

灌がい水及び雨水により水田へ供給される硫黄量の評価

大家 理哉・水田 有亮・寺地 紘哉

Evaluation of Sulfur Content Supplied to Paddy Fields by Irrigation Water and Rainwater

Masaya Oya, Yusuke Mizuta and Koya Terachi

緒 言

硫黄は植物における必須元素の一つであるが、水稻作では灌がい水や降雨から供給される以外に、肥料の副成分として投入される。水田土壤中では、硫黄は湛水条件下で還元されて硫化物イオンとなり硫化鉄を形成するが、鉄が少ない場合には硫化水素が発生し、水稻の根を傷めるため、生育不良や減収を招く「秋落ち現象」を引き起こすことが過去に問題となった。このことから、リン酸アンモニウムや尿素など副成分に硫黄を含まない肥料への転換が図られてきた（菅野、2019）。

一方で、水稻の硫黄欠乏症は高温多雨の気象条件下にある東南アジア等で報告されているが、国内でも近年になって、硫黄欠乏症の発生に関する報告が増えている（菅野、2019）。硫黄欠乏症が発生した水田では、石こうなど硫黄を含有する肥料を施用することが有効とされている（大家ら、2020）。しかし、対症療法的な硫黄施用だけでなく、硫黄の給源である灌がい水や降雨による硫黄供給量を含めた総合的な肥培管理方法を確立する必要がある。そこで、水稻栽培期間中の灌がい水や雨水に由来する硫黄供給量を調査したので報告する。

材料及び方法

1. 灌がい水に由来する硫黄供給量

(1)採水方法

河川を水源とする9か所の採水地点で灌がい水を採水した。赤磐市にある農業研究所内の精密圃場（E5）では2019年6月から9月にかけて計5回採水した。また、

農業用水調査事業における県南部8か所の採水地点（内訳は岡山市北区1、同南区3、倉敷市3、都窪郡早島町1か所）では同年6、8、9月に計3回採水した。これら合計29点の灌がい水を分析に供した。

(2)分析方法

灌がい水をメンブランフィルター（ $0.45\mu\text{m}$ ）でろ過後、ICP発光分析法（島津社製ICPE-9000、波長 182.037nm ）を用いて、硫酸イオン標準液を適宜希釈した $0\sim 30\text{mg/L}$ を標準液とする検量線を作成して、硫黄濃度を測定した。

(3) 灌がい水に由来する硫黄供給量の試算

移植水田における灌がい水量は、中生品種では $1,200\text{mm}$ 程度とされており（吉澤、1980）、この値に灌がい水中の硫黄濃度の平均値を乗じて、灌がい水に由来する硫黄供給量とした。

2. 雨水に由来する硫黄供給量

(1)採水方法

水稻栽培の灌がい期間に当たる2019年6月から9月にかけて 20mm 程度の降水が見込まれる際に、農業研究所の野外緑地帯（露天）に採水用の 500ml 容器を設置して雨水を採水した。採水日及び採水中の降水量は6月7日（ 42mm ）、6月15日（ 49mm ）、6月27日（ 16mm ）、6月29～30日（ 21mm ）、7月8～14日（ 43mm ）、7月18～20日（ 52mm ）、8月15～19日（ 59mm ）、8月27～28日（ 25mm ）、9月11日（ 62mm ）で、灌がい期間中に9回採水した。なお、降水量は農業研究所の気象観測データを用いた。採水容器は樹脂製の液体試薬瓶を用い、蒸散及び虫の混入を可能な限り防ぐため、試薬瓶をアルミホイルで覆うとともに、瓶上部を切断して反転することでロート状の採水口とした。

(2)分析方法

上述の灌がい水と同じ方法により、雨水中の硫黄濃度を測定した。

(3)雨水に由来する硫黄供給量の試算

雨水中の硫黄濃度に、次の降水まで任意の期間に区分した期間降水量を乗じて、雨水に由来する期間別の硫黄供給量を算出した（表3）。

結 果

1. 灌がい水に由来する硫黄供給量

採水した各地点における灌がい水中の硫黄濃度は表1のとおり、1.5～5.9mg/Lの範囲にあり、平均は3.4mg/Lであった。採水地点では岡山市南区2で硫黄濃度が高い傾向にあった。採水時期による変動を示す変動係数

表1 採取した灌がい水中の硫黄濃度

採水地点	採水日別の硫黄濃度 (S mg/L)								地点別		
	6月		7月		8月		9月		平均	標準偏差	変動係数
	18日	27日	5日	25日	21日	28日	17日	25日	S mg/L		%
赤磐市 (所内E5圃場)	4.0		3.7	3.2	3.4		3.9		3.6	0.3	8
岡山市北区		5.0				2.5		2.6	3.4	1.4	41
岡山市南区1		2.8				3.8		4.6	3.7	0.9	24
岡山市南区2		4.6				3.0		4.3	4.0	0.9	23
岡山市南区3		5.7				5.9		3.9	5.2	1.1	21
倉敷市1		2.2				2.4		2.2	2.3	0.1	4
倉敷市2		2.2				1.5		2.3	2.0	0.4	20
倉敷市3		2.2				2.8		2.6	2.5	0.3	12
早島町		2.9				3.2		4.8	3.6	1.0	28
平均(月別)	6月		7月		8月		9月		全平均		
	3.5		3.5		3.2		3.5		3.4		

表2 採取した灌がい水中の硫黄濃度及び硫黄供給量

採水地点	灌がい水中の 平均硫黄濃度	灌がい水量から 算出した硫黄供給量
	S mg/L	S kg/10a
赤磐市 (所内E5圃場)	3.6	4.3
岡山市北区	3.4	4.1
岡山市南区1	3.7	4.4
岡山市南区2	4.0	4.8
岡山市南区3	5.2	6.2
倉敷市1	2.3	2.8
倉敷市2	2.0	2.4
倉敷市3	2.5	3.0
早島町	3.6	4.3
平均	3.4	4.0
標準偏差	1.0	1.2
変動係数	29 %	

表3 期間別の降水量と採水日における雨水中硫黄濃度から算出した硫黄供給量

期間	6/7(移植) ～13	6/14 ～17	6/18 ～27	6/28 ～7/7	7/8 ～14	7/15 ～25	7/26 ～8/26	8/27 ～30	8/31～ 10/20(収穫)		
期間降水量(mm)	50	49	16	22	43	64	91	41	133	合計	508
各期間における採水日	6/7	6/15	6/27	6/29 ～30	7/8 ～14	7/18 ～20	8/15 ～19	8/27 ～28	9/11		
採水日における降水量(mm)	42	49	16	21	43	52	59	25	62	合計	367
雨水中の硫黄濃度(S mg/L)	0.38	0.14	0.33	1.90	0.60	0.32	0.25	1.56	0.65	平均	0.68
期間別の硫黄供給量(S kg/10a)	0.019	0.007	0.005	0.041	0.026	0.020	0.023	0.063	0.087	合計	0.29

は岡山市北区1で高く、倉敷市1で低かった。

各採水地点の灌がい水中の平均硫黄濃度に灌がい水量（1,200mm）を乗じて算出した灌がい水に由来する硫黄供給量は10a当たり2.4～6.2kgの範囲にあり、平均は4.0kgであった（表2）。

2. 雨水に由来する硫黄供給量

水稻栽培期間に相当する2019年6月7日から10月20日までの合計降水量は508mmであった（表3）。その間に9回採水した雨水中の硫黄濃度は0.14～1.90mg/Lの範囲にあり、平均は0.68mg/Lであった。そして、期間別の硫黄濃度から算出される栽培期間中の硫黄供給量は10a当たり0.29kgであった。

考 察

水稻の硫黄欠乏症に対して、肥料による硫黄施用だけでなく灌がい水や降雨による自然に由来する硫黄供給を含めた総合的な肥培管理方法を確立するため、水稻栽培期間中の灌がい水や雨水で供給される硫黄量を調査した。その結果、県南部9か所の灌がい水については10a当たり2.4～6.2（平均4.0）kg、赤磐市の雨水については10a当たり0.29kgであり、灌がい水に比べて雨水で供給される硫黄量はわずかであった。

今回調査した灌がい水の水源は全て河川であり、県内の主要な河川については、吉井川、旭川、高梁川における河川水中の硫黄濃度が木下・松田（2001）によって詳細に調べられている。それによると、河川水中の硫黄濃度の平均は吉井川及び旭川で2.6mg/L、高梁川で2.2mg/Lであること、硫黄濃度は上流域で0～1mg/Lであるが、下流になるに従い濃度は上昇し、下流域では3～5mg/Lであることが報告されている。今回調査した灌がい水の採水地点は、旭川及び高梁川の下流やこれらの支流に位置することから、今回得られた灌がい水中の硫黄濃度は下流域の濃度と大きく変わらなかったものと考えられた。一方で、小林（1961）は国内の主

要河川（n=225）を対象に水質調査を行っており、河川水中の硫黄濃度の全国平均は3.6mg/L（最低0.4～最高51.7mg/L）であり、温泉の影響を受けている河川で硫黄濃度が高い傾向にあるとしている。さらに、小林（1961）の調査結果を地方別に解析すると、硫黄濃度は北海道4.73、東北4.46、関東4.20、中部3.28、近畿2.91、中国1.60、四国2.62、九州4.30mg/Lと概して東日本で高く、九州を除く西日本で低い傾向にあり、中国地方の硫黄濃度は北海道や関東地方に比べて有意に低かった（データ省略）。鈴木（1977）によると土壤中の可給態硫黄含量は中国地方で低い傾向にあり、硫黄の可給性が低い花崗岩を主な地質としていることを要因として指摘している。これらのことから、河川水中の硫黄濃度は流域とする土壤の硫黄可給性を反映する可能性が示唆される。本県の河川水中の硫黄濃度は下流域では全国平均と同等であるものの、上～中流域では全国に比べて低い可能性が高いことから、土壤の可給態硫黄含量について全県的な調査が必要と考えられた。

水稻栽培に要する灌がい水量は10a当たり1,000～1,400tとされ、栽培期間が長い晩生品種や透水性が高い土壌では多くなるとされている（吉澤，1980）。今回採水した所内圃場では中生品種「きぬむすめ」を作付けしていたため、灌がい水量を10a当たり1,200tとして試算すると硫黄供給量は10a当たり2.4～6.2（平均4.0）kgであった。一方で、水稻による硫黄吸収量は10a当たり0.8～1.7kgとされており（辻，2000；桐山ら，2022；桐山・横田，2023）、県南部では水稻による吸収量以上の硫黄が灌がい水によって供給されることが示唆された。

赤磐市1か所で調査した限りであるが、雨水で供給される硫黄量は10a当たり0.29kgと、灌がい水の平均4.0kgと比べると約7%とわずかであった。雨水中の硫黄は大気中の硫黄が降水時に降下するものであることから、環境省（2017）が大気中の硫黄について公開して

いる硫黄酸化物の排出量及び大気中の二酸化硫黄濃度について検討した。硫黄酸化物の排出量は、固定排出源とされる工場等から煙等で排出される硫黄量の推移をみたものである。国内の排出量は1978年の130万tから2014年の40万tまで経時的に減少しており、工場等における排出低減対策が進められたことを反映していると考えられた。次に、大気中の二酸化硫黄濃度は大気汚染防止法に基づき全国的一般局及び自排局と呼ばれる地点で測定されている。一般局は特定の発生源の影響を直接受けない場所に設けられた974か所（2015年度）、自排局は自動車排出ガスによる汚染状況を監視するために設けられた51か所地点（同年度）である。両局における大気中の二酸化硫黄濃度は、1974年的一般局0.017mg/L、自排局0.022mg/Lから2015年は一般局、自排局ともに0.002mg/Lと経時的に低下しており、排出低減対策が進められたことで、大気中の二酸化硫黄濃度も低下したと考えられた。なお、県内的一般局並びに自排局の二酸化硫黄濃度の推移についても全国データと概ね同様の推移を示した（データ省略）。これらの結果から、排出低減対策が進められる中で大気中の二酸化硫黄濃度は過去に比べて低下傾向にあり、雨水により供給される硫黄量も過去に比べて減少したと考えられた。

以上のとおり、水稻栽培期間中の灌がい水や雨水で供給される硫黄量を調べたところ、雨水で供給される硫黄量はわずかで、水稻による硫黄吸収量を上回る量の硫黄が灌がい水で供給されることが示された。水稻の硫黄欠乏症に対する総合的な肥培管理方法を確立するうえで、今後は、県中北部の灌がい水中の硫黄濃度の他に、土壌中の可給態硫黄含量に関する調査を進める必要があると考えられた。

摘 要

水稻の硫黄欠乏症に対して、肥料による硫黄施用だけでなく灌がい水や降雨による自然に由来する硫黄供給を含めた総合的な肥培管理方法を確立するため、水稻栽培期間中の灌がい水や雨水で供給される硫黄量を調査した。その結果、県南部9か所の灌がい水については10a当たり2.4～6.2（平均4.0）kg、赤磐市の雨水については10a当たり0.29kgであり、灌がい水に比べて雨水で供給される硫黄量はわずかであった。

引用文献

環境省（2017）環境統計集（平成29年版），<https://www.env.go.jp/doc/toukei/h29tbl.html>.（2024.6検索）

菅野均志（2019）水田土壌の硫黄（S）肥沃度評価に関する一考察. 肥料科学, 41:29-49.

木下卓也・松田敏彦（2001）岡山県の主要3河川の水質と地質の関係. 岡山大学地球科学研究報告, 8:29-38.

桐山直盛・高橋良学・伊藤美穂（2022）可給態硫黄含量が低い土壌における水稻の生育・収量と硫黄資材の施用効果. 東北農業研究, 75:23-24.

桐山直盛・横田紀雄（2023）県内水田における灌漑水からの硫黄供給量, 令和4年度 岩手県農業研究センター試験研究成果書, https://www.pref.iwate.jp/agri/_res/projects/project_agri/_page_/002/006/742/r04shidou_08.pdf.（2024.6検索）

小林純（1961）日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究. 農学研究, 48: 63-106.

大家理哉・網島健司・上田直國（2020）可給態硫黄含量が低い水田への石膏施用が水稻の生育や収量, 硫黄吸収量等に及ぼす影響. 土肥要旨集, 67:85.

鈴木皓（1977）硫黄栄養が作物のアミノ酸代謝におよぼす影響ならびに作物の硫黄栄養の診断法に関する研究. 農業技術研究所報告, 29:49-106.

辻藤吾（2000）水稻の硫黄欠乏による栄養障害と硫黄吸収特性. 土肥誌, 71:464-471.

吉澤孝之（1980）多収水田土壌の特徴, 植物栄養土壌肥料大事典（第2版）. 養賢堂, 東京, pp.580-587.