

講演要旨

水稻におけるイオウ欠乏の現状と対策

菅野均志

1. はじめに

硫黄 (S) は必須元素であるが、日本において作物の S 欠乏は稀と考えられてきた。しかしながら、近年水稻の S 欠乏の事例がいくつか報告されている (辻, 2000; 小野寺ら, 2011; 岡山県, 2012; 棚橋ら, 2016; 広島県, 2018 など)。私どもは水稻の S 欠乏に関わる土壌要因を明らかにすることを目的として、宮城県内外の 20 土壌を用いた水稻の S 資材 (石膏) 施与への応答と土壌分析の結果を整理し、水稻の S 欠乏には可給態 S だけでなく還元条件下で生成する亜鉛や銅の難溶性硫化物形成が影響すると報告した (那花ら, 2016)。現在はこの考え方に基づき、水田土壌の S 肥沃度を定量的に評価する方法の確立 (須磨ら, 2017; 瀧野ら, 2018) および S 欠乏により水稻の生育が停滞する圃場がどの程度存在するかの検討に取り組んでいる (菅野ら, 2018)。

本報告では、水稻の石膏施与への応答と土壌の可給態 S の関係、難溶性硫化物形成を考慮した水田土壌の S 肥沃度評価法の考え方、そして岩手県を例とした水田土壌の可給態 S の実態について説明する。

2. 水稻の石膏施与への応答と土壌の可給態 S

水田土壌の S 肥沃度の指標として、ポット栽培試験における水稻の石膏施与への応答と土壌の可給態 S の分析値を用いた。供試土壌は S 欠乏の有無が不明なものを含め宮城県内外の農地から採取した 20 土壌とした。

ポット栽培試験は東北大学の雨宮キャンパス (宮城県仙台市青葉区) で行い、2013 年に 9 土壌、2014 年に 7 土壌、2015 年に 6 土壌を供試し (重複あり)、NPK を施肥した常時湛水状態の 1/5000a ワグネルポットに水稻品種ひとめぼれの苗を 5 月 20 日前後に移植して出穂期まで栽培した。6 月 20 日前後 (分けつ期) に S 資材として試薬の石膏粉末 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 2.4 g/pot を表面施与した処理区と対照区を設定し、水稻の石膏施与への生育応答を出穂期まで観察した。水稻に S 欠乏による初期生育抑制・遅延があれば、分けつ期石膏施与により処理区が正常な生育に戻り (処理区で生育応答がみられ)、S 欠乏ストレスがなければ処理区の生育応答はみられないと仮定すれば、出穂期地上部の相対乾物重 (対照区 ÷ 処理区) を指標として水田土壌の S 肥沃度の土壌間比較ができると考えた。栽培試験の結果、供試した 20 土壌のうち 15 土壌で分けつ期石膏施与への有意な生育応答が認められ、更にこれらは葉色の低下や茎数不足といった明確な S 欠乏を示す 7 土壌と、形態的には判別し難いものの生育が有意に改善する 8 土壌 (隠れた S 欠乏) に分けることが可能であった。

土壌の可給態 S は，辻（2000）の方法を参考に 0.01M リン酸二水素カルシウム液による固液比 1：5 抽出液中の硫酸イオン濃度をイオンクロマトグラフにより定量し，乾土 1 キログラムあたりの S ミリグラムとして表記した．供試 20 土壌の可給態 S は 5.8～61.8 mg/kg の範囲にあり，Dobermann and Fairhurst（2000）が示した S 欠乏水準である 9 mg/kg を下回る地点も複数含まれていた．しかしながら，可給態 S が欠乏水準を大幅に上回っているにも関わらず強い S 欠乏（特に小さい相対乾物重）を示す土壌も一部にみられた．そのため，可給態 S と相対乾物重の関係をプロットしても両者の関係は判然とせず，水田土壌の S 肥沃度を可給態 S のみを用いて説明することは困難であった．

3. 難溶性硫化物形成を考慮した水田土壌の S 肥沃度評価

S は植物の根から硫酸イオンとして吸収されるが，水田のような還元条件では硫酸イオンは硫化物イオンに形態変化し，土壌中で様々な硫化物が形成する．そのため，水田土壌の S 肥沃度を考える際には，可給態 S（硫酸態 S）の量だけでなく，土壌還元の進行に伴う硫酸イオン消失（硫化物イオン生成）と金属硫化物の沈殿（不動化）の想定が必要となる．また，その際には硫化物イオンと二価鉄から形成した硫化鉄（FeS）と他の難溶性硫化物を同等に不可給態とせず，S の可給性が金属硫化物の溶解度の違いによって変わること前提にした考え方が有効である．

例えば，出穂前後 3 週間程度を湛水管理して難溶性の硫化カドミウム（CdS）の維持に努めることは水稻の Cd 吸収および可食部への移行を抑制する技術として広く知られるが，同時に CdS 由来の S の溶解も制限される．また，米国環境保護庁は，底生生物の重金属吸収（中毒）と難溶性硫化物形成の関係を文書にまとめている（U.S. EPA, 2005）．この文書では，底質中の重金属（カドミウム，銅，鉛，ニッケル，銀，亜鉛）の底生生物への吸収が金属硫化物の形成による難溶化および S の存在量によりコントロールされることを指摘し，底質中での硫化物イオンと金属の沈殿（S の分配）を溶解度（FeS >> NiS, ZnS > CdS, PbS >> CuS >>> Ag₂S）に基づいて説明している．

そこで，FeS よりも難溶性の硫化物形成による S の不動化を想定すれば水田土壌の S 肥沃度を評価できると考え，難溶性硫化物を形成する可溶性金属として 0.1M 塩酸抽出性の金属（亜鉛，鉛，カドミウム，銅）を暫定的に用い，これらの金属が硫酸イオン（可給態 S）の還元によって生じた硫化物イオンとモル比 1：1 で硫化物を形成すると仮定して前記栽培試験の結果を整理した．その結果，供試 20 土壌は可溶性金属の物質質量合計が可給態 S よりはるかに多い 6 土壌と可給態 S が可溶性金属を上回る残りの 14 土壌に分けることが可能であった．この区分により可給態 S と相対乾物重の関係が明確になったことから，土壌分析による水田土壌の S 肥沃度評価の実現可能性が示唆された（那花ら，2016）．

4. 水田土壌の可給態 S の実態

可給態 S が少なく、ポット栽培試験において分けつ期石膏施与への応答が認められた秋田県大潟村および岩手県沿岸南部の試験水田を対象として、枠試験により S 資材の施与効果をそれぞれ 2015 年と 2016 年に検討した。その結果、ポット栽培試験ほどの違いは認められなかったものの、S 資材による収量増加を確認することができた(菅野, 2019; 古屋ら, 2017)。

水田土壌の S 肥沃度評価には、亜鉛や銅等との難溶性硫化物形成の考慮が必要であるが、可給態 S が一定水準に達していない水田においては、難溶性硫化物形成を考慮した S 肥沃度評価を行うまでもなく早急な対策が求められる。前記ポット栽培試験では、可給態 S が 10 未満の土壌では水稲は石膏施与に応答し、10~20 での応答の有無は様々、20 mg/kg 以上ではほぼ正常な生育を示した。これらを土壌の可給態 S 水準の目安とすることは可能だが、土壌の可給態 S の分析は殆ど行われていないのが実情である。

ここでは土壌の可給態 S の広評価事例として、岩手県の水田 216 地点から採取した試料を対象とした分析結果(菅野ら, 2018)を紹介する。図 1 に可給態 S の頻度分布を地帯別に示した。全体を水準毎にまとめると、可給態 S が 10 未満は 41 試料(全体の 19%)、10~20 は 82 試料(同 38%)、20 mg/kg 以上は 93 試料となった。供試土壌に偏りがあるものの、この結果は S 不足による水稲の生育抑制が懸念される水準にある水田が決して少なくないこと、そして可給態 S の本格的な広域評価が必要なことを示唆するものである。

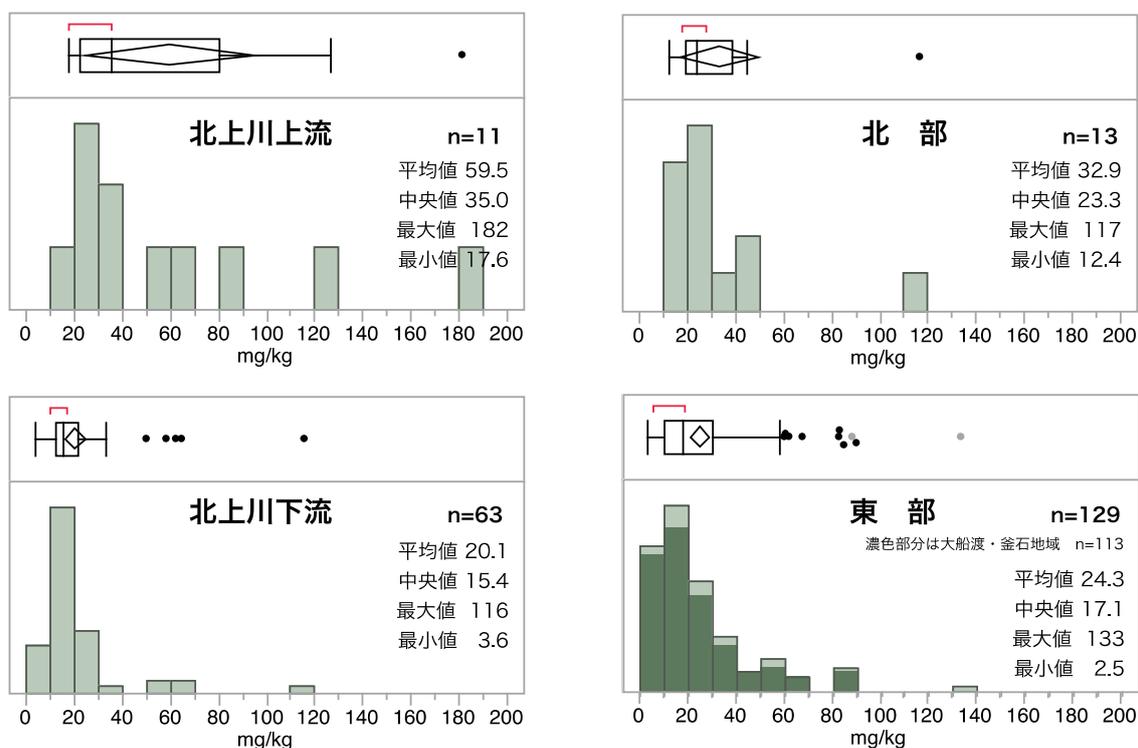


図 1: 地帯別にみた岩手県水田土壌の可給態 S の頻度分布 (菅野ら, 2018)

5. まとめと今後の課題

那花ら（2016）の提案した「可給態 S と難溶性硫化物形成を考慮した水田土壌の S 肥沃度評価法」の流れを図 2 に示した。この判定法によれば、0.1M 塩酸抽出性の亜鉛や銅の物質量合計が可給態 S の物質量を上回る水田では S 欠乏が発生し、それ以外の場合でも可給態 S が一定水準以下であれば S 欠乏の懸念があり、それ以外なら S 欠乏の心配は殆どない土壌であると判断できる。この考え方は土壌分析により水田土壌の S 肥沃度を広域評価する際に極めて有効である。

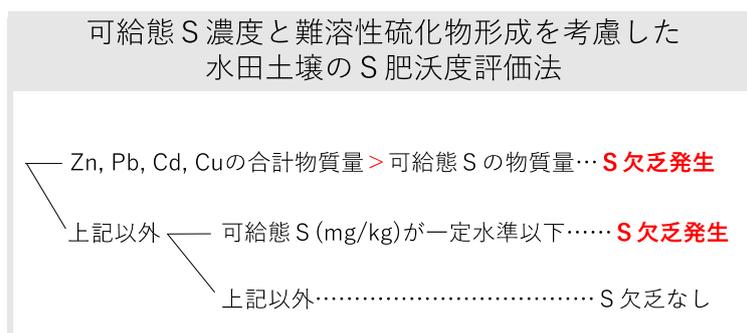


図 2：水田土壌の S 肥沃度の判定法（那花ら，2016）

今後の課題としては、次の 4 点が挙げられよう。1) 土壌診断による S 肥沃度評価法の確立と広域評価、2) S 資材の効率的施与法の検討、3) 隠れた S 欠乏圃場での窒素施肥量の最適化、4) 水田土壌の S 収支の検討。以上のように、水田土壌の S 肥沃度について土壌肥料関係者が対応すべき課題は少なくない。特に、隠れた S 不足により水稻本来の生産性を発揮できていない、もしくは知らず知らずのうちに窒素肥料が無駄に使用されているのであれば、それは大変不幸なことである。

引用文献

Dobermann and Fairhurst (2000) Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. International Rice Research Institute, Los Baños, 191

古屋聡・菅野均志・横田紀雄・小田島芽里・渡邊紀之・多田周平・南條正巳（2017）岩手県沿岸南部地域の津波復旧水田作土における水稻の石膏施与への応答, 日本土壌肥料学会 2017 年度仙台大会 講演要旨集 63, p.95

広島県東部農業技術指導所（2018）水稻硫黄欠乏の発生状況と対策, 広島県ウェブサイト 農林水産局 農業技術課 技術資料（2018 年 2 月）
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/272017.pdf>

菅野均志（2019）水田土壌における硫黄肥沃度について－可給態硫黄だけで説明できるのか？－, 肥料経済研究会「水稻におけるイオウ欠乏の現状と対策」, 季刊 肥料時報 2018 年度 第 3 号, 5-32

菅野均志・横田紀雄・数藤慶亮・古屋聡（2018）水田土壌の硫黄肥沃度広

- 域評価－岩手県における土壌の可給態硫黄の測定事例－，日本土壌肥料学会 2018 年度神奈川大会 講演要旨集 64， p.8
- 那花友莉恵・須磨彩夏・菅野均志・高橋正・南條正巳（2016）常時湛水ポット栽培における水稲の石膏施与への応答(2)－土壌分析による水田土壌の硫黄肥沃度判定の可能性－，日本土壌肥料学会 2016 年度佐賀大会 講演要旨集 62， p.94
- 岡山県東備農業普及指導センター（2012）黄化イネの原因は硫黄欠乏と結論，岡山県ウェブサイト（2012 年 11 月 16 日）
- 小野寺和英・島秀之・長谷川榮一（2011）カドミウム汚染圃場における水稲生育停滞の回復技術，宮城県古川農業試験場報告 9：7-12
- 須磨彩夏・那花友莉恵・菅野均志・高橋正・南條正巳（2017）可給態硫黄濃度と難溶性硫化物形成を考慮した水田土壌の硫黄肥沃度評価とその検証，日本土壌肥料学会 2017 年度仙台大会 講演要旨集 63， p.94
- 瀧野百重・菅野均志・高橋正・金田吉弘・南條正巳（2018）北秋田市合川の水田土壌における水稲の石膏施与への応答，日本土壌肥料学会 2018 年度神奈川大会 講演要旨集 64， p.91
- 棚橋寿彦・和田巽・加藤誠二・山田隆史・浅野智孝・見城貴志・田中誠二・北嶋敏和（2016）豚ふん堆肥の成分と散布性を改善した成型肥料の開発－第 2 報 新肥料規格による粒状肥料の開発と利用－，岐阜県農業技術センター研究報告 16：26-36
- 辻藤吾（2000）ペースト肥料による水稲の初期生育抑制障害と障害に対する資材の施用効果，日本土壌肥料学雑誌 71：454-463
- U.S. EPA (2005) Procedures for the Derivation of Equilibrium Partitioning Sediment Benchmarks (ESBs) for the Protection of Benthic Organisms: Metal Mixtures (Cadmium, Copper, Lead, Nickel, Silver, and Zinc), U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-02/011 (NTIS PB2006-102425)