

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22405015

研究課題名(和文) 東北タイ天水田における土壌養分動態の解明に基づくイネの耐乾性評価

研究課題名(英文) Assessment of resistance of rainfed lowland rice to aerobic condition in northeastern Thailand based on the dynamics of nutrients in soil

研究代表者

山岸 順子 (Yamagishi, Junko)

東京大学・農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：60191219

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円、(間接経費) 4,170,000円

研究成果の概要(和文)：タイの稲作はその約6割が天水田と呼ばれる降雨に依存した水田で行われている。特に東北タイでは土壌が砂質のため、乾燥と湿潤を頻繁に繰り返すのに加えて、養分の供給力や保持能力が低い。そのため、収量が低く、その改善が大きな課題である。そこで養分の吸収量を評価し、吸収量の改善に基づく収量の改善を試みた。その結果、土壌はリン欠乏傾向にあることが明らかにされたが、リンを施肥しても必ずしも生育は改善せず、それはリンが土壌中で移動しにくいこと、水欠乏により根の伸長が抑制されること、窒素状態の改善も同時に必要であることによっていた。使用した系統の中には生育の優れたものがあり、今後リン吸収との関係を解析したい。

研究成果の概要(英文)：The rainfed lowland is a major rice ecosystem in Thailand. In northeast Thailand, especially, rice plant experiences anaerobic, aerobic and drought conditions alternately during the life cycle and moreover soil capacity of nutrient supplies and retention is very low due to sandy soil. Therefore, rice yield is seriously reduced. Our objectives were to clarify the nutrient dynamics in soil and rice plants and to improve rice yield with improvement of nutrient absorption. As a result, phosphorus content in soil was not high and the deficiency was occurred. But, phosphorus fertilizer did not effective, because phosphorus is hardly moving in soil, and root growth was strongly reduced by anaerobic-aerobic transition, and the favorable nitrogen had to be accompanied. We could find out some lines showing relatively good growth under this rainfed condition. They are assumed to have the capacity to absorb phosphate effectively. It is necessary to be analyzed to improve rice productivity.

研究分野：農学A

科研費の分科・細目：作物学・雑草学

キーワード：天水田 東北タイ 土壌養分 水資源 作物学 土壌学 国際研究者交流

1. 研究開始当初の背景

世界的なイネの生産は、1960年代の緑の革命以後、最適な養水分管理のできる灌漑水田が主に担ってきた。一方で、アジア・アフリカ地域の稲作面積の約半分は依然として灌漑設備のない天水環境であり、その生産性は過去50年間ほとんど増加していない。タイ東北部の稲作地帯は今日でも灌漑設備がなく、干ばつリスクと肥沃度の低い土壌のために、緑の革命後以降もイネ生産性が伸びず依然著しく低い(約2t/ha)。このため乾燥抵抗性付与が育種目標の中心となっている。近年では分子遺伝育種を世界の途上国の中でも先駆的に導入し、高度戻し交配とDNAマーカー利用選抜によるイネ品種改良の迅速化が目指されている。このような分子遺伝育種の画期的な進歩にもかかわらず、天水下の多様な土壌養水分環境の類型化が行われず、また植物体の養分利用についても定量的に評価されてこなかったため、干ばつ下の収量のみによる系統選抜効率は低く、フェノタイプング(形質評価)精度の向上が最大の課題として残されている。

2. 研究の目的

上記のような背景を踏まえ、育種効率を高めるためには、天水下のイネの生育環境、とくに土壌環境の特徴付けが必須であり、それに基づいて、イネの養分利用についての評価を行う必要がある。本研究では、乾燥・湿潤と湛水を繰り返す天水下の土壌養分動態、および植物体の養分利用を定量化し、水環境の不安定な天水イネ育種のスクリーニング条件を設定する。同時に、現地研究機関の育種家と共同して低肥沃・乾燥土壌耐性に関与する生理生態的形質の解明に取り組み、当該地域の分子育種に寄与することを目的とする。

3. 研究の方法

(1)非湛水条件におけるイネの養分吸収制限
天水田特有の乾燥と湿潤を繰り返す土壌環境を再現するために、非湛水条件を設定し、土壌養分の動態とイネの養分吸収について調査をおこなった。タイ東北部ウボンラチャタニ県に位置するウボンラチャタニイネ研究所(URRC)にて、2010年と2011年に実験をおこなった。供試品種としてURRCの育種用系統群の中から、国際稲研究所(IRRI)育成の倍加半数体系統(DHLs: CT9993/IR62266)7系統と、URRC育成の戻し交雑系統(BCLs: Surin1*3/IR68586-FA-CA-143)8系統を選抜した。Surin1は現地育成品種であり、IR68586-FA-CA-143はDHLsから選抜された系統で、乾燥条件下で高い葉身水ポテンシャルを示す。これらの系統および親品種に、APO(IRRI育成多収陸稲品種)、IR72(IRRI育成標準水稲品種)、RD6(代表的なタイのもち米品種)を比較品種(CHKs)として加え、計20系統を用いて栽培実験を行った。栽培条件

として、湛水区および非湛水区を設定し、土壌溶液中の養分濃度、イネの生育・収量および養分吸収量を調査した。非湛水区は表面排水を行い、水ストレスによる影響を避けるために、土壌水ポテンシャルが -20kPa を下回る場合にはかけ流して灌水を行った。

(2)施肥による生産性改善効果の評価

非湛水条件において窒素とリン酸に関する施肥試験を行い、生産性改善効果について評価を行った。また農家圃場にもリン酸施肥の実証試験を行った。

模擬天水田における施肥試験(1)と同様にURRCにおいて湛水区と非湛水区を設定し、2012年と2013年に試験を行った。慣行の施肥量である 3N g m^{-2} および $3\text{P}_2\text{O}_5\text{ g m}^{-2}$ を施す区(-P-N)を基準に、窒素及びリン酸を5回の分施によりそれぞれ 7 g m^{-2} 増肥した区を設けた(+P-N, -P+N, +N+P)。さらに吸収を促進させるために、リン酸の局所施肥・葉面散布および移植前施用を試みた。(1)の実験結果に基づき、戻し交雑系統群(BCLs: Surin1 × 3 IR68586-FA-CA-143)より3系統選抜し(以下、BCLs-1、BCLs-2、BCLs-3と表記)、その親品種であるSurin1にさらにRD6(タイの代表的な糯米品種)とAPO(IRRI育成の多収陸稲品種)を加えた計6系統を供試した。出穂期及び収穫期にイネの地上部を採取し、乾物重と窒素吸収量、リン吸収量を解析した。

農家圃場における評価 2013年に研究所周辺の農家圃場26筆で、農家の慣行栽培(慣行区)におけるイネの地上部乾物重、収量および窒素とリン吸収量を評価した。また調査圃場の一部の区画において 7 g m^{-2} のリン酸肥料の追肥を行い(追肥区)、リン酸の施用効果を評価した。

(3)養分吸収制限を引き起こす土壌要因

乾湿を繰り返す非湛水条件では、イネの窒素およびリンの吸収と乾物生産が湛水条件よりも抑制されることが示されてきた。その要因が何であるのかを明らかにするために作土での根の伸長と土壌からの養分供給を評価し、養分欠乏の発生要因の解明を試みた。タイ国のウボンラチャタニイネ研究所内の2か所の圃場で、2011年および2012年の雨季に3種類の栽培試験を行った。栽培試験には現地の慣行品種であるRD6を供試した。2011年の圃場試験では非湛水圃場と湛水圃場を設置した栽培試験を行い、成熟期に試料を採取した。2012年の土壌入れ替え試験では、風乾土で約9kgの土壌を充填した素焼きポットを用いて試験圃場の土壌を交互に入れ替えた2因子栽培試験を行い、出穂期に試料を採取した。2012年の圃場試験では非湛水圃場で4種類の施肥区(+N+P、+N-P、-N+P、-N-P)と湛水圃場で2種類の施肥区(+N+P、+N-P)を設けた栽培試験を行い、出穂期に試料を採取した。試料はイネ地上部、作土の根、

作土を採取した。さらに 2012 年圃場試験では根と土壌を根域土壌採取器によって株中心からの距離 (0-3、3-6、6-9 cm) に応じて切り分けて供試した。地上部試料は乾物重、窒素吸収量およびリン吸収量、根は根重および根長、土壌は EC、pH、無機態窒素、窒素無機化量および可給態リン (Bray-2 抽出) を測定した。さらにこれらの栽培試験の結果を解釈するために、2010 年に採取した供試圃場および近隣のフアドン村の農家圃場の上位田から下位田までを含む計 10 点の作土を用いて、湛水条件で室内培養試験を行った。そして CaCl_2 と Bray-2 抽出液による連続抽出によって、土壌養分の可給度に及ぼす湛水培養の影響を評価した。

(4) 非湛水条件でのイネ根系生長

2010-2012 年に地上部の栄養吸収量および収量を調査した試験と同様の試験区において天水田を模した非湛水処理に対するイネの根系生長応答の系統間差異を比較・検討した。タイの灌漑水稻品種である Surin1 とその戻し交雑系統 (BC3 由来) 10 系統, CT9993-5-10-1-M/IR62266-42-6-2 の倍加半数体系統 7 系統および Apo, IR72 を調査した。生殖生長期にコアサンプラーを用いて地下 35cm まで根系を採取したが、30cm 以深に根を検出できなかったため、画像解析による根系形態計測は深さ 0-30cm の根系についておこなった。この根系形態計測をおこなうために、従来の評価方法と同様の値を得られる簡便で効率的な画像解析手法の開発もおこなった。合わせて、貫入式硬度計を用いて土壌硬度を調査した。また、2010、2011 年の結果に基づいて、2012 年には 2010、2011 年の試験において非湛水条件で比較的良好な生育・収量を示した Surin1 の戻し交雑系統 3 系統に注目して、肥料段階を変えた試験 (施肥試験) において根系の調査をおこなった。調査方法は 2010、2011 年と同様である。

(5) イネにおける酸化障害

作物が環境ストレスに曝されると、過剰な光エネルギーにより光合成細胞が酸化ストレス状態になるとされている。乾燥や養分ストレスが頻発する天水田農家圃場において、水稻葉の細胞膜安定性指数 (Membrane Stability Index: MSI) を測定し、酸化ストレス程度を評価した。フアドン村に位置する農家圃場群において、2011 年 9 月 26 日および 10 月 29 日から 11 月 1 日にかけて測定を行った。この圃場群は、これまでの調査により利用可能水量や土壌養分が評価されており、相対標高の増加とともに養分ストレスや水ストレスを強く受けることが指摘されている。測定は 244 筆のうちランダムに 106 筆選択し、SPAD 値を計測し合計で 285 枚の葉片を採取した。採取した葉片の MSI は Sairam and Saxena (2000) の方法に準じて評価した。葉片採取時に湛水(1)、部分湛水(0.5)、非湛水

(0) および無倒伏(0)、完全倒伏(1)の評価も併せて行った。雑草イネが散在している圃場が見られたため、10 月 30 日には雑草イネの葉片 11 枚に対しても同様の測定を行った。

4. 研究成果

(1) 非湛水条件におけるイネの養分吸収制限

2010 年と 2011 年の降雨と非湛水区における土壌水ポテンシャルを図 1 に示した。2011 年は降雨が多く、土壌水分は比較的高く維持された。土壌溶液中の NH_4^+ 、 K^+ は両年で大きく異なり、2011 年が低かった。これは、施肥が行われない溶液中の Na 含量があまり低下していないことから、降水等による希釈よりは前作の施肥管理の影響が原因であると考えられた。非湛水区では養分濃度が湛水区より低く、乾燥後に養分の上昇がみられるなど、土壌水分が養分濃度に影響を与えていることが示された。P は両年・条件においても検出限界以下の濃度であった。

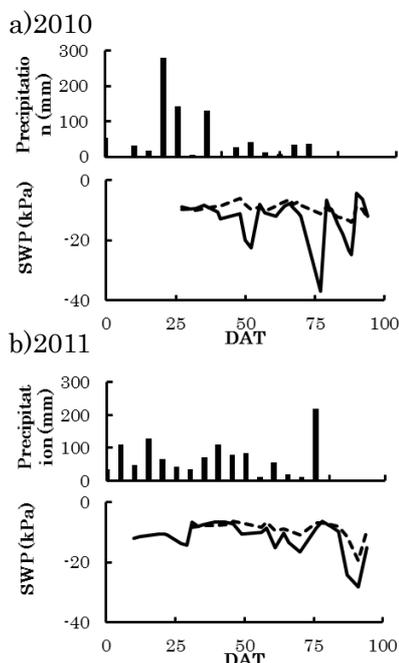


図 1. 2010 年および 2011 年の栽培実験期間中の降水量および非湛水区における深さ 20cm (—) および 40cm (⋯) における土壌水ポテンシャル。DAT: 移植後日数。

非湛水区におけるイネ収量は、2010 年の平均で 211 g m^{-2} から 2011 年の 130 g m^{-2} へ大きく低下した。2011 年は土壌水分が比較的高く維持されたことに加え、収穫指数の低下も大きくなかったため、収量低下の理由として、土壌乾燥よりは養分欠乏の影響が疑われた。地上部乾物重が収量と強い相関を示したため ($r=0.93^{**}$)、2011 年の非湛水区では養分吸収の制限により乾物生産が阻害され、収量が低下したと考えられた。しかし、湛水区では土壌溶液中の養分濃度が著しく低下したにも関わらず、地上部乾物重の低下は軽微であった。したがって非湛水区の養分吸収に

は土壤溶液の養分濃度だけでなく、土壤の乾湿の繰り返しの影響を受けていたと考えられた。

出穂期の植物体における N と P の吸収量と濃度の関係より、2011 年の湛水区ではリン吸収量の低下により乾物生産が低下したことが示唆された。一方、非湛水区では N 吸収量の低下割合の方が大きく、植物体 P 濃度が若干上昇したため、N が P よりも強い制限要因になっていたと考えられる。以上のことより、土壤溶液による方法は天水田の養分環境を評価するためには不十分であり、新たな評価法が必要であると考えられた。こうした乾湿を繰り返す非湛水条件においてもいくつかの BCL 系統が高い N および P 吸収量と乾物生産性を示し、そのような環境における栽培品種として有望であると結論された。

(2) 施肥による生産性改善効果の評価

農家圃場の慣行区におけるリン酸吸収量は、湛水日数とは明瞭な関係を示さなかったものの、ほぼ研究所内の湛水区と非湛水区で得られた値の範囲に分布した。約半数の圃場で植物体のリン酸濃度が 0.2% (PUE = 500 g g⁻¹) 以下を示し、リン酸が欠乏傾向にあると考えられた。

模擬水田の非湛水区における施肥試験では、窒素施肥と比較してリン酸施肥による増収効果は小さかった。これは施肥窒素の吸収効率が平均で 39%であったのに対し、施肥リン酸の吸収効率が平均で 3%と非常に低かったのが一因であると考えられた(表 1)。施肥リン酸の吸収効率は湛水区においても約 2%と非常に低く、水条件ではなく土壤に起因する問題であると思われる。一方、リン酸の 250 kg ha⁻¹ の多施肥や、局所施肥、葉面散布はリン酸吸収量の大幅な増加をもたらした。これらのことは植物体近傍に高濃度のリン酸を供給することにより、リン酸吸収の改善が可能であることを示唆している。しかしながらこれらのリン酸吸収量の増加によるイネの乾物重や収量への影響は、期待したほど高くはなかった。地上部乾物重は窒素吸収量による制限も受けているため、リン酸吸収に応じた窒素吸収の増加が必要と考えられた。農家圃場において追肥したリン酸は、吸収効率の平均が 2%であり、イネのリン酸吸収量や地上部乾物重に与える影響も非常に小さかった。しかしながら一部の圃場で収量が増加し、全体では 50 g m⁻² の有意な増収効果があると示された。

BCL 系統のうち BCLs-3 は親品種の Surin 1 との比較において、細根が発達し、根長密度が大きく、リンの吸収量が多かった。根長密度とリン吸収量の間には明瞭な量的な関係は確認されなかったものの、今後の解析対象として有望であると考えられた。

表 1. 施肥窒素 (N; 上) およびリン (P; 下) 吸収効率。

	P 施用量 (kg/ha)		N 吸収効率 (%)	
			2012年	2013年
非湛水区	+P	100	50.2	34.5
	-P	30	37.4	35.0

	N 施用量 (kg/ha)		P 吸収効率 (%)	
			2012年	2013年
非湛水区	+N	100	4.7	4.2
	-N	30	0.3	3.3
湛水区	+N	100	-1.1	4.9

(3) 養分吸収制限を引き起こす土壤要因

湛水培養試験 供試土壤はいずれも培養後に CaCl₂ 可溶性の窒素とカリウムは増加し、その増加量は土壤の有機物含量と対応した。一方、リンの場合は、CaCl₂ 可溶性画分は極めて低く、Bray-2 可溶性画分が培養後に増加した。その増加量は、最下位田から採取した 1 試料を除くと、有機物含量や Bray-2 可溶性鉄含量と対応した(それぞれ R²=0.58, 0.46)。これは湛水培養に伴う有機物の分解と酸化鉄の還元によってリンが可溶化されたことを示唆する。湛水培養に伴う Bray-2 可溶性リンの増加率は 2%~87%であったが、栽培試験供試圃場では非湛水圃場で 31%、湛水圃場で 2%と低い値を示した。2011 年圃場試験 移植前の土壤において、可給態リンは湛水圃場で非湛水圃場の約 8 倍の値を示した。非湛水圃場におけるイネの乾物生産、根重密度、窒素吸収およびリン吸収は湛水圃場よりも有意に低い値を示した。また非湛水圃場では作土がより硬かった。これらの結果から非湛水圃場では作土の理化学的要因によって根系形成が制限され、養分欠乏が引き起こされたことが示唆された。2012 年土壤入れ替え試験 栽培後の土壤の可給態リンは、水管理の影響を受けず、充填した土壤の相違の影響を受けた(表 2)。この結果から調査圃場では土壤水分含量の低下に伴う土壤中のリンの難溶化は起こらなかったことが示唆された。このことは上記の土壤培養試験の結果からも裏付けられた。さらに両圃場の土壤の可給態リンには約 3 倍の差があったが、イネの地上部乾物重、養分含量および吸収量は水管理によって規定されていた(表 2)。2012 年圃場試験 窒素施肥によって地上部乾物重と養分保有量は増加したのに対して、リン施肥によって、土壤中の可給態リンは増加する傾向にあったが、イネの地上部乾物重と養分吸収量の増加は見られなかった。さらに株元から半径 9 cm の作土の総根長の増加に伴って、窒素保有量は増加する傾向が見られたのに対して、リン保有量は増加せず非湛水区圃場と湛水圃場で大きな差が見られた。これら

の結果と培養試験の結果を総合すると、土壌からイネへのリン供給は窒素とは異なり、根の近傍からの拡散による供給が主体であり、イネのリン吸収は土壌水分含量の低下に伴う土壌中のリンの拡散係数の減少の影響を強く受けていたことが示唆された。また株元から 6-9 cm では 0-3 cm に比べて、細根がより発達しており、無機態窒素も少なく、pH も低かった。このことから株間での養分吸収が活発に行われていたことが推察された。表 2。

表1. 土壌入れ替え試験での稲の初期の生育量、養分吸収量、土壌の可給態リン含量

供試土壌-処理区	乾物量 (g/株)	窒素濃度 (mg/g)	窒素吸収量 (mg/株)	リン濃度 (mg/g)	リン吸収量 (mg/株)	土壌可給態リン (mg/kg)
非湛水-非湛水	37	6.9	223	1.9	63	39
非湛水-湛水	70	12.1	749	4.0	246	33
湛水-非湛水	50	6.0	271	2.4	109	111
湛水-湛水	85	10.9	850	3.7	215	117
供試土壌	ns	ns	ns	ns	ns	ns
処理区	**	**	**	**	**	ns
供試土壌 × 処理区	ns	ns	ns	ns	ns	ns

値は、3 連の平均値を示す。

土壌の可給態リンは、Bray-no.2法によって抽出した。

**と*は分散分析で1%, 5%で有意、nsは有意でないことを示す。

4) 非湛水条件でのイネ根系生長

気象経過として、2010 年は降水量が少なく、土壌の乾燥は頻繁に起こった。2011 年は降水量が多く、2010 年と比較して土壌水分は維持される傾向にあった。また、2012 年は 2011 年に近い気象経過を示した。

非湛水条件の圃場において、作土層の土壌硬度は水分条件と密接な関係にあり、灌漑直後から土壌は軟らかくなるが、灌漑を止めると数日以内に再び急激に硬くなった。対して、硬盤層以深では水分条件による土壌硬度の変動は小さかった。

2011 年には下層土の根系の生長は非湛水処理によって促進されたが、2010 年では灌水あるいは降雨の間隔が長くなった時に、土壌水分が低い状態が継続すると、土壌硬度が上昇して、下層への根の伸長が抑制された。

湛水・非湛水処理ともに、下層土の根重は総根重よりも根系の垂直分布と密接な関係にあった。下層土の根重比率には系統間に差異が認められ、非湛水処理において反復親である Surin1 よりも下層土の根の生長が促進される戻し交雑系統が複数認められた(図 2)。また、非湛水条件では陸稲多収品種の方が根系が大きく、側根も維持される傾向にあった。一方で、非湛水処理区の作土層の細根/太根比はどの系統でも湛水処理区より低下していた。これはタイ天水田を模した非湛水条件ではイネの側根の発達抑制されていた可能性を示唆している。

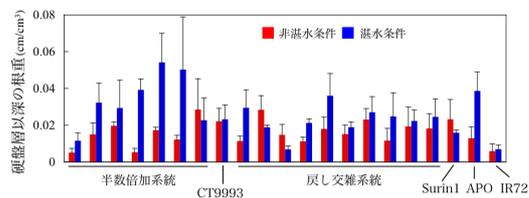


図 2. 硬盤層以深の根重密度(2010 年)。

以上から、東北タイ砂質土壌の天水田では、

厳しい干ばつが生じていない場合においても、無降雨の期間が長くなると土壌硬度等が変化することに伴って、下層土への冠根の伸長および作土層の側根発達が大きく変化すること、これらには遺伝的変異が存在することが示唆された。また、地上部のデータと合わせて考えると、このような根系生長特性は、タイ東北部の天水田におけるイネの養水分吸収動態に密接に関与していることが推察された。そのため、Surin1 の戻し交雑系統から 3 系統を選抜して Surin1 とともに、施肥試験で根系調査をおこなった。その結果、供試した戻し交雑系統の中の 1 系統が窒素欠乏条件に反応して、作土層でも硬盤層以深でも根長密度が大きく増加した。この系統は非湛水条件で収量およびリン吸収に優れている可能性が示唆された。しかしながら、このような根系形成と天水田における養分吸収の関係については、より詳細な解析が必要であると考えられた。

(5) イネにおける酸化障害

2011 年は降雨が多く、9 月 26 日には水ストレスの兆候は全く見受けられなかったが、10 月 16 日以降は降雨が全くなく、11 月 1 日までに上位田において葉巻程度(IRRI, 1996) 2 に相当する水ストレスが観察された。9 月 26 日の調査では MSI は平均 0.86 であったが、10 月 29 日からの 4 日間の調査では平均 0.82 と低下した。最小で 0.62 を示すなど、0.7 を切る測定値も観察され、酸化ストレスにより細胞膜が傷害を受けていることが推察された。MSI の低下は主に葉色の濃い葉で生じており、これは活性酸素の発生にクロロフィルが必要なためであると考えられる。一方で、葉色の濃い葉で必ずしも MSI の低下が起こっていたわけではないため、MSI の低下には別な要因が関係していると考えられた。調査地では水や養分が地形に応じて変化しているため、相対標高に対して MSI をプロットしたが、ほぼ無相関に近く有意な関係は得られなかった。湛水や倒伏の影響もはっきりとはしなかった。

以上のように MSI に関与する要因として SPAD 値の影響が一番大きかった。そこで SPAD 値以外の要因の影響を評価するために、10 月 29 日以降の 4 日間のデータを用いて重回帰分析を行った。測定日と湛水の効果は 10%水準ではあるが、いずれの項目も有意な回帰係数を示し、様々な要因で MSI が変化することが示唆された。測定日とともに低下する傾向が見られたことから、水ストレスもしくは成熟に伴うシンク活性の低下などが、光合成の低下を通して酸化ストレスを引き起こしたと推察される。雑草イネでは MSI の著しい低下は見られなかったが、SPAD 値に対する分布はイネと重なっており、酸化ストレス耐性が強いとは言えなかった。また、リン欠乏様相を呈した葉で MSI の低下を示す事例が観察され、養分バランスが酸化スト

レスの一因になることも考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

Kato, Y. and Katsura, K. (2014) Rice adaptation to aerobic soil: Physiological considerations for agronomy. *Plant Production Science* 17: 1-12. 査読有 https://www.jstage.jst.go.jp/article/pps/17/1/17_1/_pdf

Kato, Y., Tajima, Y., Homma, K., Toriumi, A., Yamagishi, J., Shiraiwa, T., Mekwatanakarn, P., Jongdee, B. (2013) Root growth response of rainfed lowland rice to aerobic conditions in northeastern Thailand. *Plant and Soil* 368: 557-567. 査読有、DOI: 10.1007/s11104-012-1538-3

Tajima, R. and Y. Kato (2013) A Quick Method to Estimate Root Length Distribution in Diameter Classes by Using Freeware ImageJ. *Plant Production Science*. 16: 9-11. 査読有 https://www.jstage.jst.go.jp/article/pps/16/1/16_9/_pdf

Tajima, R. and Y. Kato (2011) Comparison of threshold algorithms for automatic image processing of rice roots using freeware ImageJ. *Field Crops Research*. 121: 460-463. 査読有 DOI: 10.1016/j.fcr.2011.01.015

〔学会発表〕(計 7 件)

加藤洋一郎・田島亮介・本間香貴・鳥海明子・山岸順子・白岩立彦・プンサック・メクワタナカーン・ブンラット・ジョングディー (2013) 東北タイ天水田において非湛水処理がイネ根系生長に及ぼす影響. *日本作物学会紀事* 82(別1): 8-9. 3月28日 明治大学農学部

瀬戸亮哉・森塚直樹・藤竿和彦・鳥海明子・本間香貴・白岩立彦・田島亮介・加藤洋一郎・山岸順子・プンサック・メクワタナカーン・ブンラット・ジョングディー (2013) 東北タイ天水田におけるイネ (*Oryza sativa* L.) の作土での根系形成と土壌養分動態の関係の解明. *日本作物学会紀事* 82(別1): 10-11. 3月28日 明治大学農学部

藤竿和彦・本間香貴・Boonrat Jongdee・白岩立彦・山岸順子・Poonsak Mekwatanakarn・森塚直樹・瀬戸亮哉・加藤洋一郎・田島亮介 (2013) 東北タイ天水田における窒素およびリン施用がイネの生育に与える影響. *日本作物学会紀事* 82(別1): 6-7. 3月28日 明治大学農学部

Seto, R., Moritsuka, N., Toriumi, A., Homma, K., Inamura, T., Yamagishi, J. and Jongdee, B. (2012) Root system development and soil fertility in the root zone of rice plants under flooded and aerobic conditions in Northeast Thailand.

International Symposium for Root Research Dundee, Scotland. June 27, 2012.

本間香貴・井関洸太郎・Boonrat Jongdee・白岩立彦・山岸順子・Poonsak Mekwatanakarn・神林満男・鳥海明子 (2012) 東北タイ天水田農家圃場における水稻の酸化ストレス状態 *日本作物学会紀事* 81(別1): 116-117. 3月30日 東京農工大農学部
鳥海明子・本間香貴・Boonrat Jongdee・白岩立彦・山岸順子・Poonsak Mekwatanakarn・森塚直樹・加藤洋一郎・田島亮介 (2012) 東北タイ天水田における土壌養分動態と稲の養分吸収の関係 *日本作物学会紀事* 81(別1): 18-19. 3月29日 東京農工大農学部

Moritsuka, N., Matsuoka, K., Inamura, T., Homma, K., Toriumi, A. and Yamagishi, J. (2011) Effects of flooding and drying on the solubility of soil nutrients evaluated at watershed and regional scales. 6th International Symposium of Interactions of Soil Minerals with Organic Components and Microorganisms (ISMOM) 26th June - 1st July 2011 Montpellier, France

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山岸 順子 (YAMAGISHI, Junko)
東京大学大学院・農学生命科学研究科・准教授
研究者番号: 60191219

(2) 研究分担者

森塚 直樹 (MORITUSKA Naoki)
京都大学・(連合)農学研究科(研究院)・助教
研究者番号: 10554975

本間 香貴 (HOMMA Koki)
京都大学・(連合)農学研究科(研究院)・講師
研究者番号: 60397560

田島 亮介 (TAJIMA Ryosuke)
東北大学・(連合)農学研究科(研究院)・助教
研究者番号: 60530144

加藤 洋一郎 (KATO Yoichiro)
International Rice Research Institute
研究者番号: 50463881 (2012年度まで)

(3) 連携研究者

加藤 洋一郎 (KATO Yoichiro)
International Rice Research Institute
研究者番号: 50463881 (2013年度)

白岩 立彦 (SHIRAIWA Tatsuhiko)
京都大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授
研究者番号: 30154363