

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主論文の要旨

乾燥地における塩類集積土壌の修復に関する土壌学
的研究

論文題目

氏名 佟 麗敏

論文内容の要旨

乾燥地は、過去半世紀に地球上で約 14 億 ha 増大し、現在も面積の増大と土壌の劣化が進行している。乾燥地の土壌劣化のうち化学的劣化は主に塩類集積である。土壌の塩類化のうち特にソーダ質化は、土壌の化学性と物理性を著しく低下させる深刻な問題である。これまで乾燥地で用いられてきたソーダ質土壌の主な改良方法は、石膏等のカルシウム (Ca) 資材を施用し、 Ca^{2+} とのイオン交換反応によってナトリウム (Na) の排出を促進する方法である。しかしながら、塩類集積土壌が広く分布する発展途上国では、Ca 資材の使用は経済的に困難なことが多いため、現地で容易に入手できる材料を用いた低コスト資材の開拓が急務となっている。そこで、本研究では、①交換性 Na の置換溶出による排出促進、②水溶性塩類の安定な吸着による溶出抑制の 2 つの観点から新しく安価な塩類土壌改良法を提案することを目的とした。①には植物体に多く含まれているカリウム (K) に着目し、K 資材として各種堆肥の利用を、また、②には多孔質で表面官能基をもつバイオ炭の利用をそれぞれ検討した。これらの資材は、作物残渣や家畜排泄物から製造でき、土壌の生物生産性を全般的に改善する効果も期待できる。

堆肥には、牛糞完熟堆肥、稲わら堆肥 2 種、菜種油かす堆肥、バーク堆肥を用いた。まず、K が Na を置換する能力を調べるために、2 種の塩性ソーダ質土壌 (TL1、TL2) に牛糞堆肥を異なる添加率 (重量比 0~10%) で混合した際の土壌からの各種塩基浸出量、土壌交換性塩基含量の変化を調べた。その結果、牛糞堆肥の添加による Na 浸出量の増大、交換性 Na 量の減少および交換性 K 量の増大が認められた。これらの変化は堆肥添加率が高いほど大きく、牛糞堆肥中の K の一部が土壌中の Na を置換溶出させたことが示された。次いで、各種堆肥の交換性 Na 置換能を比較し、置換能が非常に弱かったバーク堆肥を除く堆肥試料について Na 置換機構を調べた。一般的に、交換性 Na は土壌粒子表面の電気二重層に静電相互作用により弱く吸着されている(外

圏型吸着) と考えられてきたが、本研究で用いた TL1 土壌では、その 42% が粘土鉱物や腐植の酸素と配位結合を形成する内圏型吸着によって強く保持されていることが示唆された。内圏型吸着 Na 量はいずれの堆肥添加土壌においても減少し、外圏型吸着 Na 量も牛糞堆肥 10% 添加土壌を除くすべての堆肥添加土壌で減少した。特に菜種油かす堆肥は、2~10% の添加で内圏型吸着 Na 量を 78~93% 減少させた。一方、外圏型吸着 K 量は、堆肥の水溶性 K 含量が高いほど、あるいは添加率が高いほど増大した。内圏型吸着 K 量も、外圏型吸着 K 量と比較すると増大率は小さく、堆肥試料間の差も小さかったが、いずれの堆肥添加土壌でも増大した。全交換性 Na は、最大 (菜種油かす堆肥 5% 添加) で 80% 削減できた。これらの結果より、Ca やマグネシウム (Mg) よりも内圏型錯体を形成しやすい性質をもつ K を多く含む堆肥が塩性ソーダ質土壌の改良に適していると考えられた。本研究では、堆肥中の水溶性 K 量が 80 mmolc kg^{-1} 以下のときには Na を置換できず、また、 $400 \text{ mmolc kg}^{-1}$ を越えると Na の溶脱効率が低下したことから、堆肥および添加率の選択において水溶性 K 量がひとつの基準になると推察される。また、堆肥の添加により、土壌 pH が 9.3 から 6.6~8.2 まで低下したことから、有効態リンの増加など土壌化学性の改善にも有効であると考えられた。

塩類除去による塩性ソーダ質土壌の改良では、粘土の分散による土壌透水性の悪化が問題となることがある。そこで、各種堆肥が土壌の透水性に及ぼす影響を評価するために、異なる比率で堆肥を混合した際の土壌飽和透水係数 (HC) の変化を調べた。供試土壌は、土性が砂壤土あるいは砂質埴壤土であるにも関わらず非常に低い HC ($0.8 \sim 4.7 \times 10^{-5} \text{ cm s}^{-1}$) を示したが、牛糞堆肥 2~10% の添加により、HC はいったん 5~50 倍増大した。その後、透水を繰り返すことで、いずれの土壌の HC も低下したが、常に堆肥添加土壌の方が無添加土壌よりも高い HC を示した。また、HC は堆肥の添加率が高いほど高い傾向を示したが、添加率 5% において透水の繰り返しに対し最も安定であった。堆肥添加が土壌透水性を変化させる機構を明らかにするために、電気伝導度 (EC)、K、有機物の各因子の寄与を調べた。EC と K の効果は、EC が同じで土壌構造安定性に関わる陽イオン比率 **Optimized Cation Ratio of Soil Structure Stability** ($\text{CROSS}_{\text{opt}}$) が異なる溶液を 3 段階の EC に対して用意し、それらを土壌に浸透させたときの HC の違いから評価した。その際、 $\text{CROSS}_{\text{opt}}$ が異なる溶液は K を異なる割合で含むよう調製した。その結果、EC が同じ場合には、 $\text{CROSS}_{\text{opt}}$ の違いは HC に有意に影響せず、堆肥からの K 供給による全水溶性塩基中の K 割合の増大は、透水性の変化には寄与しないと推定された。一方、 $\text{CROSS}_{\text{opt}}$ が同じ場合には、HC は EC が高いほど大きく、EC の上昇が堆肥施用による透水性増大の要因であることを示唆した。有機物の効果については、牛糞堆肥から水溶性塩類を除去し、粒子サイズ分布が土壌の粒子サイズ分布とほぼ同じになるに添加したところ、HC の変化が認められなくなったため、透水性の増大には寄与していなかったと考えられた。各種堆肥添加に伴う土壌分散率の変化を測定した結果、分散率は 80% から 35% ないし 59% へと減少し、EC、交換性 Na 占有率、土壌分散率との関係に基づき、EC の増大に加え、K との置換により交換性 Na 占有率が減少したことで、土壌の分散が抑制され、透水性が向上したと

結論した。ただし、K が土壤構造と透水性に与える影響は土壤鉱物の種類によって異なるとの報告もあるため、本研究で供試した土壤の主粘土鉱物であるカオリナイトが K に対して安定であったことも要因のひとつと考えられる。

バイオ炭の水溶性塩基溶出抑制能は、400°C および 500°C で調製したトウモロコシ茎炭、より多くの孔隙を持たせるためにリン酸を加えて 260°C で加熱処理したトウモロコシ茎炭、国内の畑地で利用されている籾殻薫炭および竹炭を用いて調べた。併せて走査型電子顕微鏡(SEM)によるバイオ炭の表面構造の観察と固体高分解能 ^{13}C NMR による炭素官能基組成の推定を行って、バイオ炭試料間の塩基吸着特性の違いに対する構造的要因を解析した。さらに、バイオ炭の添加が土壤透水性に及ぼす影響を調べた。トウモロコシ茎炭の添加は、燃焼温度の違いによる表面孔隙およびカルボキシ炭素含量の違いやリン酸処理に関わらず、Na の溶脱量を減少させることはできなかったが、Mg の溶脱を著しく抑制し、各試料とも重量比 5% の添加で Mg 溶脱量が 85% 減少した。竹炭も Na 溶出抑制効果はなかったが、Ca および Mg の溶脱量を最大で 94% 減少させた。したがって、これらの資材は塩性ソーダ質土壤の改良には不適であるが、温室内における肥料の多施用等が原因で塩性化した土壤の改善には有効であると考えられた。一方、籾殻薫炭は、K、Na、Ca、Mg のいずれの塩基に対しても溶出抑制効果を示し、Na の溶脱は 5% の添加で 20% 抑制された。SEM 観察からは、籾殻薫炭の表面には凹凸が多く、他のバイオ炭試料よりも比表面積が大きいことが示され、 ^{13}C NMR 分析では、籾殻薫炭のカルボキシ C 含量がトウモロコシ茎炭や竹炭と比較して大きかったため、これらの要因が Na を含む各種塩基に対する籾殻薫炭の吸着能力に関係していると推察された。バイオ炭の添加もまた、塩性ソーダ質土壤の透水性を改善した。籾殻薫炭は竹炭よりも HC の増大効果が大きく、透水を繰り返すに対する HC の低下もより緩慢であった。透水終了後に土壤から回収したバイオ炭の表面を SEM により比較した結果、竹炭の表面により多くの土壤粒子が付着しており、表面構造の違いが透水性にも影響している可能性が示唆された。

以上のように本研究では、K を豊富に含む堆肥が塩性ソーダ質土壤から交換性 Na を排出し、かつ土壤 pH、土壤物理性（透水性）を改善する安価な資材として有効であることを明らかにした。また、堆肥とその施用率を決める際に、堆肥の EC と水溶性 K および Na の含量が目安になりうることを示唆した。Na の土壤溶液への溶出を抑制する資材として、籾殻薫炭が有効であることを示した。ただし、籾殻は塩類集積が問題となっている地域では入手し易い材料ではないため、今後はさらに Na 吸着特性とバイオ炭の構造との関係を解明し、現地で生産が可能なバイオ炭の原料と製造条件を明らかにしていく必要がある。