

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05770

研究課題名(和文) 乾燥地における低温時期の冷水灌漑による土壌劣化：土壌塩類化とリン溶脱の観点から

研究課題名(英文) Soil degradation by cold water irrigation during cold season in dry lands: From the perspective of soil salinization and phosphorus leaching

研究代表者

山本 定博 (Yamamoto, Sadajiro)

鳥取大学・農学部・教授

研究者番号：30200801

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：乾燥地の灌漑農地における冷水の灌漑とそれに伴う除塩過程は土壌ソーダ質化を促すことが明らかになった。その原因は低温条件で溶解度が低下するNa炭酸塩の洗脱抑制とその土壌への残存であり、低温下でのNa-Ca交換反応におけるNaイオンの土壌吸着促進の影響も示唆された。また、ソーダ質化要因として土壌の粘土鉱物の質と量も大きく影響した。さらに、土壌ソーダ質化は土壌無機態リンの溶解性を高め、溶脱リスクを高めることが明らかになった。乾燥地の灌漑水は重炭酸イオン含むため低温期に冷たい水を灌漑することは、土壌ソーダ質化による土壌劣化を進行させ、農地からのリン溶脱による環境への負荷を生じる普遍的リスクを有する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

塩類動態について温度環境に着目しておこなった本研究で明確にできた乾燥地の灌漑農地における冷たい水による灌漑管理の負の側面、すなわちソーダ質化による土壌劣化とリン溶脱の問題は、大陸性気候下の乾燥地における冬季灌漑などの慣行的な灌漑管理を見直し、灌漑農業の持続性と環境の保全を高める対策に繋がる基礎的な知見になると期待できる。また、冷涼な雨季を持つ乾燥地の土壌生成、とくにソロネッツの生成に関する基礎的な知見としての意味ももつ。

研究成果の概要(英文)：The results of this study showed that the de-salinization process associated with cold water irrigation in dryland irrigated croplands promotes soil sodication process. This is due to the leaching inhibition of Na-carbonate, whose solubility decreases at low temperatures, and its residual in the soil. The results also suggest that the Na-Ca exchange reaction at low temperatures promotes the adsorption of Na ions on the soil. The quality and quantity of clay minerals in the soil were also significant factors in sodication process. Furthermore, soil sodication increased the solubility of soil inorganic phosphorus and the risk of leaching from agricultural lands.

Irrigation water in drylands contains bicarbonate ions, so irrigation with cold water during low-temperature periods poses a universal risk of soil degradation due to soil sodication and environmental impacts due to phosphorus leaching from agricultural land.

研究分野：土壌学

キーワード：乾燥地 灌漑農地 低温 塩の溶解度 土壌ソーダ質化 塩類土壌 リン 溶脱

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

乾燥地の灌漑農地の20%は土壤塩類化による生産性低下が深刻化しており、その約60%は土壤ソーダ質化が原因である。ソーダ質土壤の改良は塩類集積土壤よりも困難であるため、土壤ソーダ質化の防止・修復対策は、灌漑農地の生産性の維持・改善において急務の課題となっている。ソーダ質土壤の劣悪な土壤特性(土壤構造の崩壊、強アルカリ性化)は、土壤の陽イオン交換基に Na^+ が高い割合で吸着することが原因であり(交換性 Na^+ が陽イオン交換容量の15%以上を占める)、この状態は土壤溶液と固相表面における Na^+ と Ca^{2+} の陽イオン交換現象が関与しており、土壤溶液のイオン組成が重要な因子となっている。

本研究では土壤溶液のイオン組成への影響因子として「Na塩の溶解度の温度依存性」に着目した。土壤塩類化の原因であるNa塩は種類によって低温条件で溶解度が大きく変化する(図1)。例えば塩類集積で問題になる NaCl は0~40°Cで溶解度がほぼ一定で低温時の溶解度低下はほとんど無いが、ソーダ質化に関与する Na_2CO_3 は低温時に溶解度が著しく低下する。そのため土壤に冷水を灌漑すると、Na塩の選択的溶解・溶脱が生じ、 NaCl は洗脱されるが、 Na_2CO_3 は溶解度低下により土壤に残存し、土壤溶液のNa炭酸塩濃度を高め、土壤ソーダ質化が助長されると考えられる。

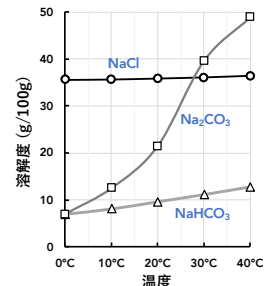


図1. Na塩の溶解度

この仮説に基づくと大陸性気候下の中国内陸部や中央アジアの灌漑農地における深刻な土壤ソーダ質化は寒冷な春季の冷水灌漑で誘発されている可能性が高い。低温下で生じるNa塩の選択的溶脱は自然のソーダ質土壤であるソロネツツの生成に影響していることが示唆されているが(P. Driessen, 2001)、乾燥地の灌漑農地における土壤ソーダ質化への影響は明確ではない。また、土壤ソーダ質化に伴う土壤溶液のイオン組成変化(Na炭酸塩主体の組成)は、土壤無機態リンの溶解性を高め、土壤からのリン溶脱を促進させ、ひいては水圏環境への負荷を助長することが危惧される。はたして、低温条件での灌漑(冷水灌漑)は土壤ソーダ質化過程にどのように影響し、連鎖的にリンの動態にどのような影響を及ぼすのであろうか? 水が冷たい低温期の灌漑管理の負の側面の一部を明確化できれば、大陸性気候下の乾燥地における灌漑農業の持続性を高めるための対策に繋がる有用な知見になると期待できる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「冷たい水の灌漑が土壤中のNa塩の溶解と移動、土壤ソーダ質化過程、そして土壤ソーダ質化が土壤無機態リンの溶解性に及ぼす影響」を検討し、乾燥地の灌漑農地において低温環境下での灌漑が土壤や環境の劣化を助長する要因の一つになるのかを「Na塩の低温条件下における溶解特性」に基づいて明らかにすることであり、次の4つの課題を設定して検討した。[課題1]低温下での塩洗脱がNa塩の溶解・溶脱特性、土壤塩類組成、土壤ソーダ質化に及ぼす影響、[課題2]Na-Ca陽イオン交換反応に基づく土壤ソーダ質化過程の検討と低温条件の影響、[課題3]土壤ソーダ質化状態の簡易判定法の検討、[課題4]土壤ソーダ質化が無機態リンの溶解・溶脱に及ぼす影響。

3. 研究の方法

本研究で重要な温度条件は次のように設定した。「低温区」は大陸性気候下の現地春季の灌漑水水温と地温(0~5°C)を想定して4~5°Cに設定し、対照区として20~25°Cの「室温区」を設定した(夏季を想定)。[課題1]は土壤カラム透水実験を適用した。低温時の溶解度が異なる2種のNa塩(NaCl 、 Na_2CO_3 (または NaHCO_3))を単独あるいは混合添加した人工塩類土壤を充填したカラムに塩組成の異なる灌漑水を低温、室温条件で浸透させ、Na塩の溶脱の温度依存性、灌漑前後のカラム内土壤の水溶性塩類組成を調べ、土壤ソーダ質化への影響を検討した。[課題2]は土壤固相表面におけるNa-Ca陽イオン交換反応の観点から土壤ソーダ質化への土壤特性、灌漑水水質、そして温度条件の影響を検討した。[課題3]は農地管理に適用できる簡便な土壤塩類化の評価のために塩類抽出が容易な1:5水抽出法を適用し、塩類土壤評価で一般的な指標との関連性を検討した。[課題4]は土壤ソーダ質化が土壤無機態リンの溶解・溶脱過程に及ぼす影響を明らかにするため、Ca態リンのNa塩溶液への溶解特性、土壤カラム浸透実験によるリン溶脱特性、土壤ソーダ質化が施肥リンの溶解性に及ぼす影響について検討した。各詳細は研究成果に示した。

4. 研究成果

(1)低温下での塩洗脱がNa塩の溶解・溶脱特性、土壤塩類組成、土壤ソーダ質化に及ぼす影響

中粒質土壤に NaCl 、 Na_2CO_3 を添加して調製した塩性度中程度の塩類土壤(5% CaCO_3 、 NaCl 4.0cmolkg⁻¹、 Na_2CO_3 0.25cmolkg⁻¹)をカラム(φ3.4cm、高さ30cm)に充填し、中国内陸部の河川水を再現した HCO_3^- を含む人工灌漑水(EC 0.77dSm⁻¹、SAR 1.6)を低温、室温条件で不飽和浸透し、浸透水と浸透前後の土壤を分析した。灌漑水量はカラム間隙体積(PV)の5倍相当とし、浸透水はPVを目安に5回に分取した。その結果、低温区と室温区で NaCl 起源の Cl^- 溶出量に明確な差異はなかったが、低温区の HCO_3^- の溶出量は室温区よりも40%減少した。低温区の Na^+ 溶出量は室

温区よりも10%弱減少し、低温下でのNa炭酸塩の溶出抑制が認められた(図2)。浸出後半には低温区の浸出液のSARの大きな上昇が認められ、土壌ソーダ質化の促進への影響が示唆された。HCO₃⁻は灌漑水からの付加により低温、室温区とも浸透後の土壌含有量が増加し、低温区は室温区よりも10%多くなった。低温区ではNa⁺も室温区より18%多く残存し、Na炭酸塩がより多く土壌に残存することが示唆された

(図3)。土壌 SAR_{1:5}は両区ともカラム下層で顕著に上昇しソーダ質化が進行した(上層は中程度、下層は強度のソーダ質土壌に分類)、低温区ではより高いソーダ質化レベルになった。

Na塩洗脱への影響を詳細にみるため、砂質土壌でカラム浸透実験を行った。砂質未熟土(CaCO₃ 5%添加)にNaCl, Na₂CO₃組成を変えて調製した人工塩類土壌(Na⁺4cmolkg⁻¹相当添加)を充填した土壌カラム(φ2.6cm, 高さ15cm)に灌漑水としてNaCl, NaHCO₃組成を変えたNa塩溶液(Na⁺濃度10mM, NaCl:NaHCO₃=1:0, 1:1, 0:1)を浸透し、低温、室温での塩溶脱特性を比較した。その結果、粗粒質土壌への大量の灌漑(679mm相当)のため、Cl⁻は温度条件によらず速やかに溶脱したが、HCO₃⁻は溶脱がCl⁻より緩慢であり、その溶脱量は低温区では室温区より4~19%減少し、土壌のNaHCO₃添加割合、灌漑水のHCO₃⁻濃度が高い処理区ほど溶脱が抑制された(図4)。低温区と室温区で土壌中に残存するHCO₃⁻量の差異は明確ではなかったが、NaHCO₃無添加土壌においてHCO₃⁻を含む灌漑水を浸透後、土壌 SAR_{1:5}が低温区でより大きく上昇し、土壌ソーダ質化の促進が認められた。乾燥地の灌漑水には一般的にHCO₃⁻が含まれるため、低温下でのNa塩の洗脱過程は土壌ソーダ質化リスクをより高めることが明らかになった。

次に砂質土壌に変えて粘質土壌を供試し、土壌のNa塩組成を変えた土壌カラム浸透実験をおこなった。スメクタイト質の粘質土壌にCaCO₃7%を添加して調製した人工乾燥地土壌にNaCl, NaHCO₃を添加した塩類土壌(Na⁺8cmolkg⁻¹添加, NaCl:NaHCO₃=10:0, 5:5, 0:10)を調製した。そして、土壌カラム(φ2.6cm, 高さ30cm)の表層5cmに塩類土壌、下層25cmに人工乾燥地土壌を充填し、灌漑水(EC 0.9dSm⁻¹, SAR 7, NaHCO₃+CaCl₂で調製)を低温、室温条件で浸透した。灌漑水量は1回あたりカラム内土壌間隙体積相当量(96ml)とし、計2回浸透した。HCO₃⁻洗脱計はCl⁻洗脱より温度の影響が大きく、低温区のHCO₃⁻洗脱量は室温区よりも30~40%低下した(図5)。浸透後の土壌HCO₃⁻量は全処理区で増加し、とくにNaHCO₃を添加した土壌処理区では、低温区において室温区よりもHCO₃⁻量が約20%、Na量が約10%増加した(図6)。表層土壌のSAR_{1:5}も室温区より有意に上昇し、より高いソーダ質化レベルとなった。また非塩類土壌でも低温区では灌漑水由来のHCO₃⁻の土壌への蓄積が促され、HCO₃⁻を含む冷水の土壌ソーダ質化への高い危険性が示唆された。以上より、低温下ではNa炭酸塩の洗脱が抑制され土壌に残存しやすく、土壌SARを高める塩類組成となりソーダ質化が促されることが認められた。

(2) Na-Ca陽イオン交換反応に基づく土壌ソーダ質化過程の検討と低温条件の影響

乾燥地の灌漑農地の土壌特性(粘土鉱物組成, 粘土含量)や灌漑水質が土壌ソーダ質化に与える影響を包括的に明らかにするため、土性の異なる乾燥地土壌, 粘土鉱物試料, 塩類濃度・組成が異なる灌漑水を供試し、土壌固相-液相間の陽イオン交換反応の観点から検討した。

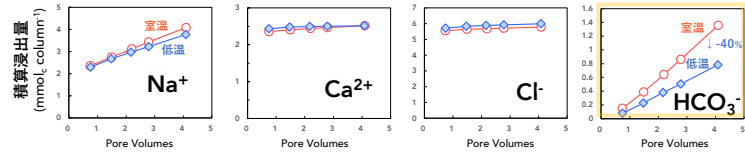


図2. カラムからのイオン浸出量

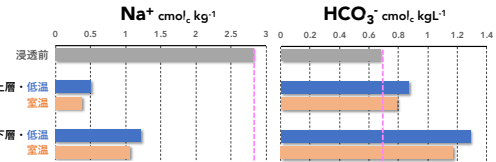


図3. 土壌の水溶性イオン量(1:5水抽出)

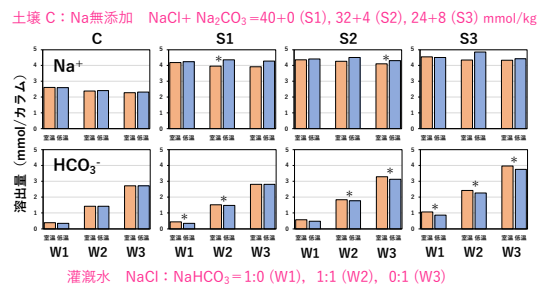


図4. カラムからのNa⁺, HCO₃⁻の溶出量

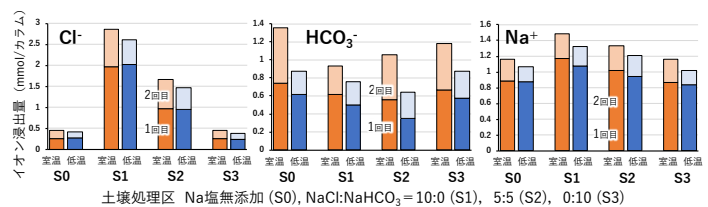


図5. カラムからのイオン溶出量(1回目, 2回目の合計)

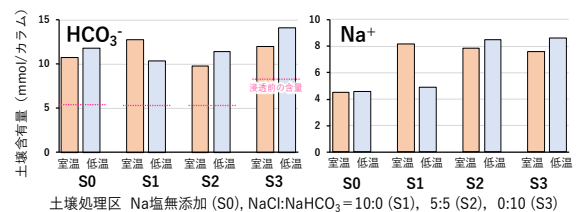


図6. 2回浸透後のNa⁺, HCO₃⁻土壌含有量(1:5水抽出)

粘土含量の異なる乾燥地土壌試料3点(SL:6%, CL:18%, LiC:33%)に対して塩濃度と塩組成の異なる人工灌漑水を土液比=1:5で加え、振とう・抽出を連続的におこない、土壌ソーダ質化過程を検討した。最終的な土壌ソーダ質化の状態は、灌漑水の水質とともに粘土含量にも大きく影響を受けた(図7)。粘土含量が少ない土壌ほどESP(交換性ナトリウム率, 15%以上でソーダ質と判定)が高く、粘土含量が多い土壌ほどESPが低く推移した。灌漑水の塩濃度, SARが高いほどESPが高くなり、砂質土壌に高塩濃度, 高SARの灌漑水が作用する条件で土壌ソーダ質化が最も進行した。また, NaとCaの陽イオン選択係数の変化の傾向から、砂質土壌では灌漑直後にNaが優先的に土壌固相に吸着してソーダ質化が急速に進行することが示唆された。この結果を土壌ソーダ質化予防の観点から見ると、砂質土壌には急速に進行するソーダ質化抑制のため、速効的に作用する溶解性の高いCa資材の施与が効果的であり、粘質土壌にはCaの放出が緩効的な資材が有効であると考えられた。

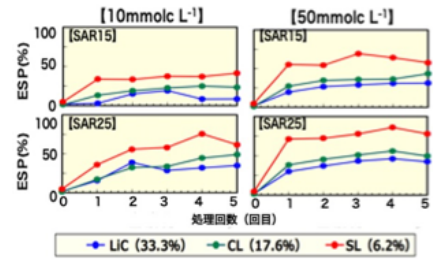


図7. 灌漑水水質, 土壌の土性が土壌ソーダ質化過程に及ぼす影響

次に、粘土鉱物種の影響を検討した。市販粘土鉱物(カオリナイト, イライト, モンモリロナイト)と石英砂の混合物(粘土含量 5, 25, 45%に調整)に塩類濃度と組成の異なる交換平衡溶液を同様に作用させた。石膏による脱ソーダ質化過程も検討するため、交換平衡溶液に石膏添加区も設けた。粘土含量が少ないほど陽イオン交換反応が速く平衡に達した。同じ2:1型であってもイライトよりモンモリロナイトの方がESPの変化が緩やかであり、イオン交換サイトの相違(モンモリロナイトは結晶構造内部に多くの交換サイトを持つ)に起因すると考えられた。1:1型のカオリナイトは、平衡溶液組成にかかわらず速やかに陽イオン交換反応が平衡に達した。これは、粘土結晶端面において陽イオン交換が早期に生じた結果と考えられた。石膏を添加するとESPの速やかで大きな低下と低ESP状態の維持が認められた。このとき、石膏を土壌に添加・混和するよりも灌漑水への添加で高い改良効果が認められた(図8)。これは低温時の灌漑における灌漑水の水質改善効果の有効性を示唆する結果と考えられた。石膏の改良効果は粘土鉱物の種類によっても異なり、2:1型のモンモリロナイトは2:1型のイライトや1:1型よりも改良の進行が緩効的であった。

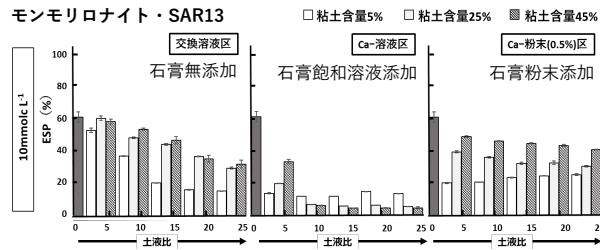


図8. ソーダ質化改良のための石灰質資材の添加効果

Na-Ca 陽イオン交換反応への低温の影響を検討するため、モンモリロナイト試料を供試し、異なる SAR(8.5, 18, 32)の交換平衡溶液(NaCl+CaCl₂)を低温と室温条件で作用させ比較した。いずれの SARでも低温区では平衡溶液の SARが高くなり維持され、室温条件よりも固相の交換性 Na量が増加し、Ca量が減少した。このことから、低温条件は陽イオン交換反応においても土壌ソーダ質化を促すことが示唆された(図9)。以上ことから、土壌ソーダ質化に関わる Na-Ca 陽イオン交換反応は土壌溶液塩組成に加えて、粘土鉱物の質と量、さらに温度条件も大きく影響することが明らかになった。

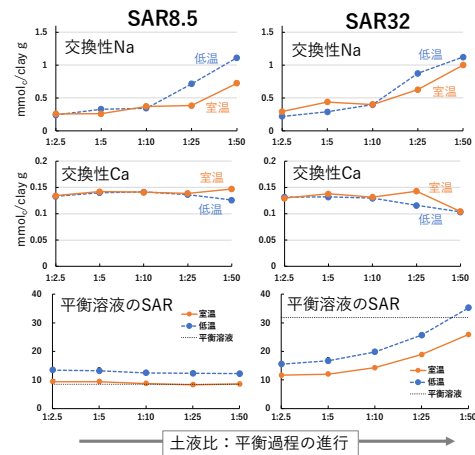


図9. 低温条件がモンモリロナイト粘土におけるNa-Ca交換反応に及ぼす影響

(3) 土壌ソーダ質化状態の簡易判定法の検討

灌漑農地の塩類化の状態を把握するために、飽和抽出法で求められる電気伝導度(CEc), SAR_eあるいは交換性Na量と土壌の陽イオン交換容量(CEC)を求めて算出されるESP(交換性Na割合)が広く適用されている。これらの測定には多量の土壌試料、時間および労力を要し、農地管理への適用にはハードルが高い。なかでもソーダ質化の重要な判定指標であるESPを求めるためにはCECの分析値が必要であり、現場への適用性が困難である。そこで、簡易・迅速な1:5水抽出法による土壌塩類評価を試み、とくにソーダ質化の判定指標を1:5水抽出溶液のSAR値で代替できないかを検討した。土壌試料には中国土壌48点

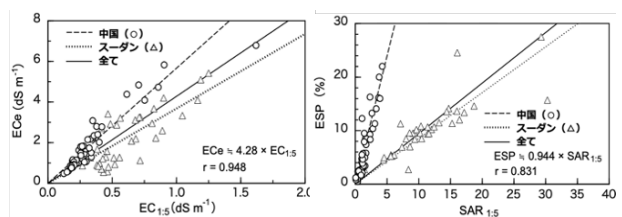


図10. EC_{1:5}とEC_e, 及びSAR_{1:5}とESPの関係

(Entisols)とスーダン土壌 120 点(Aridisols)を用いた。塩類集積量を判定する EC は 1:5 法でも問題なく適用できた。一方, SAR_{1:5}と ESP には正の相関が認められたが, 地域ごとに異なる相関関係を示し (図 10), 中国土壌とスーダン土壌の粘土含量や組成, 土壌中の塩類組成の差異が影響したと考えられた。これらのことから, 土壌ソーダ質化の判定に 1:5 法の SAR 値を適用する場合, 地域による土壌特性を考慮する必要があり, これにより概ね適用可能と考えられた。

(4)Na 塩が塩類土壌中の無機態リンの溶解, 溶脱に及ぼす影響

土壌塩類化と灌漑水の Na 塩組成が土壌 Ca 態リン(乾燥地土壌の主要な無機態リン形態)の溶解, 溶脱に及ぼす影響を明らかにするために, 濃度と組成の異なる Na 塩溶液への Ca 態リンの溶解特性, およびソーダ質化レベルの異なる人工塩類土壌からのリン溶脱特性を検討した。

Na⁺濃度(0, 10, 100mM)と NaCl, NaHCO₃, Na₂SO₄の組成を変えた Na 塩溶液への Ca 態リン(CaHPO₄・2H₂O)の溶解特性をバッチ抽出法で検討した。Ca 態リンの溶解には Na 塩の種類と CaCO₃の有無が大きく影響し, 乾燥地土壌で想定される CaCO₃ 共存下では NaHCO₃ が高濃度で作用した場合のみ Ca 態リンの溶解が促進された(図 11)。一方, 中性塩である NaCl, Na₂SO₄は, 溶存 Ca²⁺の活動度低下作用は弱い, CaCO₃の作用で pH が上昇するため Ca 態リンが難溶性形態に変化してリン溶解量が著しく低下した。すなわち, 乾燥地では NaHCO₃に富むソーダ質化した土壌環境において Ca 態リンの可溶化が促進されることが示された。

次に人工乾燥地土壌(CaCO₃ 5%添加砂質未熟土)に Na 塩を ECe 8dSm⁻¹前後になるように添加, 調製した人工塩類土壌(NaCl:NaHCO₃ =10:0, 9:1, 8:2 モル比, Na 塩無添加土壌(対照))を内径 4cm カラムに 25cm 厚で充填し, 表層 5cm 部位に CaHPO₄・2H₂O(1500mgP₂O₅kg⁻¹相当)を混合した後, 塩組成の異なる Na 塩溶液(Na 濃度 15mM, NaCl:NaHCO₃=10:0, 5:5, 0:10 モル比)をカラム内土壌間隙体積の 2 倍量(240mL)を飽和浸透し, 浸出液を 5 回に分けて回収した。Na 塩無添加土壌ではカラムからのリン溶出は認められなかったが, 3 種の塩類土壌カラムでは Na 塩の溶出がほぼ終了してからリンの溶出が始まった。つまり, 土壌塩性が低下するまで(NaCl の洗脱が終了するまで)リン溶出は抑制された。リン溶出量には HCO₃⁻が大きく影響し, 土壌ソーダ質化レベルが高く, 灌漑水が HCO₃⁻に富む処理区ほどリン溶出量が増加し, 灌漑水と土壌の HCO₃⁻が相乗的にリン溶脱に影響していた(図 12)。溶出リンの最大量は添加リン量の 2.3%であったが, バッチ試験の溶解量を踏まえると潜在的な溶出量は高いものと見積もることができる。

施肥リンの溶脱への影響をみるために, Na 塩の量と組成の異なる人工塩類土壌に水への溶解性の異なる 2 種の Ca 態リン(難溶性:CaHPO₄・2H₂O, 易溶性:Ca(H₂PO₄)₂・H₂O)を 1000mgP₂O₅/kg 相当量加え, 水, 0.5M NaHCO₃(オルセン態相当), 1M HCl へのリン溶解性を検討した。添加リンの全量は HCl 可溶態に反映された。可給態リンに相当する 0.5M NaHCO₃ 抽出量は塩類, 添加リンの形態によらず添加量の約 40%に相当したが, 水溶性リンはリン添加区において土壌の NaHCO₃の影響を受けて増加し, 0.5M NaHCO₃ 抽出リンの最大 60~70%を占めていた(塩無添加, NaCl 土壌の場合 40~50%) (図 13)。すなわち, 土壌ソーダ質化は可給態リン量への影響は小さいが, その中の水溶性画分を増大させ, 施肥リンの溶脱ポテンシャルを高めた。以上のことから, 土壌ソーダ質化の進行により土壌溶液中の NaHCO₃が富化することは灌漑や除塩で灌漑農地からのリン溶脱リスクを高めることが明らかになった。

(5)まとめ

乾燥地の灌漑農地における冷水の灌漑とそれに伴う除塩過程は土壌ソーダ質化を促すことが明らかになった。その原因は低温条件下で溶解度が低下する Na 炭酸塩の洗脱抑制とその土壌への残存であり, 低温下での Na-Ca 交換反応における Na イオンの土壌吸着促進の影響も示唆された。また, ソーダ質化要因として土壌の粘土鉱物の質と量も大きく影響した。さらに, 土壌ソーダ質化は土壌無機態リンの溶解性を高め, 溶脱リスクを高めることが明らかになった。

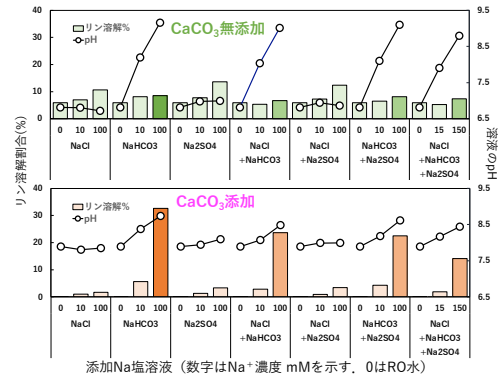


図 11. Na 塩溶液への Ca 態リン溶解特性

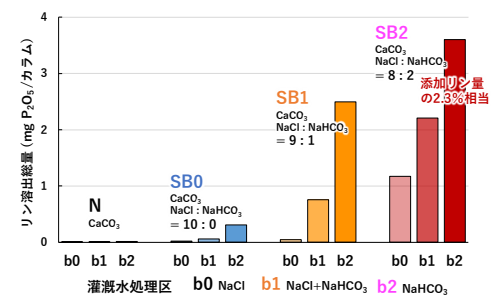


図 12. カラムからのリン溶出総量

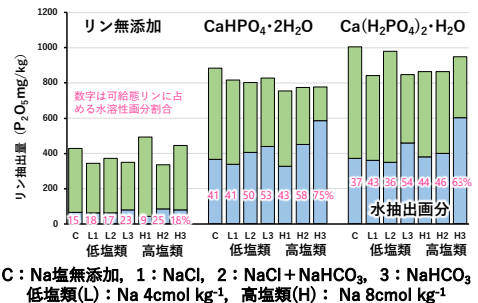


図 13. 土壌ソーダ質化が可給態リン量(0.5M NaHCO₃抽出)と水溶性画分割合に及ぼす影響

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tsuneyoshi Endo, Mubarak Abdelrahman Abdalla, Abdel Karim Hassan Awad Elkarim, Mayu Toyoda, Sadahiro Yamamoto & Norikazu Yamanaka	4. 巻 52
2. 論文標題 Simplified Evaluation of Salt Affected Soils Using 1:5 Soil-Water Extract	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications in Soil Science and Plant Analysis	6. 最初と最後の頁 2533-2549
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00103624.2021.1953052	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 Tsuneyoshi Endo, Ayaka Yoshimura and Sadahiro Yamamoto	4. 巻 41
2. 論文標題 Differences in sodication and desodication processes influenced by type of clay minerals and clay contents	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soil and Environment	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.25252/SE/2022/232772	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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山本定博・西本彩香・遠藤常嘉
2. 発表標題 低温条件が塩類土壌からの Na 塩リーチング特性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本砂丘学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本定博・中西彩歌・遠藤常嘉
2. 発表標題 Na塩が塩類土壌の無機態リンの溶解・溶脱に及ぼす影響
3. 学会等名 日本砂丘学会
4. 発表年 2022年

〔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
研究 分担 者	遠藤 常嘉 (Endo Tsuneyoshi) (70423259)	鳥取大学・農学部・教授 (15101)	

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
---------	---------