

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07624

研究課題名（和文）水稲の点滴かんがい栽培によるメタンガス排出削減および玄米ヒ素含有量低減技術開発

研究課題名（英文）Development of rice cultivation technology using drip irrigation for the reduction of methane gas emission and arsenic content in brown rice

研究代表者

豊田 正範 (Toyota, Masanori)

香川大学・農学部・教授

研究者番号：30284350

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）：点滴かんがいは専用のチューブから水を一滴ずつ植物の株元に与えるかんがい方法である。湛水した水田土壌が還元状態であるのに対し、点滴かんがいをを用いた畑地状態で水稲を栽培すると、土壌が酸化状態にあるために嫌気性のメタン生成菌が活動できずメタンの発生が抑制されること、また、土壌中のヒ素は不溶化して土壌に吸着されるので玄米中のヒ素含有量が低減することが期待される。圃場試験の結果、点滴かんがいによりメタンの排出量は湛水栽培よりも約8割削減した。また、ガラス室内試験水田でヒ素汚染土壌を用いた試験では、点滴灌がいで栽培した玄米中のヒ素含有量は湛水栽培と比較して約9割低減した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は水稲の畑地状態での点滴かんがい栽培は湛水栽培と比べて、メタンガス、亜酸化窒素、二酸化炭素を総合した地球温暖化係数で評価しても温室効果ガス排出量を大幅に削減すること、また、ヒ素汚染土壌における玄米中のヒ素含有量を大幅に低減することを実証した。

前者の成果は、水稲の畑地状態での点滴かんがい栽培を基盤技術として、温室効果ガス排出量を大幅に削減しつつ、収量・品質を高い水準で達成する実用的な水稲栽培技術開発の可能性を示した。後者の成果は海外に多数存在するヒ素汚染土壌地域において、水稲の点滴灌がいで栽培が玄米中のヒ素含有量を低減する水稲栽培技術として現地の食料の生産と安全に貢献できる可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：Drip irrigation is an irrigation method in which water is supplied drop by drop from a tube to the plant base. The soil in flooded paddy is reducing, whereas that in the upland field cultivating paddy rice using drip irrigation is an oxidized state, that suppresses methane gas emission because anaerobic methanogens cannot act in an oxidized state. Also, since arsenic acid in the oxidized state is insolubilized, it is expected that the content of arsenic in brown rice will decrease. As a result of the field test, drip irrigation reduced methane emission by about 80% compared to flooded cultivation. Also, in an experiment using arsenic-contaminated soil in an isolated test paddy, the content of arsenic in brown rice cultivated by drip irrigation was reduced by about 90% compared to flooded cultivation.

研究分野：作物生産科学

キーワード：水稲 ヒ素 点滴かんがい 温室効果ガス メタン 亜酸化窒素

1. 研究開始当初の背景

点滴かんがいは乾燥地での節水栽培技術として発達してきた技術で、プラスチック製のチューブに等間隔(30 cm、50 cmなど)で設けられた吐出孔から一滴一滴水を滴下させて、植物の株元に少しずつ水を与えるかんがい方法である。吐出孔(エミッタ)は単なる穴ではなく、小さなプラスチック製の部品に減圧機構や目詰まりを防止するための異物の排出機構などが組み込まれており、チューブ内の水圧をある程度高めることで、大面積の圃場でも、傾斜地圃場でも全体を均一にかん水することができる。また、肥料は肥料混入器により容易にかんがい水に混入し、点滴チューブを介して植物の根元に与えることができる。

国内では蔬菜、花卉、果樹など単価が高く収益効率の高い園芸作物を中心に普及が進んでいるが、点滴かんがい資材メーカーの商品開発努力による価格低下や点滴チューブを設置する大型機械の開発で大面積にも対応できることから、海外ではイネ、ダイズ、トウモロコシ等の土地利用型作物への導入も増加している。著者は平成25年から水田および畑地での点滴かんがいによる水稻の栽培試験に取り組み、十分な収量と極めて高い節水効果を確認している。

点滴かんがいのメリットは第一に節水効果であり、地表かんがいや散水かんがいと比較して同等の収量を確保しつつ、かんがい水量を数分の一から数十分の一程度まで大幅に抑えることができる。きめ細かな養水分管理も容易であることから増収と品質向上効果も期待できる。また、水を少しずつ土壌に与えることで、土壌中の酸素が高い濃度で維持されるために根の活性が高まるなど、従来のかんがい方法とは異なる土壌理化学性が有益な効果をもたらす場合がある。

本研究では点滴かんがい特有の土壌理化学環境とその特徴を反映した利点に着目した。すなわち、点滴かんがい下による水稻栽培では、通常の水田湛水栽培下での還元状態とは異なり、酸化状態の土壌環境で水稻が生育することになる。酸化状態の土壌環境下でイネを栽培することの利点は、第1に、湛水状態の水田から発生する温室効果ガスのメタンの発生が大幅に抑制できる、第2に、イネによるヒ素の吸収を抑制し、玄米ヒ素含有量を軽減することができるという点にある。

(1) メタン排出量の削減

メタンは二酸化炭素の約20倍の温室効果を持つ温室効果ガスで、近年大気中の濃度が急速に増加している。世界のメタン発生量に占める水田からの発生量は11%(60Tg)であり、反芻動物の消化管(85Tg)に次ぐ農業における大きな発生源である(野内ら1999)。水田が湛水されると嫌気性のメタン生成バクテリアにより有機化合物が還元されメタンが生成される。水田から発生するメタンの90%は水稻の根から吸収され通気組織を介して大気中に放出されている。削減対策としては中干しや間断かんがいなど土壌を酸化状態に保つ水管理技術と有機物の堆肥化などメタンの基質となる有機物の分解である。点滴かんがいによる水稻栽培の土壌は基本的に酸化状態が維持されるため、嫌気性のメタン生成バクテリアが活動できず、メタン発生量が大幅に削減できると予想される。

本研究の申請時には気体採取と分析機器の制約によりメタンのみ焦点を充てていたが、畑地状態の栽培では窒素肥料由来による亜酸化窒素の発生が問題となる。本来、温暖化の影響はメタンだけでなく、亜酸化窒素と二酸化炭素を含めた三大温室効果ガスを総合して評価する必要がある。最終年度では三大温室効果ガスの測定が可能となり、これらを統合した地球温暖化係数を算出して点滴かんがいによる温室効果ガス排出量削減効果を評価した。

(2) 玄米ヒ素含有量の低減

ヒ素には炭素原子を含まない無機ヒ素と含む有機ヒ素に大別され、無機ヒ素の主要な化合物は亜ヒ酸とヒ酸である。平成25年に内閣府の食品安全委員会は、無機ヒ素は遺伝毒性を有する発がん物質と評価したが、知見不足から耐容摂取量は算出せず、今後、食品中のヒ素の実態調査や低減方策の研究充実が必要とした。日本人が食品から摂取する無機ヒ素は、主にコメと海藻類(ひじき)である。農産物の中でコメはヒ素含有量が高く、その90%は無機ヒ素であることから、農林水産省はコメ中の無機ヒ素含有量の低減技術の調査、研究を進めている。ヒ素の汚染地域では畑作物よりも水田での水稻栽培の方で障害が大きいこと、水稻の節水栽培がヒ素汚染土壌での障害を軽減することが明らかにされており、点滴かんがいを利用して酸化状態の土壌条件下で水稻を栽培すればコメ中のヒ素含有量を低減できると予想される。本研究では閉鎖された網室内にて、ヒ素汚染土壌で湛水および点滴かんがいで水稻を栽培し、点滴かんがいによる玄米ヒ素含有量低減効果の検証、および収量を確保しつつヒ素含有量を低減する栽培方法を開発する。

なお、カドミウムは還元状態で不溶化し、イネに吸収されにくくなるので、酸化状態ではヒ素の吸収は抑えられるがカドミウムの吸収が増加する可能性があるため、本研究の申請時にはヒ素とカドミウムを同時に低減する栽培技術の検討の必要性も考慮していた。しかし、カドミウムとマンガンのトランスポーターを変異させたコシヒカリ環1号が開発され、カドミウム濃度が高くなる条件下でもカドミウムが極めて低濃度となるイネ栽培品種の実用化に近いことから、本研究ではヒ素含有量の低減のみに焦点をあてることにした。

2. 研究の目的

本研究では水稻の水田および畑地での点滴かんがい栽培試験を複数回実施し、(1)メタンの排出量低減効果、(2)ヒ素含有量低減効果を明らかにすることを目的とした。それぞれ以下のように研究を進める。

(1)メタン排出量低減効果：水稻を水田で通常の湛水栽培を行う場合と水田および畑地圃場で点滴かんがい栽培を行う場合のメタン発生量を比較し、点滴かんがいによるメタン排出量削減効果を明らかにする。なお、最終年度ではメタン、亜酸化窒素、二酸化炭素の三大温室効果ガスの測定が可能となったので、これらを統合した地球温暖化係数を算出して点滴かんがいによる温室効果ガス排出量削減効果を評価した。

(2)玄米ヒ素含有量低減効果：香川大学農学部附属農場の網室内試験水田において、試験的に作出したヒ素汚染土壌を用いて、水稻を通常の湛水栽培と点滴かんがい栽培し、玄米ヒ素含有量を調査する。収量を調査し、収量とこれらの低減を両立する水稻栽培技術を開発する。

3. 研究の方法

(1)メタン排出量削減効果試験

・平成29年度(2017年度)

香川大学農学部附属農場の水田で水稻2品種(おいでまい、ヒノヒカリ)を通常の湛水栽培と畑地状態の点滴かんがい栽培を行う試験を実施したが、気体を捕集するチャンパーの納入がイネの出穂期を過ぎたため、気体のサンプリングが1回に制限されたこと、また採取方法とサンプル瓶の扱いのミスによりメタンガスの排出量を測定できなかった。このため、平成29年度は収量、かん水量、土壌水分、酸化還元電位のみを調査した。

・平成30年度と令和元年度(2018年度と2019年度)

香川大学農学部附属農場の湛水した水田に、水稻品種ヒノヒカリを機械移植した。除草剤を効かせるため湛水を1週間維持した後、あぜ板で2区画に分割した(第1図)。一方は湛水区として収穫1週間前までできるだけ湛水状態を維持した。もう一方は点滴区として、排水し点滴チューブを設置して点滴区とした。ガスの採取は、週に1回、午後2時ごろに行った。イネ2株に対しセットした両処理区3箇所ずつのアクリルチャンパー(34×41×50cm)内の空気を10分間隔で4回採取し、メタンと亜酸化窒素の濃度を分析した。また植物体が入らないように別にセットした両処理区3箇所ずつの鉄製チャンパー(直径20cm、高さ25cm)内の空気を10分間隔で3回採取し、土壌から発生する二酸化炭素濃度を分析した。なお、亜酸化窒素と二酸化炭素の測定は2019年度のみ実施した。10月末に収穫し、収量および収量構成要素を調査した。



第1図 附属農場の試験圃場。中央の波板の左が湛水区、右が点滴区。

(2)玄米ヒ素含有量低減効果試験

・平成29年度(2017年度)

試験の実施を予定していた網室内試験水田の底面コンクリートのひび割れによる漏水があったため、1/2000ワグナーポットによるポット試験に変更した。10ppmのヒ素汚染土壌に水稻を湛水状態および点滴かんがいによる酸化的状態で栽培し、生育、収量と収穫した玄米中のヒ素含有量を調査した。湛水区はヒ素を混入していない土壌とヒ素汚染土壌を常時湛水し、点滴区はヒ素汚染土壌を用いてかん水量の多・中・少の3段階に設定した。

・平成30年度と令和元年度(2018年度と2019年度)

水稻品種ヒノヒカリをポット育苗箱に播種し、22日間育苗した。香川大学農学部の網室内試験水田に条間30cm、株間20cmで定植した。試験区は約5.8m×2.2mが3区画あり、それぞれの区画で湛水栽培または点滴かんがい栽培を行った(第2図)。湛水栽培は86×66×深さ34cmのタライに土壌を入れて湛水状態として行った。点滴チューブは60cm間隔で株から15cmの距離で1区画3本設置した。ヒ酸水素二ナトリウム七水和物を用いて20ppmヒ素汚染土壌を作成し、各区画の各栽培区でヒ素処理区と対照区をそれぞれ設けた。点滴かんがい栽培では区画ごとにかん水量を調節した。点滴区では1日1回(1:1区)、1日2回(1:2区)、および2日に1回(2:1区)灌水する処理を設け、それぞれのかん水量がほぼ同じになるよう調整した。10月下旬に収穫し、網室内ではざんし後収量と収量構成要素を調査した。各処理区から穂数が中庸の3個体を選抜し、茎葉部および玄米を酸化マグネシウム添加乾式灰化法で処理後、それぞれのヒ素



第2図 網室内の試験水田。手前のタライが湛水区でその奥が点滴区。

含有量を水素化物発生装置付属原子吸光分光光度計 (AA-7000, 島津製作所) によって測定した。

4. 研究成果

(1) メタン排出量削減効果試験

・平成 29 年度 (2017 年度)

香川大学農学部附属農場の水田で試験を実施したが、気体を捕集するチャンバーの納入遅れ等によりメタンガスの排出量は測定できなかった。

・平成 30 年度と令和元年度 (2018 年度と 2019 年度)

試験期間中の降水量は、2018 年の 875mm に対して 2019 年は 428mm と約半分程度であった。土壌水分や酸化還元電位 (Eh) は降雨による増減が見られたが、年次間の差は明確でなかった。2 年間の平均収量は湛水区の 440kg/10a に対し、点滴区は 230 kg/10a と少なかった。メタンの排出量が、点滴区では亜酸化窒素、二酸化炭素の排出量が高かった。二酸化炭素に換算した積算排出量で温暖化への影響を評価する Global Warming Potential (GWP) を温室効果ガス間で比較すると、2018 年の点滴区を除いた全ての処理区でメタンによる GWP が高かった。メタン、亜酸化窒素、二酸化炭素の GWP を合計した GWPtotal の、点滴区の湛水区に占める割合は、2018 年で 58%、2019 年で 44%であった。

本研究の結果から、畑地での点滴灌がい栽培では水田の約半分の温室効果ガスの排出を抑制できることが明らかとなった。本試験の点滴区から温室効果ガス排出量には、点滴かんがいに移行する前の湛水条件下での多量なメタン排出が含まれる。このため、代かき～湛水機械移植ではなく乾田直播では温室効果ガスの排出量をさらに抑制できる可能性がある。

なお、附属農場で実施した試験では点滴区の収量が湛水区よりも少なかった。その原因として、2018 年の全施肥と 2019 年の生育初期の施肥で使用した液肥が蔬菜園芸用で硝酸態窒素を主体としたものであったことと、また、両年とも点滴区に紋枯れ病が発生したことが挙げられる。同時期に農学部構内試験圃場で 2 年間実施した別の試験において、点滴区の平均収量 (500 kg/10a) は湛水区の収量の 12%少なかったが有意差はなかった。したがって、2020 年度も附属農場にてアンモニア態窒素肥料の使用と土壌病害の防除に留意しつつ栽培試験を実施し、湛水区と同等の収量を確保したうえで 2018・2019 年度の試験結果と合わせて温室効果ガス排出量の削減効果をとりまとめて論文として報告する予定である。

(2) 玄米ヒ素含有量低減効果試験

・平成 29 年度 (2017 年度)

湛水区の玄米中ヒ素含有量はヒ素を混入していない土壌で 0.65mg/kg、ヒ素混入土壌では 1.9 mg/kg であった。点滴区の玄米ヒ素含有量は多かん水量区が 0.13mg/kg、中および少かん水量区が 0.1 mg/kg と湛水区のヒ素混入土壌よりも大幅に低く、また、湛水区のヒ素を混入していない土壌と比較しても低かった。

・平成 30 年度と令和元年度 (2018 年度と 2019 年度)

香川大学農学部の網室内試験水田 (約 5.8m × 2.2m) を 3 区画用いて、それぞれの区画で湛水栽培と点滴灌がい栽培を行った。湛水栽培は 86 × 66 × 深さ 34cm のタライに土壌を入れて湛水状態とした。20ppm ヒ素汚染土壌を作成し、各区画の各栽培区でヒ素処理区と対照区をそれぞれ設けた。点滴灌がい処理として 1 日 1 回 (1:1 区)、1 日 2 回 (1:2 区)、2 日に 1 回 (2:1 区) を設定した。土壌水分は 1:2 区で上下幅が小さい高頻度の、2:1 区では上下幅が大きい低頻度の上下を繰り返し、計画どおり灌水が制御されたことを確認した。灌がい方法とヒ素処理による玄米中のヒ素含有量の傾向は 2 年ともほぼ同じであり、湛水区、点滴区ともヒ素処理区で有意に高く、湛水区の対照区よりも点滴区のヒ素処理区の方がヒ素含有量は少なかった。玄米中のヒ素含有量の 2 年間の平均値は、湛水区ではヒ素処理区が 2.29 mg/kg、対照区は 0.26 mg/kg であった。点滴区ではヒ素処理区が平均 0.29 mg/kg、対照区が 0.15 mg/kg であった。以上の結果、点滴灌がいによる畑地での水稻栽培が玄米中のヒ素含有量を大幅に低減することを明らかとした。また、点滴区のヒ素処理区において、両年とも少量高頻度 (1:1 区) よりも多量低頻度 (2:1 区) の点滴かんがいの方がヒ素含有量が高くなる傾向を示した。このことから、低頻度で 1 回の灌水が多い灌がいの方が部分的な土壌の還元化をもたらし、ヒ素が吸収されやすくなる可能性が示唆された。

なお、2018 年の生育・収量は点滴区に比べて湛水区が有意に高かったのに対し、2019 年には逆に点滴区に比べて湛水区の生育が大幅に低下した。これらの生育不良・低収の原因は、2018 年点滴区では施肥の遅れと紋枯れ病による被害が大きかったこと、2019 年湛水区は 2018 年の稲株を含む土壌をそのまま使用したために有機物が腐敗して硫化水素が発生し、根が障害を受けたことが原因と推察された。したがって、ほぼ同水準の生育・収量の下で玄米ヒ素含有量に対する灌がい方法の評価を行うため、2020 年度も再度試験を行い、その結果を含めて論文として報告する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 窪村直樹・笹部健司・Junior Isac Belo Mabote・岸本光生・金山智哉・Kanchana Chomsang・諸隈正裕・豊田正範
2. 発表標題 水田における水稲の湛水栽培と畑地状態での点滴灌がい栽培による温室効果ガス排出量の比較
3. 学会等名 日本作物学会四国支部 第55回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岸本光生・金山智哉・窪村直樹・笹部健司・Junior Isac Belo Mabote・Kanchana Chomsang・諸隈正裕・豊田正範
2. 発表標題 湛水栽培と点滴灌がい栽培の相違による水稲のヒ素含有量の比較
3. 学会等名 日本作物学会四国支部 第55回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉澤広晃, 古小高健, 諸隈正裕, 東江栄, 豊田正範.
2. 発表標題 水田での点滴かんがい栽培が水稲の収量に及ぼす影響
3. 学会等名 日本作物学会四国支部第53回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 ファミーホントム・櫻井大樹・岡野健大・岸本光生・金山智哉・窪村直樹・笹部健司・Kanchana Chomsang・辺嘉賓・諸隈正裕・豊田正範
2. 発表標題 水稲の畑地状態での点滴灌がい栽培による玄米のヒ素含有量低減効果 - 湛水栽培との比較 -
3. 学会等名 日本作物学会四国支部 第56回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 窪村直樹・笹部健司・金山智哉・岸本光生・岡野健大・櫻井大樹・ファムティーホントム・Kanchana Chomsang・辺嘉寛・当真要・諸隈正裕・豊田正範
2. 発表標題 水稲の畑地状態での点滴灌がい栽培による温室効果ガス排出量削減効果 - 湛水栽培との比較 -
3. 学会等名 日本作物学会四国支部 第56回講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考