

中華人民共和国における高塩類蓄積土壌の改善

The improvement of the high halomorphic soils in China

田中 賢治
Tanaka Kenji

世界の各地には、日本には見られない植物や作物が生育できない土壌環境が多く存在しており、このような土壌環境を技術的に改善する手法の確立が望まれている。今回は、実際の強アルカリ性の高塩類土壌を改善した事例を取り上げながら、土壌改善する時に留意しなければいけない内容について解説する。

In each place in the world, a lot of ground environment that the plant and the crop which isn't seen cannot grow exists in Japan and the establishment of the technique to improve such ground environment technically is wanted.

キーワード：高塩類，強アルカリ性，脱硫石膏，フルボ酸

1 土壌改善箇所の概要

1.1 土壌改善箇所の位置，気候

私が植物の育ち難い高塩類（強アルカリ性）の土壌を植物が生育できるように改善してきた箇所は、中華人民共和国の東北部の吉林省松原市哈達山地区である。

松原市は、吉林省の中北部に位置しており、南には長春、西に白城市、北は松花江を隔てて黒竜江省へと繋がっている。気候は、中温帯大陸性モンスーン気候に属しており、年平均気温は 4.5℃で、春季には降雨が少ないため乾燥が激しく、夏季の 7～8 月にも若干の降雨がある程度である。冬季における降雪は少ないが、気温が氷点下となって乾燥する期間が長く、土壌の深部は 4 月頃まで凍結している。年間における降水量は、600 mm/年と少なく、日本の年平均降水量である 1718 mm/年（1971 年から 2000 年にかけての平均値）と比較すると 3 割程度となっ



写真 1 高塩類（強アルカリ性）土壌箇所

ている（写真 1）。

1.2 土壌改善箇所の物理性，化学性

高塩類（強アルカリ性）土壌表面は、夏季である 7 月の観察では土壌表面が乾燥し、灰白色を帯びており、ナトリウムイオン (Na^+) の集積によって亀甲割れを起こしているのが確認できる。

山中式の土壌硬度計によって土壌硬度を測定した結果では、土壌硬度は 20 mm 以下となっており、土壌硬度が高いことによって植物が生育し難くなっている環境でないことが分かる。一方で、わずかに砂を感じるが、かなり粘る埴壤土 (CL) であることから透水係数が、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ m/s と低くなり、土壌水分を保持する機能が低い状態となる（写真 2）。

表 1 に高塩類（アルカリ性）土壌の化学分析結果を示す。土壌が塩基性・酸性の割合を示す pH においては、日本の沖縄県のように琉球石灰



写真 2 高塩類（強アルカリ性）土壌

岩が存在する箇所で確認できる pH9 程度より遥かに高く、pH は 11 を超えている。自然状態でない人為的な例を挙げると、軟弱地盤の強度を上げるために行う石灰、セメント改良の土壌と同等と考えることができる。

また、電気の通り易さを示す指標で、土壌中に含まれるイオンが電気を運ぶ役割を担うことから、土壌に含まれる塩基の濃度が高くなれば値が上昇する EC（電気伝導度）の値についても、植物が枯れてしまう指標である 1 dS/m を遥かに超えている。

EC（電気伝導度）の値が高いことから電解質である塩基が多いことが推測できるが、交換性カルシウム（CaO）と交換性ナトリウム（Na₂O）の値が異常に高い。また、これらの塩基を保持する機能を示す陽イオン交換容量（CEC）の値が砂丘未熟土程度の 10 cmol(+)・kg⁻¹ 以下であることから、土壌が塩類を保持できずに容易に移動する状態となっている。

表 1 高塩類（強アルカリ性）土壌の化学性

分析項目	測定値	単位
pH (H ₂ O)	11.56	
EC（電気伝導度）	11.04	dS/m
腐植含有量（%）	1.25	%
C/N 比	36.78	
アンモニア態窒素（NH ₄ -N）	0.80	mg/100g
硝酸態窒素（NO ₃ -N）	1.40	mg/100g
有効態リン酸（P ₂ O ₅ ）	8.80	mg/100g
リン酸吸収係数	127.00	P-abc
交換性石灰（CaO）	766.00	mg/100g
交換性苦土（MgO）	32.80	mg/100g
交換性カリウム（K ₂ O）	14.00	mg/100g
遊離酸化鉄（Fe ₂ O ₃ ）	0.20	%
交換性マンガン（Mn）	0.40	mg/kg
ナトリウム（Na ₂ O）	371.00	mg/100g
陽イオン交換容量（CEC）	8.10	cmol(+)・kg ⁻¹
塩基飽和度	499.00	%

2 土壌改善方法

2.1 脱硫酸石膏を利用した土壌改善

日本における例を挙げると、高塩類（強アルカリ性）土壌の過剰な塩類を排出する為には、灌漑用水によって余分な塩類を流出、希釈する手法が一般的に用いられている。

しかし、中華人民共和国の事例では、周辺の水

域の pH、EC（電気伝導度）が高く、土壌の過剰な塩類の改善に使えないことや、粘土鉱物にナトリウム等の塩類が取り込まれている状態であることが推測できた。このような土壌からは、過剰な塩類を剥ぎ取ることが困難な状態であると考え、高塩類（強アルカリ性）土壌改良に中国大陸で利用されている脱硫酸石膏（写真 3）による土壌改善を 2013 年 9 月に実施した。



写真 3 脱硫酸過程で生成される脱硫酸石膏

中華人民共和国における火力発電所においては、石炭燃料を利用していることから、大量の SO_x が排出されている。現在においては、燃焼排ガス中の SO_x 源を除去する方法として、アルカリ土類系の脱硫酸剤（CaCO₃ や Ca(OH)₂）等を燃焼炉内や煙道に吹き込んで脱硫酸が行われている。今回の土壌改善では、脱硫酸の過程で生成される脱硫酸石膏 CaSO₄ を利用して強アルカリ性の高塩類土壌の pH を低下させる手法を実施した。高塩類土壌箇所において、脱硫酸石膏の混合量を変化させて土壌 pH と EC（電気伝導度）の変化を確認した結果、脱硫酸石膏を混合することによって土壌 pH が 11 から 8 へと低下することが確認できた。また、土壌 EC（電気伝導度）の値も 11.04 dS/m から容積換算で 30 % 脱硫酸石膏を混合することによって 2.56 dS/m まで低下することが予備試験によって確認できた（図 1）。予備試験結果を踏まえて、高塩類（強アルカリ性）土壌の対象地に対して、脱硫酸石膏の混合量を変えて土壌改善する試験を実施した。

実施のプロセスについては、①脱硫酸石膏の配置、②脱硫酸石膏の撒き出し、③トラクターを利用した脱硫酸石膏の土壌への均等攪拌である。なお、攪拌に際してはトラクターでの攪拌では、塊となった土

壤に均等に脱硫石膏を混合することが難しかったことから、ホイールローダーによって土壌の塊を潰した後に更にトラクターで攪拌を行った（写真4）。

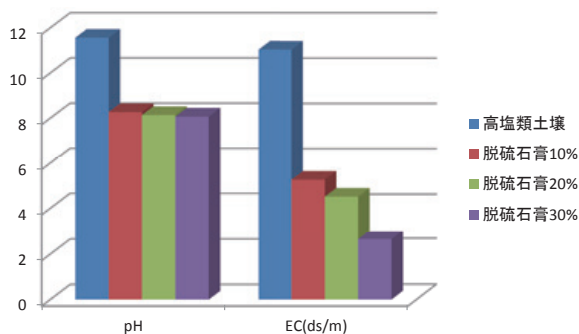


図1 高塩類土壌への脱硫石膏配合試験結果



写真4 高塩類（アルカリ性）土壌への脱硫石膏の混合

実地試験に際しては、コントロール区として脱硫石膏を混合しない区画，脱硫石膏を10%混合した区画，脱硫石膏を20%混合した区画，脱硫石膏を30%混合した区画の4区画を設けて中国産のトウモロコシ，耐塩類性のソルゴー，マメ科のヘアリーベッチの種子を2014年5月に播種して生長を確認した。

土壌改善を行った箇所においては，土壌の化学性の変化を確認する為に Spectram 社製のデータロガー Watch Dog と土壌水分，温度，EC（電気伝導度）センサー SMEC300 を設置した。その測定結果から，降雨の影響で土壌水分が60%を超えることによって，土壌水分が30%程度でのEC（電気伝導度）が0.5 dS/m程度に対し，一気にEC（電気伝導度）が6~8 dS/mまで上昇する現象が確認できた。また，土壌水分の上昇に伴って上昇したEC（電気伝導度）は，乾燥によって土壌水分が低下することで急激に低下することも確認できた（図2）。このような現象の確認によって，播種したトウモロコシ，ソルゴー，

ヘアリーベッチの発芽不良と枯死が発生した原因が分かった（写真5）。

土壌表面の観察からは，急激な乾燥によって土壌表面に蓄積した塩類は表面に被膜を作っており，さらに植物の生育を阻害していることも確認できた。

現地での予備試験結果では，容易に予想できない事象であった。

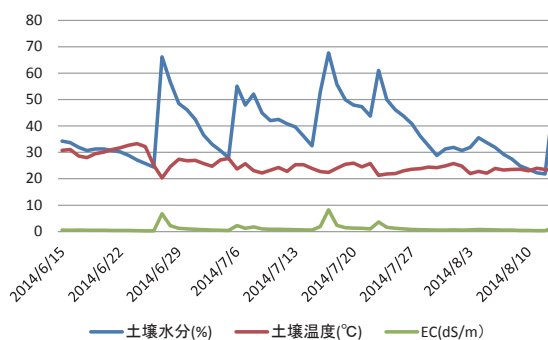


図2 脱硫石膏による土壌改善の化学性変化



写真5 発芽，生育不良となったトウモロコシ

2.2 フルボ酸を利用した土壌改善

2.1 で実施した脱硫石膏による土壌改善は，脱硫石膏のS（硫黄）イオンを利用して土壌のpHを低下させることを期待するものである。また，粘土鉱物表面に付着して容易に用水での除去が難しいNa（ナトリウム）イオンは，脱硫石膏のCa（カルシウム）イオンと交換することを期待していた。脱硫石膏による土壌改善は，このような効果を期待して，農地改善のために実施されていた。

しかし，夏季の集中した降雨による土壌水分の上昇に伴ってEC（電気伝導度）が上り，植物が発芽・生長しない濃度になることが確認できたことから，森林内に微量に含まれているフルボ酸（Fulvic Acid）を利用して，粘土鉱物からNa（ナ

トリウム) イオンを析出, 排出させる手法を現地での予備試験から実施した。この新たな手法について説明する。

a) 日本の森林資源を利用して生産したフルボ酸
自然界にあるフルボ酸は微量な成分であることから, 腐植土からの抽出や水域からの抽出等で利用されてきた経緯がある。しかし, 現在では未分解の有機質資材を, 極強酸性の有機酸で処理して養生することによって植物由来のフルボ酸を大量に生産することが可能となってきた (写真 6)。

今回の新たな土壤改善手法では, 日本の森林資源を利用して生産されたフルボ酸を利用した。

b) フルボ酸を利用した土壤改善 (予備試験)

対象となる高塩類 (強アルカリ性) 土壤を畝状に盛り上げた上面から, 50 倍に希釈したフルボ酸を段階的に浸み込ませることによって土壤 EC (電気伝導度) を段階的に低下させることに成功した。

高塩類 (強アルカリ性) 土壤の粘土鉱物からフルボ酸のキレート効果 (通常は金属単体での生物の吸収は非常に難しい。しかし, 金属がフルボ酸 (腐植) で挟まると金属のキレート錯体が形成され, これによって生物に吸収され易くなる効果)¹⁾ によって析出して排出された塩類は結晶化することから粘土鉱物表面への再度付着は起こらず, 降雨によって容易に洗い流すことが可能である (写真 7)。



写真 6 フルボ酸



写真 7 土壤から析出した塩類¹⁾

c) フルボ酸を利用した土壤改善 (本施工)

農地土壤の改善に際しては, 深さ 15 cm を耕耘し, この耕耘した土壤を重ねて高さ h=30 cm の畝を作った。この畝の上面から 50 倍に希釈したフルボ酸を散布することで, 土壤 EC (電気伝導度) の低下を期待した。農地改善は, 2015 年の 4 月に実施し, 5 月に中国産のトウモロコ

シを播種した。

播種してから 4 カ月経過した 2015 年 9 月には, 播種したトウモロコシの発芽不良や枯死は確認されず, トウモロコシの実がなり収穫まで確認することができた (写真 8)。土壤改善手法を施した農地における土壤 pH は 8 程度となり, 土壤 EC (電気伝導度) については, 0.6~0.7 dS/m まで低下させることができた。



写真 8 高塩類 (アルカリ性) 土壤から析出した塩類²⁾

3 終わりに

中華人民共和国の高塩類 (アルカリ性) 土壤の改善について, 失敗事例を交えながら改善手法を説明した。海外において問題となっている土壤環境を改善する場合には, 気象環境や土壤の物理性, 化学性がわずかしか示されていないことが多い。また, 日本において行っている手法がそのまま適用できない場合もあることから, 現地での事象を丁寧に解析, 評価しながら順応的対応を進めて行くことが必要と考える。

<引用文献>

- 1) 田中賢治・飛田和陽子共著:「大自然の生命のカフルボ酸」, pp.119-136, エコー出版, 2015
- 2) 田中賢治・森千夏: JATAFF ジャーナル, 第 4 巻 3 号, pp.23-27, 農林水産・食品産業技術振興協会, 2016/3/1

田中 賢治 (たなか けんじ)

技術士 (森林/農業/総合技術監理部門)

日本技術士会 森林部会 理事
国土防災技術 (株)
本社 事業本部
執行役員 緑環境事業部長
e-mail: k-t@jce.co.jp

