

令和元年5月20日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K07337

研究課題名(和文) 塩基類養分の貯蔵・供給源としての土壌微生物バイオマスの評価

研究課題名(英文) Estimation of soil microbial biomass as the sink and source of base cation nutrients

研究代表者

浅川 晋 (Asakawa, Susumu)

名古屋大学・生命農学研究科・教授

研究者番号：50335014

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：塩基類養分の貯蔵源と作物への供給源としての土壌微生物バイオマスに注目した。塩基類養分の土壌中でのイオンとしての存在量とバイオマス中での保持量、バイオマスから交換性・水溶性イオンへの流れを把握し、土壌微生物バイオマスの機能を定量的に明らかにしようとした。水田、畑、草地、樹園地など各種土壌におけるバイオマスカリウムの存在量や動態を明らかにし、クロロホルム燻蒸抽出法によるバイオマスカリウム測定のために必要なカリウムの溶出率を求めた。また、バイオマスカリウムの代謝回転時間を初めて算出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土壌中の微生物バイオマスに貯蔵されているカリウム量は、これまで植物へのカリウムの主要な供給源と考えられていた粘土鉱物などに保持されている交換性カリウム量の約3割に相当することや、微生物バイオマス中のカリウムが活発に代謝回転していることを明らかにし、カリウムの貯蔵源・供給源としての土壌微生物バイオマスの重要性を示した。

研究成果の概要(英文)：This research project focused on soil microbial biomass as the sink and source of base cation nutrients for crops. The aim of this project was to reveal the functions of soil microbial biomass quantitatively by estimating amounts of base cations in soluble, exchangeable and biomass fractions and flow of the cations from the biomass fraction to the soluble and exchangeable fractions in soil. Amounts of biomass potassium and their dynamics were estimated in various farmland soils such as in rice paddy, upland, grassland and orchard soils. The conversion factors for estimation of biomass potassium by the chloroform-fumigation extraction method were presented in the paddy and upland soils. In addition, a turnover time of biomass potassium was calculated for the first time.

研究分野：土壌微生物学

キーワード：土壌微生物バイオマス 塩基類養分

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

1. 研究開始当初の背景

土壤微生物バイオマスとは、大型の動物や植物根以外の土壤中の全生物体量を指し、細菌、糸状菌等の微生物がその大部分を占める。土壤微生物バイオマスは、動植物遺体を分解し二酸化炭素等の無機物へ変換するとともに、その一部を体内に取り込む。一方、それらの微生物菌体が死滅すると、動植物遺体と同様に微生物により分解され、体内の養分の一部が土壤中へ放出される。このように、土壤微生物バイオマスは有機物の分解・変換者としての役割に加え、養分の貯蔵と供給者としての役割を持っている。土壤有機物、特に腐植物質の分解速度が極めて遅く、数千年以上の半減期を示す場合があるのに対し、土壤微生物バイオマスの代謝回転速度は速く、年から月のオーダーであり、作物への養分供給に果たす役割が大きい。特に、作物への窒素やリン酸の供給に関して、可給態養分のプールとしての土壤微生物バイオマスの重要性は広く認識されている。

カリウム、カルシウム、マグネシウムは植物に必須の多量元素であり、塩基類養分として作物生産にとって重要である。例えば、カリウムは光合成、炭水化物の植物体内での転流、気孔の開閉、膜電位調節、細胞内浸透圧や酵素機能の維持に不可欠な役割を果たしており、窒素、リンと並ぶ三大栄養元素の一つである。また、植物はカリウムの要求量が多く、その吸収量は窒素に匹敵する。土壤中のカリウムは、水溶性、交換性、非交換性、構造的（あるいは鉱物内）の4形態に分析操作上便宜的に分けられており、4形態は互いに平衡関係にある。植物が直接吸収するカリウムの形態は水溶性のカリウムイオンであり、その減少を補うのが交換性のカリウムとされている。土壤中のカリウムの動態を議論する場合、これらの形態としてイオンあるいは無機粒子に存在するカリウムのみが想定されてきた。一方で、カリウムは細胞内の主要な無機陽イオンとして細胞外に比べ高い濃度が維持されており、これは動植物だけでなく、微生物を含む全ての生物に共通である。そのため、土壤中の微生物体内に存在するカリウム（微生物バイオマスカリウム）が重要な可給態カリウムのプールである可能性が容易に想像されるが、ほとんど注目されることはなく、見過ごされてきた。最近、アメリカの畑土壌で土壤微生物バイオマスカリウムの重要性が指摘されたが、その後も研究は広がりを見せず、様々な土壌を対象とした微生物バイオマスカリウム量の測定は行われてこなかった。土壤中の塩基類養分の動態を定量・定性的に理解することは効率的な作物生産・肥培管理技術の開発に不可欠である。

このような研究の現状を鑑み、これまでに水田土壌の微生物バイオマスカリウムを初めて定量し、その存在量としての重要性を明らかにしてきた。しかし、この他に土壤中の微生物バイオマスカリウムに関し体系的な研究が行われることなく、極めて断片的な情報に留まっていた。そこで、多量必須元素である塩基類養分の貯蔵、供給源としての土壤微生物バイオマスの重要性を改めて明らかにし、高度な知見を得たいと考え、本研究に着手した。

2. 研究の目的

土壤中の微生物は有機物の分解・無機化、養分の貯蔵や作物への供給など作物生産の根幹として機能している。本研究では、塩基類養分の貯蔵・供給源としての土壤微生物バイオマスに注目する。塩基類養分の土壌中でのイオンとしての存在量とバイオマス中での保持量との質的・量的関連を分析するとともに、バイオマスから交換性・水溶性イオンへの流れを把握し、土壤微生物バイオマスの機能を定量的に明らかにすることにより、新たな土壌・肥培管理技術展開への基盤とすることを目的とした。具体的には、多量必須元素としてのカリウム等の塩基類養分に焦点を当て、バイオマスによるそれら元素の代謝回転時間の測定方法を検討し、試算値を求めるとも目指した。

3. 研究の方法

(1) クロロホルム燻蒸抽出法による土壤微生物バイオマス中の塩基類養分定量に用いる k ファクター（溶出率）の算出

名古屋大学大学院生命農学研究科附属フィールド科学教育研究センター東郷フィールド（東郷）、農研機構野菜花き研究部門（安濃）および愛知県農業総合試験場（安城）の試験圃場よりそれぞれ採取した施肥条件の異なる畑土壌、施設畑土壌および湛水条件の水田土壌について、土壌希釈液を接種源として混合培養した細菌と糸状菌を土壌に接種し、菌体により加えられた塩基類の元素量よりクロロホルム燻蒸による溶出量を求め、各元素の k ファクターを算出した。

(2) 様々な農地土壌における土壤微生物バイオマス中の塩基類養分存在量の実態解析

東郷および安城の試験圃場より経時的に採取した畑土壌および水田土壌について、クロロホルム燻蒸抽出法により微生物バイオマス中の塩基類養分を定量し、その動態を調査した。また、東郷の畑、水田、草地、果樹園圃場と安城の水田圃場に加え、農研機構東北農業研究センター大仙研究拠点（大仙）、東北大学農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター川渡農場（川渡）、滋賀県農業技術振興センター（滋賀）の水田圃場、安濃の施設野菜畑圃場より採取した土壌について、微生物バイオマス中の塩基類養分を定量した。地目、土壌の種類、施肥・圃場管理の違いによるバイオマス中の塩基類養分の存在量の違いを解析するとともに、土壌中の交換性（無機態）塩基類の量やバイオマス炭素・窒素の存在量との関連性を調査・分析した。

(3) 土壤微生物バイオマス中の塩基類養分の代謝回転時間の試算

バイオマスカリウムに焦点を絞り、安城の試験圃場より採取した水田土壌を試料として、種々の条件でカリウム源および炭素・窒素・リン源を土壌へ添加・培養し、経時的にバイオマスカリ

ウム量を測定した。得られた結果を検討し、バイオマスカリウムの代謝回転時間測定のための最適条件を定め、バイオマスカリウムの代謝回転時間を試算した。また、カリウムと同族元素で、類似の化学特性や植物による吸収特性を持ち、土壌中での存在量が極めて少ないルビジウムについて、カリウムの代替としてバイオマスカリウムの代謝回転時間測定のため用いることができるか検討を行った。

4. 研究成果

(1) クロロホルム燻蒸抽出法による微生物バイオマス中の塩基類養分定量に用いる k ファクター（溶出率）の算出

算出したバイオマスカリウムの k ファクター（溶出率）の値を以前に求めた落水条件の水田土壌のファクターの値とともに表 1 に示した。

表 1. クロロホルム燻蒸抽出法による微生物バイオマスカリウム測定のための k ファクター (k_k)

土壌	k_k
水田土壌（安城；湛水条件）	0.38
水田土壌（安城；落水条件）	0.28
畑土壌（東郷；化学肥料施用区）	0.41
畑土壌（東郷；厩肥および化学肥料施用区）	0.50
施設畑土壌（安濃；堆肥および化学肥料施用区）	0.73

k_k の値は水田土壌では 0.28~0.38、畑土壌では 0.41~0.73 の範囲であり、地目（水田と畑）および施肥条件（化学肥料と有機質肥料）で異なっており、それらの影響を受けると考えられた。なお、カルシウムとマグネシウムについても測定を行ったが、 k ファクターの値がマイナスになるなど算出が困難な場合があった。このため、以後はバイオマスカリウムに焦点を絞り、調査・解析を行うこととした。

(2) 様々な農地土壌における土壌微生物バイオマス中の塩基類養分存在量の実態解析

水田および畑圃場より 1 年間にわたり経時的に採取した土壌のバイオマスカリウム量には時期による変動がみられる場合があったものの、施肥などの土壌管理の影響は明確ではなかった。

各地の農地より採取した土壌中のバイオマスカリウム量を畑（施設畑を含む）、果樹園、水田、草地ごとにまとめ、図 1 に示した。バイオマスカリウムの存在量は草地土壌で高い値を示し、果樹園土壌でもやや高い傾向を示したが、畑（施設畑を含む）と水田土壌の間では明瞭な差はみられなかった。地目に関わらず堆肥や厩肥などの有機物の施用の有無で比較すると、バイオマスカリウム量は施用土壌の方が無施用土壌よりも有意に多かった。一方、交換性カリウム量に対するバイオマスカリウム量の比率には地目による違いがみられ、畑と果樹園では 6~8%であったが、水田と草地では 31~53%と高かった。また、すべての土壌についてみると、バイオマスカリウム量は交換性カリウム、バイオマス炭素およびバイオマス窒素の存在量と高い正の相関を示した。

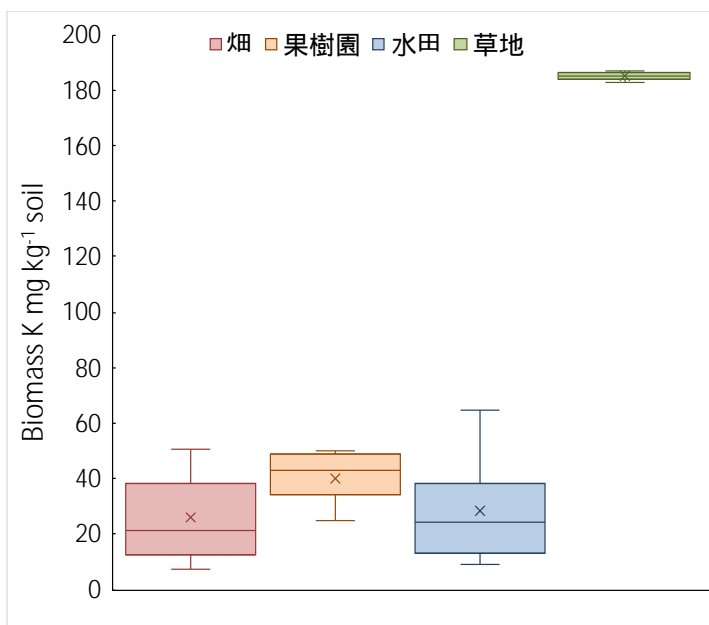


図 1. 様々な農地土壌の土壌微生物バイオマスカリウムの存在量。畑（施設畑を含む）， $n=7$ ；果樹園， $n=4$ ；水田， $n=24$ ；草地， $n=2$ 。

(3) 土壌微生物バイオマス中の塩基類養分の代謝回転時間の試算

土壌にカリウムを炭素・窒素・リン源とともに添加し、バイオマスカリウムと交換性カリウムの動態を調査した。カリウムの添加により土壌中のバイオマスカリウムと交換性カリウム量の増加が観察されたが、その後バイオマスカリウム量はバイオマス炭素・窒素の動態とは異なり、不規則な増減を示して継続的な減少はみられなかった。そのため、土壌にカリウムを添加せずに炭素・窒素・リン源を添加し、バイオマスカリウム、炭素および窒素の動態を調査した。添加後、

土壌中のバイオマス炭素・窒素とともにバイオマスカリウムが増加し、その後徐々に減少することが確認された。その減少程度からバイオマスカリウムの代謝回転時間を試算すると102日となり、有機物等の添加により若干過大評価されている可能性は考えられるものの、バイオマス炭素の代謝回転時間の試算値(181日)よりも短く、バイオマス中のカリウムが活発に回転していることが示唆された。

さらに、ルビジウムをカリウムの代替として用いる新たな手法を検討した。クロロホルム燻蒸抽出法によるバイオマスルビジウム定量のためのルビジウムの溶出率(k_{Rb})を求め、土壌微生物バイオマスルビジウムの定量法を確立した。その上で、炭素・窒素・リン源とルビジウムの土壌への添加により、ルビジウムが土壌微生物バイオマスへ取り込まれることを確認した。

(4)まとめと今後の展望

クロロホルム燻蒸抽出法によるバイオマスカリウム測定のために必要な k ファクターのデータを整備し、様々な農地(畑, 果樹園, 水田, 草地)土壌について、微生物バイオマスに含まれるカリウム量を明らかにした。特に、水田や草地土壌では、交換性カリウム量に対するバイオマスカリウム量の比率が高く、土壌中のカリウムの貯蔵源として微生物バイオマスが重要な役割を果たしている可能性を示した。また、バイオマスカリウムの代謝回転時間を初めて算出した。有機物添加条件で若干過大評価している可能性はあるものの、算出された値から試算すると、イネ1作期間に微生物バイオマスから放出されるカリウム量は、1作あたりのカリウム施肥量の83%、イネの平均吸収量の53%に相当した。土壌中の微生物バイオマスが作物へのカリウムの供給源としても重要な役割を担っていることを示唆する結果といえよう。

当初研究対象としていたカルシウムとマグネシウムについては、クロロホルム燻蒸により抽出量が増加することが確認され、微生物バイオマスにカルシウムやマグネシウムが含まれていることは示された。しかし、土壌により k ファクターの算出が困難な場合があったため、それらの存在量や動態については今後さらなる検討が必要と考えられた。また、バイオマスカリウムの代謝回転時間およびルビジウムをカリウムの代替として用いた場合の代謝回転時間の測定についても、今後さらに研究事例を増やし、データを集積していく必要がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

Yamashita K., Honjo H., Shinohara M., Asakawa S.: Conversion factor (k factor) for estimation of soil microbial biomass potassium by the chloroform-fumigation extraction method. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **64**, 465–468, 2018. 査読有
DOI: 10.1080/00380768.2018.1469953

浅川 晋, 山下昂平: 植物へのカリウム供給源としての土壌微生物バイオマス -土壌微生物は窒素やリンだけでなくカリウムも抱え込んでいる-, *化学と生物*, **55**, 444–445, 2017. 査読有

DOI: 10.1271/kagakutoseibutsu.55.444

Yamashita K., Honjo H., Nishida M., Kimura M., Asakawa S.: Corrigendum (Estimation of microbial biomass potassium in paddy field soil, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **60**, 512–519, 2014, DOI: 10.180/00380768.2014.919237). *Soil Sci. Plant Nutr.*, **62**, 570–573, 2016. 査読無

DOI: 10.180/00380768.2016.1234137

Smith P., Cotrufo M.F., Rumpel C., Paustian K., Kuikman P.J., Elliott J.A., McDowell R., Griffiths R.I., Asakawa S., Bustamante M., House J.I., Sobock J., Harper R., Pan G., West P.C., Gerber J.S., Clark J.M., Adhya T., Scholes R.J., Scholes M.C.: Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem service provided by soils. *Soil*, **1**, 665–685, 2015. 査読有

DOI: 10.5194/soil-1-665-2015

[学会発表](計7件)

床並佳季, 船生岳人, 尾賀俊哉, 西田瑞彦, 高橋智紀, 浅川 晋: 土壌微生物バイオマスルビジウムの定量, 日本土壌肥料学会中部支部第98回例会, 2018.

床並佳季, 浅川 晋: 有機物と無機養分添加後の土壌微生物バイオマスK, C, Nの動態, 日本土壌肥料学会中部支部第97回例会, 2017.

Asakawa S., Yamashita K., Honjo H., Nishida M.: Estimation of microbial biomass potassium and conversion factor by the chloroform-fumigation extraction method in paddy field soil. 13th International Conference of East and Southeast Asia Federation of Soil Science Society (ESAFS), 2017.

浅川 晋: カリウム栄養への土壌微生物の関わり: 水田土壌における微生物バイオマスカリウムの評価, 第2回植物の栄養研究会, 2016.

Yamashita K., Honjo H., Nishida M., Kimura M., Asakawa S.: Estimation of microbial biomass potassium in paddy field soil, 日本土壌肥料学会2016年度佐賀大会, 2016.

〔図書〕(計2件)

浅川 晋(分担執筆;木村真人、南條正巳 編):文永堂出版,土壤サイエンス入門 第2版,71-80,2018.

浅川 晋(分担執筆;夏原由博 編):京都通信社,にぎやかな田んぼ イナゴが跳ね,鳥は舞い,魚の泳ぐ小宇宙,72-78,2015.

〔その他〕

受賞:SSPN Award(受賞者:山下昂平,本庄弘樹,西田瑞彦,木村真人,浅川 晋,授与者:一般社団法人日本土壌肥料学会,対象論文:Estimation of microbial biomass potassium in paddy field soil, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **60**, 512-519, 2014, DOI: 10.180/00380768.2014.919237,受賞年月日:2016年4月4日)

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号(8桁):

(2)研究協力者

研究協力者氏名:山下昂平,床並佳季

ローマ字氏名:(YAMASHITA, Kohei), (TOKONAMI, Yoshiki)

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。