

称号及び氏名	博士(農学) Bongsu Choi
学位授与の日付	平成20年3月31日
論文名	「Fate of Root-deposited Nitrogen of Several Green Manure Legumes in Low Input Crop Production (低投入作物生産における数種マメ科緑肥作物の地下部蓄積窒素の動態)」
論文審査委員	主査 大門 弘幸 副査 山口 裕文 副査 小田 雅行

論文要旨

第1章 緒論

20世紀には、化石エネルギーに依存した安価な化学資材の生産と利用によって安定的な作物生産の基盤が築かれ、それらに対応できる改良品種の開発によって高い作物生産性が確保されてきた。しかし、集約的な作物栽培技術は、過剰な化学肥料や農薬に依存することが多い。特に、速効性の化学肥料に依存した単一作物の連作では、農耕地が本来もつべき地力が低下し、農耕地の生産ポテンシャルが下がることが指摘されている。その改善策の一つとして、作物残さや家畜糞尿などの農業生産の副産物である有機物をより有効に利用することが再認識されるようになってきた。農耕地への有機物の施用は、土壤の物理化学的性質や生物学的性質を良好に保つために、極めて重要な役割を果たす。農耕地に施用される有機物の種類は多様であるが、本研究では、限られた面積での集約的な生産技術を余儀なくされている韓国や日本における作物生産への応用を目標として、同一圃場での栽培によって有機物の施用に労力を要しない緑肥に着目した。

緑肥の有機物としての利用は、根粒菌と共生して窒素固定するレンゲやクローバ類などのマメ科作物でよく知られている。しかし、緑肥利用における前後作間の窒素の動態やすき込み後に一時的に生じる生育抑制現象などは、作物の組合せで異なり、明確でない点が多い。また、土壤物理性の改善、線虫密度の低減、被覆による雑草の抑制などの効果が注目されているクロタラリア(*Crotalaria* 属)、セスバニア(*Sesbania* 属)、ベッチ(*Vicia* 属)などの新規の緑肥作物は、十分に特性評価されないまま利用されている現状にある。特に、これまで地上部の乾物生産性に注目されてきたものの、根粒を形成する地下部の機能についてはほとんど知見がない。そこで、本研究では、まず、クロタラリア(*C. spectabilis*)

とセスバニア (*S. rostrata*) の地下部のすき込みによる後作コマツナへの窒素供給を地上部と比較して量的に評価した。次に、根粒の窒素固定活性の経時変化に着目して、生育段階の異なるヘアリーベッチ (*V. villosa* Roth) をすき込んだ場合の後作ソルガムへの窒素供給を検討した。さらに、数種緑肥作物について、地上部すき込みによる生育抑制効果をレタスを用いたバイオアッセイによって解析した。

第 2 章 コマツナの生育と窒素吸収における夏作マメ科緑肥作物 *C. spectabilis* と *S. rostrata* の地下部蓄積窒素の役割

センチュウ対抗性と旺盛な乾物生産性を示すため、緑肥として利用され始めている熱帯原産のマメ科作物である *C. spectabilis* と *S. rostrata* について、後作にコマツナを栽培して、緑肥としてすき込んだ際の窒素供給における地下部の役割を検討した。

両マメ科作物を 1/2000a ワグナーポットを用いて 6 月中旬から 9 月中旬にかけて約 3 カ月栽培し、地上部と地下部の両方 (S+R 区) または地下部のみ (R 区) をすき込んだ。すき込み 17 日後に後作としてコマツナ (*Brassica rapa* 品種：楽天) を播種した。無施肥で約 2 か月生育させ、生育と窒素吸収量を調査した。両作物ともに、S+R 区におけるすき込み窒素量は、R 区よりも 4 倍程度高かったが、コマツナの窒素吸収量における S+R 区の R 区に対する割合は、*C. spectabilis* で 1.7 倍、*S. rostrata* で 2.3 倍となり、すき込み量から推定したほどの差異は認められなかった。すき込み窒素の回収率が R 区で高かったことは、地上部と地下部の C/N 率の差異からは説明できなかった。一方、根粒や茎粒の窒素固定活性の高い時期の地下部のすき込みは窒素回収率を向上させたことから、根粒に蓄積された窒素がすき込み直後に放出されることによってコマツナの窒素吸収が促進された可能性が考えられた。また、S+R 区における比較的低い窒素回収率の要因として、葉における生育抑制物質の存在が示唆された。

第 3 章 ソルガムの生育と窒素吸収における冬作マメ科緑肥作物ヘアリーベッチの地下部蓄積窒素の役割

ヘアリーベッチは、土壌侵食の防止、休耕地の雑草抑制、転換畑の地力維持など、農耕地保全のために導入され始めているマメ科作物である。本研究では、本作物の異なる生育段階におけるすき込みがソルガムの窒素吸収に及ぼす影響を評価した。

ヘアリーベッチ (品種：まめっこ) を 1/5000a ワグナーポットを用いて 11 月中旬から翌年の 5 月初旬まで栽培し、3 月下旬から 5 月初旬にかけての異なる 3 時期に、地上部と地下部の両方 (S+R 区)、地上部のみ (S 区)、地下部のみ (R 区) をそれぞれすき込んだ。15 日後に後作としてソルガム (*Sorghum bicolor* 品種：緑肥ソルゴ-) を播種した。無施肥で約 3 か月生育させ、窒素吸収量を調査した。試験は 4 年間にわたり 2 回実施した。

ヘアリーベッチの乾物重と全窒素含有量は 3 月中旬から下旬にかけて、また、根粒の窒素固定活性は 3 月中旬から 4 月中旬にかけて、それぞれ著しく増加した。ソルガムの生育と窒素吸収は、ヘアリーベッチのすき込み時期とその時の根粒の窒素固定活性によって変化した。すなわち、3 月下旬にすき込んだ場合には、S 区では明確な生育阻害がみられ、R 区と S+R 区ではともに S 区に比べて著しく生育がよかった。しかし、5 月上旬にすき込むと、S 区における窒素吸収量は S+R 区と同様の値を示し、いずれも R 区より明らかに高かった。

S区におけるすき込み窒素量は、いずれのすき込み時期においてもR区より高かったにもかかわらず、ソルガムの窒素吸収量のS区とR区との差異はそれらの値によって説明できず、地上部による生育抑制と地下部による窒素飢餓の緩和によるものであると示唆された。なお、ヘアリーベッチの地上部の老化とともにこのような生育抑制現象は軽減した。

第4章 数種マメ科緑肥作物のすき込みによる後作物の初期生育の抑制現象の解析

有機物を土壌にすき込んだ場合、すき込み資材から直接放出される物質やその分解過程で生産される代謝産物によって、後作物の生育が抑制される場合がある。すなわち、有機物由来の養分が豊富にあっても、それらを後作物が生育適期に吸収できなければ最終的な収量は低下する。本研究では、このようなすき込み後に分解、放出される物質に着目して、数種緑肥作物について、後作物の初期生育に及ぼすそれらの葉と茎の水抽出物の施用効果をレタスを検定植物として解析した。

キマメ (*Cajanus cajan*)、クロタラリア 2 種 (*C. juncea*, *C. spectabilis*)、セスバニア (*S. rostrata*)、ソルガム (*Sorghum bicolor*) を 2004 年 6 月 2 日に本学実験圃場に播種し、生育が盛んな栄養生長期の 9 月 7 日と開花期の 9 月 28 日に収穫した。それぞれの葉および茎の乾物粉碎試料から、0.05%、0.25%、1.25% (w/w) となるように調製した水抽出物を施用し、無菌条件下でレタス (*Lactuca sativa* 品種: Great Lakes 366) の発芽と初期生育を調査した。

レタスの発芽は 1.25%区で著しく遅延し、特に *C. juncea*, *C. spectabilis*, *S. rostrata* の抽出物で顕著であった。また、茎より葉の抽出物の方が発芽を強く抑制し、栄養生長期より生殖生長期の方が抑制程度が大きかった。置床 4 日目の実生の胚軸長と幼根長を調査した結果、幼根長の抑制が顕著であった。なお、供試 5 作物間では、*S. rostrata*において発芽率および実生の生育抑制への影響が最も大きく、非マメ科作物であるソルガムでは生育抑制はほとんどみられなかった。

第5章 総合考察

本研究では、夏作の *C. spectabilis* と *S. rostrata* および冬作のヘアリーベッチについて、これまで知見のなかった緑肥利用の際の根および根粒（地下部）のもつ機能を、窒素固定活性の推移と関連させて明らかにした。すなわち、各作物ともに、地下部としてすき込まれた窒素量は、地上部のそれに比べて明らかに少なかったにもかかわらず、後作物への窒素貢献度（緑肥によりすき込まれた窒素量に対する後作物により吸収された窒素量の割合）は、地下部において顕著に高かった。その機構として、すき込み時に地上部が切除されたことにより急激に炭水化物（根粒のエネルギー源）の供給が停止し、活性の高い根粒からの無機態窒素や易分解性の窒素化合物が放出されたと推測された。このことは、活性の高い茎粒を有していたセスバニアの地上部をすき込んだ場合の促進効果からも示唆された。一方、いずれの作物でも地上部すき込みによる後作物の生育抑制がみられた。この抑制は未熟有機物である緑肥の分解初期にしばしば生じる微生物と後作物との窒素競合によると考えられたが、上述の地下部蓄積窒素がこの競合を緩和する可能性が示唆され、緑肥すき込み時には、根粒の状況への着目が極めて重要であることを示した。なお、緑肥のすき込みによる後作物の初期生育の抑制は、緑肥作物の種類、生育段階、すき込み部位（葉

または茎)によって異なることを明らかにした。本研究で明らかにした緑肥の特性は、作付体系の多様な機能に着目した低投入型の作物生産を考える際に十分に考慮されるべきであろう。

審査結果の要旨

集約的な作物栽培技術は過剰な化学肥料や農薬に依存することが多い。特に、速効性の化学肥料に依存した単一作物の連作では、農耕地が本来もつべき地力が劣化し、農耕地の生産ポテンシャルが低下する。その改善策の一つとして、作物残さや家畜糞尿などの農業生産の副産物である有機物のより有効な利用が再認識されるようになってきた。本研究では、限られた面積での集約的生産を行う日本や韓国の作物生産における有機物施用技術の開発を目的に、同一圃場で栽培することでその施用に労力を要しないマメ科緑肥作物の特性を明らかにした。緑肥の利用はレンゲなどでよく知られているが、すき込み直後の窒素飢餓や生育抑制の現象は、前後作の組合せで異なり明確でない点が多い。また、線虫密度の低減や雑草の抑制などの効果が知られているクロタラリア(*Crotalaria* 属)、セスバニア(*Sesbania* 属)、ベッチ(*Vicia* 属)などの新規の緑肥作物は、特性が評価されないまま利用されている現状にある。特に、これらの作物では地上部のすき込み量は検討されてきたものの、地下部の機能については知見がない。そこで本研究ではこれらの新規緑肥作物の地下部に着目して、後作物への窒素供給を地上部と比較して量的に評価した。またすき込みによる生育抑制効果についても解析した。

第1章では、*C. spectabilis* と *S. rostrata* について窒素供給における地下部の役割を後作にコマツナを栽培して検討した。両マメ科作物を6月から9月まで栽培し、地上部と地下部の両方または地下部のみをすき込んだ。いずれの作物でも地上部+地下部区におけるすき込み窒素量は、地下部区よりも4倍程度多かったが、コマツナの窒素吸収量における前者の後者に対する割合は、*C. spectabilis* で1.7倍、*S. rostrata* で2.3倍となった。すなわち、すき込み量から推定したほどの差異はなく、この現象は地上部と地下部のC/N率の差異からは説明できなかった。一方、窒素固定活性の高い時期の地下部のすき込みは窒素回収率を向上させ、すき込み直後の根粒蓄積窒素の放出によってコマツナの窒素吸収が促進された可能性が示された。

第2章では、土壌侵食の防止や雑草抑制のために導入され始めているヘアリーベッチについて、異なる生育段階におけるすき込みがソルガムの窒素吸収に及ぼす影響を評価した。ヘアリーベッチを11月から翌年5月まで栽培し、3月から5月の異なる3時期に、地上部と地下部の両方、地上部のみ、地下部のみをすき込んだ。ヘアリーベッチの全窒素含有量は3月中旬から下旬にかけて、窒素固定活性は3月中旬から4月中旬にかけて著しく増加した。ソルガムの窒素吸収はヘアリーベッチのすき込み時期とその時の根粒の窒素固定活性によって変化した。すなわち、3月下旬すき込みでは、地上部区で明確な生育阻害がみられ、地下部区と地上部+地下部区で著しく生育がよかった。一方、5月上旬すき込みでは、地上部区の窒素吸収量は地上部+地下部区と同様の値を示し、地下部区より明らかに多かつ

た。地上部区のすき込み窒素量は、いずれの時期でも地下部区より多かったにもかかわらず、ソルガムの窒素吸収量の両区間の差異はそれらの値によって説明できず、地上部による生育抑制と地下部による窒素飢餓の緩和によるものであることが明らかになった。

第 3 章では、緑肥すき込み直後の後作物の生育抑制に着目し、数種緑肥作物の葉と茎の水抽出物を用いてレタスにおける生育阻害効果を解析した。キマメ、クロタラリア 2 種、セสบニア、ソルガムの葉および茎の乾物試料から、0.05%、0.25%、1.25%の水抽出物を調整し、レタスに施用して発芽と初期生育を調査した。その結果、*C. juncea*, *C. spectabilis*, *S. rostrata* の抽出物で発芽阻害が顕著であった。また、茎より葉の抽出物の方が強く抑制し、栄養生長期より生殖生長期の方が抑制程度が大きかった。胚軸長と幼根長を調査したところ、幼根長の抑制が顕著であった。供試 5 作物間では、*S. rostrata* で発芽率と実生の生育における抑制が大きく、ソルガムでは生育抑制はほとんどみられなかった。

本研究では、クロタラリア、セสบニア、ヘアリーベッチについてこれまで知見のなかった緑肥利用の際の地下部のもつ機能を、窒素固定活性の推移と関連させて明らかにした。また、後作物における生育抑制の作物間差異を明らかにした。これらの成果は、環境保全型作物生産技術の開発の基礎として重要な知見であり、また作物学および栽培学の発展に大きく貢献するものである。したがって、本論文の審査ならびに最終試験の結果と併せて、博士（農学）の学位を授与することを適当と認める。