

## B-23 黒ボク土に含まれる未利用リン画分の 草本植物による回収の可能性

○立石 貴浩<sup>1\*</sup>・伊藤 莉句<sup>1</sup>・築城 幹典<sup>2</sup>・前田 武己<sup>2</sup>・颯田 尚哉<sup>3</sup>

<sup>1</sup>岩手大学農学部応用生物化学課程（〒020-8550 岩手県盛岡市上田3-18-8）

<sup>2</sup>岩手大学農学部農学生命課程（〒020-8550 岩手県盛岡市上田3-18-8）

<sup>3</sup>岩手大学農学部共生環境課程（〒020-8550 岩手県盛岡市上田3-18-8）

\* E-mail: ttateisi@iwate-u.ac.jp

### 1. はじめに

リン肥料は、リン鉱石を海外から全面的に輸入し、これを加工して製造している。ここ数年、リン資源の枯渇に対する懸念により、産出国がリン鉱石の輸出を制限した結果、世界的なリン鉱石の価格は急騰し、国内のリン肥料の価格も上昇した。将来的に十分なリン資源が確保できなくなれば、農業分野だけでなく、リンを原料とする工業分野においても深刻な影響が及ぶと考えられる。このようなリン資源枯渇の危機を背景として、近年、産業廃棄物等に含まれる未利用リン資源の回収技術が検討されている<sup>1)</sup>。

農業分野においては、日本の農地に多くの化成肥料が投入されてきたため、リンは土壌中に過剰に蓄積されてきた。このようなリンは、土壌中に低濃度で分散した状態にあるため、リン資源の「潜在的埋蔵量」にすら該当しないと指摘がある<sup>2)</sup>。その一方で、この現状を踏まえた土壌—植物間のリン栄養に関する研究も進んでおり、植物や土壌微生物を介した土壌中のリン回収に関する技術も検討されている<sup>3)</sup>。

ところで、日本に多く分布している黒ボク土はリンを強く吸着する性質を持っているため、黒ボク土中のリンは植物にとって利用されにくい成分として蓄積されている。この特徴を視点を変えて見ると、黒ボク土そのものが未利用リン成分を有する資材としてとらえることができる。そこで、本研究では、黒ボク土を培土として草本植物を栽培することで、植物体にリン成分を吸収させ、未利用のリン成分を黒ボク土より回収する方法について検討した。さらに、植物により回収されたリンを緑肥として土壌に導入することを想定したLACによる環境影響評価を試みたので、その結果についても報告する。

### 2. 実験方法

#### (1) 供試黒ボク土

施肥管理が行われていない二戸市の自然草地（以下、自然草地）および過去にリン肥料等の施用が行われていた岩手大学内上台草地（以下、施肥草地）において、表層0-10cmより黒ボク土を採取した。採取した土壌は、目開き5mmのふるいを通し、草本栽培の培土として使用した。土壌の生化学的特徴の分析には、分析時まで0℃で保存したものを使用した。土壌の化学性の分析には、2mmのふるいを通した風乾細土を使用した。

#### (2) 草本植物の栽培

栽培する草本植物として、シロクローバー、ソルガム、ヘイオーツ、チモシー、オーチャードグラスの5種を使用した。

自然草地の黒ボク土を用いた草本植物の栽培試験では、栽培用の土壌を予め100℃、1時間の加熱処理し、土壌中に存在する土着性のアーバスキュラー菌根菌（以下AM菌）を死滅させた。この土壌に、窒素・リン酸・カリウムの各肥料を加え、無添加区、窒素・カリウム添加区（以下NK区）、窒素・リン酸・カリウム添加区（以下NPK区）の3処理区を作成した。さらに、これら各処理区にAM菌接種資材（セラキンコン、セントラルガラス社製）を添加した処理区も併せて作成した。これら土壌を充填したポットに、前述の草本植物の種子を播種し、2014年7～9月の間、岩手大学下台園場において栽培した。

一方、施肥草地の黒ボク土を用いた草本植物の栽培試験では、加熱処理や肥料の添加は行わず、供試土壌をそのままポットに充填し、各草本植物の種子を播種した。各植物は、同年8～11月の間、同園場において栽培した。両黒ボク土で栽培した草本植物の地上部は栽培終了時

に回収し、105℃で乾燥後、乾燥重量およびリン含量の測定に使用した。

### (3) 土壌および植物体の分析

黒ボク土の全リン含有量は硫酸を用いた湿式灰化法およびバナドモリブデン法により、有機態リンは焙焼法により、酸性ホスファターゼ（以下ACP）活性は*p*-ニトロフェノール法により、分析した。植物体のリン含有量は、質式灰化後、ICP発光分光分析装置(ICPE-9000、島津製作所)により分析した。土壌微生物バイオマスリンは、クロロホルムくん蒸-抽出法により分析した。

## 3. 結果および考察

### (1) 供試黒ボク土の特徴

自然草地および施肥草地の黒ボク土は、同地点での過去の調査・分析に基づき、いずれも表層多腐植質黒ボク土に分類された。これら黒ボク土の化学的および生化学的特徴は、表-1に示す結果となった。

施肥草地の黒ボク土の全リンおよび有機態リンの各リン成分の量は、自然草地のそれらより高い値を示した。本実験では、可給態リンは分析していないが、過去に同地点で採取した黒ボク土をトルオーグ法により分析したところ、自然草地の黒ボク土では、痕跡であったが、施肥草地では、1.9 mgP/100g 乾土であった。このように、施肥草地の各種リン成分の量は、施肥の影響を受け、高い値を示した。一方、土壌微生物の細胞内に保持されているリン画分の量を示す微生物バイオマスリンは、自然

表-1 供試黒ボク土の特徴

| 測定項目                     | 供試黒ボク土 |      |
|--------------------------|--------|------|
|                          | 自然草地   | 施肥草地 |
| 全リン(mgP/100乾土)           | 90.8   | 209  |
| 有機態リン(mgP/100g乾土)        | 114    | 163  |
| 土壌微生物バイオマスリン(mgP/100g乾土) | 3.6    | 2.1  |

草地において施肥草地の約1.7倍であった。

### (2) 自然草地の黒ボク土で栽培した時の各種草本植物の成長とリンの吸収

全リン含有量が低い自然草地の黒ボク土を用いて、実験方法で述べた条件のもとで、5種の草本植物の栽培した。リンを施肥しない無添加区およびNK区のシロクロパー、ソルガム、ヘイオーツの地上部乾燥重は、AM菌非接種区よりAM菌接種区において高くなっており、いずれのAM菌接種区においても植物の根系にAM菌は感染していた。また、植物によるリン吸収能を反映した地上部リン含有量も、同様の傾向を示した。これら草本は、AM菌の感染に伴い、黒ボク土中の利用しにくいリン成分をより多く獲得したことを示している。また、無添加区およびNK区におけるシロクロパーのACP活性は、AM菌接種により大幅に高くなっており、同様の傾向は、ソルガムの無添加区とNK区、オーチャードグラスの無添加区において認められた。しかし、ヘイオーツおよびチモシーでは、AM菌接種・非接種で大きな差はなかった。黒ボク土中でのACP活性は、黒ボク土中の有機態リンを加水分解し無機態リンを生成する反応に関与しており、ACP活性の増加は、有機態リンの無機化と生成した無機態リンの植物

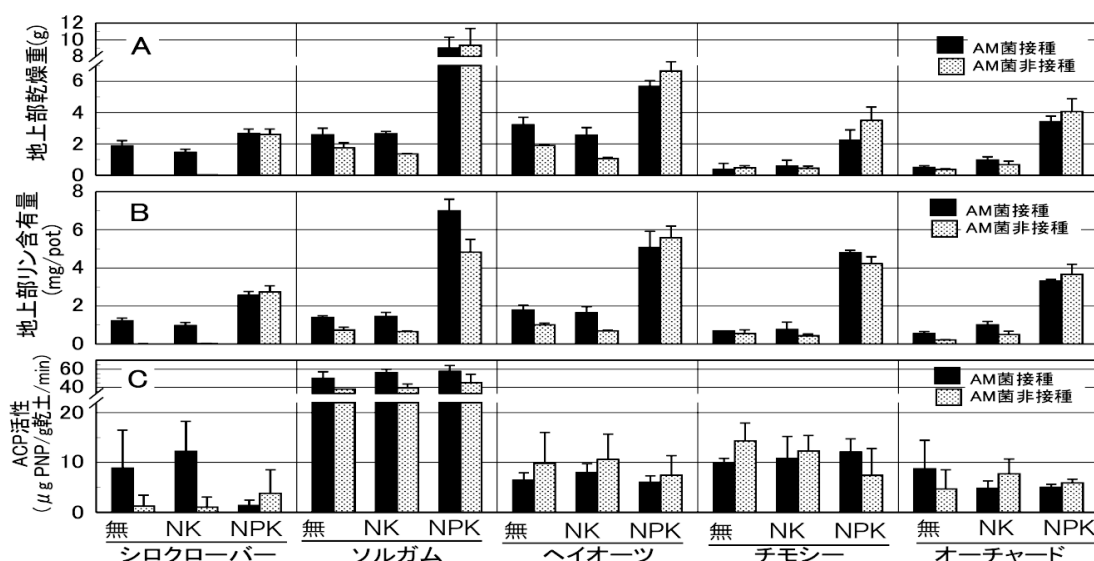


図-1 自然草地の黒ボク土で栽培した時の各種草本植物の地上部乾燥重(A)、地上部リン含有量(B)、培土中の酸性ホスファターゼ(ACP)活性(C)。無、無添加区；NK、窒素およびカリウム添加区；NPK、窒素、リン、カリウム添加区。縦軸のバーは標準偏差を示す。

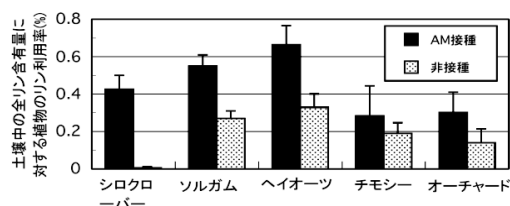


図-2 自然草地の黒ボク土で生育した各種草本のリン利用率

への供給に寄与したものと考えられる。

一方、自然草地のNPK区では、AM菌の接種非接種に関係なく、地上部乾燥重、地上部リン含有量は他の2処理区に比べて大きくなった。これは、もともと可給態リンが少なかった黒ボク土にリン酸肥料を添加することで、黒ボク土中の植物に利用しやすい可給態リンが増加し、これらリン成分が植物に容易に吸収されたことによる。

そこで、自然草地の黒ボク土中に存在する全リン含有量に対する各種草本植物のリンの利用効率を評価した(図-2)。いずれの草本植物でも、AM菌接種した区において、土壌中の全リンの利用率は非接種の区よりも高く、シロクローバー、ソルガム、ヘイオーツのリン利用率は、0.4%を超えていた。このように、可給態リンが痕跡の自然草地の黒ボク土においても、AM菌が草本植物に感染することで、従来利用できなかった黒ボク土中のリン画分を利用することが可能になったと考えられる。

以上の結果より、可給態リンが痕跡のような自然草地の黒ボク土での草本植物の成長は、草本種によって異なっていること、AM菌の感染や宿主植物-AM菌共生系により産生されたACPの活性の違いが、草本植物による土壌中のリンの利用効率に影響していることが示された。

### (3) 施肥草地の黒ボク土で栽培した時の各種草本植物の成長とリンの吸収

全リン含有量が高く、可給態リンを含む施肥草地の黒ボク土を用いて、実験方法で述べた条件のもとで、5種の草本植物の栽培した。この栽培では、前項のように供試した黒ボク土に肥料やAM菌接種源を添加していない。従って、供試した黒ボク土そのものに存在するリンが草本植物のリン供給源となる。地上部乾燥重、地上部のリン含有量、および土壌中の全リン含有量に対する草本植物のリン利用率は、ヘイオーツで最も大きかった(図-3)。しかし、シロクローバーを除いた4種の草本植物のリン利用率は、図-1に示したAM菌非接種区のそれよりも低い値を示した。

### (4) ライフサイクルアセスメントによる環境影響評価

前項で述べた様に黒ボク土中に存在する全リン含有量に対する草本植物の利用率は、黒ボク土中のリン成分の特徴、草本植物の種類、共生微生物の感染などの影響

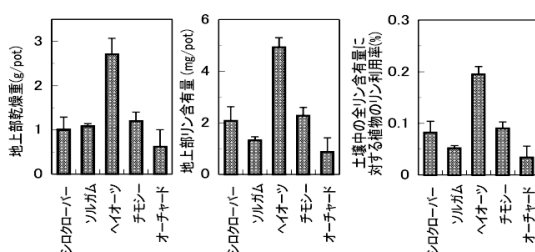


図-3 施肥草地の黒ボク土で生育した各種草本植物の地上部乾燥重、地上部リン含有量、およびリン利用率

によりばらつきはあったが、その範囲は0.05~0.6%であり、ヘイオーツは黒ボク土に蓄積したリンの回収に一定の効果があることがわかった。そこで、黒ボク土中のリンを吸収した植物体を緑肥として土壌に導入することを想定し、土壌に導入された植物体のリン成分が過リン酸石灰の肥効と等価と仮定した時のLACによる環境影響評価を試みた<sup>3)</sup>。ヘイオーツを可給態リンを含まない自然草地の様な黒ボク土で栽培し、成長した地上部植物体を緑肥として土壌に施用した場合、過リン酸石灰を使用した場合に比べて、5.7 kg CO<sub>2</sub>等価量/haの温室効果ガスの削減に相当すると試算された。

## 4. まとめ

本研究では、黒ボク土に存在するリン成分の草本植物による吸収について検討を行い、草本種の違い、AM菌の感染の有無、宿主植物-AM菌共生系により産生されたACPの活性が、植物による黒ボク土中のリン成分の利用様式に影響することがわかった。植物体に吸収されたリンは、リン資源を含む緑肥として農地に還元することは可能であり、その場合、化成肥料の代替に伴う温室効果削減の効果があることが示された。今後、植物や微生物等の機能を活用した土壌中のリンの回収技術の開発や土壌から植物により吸収されたリンの回収後の利用プロセスを見据えた研究の一層の進展が期待される。

## 参考文献

- 1) 大竹久夫：新しいグリーン産業としてのリン資源リサイクル, 環境バイオテクノロジー学会誌, Vol. 10, pp. 71 - 78, 2010.
- 2) 俵谷圭太郎, 和崎 淳：リン酸資源の枯渇に対応したリン栄養研究 1. 講座のねらい, 日本土壌肥料学会誌, Vol. 83, pp. 173 - 176, 2012.
- 3) 三津橋浩行：ライフサイクルアセスメント手法による環境影響の評価—化学肥料を例としたライフサイクルインベントリ分析, 工業技術連絡会議東北・北海道地方部会研究論文集, Vol. 13, pp. 42 - 45, 2001.