

太陽熱土壌消毒における灌水計画の決定に関する考察 Decision Method of Irrigation Schedule for Solar Heating Sterilization

中村公人*, 池浦康広**, 小谷あゆみ**

Kimihito Nakamura*, Yasuhiro Ikeura**, Ayumi Kotani**

1. はじめに 環境に配慮した畑地灌漑技術の一つとして、連作障害防止のための土壌消毒剤散布に代わる「太陽熱土壌消毒」が一部の地域で行われている。たとえば、和歌山県では、ビニールハウス内での花卉や野菜栽培において、作付け前の気温の高い時期に灌水を行った後、ビニールシートで土壌表面を覆うという操作を行っている。しかし、土壌消毒期間中の灌水計画については、土壌の温度伝導度が高くなる土壌水分量になるように灌水すればよいといわれている程度で具体的な灌水量や灌水間隔については示されていない。そこで、現地圃場における地温、土壌水分量の観測結果と土壌中の熱移動解析結果を参考にして、太陽熱土壌消毒中の灌水計画について検討した。

2. 方法

(1) 調査圃場概要 和歌山県みなべ市にビニールハウス試験圃場を 1 圃場設定した。栽培作物はウスイエンドウである。5 月 10 日に耕起・整地が行われ、5 月 16 日に 26mm の灌水が行われた。その後、5 月 19 日に地表面がビニールで被覆され、5 月 24 日、26 日にそれぞれ 8, 7mm の灌水が行われた。6 月 18 日に台風 4 号の影響で屋根のビニールは撤去された。7 月 29 日に 33mm, 8 月 6 日に 24mm, 8 月 25 日に 24mm の灌水が行われた。9 月 18 日に地表面のビニールが撤去され、9 月 21 日に植え付けされた。作土は礫に富む軽埴土からなり、根の痕跡は深さ 47cm まで確認された。

(2) 測定項目 圃場内の 1 地点において複数深度に温度計 (0, 10, 23.5, 25.5, 37.5, 49cm), テンシオメータ, TDR センサー (10, 22.5, 25.5, 37.5, 49cm) を埋設した。ハウスの元杓地点に水道メータを設置し、圃場内で使用された用水量を測定した。両圃場の複数深度から不攪乱土を採取して土壌水分特性曲線, 飽和透水係数の測定した。また、攪乱土を採取して各種土壌物理性を測定するとともに、ヒートプローブ法により熱伝導率と体積熱容量の体積含水率依存性を測定した。

(3) 解析方法 土壌中の熱移動 (式(1)) と水移動 (式(2)) の支配方程式を解くことにより、土壌水分管理が地温に及ぼす影響を評価した。計算には HYDRUS-1D ver.4.14 を用いた。 C_p , C_w は土壌・水の体積熱容量, θ は体積含水率, T は地温, λ は熱分散を含めた熱伝導率 (式(3)), λ_0 は真の熱伝導率, α は熱分散長, q は水分フラックス, K は不飽和透水係数, h は圧力水頭, z は鉛直座標, t は時間である。水蒸気移動が地温に及ぼす影響は小さかったためここでは考慮しなかった。解析領域は深さ 100cm までとし、0~10, ~20, ~30, 30~40, 40cm 以深の 5 層の成層土壌とした。灌水量あるいは降水量を地表面境界条件とし、下端境界は重力排水条件とした。地表面温度は深さ 0cm での測定値とし、下端は温度勾配

$$\frac{\partial C_p(\theta)T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda(\theta) \frac{\partial T}{\partial z} \right] - C_w \frac{\partial q T}{\partial z} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] \quad (2)$$

$$\lambda(\theta) = \lambda_0(\theta) + \alpha C_w |q| \quad (3)$$

$$\lambda_0(\theta) = a_1 + a_2 \theta + a_3 \theta^2 \quad (4)$$

$$C_p(\theta) = C_s \theta_s + C_w \theta \quad (5)$$

* 京都大学農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University

** 近畿農政局 Kinki Regional Agricultural Administration Office

Keywords: 太陽熱土壌消毒, 灌水計画, 畑地灌漑, 栽培管理用水量

3. 結果と考察

(1) 土壌の熱的特性 λ_0 と C_p および温度伝導度 (λ_0/C_p) の体積含水率依存性の測定結果と補間式を Fig.1 に示す. 補間式には式(4), (5)を用いた. $a_1 \sim a_3$ は係数, C_s は固相の体積熱容量, θ_s は固相率である. 温度伝導度は体積含水率が 0.24 ~ 0.28 で最大値をとり, 0.15 以下で大きく低下した.

(2) 土壌水分管理が地温形成に及ぼす影響 様々な土壌水分管理の条件下での地温変化を計算し, 深さ 10, 25.5, 37.5, 49cm での殺菌の基準温度である 40°C 以上になる積算時間 (T_{40}) に基づいて適切な体積含水率, 灌水量, 灌水頻度について検討した. その結果, 体積含水率が 0.25 付近の場合, 1 回の灌水量が約 20mm の場合に効果的であり, 体積含水率が高い程, 灌水量が多い程, 灌水頻度が高い程, 深い層での T_{40} は増加するが, 浅層の T_{40} は減少することがわかった.

(3) 灌水計画の提案 従来の畑地灌漑用水量の計画手法に倣った計画を提案する.

①温度伝導度の性質から, 体積含水率が約 0.15 (θ_L) を下回ったときに, 約 0.25 (θ_H) になるまで灌水すると仮定する.

②消毒実施時における土層内の体積含水率の経時測定から, 灌水後 24 時間経過後からある無灌水期間の土層内の土壌水分減少量を求める. 消毒対象土層を 50cm として, 各土層での土壌水分減少量を求め, 全土層内の土壌水分減少量に対する割合を「消毒 SMEP」とする.

③式(6) (D (cm) は各土層厚) から, 各土層の土壌消毒に有効な水分量 (消毒 RAM) を求め, 式(7)によって, 消毒 TRAM を求める.

④日土壌水分減少量を求め, 消毒 TRAM をこれで除し,

小数点以下を切り捨て, 「間断日数」を計算するとともに, 1 回の計画かん水量を消毒 TRAM を上限値として, 間断日数に日土壌水分減少量を乗じて算出する.

$\theta_L = 0.15$, $\theta_H = 0.25$ での計算結果を Table 1 に示す. 間断日数は 22 日, 1 回の灌水量は 27mm となった. 実績の灌水量や熱移動解析から得られた妥当な灌水量とおよそ一致する結果となった.

4. おわりに 土壌の熱的特性を利用した太陽熱土壌消毒に対する灌水計画を提示した. 異なる土壌条件, 気象条件の場合についてのさらなる検討が必要である.

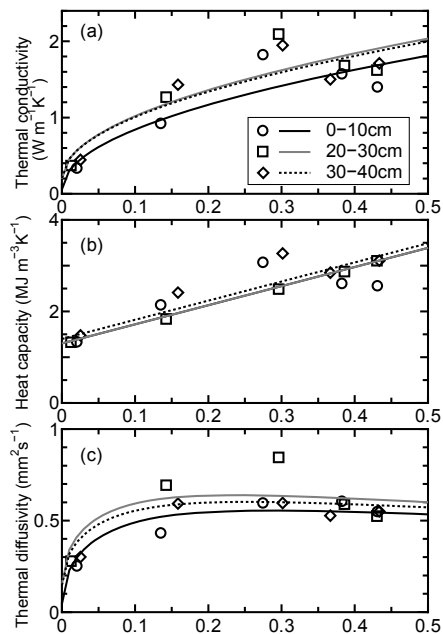


Fig.1 土壌の熱的特性 (ドット: 実測値, 線: 補間値) Thermal properties of soils (Dots: Measured, Lines: Interpolated)

Table 1 太陽熱土壌消毒のための灌水計画 Irrigation design for solar heating sterilization

	第1層	第2層	第3層	第4層
測定地点(cm)	10	23.5	37.5	49
土層上端深さ(cm)	0	16.75	30.5	43.25
土層下端深さ(cm)	16.75	30.5	43.25	50
土層厚さ(cm)	16.75	13.75	12.75	6.75
体積含水率				
2012/7/30 8:30	0.23	0.25	0.29	0.29
2012/8/5 8:30	0.21	0.24	0.28	0.26
土壌水分減少量(mm)	2.61	1.81	1.23	1.79
消毒SMEP	0.35	0.24	0.17	0.24
消毒RAM(mm)	16.75	13.75	12.75	6.75
消毒TRAM(mm)	47.67	56.61	77.19	28.06
日消費水量(mm/d)	0.44	0.30	0.20	0.30
土層内日消費水量(mm/d)	1.24			
間断日数(d)	22			
1回の計画かん水量(mm)	27			

$$\text{消毒RAM(mm)} = (\theta_H - \theta_L) \cdot D \cdot 10 \quad (6)$$

$$\text{消毒TRAM(mm)} = \text{Min} \left[\frac{(\theta_H - \theta_L) \cdot D \cdot 10}{\text{消毒SMEP}} \right] \quad (7)$$

謝辞 調査圃場の農家の方々, 名田周辺土地改良区, 南紀用水土地改良区のご協力に感謝申し上げます. なお, 本調査は, 農林水産省近畿農政局の名田・南紀地区計画基準調査業務として行った.