

令和元年5月29日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07570

研究課題名(和文) 水稻の点滴かんがい栽培の確立

研究課題名(英文) Establishment of cultivation system with drip irrigation and plastic film mulch in rice

研究代表者

磯田 昭弘 (Isoda, Akihiro)

千葉大学・大学院園芸学研究科・教授

研究者番号：10183740

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：点滴かんがいとプラスチックフィルムマルチを使用した水稻栽培システムを生育、収量、生理的特性、子実品質および温室効果ガス発生の観点から調べた。5品種を点滴かんがい栽培(DPB)および水田(CF)で栽培した。子実収量はCFとDPBの間で有意差はなく、DPBは水利用効率が大きかった。2016年と2017年に温室効果ガス発生量を測定した。DPBのメタンガス排出量はCFより小さく、地球温暖化係数(GWP)はCFより89%小さかった。点滴灌漑とプラスチックフィルムマルチを用いた栽培システムは高収量と温室効果ガス発生量の減少させる優れた栽培システムであることが認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界的人口増加と産業の発達に従い水使用量が増加し、農業生産に使用できる水資源が減少する恐れがある。また温室効果ガスによって地球温暖化が進み、大規模な気象変動(気温の上昇、降水量の減少、局地的な豪雨等)が起こり農業生産への影響も懸念されている。その温室効果ガスの一種のメタンガスは、メタン全発生量の約10～20%が水田から発生していると考えられている。水稻点滴かんがい栽培が実用化、普及することにより、多大なる節水効果が得られ、温室効果ガス発生量の抑制の可能性が考えられる。さらに、乾燥地、半乾燥地で水稻栽培が不可能な地でも栽培可能となり、途上国での食糧増産につながるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The rice cultivation system with drip irrigation and plastic mulch film was investigated in terms of growth, yield, physiological characteristics, quality of grains and gas emission, as compared to paddy field. Five cultivars were grown in the upland field with drip irrigation and plastic mulch (DPB) as compared to the paddy field (CF). There was no significant difference in grain yield between CF and DPB, although physiological characteristics were slightly reduced in DPB in 2016. Water use efficiency tended to be large in DPB. In 2016 and 2017, greenhouse gas emissions in DPB were measured as compared to CF. The amount of methane gas emission in CF was 194% higher in 2016 and 69% higher in 2017 than DPB. The global warming potential (GWP) in DPB was 89% smaller than CF. It could be concluded that the cultivation system with drip irrigation and plastic mulch film would be an excellent cultivation system with high yield and reduction of greenhouse gas emission.

研究分野：作物学

キーワード：水稻 点滴かんがい 収量 地球温暖化ガス 節水 メタン

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

温室効果ガスによって地球温暖化が進み、大規模な気象変動(気温の上昇、降水量の減少、局地的な豪雨等)が起こり農業生産への影響が懸念されている(ICPP 2007)。その温室効果ガスの一種のメタンガスは、メタン全発生量の約10~20%が水田から発生していると考えられている。本研究は、烏魯木齊中亜干旱農業環境研究所(現:天源滴灌水稻研究所)が世界に先駆けて開発・普及中である、畑地でのマルチを用いた水稻点滴かんがい栽培の確立と普及を行うことにより、水田土壌からのメタンガス排出削減と亜酸化窒素増大抑制による地球温暖化抑制、節水および肥料効率向上による地下水汚染軽減による地球環境負荷軽減、および乾燥地での水稻生産拡大を目指す。さらに畑作条件下でのマルチを用いた水稻点滴かんがい栽培は、湛水栽培に比べメタンガス排出を大きく削減する可能性を持つ。IRRIでも'Aerobic rice system'として畑地での水稻かんがい栽培を行っているが、湛水栽培の収量レベルには追いついておらず、畑作条件下での水稻栽培自体がメタンガス排出削減策の方策とし実施されていない。またトレードオフの関係にあるメタンより強力な温室効果ガス、亜酸化窒素の増大が抑制されるかの確認もなされていない。また、この栽培方法はメタンガス排出削減以外にも多くの利点を持っている。湛水栽培に比べ約30%の水で栽培可能、点滴かん水チューブを通じて適宜必要量のみ施肥を行うため肥料効率が向上し地下水の汚染を抑えられること、水田にするための整地が不要(傾斜地でも栽培が可能)、ある程度の塩集積・アルカリ性土壌でも栽培可能、水田に比べ栽培管理が簡単等、が挙げられ、乾燥地域での普及が大いに期待されている(新疆ウイグル自治区科学技術成果認定 2010)。さらに水稻は陸稲に比べて生産性が高く、品質がよい、品種選択幅が広い等の利点がある。通常、点滴かんがいシステムは経費がかかるが、中国新疆で展開中の点滴かんがいシステムは安価で、使用後はリサイクル使用され、実際栽培での普及が加速度的に広まっている。

1998年には新疆石河子市に設立された烏魯木齊中亜干旱農業環境研究所(現:天源滴灌水稻研究所)は2004年より畑作条件下でマルチを用いた水稻点滴かんがい栽培の研究を始めた。2009年、2010年にはそれぞれ22ha、135haの面積で6.5 t/ha、7.5 t/haの収量が得られ、現在さらに大規模な経済的栽培に向けて研究を進めている。中国新疆以外でこの方法により栽培されたことはないが、2015年日本において予備試験を行い栽培が可能であることが分かった。もしこの栽培方法が確立できれば、他地域への応用が可能となり、世界の水資源節約と温室効果ガス削減に役立つものと考えられる。しかし、湛水栽培と比べ形態的形質および生理的形質も大きく異なっている可能性等、まだ多くの解明すべき問題点がある。

### 2. 研究の目的

この栽培方法の確立を目指す上で、点滴かんがい栽培に適した多収品種の選択および栽培管理技術の確立が必要不可欠である。また、メタンガス排出削減、肥料効率向上効果については中国新疆でのデータの集積がないことから、栽培期間を通じた解析を行い、客観的評価を行う必要がある。さらには節水効果も詳細に検証することにより、必要供給水量を詳細に算定し今後栽培可能地域の基準とする必要がある。

(1) 湛水条件と畑地条件を設定し、生育期間を通じて点滴かんがい栽培条件下のメタンガス、亜酸化窒素の発生量、かん水量を測定、湛水条件と比較することで、水稻点滴かんがい栽培のメタン排出削減効果、亜酸化窒素増大抑制ならびに節水効果を評価することを目的とした。

(2) 安定的多収栽培技術を確立するため、様々な品種を用い、乾物生産特性、形態的形質および光合成関連形質等の生理的形質について測定し、気象条件と生育の関係を解析し、適正

品種、最適な播種密度、施肥時期および量、かん水量を想定することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 水稻栽培圃場からのメタンガス、亜酸化窒素および二酸化炭素発生量の測定

2016 年は、コンクリート枠圃場に畑圃場の土を充填した水田区 (CF) と畑地に元肥を施与しプラスチックフィルムマルチを用いた点滴かんがい区 (DPB) を、2017 年には点滴かんがい区に点滴チューブを利用して液肥を分施した区 (DPF) を加えて設けた。すべての区においてコシヒカリ用い直播した。両年において、CF および DPB で基肥として 10a 当たり N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=4:4:4 kg 施肥し、2017 年の DPF では同量の液体肥料を分施した。両年とも追肥として 10a 当たり窒素 2kg を葉面散布した。クロードチャンバー法を用いてガス試料をイネ科植物上で収集し、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub> をガスクロマトグラフィーで分析した。

#### (2) 水田を水稻点滴かんがい栽培における生育と収量の比較

2016 年、水稻 3 品種、コシヒカリ、ふさおとめ、ふさこがねを供試した。水田区として、コンクリート枠圃場に畑圃場の土を充填した 9 プロットを用い、畑圃場に点滴かんがい栽培区を設けた。基肥として 10a 当たり N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=4:4:4 kg 施肥した後、点滴かんがい区は点滴かんがいチューブを設置し、両区とも幅 90cm の黒マルチで被覆した。6 月 1 日に 1 床に 4 列 (10 cm + 40 cm)、株間 5cm で、1 株当たり 5 粒播種した (栽植密度 66.7 株/m<sup>2</sup>)。1 反復当たり 8 列、3 反復乱塊法とした。かん水は、誘電率土壌水分計により土壌水分が生育初期および開花期は 80% 以下、他の時期は 70% 以下になった時に 1~2 時間かん水した。追肥は播種後 71 日に 10a 当たり窒素を 2kg 葉面散布した。調査は 4 葉期以降、1 週間おきに草丈、分けつ数、葉数および SPAD 値を測定した。各品種ごとに出穂から 40~45 日頃収穫し、収穫後 80 で 48 時間乾燥後、収量および収量構成要素を測定した。

2017 年、2018 年はコシヒカリ、農林 24 号 (陸稲)、プリンセスサリー (2017 年のみ、日印交雑種後代) を供試した。圃場設定は (1) と同様で水田区 (CF)、点滴かんがい区 (DPB)、点滴かんがい液肥区 (PDF) とした。栽植密度は 2017 年では 66.7 株/m<sup>2</sup>、2018 年では 100 株/m<sup>2</sup> とした。かん水は、誘電率土壌水分計により土壌水分が生育初期および開花期は 70% 以下、他の時期は 60% 以下になった時に 1~2 時間かん水した。その他の栽培方法、調査方法は と同様であった。

### 4. 研究成果

#### (1) 水稻栽培圃場からのメタンガス、亜酸化窒素および二酸化炭素発生量の測定

CF の累積メタン (CH<sub>4</sub>) フラックスは 2017 年 DPB よりも 178% 高く、2018 年では DPB と DPF よりもそれぞれ 78.5% と 94.2% 高かった (第 1 表)。2016 年の累積亜酸化窒素 (N<sub>2</sub>O) 発生量は、DPB よりも CF の方が 100.4% 高かったが、2017 年では処理間に有意差はみられなかった。2016 年と 2017 年の生育シーズン中の平均地球温暖化係数 (GWP) は、DPB より CF の方が 45 倍大きかった。DPB と DPF の GWP には有意差はなかった。本実験で、水田が CH<sub>4</sub> と N<sub>2</sub>O の大きな発生源であり、点滴かんがいとプラスチックフィルムマルチの相乗効果により、地球温暖化ガス発生削減が図れることが認められた。

第 1 表. 水田 (CF) と点滴かんがい栽培 (DP) におけるメタン (CH<sub>4</sub>)、亜酸化窒素 (N<sub>2</sub>O) ガス発生量および地球温暖化係数 (GWP) (2 年平均)

栽培法	CH <sub>4</sub> (g m <sup>-2</sup> season <sup>-1</sup> )	N <sub>2</sub> O (g m <sup>-2</sup> season <sup>-1</sup> )	GWP (g m <sup>-2</sup> season <sup>-1</sup> )
CF	1.32±0.001	-0.004±0.001	35.87±3.81
DP	0.31±0.32	-0.014±0.001	4.12±2.52
有意差	*	ns	*

## (2) 生育、生理的形質および収量

点滴かんがい区の生育期間中のかん水量は水田区に比べ 34%、総かん水量(かん水量+降水量)で 18%小さかった。1406.2 mmであった。かん水量は 599.2 mm、降水量は 807 mmであった。また、水田区では総かん水量は 1714.7 mmであり、かん水量は 907.7 mmであった。分けつ数、草丈、SPAD 値、葉面積指数は、点滴かんがい区が水田区に比べ小さい値であった。光合成関連形質は、9月に測定した蒸散速度を除き、点滴かんがい区が水田区よりも低い値を示したが、最大量子収量からみて光化学系に光阻害は起こっていないことが推察された。収量は水田区と比較して、コシヒカリで 80.6%、ふさおとめで 72.4%、ふさこがねで 85.7%であり、3品種を平均すると約 80%となり若干減少した。以上の点から水稲点滴かんがい栽培は光合成速度を含む生理的活性も低く、多少の収量の減少がみられたものの高い節水効果を示した。水利用効率は点滴かんがい区では水田区に比べ 20~59%高くなった。

子実収量は、CF で 740~930 g m<sup>-2</sup>、DPF で 310~860g m<sup>-2</sup>、DPD で 410~1050 g m<sup>-2</sup>であった(第2表)。コシヒカリおよび農林 24 号の DPF および DPD での収量は、CF と有意差はなかった。登熟期間中のクロロフィル含有量、葉面積指数(LAI)、バイオマス量、光合成速度、およびクロロフィル蛍光パラメータには大きな差異がないことに起因していた。ただし、プリンセスサリーは、CF に比べて DPF および DPD の収量がそれぞれ 65%および 54%と大幅に減少した。総かん水量(かん水量+降水量)は点滴かんがい区で CF に比べ 28~36%少なかった。水利用効率は、DPF および DPD は CF に比べ 40~74%有意に増加した。点滴かんがい栽培区は、CF と比較して米のタンパク質含有量が増加したが、外観品質は品種間で異なった。

## (3) まとめ

2016 年は点滴かんがい区で水田区に比べ葉面積指数が小さいことから、栽植密度を高めることで収量性を向上できる可能性が認められたことから、2017 年、2018 年では、栽植密度を高めることで葉面積指数が大きくなり、水田区と同程度、あるいは上回る収量を得ることが出来た。また、光合成関連形質は若干点滴かんがい区で小さくなる傾向があったが、水ストレスによる光阻害は起こっておらず、2017 年、2018 年では水田区と同等の収量性を示したものと考えられた。以上のことから、点滴かんがい栽培は水田に比べ、温室効果ガス発生を大きく削減し、節水効果も大きく、収量性についても水田と同程度の高い値を示し、優れた栽培方法であることが認められた。点滴かんがい栽培条件下で、品種により適応性程度の違いが存在することがわかった。

第2表. 2017年、2018年における水田区(CF)、点滴かんがい液肥区(DPF)および点滴かんがい区(DPB)の収量構成要素と水利用効率(WUE)。

品種	栽培法	穂数 (m <sup>-2</sup> )	1穂穎果数	登熟歩合 (%)	1000粒重 (g)	子実収量 (gm <sup>-2</sup> )	WUE (kg m <sup>-3</sup> )
2017年							
コシヒカリ	CF	440a	85a	81.3a	24.3a	740a	0.36bc
	DPF	349bc	99a	67.8a	22.5b	527a	0.44ab
	DPB	391ab	104a	75.2a	22.9b	702a	0.58a
農林24号	CF	418b	114a	81.0a	23.7a	909a	0.44b
	DPF	509a	107a	68.3a	22.9ab	858a	0.71a
	DPB	527a	112a	68.8a	21.7bc	898a	0.74a
プリンセスサリー	CF	531a	105a	75.0a	21.6a	899a	0.43a
	DPF	380b	69b	55.6bc	21.3a	314b	0.26a
	DPB	353b	79b	65.9ab	22.3a	413b	0.35a
2018年							
コシヒカリ	CF	548a	93a	74.4a	24.1a	904a	0.48bc
	DPF	488a	99a	72.8a	22.4bc	778a	0.61ab
	DPB	492a	100a	72.0a	23.2ab	818a	0.67a
農林24号	CF	546a	89b	81.3a	24.1a	926ab	0.49b
	DPF	585a	154a	47.3b	21.5bc	753bc	0.59b
	DPB	575a	151a	54.4b	22.1ab	1048a	0.86a
年次間 (Y)		***	**	*	ns	ns	ns
品種間 (C)		***	***	**	***	***	***
栽培法 (S)		*	*	***	***	**	**
Y × C		ns	*	ns	ns	ns	ns
Y × S		ns	**	ns	ns	ns	ns
C × S		***	**	ns	**	*	*
Y × C × S		ns	***	ns	ns	ns	ns

## 5. 主な発表論文等

### [雑誌論文](計1件)

1. Fawibe, O.O., Honda, K., Taguchi, Y., Park, S. and Isoda, A. (2019). Greenhouse gas emissions from rice field cultivation with drip irrigation and plastic film mulch. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 113(1): 51-62. DOI: 10.1007/s10705-018-9961-3

### [学会発表](計3件)

1. Fawibe, O.O., Taguchi, Y., Honda, K., Park, S. and Isoda, A. (2018). Greenhouse gas emissions and agro-physiological response of rice under drip irrigation with plastic-film-mulch. Paper presented at the Global Summit on Agriculture, Food Science and Technology, Boston, USA. October 26-27, 2018.
2. Fawibe, O.O., Honda, K., Taguchi, Y. and Isoda, A. (2018). Greenhouse gas emissions from rice field cultivation with drip irrigation and plastic film mulch in kanto region of Japan. Abstracts of the 245th Meeting of Crop Science Society of Japan.
3. 朴相修・本田佳那子・高橋昇太郎・磯田昭弘 (2017). マルチを利用した水稻点滴かんがい栽培の試行. 日本作物学会第243回講演要旨集 p. 139.

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 王 培武

所属研究機関名: 新疆天源滴灌水稻研究所

ローマ字氏名 (Wang Peiwu)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。