

論文の内容の要旨

農学国際専攻

平成 17 年度博士課程進学

盛 朝子

指導教員 岡田謙介

論文題目 **Long-term effects of legume rotation on sorghum yield and soil fertility in the semi-arid tropics in West Africa**
(西アフリカ半乾燥熱帯におけるマメ科輪作がソルガム収量と土壤肥沃度に及ぼす効果)

西アフリカの半乾燥熱帯は、世界の中でも多くの栄養不足人口を抱え、人口増加率が高い地域であるにもかかわらず、農地の生産性が低く、その最大の要因として土壤肥沃度の低さが指摘されている。当該地域においては、増収のために効果的な化学肥料・有機物は社会経済的理由から必要十分量投入されない。この改善策のひとつとして、マメ科の輪作があげられ、カウピー・落花生などとの輪作によって、主食となるソルガム・パールミレットなどの穀物収量が増加することがこれまでの研究で明らかとなっている。しかしながらその効果は不規則性が高く、また増収のメカニズムについても不明な点が多い。

マメ科輪作による増収の要因については、これまで窒素固定による窒素供給力への貢献度が高いことが指摘されているが、根粒非着生ダイズを用いた最近の研究では、増収に対するマメ科窒素固定の寄与率はそれほど高くないことが示され、窒素固定以外の可能性も示唆されるなど、未解明の部分が残されている。化学肥料や有機物施用など、西アフリカの農民にとって投入が困難である手段に比べ、マメ科の輪作あるいは混作といった方法は、比較的導入しやすい技術であるが、その要因について解明することによって、より効率的な増収の可能性が期待される。そこで本研究では、マメ科輪作によるソルガム収量と土壤肥沃度への影響について明らかにするとともに、考えるメカニズムについて解明することを目的とした。

マメ科輪作によるソルガム収量の長期的傾向とソルガムの生育・養分吸収に対する効果

西アフリカ・ブルキナファソにおいて、1960 年より継続している長期連用試験を対象と

して、ソルガム連作およびソルガム-カウピー（ササゲ）輪作におけるソルガム収量の推移について、調査を行った。輪作によるソルガム子実収量の増加は、試験開始10年後くらいから現れはじめ、年によって増減を繰り返すものの、輪作の方が連作に比べて高い収量を維持していた。この増収効果は、試験開始から40年以上経過した2006年の調査でも確認することができた。また、施用する化学肥料・有機物（作物残渣、牛糞）の量が増えるにつれて、ソルガム連作でも収量は増加したが、その効果は輪作によってさらに増大していることがわかった。

2006年に採取したソルガムの植物体を分析すると、窒素・リン・カリウムいずれについてもその養分利用率は輪作区のソルガムで高い値を示し、投入した養分が有効に利用されていることがわかった。

また、2006年から2007年の栽培における窒素の投入と持ち出しから、窒素収支を推測したところ、連作区ではプラス、輪作区でマイナスの傾向が認められたことから、カウピーの窒素固定による増収効果には疑問が生じたため、土壌の窒素について、分析を行った。

土壌の窒素動態

同じ長期連用試験について、2006年から2007年の作物栽培期間中および乾期の土壌を採取し、全窒素・無機態窒素・有機態窒素の分析を行った。有機態窒素については、中性リン酸緩衝液抽出の有機態窒素（Phosphate buffer Extractable Organic Nitrogen ; PEON）を用い、ソルガムを用いたポット試験によって、可給態窒素指標として有効であることを確認した。

土壌分析の結果、表層土壌中の全窒素は、輪作区で高く推移する傾向が認められた。しかしながら、作物に直接吸収される形態であると考えられる硝酸態窒素については、連作区の方が高く推移していた。硝酸態窒素は特に、乾季から雨期開始時にかけて急激に減少する傾向が認められ、その変動の幅が連作区で大きいことから、降雨によって流亡する硝酸態窒素量が、連作区で多く、これが土壌窒素の損失につながっているのではないかと考えられた。PEONは逆に、輪作区で高く推移しており、作付体系の違いによって、窒素の保持形態に差が生じている可能性、つまり、輪作区では溶脱しにくい形態で窒素を保持することによって、連作区よりも土壌窒素を高く維持している可能性が示唆された。

しかしながら、試験開始当初と比較すると、化学肥料および牛糞を多量施用した処理区以外では、連作・輪作にかかわらず、土壌窒素は減少していた。これらの結果から、長期間の作物栽培によって土壌窒素は低下するものの、カウピーを輪作することによってその減少の程度が少なく抑えられていることがわかったが、これがカウピーの窒素固定によるものかという点に関しては、疑問が残った。

土壌の炭素動態

土壌炭素についても、過去のデータとの比較から、化学肥料と牛糞を多量施用した場合

を除いて、この 40 年で低下している傾向が認められた。土壤窒素と同様に、2006 年から 2007 年にかけて採取した土壤を分析したところ、炭素についても輪作で高く推移する傾向が認められた。土壤の $\delta^{13}\text{C}$ を測定し、C3（カウピー）および C4（ソルガム）由来の炭素量を推定すると、化学肥料・有機物の処理にかかわらず、輪作区では C3 由来の炭素が連作区に比べて 1.1~2.2 倍高い結果となった。輪作区におけるカウピー由来の推定投入炭素量は、ソルガム由来よりも少なかったが、全炭素に占める C3 由来炭素の割合は、すべての処理区で輪作区の方が高かった。ソルガム由来の推定投入炭素量と合わせても、輪作区における投入炭素量は連作区とほぼ同程度と推察され、投入の割に土壤炭素は高く維持され、これは C3 由来の炭素によるところが大きいことが示唆された。最近の報告では、C4 由来に比べ、C3 由来の炭素の分解が遅いという可能性を示唆するものもあり、カウピー由来の炭素がより長く土壤中にとどまることによって、C4 由来炭素のみである連作土壤よりも高い炭素量につながっていると推察された。

土壤窒素のみならず、炭素についても、長期間のカウピー輪作によってその損失を少なく抑え、保持に貢献している可能性が考えられた。

カウピー輪作による土壤窒素・炭素保持に関わる要因

本研究で対象とした長期連用試験においては、作物残渣を投入する処理区を除き、すべての処理区で、植物体の地上部はすべて系外に持ち去っているため、土壤窒素および炭素に影響を与える要因として考えられるのは、地下部からの投入のみとなる。窒素と炭素について、その地下部からの投入量を推定すると、輪作区で投入量が上回ったのは化学肥料多量施用区のみで、他の処理区ではほぼ同じか、下回っていることがわかった。土壤炭素と窒素が高く維持されていた輪作区において、その投入量が要因ではない可能性が示唆されたため、その質が影響を及ぼしている可能性を検討するため、土壤からピロリン酸によって抽出される難分解性の有機物画分と、中性リン酸緩衝液によって抽出される易分解性の画分について、フーリエ変換赤外分光を用いた分析を行った。その結果、ピロリン酸抽出の難分解性画分よりも、リン酸緩衝液抽出の易分解性画分に、連作—輪作間でスペクトルの差が認められる傾向があったが、その帰属については確実な断定ができず、詳細な検討はできなかった。

以上のことから、カウピーの輪作によって、長期間の栽培においても、土壤の肥沃度を維持しつつ、ソルガムの収量を増加させることが可能であることがわかった。ひとつの要因として、カウピー地下部による炭素保持の貢献が示唆された。炭素を高く維持することによって、土壤窒素も高く維持することが可能になったと考えられた。さらに、カウピー輪作によって無機態窒素、特に降雨による硝酸態窒素の溶脱を少なく抑えていることも、表層土壤中の窒素を高く維持している要因と考えられた。

しかしながら、当該地域の農家圃場において、カウピーは主にソルガムと混作で栽培されることが多く、輪作はほとんど行われていない。これは、カウピーへの病虫害対策が必要となることが主な理由としてあげられるが、本研究で対象とした長期連用試験の収量データと、化学肥料および農薬にかかる費用などを算出し、その利益を単純計算すると、化学肥料や有機物の投入が皆無の場合でも、4年に1回カウピーを輪作するだけで、連作するよりも多くの利益を得られると推定できた。

西アフリカ・半乾燥熱帯地域の、低投入型の農業システムにおいて、カウピー輪作は、ソルガムの収量を維持・増加するとともに、土壌肥沃度も維持する効果が期待できる有効な栽培体系であると結論づけられた。