

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

氏 名 三原千加子

論文題目 水田土壌におけるケイ酸の
動態に関する研究

論文審査担当者

主査	名古屋大学教授	渡邊	彰
委員	名古屋大学教授	山内	章
委員	名古屋大学教授	浅川	晋
委員	名古屋大学教授	渡邊	健史

論文審査の結果の要旨

ケイ素 (Si) は、水稻に対して光合成速度、受光態勢、根の酸化力、食味および生物的/非生物的ストレス耐性の向上をもたらす有用元素と位置づけられている。水稻は土壤溶液中の Si を吸収し、その効果は吸収量が高いほど大きいとされている。水稻体の Si 含量を高く維持する上で、土壤中における水溶性 Si の給源、動態、構造を理解することは重要である。土壤溶液中には、鉱物の溶解、鉱物に吸着している水溶性 Si の脱着、有機物の分解によって遊離したポリケイ酸の溶解等により Si が供給されるが、これまで水稻の主要な Si 源は土壤が還元することで可溶化する鉄 (Fe) 酸化物に吸着したケイ酸であろうと予想されてきた。そこで、本研究では、土壤の酸化還元に伴う Fe の形態変化と水溶性 Si の動態との関係、可給態 Si に対する易還元性 Fe の寄与、溶存 Si の化学種と水稻の利用性との関係を明らかにすることを目的とした。

まず、水稻生育中後期に落水・湛水を繰り返す節水栽培に着目し、水管理による土壤水分の変動とそれに伴う Fe の酸化還元が土壤中の水溶性 Si の動態と水稻の Si 吸収量に及ぼす影響を圃場試験によって調べた。千葉県九十九里の農家 2 圃場に節水区 (中干し以降間断灌溉) と対照区 (中干し以降も湛水) を用意し、3 年間にわたって、作付け期間中の酸化還元電位 (Eh)、土壤溶液中の Fe 濃度、Si 濃度の変動および水稻の Si 吸収量を比較した。両区とも飽和容水量は維持されていたが、Eh や Fe 濃度の変動が節水区と対照区とで明らかに異なっていた。一方、Si 濃度にはそれらとの関連は認められず、水稻生育後半には両区とも低い濃度で推移した。また、土壤からの推定 Si 供給量、水稻による Si 吸収量は処理区間で差がなかった。そこで、作付けのない土壤培養試験を行って、間断湛水による溶存 Si 濃度の変化を調べたところ、Fe 同様、落水による減少と再湛水による増大が確認された。しかし、沈殿による溶存 Si 減少率を圃場試験のデータに適用した結果、節水管理によって水稻が吸収できなかった Si 量は吸収量の 1% 以下と推定された。さらに、節水による灌溉水からの Si 供給量の減少も水稻が吸収した Si の 2~5% 相当であったことから、節水栽培は水稻への Si 供給に有意な差をもたらさないと結論した。

次に、土壤中の易還元性 Fe が土壤から水稻への Si 供給量に及ぼす影響を明らかにするために、千葉県内水田 13 圃場における土壤中の可給態 Si 含量と非晶質 Fe、非晶質 Al およびそれらと共抽出される Si (Si_0) の含量、水稻茎葉・穂中の Si 量との関係を解析した。また、先の九十九里土壤における結果の一般性を検証するために、可給態 Si 含量、非晶質 Fe 含量が大きく異なる 3 土壤を選んで土壤培養実験を行った。13 土壤の可給態 Si 含量は、水稻茎葉・穂中の Si 含量および単位面積あたりの水稻による Si 吸収量との間にそれぞれ正の相関を示し、水稻の主要な Si 源となっていることが確認された。一方、可給態 Si 含量と非晶質 Fe、 Si_0 含量との

間には相関は認められず、非晶質 Fe に吸着した Si 以外に主要な Si 源が存在することが示唆された。土壌培養試験における間断湛水処理では、落水の際に土壌溶液中の Fe 濃度が常に 83~96%減少したのに対し、Si 濃度の減少率は 22%以下であった。さらに、湛水・落水を繰り返すと、減少率は低下した。また、再湛水後、Fe の再還元・可溶化よりも早く Si 濃度が回復する傾向が認められた。そこで、メタケイ酸溶液と Fe²⁺溶液との混合試験を行って液相中の Si 濃度と単位 Fe 沈殿量あたりの Si 沈殿量との関係を示す Freundlich 式を導き、土壌培養試験における Si 沈殿率を推定したところ、実際の沈殿率が推定値より低いことが明らかになった。これらの結果より、水田土壌では落水時に酸化した Fe は他の溶存物質と反応することで溶存 Si の一部としか反応しない一方、溶存 Si 濃度が低下すると吸着平衡が移動して土壌から Si が溶出することで、Si 濃度の変動が抑制されると結論した。

一般に土壌や灌漑水からの水稻へのケイ酸供給量は、溶存ケイ酸のほとんどが Si(OH)₄⁰であることを前提に Si 濃度として評価される。しかしながら、pH が中性付近で Si 濃度が低い天然水中に含まれる溶存ケイ酸の化学種を分析した例はほとんどない。そこで、溶存ケイ酸種の分析手法としてキャピラリー電気泳動質量分析 (CE-MS) の利用を検討した。まず、Si 濃度が異なるシリカゲル溶液を用いて、CE-MS で検出される 7 種のケイ酸由来ピークの面積の和が ICP 発光分析で定量した Si 濃度と比例することを確認し、異なる比率で混合した ²⁹Si および ²⁸Si シリカゲル溶液を用いて、主要な化学種について ²⁹Si ケイ酸と ²⁸Si ケイ酸のピーク面積比が溶液混合比を反映することを明らかにした。次いで、天然水の例として、集水域の土壌群 (黒ボク土、褐色森林土) および広葉樹林/針葉樹林の分布 (針葉樹林占有率 0~92%) が異なる 10 河川水試料中のケイ酸組成を解析した。その結果、全試料から単量体と共に 2 量体が、また、9 試料から環状 4 量体、7 試料から直鎖 5 量体が検出された。単量体の存在比は 21~67%に留まり、2 量体 (27~50%)、環状 4 量体 (0~27%) も重要な形態であることが示された。河川流域の森林植生とケイ酸組成との関係は認められなかったが、集水域の土壌が黒ボク土である河川では多量体の存在比が大きいことを見出した。

以上のように、本研究は、水田において土壌水分の変動は飽和容水量を維持する限り Si 供給量には影響しないこと、これまで可給態 Si の主要担体とされてきた易還元性 Fe の量および動態は水稻への Si 供給量を支配する重要な因子ではないことを明らかにするとともに、河川水中に一般的に単量体以外に多量体のケイ酸が存在することを初めて示し、水稻への Si 供給を評価する際にケイ酸多量体の利用性を考慮する必要があることを示唆したものである。本審査委員会は、本論文の内容が博士 (農学) の学位論文として十分に価値あるものとして認め、合格と判定した。

試験の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 第	号	氏名	三原 千加子
試験担当者	主査 渡邊 彰、副査 山内 章、浅川 晋、渡邊健史			
<p>(試験の結果の要旨)</p> <p>平成30年 2月2日学位審査委員会において、主論文の内容を中心としてこれに関連する科目の学識および研究能力について試問し審査した結果、合格と判定した。</p>				