

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：34419

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07355

研究課題名（和文）多様な水環境下における混作物のストレス応答の定量的評価

研究課題名（英文）Quantitative evaluation of the stress response of mixed crops under various water conditions

研究代表者

廣岡 義博 (HIROOKA, Yoshihiro)

近畿大学・農学部・助教

研究者番号：80780981

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：半乾燥地域における洪水・干ばつ問題への対応策として混作物技術が有用とされているが、混作物の環境ストレス応答を作物学的に評価した例は少ない。そこで、本研究では、多様な水環境下における混作物のストレス応答を評価することを目的とした。本研究では、半乾燥地の主要作物の生育前半の水環境が生産性に影響を与えること、トウジンビエとの混植によりソルガムの乾燥ストレス耐性が強化されることおよびイネとの混植によりダイズの耐湿性が強化されることを定量的に示した。さらに、イネとの接触混植においてはイネ根からの酸素放出によって畑作物の湛水ストレスが緩和され、その酸素放出能には品種間差が存在することを示唆した。

研究成果の概要（英文）：Flood- and drought-adaptive mixed cropping systems are effective in semi-arid regions. However, very few studies in crop science have focused on the environmental stress response of mixed crops. The objective of this study was to evaluate the stress response of mixed crops under various water conditions.

This study quantitatively showed that (1) the water condition in the early growth period affects the productivity of major crops in a semi-arid region, (2) mixed planting with pearl millet mitigates the drought stress of sorghum, and (3) mixed planting with rice mitigates the flood stress of soybean. In addition, the oxygen released from the rice root may mitigate the flood stress of upland crops, and the ability of oxygen release varies among cultivars.

研究分野：作物学

キーワード：混作 水環境 葉面積 イネ 接触混植 酸素放出 湛水ストレス

## 1. 研究開始当初の背景

アフリカの半乾燥地には、洪水や干ばつによって食糧不足になるリスクが高い地域が多く存在している (Bhattacharjee et al., 2011). これらの地域においては洪水や干ばつ年でも常に一定以上の作物生産が維持されるような栽培システムが必要とされているにもかかわらず、新しいシステムの導入は依然として進んでいない。この問題を解決するための一つの農法として注目されているのが、異種作物の混作である。異種作物の混作には、土壤中養水分などの資源の効率的利用や経済的リスクに対する危険分散などのメリットに加えて、環境ストレスに対する緩和効果があることがわかりつつある (Iijima et al., 2016)。一方で、洪水や干ばつなどに対する混作物の環境ストレス応答の変化を定量的に示した例はなく、そのために実用性のある混作物技術の確立がなされていないのが現状である。

一方で、研究代表者はこれまでに、生育・生理指標の非破壊計測を利用した生育特性の定量化手法の開発を行ってきた (Hirooka et al., 2016)。これらの手法はイネ水田においてのみ利用されてきたが、混作物のストレス応答の評価にも有用であると考えられる。そのため、一般的な生育・生理指標の計測に加えて、これらの手法を取り入れることで、多様な水環境下における混作物のストレス応答および環境ストレス緩和効果を定量化できるのではないかと考えた。

## 2. 研究の目的

上述したように、半乾燥地域における洪水や干ばつへの対応策として混作物技術が有用とされているが、混作物の環境ストレス応答を作物学的に評価した例は少ない。そこで、本研究では、多様な水環境下における混作物の水ストレス応答および環境ストレス緩和効果を評価することを目的とした。そのため、(1) アフリカの半乾燥地実験圃場での多様な水環境下におけるストレス応答の定量化、(2) 国内の実験圃場での接触混植による乾燥ストレス緩和効果の定量化および (3) 接触混植による湛水ストレス緩和効果の定量化、さらには、(4) 実験系を用いたイネから畑作物への酸素受け渡し量の測定とその品種間差の検出、の4つの試験を遂行した。

## 3. 研究の方法

### (1) 半乾燥地実験圃場での現地主要作物の水ストレス応答の定量化

2016, 2017年にナミビア大学オゴンゴ校の実験圃場において、研究対象地域の主要作物であるトウジンビエ (*Pennisetum glaucum* L.

cv. Okashana 2) およびササゲ (*Vigna unguiculata* cv. Nakare) の栽培試験を乾季に実施した。畝立て方法 (水環境) の異なる処理区を設定し、いずれも条間 1.2 m で畝立てを行った。畝立て 5 日後にトウジンビエおよびササゲを、それぞれ株間 60 cm, 25 cm で 1 条播種した。スプリンクラーにより 2 日に 1 度灌水を行うことで、現地の雨季の降水量を再現した (積算約 330 mm)。灌水後の土壌水分含量計測に加えて、生育期間中にトウジンビエおよびササゲの生育・生理指標の計測を行い、さらに成熟期には収量および収量構成要素を測定することで、現地主要作物の水ストレス応答の定量化を試みた。

### (2) トウジンビエとの接触混植によるソルガムの乾燥ストレス緩和効果の定量化

2016年に近畿大学農学部ライシメーター実験圃場において、研究対象地域で普及しつつあるトウジンビエとソルガムの接触混植 (Awala et al., 2016) に関する試験を行った。処理区として、トウジンビエ単植区、ソルガム単植区、トウジンビエとソルガムの接触混植区の3水準を設定した。さらに、乾燥区と対照区を設定し、乾燥区では、植物体が枯死しない程度に最低限の灌水を行うこととした。生育期間中に生育・生理指標の計測を行うことで、トウジンビエとの接触混植によるソルガムの乾燥ストレス緩和効果の定量化を試みた。

### (3) イネとの接触混植による畑作物の湛水ストレス緩和効果の定量化

2016年に、近畿大学農学部実験水田において、圃場試験を実施した。処理区として、イネ単植区、畑作物 (ダイズ・トウモロコシ・トウジンビエ) 単植区、イネと畑作物の接触混植区の3水準を設定した。畑作物の播種後 21 日目にそれぞれの苗を、水田転換畑を模した実験水田に移植した。その後、実験水田を土壌湛水状態におき、5 日間の湛水状態を保持した。畑作物の中でダイズに関しては、2017年も同様の試験を行った。さらに、2017年にはダイズの水耕栽培試験も行い、ダイズの播種 18 日後から 7 日間湛水し、エアープンプで対照区は通気し、湿害区には窒素を流入した。圃場試験・水耕栽培試験ともに生育期間中に、生育・生理指標の計測を行うことで、イネとの接触混植による畑作物の湛水ストレス緩和効果の定量化を試みた。

### (4) 実験系を利用した接触混植時のイネから畑作物への酸素受け渡し量の測定

人工気象室内で水耕栽培したイネと畑作物をガラス製測定容器に入れ、イネ単植区、畑作物単植区、イネ/畑作物混植区を設けた。根からの酸素放出は、Phase I (地上部を大気

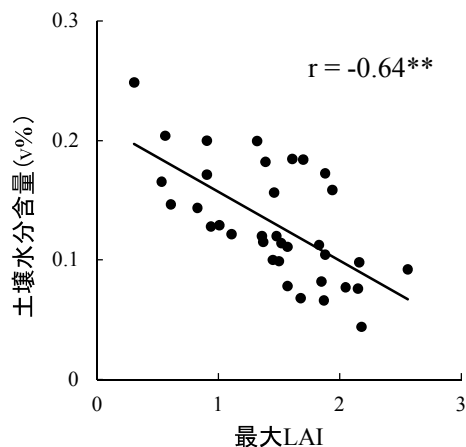
にさらす)と Phase II (地上部を除去する)の水中溶存酸素濃度を酸素センサーで測定し、その酸素吸収量の差し引きから求めた。また、これらの値を用いて、イネ/畑作物混植区と、イネ単植区と畑作物単植区合計値を比較することにより酸素の受け渡し量を評価した。

また、アジアイネ (japonica 2 品種, indica 3 品種), アフリカイネ (2 品種) およびそれらの種間交雑系統 (NERICA 系統 3 品種) の全 10 品種を人工気象室内で播種後 4 週間水耕栽培し、ガラス製測定容器に入れた。それぞれのイネ品種の根からの酸素放出量は、上記と同様の方法を用いて、その酸素減少量の差し引きから算出した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 半乾燥地実験圃場における現地主要作物の水ストレス応答の定量化

成熟期のサンプリングの結果から、土壌水分含量値の大きい処理区では、トウジンビエおよびササゲが湿害を受け、子実収量と地上部乾物重の値が小さくなることが分かった。また、非破壊計測により算出したトウジンビエおよびササゲにおける最大葉面積指数 (LAI) は土壌水分含量と密接に関係しており (第 1 図), ストレス応答の指標として適していることが示された。一方で、出穂期の光合成・蒸散速度などの生理機能の指標に関しては水環境による変異はなかった。これらは、生育後半と比較して、生育前半の乾物生産速度が水環境に大きく影響を受けることと関連していると考えられる。以上の結果から、ナミビア季節性湿地での砂土において、現地主要作物であるトウジンビエおよびササゲの生育前半の水環境 (土壌水分含量) が生産性に大きな影響を与えることが明らかとなった。



第 1 図 トウジンビエにおける最大 LAI と土壌水分含量の関係  
r は相関係数, \*\*は 1%水準で有意性があることを示す。

##### (2) トウジンビエとの接触混植によるソルガムの乾燥ストレス緩和効果の定量化

乾燥条件下でのバイオマス生産性に関して、トウジンビエとの接触混植によるソルガムの乾燥ストレス緩和効果はみられなかった。一方で、生育期間中の光合成速度や出液速度、水ポテンシャルなどの生理指標に関しては、トウジンビエとの接触混植によるソルガムの乾燥ストレス緩和効果が示唆された。これらの結果は、乾燥条件下においては、トウジンビエのハイドロリックリフト現象 (Sekiya and Yano, 2004) によって、ソルガムの生理活性が改善されたことを示唆している。つまり、トウジンビエが未利用の深層水を土壌浅層のソルガムの根圏に輸送することによって、ソルガムの乾燥ストレス耐性を強化していることを示している。

##### (3) イネとの接触混植による畑作物の湛水ストレス緩和効果の定量化

イネとの接触混植に適した畑作物の検討を試みたところ、トウモロコシやトウジンビエなどのイネ科作物と比較して、マメ科作物における湛水ストレス緩和効果が大きいことが示唆された。これはイネ科作物とマメ科作物の混作が養分競合の点で有用であることと関連していると考えられる。

2017 年度のダイズの光合成・蒸散速度に関して、圃場試験では、土壌湛水処理開始 3 日目、処理終了後 1 日目には単植ダイズよりもイネと接触混植したダイズが、それぞれ 5% 水準で有意に高くなった。また、処理終了後 3, 9 日目にも、有意ではなかったがイネと接触混植したダイズで高い値となった。これらの結果は 2016 年度においても同様で、イネと接触混植したダイズの生理指標が単植ダイズのそれを上回る結果となった。2016 年度には湛水ストレス処理前後の葉面積の減少率を算出し、これらはイネとの接触混植におけるダイズの湛水ストレス緩和効果を定量的に評価するのに有用な指標であることが示された。2017 年度に行った水耕栽培試験では、対照区で有意差がなかったのに対して、湿害区では、単植ダイズよりも接触混植ダイズの生理指標が、5% 水準で有意に高くなった。

以上の結果は、イネとの接触混植により、土壌湛水処理中および処理直後のダイズの耐湿性が、生理指標の面から強化されていることを示しており、今後の水田転換畑におけるダイズ栽培に寄与する可能性があることを示唆した。

##### (4) 実験系を利用した接触混植時のイネから畑作物への酸素受け渡し量の測定

湿害耐性をもち、根から酸素を漏出することが知られているイネは畑作物よりも酸素

放出量が大きかった。また、酸素放出量はイネ単植区と畑作物単植区の合計値よりも、イネ/畑作物混植区で小さかった。差し引き法により推定したところ、イネと畑作物間で酸素の受け渡しが起きたことが明らかとなった。また、イネ品種の酸素放出量比較試験において、全てのイネ品種において酸素放出が確認された。地下部新鮮重当たりの酸素放出量（酸素放出能）に関して、アフリカイネの Mala Noir IV が最も小さく、アフリカイネで酸素放出能が低い傾向となった。一方で、アジアイネの indica 品種は酸素放出能が高い傾向にあった。このことは、Wanga et al. (2016) における接触混植した畑作物の生存率に関しての結果と同様の傾向を示していたが、より詳細な品種間差の検出には、圃場に近き条件での酸素放出能の調査が必要であると考えられた。

以上の結果から、イネとの接触混植においてはイネ根からの酸素放出によって畑作物の湛水ストレスが緩和されており、さらにイネの酸素放出能には品種間差が存在し、indica 品種の中に、接触混植に適した品種がある可能性が高いことが示唆された。

#### <引用文献>

- Awala SK, Yamane K, Izumi Y, Fujioka Y, Watanabe Y, Wada KC, Kawato Y, Mwandemele, OD, Iijima M, 2016. Field evaluation of mixed-seedlings with rice to alleviate flood stress for semi-arid cereals. *European Journal of Agronomy*, 80, 105-112.
- Bhattacharjee R, Ntare BR, Otoo E, Yanda PZ, 2011. Regional impacts of climate change: Africa. *Crop adaptation to climate change*, 66-77.
- Hirooka Y, Homma K, Shiraiwa T, Kuwada M. 2016. Parameterization of leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.) utilizing a plant canopy analyzer. *Field Crops Research*, 186, 117-123.
- Iijima M, Awala SK, Watanabe Y, Kawato Y, Fujioka Y, Yamane K, Wada KC. 2016. Mixed cropping has the potential to enhance flood tolerance of drought-adapted grain crops. *Journal of Plant Physiology*, 192, 21-25.
- Sekiya N and Yano K. 2004. Do pigeon pea and sesbania supply groundwater to intercropped maize through hydraulic lift?—Hydrogen stable isotope investigation of xylem waters. *Field Crops Research*, 86, 167-173.
- Wanga MA, Shinohara N, Kawato Y, Yamane K, Iijima M, 2016. 混作による湛水ストレス緩和能力のイネ品種間差. 第 242 回日本作物学会講演会要旨集 p. 98.

#### 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 2 件)

- ① Iijima M, Hirooka Y, Kawato Y, Watanabe Y, Wada KC, Shinohara N, Nanhapo PI, Wanga MA, Yamane K. Short term evaluation of oxygen transfer from rice (*Oryza sativa*) to mixed planted drought-adapted upland crops under hydroponic culture. *Plant Production Science*, 査読有, 20, 434-440. 2017. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2017.1379882>
- ② Hirooka Y, Homma K, Kodo T, Shiraiwa T, Kim S, Mithona C, Tamagawa K, Koike T. Evaluation of cultivation environment and management based on LAI measurement in farmers' paddy fields in Pursat province, Cambodia. *Field Crops Research*, 査読有, 199, 150-155. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.031>

[学会発表] (計 8 件)

- ① 島本雅之, 廣岡義博, 渡邊芳倫, 山根浩二, 飯嶋盛雄. イネとの接触混植によるダイズの耐湿性強化: 圃場と水耕栽培による生理指標の検討. 第 245 回日本作物学会. 2018 年
- ② 廣岡義博, 渡邊芳倫, 庄司浩一, 土屋賢太, 泉泰弘, 宇都宮鑑彦, Simon K. Awala, 飯嶋盛雄. ナミビア季節性湿地帯における畝立て方法がトウジンビエの生育・収量に与える影響. 第 244 回日本作物学会講演会. 2017 年
- ③ 飯嶋盛雄, 川戸良将, 島本雅之, 山根浩二, 廣岡義博, 渡邊芳倫. イネとの接触混植によるダイズの耐湿性強化. 第 244 回日本作物学会. 2017 年
- ④ Iijima M, Awala SK, Hirooka Y, Yamane K. Enhancement of flood stress tolerance for upland-adapted cereal crops by the close mixed-planting with rice. 9th Asian Crop Science Association Conference. 2017.
- ⑤ Shinohara N, Shimamoto H, Kawato Y, Wanga MA, Hirooka Y, Yamane K, Iijima M. Exploration of suitable rice cultivars for close mixed planting with upland-adapted cereal crop. 9th Asian Crop Science Association Conference. 2017.
- ⑥ 土屋賢太, 庄司浩一, 渡邊芳倫, 廣岡義

博, 泉泰弘, 宇都宮鑑彦, Awala Simon K, 飯嶋盛雄. ナミビア季節湿地帯における畝立ての方法がササゲの生育・収量に与える影響. 日本農作業学会第 52 回講演会. 2017 年

- ⑦ 篠原和, 島本雅之, 川戸良将, Maliata A. Wanga, 廣岡義博, 山根浩二, 飯嶋盛雄. イネ根圏における酸素放出能の品種間比較. 第 243 回日本作物学会. 2017 年
- ⑧ Wanga MA, Kawato Y, Shimamoto H, Hirooka Y, Yamane K, Iijima M. Drought stress mitigation on sorghum by the close mixed-planting with pearl millet. 第 243 回日本作物学会. 2017 年

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

廣岡 義博 (HIROOKA, Yoshihiro)  
近畿大学・農学部・助教  
研究者番号：80780891