

学 位 論 文 要 旨

題 目 太陽熱を利用した土壌消毒に関する基礎的研究
—陽熱負荷モデルの構築と計測装置の開発—

氏 名 下高 敏彰

露地栽培やハウス栽培における土壌病原菌防除や雑草防除の物理的技術の一つである太陽熱土壌消毒法に関する研究は、1976年頃から始まり、現場圃場での実証と室内試験で多くの実験成果が報告されている。

先行研究において、土壌病原菌の消毒効果は、恒温装置を用いた室内培養実験における実験温度と経過時間による死滅条件として示されている。しかし、太陽熱土壌消毒法のように、露地やハウス内では一定温度以上の地温環境を一定時間保つ事は困難であるため、太陽熱土壌消毒法においては、恒温環境下での死滅条件はそのまま適用できない。実際、露地やハウスでの地温は、天候や土壌環境や地形によって大きく変化する。土壌病原菌の生息数は、地温が高い時には減少するが、地温が低い時には増加する。このため、太陽熱土壌消毒法による消毒効果を消毒期間の長さだけで評価できず、太陽熱土壌消毒法の普及と利用はあまり進んでいなかった。

そこで、本研究は、太陽熱土壌消毒法における現場での消毒効果を定量的に判断する一つの手法として、土壌に蓄積される熱量を陽熱負荷量と定義し、日毎の最高地温から日毎の陽熱負荷量を近似するモデルを構築し、消毒期間内の日毎の陽熱負荷量の積算量と土壌病原菌の消毒効果との関係について明らかにすることを目的とした。さらに、太陽熱土壌消毒判定装置の開発の初期段階として、本研究で構築する陽熱負荷量の概念を組み込んだ太陽熱土壌消毒判定装置の試作機を製作し、機能性や制御について検討した。この装置の製作に際しては、利用する農家の経済的負担と操作性に配慮した。

第2章では、太陽放射エネルギーと土壌面の熱収支について述べる。長崎県東長崎地区における、夏季の晴天日の太陽放射、直達放射および散乱放射のエネルギーの分布の日変化について測定し、検討した。また、土壌の熱収支式から太陽熱土壌消毒法における土壌中に蓄積された熱量を示すモデルの構築のために必要な要素を検討し、以下の結果が得られた。

太陽放射は直達放射と散乱放射に分割され直達放射のエネルギーは南中時付近を頂点にほぼ対称となることが確認された。

散乱放射エネルギーの日変化は、時間経過とともに気温の上昇に伴い水蒸気などが増加し、レーリー散乱の割合が高くなるが、エネルギー量が少ないため、全体のエネルギーにさほど影響しないことが確認された。

したがって、太陽熱土壌消毒法のエネルギー源としては、直達放射が大きく影響していることが示唆された。

太陽熱土壌消毒法における地温上昇は、土壌に蓄積された熱量を透明マルチ等で被覆することにより、潜熱による熱損失を制御することで地温を高める。土壌中に蓄積された熱量を

示すモデルの構築には、マルチやハウスなどの潜熱による熱損失を軽減する手法を用いることにより、地温の収支余剰熱量を保持または高める条件を考慮する必要があることが示唆された。

第3章では、土壌の貯熱量を示す陽熱負荷量の近似モデルの構築を検討する。農耕地の連作障害防止や土壌病害消毒として土壌の太陽熱土壌消毒法が1976年頃から始められ、多くの方法が検討されているが、その消毒効果は現場段階である一定温度以上の経過時間で作物体の病原菌の発生割合から評価している。地温の上昇度は太陽熱土壌消毒期間において年次の天候条件で大きく変化するため、経過時間では消毒効果を評価できないと考え、病原菌負荷基準温度 (T_c) 以上の上昇度の経過時間の面積部分を積算した値を指標として日陽熱負荷量 ($SHLA_D$) と定義し、モデルの構築を検討した。このとき、日陽熱負荷量は、下式で示される。

$$SHLA_D = K \cdot (1.458 + 0.046 \times Dr) \Delta T^{(1.504 + 0.008 \times Dr)} \Delta T = \max(T_s - T_c, 0)$$

ここで、 K は、各土壌環境を表現する係数である土壌環境補正係数である。 ΔT は、 T_s (日最高地温) と T_c (病原菌の負荷基準温度) との差であり、本論では、負荷基準温度域を 40°C と設定した。ただし、熱負荷を対象としているので、 T_s が一定温度 T_c 以下の時は 0 と見做す。 Dr は、地表面からの深さ (cm) である。

第4章では、陽熱負荷指数と土壌病原菌の消毒との関係について述べる。長崎県農林技術開発センター馬鈴薯研究室で実施した太陽熱土壌消毒法におけるそうか病の発病度と陽熱負荷量との関係及び中央農業総合研究センター観音台圃場 (茨城県) で実施したトマト立枯病の発病率と陽熱負荷量との関係について検討した。さらに、過去の文献等から得られる他の土壌病原菌と熱負荷量との関係も検討した。

馬鈴薯そうか病の防止対策で実施した太陽熱土壌消毒効果は、深度 5cm で測定した地温から陽熱負荷量が実測値で 688.0 ($^\circ\text{C}\cdot\text{hrs}$) 以上で消毒されたと判断できると結論付けた。

トマト立枯病菌対策のための太陽熱土壌消毒効果は、深度 5cm で測定した地温データから陽熱負荷量が 2896 ($^\circ\text{C}\cdot\text{hrs}$) 以上であり、深度 15 cm の場合 1117.8 ($^\circ\text{C}\cdot\text{hrs}$) 以上で消毒されたと判断できると結論付けた。

恒温処理実験における低熱負荷領域菌体の熱負荷量は、 $288^\circ\text{C}\cdot\text{hr}$ 以上で、中熱負荷領域菌体は、 $240^\circ\text{C}\cdot\text{hr}$ 以上で、高熱負荷領域菌体は、 $480^\circ\text{C}\cdot\text{hr}$ 以上で死滅する。この結果は、病原菌の直接局所的効果によるものであるため、圃場においては、この値よりも高くなると推察され、圃場条件下における土壌病原菌の消毒効果と陽熱負荷量との関係についてデータを蓄積し、関係性を明らかにすることが今後の課題である。

第5章では、陽熱負荷指数を組み込んだ太陽熱土壌消毒判定装置の試作機の開発について述べる。農家が実際に太陽熱土壌消毒法を用いた際の消毒完了を判断する方法は、現在開発されていない。消毒完了日を判断する方法としては、日陽熱負荷量を用いることが最適であるが、圃場における地温データが必要である。地温データは、気象庁のアメダス観測点でも測定されておらず、地温測定のための費用も、農家にとっては大きな負担となる。また、地温データを取得できたとしても、消毒完了を判断するためのデータ解析には、ある程度の情報処理技術が求められる。従って、安価で、誰でも使用でき、消毒完了の判断ができる機能を組み込んだ装置の開発が必要となる。

そこで、太陽熱土壌消毒法完了の判断日を決定するために、陽熱負荷量の概念を取り入れ

た簡易的な装置を開発できないかを考え、陽熱負荷量の概念を組み込んだ太陽熱土壤消毒判定装置の試作機の開発を試みた。また、太陽熱土壤消毒判定装置の試作機を圃場で使用し課題点を抽出した。

開発した試作機は、地温のデータと設定温度から、日毎の陽熱負荷量を計算し、その日毎の値は毎日積算されることを確認した。また、セットアップ時に設定していた積算陽熱負荷量の値をその日毎の積算値が超えた場合、消毒完了の判断ができるため、太陽熱土壤消毒判定装置として使用できる試作機が完成した。

課題としては、営農現場に導入するためには、バッテリーのみで稼働すること、温度閾値及び陽熱負荷積算値のさらなる検討、消毒達成状況の見えるかのために途中経過の表示、装置の簡略化、小型化および低コスト化である。

本研究結果から今後の問題は、陽熱負荷量の近似モデルにおいて各土壤環境における土壤環境補正係数の決定および浅い深度で最も影響のある自然環境や深度が深くなるにつれ影響のある前日の地温変化等を考慮したモデル式を開発し、土壤病原菌の死滅との関係を明らかにする必要がある。また、陽熱負荷量の近似モデルは、アメダスデータから日最高地温の推定ができれば、農研機構が公開している農業気象メッシュデータ情報を利用した全国地域の太陽熱土壤消毒法の適地性や消毒期間の判定が可能となり、HP 公開で普及させることが可能となる。太陽熱土壤消毒判定装置は、地温の見えるかとして市販化し、太陽熱土壤消毒法の普及拡大に役立て、化学農薬に頼らない持続的な環境保全技術につながる。