

農学研究院若手支援事業成果報告書

平成20年12月19日

支援対象研究分野：その他

研究課題名：中国東北部アルカリ土壌への改良資材添加効果とその土壌溶液組成の数値モデルによる解析

支援期間：平成19年10月～平成20年9月

所属部門・研究分野：植物資源科学部門 土壌学研究分野

研究代表者氏名：森 裕樹

研究の背景と目的

1. 背景

世界の耕地のうち、23%が塩類土壌で、37%がアルカリ土壌といわれている。塩類土壌とは、土壌に可溶性の塩類が多く集積して間隙水の電気伝導度が高い土壌で、アルカリ土壌とは、ナトリウム含量が高く結果として高いpHを示す土壌であり、塩類土壌とアルカリ土壌の特徴を併せ持つ土壌も存在している。塩類土壌やアルカリ土壌は沿岸部や乾燥地域に多く存在しており、これらの不良土壌が植物生育に不適な理由は、土壌間隙水の浸透ポテンシャルの低下、粘土鉱物がナトリウム型になることによる土壌粒子の分散と透水性の低下や土壌の固化、高pHによるミネラル分の溶解度低下などが挙げられる。塩類土壌とアルカリ土壌の判断には、電気伝導度(EC)やナトリウム飽和度(ESP: exchangeable sodium percentage)などが用いられる。

アルカリ土壌の対策技術として、(1) 耐性植物の探索及び品種改良、(2) 改良資材の添加によるpH低下およびナトリウム飽和度の低減、(3) 地盤の洗脱などの物理的な方法等が挙げられ古くから研究が行われているが、改良コストや処理後の管理の問題が依然として残っている。アルカリ土壌を改良する方法の一つとして、セッコウ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)や塩化カルシウム等カルシウム資材の添加が試みられてきた(Quadir et al., 2001)。カルシウム資材施用の効果は、ナトリウム型の土壌からカルシウム型の土壌に変換することによる透水性などの物理性改善や土壌pH低下による化学性改善である。セッコウは溶解度が0.3 g/100 gと適度に低く、効果が長期間持続することが予想される。

中国東北部の遼寧省には中央から北西の地域にかけて降水量が少なく年間降水量が500 mm以下の地域があり、アルカリ土壌や塩類土壌が存在している。また、沿岸部は海拔が低い平野や干拓地に塩類土壌が存在し、土壌塩類の脱塩をした場合に土壌が強アルカリ化するという実態がある。塩類およびアルカリ土壌の対策は砂漠化防止の観点か

ら重要視されており、これまでも中国では「退耕還林」と呼ばれる農耕地を森林に戻す事業が行われ、砂漠化防止への意欲は高く、盛んに植林が行われている地域でもある。この地域の沿岸部では植林際に排水改善による脱塩が行われてきているが、脱塩後に土壌 pH が上昇する問題もでており、化学性改善のための適切な技術化が必要である。

アルカリ土壌へのセッコウ施用に関する研究はこれまでも行われてきたが、一番問題となるのは施用のコストである。様々な土壌にセッコウを施用した際の、アルカリ飽和度を正確に予測することができれば、改良を効率的に進めることができる。

2. 研究目的

以上の背景から、本研究では、中国遼寧省におけるアルカリ土壌改良資材としてのセッコウの効率的な利用を目的として、(1) 遼寧省の塩類土壌およびアルカリ土壌の理化学性分析、(2) 脱塩された土壌の断面調査による脱塩時の化学性変化の解明、(2) セッコウ施用による土壌溶液の化学組成の変化の分析と化学平衡計算を利用した改良資材添加前後の土壌溶液組成の解析と予測を試みた。

研究成果の概要（活動内容、成果）

1. 土壌のサンプリング及び理化学性分析

2007年11月、12月に、遼寧省においての塩類およびアルカリ土壌のサンプリングを行った。サンプリング地点は中国遼寧省の盖州市、營口市、阜新市、新民市で各数カ所を選定した。採取土壌の pH 及び EC の一覧を表 1 に示した。pH(H₂O)は全て 8.0 をこえていた。1:5 水抽出液の EC は沿岸部の盖州市、營口市の土壌は全て 1 dS m⁻¹ をこえており、主要な陽イオンとしてはナトリウムイオン、陰イオンは大部分が塩化物イオンとして含まれていた。内陸部の阜新市、新民市の土壌の EC は低く

表1. 採取土壌のpHとEC

採取地	pH(H ₂ O)	1:5水抽出液	
		pH	EC/ dS m ⁻¹
盖州1	8.1	7.9	5.70
盖州2	8.3	8.1	3.12
盖州3	8.3	8.0	5.65
營口2	8.5	8.1	5.08
營口3	8.5	8.2	1.46
營口4	8.3	8.1	4.37
阜新1	8.3	8.1	1.00
阜新2	9.0	8.5	0.54
新民1	8.5	8.2	0.18
新民2	8.3	8.1	0.32

かったものの pH は高く、1:5 水抽出液にナトリウムが多く含まれる土壌であった。粘土鉱物組成は今回サンプリングしたいずれの土壌も雲母とカオリナイトを主成分としており、スメクタイト及びバーミキュライト-クロライト中間種鉱物を含むものもあった。この地域の土壌は年度国物組成は似通っているものの、含まれているイオンの組成や塩の濃度が異なるため、アルカリ土壌としての対策は異なるものが必要になると考えられた。

2. 脱塩過程での土壌理化学性変化.

塩類土壌を自然に脱塩するための方法として、堤防のように高く積み上げて降雨によって洗脱する方法がある. この脱塩過程での土壌の化学性変化を調べるため 1988 年に干拓のため沿岸につくられた堤防の土の断面調査および化学分析を行った. 堤防の上部と下部において土壌断面を作成してそれぞれの層位から土壌を採取し分析に供した (図 2, 表 2). 堤防の場所は, 営口 1 試料の直近にあり比較のため同じ表に示した. 堤防の上部は EC が 1 dS m^{-1} 以下であり脱塩が進んでいることが確認され, 沿岸部の高い土壌 EC が低下することが確認された. 堤防の下部断面は B 層で EC が高いままであったが, これは脱塩の進行が途中であるか, または地下水面の影響が考えられた. 洗脱された土壌の EC は低下していたものの pH は上昇していた. 1:5 水抽出液の陽イオン組成を分析したところナトリウムの割合が高く, 洗脱の過程ではイオンの割合は変化しないことが確認された. 洗脱の過程で pH も低下させるためにはカルシウム資材の投入が効果的であると考えられる.

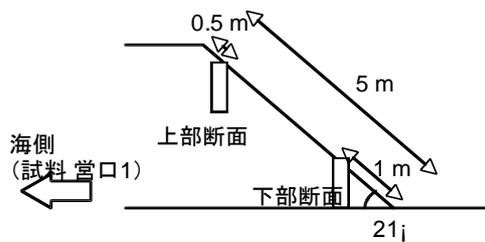


図1.調査堤防の概略図

	深さ/cm	pH(H ₂ O)	1:5水抽出液	
			pH	EC /dS m ⁻¹
営口1	1~15	8.5	8.1	5.08
上部A層	2~16	8.4	8.1	0.37
上部B1層	16~25	8.8	7.9	0.37
上部B2層	25~40	9.3	8.6	0.36
下部A層	2~15	9.1	8.4	0.30
下部B1層	15~30	9.1	8.7	1.04
下部B2層	30~40	8.7	8.4	1.79

3. 硫酸カルシウム (セッコウ) 添加後の土壌溶液組成変化

セッコウの添加効果を調べるため, 土壌試料にセッコウを添加率 0, 0.5, 1.0, 2.0% で加えて 24 時間往復振とうのあと遠心分離を行い, 水と平衡状態にした溶液の pH, EC, 陽イオン及び陰イオン組成を分析した. 遠心分離後の残渣をさらにエタノール含有の pH8.5 塩化アンモニウム溶液で交換性陽イオンを抽出した. また, 自然状態では常に土の水分含量は変化し, 間隙水の化学組成は水分含量に影響されると考えられるため. 今回は極端な水分含量変化ではあるが, 固液比が 1:1 と 1:5 の 2 つ行った. 実験は 営口 2, 阜新 2, 新民 1 のサンプルを選択して行った.

セッコウの添加により水抽出液の pH はいずれの場合も低下したが, 固液比 1:1 と 1:5 とでは pH 変化の挙動が異なった. EC については, 固液比が 1:5 のときはセッコウ 2% 添加でも上昇傾向にあったが, 1:1 のときは添加率 0.5% より多く加えても EC はほとんど増加しなかった. これは 1:1 の固液比では, 0.5% でも溶液組成がセッコウについて飽和になっており, 1:5 の場合は添加したセッコウがほぼ全て溶解していたためであると考えられる. なお, セッコウ添加にともない EC が増加するが, ナトリウム飽和度の低下により土壌の透水性改善の効果もあるため, 長期的な影響は少ないと考えられる. 実

際の土壌において固液比 1:1 という水分含量は飽和以上の水を含んだ状態であり、自然条件のセッコウ添加率は 0.5%以下にも減らすことができる可能性がある。ただし、少量の粉末を土壌に均一に混合する必要があるため、セッコウ添加率の低減には技術的な制限があるだろう。

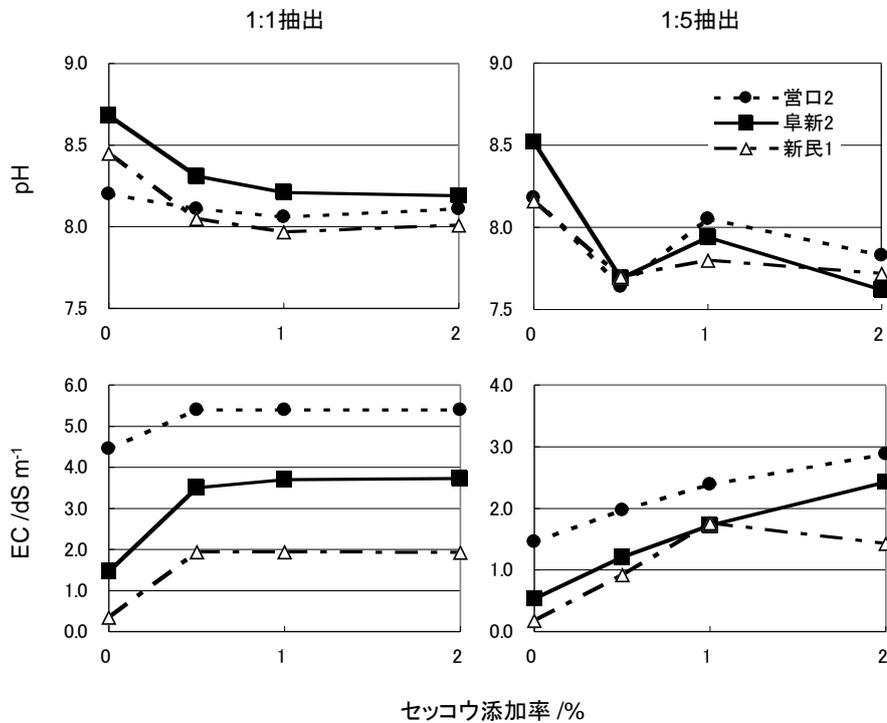


図2□セッコウ添加後の水抽出液のpHとECの変化

4. 数値モデルによる土壌溶液組成の予測.

アルカリ土壌の判断の基準であるナトリウム飽和度を予測することは、セッコウ添加効果の判断に不可欠である。土の平衡時の化学種分布計算をセッコウを土壌に添加したとき化学種分布を予測に利用するため、米国地質調査所の地球化学計算アプリケーションの PHREEQC を利用して計算した。化学種計算に必要な溶存イオン濃度、交換性陽イオン濃度および有効陽イオン交換容量 (ECEC) はセッコウ添加量 0%の時の実測値を与え、反応の平衡定数のデータベースは PHREEQC に付属のものを用いた。なお、カリウムイオンの濃度は小さかったため計算において無視した。

表3. セッコウ添加前後のイオン分布の実測値と計算値の例(阜新2土壌)

セッコウ添加率	抽出液濃度 / mmol _e L ⁻¹				交換性陽イオン濃度 / cmol _e kg ⁻¹				ECEC / cmol _e k ⁻¹
	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na	Mg	Ca	
0%									
実測値	19.7	0.5	0.5	5.8	1.8	3.9	4.3	8.3	16.5
予測値	19.5	0.5	0.6	5.8	1.8	3.9	4.3	8.3	16.5
1%									
実測値	36.7	1.1	11.7	5.3	29.5	2.7	3.8	10.6	17.1
予測値	36.9	6.4	13.4	5.8	29.2	2.1	3.1	11.3	16.5

土壌のイオン組成の計算結果の一例を表 3 に示した。ここでは阜新 2 土壌に 1%のセ

セッコウ添加後、固液比 1:1 で水と反応させた場合のイオン分布の実測値と予測値を示し、セッコウ無添加の場合もあわせて示している。実測値から計算された阜新 2 土壌の ESP ($=[\text{交換性ナトリウム}]/\text{CEC}$) は 23% でありアルカリ土壌の判断基準である 15% を超えていたが、セッコウ添加により ESP が 16% まで低下しており、石膏添加の効果が確認された。間隙水が洗脱されれば ESP はさらに低下していくと考えられる。化学平衡計算によりセッコウ添加率が 0% のときは、ほぼ正確にすべてのイオン形態を予測することができた。セッコウの添加量を 1% に増加させたときもナトリウムおよびカルシウムの分布は実測値と計算値が比較的近かった。なお、PHREEQC の計算結果から溶液のセッコウに対する飽和指数は 0 であり、セッコウについて飽和状態であるという図 3 の 1:1 抽出時の EC 曲線からの示唆を支持した。以上より、更なる検証が必要ではあるが、添加前の各イオンの全量と有効陽イオン交換容量さえ求めておけば、石膏添加後の土壌のナトリウムとカルシウム分布は陽イオン交換反応とセッコウの溶解に基づく反応にしたがって予測可能であると考えられる。

しかしながら、土壌 pH は計算結果が実測値と合わなかった。アルカリ土壌は炭酸塩鉱物多く存在し、また、土壌溶液は大気や土壌空気の二酸化炭素とも反応するため、これらの影響を含めなければならない。実験後に放置しておいた溶液の pH が時間とともに低下していたため、今回の反応条件では炭酸イオンに関して平衡に達していなかった可能性もある。今後さらに正確な pH の予測とともに、化学平衡計算に溶質移動も含めたモデルの構築により、アルカリ土壌の化学性改善を効果的に進めることができると考える。

謝辞

本研究は、平成 19 年度農学研究院若手支援事業の資金を得て行ったものである。また、現地調査においては大連民族学院 生命科学学院の姜国斌教授および九州大学農学研究院土壌微生物学研究分野の河口准教授にご同行いただき、植物や土壌調査についてさまざまなご教示をいただいた。心より感謝申し上げます。

参考文献

Qadir, M., Schubert, S., Ghafoor, A. and Murtaza, G. (2001) Amelioration strategies for sodic soils: a review. *Land Degradation & Development*. 12., 357-386