

京都大学	博士 (地球環境学)	氏名	井原 啓貴
論文題目	太陽熱を利用した農耕地土壌の消毒が窒素動態に及ぼす影響の評価に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>太陽熱土壌消毒 (以下、太陽熱消毒) は、圃場表面を透明フィルムで被覆し、太陽エネルギーを地中に取り込むことによって地温を高め、土壌中の植物病原体や雑草種子の駆除を図る消毒法である。消毒中の土壌では日最高地温が 40～50℃を超えることから、本土壌消毒法は、副次的に土壌中における窒素動態にも強く影響すると考えられるが、知見は乏しかった。</p> <p>本論文は、太陽熱消毒後の栽培における窒素施肥量の適正化と、消毒に伴うアンモニウム態窒素の蓄積に伴う作物生育阻害リスクの評価を目指し、土壌の窒素無機化および硝化活性の評価値や化学分析値、施用有機質資材の化学分析値、および、太陽熱消毒中の畑で計測した地温を用いた窒素動態への影響評価手法を論じた結果をまとめたもので、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、研究の背景と本研究の目的を記した。近年、現場への普及が進んでいる「土壌や有機質資材の評価技術」や、安価で利用しやすくなった「地温計測機器」を用いて太陽熱消毒時の土壌中窒素動態を評価する技術を開発し、これまで生産者の経験則に任されていた太陽熱消毒後の施肥を改良し、作物の健全な生育に資する土作りと施肥量の適正化による環境負荷低減を目指すことが記されている。</p> <p>第2章は文献考察であり、太陽熱消毒の改良の系譜と課題、消毒中の地温等環境条件が整理されている。以降の章での実験に先立ち、消毒中の土壌中環境条件が窒素動態に及ぼす影響を考察し、消毒中の高地温により硝化 (土壌微生物によるアンモニウム態から硝酸態への窒素形態変化) が抑制される問題点を抽出している。また高地温は、土壌有機物の窒素無機化 (無機態窒素として知られる硝酸態、アンモニウム態への窒素形態変化) 量を増やすと推定し、さらに窒素無機化量を予測する既往技術を整理し、それらを太陽熱消毒中の土壌環境条件下で適用する上での課題を示している。</p> <p>第3章では太陽熱消毒が硝化に及ぼす影響を、実験により評価している。具体的には、1) 高地温により硝化活性が失われる温度条件を評価するため、茨城県で採取した畑土壌を培養温度 30～60℃で培養し、培養温度が高いほど硝化が遅れ 60℃では硝化は停止することを明らかにした。2) 太陽熱消毒を経験した土壌では、硝化に関わる土壌微生物のうち高地温に適したものが選抜されるのではないかと、という仮説を検証するため、茨城県内の畑で太陽熱消毒を行い、消毒後の土壌では、「一般的には温度が高すぎて硝化活性が低下するとされる培養温度 45℃条件下における硝化」が未消毒土壌より進みやすくなることを発見した。上記をもとに、太陽熱消毒をはじめて行うときと2回目以降で、消毒時の硝化抑制の程度が異なることを念頭に、消毒後の肥培管理を行うべきであると結論している。</p> <p>第4章では、太陽熱消毒時の窒素無機化量の予測技術を開発する準備として、実験により検証データを蓄積している。このため多様な土壌 74点および施用有機質資材 30点を対象に、太陽熱消毒で想定される高い温度でこれら土壌、有機質資材を培養し、窒</p>			

素無機化量の定量データベースを構築した。培養温度が高いほど、土壌の窒素無機化量は大幅に増えるが、有機質資材の窒素無機化量は増えないことが明らかになった。

第5章では、モデルおよび土壌の化学分析を用いた土壌窒素無機化量の予測手法を検討し、 Q_{10} 則を導入した簡易な反応速度論的モデルを用いて、第4章で培養法により得た検証データが評価できることを明らかにしている。また茨城県内の淡色黒ボク土畑で太陽熱消毒を行い得たオンサイトのデータによりモデルを検証し、モデルが有効であることを示した。土壌可給態窒素含量（風乾土を培養温度30℃で28日間培養したときの土壌窒素無機化量で評価される）の簡易評価法として開発された上菌ら（2010）の方法は、培養温度45℃条件下における窒素無機化量の予測にも有効であることを明らかにした。

第6章は結論であり、各章で示された主要な成果をまとめ、開発した技術の生産現場における活用に向けた取り組みと課題を述べている。

(論文審査の結果の要旨)

窒素は植物の生育に必須な多量栄養元素であり、植物は主に無機態窒素を吸収利用する。農業生産においては、肥料によって農作物の窒素吸収要求に合わせて土壌中の無機態窒素含量を調節するが、施用した窒素量を全て作物に吸収させることは困難で、作物に利用されなかった無機態窒素は降雨に伴い地下へ溶脱し、水環境への負荷となる。

太陽熱消毒は、土壌中の作物病原体の消毒を目的とした土壌の加熱処理である。太陽熱消毒では、消毒中の高地温により土壌有機物の分解が促進され、消毒後の土壌に無機態窒素が多く存在する場合があることが知られており、これまで生産者は独自の経験則をもとに、消毒後の栽培で施す肥料の量を調整していたが、畑ごとに異なるその調整量を客観的に見積もる技術は未開発であった。

本論文は、このような背景を踏まえ、土壌中の有機態窒素のアンモニウム態、硝酸態への変化速度が、土壌の加熱処理によって受ける影響を評価するもので、太陽熱消毒後の栽培において農業生産者が化学肥料として投入する窒素の量を適正化する技術を検討、提案している。これまで知見が少なかった高い培養温度条件での室内実験による窒素動態への温度影響のデータ蓄積を背景に、太陽熱消毒を行うフィールドにおいて評価法の検証を進め、最終的に、生産現場での活用に適す簡易な評価手法の有効性を示した。

本研究の持つ学術的に重要な意義として、太陽熱消毒が硝化を担う土壌微生物性を変化させる現象を、温度条件に関する綿密な実験をもとに実証した点が挙げられる。30℃以上では温度が高いほど土壌中における硝化は進みにくいことは既に知られているが、培養温度45℃を超える室内での処理や、畑での実際の太陽熱消毒を経験した土壌は、30℃よりも45℃条件で硝化が進みやすくなることを、本研究では示し、既往の常識を覆した新しい知見を得ている。このことは太陽熱消毒への土壌微生物の適応が消毒中の硝化抑制を軽減する可能性を示唆した実用上にも有益な知見である。

また、土壌窒素無機化量に地温が及ぼす影響の評価法は、これまで土壌微生物反応を想定した反応速度論的評価解析手法が一般的であった。一方、本研究で試験条件とした60℃の高い培養温度では、一部土壌微生物の死滅や高温が土壌有機物に化学的に及ぼす変化も窒素無機化量に影響する可能性がある。このように無機化反応自体が大きく異なる可能性がある温度条件での知見が新たに集積されたことは、太陽熱消毒時の窒素無機化量の予測という実用面での有効性に留まらず、極めて多様で未解明な土壌有機物の、土壌中蓄積と分解に関する知見としても意義深い。

本研究の持つ地球環境学における意義として、農薬を用いない土壌消毒技術の高度化に資している点が挙げられる。論文中でも触れられているとおり、土壌病害対策に広く用いられた臭化メチル剤がオゾン層破壊物質に指定され、我が国では2012年末に全廃されており、その代替技術に期待がかかる。太陽光を利用し、設備投資を必要とせず低コストである点は、太陽熱消毒の利用場面を広く展開する上で有利である。また消毒後栽培の施肥適正化を通じて、持続的な生産を支える土づくりと、栄養塩である窒素の環境負荷の低減にも資する技術を開発した点でも、意義深い。

本研究は学術誌への公表に留まらず、その成果を小冊子、動画などの形式でマニュアルとして公開し、農業生産現場への普及活動に努めており、社会的な意義やインパクトは大きい。

以上の成果により、本研究は、地球環境学の発展に大きく貢献した。よって本論文は博士（地球環境学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成30年2月6日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすること（期間未定）を認める。

要旨公開可能日： _____ 年 _____ 月 _____ 日以降