

| | | |
|------|----|----------|
| 報告番号 | ※甲 | 第 3357 号 |
|------|----|----------|

主 論 文 の 要 旨

論文題目 マメ科作物の緑肥機能およびその菌根形成

氏 名 矢野勝也

論 文 内 容 の 要 旨

化学肥料への過剰な依存に起因する耕地土壌の地力低下は、長期的な視点からみた作物生産性を低下させうる。今後急速に増加する食糧需要に対処する上で、高い作物生産性に加えて、生産基盤である耕地土壌の持続性を保障しうる作物生産技術の確立が急がれる。その点で、共生的窒素固定能を有するマメ科作物を緑肥として耕地土壌へ施用することは、地力維持に不可欠な有機物の供給と、窒素肥料の節減とを両立させる可能性を有する。

そこでまず、マメ科作物の緑肥としての機能を明らかにするために、夏作マメ科作物のサンヘンブおよびラッカセイを緑肥としてすき込み、後作コムギの生育ならびに窒素吸収に及ぼす効果について検討した。緑肥作物の乾物重においては、サンヘンブがラッカセイよりも優った。逆に、全窒素含有量ではラッカセイがサンヘンブよりも優った。また、C・N率はラッカセイにおいて約20であったのに対してサンヘンブでは約40と高く、全乾物重に占める茎の割合が著しく高かった。両マメ科作物の固定窒素量を、根粒非着生ラッカセイを対照作物とした差引法によって推定した結果、ラッカセイの方が (18.1 g m^{-2}) サンヘンブ (12.5 g m^{-2}) よりも有意に高かった。また、全吸収窒素に対する固定窒素の割合はいずれのマメ科作物も60~70%の範囲にあった。

これらのマメ科作物を緑肥として施用し、後作コムギを窒素肥料を施用せずに栽培した。コムギの収量ならびに窒素吸収量では、ラッカセイを緑肥として施用した区が最も高く、サンヘンブ区がそれに続いた。これらに比較して、窒素固定能を持たない根粒非着生ラッカセイ区ではコムギ収量は著しく低かった。このことから、窒素固定能を有するマメ科作物の緑肥施用は、後作コムギの収量増加に大きく貢献することが明らかとなった。さらに、サンヘンブとラッカセイの比較から、後作コムギの収量に大きく影響した要因は、それらの乾物重よりも窒素含有量や、有機物の分解速度を律速するC・N率であった。したがって、後作物への窒素供給源としての緑肥には、窒素

固定能が高く、またC・N率の低い作物種・品種を選択すると同時に、そのような特性を誘導する栽培方法が重要であると判断した。

一方、後作コムギによる緑肥窒素の回収率は、サンヘンブ区で9.4%、ラッカセイ区で11.2%と推定され、無機態窒素の回収率に比べて低かった。窒素施用量をさらに低減させるためには、緑肥作物の窒素固定能を向上させることと、後作物の養分回収率をさらに高めさせることが必要であった。この2つの課題を同時に克服しうる手段として、植物根と真菌との共生体であるアーブスキュラー菌根（以下菌根と称す）に着目した。その理由は、菌根形成によって作物根系の根圏域が拡大され、リン等の無機養分の吸収が促進されることと、多くの作物種がこの菌根を形成しうることからであった。とくに、相対的に窒素が制限要因となりにくいマメ科作物は、土壤中での移動速度の低いリンがその生育を制限するケースが多い。また、共生的な窒素固定には比較的多量のリンが必要である。したがって、菌根の形成は、マメ科緑肥作物の窒素固定能を高め、さらに後作物の緑肥からの養分回収率を向上させようと考えられた。

しかし、これまでの菌根に関する研究は、細胞単位のマクロなレベルではかなり進展しているものの、根系レベルでの知見の蓄積は少ない。実際の耕地土壌での菌根機能の活用や制御には、このマクロなレベルでの研究の進展が不可欠である。そこでまず、根系全体を対象にした菌根形成とそれに伴う根系形態の変化を、比較的単純な根系を形成するラッカセイで調査した。

まず、菌根菌 (*Gigaspora margarita* Becker & Hall) 接種源を非滅菌土壌へ均一に混合した土壌を根箱に充填し、ラッカセイを播種して自然光型グロースキャビネット内で16日間生育させた。形成された菌根部位の全長の66%は1次側根上で認められ、残りは2次側根上で形成された。一方、主根においては菌根形成はほとんど認められなかった。1次側根軸上での菌根形成頻度は向頂的に増加し、とくにその傾向は主根軸の基部側から発生した比較的齢の進んだ1次側根において顕著であった。その齢の進んだ1次側根では、根端に最も近い部位において菌根の形成数は最大であったが、比較的長い菌根部位の多くはそこからやや基部寄りで形成されていた。しかし、主根軸のより根端側から発生したより若い側根ほど、そのような菌根形成頻度の向頂的な増加パターンは不明瞭であった。したがって、1個体の根系において菌根は、根の齢の影響を強く受けながら形成されることが明らかとなった。

次に、上記の菌根菌接種ラッカセイの根系形態を、菌根菌を接種しないものとで比較した。地上部の生育および根系全体の総根長と総根数では、菌根菌接種個体と非接種個体間に有意差は認められなかった。しかし、主根軸上の発生位置を考慮して側根発育を解析した結果、1次および2次側根の数や長さに関する発育に、接種による有意な影響が検出された。その接種効果は、根数に対しては1次側根で促進的に、2次側根では抑制的であった。一方、根長に対しては、1次側根で抑制的であったが、2次側根では一定の傾向が認められなかった。これらのことから、菌根菌の接種は、主根軸に沿った1次と2次側根の発育に影響を及ぼし、根系形態を構造的に変化させることが明らかとなった。

上記の研究を含めたこれまでの研究では、根系形態に及ぼす菌根形成の影響を異なる処理個体間で比較している。しかし、菌根形成は植物体全体の生理的、形態的な変化を引き起こすので、それらの研究で認められた根系形態の変化は地上部の影響を受けている可能性がある。そこで、1個体の根系内に菌根菌を局所的に接種して、同一根系内における接種側と非接種側での側根間で発育を比較することで、地上部の変化に依存しない、菌根形成による根系形態の変化を明らかにすることを試みた。

根箱に養分含有量が極めて少ない土壌を充填した。その際に、垂直方向の片側半分の土壌には菌根菌をあらかじめ均一に混合し、もう一方には滅菌した接種源を混合しておいた。ラッカセイとキマメの催芽種子を各根箱の処理土壌が接した境界面上に播種し、ガラス室内で生育させた。菌根菌の接種に対する形態的な反応は、20日齢の根系においては明確ではなかった。しかし、30日齢の根系においては両作物ともに明瞭な反応が認められ、非接種土壌側よりも接種土壌側での側根発達が優れた。その反応は、2次、3次側根で顕著であり、1次側根の反応程度は小さかった。したがって、両作物がその根系内で菌根を形成した側根に対して、優先的に同化産物を分配することが示唆され、このことが、局所的な菌根菌接種による根系形態の変化の原因と考えられた。

ところで近年、過剰な耕起がもたらす土壌侵食が顕在化しており、土壌の耕起を省略化する栽培法が盛んに検討されている。しかし、そのような省耕起栽培条件下では表層土壌が緻密化して、作物根系の発達や機能が抑制されるので、省耕起栽培条件下での根系機能の回復は重要な課題として位置づけられる。一方、土壌の攪乱頻度が少ない省耕起栽培条件下では、菌根菌の感染能が高く保持される。そこで、不攪乱土壌条件下で阻害される作物の根系機能は、逆に形成が活発化する菌根の機能によって補償される可能性が考えられた。

このことを検証するために、菌根菌の接種・非接種ならびに土壌の攪乱・不攪乱処理を組み合わせ、4つの処理区を設けた。まず、菌根菌をコムギ栽培直前のポット土壌に接種した。非接種区には、同量の接種源を滅菌したものを添加した。両処理区ポットにコムギを播種し、6ヶ月間栽培して菌根菌を培養した。その後、コムギの地上部のみを収穫して、それぞれの処理区内の半数のポットは土壌を攪乱し、もう一方はそのまま放置した。このようにして準備した4処理区のポットにキマメを播種し、90日間生育させた。菌根菌接種土壌においては、菌の土壌中における孢子密度ならびにキマメ根系における感染率は、土壌攪乱区よりも不攪乱区で明らかに高かった。不攪乱土壌における地上部乾物重およびリン含有量では、非接種区に比べ接種区の方が2倍程度大きかった。不攪乱土壌での根系発達は非接種区より接種区で優ったが、土壌貫入抵抗値には両区間で差異は認められなかった。これらの結果から、不攪乱土壌条件下で活発化した菌根形成が根系発達を促進し、その結果不攪乱土壌条件下の環境ストレスを緩和したことが明らかとなった。しかし、収穫時のキマメの生育量において、菌根菌を接種した土壌不攪乱区は、菌根菌接種・非接種のいずれの攪乱区も上回らなかった。これは、土壌の物理性が根系発達を強く規定したためである。このこと

は、菌根形成は作物のストレスを緩和するが、その果たしうる機能は宿主の根系発達に強く依存することを示唆する。

本論文では、マメ科緑肥作物が後作物への窒素供給源として有効に機能しうるが、さらにその窒素固定能を高めると同時に、後作物による緑肥からの養分回収率を向上させる必要性を認めた。これらの課題に対して、作物根系における菌根形成は有効と考えられた。しかし、根系内での菌根形成は根の齢に規定され、かつ根系形態自体を変化させる。さらに、菌根の機能はそれを形成した根系の発達に強く規定される。したがって、菌根を利用してマメ科作物の緑肥機能を強化させる場合、種々の環境条件下での菌根形成による根系の形態的・生理的な変化と、その変化がもたらす生態学的な意義を解明することが重要である。