

Solarização do solo com filmes plásticos com e sem aditivo estabilizador de luz ultravioleta¹

Benedito C. Barros²; Flávia R.A. Patrício²; Maria Elizabeth B.M. Lopes²; Sueli S. Freitas³; Celso Sinigaglia²; Vanda M.A. Malavolta³; João Tessarioli Neto⁴; Raquel Ghini⁴

²Instituto Biológico, C. Postal 70, 13001-970 Campinas-SP; ³Instituto Agrônomo, C. Postal 28, 13001-970 Campinas-SP; ³ESALQ-USP, C. Postal 9, 13418-900 Piracicaba-SP; ⁴Embrapa Meio Ambiente, C. Postal 69, 13820-000 Jaguariúna-SP; E-mail: bcbarr@biologico.sp.gov.br

RESUMO

Visando auxiliar na escolha de filmes plásticos adequados para a solarização, dois experimentos foram instalados em Mogi das Cruzes e Piracicaba (SP), em janeiro e fevereiro de 2000. Três tipos de filmes plásticos transparentes de polietileno de baixa densidade (PEBD), com 100 mm de espessura, produzidos pela empresa Nortène Plásticos Ltda., foram testados: a) FES, filme estufa super tricarpa super aditivado, com aditivo estabilizador de luz ultravioleta (baseado em aminas estericamente impedidas); b) FSOL, filme para solarização produzido com metade da quantidade do mesmo aditivo e c) LT, lona plástica transparente, sem aditivo, além de uma testemunha sem cobertura plástica, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Após a retirada dos plásticos foi conduzida uma safra de alface em ambos os locais. Foi realizada análise química dos solos e das plantas colhidas, além de avaliada a infestação por plantas daninhas e a massa fresca das plantas colhidas. Em Piracicaba também foram realizadas análises microbiológicas dos solos e determinada a viabilidade de *Pythium aphanidermatum*. Em Mogi das Cruzes foi avaliada a incidência de podridão de esclerotínia, causada por *Sclerotinia minor*. As temperaturas médias registradas, a 10 cm de profundidade, nos solos sob os diferentes filmes plásticos foram semelhantes, de 44-41°C nos solos solarizados e de 33,9-30,2°C nos solos não solarizados de Piracicaba e Mogi das Cruzes, respectivamente. Detectou-se aumento na massa fresca das plantas colhidas nas parcelas solarizadas, de 49% em Piracicaba e 24% em Mogi das Cruzes, independente do plástico testado. Nos dois locais também houve drástica redução na infestação por plantas daninhas nas áreas solarizadas. Nas análises microbianas não foram verificadas alterações na liberação de CO₂, no carbono da biomassa microbiana, no quociente metabólico e no número total de bactérias. O número de fungos foi menor nos tratamentos com plástico contendo aditivo. A viabilidade de *P. aphanidermatum* foi reduzida em todos os tratamentos solarizados, independente do plástico utilizado. Houve aumento no pH, na saturação por bases (V%) e nos teores de NH₄⁺ (190%), Mn (94,6%) e Mg²⁺ (18%), dos solos solarizados. Também as plantas de alface colhidas nessas parcelas apresentaram maiores teores de Zn (43%), Mg²⁺ (12%) e K⁺ (4%). Em Mogi das Cruzes foram observados aumentos nos teores de Mn (236%) e Cu (18%) nos solos solarizados e nas plantas colhidas nesses tratamentos (aumento de 99% para Mn e de 27% para Cu). A incidência da podridão de esclerotínia foi reduzida de 27,7% na testemunha para índices inferiores a 1% nas parcelas solarizadas com os diferentes filmes plásticos. O plástico sem aditivo estabilizador de luz ultravioleta partiu-se durante ambos os experimentos, após 60 e 90 dias de exposição ao ambiente, sendo considerado inadequado para a solarização, mas não houve diferença entre os plásticos para nenhum atributo avaliado.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., *Sclerotinia minor*, *Pythium aphanidermatum*, plantas invasoras.

ABSTRACT

Soil solarization with plastic films with and without UV light stabilizers

Three plastic films [low-density polyethylene (LDPE) plastic films, 100 mm thick, produced by Nortène Plásticos Ltda] were evaluated in their adequacy for soil solarization: a) LDPE with UV light stabilizer additive, based on hindered amine; b) LDPE with half load of the same additive, c) without additive, and d) a control treatment without plastic mulch. Two experiments were set up from January to February 2000, in Mogi das Cruzes and Piracicaba, São Paulo State, Brazil. After solarization, a lettuce crop was grown in both experiments. Chemical analyses were performed in soil samples and in the harvested lettuce heads of all plots. Weed infestation and the fresh weight of the harvested lettuce heads were assessed. In Piracicaba the soils were analyzed for microbiological properties and the viability of *Pythium aphanidermatum* was evaluated. In Mogi das Cruzes incidence of lettuce drop, caused by *Sclerotinia minor*, was assessed. The mean soil temperature under the different plastic films, at 10 cm soil depth, was similar during the treatment, between 44 and 41°C in the solarized soils of Piracicaba and Mogi das Cruzes, respectively and of 33.9 and 30.2°C in the uncovered soils from both places. An increase in plant growth of about 49% in Piracicaba and 24% in Mogi das Cruzes was detected, regardless of the kind of plastic applied. A great reduction in weed infestation was observed in all solarized plots of the two experiments, for all plastic films. The microbial analysis of the soils showed no changes in CO₂ evolution, biomass C, metabolic quotient, and the number of bacteria. The number of fungi was smaller in the treatments with plastic films containing UV stabilizer, whereas the viability of *P. aphanidermatum* was reduced in all solarized treatments. Increases in pH, V%, and in the concentrations of NH₄⁺ (190%), Mn (94.6%) and Mg²⁺ (18%) were observed in the solarized soils. Lettuce plants from the solarized plots showed higher levels of Zn (43%), Mg²⁺ (12%) and K⁺ (4%). In Mogi das Cruzes solarization caused an increase in the concentrations of Mn (236%) and Cu (18%) in the soil and in the lettuce plants collected in these plots (increases of 99% in Mn and 27% in Cu levels). Reduction in lettuce drop incidence from 27.7% for control plots to less than 1% in the solarized soils with all plastic films was observed in Mogi das Cruzes. The plastic film without additive tended to splinter at the end of the field trials, after 60 and 90 days of exposure to the environment and was considered inadequate to use for solarization. There was no difference between the plastic films in relation to all analyzed variables.

Keywords: *Lactuca sativa* L., *Sclerotinia minor*, *Pythium aphanidermatum*, weed plants.

(Recebido para publicação em 23 de setembro de 2003 e aceito em 20 de março de 2004)

¹Trabalho realizado com apoio da FAPESP, apresentado no 34º Congresso Brasileiro de Fitopatologia

A técnica da solarização foi desenvolvida em Israel na década de 70 (Katan *et al.*, 1976) para a desinfestação de solos e substratos antes do plantio. A mesma consiste na colocação de filme plástico sobre o solo úmido, visando aumentar a sua temperatura, durante o período do ano de maior radiação solar. As temperaturas alcançadas durante o processo são letais, nas camadas superficiais, e sub-letais nas mais profundas, a muitos fitopatógenos, pragas e plantas daninhas, provocando alterações biológicas, químicas e físicas nos solos, e resultando, freqüentemente, em aumento de produção das culturas (Katan e De Vay, 1991; Souza, 1994). Diversos trabalhos citados por Katan e De Vay (1991) mostraram a efetividade da solarização no controle de fitopatógenos, pragas e plantas daninhas. Áreas cultivadas com hortaliças e ornamentais em plantios sucessivos apresentam, como consequência, infestação por patógenos habitantes do solo e são próprias para a adoção da técnica da solarização (Katan e DeVay, 1991; Tjamos *et al.*, 2000, Stapleton, 2000). Foi obtido o controle de *Verticillium dahliae* em berinjela (Ghini *et al.*, 1992), de *Pythium* spp. em pepino (Lopes *et al.* 2000), de *Sclerotium rolfsii* em feijoeiro (Ghini *et al.*, 1997), de *S. cepivorum* em alho (Cunha *et al.*, 1993), de *Rhizoctonia solani* e *Sclerotinia minor* em alface (Sinigaglia *et al.*, 2001), sendo também verificada redução na infestação por plantas daninhas (Bettiol *et al.* 1994; Sinigaglia *et al.*, 2001).

Já foram testados filmes plásticos de diferentes colorações, como preto, branco, preto e branco e transparente (Cunha *et al.*, 1993; Mormeneo e Catamutto, 1997; Coelho *et al.*, 1999). Em geral, a temperatura do solo coberto com o plástico transparente é maior que sob os demais filmes plásticos, sendo este o mais indicado para solarização (Stevens *et al.*, 1991; Cunha *et al.*, 1993; Mormeneo e Catamutto, 1997; Coelho *et al.*, 1999). Entre os materiais utilizados para a produção dos filmes plásticos encontram-se o polietileno de baixa densidade (PEBD), o policloreto de vinila (PVC) e o vinilacetato de etileno (EVA) (Stevens *et al.*, 1991). Recentemente filmes plásticos transparentes de

polietileno de baixa densidade, com espessuras variáveis entre 30 e 50 mm têm sido empregados em experimentos de solarização (Chellemi *et al.*, 1997, Ioannou, 2000; McGovern *et al.*, 2000, Kalpana Sastry e Chattopadhyay, 1999).

O filme plástico transparente freqüentemente se degrada sob exposição aos raios ultravioleta do sol (Stevens *et al.*, 1991), condição enfrentada durante a solarização no campo. A luz ultravioleta quebra as ligações químicas dos polímeros que compõe os plásticos, liberando radicais livres altamente reativos que, ao reagir com os polímeros, os degradam, provocando alterações nas propriedades físicas dos filmes plásticos, que resultam nas rachaduras (Kasten, 2003). Aditivos estabilizadores de luz ultravioleta reduzem esses danos em plásticos destinados à agricultura. Inicialmente, década de 1950, os aditivos foram desenvolvidos à base de níquel, facilmente reconhecíveis pela coloração esverdeada que conferiam aos plásticos. Na década seguinte foram utilizados os aditivos baseados em benzofenona, que absorvem a luz ultravioleta e dissipam a energia resultante na forma de calor. No final da década de 1970 e início dos anos 80, foram introduzidos na agricultura os plásticos com aditivos baseados em aminas estericamente bloqueadas ("hindered amine light stabilizers" ou HALS) (Stevens *et al.*, 1991, Ciba Specialty Chemicals, 2003). Esses aditivos se ligam aos radicais livres liberados pela luz ultravioleta, impedindo que causem danos aos polímeros e prolongando a vida útil dos filmes plásticos destinados à cobertura de casas de vegetação (Stevens *et al.*, 1991, Weinhofen, 2003). Também possuem a vantagem de ser eficientemente aplicados em filmes plásticos de pouca espessura (Ciba Specialty Chemicals, 2003), como os empregados para solarização. McGovern *et al.* (2002) utilizaram filmes de polietileno de baixa densidade com estabilizador de luz ultravioleta em seus experimentos de solarização.

Verificou-se junto a agricultores de algumas regiões do estado de São Paulo que filmes plásticos sem proteção contra luz ultravioleta não resistem a períodos de 45 a 60 dias de solarização, degradando-se completamente e dificul-

tando a sua remoção do campo. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi testar três tipos de filmes plásticos com e sem aditivo estabilizador de luz ultravioleta para uso em solarização do solo em áreas produtoras de alface.

MATERIAL E MÉTODOS

Instalaram-se dois experimentos, o primeiro em área da ESALQ em Piracicaba (SP), cultivada há vários anos com hortaliças, em solo argiloso, e o segundo em área comercial de plantio de alface, no município de Mogi das Cruzes (SP), em solo turfoso. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 4 repetições e 4 tratamentos (utilização de três filmes plásticos diferentes e uma testemunha, sem cobertura plástica). Foram testados filmes transparentes de polietileno de baixa densidade (PEBD), com 100 mm de espessura, produzidos pela empresa Nortène Plásticos Ltda.: a) FES, filme estufa super tricarpa, super aditivado, com estabilizador de luz ultravioleta Tinuvin 492, baseado em aminas estericamente impedidas (Hindered Amines Light Stabilizer, HALS), e produzido pela empresa Ciba Specialty Chemicals Ltda. A concentração do aditivo não é fornecida pela empresa fabricante do filme, mas usualmente emprega-se em torno de 1,2% da composição do plástico (Ciba Specialty Chemicals Ltda, 2003) b) FSOL, filme plástico para solarização com 50% da quantidade de aditivo utilizada no filme plástico anterior. Comercialmente esse filme tem 50 mm de espessura, mas foi especialmente produzido para estes experimentos com 100 mm, para que todos os filmes plásticos testados tivessem a mesma espessura. c) T, lona plástica transparente sem aditivo.

Em Piracicaba as parcelas foram constituídas por três canteiros com 1,2 m de largura e 5 m de comprimento e, em Mogi das Cruzes, por dois canteiros com 1,2 m de largura e 8 m de comprimento. Os filmes plásticos foram colocados sobre o solo no dia 18 de janeiro e retirados no dia 14 de março de 2000 em Piracicaba e no segundo local a solarização foi efetuada de 11 de janeiro a 10 de abril do mesmo ano. Durante

a solarização em Piracicaba foram registradas as temperaturas do solo no canteiro central das parcelas e em um dos canteiros de Mogi das Cruzes, a uma distância de 50 cm das bordas, por meio de termômetros de solo (de mercúrio) a 10 e a 20 cm de profundidade. Durante a solarização as temperaturas dos solos foram registradas de segunda a sexta-feira, às 9:00 e às 15:00 horas, em ambos os locais.

Coletaram-se amostras de solos, retiradas dos 10 cm superficiais de 20 diferentes pontos de cada parcela, para análises químicas de macro e micronutrientes, nos dias 14 de abril, em Piracicaba, e 20, desse mesmo mês, em Mogi das Cruzes. Em Piracicaba, foram também realizadas análises microbiológicas e determinada a viabilidade de *Pythium aphanidermatum* no solo dessas amostras. As análises químicas foram realizadas apenas nos tratamentos 1 (solarizado) e 4 (não solarizado) dos dois locais.

As análises microbiológicas foram: a) atividade enzimática, avaliada pela hidrólise de diacetato de fluoresceína segundo metodologia de Boehm e Hoitink (1992); b) atividade microbiana, avaliada pelo desprendimento de CO₂, segundo Pramer e Schmidt (1964); c) quantidade de carbono da biomassa, avaliada por fumigação-extração, segundo Vance *et al.* (1987); d) quociente metabólico, estimado pela relação entre o CO₂ proveniente da respiração e o carbono da biomassa; e) número de bactérias por grama de solo seco, determinado pela contagem do número de unidades formadoras de colônias obtidas por diluição em placas; f) número de fungos por grama de solo seco, determinado pela contagem do número de unidades formadoras de colônias obtidas por diluição em placas; g) número de bactérias do grupo fluorescente do gênero *Pseudomonas* por grama de solo seco, determinado pelo preparo de uma suspensão de solo e o seu plaqueamento em meio B de King *et al.* (1954).

A presença de *P. aphanidermatum* foi estimada pelo tombamento de pós-emergência provocado por esse patógeno em plântulas de pepino. Sementes de pepino da variedade Caipira foram semeadas em caixas plásticas de

20x30x15 cm (100 sementes/caixa) contendo aproximadamente 1,5 L de solo desinfestado (autoclavado a 120°C por 3 horas) e umedecido. Dez gramas de farinha de aveia foram adicionadas a 0,5 L de solo de cada amostra coletada, sendo a mistura colocada sobre as plântulas de pepino recém-emersas de uma bandeja. A farinha de aveia foi incluída como nutriente para favorecer a expressão da patogenicidade de *P. aphanidermatum* presente nos solos (Lourd *et al.*, 1986, 1987). Dois a cinco dias depois foram contadas as plântulas de pepino tombadas e sobreviventes. Em Mogi das Cruzes, determinou-se a incidência da podridão de esclerotínia, causada por *Sclerotinia minor*, em todas as plantas de um dos canteiros de cada parcela, na época da colheita.

Em Piracicaba, avaliou-se a infestação por plantas daninhas pela coleta, no dia 18/4/2000, de amostras de solo a 0-5, 5-10 e 10-15 cm de profundidade. Essas amostras foram colocadas em bandejas, levadas a uma casa de vegetação e umedecidas para estimular a emergência das plantas invasoras. As espécies que emergiram em cada parcela e profundidade foram identificadas e contadas quinze a trinta dias depois da coleta.

Logo após a solarização, nos dois locais, mudas de alface da variedade Carla, com 30 dias, foram transplantadas para os canteiros. Nos dias 23/5/2000 em Piracicaba e 20/4/2000 em Mogi das Cruzes, realizaram-se as colheitas. Foram pesadas 10 plantas de cada parcela, sendo também medidos o diâmetro e o comprimento das suas raízes. Nessa mesma ocasião, cinco plantas coletadas de cada parcela, nos tratamentos 1 e 4, foram analisadas quanto à massa de matéria seca e ao teor de macro e micronutrientes. As médias de todas as variáveis foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As temperaturas médias e máximas registradas nos solos solarizados foram semelhantes sob os diferentes tipos de plástico em ambas localidades e nas duas profundidades, 10 e 20 cm. Em

Piracicaba as temperaturas médias nos tratamentos solarizados estiveram entre 44,2 e 43,6°C a 10 cm, e entre 37,7 e 37,1°C a 20 cm de profundidade e, nas áreas não solarizadas foram de 33,9 e 29,9°C a 10 e a 20 cm de profundidade, respectivamente. Em Mogi das Cruzes, nas parcelas solarizadas foram registradas temperaturas médias entre 41,9 e 41,2°C a 10 cm, e entre 33,6 e 33,0 a 20 cm de profundidade. Nas áreas não solarizadas as temperaturas médias foram de 30,2 e 25°C a 10 e a 20 cm de profundidade, respectivamente. As temperaturas máximas a 10 cm de profundidade estiveram entre 52 e 51°C e entre 49 e 47°C nos tratamentos solarizados de Piracicaba e Mogi das Cruzes, respectivamente. Em Piracicaba, o acréscimo observado na temperatura média dos solos solarizados em relação ao controle foi de 6°C (manhã) a aproximadamente 10°C (tarde) e na temperatura máxima esse acréscimo foi de 4,5°C (manhã) a 10,5°C (tarde). Em Mogi das Cruzes, as temperaturas médias foram superiores nos solos solarizados entre 6°C (manhã) e 12°C (tarde) e as máximas, entre 15°C (tarde) e 11°C (manhã). Observou-se no final do experimento que o plástico sem aditivo estabilizador de luz ultravioleta, utilizado no tratamento 3, não resistiu e apresentou rachaduras, dificultando a sua remoção do solo.

Na análise química dos solos de Piracicaba verificou-se que a solarização resultou em aumento nos teores de NH₄⁺ e de Mn. Houve também aumento no pH, no teor de Mg²⁺, na soma de bases e na saturação por bases (V%) (Tabela 1). Verificou-se redução na acidez total (H⁺+Al³⁺) e nos teores de Cu e Fe. No solo solarizado de Mogi das Cruzes foram maiores os teores de Mn e Cu e menores os de K⁺ e Zn. Nesse local, não foi possível observar diferenças nos teores de N, provavelmente por problemas na coleta e transporte das amostras. Os expressivos aumentos nos teores de N decorrem, em geral da decomposição da matéria orgânica e da biomassa microbiana do solo (Chen *et al.*, 1991) e podem ser responsáveis, pelo menos em parte, pelo favorecimento do crescimento de plantas em solo solarizado, além dos efeitos mais comumente mencionados quanto ao controle de

Tabela 1. Análise química de macro e micronutrientes dos solos solarizado e não solarizado em experimentos realizados em Piracicaba (SP) (maio/2000) e Mogi das Cruzes (SP) (junho/2000). Campinas, Inst. Biológico, 2002.

Variáveis	Piracicaba			Mogi das Cruzes		
	Solo solarizado	Solo não solarizado	CV (%)	Solo solarizado	Solo não solarizado	CV (%)
Matéria orgânica (g/dm ³)	29,0 A ¹	26,0 A	5,1	185,5 A	190,0 A	2,1
pH	5,8 A	5,5 B	1,8	5,7 A	5,6 A	2,1
NH ₄ (mg/dm ³)	100,3 A	34,2 B	27,0	5,13 A	3,8 A	39,5
NO ₃ (mg/dm ³)	31,1 A	39,5 A	30,5	15,1 A	58,5 A	97,1
P (mg/dm ³)	154,0 A	186,3 A	12,5	1064,0 A	1152,0 A	13,8
K (mmol _c /dm ³)	9,2 A	7,2 A	7,9	3,5 B	5,9 A	18,1
Ca (mmol _c /dm ³)	59,0 A	54,5 A	5,4	259,3 A	251,8 A	12,5
Mg (mmol _c /dm ³)	22,5 A	19,0 B	4,4	34,0 A	32,3 A	6,1
H+ Al (mmol _c /dm ³)	25,8 B	33,5 A	10,2	43,5 A	55,0 A	13,1
Soma das bases (mmol _c /dm ³)	90,7 A	80,5 B	3,5	296,8 A	290,0 A	11,3
CTC (mmol _c /dm ³)	116,4 A	114,0 A	2,1	340,5 A	345,1 A	8,4
V (%)	78,2 A	70,5 B	3,1	87,0 A	83,8 A	3,2
B (mg/dm ³)	0,29 A	0,29 A	15,8	2,6 A	2,4 A	18,0
Cu (mg/dm ³)	15,2 B	18,3 A	3,5	19,9 A	16,8 B	6,7
Fe (mg/dm ³)	54,2 B	86,5 A	3,8	124,5 A	108,0 A	19,9
Mn (mg/dm ³)	211,4 A	108,6 B	14,7	57,6 A	17,1 B	29,0
Zn (mg/dm ³)	17,2 A	16,9 A	3,5	40,2 B	72,6 A	22,0

¹ Médias seguidas pela mesma letra (sentido horizontal) não diferem entre si (Tukey 5%).

patógenos. Aumentos de NH₄⁺, Mn, Mg²⁺, Cu e Fe após a solarização foram anteriormente encontrados em trabalhos citados por Chen *et al.* (1991). No Brasil, Sinigaglia *et al.* (2001) relataram aumentos nos teores de NH₄⁺, Mn, Cu e Fe e Freitas *et al.* (2002), nos teores de NH₄⁺, Mg e Mn em solos solarizados.

A atividade microbiana, medida pela respirometria, não foi alterada pela solarização com os diferentes filmes plásticos, tendo variado de 161 a 129 mg de CO₂/g de solo seco. O mesmo ocorreu para o carbono da biomassa, entre 964 e 1140 mg de C/g de solo seco e para o número total de bactérias, entre 5,1 e 9,1x10⁷ UFC/g de solo seco. Outro experimento, realizado em solo turfoso, também não detectou variação na evolução de CO₂ e no C da biomassa microbiana logo após a solarização (Sinigaglia *et al.*, 2001). O número total de fungos foi menor nos tratamentos 1 e 2, solarizados com plástico com estabilizador de luz ultravioleta (entre 8,6 e 4,2 x 10⁴ UFC/g de solo seco, respectivamente) que no tratamento 3 (solo solarizado com plástico sem aditivo) e

na testemunha, que apresentaram 6,2 e 7,8x10⁵ UFC/g de solo seco, respectivamente. É difícil explicar a causa dessa redução, já que temperaturas semelhantes foram registradas nos solos sob os diferentes filmes plásticos. As bactérias do grupo fluorescente foram detectadas em todas as parcelas da testemunha, mas apenas em algumas parcelas solarizadas, não havendo diferença significativa entre os tratamentos.

Observou-se nos solos coletados nas parcelas solarizadas (Figura 1) redução na viabilidade de *P. aphanidermatum*, avaliada pelo tombamento de plântulas de pepino, após a solarização. Não houve diferenças significativas entre os filmes plásticos testados. Em geral, a principal causa da redução na viabilidade de fitopatógenos após a solarização é devida à inativação térmica (Katan, 1996). As temperaturas registradas sob os plásticos neste experimento possivelmente foram suficientes para a redução na viabilidade desse patógeno, o que havia sido observado também nas culturas do crisântemo (Bettiol *et al.*, 1994), do algodão (Pullmann *et al.*, 1981) e, em casa

de vegetação, do pepino (Lopes *et al.*, 2000). Também pode ter contribuído para o controle de *P. aphanidermatum* a população microbiana que sobreviveu à solarização, cuja atividade foi mostrada nas análises microbiológicas.

Os tratamentos com os diferentes filmes plásticos resultaram em incidências muito baixas da podridão de esclerotínia na cultura da alface (Figura 1). O controle desse patógeno por meio da solarização já havia sido anteriormente obtido por Scannavini *et al.* (1993) e Fiume (1994) e, recentemente, na região de Mogi das Cruzes, por Sinigaglia *et al.* (2001). Assim como para *P. aphanidermatum* a redução na viabilidade dos propágulos de *S. minor* deve ter sido devida às elevadas temperaturas registradas durante a solarização e também aos demais mecanismos que ocorrem durante o processo, especialmente nas camadas mais profundas do solo, como a degradação por microrganismos antagônicos dos escleródios enfraquecidos pelas temperaturas sub-letais que prevalecem nessas condições (Katan, 1996).

Tabela 2. Infestação por plantas daninhas, avaliada pela coleta em três diferentes profundidades, de 1,0 L de solo das parcelas solarizadas e não solarizadas, em experimento instalado em Piracicaba (SP), e posterior plantio em bandejas plásticas em casa de vegetação (março-abril/2000). Campinas, Inst. Biológico, 2002.

Tratamentos	<i>Galinsoga parviflora</i>	<i>Amaranthus spp.</i>	<i>Portulacca oleracea</i>	<i>Eleusine indica</i>
	(Picão branco)	(Caruru)	(Beldroega)	(Capim pé-de-galinha)
1. Solo solarizado ¹	0,44 ⁴ b ⁵	0,89 b	0,56 b	0,55 b
2. Solo solarizado ²	0,33 b	0,67 b	0,33 b	0,44 b
3. Solo solarizado ³	0,44 b	0,67 b	0,78 b	0,67 b
4. Solo não solarizado	1,89 a	2,11 a	2,22 a	2,00 a
Profundidade (cm)				
0-5	0,33 c	0,41 c	0,33 b	0,33 c
5-10	0,41 b	1,08 b	0,75 b	0,83 b
10-15	1,58 a	1,75 a	1,83 a	1,58 a
CV (%)	49,6	48,8	48,8	52,8

¹ Filme plástico com aditivo estabilizador de luz ultravioleta; ² Filme plástico com 50 % de aditivo estabilizador de luz ultravioleta; ³ Filme plástico sem aditivo estabilizador de luz ultravioleta; ⁴ Número de plantas que emergiram em 1,0 L de solo; ⁵ Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si (Tukey 5%).

Esperava-se que as elevadas temperaturas atingidas pelo solo durante o processo de solarização (que determinaram a redução na viabilidade de patógenos) reduzissem também a atividade microbiana geral do solo, avaliada pela respiração e pelo carbono da biomassa. Isso, todavia, não foi detectado, a despeito da redução do número de fungos (Tabela 2), e do tombamento causado por *P. aphanidermatum* (Figura 1). Isso pode ser explicado em parte porque a estimativa do carbono da biomassa microbiana pode apresentar pouca resposta a grandes alterações no solo, como observado por Renella *et al.*, (2002), após simulações, em laboratório, da adição a solo de metais pesados em diferentes proporções e combinações. A estimativa do C da biomassa pode apresentar grande variabilidade, inclusive entre amostras coletadas no mesmo solo, como verificado por Turner *et al.* (2001) na Inglaterra, em solos de várzeas com variáveis teores de matéria orgânica. Também poder-se-ia especular que a comunidade microbiana existente após a solarização, composta por espécies resistentes às temperaturas atingidas durante o processo, tivesse respirado e igualado a quantidade de carbono dessa biomassa com a da comunidade no solo sem tratamento, ainda que isso fosse difícil. Todavia, as amostras foram ob-

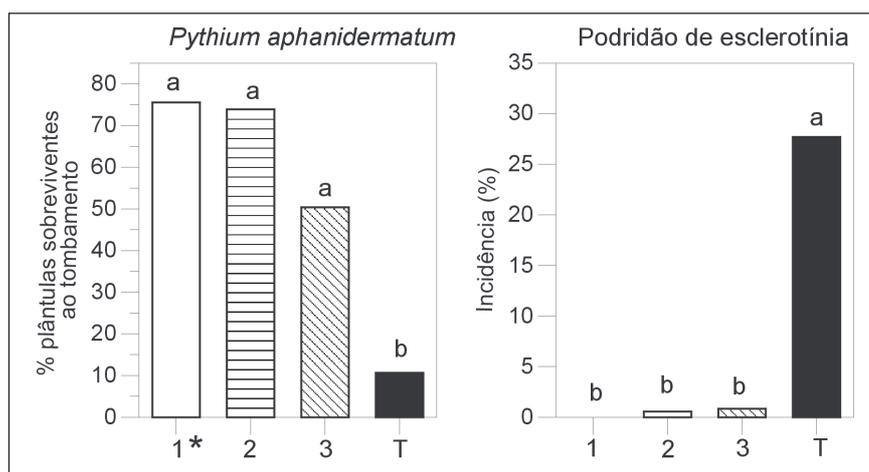


Figura 1. Viabilidade de *Pythium aphanidermatum* em solos solarizados e não solarizado, inferida da porcentagem de plântulas sobreviventes ao tombamento em Piracicaba (SP) (abril/2000) e incidência de podridão de esclerotínia, observada em Mogi das Cruzes (SP) (junho/2000). Campinas, Inst. Biológico, 2002.

*1. Solo solarizado (Filme plástico com aditivo estabilizador de luz ultravioleta); 2. Solo solarizado (Filme plástico com 50 % de aditivo estabilizador de luz ultravioleta); 3. Solo solarizado (Filme plástico sem aditivo estabilizador de luz ultravioleta); T – Testemunha – sem cobertura plástica; Médias seguidas pela mesma letra sobre as barras não diferem entre si (Tukey 5%)

tidas imediatamente após a retirada do plástico, não havendo tempo para o estabelecimento de uma nova comunidade, que atingisse tais níveis de tamanho e de atividade. Assim, é provável que as altas temperaturas tenham mesmo atingido seletivamente os fungos habitantes do solo e o patógeno *P. aphanidermatum*.

A solarização reduziu a viabilidade das sementes das espécies *Galinsoga parviflora* (picão branco), *Amaranthus spp.* (caruru), *Portulacca oleracea* (beldroega) e *Eleusine indica* (capim pé-de-galinha) em Piracicaba (Tabela 2). Não foi verificada diferença entre os tipos de plástico testados quanto ao controle de plantas daninhas. Também se

Tabela 3. Análise química de macro e micronutrientes de 5 plantas/parcela de tratamentos solarizado e não solarizado em Piracicaba (maio/2000) e Mogi das Cruzes (SP). Campinas, Inst. Biológico, 2002.

Variáveis	Piracicaba			Mogi das Cruzes		
	Tratamentos		CV (%)	Tratamentos		CV (%)
	Solarizado	Não solarizado		Solarizado	Não solarizado	
Massa seca (g)	18,3 A	14,9 B	11,0	15,8 A	15,8 A	3,7
N (g/kg)	48,1 A	48,5 A	2,7	50,3 A	50,2 A	2,6
K (g/kg)	68,1 A	65,6 B	1,5	60,6 A	59,6 A	4,2
P (g/kg)	5,6 A	5,5 A	11,8	12,7 A	12,6 A	2,9
Ca (g/kg)	13,4 A	12,2 A	5,0	18,7 A	18,3 A	3,2
Mg (g/kg)	3,8 A	3,4 B	4,0	5,9 A	5,9 A	6,4
B (mg/kg)	30,9 A	29,9 A	4,6	30,1 A	29,5 A	2,9
Cu (mg/kg)	8,9 A	7,8 A	11,1	11,6 A	9,1 B	5,0
Fe (mg/kg)	436,2 A	538,3 A	18,9	233,3 A	172,3 A	25,2
Mn (mg/kg)	78,3 A	67,8 A	22,3	133,3 A	66,8 B	18,4
Zn (mg/kg)	81,2 A	56,8 B	7,2	106,0 B	120,8 A	5,6

¹ Médias seguidas pela mesma letra nas linhas e dentro de cada local não diferem entre si (Tukey 5%).

observou redução na viabilidade dessas espécies após a solarização em solo turfoso (Sinigaglia *et al.*, 2001). Quando se avaliou a infestação em diferentes profundidades, não houve interação, ou seja, os solos coletados nas menores profundidades em todos os tratamentos, inclusive na testemunha, encontravam-se menos infestados por essas plantas daninhas (Tabela 2). As espécies *Amaranthus* spp. e *E. indica* estão listadas entre as controladas pela solarização (Stapleton e DeVay, 1995). Scannavini *et al.* (1993) e Fiume (1994) também verificaram a redução na infestação por *Amaranthus* spp. e *P. oleracea* após a solarização na cultura da alface. Estima-se que a inativação térmica seja uma das principais causas da redução na viabilidade das plantas daninhas durante a solarização, embora outros mecanismos também possam estar presentes, como queima das plântulas recém-germinadas, promoção da germinação, sem condições de emergência, em maiores profundidades, e também alterações no balanceamento de gases do solo (Elmore, 1991). Neste trabalho as elevadas temperaturas que predominaram durante a solarização, associadas aos demais mecanismos descritos anteriormente, devem ter sido suficientes para reduzir a viabilidade das sementes, inclusive porque maior número

de plantas emergiu nas maiores profundidades, nas quais persistiram as menores temperaturas durante o tratamento.

Em ambos os locais as plantas de alface colhidas nas parcelas solarizadas, independente do filme plástico testado, apresentaram maior massa de matéria fresca. Em Piracicaba a massa fresca das cabeças esteve entre 466 e 473 g/planta nas áreas solarizadas e no controle foi de 313 g/planta. Nas áreas solarizadas de Mogi das Cruzes esteve entre 381 e 400 g/planta e no controle foi de 314 g/planta. Também a largura e comprimento médio das raízes foram superiores nas áreas solarizadas, independente do filme plástico testado, de ambos os locais. Em Piracicaba a largura média foi de 7,3 a 7,1 cm e o comprimento médio esteve entre 14,7 e 14,0 cm nas parcelas solarizadas, e no controle a largura foi de 6,2 cm e o comprimento de 11,4 cm. Em Mogi das Cruzes nas áreas solarizadas foram registradas larguras médias das raízes entre 8,0 e 7,8 cm e comprimentos entre 8,2 e 7,9 cm. Nas parcelas do controle a largura foi de 7,6 cm e o comprimento de 7,1 cm. A colheita de plantas de alface com maior massa e qualidade, e mesmo a redução no ciclo da cultura, foram verificados anteriormente por outros autores após a solarização (Fiume, 1995; Scannavini *et al.*, 1993; Sinigaglia *et al.*, 2001).

Plantas colhidas nas parcelas solarizadas de Piracicaba tiveram maiores teores de K, Mg e Zn e em Mogi das Cruzes observaram-se aumentos nos teores de Cu e Mn e redução na quantidade de Zn após a solarização (Tabela 3). Esses aumentos foram semelhantes aos verificados nos teores de nutrientes dos solos (Tabela 1). Nas amostras coletadas em Piracicaba também se observou maior massa de matéria seca, o que não foi verificado em Mogi das Cruzes. Os aumentos na matéria fresca e na qualidade das plantas observados nos experimentos podem ser atribuídos a diversos fatores, estando entre os principais o aumento na disponibilidade de nitrogênio nos solos solarizados (Chen *et al.*, 1991), que, neste trabalho, só foi detectado em Piracicaba. Nesses experimentos as plantas apresentaram também alterações nos teores de micronutrientes, que podem estar envolvidos no maior crescimento das plantas, mesmo considerando que o teor de Zn tenha sido reduzido pela solarização em Mogi das Cruzes, embora seja difícil determinar o seu papel (Chen *et al.*, 1991). Mecanismos biológicos como a eliminação de patógenos desconhecidos e o estímulo ao desenvolvimento de microrganismos benéficos também podem estar envolvidos no incremento do crescimento de plantas verificado após a solarização

(Katan, 1996). Neste trabalho o maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas das parcelas solarizadas aliado ao fato da comunidade microbiana ter mostrado elevada atividade após o tratamento também podem estar associados ao estímulo ao desenvolvimento das plantas promovido pela solarização.

Não se verificou efeito do tipo de filme plástico testado sobre a atividade microbiana, o controle de *S. minor*, a sobrevivência de *P. aphanidermatum*, a redução na infestação por plantas daninhas e a qualidade das plantas de alface colhidas. Os plásticos com aditivos estabilizadores de luz ultravioleta permaneceram íntegros após a solarização durante os períodos testados de 60 e 90 dias, podendo ser indicados para a solarização. O mesmo não ocorreu com o plástico sem aditivo, que se desintegrou ao final dos experimentos, em ambos os locais. O aditivo estabilizador de luz ultravioleta do sol mostrou-se eficiente em proteger o plástico da degradação, sem afetar sua qualidade para a solarização, mesmo quando aplicado em metade da quantidade usualmente empregada em filmes destinados a cascas de vegetação.

LITERATURA CITADA

- BETTIOL, W.; GHINI, R.; GALVÃO, J.A.H. Solarização do solo para o controle de *Pythium* e plantas daninhas em cultura do crisântemo. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.51, n.3, p.459-462, 1994.
- BOEHM, M.J.; HOITINK, H.A.J. Sustenance of microbial activity in potting mixes and its impact on severity of *Pythium* root of *Poinsettia*. *Phytopathology*, v.82, n.3, p.259-264, 1992.
- CHELLEMI, D.O.; OLSON, S.M.; MITCHELL, D.J.; SECKER, I.; McSORLEY, R. Adaptation of soil solarization to the integrated management of soilborne pests of tomato under humid conditions. *Phytopathology*, v.87, p.250-258, 1997.
- CHEN, Y.; GAMLIEL, A.; STAPLETON, J.J.; AVIAD, T. Chemical, physical, and microbial changes to plant growth in disinfested soils. In: KATAN, J.; DeVAY, J.E. *Soil solarization*. Boca Raton: CRC Press, 1991. cap.8, p.103-129.
- CIBA SPECIALTY CHEMICALS. Tinuvin. High performance stabilizers for agricultural films. Disponível em: <<http://www.specialchem4polymers.com/techcenter/techdirect/index.aspx>> Consultado em: 28/08/2003.
- COELHO, L.; CHELLEMI, D.O.; MITCHELL, D.J. Efficacy of solarization on cabbage amendment for the control of *Phytophthora* spp. in North Florida. *Plant Disease*, v.83, p.293-299, 1999.
- CUNHA, M.G.; ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; CHAVES, G.M.; ALVES, H. Efeito da solarização com filmes de polietileno transparente, preto ou branco no controle da podridão branca do alho (*Sclerotium cepivorum*). *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.18, p.199-205, 1993.
- ELMORE, C.L. Weed control by solarization. In: KATAN, J.; DeVAY, J.E. *Soil solarization*. Boca Raton: CRC Press, 1991. cap.5, p.61-72.
- FIUME, F. L'impiego dell'apprestamento protettivo per la solarizzazione del terreno nelle colture protette in Italia meridionale. *Informatore Fitopatologico*, n.44, p.52-57, 1994.
- FREITAS, S.S.; SINIGAGLIA, C.; BARROS, B.C.; PATRÍCIO, F.R.A.; CANTARELLA, H.; TESSARIOLI NETO, J. Microrganismos e atividade microbiana em solo solarizado. In: XXV REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. IX REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, IV REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2002, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro, SBCS, 2002, p.173.
- GHINI, R.; BETTIOL, W.; CALDARI JR., P. Solarização do solo para o controle de *Sclerotium rolfsii* em feijoeiro. *Summa Phytopathologica*, Botucatu, v.23, n.2, p.143-145, 1997.
- GHINI, R.; BETTIOL, W.; SOUZA, N.L. Solarização do solo para o controle de *Verticillium dahliae* em berinjela. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.17, n.4, p.384-388, 1992.
- IOANNOU, N. Soil solarization as a substitute for methyl bromide fumigation in greenhouse tomato production in Cyprus. *Phytoparasitica*, v.28, n.3, p.248-256, 2000.
- KALPANASASTRY, R.; CHATTOPADHYAY, C. Effect of soil solarization on *Fusarium oxysporum* f.sp. *carthami* populations in endemic soils. *Indian Phytopathology*, v.51, n.1, p.51-55, 1999.
- KASTEN, U. UV damage to polymers. Disponível em: <<http://www.gcrio.org/UNEP1998/UNEP98p62.html>>. Consultado em: 28/08/2003.
- KATAN, J. Soil solarization: integrated control aspects. In: HALL, R. ed. *Principles and practice of managing soilborne plant pathogens*. St. Paul, Mn: APS Press, 1996. cap.12, p.250-278.
- KATAN, J.; DEVAY, J.E. Soil solarization: historical perspectives, principles, and uses. In: KATAN, J.; DeVAY, J.E. *Soil solarization*. Boca Raton: CRC Press, 1991. cap.8, p.103-129.
- KATAN, J.; GREENBERGER, A.; ALON, H.; GRINSTEIN, A. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soilborne pathogens. *Phytopathology*, v.66, p.683-688, 1976.
- KING, E.O.; WARD, M.K.; RANEY, D.E. Two simple media for the demonstration of procyranin and fluorescin. *Journal of Laboratory and Clinical Medical*, v.44, n.2, p.301-307, 1954.
- LOPES, M.E.B.M.; GHINI, R.; TESSARIOLI, J.; PATRÍCIO, F.R.A. Solarização do solo para o controle de *Pythium* spp. na cultura do pepino em cultivo protegido. *Summa Phytopathologica*, Botucatu, v.26, p.224-227, 2000.
- LOURD, M.; ALVES, M.L.B.; BOUHOT, D. Análise qualitativa e quantitativa de espécies de *Pythium* patogênicas nos solos da região de Manaus. I. Solos de terra firme. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.11, p.479-485, 1986.
- LOURD, M.; ALVES, M.L.B.; BOUHOT, D. Análise qualitativa e quantitativa de espécies de *Pythium* patogênicas nos solos da região de Manaus. II. Solos da várzea. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.12, p.215-218, 1987.
- McGOVERN, R.J.; McSORLEY, R.; URS, R.R. Reduction of phytophthora blight of Madagascar periwinkle in Florida by soil solarization. *Plant Disease*, v.84, p.185-191, 2000.
- McGOVERN, R.J.; McSORLEY, R.; BELL, M.L. Reduction of landscape pathogens in Florida by soil solarization. *Plant Disease*, v.86, p.1388-1395, 2002.
- MORMENEO, I.; CATAMUTTO, M.A. Modificación de la temperatura del suelo por efecto del uso de "mulch". In: 7ª REUNIÓN ARGENTINA Y 1ª LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 1997, Buenos Aires. *Anais*. p.65-66.
- PRAMER, D.; SCHMIDT, E.L. *Experimental soil microbiology*. Minneapolis: Burgess Publishing Company, 1964. 430 p.
- PULLMANN, G.S.; DEVAY, J.E.; GARBER, R.H.; WEINHOLD, A.R. Soil solarization: effects on *Verticillium dahliae*, *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, and *Thielaviopsis basicola*. *Phytopathology*, v.71, p.954-959, 1981.
- RENELLA, G.; CHAUDRI, A.M.; BROOKES, P.C. Fresh additions of heavy metals do not model long-term effects on microbial biomass and activity. *Soil Biology & Biochemistry*, v.34, p.121-124, 2002.
- SCANNAVINI, M.; ANTONIACCI, L.; COBELLI, L.; BRUNELLI, A. Esperienze di solarizzazione del terreno in Emilia-Romagna per il contenimento del marciume del colletto della lactuga. *Informatore Fitopatologico*, n.43, p.30-35, 1993.
- SINIGAGLIA, C.; PATRÍCIO, F.R.A.; GHINI, R.; MALAVOLTA, V.M.A.; TESSARIOLI NETO, J.; FREITAS, S.S. Controle de *Sclerotinia minor*, *Rhizoctonia solani* e plantas daninhas pela solarização do solo e sua integração com controle químico. *Summa Phytopathologica*, v.27, n.2, p.229-235, 2001.
- SOUZA, N.L. Solarização do solo. *Summa Phytopathologica*, v.20, n.1, p.3-15, 1994.
- STAPLETON, J.J.; DeVAY, J.E. Soil solarization: a natural mechanism of integrated pest management. In: REUVENI, R. (Ed.) *Novel approaches to integrated pest management*. Boca Raton: CRC Press, 1995. cap.15, p.309-350.
- STAPLETON, J.J. Soil solarization in various agricultural production systems. *Crop Protection*, v.19, p.837-841, 2000.
- STEVENS, C.; KHAN, V.A.; BROWN, J.E.; HOCHMUTH, G.J.; SPLITTSTOESSER, W.E.; GRANBERRY, D.M. Plastic chemistry and technology as related to plasticulture and solar heating of soil. In: KATAN, J., DeVAY, J.E. (Eds.) *Soil solarization*. CRC Press, Boca Raton, FL, p.23-37, 1991.
- TJAMOS, E.C.; ANTONIOU, P.P.; TJAMOS, S.E. Implementation of soil solarization in Greece: conclusions and suggestions. *Crop Protection*, v.19, p.843-846, 2000.
- TURNER, B.L.; BRISTOW, A.W.; HAYGARTH, P.M. Rapid estimation of microbial biomass in grassland soils by ultra-violet absorbance. *Soil Biology & Biochemistry*, v.33, p.913-919, 2001.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extration method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, v.19, n.6, p.703-707, 1987.
- WEINHOFEN, R. Additives to protect and serve. Disponível em: <[http://www.clariant.com/corporate/discover.nsf/files/d09downloads/\\$file/report_protect_and_serv.pdf](http://www.clariant.com/corporate/discover.nsf/files/d09downloads/$file/report_protect_and_serv.pdf)>. Consultado em: 28/08/2003.