

令和元年6月13日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07647

研究課題名(和文) 土壌中元素の移動機構と植物供給機構の同時解明；肥料有効化を高める家畜糞堆肥の導出

研究課題名(英文) Simultaneous mechanisms of elemental migration and supply to plant in unsaturated soil through water percolation; Derivation of animal manure compost to enhance fertilizer efficiency

研究代表者

加藤 雅彦 (Masahiko, Katoh)

明治大学・農学部・准教授

研究者番号：00578312

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：家畜ふん堆肥と化学肥料との併用時における適切な施用技術の確立するため、堆肥の溶解性有機物、不溶性有機物と関連付けながら無機肥料塩類元素の移動量や植物供給量を定量的に同時解明することを試みた。根域外への堆肥の水溶性有機物の添加によって無機塩類元素の根域への移動量が増加した。無機元素移動の増加量は、堆肥水溶性有機物中のフェノール系水酸基濃度と関連があった。堆肥酸不溶性有機物の根域外への添加によって植物の生育量、養分吸収量が増加した。養分吸収量が増加した一因として有機物によるリン不可給化の抑制が考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国は資源が乏しいため、未利用資源に含まれる養分の農業生産への活用が期待されている。本研究成果は、堆肥と化学肥料を併用することで未利用資源である堆肥中の養分を有効活用できることを定量的に明らかにしたものである。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to quantitatively determine the amounts of migration and supply of inorganic element to plant in the unsaturated soil with soluble and acid-insoluble organic matter of animal manure compost for the establishment of combined application of chemical fertilizer and compost. The migration of inorganic nutrient to root zone was increased by the addition of water-soluble organic matter of compost to the outer root zone. The increase in the migration of inorganic nutrient was correlated with the phenolic hydroxyl group in the water-soluble organic matter. The plant growth and nutrient uptake was also increased by the addition of acid-insoluble organic matter to the outer root zone. One of the factor relating with these improvements would be suppression of phosphorus immobilization by the organic matter.

研究分野：土壌学

キーワード：家畜ふん堆肥 溶解性有機物 酸不溶性有機物 不飽和土壌元素移動性 植物生育・養分吸収 根域外根圏

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

未利用資源に含まれる養分の農業生産への活用は、資源の乏しい日本にとって必要不可欠である。しかし、主要な未利用資源である家畜ふん堆肥（以下、堆肥）の単用では、作物が要求する養分すべてを補うことができないため、無機肥料と堆肥を併用した施肥が必要となる。資材併用時の施肥の考え方は、両者の単用時の養分挙動に基づいており、資材併用による相互作用は考慮されていない。両者の相互作用を考慮に入れた資材併用時における無機肥料と堆肥の適切な施用技術の確立が望まれる。

堆肥の研究は戦後より断続的に行われてきた。堆肥の適正利用に資するため、堆肥品質向上、土壌改良効果、堆肥中養分の可給化等の解明が進められ、その研究成果の蓄積も多い。無機肥料と堆肥の併用条件下では、窒素の挙動について広く研究が行われ、併用下における窒素挙動が明らかにされつつある。リン、カリウムなど塩類元素では、堆肥施用や堆肥抽出物によって塩類元素の植物吸収量等が高まることが報告されている。この塩類元素の吸収量向上は「植物への養分吸収量の増加」から定量評価されてきたが、堆肥の“何”が“どのように機能”して“土壌中で”利用性が高まり、植物の塩類養分吸収が増加するのか未知である。

2. 研究の目的

堆肥は無機物と不定型な有機物との混合物である。そのため、堆肥成分を特異的に分離し、両者の併用下における塩類元素の土壌中での移動機構と植物への供給機構を堆肥成分と関連付けながら同時に解明する必要がある。そこで本研究では、堆肥の溶解性有機物、不溶性有機物と関連付けながら無機肥料塩類元素の移動量や植物供給量を定量的に同時解明することによって、塩類元素の利用性を高める堆肥の化学的性質を明確にすることを試みた。

3. 研究の方法

(1) 堆肥の水溶性有機物による塩類元素の移動量と植物吸収量との関係

堆肥中の水溶性有機物の根域外施用による不飽和土壌における肥料塩類元素の根域への移動量と植物生育や養分吸収量の定量化を試みた。底部に穴を有するアクリルポットを用い、ポットを2層に分けて不飽和土壌の移動試験と栽培試験を組み合わせた試験を行った。黒ぼく土 100 g に各元素 200 mg/kg となるように K, P, Ca, Mg を添加し、ポット下層に充填、上層でコマツナを 35 日間栽培した。透析膜を用い牛糞堆肥、豚糞堆肥、鶏糞堆肥から水溶性有機物を特異的に回収し、ポット底部より灌水した。対照として純水灌水も準備した。栽培試験後、植物の生育調査、土壌の水溶性塩類などを評価した。

(2) 堆肥の酸不溶性有機物による塩類元素の移動量と植物吸収量との関係

牛糞堆肥の酸不溶性有機物を添加した不飽和土壌と植物根域土壌を区分した(1)と同様なポットを準備し、植物栽培試験を行った。根域外に施用した酸不溶性有機物による不飽和土壌中の塩類元素の根域への移動量や植物供給量の定量化を試みた。黒ぼく土 100 g に堆肥酸不溶性有機物を 60 g/kg となるように添加し、ポット下層に充填、上層でコマツナを 35 日間栽培した。肥料は、上層黒ぼく土 50 g のみに計 80 mg-N/kg となるように施肥した。栽培試験後、植物の生育調査、土壌の水溶性塩類などを評価した。

(3) 堆肥の水溶性有機物によるリン不可給化の抑制

牛糞堆肥の水溶性・酸不溶性有機物と肥料リンの相互作用によるリン不可給化の抑制機構を明らかにするため、水溶性有機物と肥料リンの添加順序の違いによる吸着試験を行った。土壌 2.0 g と懸濁液 40 ml を加えた。懸濁液にはリン溶液、堆肥水溶性有機物懸濁液、堆肥酸不溶性有機物懸濁液を用いた。添加順序は、リン溶液のみ、リン溶液事前添加、堆肥有機物の事前添加の3処理とした。48時間振とう前後のリン濃度を測定し、土壌に吸着されたリン量を求めた。

(4) 根圏への堆肥と肥料の併用による植物への養分供給

根箱法を用いて根圏に家畜ふん堆肥と化学肥料を併用施肥することで両者の併用による根圏土壌から植物体への養分供給・根圏土壌での養分動態の特性を明らかにするため、コマツナ栽培試験を行った。ポットの中央をナイロンメッシュで区切り植物根表面を模擬した部分(以下,RC)に無施肥の黒ボクを充填、RCの両側に1mmの厚さの層(以下,ZC)を各3層ずつ、その外側に黒ボク土を充填し、側土とした。各ZCには、無施肥区、化肥区、堆肥区、併用区を設け、標準量のN、P₂O₅、K₂Oと牛ふん堆肥を施肥した。最大容水量の60%で側土から灌水し、コマツナをRCに播種して播種後30日間栽培した。栽培終了後に植物の生育調査、土壌の水溶性塩類などを評価した。

4. 研究成果

(1) 堆肥の水溶性有機物による塩類元素の移動量と植物吸収量との関係

下層土壌中の無機元素濃度は、純水と比較し水溶性有機物灌水によって、肥料由来Kの1~10%、Caの2~19%、Mgの4~6%が減少した。植物による肥料由来の養分吸収量は、純

水と比較し水溶性有機物灌水によって、Kで13.7%、Caで8~13%、Mgで2~6%が増加した。堆肥の水溶性有機物添加が肥料由来無機元素の移動性を高めたと考えられる。水溶性有機物中のフェノール系水酸基が無機元素の移動性を促進したと思われる(図-1)。また堆肥の水溶性有機物添加による無機元素の移動性促進と植物吸収とは、必ずしも一致しないことが示された。

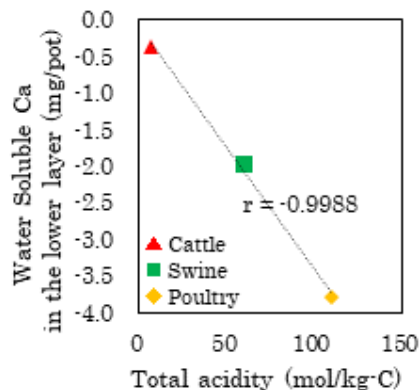


図-1 堆肥中の全酸度と下層土の水溶性カルシウムの減少量との関係

(2) 堆肥の酸不溶性有機物による塩類元素の移動量と植物吸収量との関係

コマツナの乾燥重量は、根域外への酸不溶性有機物の添加により有意に増加した。また、コマツナのCa、Mg吸収量は酸不溶性有機物の有無による有意差はなかった一方で、N・P・K吸収量は堆肥酸不溶性有機物の添加で有意に高くなった。酸不溶性有機物により、土壌中のPが可給化したことでコマツナへのP吸収量が大きくなり、またPとの相助作用によりコマツナへのN吸収が促進されたことで、コマツナの乾物生育が促進されたと考えられた(図-2)。

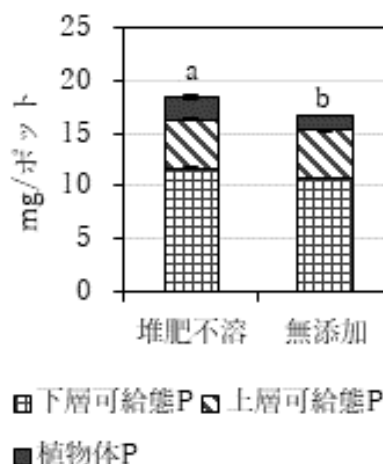


図-2 栽培後の土壌中の可給態P量と植物P吸収量

(3) 堆肥の水溶性有機物によるリン不可給化の抑制

リンと堆肥有機物を併用することで肥料由来リンの不可給化が抑制された(図-3, 4)。リン不可給化抑制割合は、水溶性有機物事前添加時で43-61%、水溶性有機物追加時で6.7-35%、酸不溶性有機物事前添加時で58-71%、酸不溶性有機物追加時で1.3-25%であった。肥料由来リンの不可給化抑制は土壌の吸着サイト上におけるリンと堆肥有機物の競合によるものと考えられた。水溶性有機物は添加順序によらず、添加によって肥料由来リンの不可給化を抑制した。この効果は、特に肥料リンを添加する前に有機物を添加した場合に顕著であった。他方、酸不溶性有機物は肥料リンを添加する前に有機物を添加した場合のみ肥料由来リンの不可給化を抑制した。これは、吸着サイト上において有機物とリンとの置換反応が起きるかどうかの違いによると考えられた。

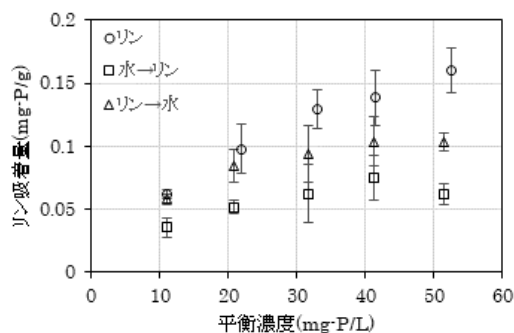


図-3 水溶性有機物添加における土壌へのリン吸着量

(4) 根圏への堆肥と肥料の併用による植物への養分供給

各ZCにおいて堆肥を添加した処理区(併用区、堆肥区)が添加しなかった処理区(化肥区、無施肥区)に対して可給態リン酸量が有意に高かった。このことから、堆肥を添加することにより可給態リン酸量が増加することが明らかになった。また、無施肥区を除く処理区でZC1の可給態リン酸量はZC2とZC3に対して有意に低かった。このことから、根圏から1mm離れた層からコマツナは主にP吸収すると考えられた。併用時、単用時の施肥P₂O₅回収率を図-5に示す。単用時は施肥したP₂O₅のうち植物体に15.7%が分配された。他方、

併用時は施肥した P_2O_5 のうち植物体に 55.8% が分配された。併用によって施肥した P_2O_5 の不可給化を抑制し、コマツナに供給される P_2O_5 量が増加したことが考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- 1) 西田瑞彦, 境谷栄二, 藤井弘志, 関谷博幸, 丹羽勝久, 中川進平, 加藤雅彦, 肥培管理のためのセンシングや ICT 利用の研究の現状とその実用場面, 日本土壤肥料学雑誌, 89, pp. 67-72, 2018, 査読無. https://www.jstage.jst.go.jp/article/dojo/89/1/89_890113/_article-char/ja/
- 2) 加藤雅彦, 荒川祐介, 見城貴志, 小宮山鉄兵, 森次真一, 棚橋寿彦, 上野秀人, 西田瑞彦, 混合堆肥複合肥料の開発とこれから, 日本土壤肥料学雑誌, 88, pp. 272-276, 2017, 査読無. https://www.jstage.jst.go.jp/article/dojo/88/3/88_880307/_article-char/ja/

〔学会発表〕(計14件)

- 1) 近藤恭史, 加藤雅彦, 牛ふん堆肥と化学肥料の併用下における根圏作用による養分吸収特性, 日本土壤肥料学会, 2019年9月3-5日, 静岡市.
- 2) 佐俣莉子, 加藤雅彦, 未利用資源由来堆肥を施肥した土壌からの無機塩類の移動特性, 日本土壤肥料学会, 2019年9月3-5日, 静岡市.
- 3) 坂本雄大郎, 佐俣莉子, 加藤雅彦, 家畜ふん堆肥に対する食品廃棄物・下水汚泥由来堆肥の理化学的特性, 日本土壤肥料学会, 2019年9月3-5日, 静岡市.
- 4) 鈴木智也, 加藤雅彦, 未利用資源由来燃焼灰のリンを中心とした養分供給特性, 日本土壤肥料学会, 2019年9月3-5日, 静岡市.
- 5) T. Mishima, H. Tatori, M. Katoh, Enhancement in available phosphorus in soil with combined application of phosphorus fertilizer and organic matter derived from cattle manure compost, 6th Symposium on Phosphorus in Soils and Plants, 2018年9月10-13日, Leuven, Belgium.
- 6) 林翔太, 加藤雅彦, 根域外からの家畜ふん堆肥由来水溶性有機物によるコマツナへの肥料塩類供給, 日本土壤肥料学会, 2018年8月29-31日, 藤沢市.
- 7) 近藤恭史, 加藤雅彦, 肥料と牛糞堆肥の根圏外への併用による根圏への塩類養分の移動とコマツナへの供給, 日本土壤肥料学会, 2018年8月29-31日, 藤沢市.
- 8) 梨本敦史, 加藤雅彦, 堆肥由来不溶性有機物に保持された塩類元素の可給性の変化, 日本土壤肥料学会, 2018年8月29-31日, 藤沢市.
- 9) 田鳥宏佳, 加藤雅彦, 堆肥酸不溶性・水溶性有機物と肥料リンの併用下における可給態リンの変化, 日本土壤肥料学会, 2018年8月29-31日, 藤沢市.
- 10) M. Katoh, S. Hayashi, M. Hara, Enhancement on nutrients mobility and their plant uptake in the presence of water-soluble organic matter of animal manure compost in upland soil, 13th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies, 2017年11月12-15日, Pattaya, Thailand.
- 11) S. Hayashi, M. Katoh, Mobility of inorganic cations and their plant uptake in presence of water-soluble organic matter derived from animal manure compost in unsaturated soil, 13th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies, 2017年11月12-15日, Pattaya, Thailand.
- 12) 加藤雅彦, 原みどり, 肥料と家畜ふん堆肥由来水溶性有機物の根域外への併用によるコマツナの生育促進, 日本土壤肥料学会, 2017年9月5-7日, 仙台市.
- 13) 美島太郎, 加藤雅彦, 牛糞堆肥に含まれる有機物による肥料リンの可給化, 日本土壤肥料学会, 2017年9月5-7日, 仙台市.
- 14) 林翔太, 加藤雅彦, 家畜ふん堆肥の水溶性有機物を用いたカラム透水試験による土壌中の無機塩類の移動特性, 日本土壤肥料学会, 2017年9月5-7日, 仙台市.

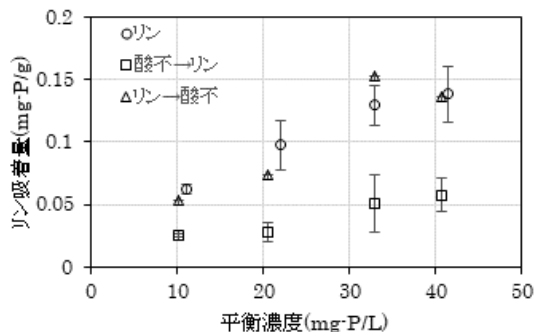


図-4 酸不溶性有機物添加における土壌へのリン吸着量

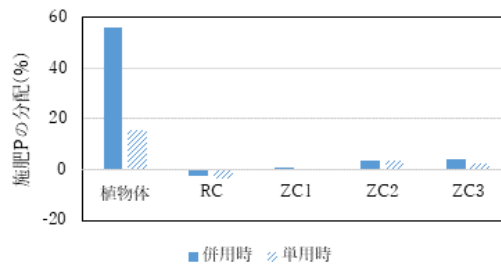


図-5 栽培後の施肥 P の分配率

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.isc.meiji.ac.jp/~soil/>

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。