

## 論文の内容の要旨

農学国際専攻

平成 25 年度博士課程 入学

氏名 エリサ アズーラ ビンティ アズマン

指導教官名 二宮 正士

論文題目 Alleviating soil acidity for rice grown with application of soil amendments and its effect on GHG emissions – Finding recommendations for rice production in Malaysian acid soil (土壌改良剤による水田土壌酸性度の改善と温室効果ガス排出への影響 -マレーシア酸性土壌における水田作への提言)

米はマレーシアにおける主食である。マレーシア政府は需要の増大を見越しながら、引き続きその増産が必要であると農民にさらなる栽培を求めている。そのため農民は、酸性土壌といった栽培に不適な土地であっても増産をしようとしている。しかし、マレーシアにおけるそのような酸性土壌の pH は低く ( $<4$ )、同時にアルミニウム含量も高い ( $>2 \text{ cmolc/kg}$ ) ため、生産性向上のおおきな障害となっているのが実情である。マレーシア農務省は、土壌改良剤として、苦土石灰 (GML、Ground Magnesium Limestone) を土壌酸性度に応じて 1.5 から 5t/ha 施用することを推奨している。

本研究が対象とする硫酸性土壌の場合は、多量の GML が必要でその酸性度を緩和するために 4 t/ha 以上の施用が必要とされ、農民もそれに従って GML を施用している。しかし、GML の価格は上昇し続け、2010 年には US\$ 50/t だったものが 2016 年には US\$ 122/t まで上昇しており、よりコストパフォーマンスの高い方法が求められているが、未だに効果的な方法が提案されるには至っていない。

そこで本研究では、以下の 3 通りの方法を検証することで現行の GML 施用の代替方法を検証することとした。すなわち、①GML の施用量を下げる、②GML を代替するより安価な土壌改良剤を発見し利用する、③GML と新たな土壌改良剤の組み合わせ施用、の 3 通りである。本研究では、より安価な代替土壌改良剤となりうるものとして製鉄業から副産物として生成されるケイ酸カルシウムスラグ (CSS, Calcium Silicate Slag) に注目した。CSS はそのような安価な代替土壌改良材の一つとして期待できるとともに、土壌改良剤として活用できれば、従来工業廃棄物であったものの活用で有り環境対策にもなることが期待できる。さらに、CSS には豊富な活酸化鉄を含みメタン発生など水田からの温室効果ガス排出を抑える機能も期待できる。

本研究は、そのような代替土壌改良剤としての CSS に注目した、既に広く使われている GML や今回検証するケイ酸カルシウムそれぞれのマレーシア硫酸性土壌における土壌改良効果ならびに、両者の組み合わせによる土壌改良効果の検証、温暖化効果ガス排出との関係などを明らかにし、経済性も含めてマレーシア硫酸性土壌での水稻作に、土壌改良剤施用に関わるより効果的で低コストな新たな提案を試

みるものである。なお、マレーシアでは CSS はマレーシア環境法 Act 1974 で、土壤に直接施用することは現状では認められていないため、本研究では化学分析用のケイ酸カルシウムを用いて研究を行った。

本研究では、第 1 に現在広く用いられている 3 種類の酸性土壤改良剤である GML、消石灰 (HL)、液体石灰 (LL) を比較し、それらの硫酸性土壤水稻栽培での収量に与える影響、第 2 に GML 施用を慣行の 4t/ha より減じた場合の硫酸性土壤の酸性度やアルミニウム毒性などへの影響。第 3 に GML 代替土壤改良材としてケイ酸カルシウムの施用による硫酸性土壤の酸性度やアルミニウム毒性などへの影響、第 4 に GML とケイ酸カルシウムをさまざまな施用量の組み合わせで混用した場合の、それぞれの組み合わせ方による硫酸性土壤の酸性度やアルミニウム毒性などへの影響、第 5 にケイ酸カルシウム施用による温室効果ガス排出、についてそれぞれ調査検証を行った。

以上の結果について、これまでの報告から設定した 5 種類の硫酸性土壤改良の目標ガイドライン、すなわち、①土壤酸性度  $\text{pH} > 4$ 、②交換性アルミニウム  $< 2 \text{ cmolc/kg}$ 、③交換性カルシウム  $> 2 \text{ cmolc/kg}$ 、④交換性マグネシウム  $> 1 \text{ cmolc/kg}$ 、⑤ケイ素含量  $> 43 \text{ mg/kg}$  に基づき、土壤改良効果を評価検証した。その結果、GML とケイ酸カルシウムの混用の複数の組み合わせ量で、現行の GML 施用 4t/ha から減じて、同様にそれ以上の土壤改良効果が得られることが明らかになった。その中で、施用コスト（人件費と資材費）から判断して、ケイ酸カルシウム 2t/ha と GML 2t/ha ないしはケイ酸カルシウム 3t/ha と GML 2t/ha の組み合わせを推奨すべきと判断された。現行の費用（GML 4t/ha）が US\$668/ha であるのに対し、ケイ酸カルシウムスラグを用いる前提で前者は US\$ 484 (-28%)、後者は US\$ 559 (-16%) となり費用が大幅に削減された。両者とも目標ガイドラインの達成度も現行の GML 4t/ha の単一施用より高く、とくに後者ではその改良効果は顕著であった。さらに、ケイ酸カルシウムを 1t/ha ないしは 2t/ha 施用することで、トータルの温室効果ガスを 60% 以上減じられることも示唆され、ケイ酸カルシウム併用の第 2 の効果も示された。

以上のように本研究は、これまでマレーシア政府の推奨のもと慣用されてきた GML 単独施用に代わり、GML とケイ酸カルシウムを併用する事で、土壤改良効果を向上できる上、ケイ酸カルシウムスラグを使えば、コストも大幅に向上できること、産業廃棄物対策にもなることを示したもので、今後のマレーシア硫酸性土壤における水稻作に大きく貢献することが期待できる。