

称号及び氏名 博士（応用生命科学） 山脇 賢治

学位授与の日付 平成26年3月31日

論文名 アーバスキュラー菌根菌とマメ科緑肥作物を利用したウコン
(*Curcuma longa* L.) の低投入型栽培に関する研究

論文審査委員 主査 大門 弘幸
副査 大木 理
副査 今堀 義洋
副査 大江 真道

論文要旨

ウコン (*Curcuma longa* L.) は、ショウガ科クルクマ属の根茎を利用する作物で、香辛料や着色料として用いられている。根茎に含有されるクルクミンには、抗酸化、抗癌、抗アレルギー、肝臓や腎臓の機能改善等の作用が認められている。日本でのウコンの需要は多く、インドや東南アジア諸国から毎年 **4000 ton** の乾物を輸入する一方で、国内生産量は毎年 **100 ton** に留まっている。近年、飲料などの健康食品としての関心が高まるにつれて、これまで主として栽培されてきた沖縄以外の地域でもウコンの生産が見られるようになった。しかし、国内におけるウコン栽培に関する研究は少なく、今後は亜熱帯地域以外での生産量の拡大を見据えた栽培の知見を蓄積する必要がある。ウコンは養分吸収量が高く、根茎収量は施肥管理の影響を大きく受けるが、環境調和型の生産を基盤に考えると、無機化学肥料の多施用に依存することは望ましくなく、適切な有機物施用技術の開発が必要である。一方、作物の養分吸収は、根と土壤微生物の機能を介して行われるが、特にウコンのような養分吸収量の高い作物では、土壤微生物の利用が施肥管理において重要となる。特に、宿主植物の根に共生し養分吸収能を強化する可能性のあるアーバスキュラー菌根 (AM) 菌は、土壤養分を宿主植物へ供給する上に重要な要素となる。しかし、ウコン栽培における AM 菌の利用に関する研究はこれまでなされておらず、低投入型の生産技術を開発する上に明らかにすべき点は多い。

そこで本研究では、先ず第 1 章においてウコンの主要生産地である沖縄本島のウコン生産者から施肥管理に関する情報を収集するとともに、現地圃場における AM 菌の実態調査を行った。次に第 2 章において AM 菌接種がウコンの養分吸収に及ぼす影響を明らかにすることを試みた。さらに第 3 章において窒素供給源としてのマメ科緑肥作物の利用の可能性を検討した。これらの試験によりウコンの低投入型栽培技術の確立の基礎的知見を得ることを目的とした。

第 1 章 沖縄本島におけるウコン栽培の現状およびアーバスキュラー菌根菌の実態調査

2010 年 9 月下旬に、沖縄本島においてウコンが栽培されている 24 圃場を調査した。この時期は根茎が形成され始める養分吸収が最も盛んな時期にあたる。生産者から耕種概要を聞き取り、ウコン細根の AM 菌感染率と根圏土壤の化学性を調査し、AM 菌感染率と土壤養分との関係を解析した。沖縄本島では、国頭マーヅ (pH 5.5~6.5)、島尻マーヅ (6.0~7.0)、ジャーガル (7.0~8.0) の 3 種類の土壤が分布しており、いずれも亜熱帯土壤特有の低地力である。調査した国頭マーヅ圃場では pH が 5.3~8.1、島尻マーヅ圃場では 7.0~8.7、ジャーガル圃場では 8.4~9.0 と実際の pH の範囲に差異が見られた。いずれも基肥に堆肥 (主として牛糞や堆肥) を投入し、追肥に化成肥料を施用する体系であった。リン酸については、国頭マーヅで土壤 1 kg あたり 860 mg と島尻マーヅの 386 mg やジャーガルの 69 mg に比べて高く、リン肥料の過剰施用が懸念された。AM 菌については 26 圃場のいずれの個体においても感染が認められ、感染率は 2.6~82.9% と圃場によって差異がみられた。一般にリン酸濃度が高い条件下では感染率が低い傾向にあるとされるが、本調査では感染率と土壤中のリン酸濃度との関係については明確な傾向がみられなかった。また、AM 菌の孢子については、生育盛期にもかかわらず多くの圃場で形成が認められたが、土壤 10 g あたりの孢子数は 3~178 個と圃場によって差異がみられた。宿主植物から光合成同化産物の供給が減少する生育後期に孢子が形成されるのが一般的であるが、ウコンでは茎葉部の生育が旺盛な時期に形成されるのは興味深い。現地調査では AM 菌と土壤のリン酸濃度との関係が明確に示されなかったものの、いずれの株からも感染が認められたことから、第 2 章において AM 菌がウコンの養分吸収に及ぼす影響を明らかにすることを試みた。一方、現地の生産者からの情報によると、沖縄本島におけるウコン圃場は小規模であることが多く、周辺に畜産業のない地域では堆肥の利用に制限を受けることが多い。都市化に伴いこの傾向は今後も続くことが予想され、実需者の増産希望が高いウコン生産において地力管理は喫緊の課題である。このことは、今後栽培が広がる可能性もある西南暖地の農耕地でも同様の事象としてとらえられる。

そこで、本研究の第 3 章では、地力の増進機能が高く、景観性も向上するマメ科緑肥作物や、換金性の高い前作マメ類の収穫残渣が、ウコンにおける堆肥の代替として利用

し得るかについて、主として窒素とリン酸の吸収量の観点から検討することとした。

第2章 アーバスキュラー菌根菌の接種がウコンの生育および養分吸収に及ぼす影響

ウコンの養分吸収における AM 菌の接種効果を確認するために、市販の AM 菌資材 (*Gigaspora* 属の孢子を含む) を接種し、窒素とリンの吸収量と根茎のクルクミン含有量を圃場試験とポット試験によって調査した。圃場試験では、2009年5月25日にバーミキュライトを充填したペーパーポットに、接種区には AM 菌資材 3 g を、非接種区(対照区)には滅菌した同資材を施用してウコン(系統: 沖縄在来)の種根茎を定植し、6月17日に圃場に移植して収穫時まで栽培した。また、ポット試験として、生育と感染率の経時的变化を詳細に調査するために、滅菌土壌を 1/2000a ポットに充填し、表面殺菌した種根茎を定植し、定植後 60 日目と 120 日目に調査した。

その結果、圃場試験では、接種区と対照区のいずれにおいても AM 菌の感染が認められ、感染率については両区間で明確な差異は認められなかった。窒素とリンの吸収量およびクルクミン含有量にも区間差はみられなかった。対照区においても AM 菌の感染が認められたのは、農耕地に普遍的に存在する土着 AM 菌や種根茎に付着していた AM 菌が感染源となったことが考えられ、接種菌の効果を得ることが必ずしも容易でないことが示唆された。一方、ポット試験では、AM 菌の感染は接種区のみ認められ、120 日目における窒素とリンの吸収量は、接種区で有意に高く、根茎の肥大も接種区で優り、クルクミン含有量も多かった。以上のように、AM 菌の接種による窒素とリンの吸収促進効果は認められたものの、圃場へ展開するにあたり土着 AM 菌との競合の解明という課題が残された。

第3章 マメ科緑肥作物のすき込みがウコンの生育および養分吸収に及ぼす影響

基肥堆肥の代替として、緑肥として利用されるヘアリーベッチ (*Vicia villosa* Roth) とソラマメ (*Vicia faba* L.) を供試して、そのすき込みによる後作ウコンへの養分供給効果を圃場試験によって調査した。ヘアリーベッチは窒素固定能が高く、バイオマス量も多い冬作緑肥作物である。ソラマメは莢実の換金性が高く、収穫後の茎葉部に多くの養分を残存させるため、収穫残渣の緑肥としての利用の可能性がある。試験は本学附属教育研究フィールド内の圃場(灰色低地土)で行った。ヘアリーベッチ(品種: まめっこ)は、2008年11月12日に播種(5 g/m²)し、開花盛期の2009年5月20日に地上部をすき込み(5 kgFW/m²)、ウコン(系統: 沖縄在来)を移植して、窒素とリンの吸収量を非すき込み区と比較した。ソラマメ(品種: 仁徳一寸)については、2009年12月8日に40日齢苗を圃場に移植し、2010年5月に莢を適宜収穫し、6月3日に収穫残渣をすき込んだ。試験区として、茎葉部と根をすき込む(S+R)区、根のみをすき込む(R)区、前作裸地に茎葉部をすき込む(S)区、すき込まない(C)区を設け、ウコンを6月14日に移植し、茎葉由来の窒素とリンの供給量を試算した。なお、12月11

日に収穫した後、圃場を裸地として管理し、翌年同様に栽培して、後々作への効果を調査した。

その結果、刈取り時のヘアリーベッチ地上部の窒素とリン含有量は、**20.4 gN/m²** と **2.3 gP/m²** であり、基肥堆肥の相当量に換算して **28.7 gN/m²** と **3.2 gP/m²** になるように地上部をすき込んだ。収穫時におけるウコンの窒素とリンの吸収量は、非すき込み区に比べてすき込み区では **5.7 gN/m²** と **0.84 gP/m²** の増加を示した。一方、ソラマメ茎葉部の窒素とリンの含有量は、**27.1 gN/m²** と **4.3 gP/m²** であり、そのうち **69%** と **67%** が莢実として持ち出され、結果的に収穫残渣として **8.5 gN/m²** と **1.4 gP/m²** を緑肥としてすき込んだ。収穫時におけるウコンの窒素とリンの吸収量は、非すき込み区に比べて、ソラマメ栽培跡地のすき込み区で **2.5 gN/m²** と **1.0 gP/m²** の増加を示し、前作裸地のすき込み区で **4.5 gN/m²** と **1.9 gP/m²** の増加を示した。以上のように、ヘアリーベッチとソラマメ収穫残渣は、いずれも比較的高い養分供給効果があり、ウコン栽培における基肥堆肥の代替となることを量的に示すことができた。

本研究では、ウコンの主要生産地の沖縄本島で栽培の現状を調査し、基肥堆肥の代替としてマメ科緑肥作物の利用の可能性を示した。すなわち、前作として冬作緑肥として利用が広がるヘアリーベッチのウコン栽培への導入が有効であることを示し、さらに換金性の高い冬作マメ類のソラマメの収穫残渣は、養分供給機能が高いことを示した。一方、ウコンの養分吸収に **AM** 菌の接種が効果的であることを示したが、圃場では土着 **AM** 菌の存在により接種効果が明確に現れないといった課題が明らかとなった。今後の展開として、**AM** 菌の活用によって有機物の養分をより効率的にウコンへ供給する肥培管理技術を構築するべきであろう。特に、新規造成農地などでは接種菌の効果が得られる可能性もあり、地力付加が必要なこのような農耕地における **AM** 菌の接種と有機物施用についてさらなる検討が望まれる。

審査結果の要旨

ウコン (*Curcuma longa* L.) はショウガ科の作物であり、根茎中のクルクミンには、肝臓や腎臓の機能改善等の作用が認められる。本作物は養分吸収量が多く、根茎収量の増大には適切な有機物施用技術の開発が必要であるが、研究事例は少なく、低投入型の生産技術を開発する上に明らかにすべき点が多い。そこで本研究では、主要生産地である沖縄本島において、施肥管理に関する情報を収集し、あわせて養分吸収に関与する土

壤微生物の一種であるアーバスキュラー菌根 (AM 菌) の実態について現地調査を行った。また、AM 菌接種がウコンの窒素とリンの吸収に及ぼす影響を明らかにし、さらに窒素とリンの供給源としてのマメ科緑肥作物の利用の可能性を検討した。これらの試験によりウコンの低投入型栽培技術の確立に関する基礎的知見を得た。

第 1 章では、沖縄本島における栽培の現状とアーバスキュラー菌根菌の実態を調査した。2010 年と 2011 年における島内 24 圃場における聞き取り調査の結果、ウコン栽培では、都市化に伴い畜産廃棄物由来の堆肥の導入が困難になりつつあり、実需者の増産希望に対して圃場の地力管理が喫緊の課題であることが確認された。沖縄本島の代表的な土壌である国頭マーヅ、島尻マーヅ、ジャーガルのいずれでもウコンの栽培がなされており、採取した全ての個体で AM 菌の感染が認められたが、感染率は 2.6%~83%と圃場によって差異が大きかった。AM 菌感染を制御するとされる土壌リン濃度は、国頭マーヅで顕著に高く、次いで島尻マーヅ、ジャーガルの順であったが、AM 菌感染率および土壌中の AM 菌胞子数との間には明確な関係がみられなかった。

沖縄本島の現地圃場では、いずれの地域においても AM 菌の感染が認められたことから、第 2 章では、AM 菌の接種がウコンの生育と養分吸収に及ぼす影響について、圃場試験とポット試験によって明らかにした。接種源には、主として *Gigaspora* 属の胞子を含む市販の AM 菌資材を供試した。圃場試験では、AM 菌資材あるいは滅菌した同資材を施用して育苗した植物体を本学圃場に定植して栽培した。接種区と対照区のいずれでも AM 菌の感染が認められ、感染率に両区間で差異は認められず、土着 AM 菌や種根茎に付着していた AM 菌が感染源となり、接種菌の効果を得ることが必ずしも容易でないことが示唆された。そこで、ウコンの生育と AM 菌感染率の経時的变化を詳細に知るために、表面殺菌した種根茎を滅菌土壌に定植してポット試験を行ったところ、AM 菌の感染は接種区のみ認められ、定植後 120 日目における窒素とリンの吸収量は、接種区で有意に高く、根茎の肥大も接種区で優り、クルクミン含有率も高くなり、接種による明確な生育促進効果が認められた。すなわち、AM 菌の接種により窒素とリンの吸収促進効果は認められたものの、圃場へ展開するにあたり土着 AM 菌との競合の解明という課題が残された。

無機化学肥料に主として依存する生産から、効果的な有機物施用による低投入型の生産へと移行するための手法として、被覆作物やウコン前作の収穫残渣の有効利用について第 3 章において検討した。地力の増進機能が高く、景観性も向上するヘアリーベッチと前作として導入可能な換金性の高いソラマメの収穫残渣が、堆肥の代替として利用し得るかについて、主として窒素とリンの吸収量から明らかにした。ヘアリーベッチ地上部の窒素とリンのすき込み量は、 28.7 gN/m^2 と 3.2 gP/m^2 であり、収穫時におけるウコンの窒素とリンの吸収量は、非すき込み区に比べてすき込み区では 5.7 gN/m^2 と 0.84 gP/m^2 増加した。同様にソラマメ茎葉部の窒素とリンの収穫残渣としてのすき込み量は、 8.5 gN/m^2 と 1.4 gP/m^2 であり、ウコンの窒素とリンの吸収量は、非すき込み区に比べて、

ソラマメ栽培跡地のすき込み区で 2.5 gN/m^2 と 1.0 gP/m^2 増加し、前作裸地のすき込み区で 4.5 gN/m^2 と 1.9 gP/m^2 増加した。以上のように、ヘアリーベッチとソラマメ収穫残渣は、いずれも比較的高い養分供給効果があり、ウコン栽培における基肥堆肥の代替となることを量的に示すことができた。

本研究では、ウコンの主要生産地の沖縄本島での栽培の現状を有機物施用と AM 菌の実態の視点から明らかにした。また、ウコンの養分吸収に AM 菌の接種が効果的であることを示したが、圃場では土着 AM 菌の存在により接種効果が明確に現れないといった課題も明らかになった。さらに、基肥堆肥の代替としてマメ科緑肥作物の利用の可能性を示し、AM 菌の活用によって有機物の養分をより効率的にウコンへ供給する肥培管理技術を構築すべきである点を指摘した。これらの成果は、亜熱帯地域に限られるウコン栽培を西南暖地へと拡大する上にも重要な知見を提供しており、作物学、栽培学、土壌植物栄養学の分野における実用化研究としても高く評価できるものである。したがって、最終試験の成績とあわせて博士（応用生命科学）の学位を授与することを適当と認める。