

平成22年 5月17日現在

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19405039  
 研究課題名 (和文) 根圏の塩類動態制御による砂漠化進行地域の高持続性型畑作管理技術  
 研究課題名 (英文) Management techniques for sustainable farming in a region under desertification based on the control of salt movement in the root zone.  
 研究代表者  
 小林哲夫 (KOBAYASHI TETSUO)  
 九州大学大学院・農学研究院・学術特任教員  
 研究者番号：20032576

## 研究成果の概要 (和文)：

半乾燥地の黄河上流域 (甘肅, 中国) に実験圃場を設置し, また日本における室内実験を併用して, 二種類の塩類化土壌の改良技術, すなわち灌漑畑地の塩類化プロットから塩類を除去する有効な技術として著者によって提案された PSW-Well 法と, 土壌からの塩類吸収能力が高い作物 (クリーニングクロープ) の栽培に基づく生物学的改良法, についての実験を行った. その結果, 両方法が有効に機能するための必要条件が示された:

- (1) PSW-Well 法は, 流域内の帯水層系が均質で, 宙水面が発達しないことが有効に機能するための必要条件である.
- (2) クリーニングクロープは, 塩類をよく吸収するだけでなく, 水要求度が低いことが必要である.

## 研究成果の概要 (英文)：

An experimental field was established in the upper Yellow River basin (Gansu, China) in a semiarid region and experiments were conducted on the two techniques of reclaiming salt-affected soil, the PSW-Well (pumping-up-saline-water-from-wells) method which was proposed by the present author as an effective technique to leach salts from saline soil plots in irrigated fields, and the biological reclamation method which is based on the cultivation of crops that absorb salts actively from the soil (cleaning crops). Indoor experiments were also done in Japan at the same time. The results showed that the two techniques need essential conditions to accomplish their purposes, respectively, as follows:

- (1) The PSW-Well method works well when the aquifer system through the basin is so homogeneous that perched water tables are not developed.
- (2) Cleaning crops should be good for absorbing salts and low in the demand for water as well.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2008年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
総計	11,800,000	3,540,000	15,340,000

研究分野：気象水文学

科研費の分科・細目：農学・農業環境工学

キーワード：塩類化，ソーダ質化，灌漑畑，EC，リーチング，クリーニングクロープ，黄河，NFT ベッド

## 1. 研究開始当初の背景

筆者は、2002年12月以降、日本科学技術振興機構（JST）のCRESTに参加し、黄河流域の節水・塩類化防止型灌漑技術の開発に従事してきた。本研究課題申請時は5年間の研究期間の最終年度にあたり、研究成果のとりまとめを行っていた。黄河流域の灌漑畑地には、塩類化が集中的に進んだ数十ないし数百メートルサイズのスポットが点在し、このような塩類化スポットは粘土成分の多い場所であることが明らかになった。CRESTの成果に基づいて塩類化スポットの塩類除去方法として、スポット内に井戸を掘削して塩分濃度の高い地下水を排水するPSW-Well法を提案し、またクリーニングクロープを用いて生物学的に塩類を除去する方法の可能性をさぐるべきであると結論づけた。そこでそれらの実証実験を黄河上流域で行うために、CRESTの共同研究者を中心とするメンバーと諮り、本研究課題を申請した。

## 2. 研究の目的

(1) PSW-Well法の実証実験とクリーニングクロープの栽培実験を黄河流域の塩類化圃場で実施する。

(2) クリーニングクロープの塩類吸収量と蒸散量を室内実験によって量的に評価する。

## 3. 研究の方法

(1) 黄河上流域の甘肅省白銀市のPingbu村に実験圃場を設置し、実験圃場およびその周辺の気象・水文・土壌物理学の特徴について調査した。

(2) 観測井戸を掘削し、揚水実験によって地下水の量的・質的挙動を調査した。

(3) トウモロコシとヒマワリを栽培し、栽培土壌のECと含有イオン量、および植物体内のイオン量とその季節変化を測定した。

(4) 九大において、トウモロコシ、ヒマワリ、ダイズ、ビートのイオン吸収量および蒸散量に関するコラム実験を行った。

(5) 佐賀大において、土壌のECおよびイオン含有量の測定・表示法についての比較実験を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 土と水の塩類化とソーダ質化

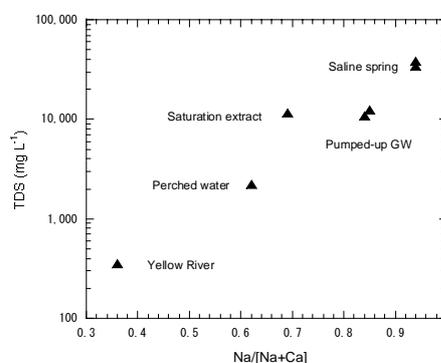
#### ①pH

黄河水のpHは8.4、地下水のpHは7.3、宙水のpHは7.5~9.1であった。Ca-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O系のpHは、CO<sub>2</sub>分圧が0.00038気圧であれば8.3、0.01気圧であれば7.3になる。根域内のCO<sub>2</sub>分圧は、植物生長期にはこの程度まで増大するので、これらの結果は黄河水や地下水がほぼCa-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O平衡系にあることを示唆する。

#### ②EC

黄河水のECは0.5~0.7 dS/m、地下水のECは10~20 dS/m、宙水のECは2~13 dS/mであった。また黄土高原の切開壁から湧出する塩水泉のECは43~50 dS/mで、海水のEC（平均49 dS/m）に匹敵した。一方、灌漑畑表土の飽和土壌抽出液のECは10~80 dS/mとなり、地下水および塩水泉内に溶解する塩類の少なくとも一部は、黄河からの灌漑水の蒸発濃縮によるものであることを示唆する。地下水のECは宙水のECより大きく、本地域の塩類化防止のためには、地下水からの毛管上昇の遮断が必要であることが明らかになった。

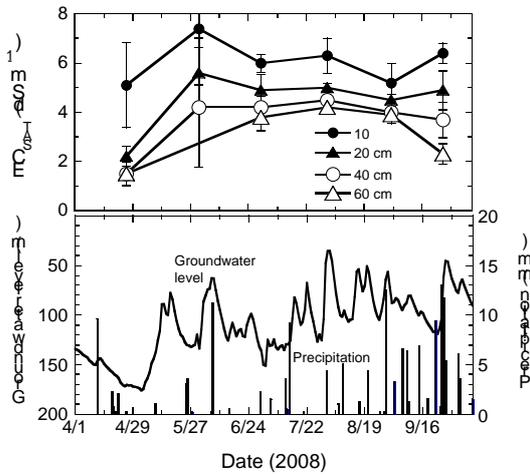
#### ③Na/[Na+Ca]



上図は、Na/[Na+Ca]を横軸、TDS(total dissolved solids)を縦軸（対数目盛）とするGibbs図上へ、実験圃場周辺で採水された各種サンプルの結果をプロットしたものである。黄河水、宙水、地下水、および塩泉水は、蒸発-析出プロセスを表すとされる直線上に分布し、それらが灌漑水である黄河水起源の水であることを示唆する。一方、灌漑畑表土の飽和土壌抽出液は、TDSの割にはNa/[Na+Ca]が小さく、Caの析出が十分でないことを示す。この結果より、灌漑畑表面における蒸発によって高塩類化が起こるだけで

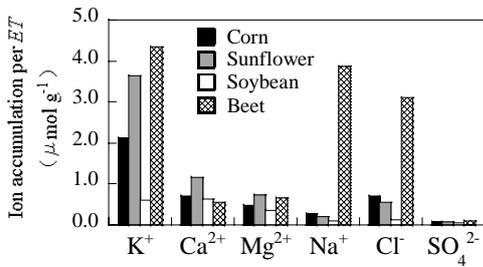
なく、CO<sub>2</sub>濃度の高い根域を浸透する過程で灌漑水の高Na化が起こる示唆する

#### ④ 季節変化



上図(上)は、実験圃場内の深さ10, 20, 40, および60 cmにおける飽和土壌抽出液のEC (EC<sub>SAT</sub>)の季節変化を示す。上図(下)は降水量と宙水深の季節変化を示す。5月11日にこの年最初の灌漑が行われた。宙水深が浅く蒸発散が活発な晩春から夏にかけて根域の塩類化が進み、降水量が比較的多く、秋灌漑(10月下旬~11月上旬)が行われる収穫後には根域のリーチングが進むことがわかる。

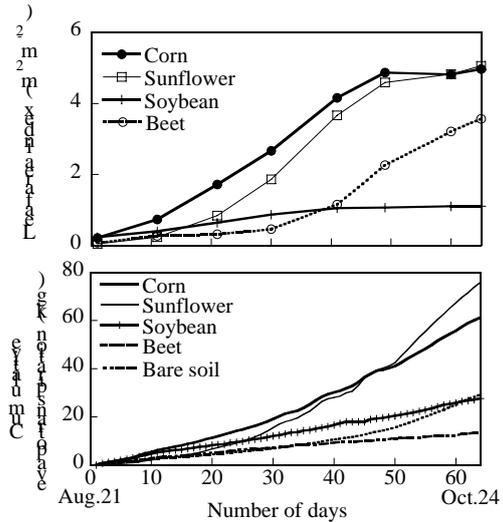
#### (2) クリーニングクロップの栽培実験



上図は、コラム実験によって求めた、収穫時のトウモロコシ、ヒマワリ、ダイズ、およびビートの植物体内のイオン集積量を全蒸発散量で除した値を示す。各種イオンの吸収能はビートが最も大きく、ヒマワリ、トウモロコシと続いた。

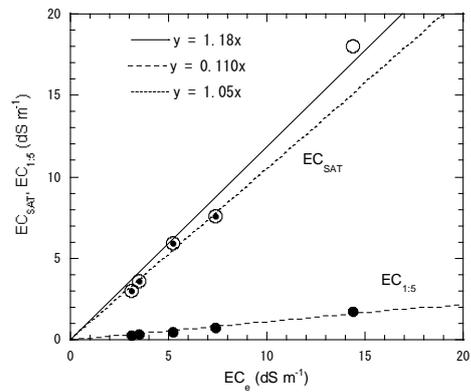
下図は、蒸発散積算量とLAIの季節変化を示す。ヒマワリやトウモロコシは蒸発散量が大きいので、イオン吸収能の効果は相殺され、根域への塩類集積量は大きくなった。

したがって、クリーニングクロップとして適した作物は、水要求度の低いことが必要条件になる。



#### (3) 土壌のECおよびイオン含有量の新表示法

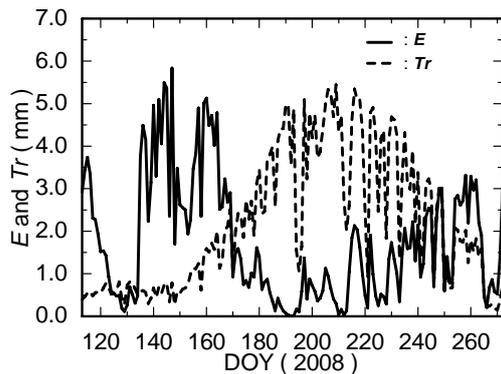
従来、土壌塩類度は飽和土壌抽出溶液のEC (EC<sub>0</sub>)によって表示されているが、測定方法が煩雑であり、また真空ポンプまたは遠心分離器を必要とする。そこで、土土重量比1:xの土壌溶液のEC<sub>1:x</sub>から回帰式に基づいて推定するEC<sub>SAT</sub>を提案し、EC<sub>0</sub>との比較実験を行った。その結果を下図に示す。両者の関係はEC<sub>SAT</sub>=1.1EC<sub>0</sub>となり、新指標は実用に耐えうるものであることが明らかになった。本研究ではEC<sub>SAT</sub>によって土壌の塩類度を表現した。



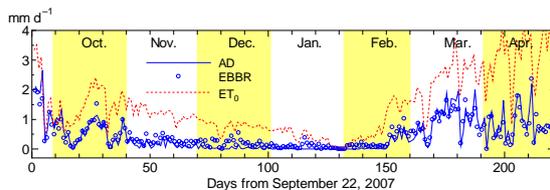
#### (4) 灌漑畑の水収支

冬季の蒸発量および栽培期間中の蒸発散量は灌漑水量評価と密接に関係する。また根域の塩類化は蒸散量に依存するので、地面蒸発量と植物体蒸散量の分離評価が望ましい。本研究では、FAOの双作物係数法を用いて両者の分離評価を行い、Hydrus-1Dソフトウェアを用いて土壌水分の解析を行った。その結果、FAOの双作物係数法は有効であることを確認

した。下図は日地面蒸発量 (E) と日蒸散量 (Tr) の分離評価の結果を示す。



一方、下図は、秋灌漑水量の評価に必要な、冬季の蒸発量を空力法によって評価した結果を示す。冬季の月蒸発量は 10mm より少ないが、3月になると 30mm に達した。降水量は少ないが、秋灌漑水が凍土層を形成し、それが春先に融解し蒸発するためである。



## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

① Yueru Wu, Daisuke Yasutake, Weizhen Wang, Tetsuo Kobayashi, Soil and water salinization and sodification in fields irrigated with water from the Yellow River in a semiarid region, *J. Aridland Studies*, 査読有, Vol.1, No.1, 2010, 15-25.

② Makito Mori, Hisashi Yoshikoshi, Tetsuo Kobayashi, Weizhen Wang, Daisuke Yasutake, Determination of the aerodynamic roughness length of a bare soil field using Monin-Obukhov similarity theory, *J. Agric. Meteorol.*, 査読有, Vol. 66, No. 2, 2010, in press.

③ Daisuke Yasutake, Takuya Araki, Weizhen Wang, Tetsuo Kobayashi, Hiroyuki Cho, Makito Mori, Masaharu Kitano, Analysis of salts transport affected by root absorption capacity in surface-irrigated fields in the upper Yellow River basin, *biologia*, 査読有, Vol.64, No.3,

2009, 570-574.

④ Tetsuo Kobayashi, Junichi Teshima, Makito Mori, Daisuke Yasutake, Weizhen Wang and Hiroyuki Cho, Identification of the composite parameters of the BBH-B model specifying the effects of biohydrologic processes on the water balance of crop fields, *biologia*, 査読有, Vol.64, No.3, 2009, 478-482.

⑤ Hisashi Yoshikoshi, Tetsuo Kobayashi, Weizhen Wang, Daisuke Yasutake, A characteristic feature of diurnal air temperature variation in the upper Yellow River valley in a semi-arid region, *J. Agric. Meteorol.*, 査読有, Vol.65, No.2, 2009, 215-219.

⑥ Daisuke Yasutake, Kota Hidaka, Yuki Sago, Takuya Araki, Masaharu Kitano, Tetsuo Kobayashi, Katsumi Ishikawa, Absorption and transport of water and ions in corn sunflower plants grown under saline conditions, *J. Agric. Meteorol.*, 査読有, Vol.65, No.1, 2009, 19-26.

⑦ Weizhen Wang, Tetsuo Kobayashi, Daisuke Yasutake, Masaharu Kitano, Hiroyuki Cho, Takuya Araki, Hisashi Yoshikoshi, Experiments on the control of salinity and sodicity in surface-irrigated fields in the upper Yellow River valley (I) Objectives and methodology, *J. Fac. Kyushu Univ.*, 査読有, Vol.53, No.1, 2008, 251-256.

⑧ Hisashi Yoshikoshi, Weizhen Wang, Hiroyuki Cho, Takuya Araki, Daisuke Yasutake, Jian Zhou, Kazuki Urayama, Yueru Wu, Tetsuo Kobayashi, Masaharu Kitano, Experiments on the control of salinity and sodicity in surface-irrigated fields in the upper Yellow River valley (II) Observation system and calibration, *J. Fac. Kyushu Univ.*, 査読有, Vol.53, No.1, 2008, 257-263.

⑨ Tetsuo Kobayashi, Daisuke Yasutake, Yueru Wu, Kazuki Urayama, Kenta Tagawa, Weizhen Wang, Hiroyuki Cho, Experiments on the control of salinity and sodicity in surface-irrigated fields in the upper Yellow River valley (IV) Tools for analyzing soil salinity and sodicity and related properties of the field soils, *J. Fac. Kyushu Univ.*, 査読有, Vol.53, No.2, 2008, 535-541.

⑩ Tetsuo Kobayashi, Daisuke Yokoyama, Kenji Ebihara, Yasutaka Sonoda, Yoshinobu Sakata, Kazuki Urayama, Hiroyuki Cho, Hisashi Yoshikoshi,

Masaharu Kitano, Column experiments on the salt accumulation in adjoining different-textured soil profiles with a shallow water table, J. Fac. Kyushu Univ., 査読有, Vol.53, No.2, 2008, 529-534.

〔学会発表〕（計 2 件）

- ① 森 牧人・安武大輔・王 維真・呉 月茹・張 智慧・小林哲夫・北野雅治, 黄河上流灌漑地域における塩類化の実態 (1) 丘陵からの高塩性湧水の調査, 平成 21 年度日本農業気象学会中国四国支部大会, 2009, 高知
- ② 田川堅太・長 裕幸・小林哲夫・森 牧人・王 維真, 中国黄河流域におけるトウモロコシ畑圃場に関する土壌水分移動解析, 2010 土壌水分ワークショップ, 2010, 東京

〔図 書〕 計 (1) 件

Tetsuo Kobayashi and Masaharu Kitano (Ed), Biohydrology of Farmland under Desertification, SPA & Water Press, 2010, p. 168.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小林哲夫 (KOBAYASHI TETSUO)  
九州大学大学院・農業研究院・学術特任教員  
研究者番号：20032576

### (2) 研究分担者

森 牧人 (MORI MAKITO)  
高知大学・農学部・准教授  
研究者番号：60325496  
長 裕幸 (CHO HIROYUKI)  
佐賀大学・農学部・教授  
研究者番号：90136599  
荒木卓哉 (ARAKI TAKUYA)  
愛媛大学・農学部・准教授  
研究者番号：10363356  
安武大輔 (YASUTAKE DAISUKE)  
高知大学・農学部・准教授  
研究者番号：90516113  
(H19→H20：連携研究者)