

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02889

研究課題名（和文）イネのヒ素吸収・移行モデル構築による高温下での子実ヒ素濃度上昇機構解明と低減戦略

研究課題名（英文）Elucidation of the mechanism of elevated arsenic concentrations in rice grain under high temperatures during the ripening period

研究代表者

松本 真悟（Matsumoto, Shingo）

島根大学・学術研究院農生命科学系・教授

研究者番号：00346371

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：水稻栽培において登熟期の高温により玄米中のヒ素濃度が上昇することが示唆されている。本研究で著者らは温度傾斜型チャンバー、コンクリート枠および圃場水田において出穂後の高温処理により実際に玄米中のヒ素濃度が上昇することを明らかにした。また、そのメカニズムは、玄米に蓄積するほとんどのヒ素は出穂後2週間までであり、登熟期が高温であるほど玄米への炭水化物の転流量が減少してヒ素に対する“希釈効果”が低減されるためであると示唆した。また、従来から玄米中のヒ素濃度の低減に効果的なケイ酸および鉄資材の施用並びに出穂前後の落水管理は高温条件下でも有効であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国際的な食品規格を策定するコーデックス委員会で、玄米無機ヒ素濃度の国際基準値が0.35 mg/kgに設定され（2016年）、非汚染土壌においても玄米ヒ素濃度の低減が厳しく求められている。一方、IPCC第5次評価報告書では将来的な高温傾向が続くと指摘されている。農林水産省の全国調査から、水稻栽培においては登熟期の高温により玄米中のヒ素濃度の上昇が報告されており、我が国の主食であるコメの安全性が懸念される現状となっている。本研究では登熟期の高温による玄米ヒ素濃度の上昇メカニズムを明らかにするとともにその栽培的な対策を提言した。これは今後の安全なコメ生産の極めて重要な知見となると考えられる。

研究成果の概要（英文）：There is concern that arsenic concentration in brown rice increases due to high temperatures during the ripening period in paddy rice cultivation. In this study, the authors found that the arsenic concentration in brown rice increased during the ripening period in a temperature-gradient chamber, concrete frame, and paddy field. The mechanism suggested that most of the arsenic accumulated in brown rice up to two weeks after ear emergence and that the ‘dilution effect’ on arsenic was reduced as the translocation of carbohydrates into brown rice decreased with higher temperatures during the ripening period. The results also showed that the application of silicate and iron materials, which have been effective in reducing arsenic concentrations in brown rice, and drainage management before and after ear emergence were practical even under high-temperature conditions.

研究分野：土壌学・作物栄養学

キーワード：ヒ素 コメ 温暖化 登熟 ケイ酸 鉄 水管理

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヒ素は環境中に比較的低濃度で存在する半金属元素である。農耕地土壌におけるヒ素の可溶性は土壌の酸化還元電位に強く影響され、酸化状態では五価のヒ酸として存在する割合が大きく、土壌中の鉄と結合されて液相に溶出され難い。一方、還元状態では三価の亜ヒ酸に変化し、二価鉄の溶出に伴って液相に溶出されるようになる。そのため、栽培期間の多くを湛水状態で栽培されるコメは他の穀物よりもヒ素濃度が高いことが知られている。近年、国際的な食品の規格等を策定するコーデックス委員会で、玄米無機ヒ素濃度の国際基準値が0.35 mg/kgに設定され(2016年)、非汚染土壌においても玄米ヒ素濃度の低減が厳しく求められるようになってきている。一方、IPCC第5次評価報告書では将来的な高温傾向の継続されることが指摘されており、水稻栽培においては登熟期の高温による収量およびコメの品質への影響が懸念されている。このような背景をもとに、近年、Arao et. Al. (2018)により、茨城県つくば市の同一水田で出穂前後に湛水管理したコメ(1986-2014年産)の無機ヒ素濃度は、出穂後の気温と有意な相関があり、出穂後の高温によりコメ中の無機ヒ素濃度が上昇することが示唆された。また、農林水産省(2019)が全国3007か所で生産されたコメを調査したところ、出穂後2週間~4週間の栽培地点の日平均気温とコメ中の無機ヒ素濃度は正の相関関係を示すことが明らかとなった。

2. 研究の目的

本研究では、温度勾配型チャンバー(TGC)を使用して、登熟期間中の温度が土壌中のヒ素の溶出に及ぼす影響および玄米中のヒ素濃度に及ぼす影響を検証することとした。また、これまでにヒ素濃度低減のために提案されている種々の土壌改良資材の高温条件下での有効性を評価した。その中で、部位別のヒ素および炭素濃度ならびにそれらの蓄積量を比較検討することにより、登熟期の高温が玄米ヒ素濃度を上昇させるメカニズムを明らかにすることを試みた。さらに、砂耕培地において‘コシヒカリ’を1本仕立てで栽培し、出穂から収穫までの1週間間隔でヒ素溶液を吸収させ、玄米へのヒ素蓄積時期に差異があるかを検討することにより、玄米へのヒ素の蓄積動態を解析することで、玄米ヒ素濃度と炭水化物の転流の関係を明らかにすることとした。

実際栽培における高温期のヒ素低減対策を確立するために圃場条件での栽培試験も実施した。すなわち、登熟期から収穫期までの期間にイネを圃場でビニル被覆やビニルハウス内にコンクリート枠を設置した栽培条件で高温条件を設定して玄米ヒ素濃度に対する高温の影響を検討するとともに、水管理、新規鉄資材の施用による既存鉄資材との効果の比較、鉄・ケイ酸質資材の施用による土壌含量の違いによる肥培管理と耕種管理などから高温条件下における低減対策の有効性を検討し、登熟期の高温による低減対策の有効性と上昇要因の上昇要因の解明を検討した。

3. 研究の方法

登熟期の高温が玄米ヒ素濃度の上昇をもたらすメカニズムの解明と高温条件下でも玄米ヒ素濃度の上昇を低減するための対策技術を確立するにあたり、2020年から2023年に継続して行った栽培条件を以下に示す。

(1) 温度傾斜型チャンバー(TGC)を用いたポット試験

登熟期の高温が玄米ヒ素濃度を上昇させるかどうかを検証するために、ヒ素非汚染の灰色低地土を充てんしたワグネルポット(1/5000a)で栽培されたイネ‘コシヒカリ’を出穂1週間後にTGCに搬入し、収穫まで栽培した。TGCは奥の壁にファンがあり、入口から奥に向かって緩やかな空気の流れを作り、奥に向かって温度が上昇するように設計されている。そこで、TGCは長さ40mとなっており、入り口からの距離0mを露地区、7mを微高温区、20mを高温区、35mを超高温区に設定した。設定は、日中の温度が40を超えないようにファンの排気速度を調整して行った。このような設定で高温条件下における玄米ヒ素濃度の上昇に対する土壌改良資材の施用による低減効果を検証した。土壌改良資材はケイ酸カルシウム(アサヒ工業株式会社):可溶性ケイ酸28%(以下、ケイカル)、製鋼スラグ(FM ゴールド):FeO25%(以下、FM)、可溶性ケイ酸20%、の2種類を用いた。

(2) 1本仕立て砂耕栽培による玄米へのヒ素蓄積時期の解明

砂丘未熟土を充填した100ml容プラスチックチューブに‘コシヒカリ’を播種した。主茎一本仕立てに調整し、木村氏B液を満たしたコンテナ内で栽培した。出穂1から5週間後までの1週間ごとに砂耕から抜き取ったイネ体5株をそれぞれ亜ヒ酸(40ppb)を添加した木村氏B液を満たしたポリ瓶に浸漬し、コイトロン内で5日間ヒ素吸収処理を行い、処理後は砂耕に戻して栽培した。

(3) コンクリート枠を用いた土壌改良資材施用試験

島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター内のコンクリート枠圃場2基を用いた。この枠圃場は1区画が90cm×80cm、深さ60cmの広さである。栽培土壌については、島根

県大田市五十猛地区より客土した土壌(1 規定塩酸抽出ヒ素濃度 8.0ppm)、もう一基は同センター内水田圃場より落土した土壌(1 規定塩酸抽出ヒ素濃度 1.2ppm)を用いた。出穂 1 週間後からビニル資材を用いて椀圃場の半分を被覆し、高温処理区を設けて収穫まで栽培した。施用された資材は 0 価鉄(エコメル、KOBELCO 神戸製鋼) : Fe99%(以下、EM)、製鋼スラグ(FM ゴールド) : FeO25%(以下、FM)、可溶性ケイ酸 20%、ケイ酸カルシウム(アサヒ工業株式会社) : 可溶性ケイ酸 28%(以下、ケイカル)の 3 種類であり、温度処理区あたり 3 区画ずつで、どちらのコンクリート椀圃場においても同様の施用条件であった。

(4)圃場条件における高温処理による玄米ヒ素濃度の上昇の確認ならびに水管理によるその低減対策

供試圃場は島根大学生物資源科学部附属生物資源教育センター農業生産科学部門本庄総合農場内の水田を使用した。圃場総面積 1653 m²のうち、各処理区を 72.5 m² (14.5m × 5m) に区分けした。施肥は基肥 N : P₂O₅ : K₂O = 2 : 2 : 2kg/10a で実施した。供試品種は「コシヒカリ」を使用し、栽植密度は 11.1 株/m²、手植えにて均一な苗を 3 本植えで行った。高温処理は圃場に小型ビニルハウスを設営し、露地区とビニル被覆を行う高温区の 2 水準で構成した。ビニルハウス(家庭菜園雨よけセットワイド、寸法 : 縦 1.5m × 横 2.1m × 高さ 1.8m, 第一ビニル株式会社)を使用し、ハウスの被覆はビニルを 5m × 2.1m と妻面を 2m × 2m に裁断し使用した。ビニルハウスは各処理区の畦畔から 4-5m 離れた距離で設営し、高温処理区内の株数は約 35 株であった。また、各処理区でハウス内が過湿とならないように約 0.5m の隙間をハウス両側面に設けた。気温や相対湿度の測定は温度ロガー(ホボプロ v2(U23-00X), クリマテック株式会社)にて実施した。水管理は中干期間と間断灌漑(4 日間連続落水)の 2 処理 2 水準を設けた。中干期間は慣行的な期間である 8 日間の慣行区と中干を延長した 19 日間の延長区の 2 水準で構成した。また、間断灌漑は、常時湛水を行う湛水区と連続落水を 2 回行う落水区の 2 水準で構成した。

4. 研究成果

(1)高温による玄米ヒ素濃度の上昇の検証と土壌改良資材施用によるその緩和効果

ケイ酸資材(ケイ酸カルシウム)の施用が出穂期の高温条件下で玄米ヒ素濃度の低減に有効であるかを検証した。灰色低地土を充てんしたワグネルポット(1 / 5000a)にケイ酸カルシウムを 0, 15 g 施用して栽培した「コシヒカリ」を出穂 1 週間後に TGC に搬入して収穫まで栽培した。TGC では入口より奥に向けて温度処理を露地区、微高温区、中高温区、超高温区の 4 水準に設定した。TGC 搬入から収穫までの平均気温は露地区より TGC 内で 2 高い範囲で推移していた。玄米の収量と気温および土壌温度の間には有意な負の相関があり、気温と土壌温度の上昇は収量の低下をもたらした。一方で、この玄米収量の低下はケイ酸カルシウムを施用することで有意に緩和された。玄米中のヒ素濃度は、気温および土壌温度と有意な正の相関関係を示し、気温と土壌温度の上昇に伴ってヒ素濃度が上昇した(図 1)。また、ケイ酸カルシウムを施用した場合、無施用区に比べて、すべての温度範囲で玄米中のヒ素濃度が有意に低下し、高温条件下でもヒ素濃度を低下させる効果が認められた。以上の結果は、高温条件下でも玄米の収量低下やヒ素濃度の上昇をケイ酸塩資材の施用で緩和できる可能性を示唆している。製鋼スラグの施用が出穂期の高温条件下で玄米ヒ素濃度の低減に有効であるかを検証した。灰色低地土を充てんしたワグネルポット(1 / 5000a)に製鋼スラグ 0, 15, 30 g 施用して栽培したコシヒカリを出穂 1 週間後に TGC に搬入して収穫まで栽培した。TGC での温度設定はケイカル施用試験と同様に行った。収穫時には収量調査を行うとともに、高温による玄米ヒ素濃度のメカニズムを転流との関係から解析するため

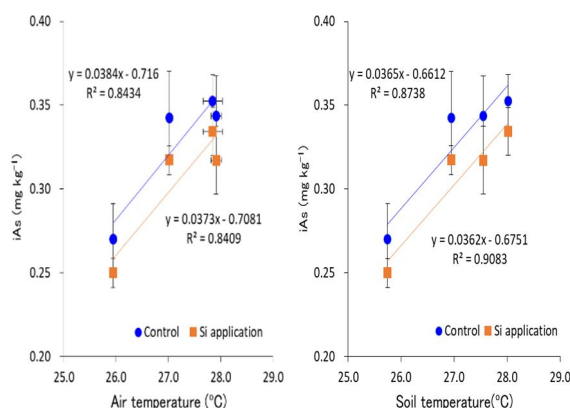


図 1. 玄米無機ヒ素濃度に及ぼす登熟期間中の高温およびケイ酸カルシウム施用の影響

表 1. 玄米無機ヒ素濃度に及ぼす登熟期間中の高温と製鋼スラグ施用の影響

Main factor	Treatment	Inorganic As (mg kg ⁻¹)	DMA (mg kg ⁻¹)	Total As (mg kg ⁻¹)	
Temperature	Ambient	0.298 ± 0.006	0.122 ± 0.014	0.472 ± 0.023	
	Mildly-high	0.312 ± 0.008	0.163 ± 0.030	0.527 ± 0.032	
	Moderately-high	0.333 ± 0.007	0.178 ± 0.011	0.543 ± 0.026	
	Super-high	0.393 ± 0.010	0.156 ± 0.028	0.576 ± 0.019	
CFS application	Control	0.353 ± 0.012 a	0.176 ± 0.023	0.586 ± 0.026 a	
	CFS15	0.335 ± 0.013 a	0.135 ± 0.010	0.525 ± 0.014 b	
	CFS30	0.314 ± 0.011 b	0.154 ± 0.022	0.478 ± 0.020 b	
Ancova	Significance of regression	Day time	$p = 3.5E-06$ ****	$p = 0.121$	$p = 0.001$ **
		Night time	$p = 0.0255$ *	$p = 0.081$	$p = 0.020$ *
	CFS application	Daily	$p = 3.09E-05$ ****	$p = 0.105$	$p = 0.002$ **
		Maximum	$p = 1.18E-06$ ****	$p = 0.128$	$p = 0.001$ **
		Minimum	$p = 0.0277$ *	$p = 0.075$	$p = 0.018$
	CFS application		$p = 0.011$ *	$p = 0.326$	$p = 5.8E-04$ ****

Different letters within a column of material application indicate significant differences by Tukey test ($p < 0.05$).

The p-values for material application are for the case of maximum temperature as a covariate.

に、イネを部位別（玄米，第1節間，第1節，第2節間，第2節，第3節間以下）に分けて分析を行った。玄米については無機ヒ素，DMA，総ヒ素および全炭素濃度を測定するとともに，それぞれの蓄積量を算出した。また，ワラではそれぞれの乾物重を測定するとともに，総ヒ素濃度と全炭素濃度を測定し，部位別の総ヒ素および全炭素蓄積量を算出した。出穂1週間後から収穫までの日中気温および最高気温の平均気温は露地区に対してそれぞれ，微高温区で2.8，5.2，中高温区で4.9，8.1，超高温区で5.0，8.9高い設定が得られた。高温処理期間中の日中平均気温を共変量として共分散分析を行ったところ，無機ヒ素濃度および総ヒ素濃度ともに有意な回帰の直線性が認められ，高温により玄米ヒ素濃度が上昇することが明らかとなった（表1）。また，製鋼スラグ30g/ポット（1Mg/10a相当）施用により玄米ヒ素濃度が有意に低下し，高温条件でも有効な玄米ヒ素濃度低減対策となりうることが示唆された。

(2)TGCを用いたポット試験および1本仕立て砂耕栽培による時期別ヒ素吸収試験による高温期の登熟が玄米ヒ素濃度の上昇をもたらす要因の解明

無機ヒ素は篩管を通じて玄米へ流入することが明らかとなっていることから，上記4-(1)で実施したポット試験における玄米ヒ素の蓄積要因を炭素の動態と比較することにより，高温による玄米ヒ素濃度上昇の要因を検討した。節における炭素の分配割合が0.5-1.1%であるのに対し，ヒ素の分配割合は5~7%であり，ヒ素は節に比較的多く蓄積されることが示された。もし，これらの節におけるヒ素の排除機構が高温によりダメージを受ければ，玄米への転流が高温により促進する可能性がある。ワラの各部位における総ヒ素蓄積量を算出したところ，第2節ではヒ素の蓄積量においても高温により有意に低下した。また，第1節のヒ素濃度と高温の関係は5%水準では有意とは言えないが，有意確率pは0.061となっており，高温による低下がある程度認められると推察された。すなわち，登熟期の高温は節におけるヒ素排除機構に影響を及ぼす可能性が示唆された。

ヒ素と炭素の転流割合のヒ素/炭素比を部位別に算出したところ，第3節以下のワラには高温による影響は認められないが，他のワラの部位ではこの値が減少する傾向が認められ，玄米では上昇する傾向が認められた。すなわち，この結果は高温になるほどヒ素に比べて炭素はワラから玄米へ移行しづらいことを意味している。言い換えれば，ヒ素よりも玄米への移行速度の低下が大きく，より高温のダメージを受けやすいと考えられる。そのため，分配率のヒ素炭素比と玄米ヒ素濃度には有意な正の相関関係が認められることから（図2），高温による炭素の転流割合が低下することが玄米ヒ素濃度上昇の主要な要因と考えられた。

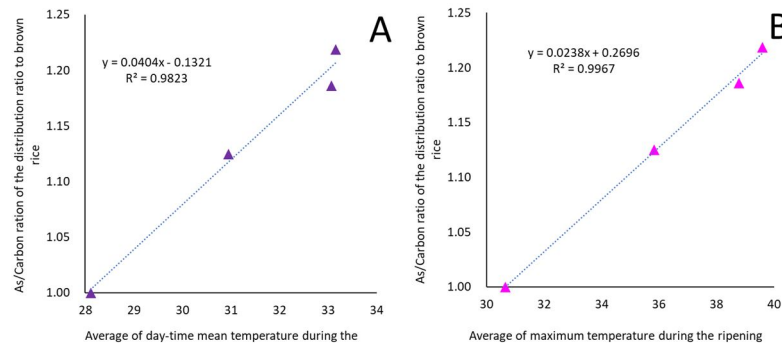


図2．登熟期の日中の平均気温と玄米中のヒ素/炭素分配率の関係

出穂後の時期別ヒ素吸収処理は玄米ヒ素濃度に0.1%水準で有意な効果が認められた。玄米ヒ素濃度は1および2週目処理区が無処理区および3週以降の処理区よりも1%水準で有意に高い値を示した（表2）。すなわち，1週目処理区で0.586mg kg⁻¹，2週目処理区で0.570mg kg⁻¹であったのに対し，3週目処理区で0.381mg kg⁻¹，4週目処理区で0.353mg kg⁻¹，5週目処理区で0.390mg kg⁻¹，無処理区で0.303mg kg⁻¹となり，3週目以降の処理と無処理区の間には差異が認められなかった。時期別ヒ素浸漬処理は玄米へのヒ素蓄積量とも0.1%水準で有意な効果が認められた。玄米ヒ素蓄積量は処理1，2週目処理区と他の処理区に有意差が認められた。ヒ素吸収量は1週目処理区で59.9 μg-As/株，2週目処理区で47.2 μg-As/株であったのに対し，3週目処理区で30.2 μg-As/株，4週目処理区で23.9 μg-As/株，5週目処理区で25.2 μg-As/株であり，無処理区の27.2 μg-As/株と際は認められなかった。すなわち，玄米へのヒ素の蓄積は出穂1，2週に起こり，3週目以降には玄米への蓄積はほとんど行われないことが明白であった。

以上の結果から，出穂期以降の高温による玄米ヒ素濃度が上昇するメカニズムを考察すると，玄米に蓄積されるヒ素のほとんどは出穂2週目までであり，登熟に

表2．1本仕立て砂耕栽培における出穂後の時期別ヒ素吸収処理が玄米無機ヒ素濃度およびヒ素蓄積量に及ぼす影響

処理区	玄米ヒ素濃度 (ppm)	玄米ヒ素蓄積量 (μg/株)
無処理区	0.30 b	27.2 b
1週目処理区	0.59a	59.9a
2週目処理区	0.57a	47.2a
3週目処理区	0.38 b	30.2 b
4週目処理区	0.35 b	23.9 b
5週目処理区	0.39 b	25.2 b

P<0.001**

P<0.001**

よってコメに炭水化物が蓄積されていき徐々に希釈されてヒ素濃度は低下するが、この時、高温になるほど登熟が短縮され、炭水化物によるヒ素の希釈効果が低下されることで玄米ヒ素濃度は上昇することがその主要因であることが示唆された。

(3) 圃場条件下での出穂期の高温による玄米ヒ素濃度の上昇の検証と土壌改良資材施用によるその低減対策

島根大学本庄総合農場内で 2019 年と 2020 年に可溶性ヒ素含量 1mg kg^{-1} と 8mg kg^{-1} が充填されたコンクリート枠圃場 (0.72m^2 / 区) で試験を実施した。両年度とも出穂 1 週間後にビニル被覆区画を高温区、無被覆区画を対照区とした。各区にはケイカル ($500\text{kg} / 10\text{a}$)、ゼロ価鉄 (Em, $250\text{kg} / 10\text{a}$) を施用し、2020 年は製鋼スラグ (Fm, $500\text{kg} / 10\text{a}$) を加えた。両年度ともに「コシヒカリ」を供試し、9 月中旬に収穫し、玄米無機ヒ素および DMA 濃度を LC-ICP/MS により測定した。

両年度の夏季の気象概要について 2019 年は平年よりも冷涼な夏であり、2020 年は平年よりも暑い夏であった。両年度のそれぞれの日平均気温は対照区が 26 と 27 であり、高温区では 28 と 29 であった。また、日最高気温は対照区が 30 と 34 であり、高温区で 34 と 39 であった。登熟期間の気温は、対照区と高温処理区において日平均気温で 2 程度、日最高気温で 6 程度の差が得られた。玄米無機ヒ素濃度は高温区で有意に上昇したが、土壌と資材で交互作用が認められた。登熟期間の気温上昇に伴い、玄米無機ヒ素濃度は増加する傾向を示し、特に高 As 土壌において大きく上昇することが示唆された。低ヒ素土壌は資材施用による無機ヒ素濃度低減効果は小さかったが、高ヒ素土壌ではゼロ価鉄により無施用区と比べて玄米無機ヒ素濃度が有意に低下した。2020 年も同様な傾向を示し、高ヒ素土壌ではいずれの資材の施用においても無施用区と比べて玄米無機ヒ素濃度が有意に低下した。両年度の気温データを共変量とした共分散分析を行ったところ、高ヒ素土壌では玄米無機ヒ素濃度と気温に有意な正の直線関係が認められると共に、ゼロ価鉄の施用で有意に玄米無機ヒ素濃度を低減されることが示された (図 3)。

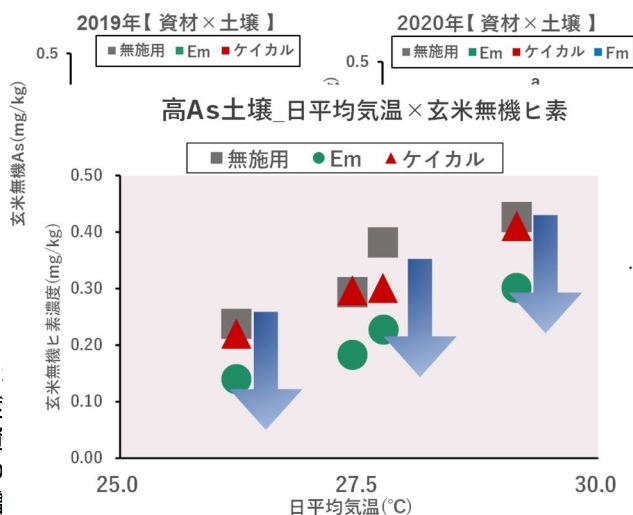


図 3 . 2019 年および 2020 年に実施したコンクリート枠試験における登熟期の温度と土壌改良資材施用が玄米ヒ素濃度に及ぼす影響

(4) 圃場条件下での出穂期の高温による玄米ヒ素濃度上昇の検証と水管理によるその低減対策

島根大学附属農場で実施した。出穂 1 週間後にビニル無被覆を露地区、被覆 (約 3m^2) を高温区とした。中干処理は 7 日間を慣行区、18 日間を延長区とした。落水処理は出穂前後 3 週間に 4 日間落水を 2 回行い、落水なしの湛水区と 2 回落水の落水区を設けた。尚、期間中の降雨 1 度につき落水期間を 1 日延長した。「コシヒカリ」を供試し、5 月 21 日に移植、9 月 8 日に収穫した。同期間の降水量と土壌の深さ 10 cm の酸化還元電位 (Eh) を測定した。玄米は前処理後に無機ヒ素濃度を LC-ICP/MS にて測定した。

結果：露地よりも高温区では日平均気温 1.7、昼間平均気温 3.7 高かった。各期間降水量は、中干慣行期 0mm、延長期 574mm、落水 1 回目 0mm、2 回目 227mm であった。Eh は中干処理で「慣行 < 延長区、+ 30mV」、落水処理で「湛水 < 落水区、+ 400mV」であり、なかでも中干延長を経た区はより短期間で上昇した。玄米無機ヒ素濃度は「露地 < 高温区」で有意に上昇し、「湛水 > 落水区」で有意に低下した。圃場条件においても登熟期の高気温による玄米ヒ素濃度の上昇が明らかとなった (表 3)。中干期間の延長によりヒ素濃度低減効果は認められなかった。一方、高温下でも出穂前後の落水が玄米ヒ素濃度低減に有効であると示された。

表 3 . 圃場条件における高温による玄米ヒ素濃度の上昇および水管理によるその低減効果の検証

高温処理	中干期間	落水処理	無機ヒ素濃度 ± SD		無機ヒ素吸収量 ± SD	
			mg/kg		μg/株	
高温処理	露地		0.197 ± 0.017		10.1 ± 1.2	
	高温		0.250 ± 0.025		11.4 ± 1.3	
中干期間	慣行		0.222 ± 0.032		10.8 ± 1.5	
	延長		0.224 ± 0.036		10.7 ± 1.3	
落水処理		湛水	0.239 ± 0.035		11.4 ± 1.4	
		落水	0.207 ± 0.025		10.1 ± 1.0	
分散分析表						
高温処理			P < 0.001 **		P < 0.001 **	
中干期間			p = 0.347		p = 0.843	
落水処理			P < 0.001 **		P < 0.001 **	
高温処理 * 中干期間			p = 0.227		p = 0.821	
高温処理 * 落水処理			p = 0.004 **		p = 0.224	
中干期間 * 落水処理			p = 0.155		p = 0.498	
高温処理 * 中干期間 * 落水処理			p = 0.733		p = 0.598	

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Protima Dhara, Junko Kasuga, Yuta Koyama, Keita Fujisaki, Masayuki Kadowaki, Kazuhiro Kobayashi, Shingo Matsumoto	4. 巻 46
2. 論文標題 Factors causing the increase in arsenic concentration in brown rice due to high temperatures during the ripening period and its reduction by applying converted furnace slag	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JOURNAL OF PLANT NUTRITION	6. 最初と最後の頁 1-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01904167.2022.2160746	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 森野和子・千葉雅大・安部匡・上田忠正・安達俊輔・馬場浩司・古屋愛珠・松本真悟・春日純子・藤崎慧太・小山雄太・荒尾知人・福田あかり	4. 巻 92
2. 論文標題 「コシヒカリ」/「タカナリ」正逆染色体断片置換系統と 準同質遺伝子系統の玄米無機ヒ素濃度と整粒歩合の調査	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本作物学会紀事	6. 最初と最後の頁 9-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1626/jcs.92.9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kanao Kusa, Mihoko Moriizumi, Satoru Hobara, Mikoto Kaneko, Shingo Matsumoto, Junko Kasuga	4. 巻 67
2. 論文標題 Mineral weathering and silicon uptake by rice plants promote carbon storage in paddy fields.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 162-170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2021.1878471	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Dhar Protima, Kobayashi Kazuhiro, Ujiie Kazuhiro, Adachi Fumihiko, Kasuga Junko, Akahane Ikuko, Arao Tomohito, Matsumoto Shingo	4. 巻 10
2. 論文標題 The Increase in the Arsenic Concentration in Brown Rice Due to High Temperature during the Ripening Period and Its Reduction by Silicate Material Treatment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Agriculture	6. 最初と最後の頁 289 ~ 289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agriculture10070289	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Protima Dhar, Kazuhiro Kobayashi, Kazuhiro Ujiie, Fumihiko Adachi, Junko Kasuga, Ikuko Akahane, Tomohito Arao and Shingo Matsumoto.	4. 巻 27
2. 論文標題 Effect of High Temperature During the Ripening Period on the Arsenic Accumulation in Rice Grain Grown on Uncontaminated Soil with Relatively Low Level of Arsenic.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japanese Society of Agricultural Technology Management	6. 最初と最後の頁 133-145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20809/seisan.27.3_133	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔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 藤崎慧太・春日純子・松本真悟
2. 発表標題 登熟期の高温による 玄米ヒ素濃度の上昇 ならびに 水管理によるその低減
3. 学会等名 日本土壤肥料学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤崎慧太・松本真悟・春日純子・小山雄太
2. 発表標題 登熟期の高温による玄米ヒ素濃度の上昇ならびにケイ酸・鉄資材施用による その低減
3. 学会等名 日本土壤肥料学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小山雄太・松本真悟・春日純子・藤崎慧太
2. 発表標題 登熟期の高温が玄米ヒ素濃度に及ぼす影響の品種間差異および遺伝的要因の解明
3. 学会等名 日本土壤肥料学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本真悟 春日純子 藤崎慧太 小山雄太
2. 発表標題 出穂後の気温上昇により上昇する玄米ヒ素濃度に対するケイ酸・鉄資材の施用による低減効果
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本真悟・岩谷 凌・春日純子
2. 発表標題 登熟期の高温がダイズの生育および子実カドミウム濃度に及ぼす影響とケイ酸資材施用効果の検証
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2023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
研究分担者	小野 圭介 (Keisuke Ono) (20549555)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境研究部門・上級研究員 (82111)	
研究分担者	須田 碧海 (Aomi Suda) (20789573)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境研究部門・主任研究員 (82111)	
研究分担者	小葉田 亨 (Tohru Kobata) (60186723)	島根大学・その他部局等・名誉教授 (15201)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	小林 和広 (Kazuhiro Kobayashi) (90234814)	島根大学・学術研究院農生命科学系・准教授 (15201)	
研究分担者	赤羽 幾子 (Ikuko Akahane) (90530569)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境研究部門・上級研究員 (82111)	
研究分担者	森野 和子 (Kazuko Morino) (30355573)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・中央農業研究センター・主任研究員 (82111)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関