broomrape* (*Orobanche aegyptiaca*) and other weeds by means of solar heating of the soil by polyethylene mulching. Weed Sci. 28:312-316.

11. Katan, J. 1980. Solar pasteurization of soils for disease control:Status and prospects. Plant Dis. 64:450-454.

12. Katan, J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. Ann. Rev. Phytopathol. 19:211-236.

13. Katan, J., A. Greenberger, H. Alon and A. Grinstein. 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soilborne pathogens. Phytopathology 66:683-688.

14. Katan, J., I. Rotem, Y. Finkel and J. Daniel. 1980. Solar heating of the soil for the control of pink root and other soilborne diseases in onion. Phytopathology 70:39-50.

15. Martin, J. P. 1950. Use of acid, Rose bengal and streptomyycin in the plate method for estimating soil fungi. Soil Sci. 69:215-232.

16. Pullman, G. S., J. E. Devay R. H. Garber and A. R. Weinhold. 1979. Control of soilborne pathogens by plastic tarping of soil. In Soilborne Plant Pathogens, pp. 439-446, ed., B. Schippers, W. Gams, 686pp.

17. Pullman, G. S., J. E. Devay R. H. Garber and A. R. Weinhold. 1981. Soil solarization:Effects on *Verticillium* wilt of cotton and soilborne populations of *Verticillium* dahliae, *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani* and *Thielavi*

18. 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 71:959-964.

19. Takao Araki. 1979. The present situation of soilborne disease and their control in Japan. Japan Pesticide Information 36:5-13.

Applied of Solarization for Controlling Soilborne Fungal Disease

Shiou-Hwa Huang

Taichung District Agricultural Improvement Station

ABSTRACT

Studies of solarization for controlling soilborne diseases were carried out in Taichung, Pingtung, Puli and Changhuah regions, soils were mulched with transparent 0.025mm polyethylene sheets during the months of September for 3 to 4 weeks, and soil temperature were theres by increased. After tarping, the population of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*, *F. oxysporum* f. sp. *raphani*, *F. oxysporum* f. sp. *apii*, *F. oxysporum* f. sp. *chrysanthemi* were reduced by 75-100%.

Maximal temperature in the mulched soils were 47 to 50.5C and 44C at depths of 0-15 and 15-30 cm, respectively. Field experiments with watermelon, radish and china aster showed that mulching with polyethylene sheets prior planting reduced Fusarial wilt by 38.8 to 73.84%, controlled weeds, and plant growth and stand were improved.

This method of control soilborne diseases by using plastic material is less costly than fumigation, is nonhazardous and leaves no residues. It seems that biological as well as thermal control may take place during soil mulching.

Key words: Solarization, Soilborne-disease, Control.