

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 1 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23405037

研究課題名(和文) 乾燥地の塩類化農地における持続可能な植物生産と塩類動態制御

研究課題名(英文) Sustainable plant production and salinity control in farm land under desertification

研究代表者

北野 雅治 (Kitano, Masaharu)

九州大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：30153109

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円、(間接経費) 4,350,000円

研究成果の概要(和文)：砂漠化進行地域の畑作圃場の塩類化の抑制と持続可能な高収益植物生産の両立を検討するために、中国黄河上流域に試験地を設け、農家の畑作圃場と園芸温室における現地観測実験を行うと共に、九州大学等において、大型植栽コラムによる塩類化実験，塩類化地下水による高糖度トマト栽培実験，簡易太陽熱淡水化装置の試作による基礎実験を行った。砂漠化進行地域における持続可能な輪作体系，高付加価値植物の周年施設生産および蒸留淡水化システムによる塩類動態制御技術等を導入した持続可能な「乾燥地農場モデル」の有効性を提示した。

研究成果の概要(英文)：On the basis of regional natural resources and plant physiological functions found in the arid land, we proposed a farming model for sustainable and highly profitable plant production. The proposed farming model consists of the sustainable crop rotation in a field and the sustainable greenhouse cultivation of highly profitable vegetables. The sustainable crop rotation involves corns as the major crop, beets with uniquely high salt absorbing power and cover crops such as clover, where the soil salinity control can retard salt accumulation in the soil and the ground water. The sustainable and profitable greenhouse cultivation involves the soilless culture of high-sugar tomatoes by applying the salinized groundwater and the simple solar desalination system for the salinized groundwater.

研究分野：農業気象学・生物環境工学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：乾燥地 塩類化 輪作 根のイオン吸収 持続可能性 淡水化装置 高付加価値植物 地域資源

1. 研究開始当初の背景

乾燥地は地球上の総陸地面積の約 41% をしめ、20 億人以上が砂漠化の影響を受けている。乾燥地では、降雨の多くが蒸発や植物からの蒸散によって失われるため、植物の殆どない砂漠や樹木の乏しい草原などの景観を呈している。生態系の生産力が極めて乏しい乾燥地の約 65% が、人口急増地域であるアジア、アフリカに分布しており、これらの地域において環境保全的で持続可能な食料生産を可能にすることが、人類の普遍的な重要課題になっている。乾燥地では、土壌の塩類化と風水食という植物生産を阻害する 2 つの困難な問題に直面している。特に、土壌の塩類化は、植物生産に有利な平地の地下水位が比較的高い場所で生じやすく、全耕作農地の約 60% で土壌の塩類化が進行し、世界の 100 以上の国の農地で問題になっていると言われている。

2. 研究の目的

本研究では、乾燥地の多様な地域資源を活用する環境保全的な植生管理と適正技術の導入によって、塩類化農地を抱える農村地帯での塩類化の抑制と持続可能な高収益植物生産の両立を目指す。試験調査は日本から近い乾燥地である黄河流域の試験地で実施し、塩類化農地における気象資源（日射、地温不易層等）、水土資源（塩類化地下水、塩類化土壌等）、生物資源（耐塩性植物、寄生植物等）の有用性を評価し、それらを活用した持続可能な高収益畑作体系、高付加価値植物周年施設生産および輪作と蒸留淡水化システムによる塩類動態制御等を導入した持続可能な「乾燥地農場モデル」の有効性を検討する。

3. 研究の方法

(1) 中国黄河上流域蘭州市近郊の甘肅省平堡（図 1）の農家の塩類化畑作圃場にトウモロコシ、ヒマワリ、ビート、コムギ、裸地の試験区画を設置すると共に、現地農家のビニルハウス（中国式日光温室）を観測用温室として選定した。これらの管理および農家との調整を、蘭州市にある中国科学院寒区旱区環境工学研究所の王維真教授に依頼した。



図 1 黄河上流域の試験地の位置

(2) 甘肅省平堡の試験圃場においては、気象ステーションを設置して、日射、純放射、気温、湿度、風向風速、雨量、地下水位および地下水の電気伝導度を測定するとともに、各試験区画に TDR 土壌水分・電気伝導度センサを埋設して、土壌水分量と総イオン量を測定した。また、観測用温室では、温室内の日射、気温、湿度、土壌温度、土側壁温度、さらに熱流板を多数埋設して土壌内熱流、土側壁内熱流等を周年で測定した。

(3) 現地試験圃場の作物の生育状況に応じて 5 月中旬頃（初期生育時期）、6 月末頃（繁茂時期）、11 月初旬頃（収穫直後）、冬季（裸地）の年 4 回程度、研究分担者等を現地に派遣して、試験圃場および観測温室のデータ回収等を行うと共に、土壌、植物体、地下水の試料を採集して、蘭州市の中国科学院寒区旱区環境工学研究所において基本的な調整と分析等を行った。

(4) 現地試験圃場データについては、試験圃場の蒸発散量、土壌内の水分およびイオン動態、作物別のイオン吸収量等を解析し、土壌の塩類集積に及ぼす作物体のイオン選択吸収の影響のシミュレーションを検討した。また、現地観測温室においては、温室内の環境および熱収支解析を周年で行い、周年無加温栽培の可能性を検討した。

(5) 黄河中流域の寧夏ウイグル自治区固原地区の試験地において、タマリクスを前提として土、水、気象環境、タマリクスとの生理生態およびタマリクスに接種したニクショウヨウ（漢方薬）の越冬能力を観察した。これらの管理を中国科学院水土保持研究所馬永清教授に委託した。

(6) 研究代表者（北野）が所属する九州大学において、異なる作物種を植栽した 8 個の大型土壌コラムを用いた土壌塩類化基礎実験、塩類化地下水を活用した高付加価値耐塩性植物（トマト）の水耕栽培法の実証試験、太陽熱蒸留淡水化のモデルシステムの実証試験、潜熱蓄熱材を援用した太陽熱蓄放熱試験を実施した。

4. 研究成果

(1) 土壌への塩類集積が、作物根の水とイオンの吸収特性、塩類蓄積能および茎葉の形態に依存することを明らかにした。すなわち、図 2 および図 3 に示すように、トウモロコシとヒマワリは、蒸発散（葉からの蒸散と土壌面からの蒸発）が多く、Na、Cl 等の塩類の吸収能が著しく低いので、活発に毛管上昇した塩類化地下水の塩類が土壌に残されて土壌の塩類化を促進した。一方、ビートは、蒸発散が少なく、Na、Cl 等の塩類の吸収能と蓄積能が著しく高いために、土壌への塩類集積を抑制した。また、土壌面を覆う cover crop（クローバー等）は、蒸発散が著しく少ないために、土壌への塩類集積を抑制した。

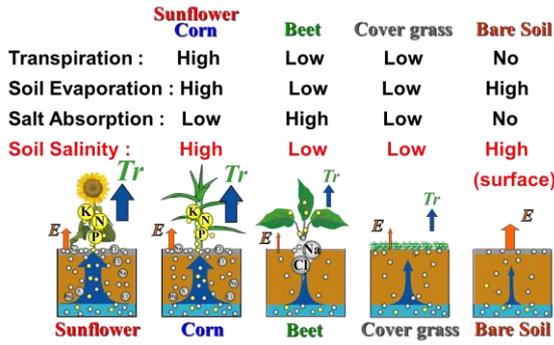


図2 作物別の土壤塩類化の特徴

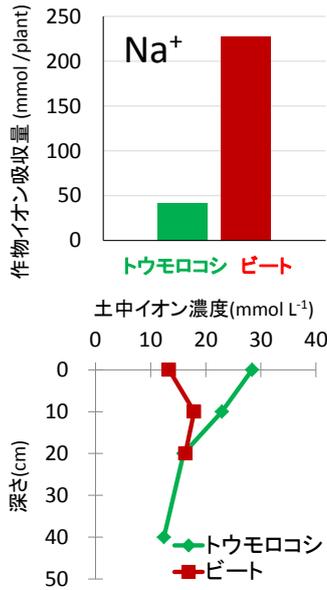


図3 トウモロコシとビートの試験圃場の塩類化の特徴

(2) 作物根の塩類化イオンの吸収速度は、新規に構築した蒸散統合型イオン吸収モデル(1)式で評価可能であった。

$$Q_M = Q_{\max} \frac{[M] \cdot Tr}{K_M + [M] \cdot Tr} \quad (1) \text{式}$$

ここで、 Q_M は根のイオン吸収速度、 Tr は蒸散速度、 $[M]$ はイオン濃度、 Q_{\max} と K_M はモデルパラメータ。

さらに、畑作圃場においては、(1)式の蒸散統合モデルを(2)式の蒸発散統合型イオン吸収モデルに改変した。

$$Q_M = Q_{\max} \frac{C \cdot [M] \cdot ET}{K_M + C \cdot [M] \cdot ET} \quad (2) \text{式}$$

ここで、 ET は蒸発散速度、 C はモデルパラメータ。根の蒸散統合型イオン吸収モデルに基づいて塩類集積のシミュレーションを行った結果、図4に示すように、作物の生育期間中の作物体と土壌中への塩類集積がシミュレーションによって再現できた。作物の吸収機能モデルによる塩類化予測は、塩類化を遅延させる輪作計画の策定に寄与することが期待される。

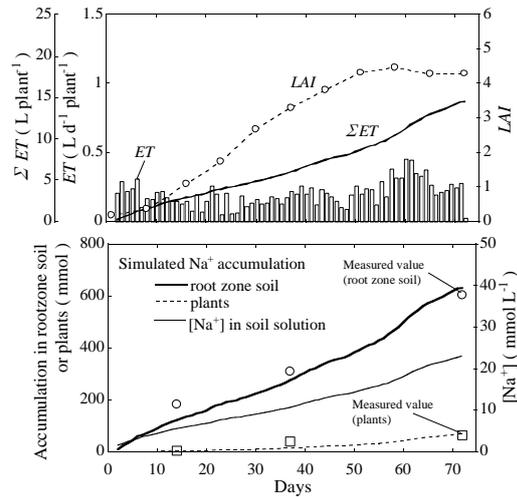


図4 トウモロコシの生育期間中の塩類集積(土壌および作物体)の蒸発散統合型イオン吸収モデルによるシミュレーション結果

(3) 耐塩性灌木のタマリクスは現地の塩類化環境下で健全に生育するが、タマリクスの根に接種したニクショウヨウ(漢方薬)は、自然状態では土壤凍結によって越冬不可能であることが判明した。

(4) 現地農家ハウスでの環境計測と熱流解析の結果、図5に示すように厳冬期に外気温がマイナス10℃以下に低下しても、ハウス内気温は無加温でもプラス10℃以上に保たれることを明らかにした。このことには、昼間に地中に蓄熱された太陽熱が、夜間にハウス内に放熱されることおよびハウス外面のわら資材による外断熱の効果であることを定量的に明らかにした。また、ハウスの土側壁の蓄熱・放熱の効果は、予想外に小さいことを示した。さらに、太陽熱の蓄放熱効果を高める方策として、ハウス側壁に潜熱蓄熱材を設置するモデル実験を行い、潜熱蓄熱材の蓄放熱効果を実証した。

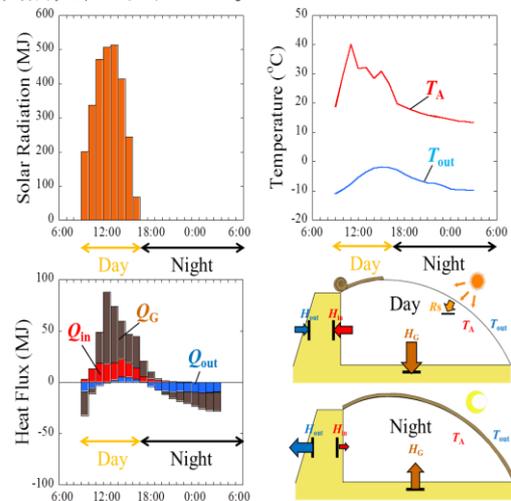


図5 中国式日光温室における日射量、気温および熱流の動態： Q_{in} 、内壁面から温室内空気への熱流量； Q_{out} 、外壁面から外気への熱流量； Q_G 、温室内土壌から温室内空気への熱輸送量

(5) 現地の塩類化地下水と同じ成分組成の塩水を水耕液に施用してトマトの水耕栽培を行った結果、図6に示すように、通常のトマトの糖度が5程度であるのに対して、糖度7以上の高糖度トマトが安定的に生産可能であった。これらのことから、現地の地域資源である太陽熱と塩類化地下水の有効利用によって、高品質野菜の無加温周年栽培の可能であることが示唆された。

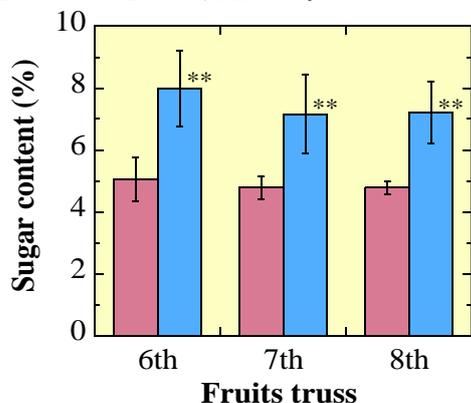


図6 塩類化地下水施用による高糖度トマト生産

(6) 塩類化地下水と太陽熱を利用する蒸留淡水化のモデルシステム(図7)を開発した。システムは、4mの黒色プラスチックパイプ(φ=42mm)をS字状に10本繋ぎ、10本のパイプ列の背面に反射板を設置し、農業用ビニルで覆ったものである。上端のパイプ入口から塩類化地下水とハウス内の空気が送り込まれ、10本目のパイプ末端から濃縮された熱水と高温高湿空気が排出される。この高温高湿空気を、地温不易層内の地中パイプに送り込むことで淡水が回収される。システム出口の空気の気温は日中60℃以上に達し、常に水蒸気で飽和していた。淡水回収の効率は日射からの受熱に大きく依存し、黄河流域の夏季の晴天日の日積算日射量(30MJ m⁻² d⁻¹)に対して淡水回収量を試算した結果、本試作システム一式で1日当たり6.5kg程度の淡水が回収できることが示唆された。

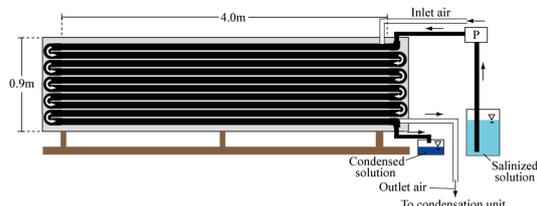


図7 塩類化地下水と太陽熱を利用する蒸留淡水化のモデルシステム

(7) 以上の成果に基づいて、砂漠化進行地域の塩類化畑作地域において、図8に示すような持続可能な輪作体系、高付加価値植物の周年施設生産および太陽熱蒸留淡水化システムによる塩類動態制御技術等を導入した持続可能な「乾燥地農場モデル」の有効性を提示した。

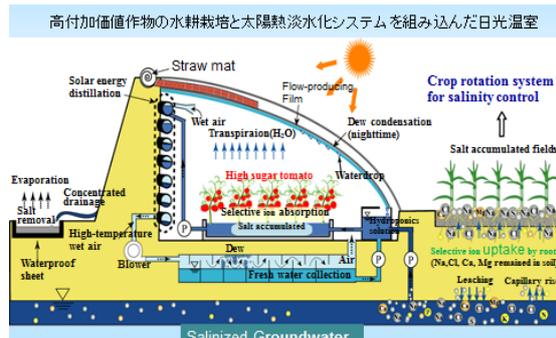


図8 持続可能な「乾燥地農場モデル」の例

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24件)

- ① Yasutake, D., Kiyokawa, C., Kondo, K., Nomiyama, R., Kitano, M., Mori, M., Yamane, S., Maeda, M., Nagare, H. and Fujiwara, T. Characteristics of Nutrient Salt Uptake Associated with Water Use of Corn Catch Crop Field at Different Plant Densities in a Greenhouse. *Pedosphere*, 査読有, 24, 2014, pp. 339-348.
- ② Mori, M., Nagai, H., Ogata, T., Yasutake, D. and Kitano, M. Soil moisture variability on a steep slope near a ridge in a forested mountain range, Shikoku, Japan: a model study. *Biologia*, 査読有, 68, 2013, pp. 1109-1112. DOI: 10.2478/s11756-013-0256-5
- ③ Nomiyama, R., Yasutake, D., Sago, Y. and Kitano, M. Transpiration integrated model for root ion absorption under salinized condition. *Biologia*, 査読有, 68, 2013, pp. 1103-1107. DOI: 10.2478/s11756-013-0255-6
- ④ Mojid, M.A., Cho, H., Miyamoto, H. Evaluation of a lock-in-amplifier-based spectral induced polarization method for soil characterization of soil texture. *Environmental Control in Biology*, 査読有, 50, 2012, pp. 363-374. DOI: 10.2525/ecb.50.363
- ⑤ Nomiyama, R., Ebihara, K., Takata, M., Sakamoto, D., Sago, Y., Yasutake, D., Marui, A., Eguchi, T., Mori, M., Araki, T., Tagawa, K., Cho, H., Wu, Y., Wang, W. and Kitano, M. Root Absorptive Functions Drive Salt Accumulation in Crop Fields under Desertification. II. Effects of Different Plant Species. *Eco-Engineering*, 査読

- 有, 24, 2012, pp.69-75.
- ⑥ Nomiyama, R., Sago, Y., Yasutake, D. and Kitano, M. Application of a Kinetic Model for Analysis of Salt Absorption of Crop Roots under the Salinized Condition. *Environmental Control in Biology*, 査読有, 50, 2012, pp. 153-161.
DOI: 10.2525/ecb.50.153
- ⑦ Mojid, M.A. and Cho, H. Effect of water content and temperature on the surface conductivity of bentonite clay. *Soil Research CSIRO*, 査読有, 50, 2012, pp. 44-49.
DOI: 10.1071/SR11228
- ⑧ Araki, T., Yasutake, D., Wang, W., Wu, Y., Mori, M., Kitano, M., Cho, H. and Kobayashi, T. Saline water seepage from drainage canals induces soil salinization and growth depression in the adjacent cornfields in the Upper Yellow River basin. *Environmental Control in Biology*, 査読有, 49, 2011, pp. 127-132.
DOI: 10.2525/ecb.49.127
- ⑨ Yasutake, D., Kitano, M., Nagasuga, K., Araki, T., Osman, A. K. and Ishikawa, K. Use of a high-pressure flowmeter for evaluating hydraulic characteristics of plant organs and absorption functions of roots. *Environment Control in Biology*, 査読有, 49, 2011, pp. 99-105.
DOI: 10.2525/ecb.49.99

[学会発表] (計 61 件)

- ① Nomiyama, R., Yasutake, D., Mori, M. and Kitano, M. Transpiration-integrated model for root ion absorption under the salinized condition. 3rd Biohydrology Conference, 21 May, 2013, Germany.
- ② Mori, M., Nagai, H., Ogata, T., Yasutake, D. and Kitano, M. Soil moisture variability on a steep slope near a ridge in a forested mountain range, Shikoku, Japan: a model study. 3rd Biohydrology Conference, 23 May, 2013, Germany.
- ③ Yasutake, D., Kiyokawa, C., Kondo, K., Nomiyama, R., Kitano, M., Mori, M., Yamane, S., Maeda, M., Nagare, H. and Fujiwara, T. Characteristics of salt absorption by roots of corn catch crop at different densities in a greenhouse. 3rd Biohydrology Conference, 23 May, 2013, Germany.
- ④ Nomiyama, R., Yasutake, D., Mori, M., Tagawa, K., Cho, H., Marui, A., Wang, W. and Kitano, M. Simulation of soil

salinization affected by absorptive function of crop roots. 3rd Biohydrology Conference, 23 May, 2013, Germany.

- ⑤ 北野雅治、日置洋平、安武大輔、野見山綾介 砂漠化進行地域における持続可能な高収益植物生産システムに関する研究 生態工学会 2013 年次大会、2013 年 6 月 30 日、町田市
- ⑥ 野見山綾介、安武大輔、佐合悠貴、北野雅治 根系の速度論的イオン吸収モデルに基づく砂漠化進行畑地の塩類動態評価に関する研究 生態工学会 2013 年次大会、2013 年 6 月 30 日、町田市
- ⑦ Hioki, Y., Nomiyama, R., Sago, Y., Yasutake, D., Mori, M., Cho, H., Wang, W., Wu, Y. and Kitano, M. Sustainable and Profitable Greenhouse Production in Salinized Crop Fields under Desertification. The 6th International Symposium on the East Asian Environmental Problems 2012, 6 November, 2012, Fukuoka.
- ⑧ 日置洋平、安武大輔、野見山綾介、森牧人、王維真、北野雅治 中国日光温室における土壁面の蓄放熱効果について 生物環境工学会 2012 年度大会 2012 年 9 月 7 日、文京区
- ⑨ Yasutake, D., Wang, W., Kobayashi, T., Wu, Y., Araki, T., Cho, H., Mori, M. and Kitano, M. Seasonal change in soil salinity of irrigated fields in the upper Yellow River basin. The 5th International Symposium on the East Asian Environmental Problems 2011, 14 November, 2011, Fukuoka.
- ⑩ Mori, M., Wang, W., Kobayashi, T., Cho, H., Yoshikoshi, H., Wu, Y., Yasutake, D. and Kitano, M. Estimation of evaporation for analyzing the water balance of a field in the Yellow River basin, China, during a dormant season. The 5th International Symposium on the East Asian Environmental Problems 2011, 14 November, 2011, Fukuoka.

[その他]

- ① 生態工学会奨励賞受賞
野見山綾介、北野雅治 「砂漠化進行畑作圃場における土壌の塩類集積に対する作物の物質吸収機能の影響：異なる植物種の影響」、2013 年 6 月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北野 雅治 (KITANO Masaharu)
九州大学・農学研究院・教授
研究者番号：30153109

(2) 研究分担者

大槻 恭一 (OTSUKI Kyoichi)
九州大学・農学研究院・教授
研究者番号：80183763

多田内 修 (TADAUCHI Osamu)
九州大学・農学研究院・教授
研究者番号：10150509

鹿島 薫 (KASHIMA Kaoru)
九州大学・理学研究院・准教授
研究者番号：90192533

山中 典和 (YAMANAKA Norikazu)
鳥取大学・乾燥地研究センター・教授
研究者番号：2020385

長 裕幸 (CHO Hiroyuki)
佐賀大学・農学部・教授
研究者番号：90136599

安武 大輔 (YASUTAKE Daisuke)
高知大学・自然科学系・准教授
研究者番号：90516113

荒木 卓哉 (ARAKI Daisuke)
愛媛大学・農学部・准教授
研究者番号：10363326

江口 壽彦 (EGUCHI Toshihiko)
九州大学・生物環境利用推進センター・准教授
研究者番号：40213540

森 牧人 (MORI Makito)
高知大学・自然科学系・准教授
研究者番号：60325496

(3) 連携研究者

日高 功太 (HIDAKA Kota)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター・研究職員