

令和 5 年 5 月 6 日現在

機関番号：32641

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15549

研究課題名（和文）グリーンインフラとしての屋上菜園における生態系サービスの定量化と都市計画への展開

研究課題名（英文）Quantifying Ecosystem Services of Rooftop Farms as Green Infrastructure Projects

研究代表者

原田 芳樹（Harada, Yoshiki）

中央大学・理工学部・准教授

研究者番号：70866459

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は廃棄物から作られる土壤材料を用いて屋上菜園における水・肥料利用効率を向上させるための基礎的知見を得ることを目的としている。まず事前実験において竹炭の混入により、水利用効率を向上させる可能性が示唆された。その後、計4つの実験を通して園芸用土等の粒径の大きな人工土壌に対しては、竹炭の混入により保水容量と冷却効果が向上する可能性や、天然の土壌（黒ボク土）に対しては、竹炭の体積混入率が5～10%（20cmの深さの土壌に対して3～6 kg/m²）で収量（リーフレタス）が最大となること、そして竹炭の体積混入率が20%程度であれば、十分な収量を伴いながら溶脱窒素量が低減する、などの知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

屋上菜園は世界的に拡大を続ける都市型グリーンインフラであり、水・肥料利用効率を改善することで、食料生産や雨水管理を中心とする幅広い生態系サービスが向上する。本研究では、廃棄物由来の材料の中でも竹炭に注目し、その土壤改良資材としての混合比率、混合対象、粒径などの条件が屋上菜園の水・肥料利用効率に与える影響に関して、基礎的知見を得た。土壤改良資材としての竹炭の活用は、放棄竹林整備の廃棄物である竹の付加価値を向上させ、森林生態系保全の促進にもつながる。したがって都市型グリーンインフラにおける土壤改良資材として竹炭が普及すれば、都市と山林の両方において、持続可能性が向上する可能性がある。

研究成果の概要（英文）：This study explored uses of recycled wastes as soil amendments for improving water and nutrient use efficiency of urban rooftop farms. Preliminary experiments indicated that levels of water use efficiency can be enhanced by amending soils with bamboo biochar, which was used in all subsequent experiments. We found that the addition of bamboo biochar can improve water holding capacity and cooling potentials of commercial soil blends using organic materials, which had large particle sizes. Mineral soils blended with 5 - 10% of bamboo biochar by volume attained the highest yield levels of leaf lettuce. Mineral soils blended with 20% of bamboo biochar by volumes had sufficient yield levels of leaf lettuce, while reducing drainage losses of nitrogen.

研究分野：都市生態学

キーワード：屋上菜園 竹炭 土壤改良 水利用効率 肥料利用効率 グリーンインフラ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

都市型の屋上菜園は、世界的に拡大を続けるグリーンインフラであり、野菜の栽培に加え、多様な生態系サービスが期待されている。例えば廃棄物をリサイクルして作られた土壌を使用することで、廃棄物処理の一端を担うだけでなく、雨水を活用することで、水道水に依存しない食料生産や、合流式下水道の越流の減少にも貢献することが可能である。このように食料生産、雨水管理、廃棄物処理といった生態系サービスを融合させ、都市計画において展開するためには、屋上菜園における水・肥料利用効率の把握と向上が重要である。具体的には、様々な土壌の仕様(材料、粒径、混合比率など)と、給水・施肥の方法、そして水・肥料利用効率の関係を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

屋上菜園の水・肥料利用効率を向上させるための、土壌の仕様(材料、粒径、混合比率など)と給水・施肥の方法に関して、基礎的な知見を得ることを目的とする。具体的には、土壌水分特性にもとづいて、廃棄物をリサイクルした素材の候補の中から、実験で使用する素材を選ぶ。そして、選定された素材を使用して土壌サンプルを作成し、実験室内でLEDを使用した加熱実験をおこない、水利用効率を理解するための測定を行う。最後に、同様の土壌サンプルを用いて屋外実験と室内実験を実施し、実際に野菜を育成することで、水・肥料利用効率を理解・改善するための測定を行う。

3. 研究の方法

廃棄物をリサイクルして作られた土壌材料の中から、水分特性(特に1~10 kPaの水分放出量など)の優れた材料を選ぶ。選定された材料を、様々な混合比率(体積比率にして0, 10, 20, 30, 40%など)と施肥量(100, 200 kg N/ha)で、天然の土壌や、土壌製品(園芸用土等)に混入し、土壌サンプルを作成する。次に、作成した土壌サンプルを使用して、室内においてLEDを使用した加熱実験を実施し、給水時の保水容量や、給水の無い期間(連続干天)における蒸発量、そして土壌の深さに応じた土壌水分量など、水利用効率を理解する上で必要な計測を行う。そして、同様の土壌サンプルを使用したうえで、屋外と実験室内の両方で野菜(リーフレタス等)を育成し、注目している素材の混入量と粒径が、収量、含水率、排水量、肥料成分の流亡に与える影響を調べる。適宜、底面給水なども含めた、給水方法の検証も行う。

4. 研究成果

屋上菜園システムで使われる土壌の深さは30 cm以下が殆どであることから、低い圧力帯を含め、水分保持曲線を測定する環境を整えた。まずは5 cmの長さに切断したステンレスパイプに試料を充填し、水で飽和させたのちに、20個積み上げて排水することで、0~10 kPaにおける土壌水分量を0.5 kPaごとに測定可能とした。更に、HYPROP2(METER社)を使用し1~100 kPaを測定可能とした。これらに加え、100~1500 kPa(永久しおれ点)はWP4C(METER社)で測定している。これらの手法の組み合わせにおいて、農地や公園からの採土サンプル、園芸に使われる有機素材(例:ピート、ココナッツ皮)、熱加工された軽石状の無機素材、等の測定を行い、測定が可能な充填密度帯も特定できた。

また、土壌の深さが20 cmのポットを加工し、底面から、0 cm(底面)、5 cm、10 cmの高さに排水口を設け、屋内でリーフレタスを育成する実験を行った。この際、都内の降水量を参考にした給水に対する排水を測定した。当初は自動給水とシミ上げ機構を組み合わせた方式を想定していたが、このように底部で強制的に保水することで、土壌のシミ上げ効率と保水率の関係をより簡単に調べることができただけでなく、屋上菜園システムを始めとする実際の緑地の施工に直結したデータを得ることができるようになった。

山林保全活動の廃棄物である竹から作られる竹炭を、土壌改良材として使用すると、1~10 kPaや、10~100 kPaなどの水分放出量が増加することがわかった。日本の山林保全において、竹林の増加が問題となっており、都市緑化の人工土壌に竹炭を使用し、竹林管理で伐採した竹の利用価値を上げることは、都市と山林の双方の持続可能性を向上させることができる。このことより、以降は竹炭を用いた実験を進めた。

1つ目の実験では、竹炭に期待される、保水効果や、作物の収量増加、そして連作障害の緩和効果を検証した。具体的には農地の土壌を採取し、竹炭の体積含有率(0, 10, 20, 30, 40%)と有機肥料の施肥量(100, 200 kg N ha⁻¹)の異なる土壌サンプルを作成し、屋外で灌水と追肥を行わずにリーフレタスを2作連続で栽培した。その結果、竹炭を使用することに伴う収量の増加効果や連作障害緩和効果は見られなかったが、10%前後で収量が最大となる可能性がわかった。

2つ目の実験では、室内でLEDを用いた実験を行い、竹炭の混入が土中水分と冷却効果に与える影響を検証した。具体的には都市緑化に使われる雨水貯留用土壌、空地土壌、園芸用土、コイヤに竹炭を混入し（体積当たり0、20、40%）、14日間LED照射を継続した。そして、水分保持曲線、灌水後の体積含水率、蒸発量、土中温度、熱流量、残存水分量の測定から、保水容量と冷却効果を比較した。その結果、コイヤや園芸用土等、粒径の大きなサンプルに対しては、竹炭の混入が、保水容量と冷却効果を向上させる効果が確認された。

3つ目の実験では、屋内実験を通して、土壌における竹炭の含有率が、リーフレタスの収量と溶脱窒素量に与える影響を検証した。具体的には農地の土壌を採取し、竹炭の混入量（体積含有率にして0,10,20,30,40%）と有機肥料の施肥量（100, 200 Kg N/ha）の異なる土壌サンプルを作成し、2作連続で実験を実施した。その結果、竹炭の混入量が10%（200Kg N/ha）のサンプルで収量が最大となった。また、竹炭の混入量が20%を超えると、溶脱窒素量の減少が顕著となった。そして、竹炭の混入量が20%程度であれば、十分な収量を伴いながら、溶脱窒素量が低減することがわかった。

4つ目の実験では、屋外実験を通して、竹炭の含有率と、粒径が、リーフレタスの収量に与える影響を検証した。具体的には、竹炭の粒径に関しては大（2~0.250mm）小（0.250以下）混合（大と小を等重量で混ぜたもの）、竹炭の混入量に関しては0, 3, 6, 9 kg/m²（体積含有率にして5、10、15%に相当）のサンプルを作成し、実験を行った。その結果、竹炭の粒径によって収量に統計的に有意な差はみられなかったが、竹炭の混入量が3 kg/m²の収量が最大となった。粒径が収量に与える影響に関しては、今回検証したものよりも大きな粒径も含めた実験を通して、さらなる検証が必要と考えられる。

本研究では以上の実験を通して、屋上菜園の水・肥料利用効率を向上させるための、土壌の仕様（材料、粒径、混合比率など）と給水・施肥の方法に関して、竹炭を用いる際の基礎的な知見を得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Harada Yoshiaki, Whitlow Thomas H.	4. 巻 4
2. 論文標題 Urban Rooftop Agriculture: Challenges to Science and Practice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Sustainable Food Systems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fsufs.2020.00076	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 MORO Kazuki, ITO Naoya, HURUSAWA Ran, ITO Mutsumi, NAKAJIMA Kazuhide, HARADA Yoshiaki	4. 巻 47
2. 論文標題 Cooling potentials of growing substrates amended with bamboo biochar	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology	6. 最初と最後の頁 495 ~ 504
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7211/jjsrt.47.495	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Harada Yoshiaki, Whitlow Thomas H., Bassuk Nina L., Russell-Anelli Jonathan	4. 巻 4
2. 論文標題 Rooftop Farm Soils for Sustainable Water and Nitrogen Management	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Sustainable Food Systems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fsufs.2020.00123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------