

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23405045

研究課題名(和文) 東アジアにおける無農薬・無化学肥料・無除草剤による低投入環境保全型水稲栽培の確立

研究課題名(英文) aaa

研究代表者

安田 弘法 (yasuda, hironori)

山形大学・農学部・教授

研究者番号：70202364

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,700,000円

研究成果の概要(和文)：日本、スリランカ、ベトナム、インドネシアの4カ国において、SRI農法の特徴である苗1本植え、栽植密度、間断灌漑等がイネの生育や収量に及ぼす影響を検討した。その結果、対象とした4カ国で結果に違いが見られたが、現状ではSRI農法が多くの国の農法として従来の栽培方法より増収の農法であるとは思われなかった。新SRI農法の考案とそれを活用した資源低投入環境保全型イネ栽培技術の確立に関して検討した。その結果、タニシ等の淡水生物の活用により資源低投入環境保全型イネ栽培技術を確立することが可能であると思われた。

研究成果の概要(英文)：In order to understand the pattern and mechanism of high yield due to System of Rice Intensification (SRI) factorial experiments with number of seedlings transplanted, density of seedlings, water management were carried out at four countries like Japan, Sri Lanka, Vietnam, and Indonesia. Results showed that SRI methods did not always have high yield through the countries examined. This study suggested that environmental friendly rice production without any chemicals would be possible by using the aquatic organisms like snails.

研究分野：動物生態学

キーワード：自然共生型水稲栽培 緑の革命 自然のバランス

1. 研究開始当初の背景

アジアの水稻栽培は、5000年以上の歴史があり、それは、水田生態系の多様な生物の機能を活用し、環境への負荷の少ない「伝統農法」であった。しかし、収量が少ないのが問題であった。この低収量の問題を克服するため、1960年代から「緑の革命」が開始された。これは、多量の化学肥料と農薬を散布し、高収量品種を栽培する「近代農法」で、従来の栽培方法を大きく変貌させた。この「近代農法」により増収したが、土壌の劣化や水田及びその周辺環境の悪化、生物多様性の激減による特定病害虫の多発等、安全で安定した食糧生産への危惧が生じた。さらに、現在、「近代農法」の根幹を支えている、化学肥料や農薬の原料である化石燃料は、枯渇しつつある。このように「近代農法」により派生する諸問題を考えると「脱・緑の革命」となる、新たな農法の確立が急務となる。

一方、最近、アジアを中心に資源低投入で、多収が可能な「SRI 農法」が注目されている。これは、1983年にマダガスカルで誕生した低投入稲作増収技術で、乳苗1本植え、疎植栽培、間断灌漑を特徴としている。「SRI 農法」を用いることで、大幅なコメの増収以外に、化学肥料、種子コスト及び、灌漑水の削減が可能であり、慣行稲作の2倍近い収量の報告もある。しかし、資源低投入でありながら、多収が可能である機構については不明な点が多い。また、報告された多収記録と増収効果の信憑性について疑問視している研究者も多く、現在まで国内外で議論が続いている。このように、従来の水稻栽培は、いずれも課題があり、これらを克服する新たな栽培技術を創出しなければならない。これには、まず、

資源低投入で増収が可能といわれている「SRI 農法」の信憑性を検証し、その増収機構を解明することが必要である。そして、「伝統農法」水田を基盤に、多様な水田生物の機能を活用し、資源を投入することなく、増収が可能な「新 SRI 農法」の考案も重要となるが、このような研究は行われていない。

申請者らは、水田湛水中の生物及び微生物由来の窒素成分を除草機により定期的に地中に埋めることで、イネが窒素肥料として吸収し、生育が良くなり増収効果があることを明らかにしつつある。これは、漸増追肥でイネの収量が激増する機構と類似している。例えば、水田湛水中の光合成細菌や藍藻類は窒素を固定する。さらに、ヤゴやタニシ等の上位捕食者の糞には窒素が含まれ、これらの窒素はイネの肥料になる可能性がある。また、申請者らが調査している無農薬・無化学肥料・無除草剤で10年以上、イネを栽培している水田生物多様性の高い水田では、病虫害も発生せずに収量も高い。多様な生物は、病虫害の発生を抑制しているかもしれない。この水田でも除草機で定期的に除草し、イネが生物由来の窒素を効率的に活用している可能性が高い。このように、水田の多様な生物及び微生物の機能を効率的に活用することで、化学肥料が不要で、病虫害の発生を抑制する栽培が可能であると考えられるが、その機構は不明である。このような一連の研究が「新 SRI 農法」の栽培技術に発展できると考えている。

2. 研究の目的

(1) 「SRI 農法」の信憑性の検証 —SRI 農法の増収機構の解明—

日本の研究者を中心に、日本、スリランカ、ベトナム、インドネシアの4カ国において、苗1本植え、栽植密度、間断灌漑等を特徴とする「SRI 農法」がイネの生育や収量に及ぼす影響を解明する。

(2) 「新 SRI 農法」の考案とそれを活用した資源低投入環境保全型イネ栽培技術の確立

「SRI 農法」の信憑性を解明しつつ、資源低投入環境保全型イネ栽培技術の基礎研究として淡水生物のキー種であるタニシに注目し、タニシが淡水生物の群集構造とイネの生育に与える影響を解明する。そして、資源低投入環境保全型増収機構の一端を解明し、それを活用した無化学肥料・無農薬・無除草剤の水稻増産技術である「新 SRI 農法」技術を検討する。

3. 研究の方法

本研究は、インドネシア、日本、スリランカ、ベトナムの4か国の水田で行った。本調査に使用した水田では、肥料(有機質、無機質)や農薬(殺虫剤、除草剤、殺菌剤)を全く投入しない、持続可能な栽培が行われている。

栽植密度と除草回数がイネの生育と収量に及ぼす影響の調査を目的として実験を行った。1区 25m²(5m×5m)とし、これを5反復、乱塊法(RCBD)で分割区に配置した。除草回数は、W4(1作期に4回)と、W8(1作期に8回)の2種類を設定した。栽植密度は、S30(株間30cm 条間30cm)とS15(株間15cm 条間30cm)の2種類を設定した。イネの生育と収量のデータを収集した。

水管理が有機水田におけるイネの生育と収量に及ぼす影響の調査を目的として実験を行った。実験は1区 25m²(5m×5m)とし、これ

を5反復、乱塊法(RCBD)で分割区に配置した。水管理は、WM1(水深5~10cmの湛水を行う通常の水管理を幼穂形成期(P1)まで行い、その後は収穫期まで落水)と、WM2(15cm以上の深水管理を作期を通して行い、収穫期の直前に落水)の2種類を設定した。栽植密度は株間30cm 条間30cm、除草回数は8回であった。そして、イネの生育と収量、水生生物発生量を調査した。

水生生物がイネの生育と水生生物群集構造に及ぼす影響を調査することを目的として実験を行った。実験は1区 25m²(5m×5m)とし、これを5反復、完備乱塊法(RCBD)で分割区に配置した。水生生物の個体数密度は、ND(通常の密度、例えば1圃場に50個体のタニシ)、DD(2倍の密度、例えば1圃場に100個体のタニシ)、C(水生生物を除いた対照区)の3段階で設定した。そして、イネの生育、収量、水生生物および陸生生物発生量のデータを収集した。

タニシが水田の淡水生物の個体数に及ぼす影響を通じイネの生育と収量に及ぼす要因実験を、山形大学付属農場の水田で行った。実験は、タニシの有無の処理区とし、プラスチック板で囲んだ4×3mの水田を24個作成した。タニシ区では150個体のタニシの成体を放飼し、タニシなし区では放飼は行わなかった。淡水生物の個体数調査とイネ上の地上部節足動物の調査を行った。

イネの生育調査として、株数、葉色、草丈及び玄米重量を調査した。さらに土壌とイネの化学的及び物理的組成を分析した。

4. 結果と考察

全ての国の処理区間でイネの草丈に及ぼ

す栽植密度と除草回数に有意差はなかった ($p>0.05$)。しかし、分けつ数は、実験した国で異なった結果となった。インドネシア、ベトナムおよびスリランカにおいては、分けつ数は、株間 30cm 条間 30cm の栽植密度と 8 回の除草を行った処理区で有意に増加し ($p<0.05$)、同様の傾向は収量においてもみられた。一方、日本では反対の結果となった。株間 30cm 条間 30cm の疎植である栽植密度より密植の方が収量が増加した。

本研究では、熱帯においては栽植密度が低くて除草回数の多い方がイネの生育と収量を向上させた。一方、温帯の日本では、除草回数は 8 回が収量の増加に寄与していたが、栽植密度は熱帯よりも密植の方が増収となった。過去の研究では、より広い栽植密度によって、十分な日光が各植物体の葉に供給され光合成が高まることや、水と養分の競合が減少して根や地上部の生育および収量を向上させることが知られている。水田における除草は土壌中の窒素を増加させる窒素固定を行う光合成細菌の活動を増加させる。それゆえ、頻繁な除草による土壌中の窒素養分の増加によって、イネの生育と収量は向上したと考えられる。この結果より、栽植密度と除草回数の影響は、各国の地理的な環境に応じて異なることが示唆された。

イネの草丈、分けつ数および収量は、深水管理 (WM2) において有意に高くなった ($p<0.05$)。この傾向は全ての国で同様であった。水生生物の個体数の観察については、インドネシアと日本のみで行った。その結果は、水生生物の個体数は深水管理 (WM2) で高くなる傾向にあった。国際イネ研究所 (IRRI) の研究では、一般に深水管理は、イネの生育に最

適な環境をつくりだし、より高い収量をもたらすと報告されている。また、深水は雑草の生育を抑制し、窒素利用率を向上させ、ある環境下では、気温変動からの作物の保護にも貢献する。過去の研究では、深水管理は水田の水生生物の個体数を持続的に向上させることも報告されている。さらに、水生生物は食物連鎖を通じた窒素の増加によって、イネの生産性を高める (Chen and Ferris, 2005)。それゆえ、水田の水管理では、深水管理がイネの生育や収量には好適と思われた。

実験で用いた水生生物の種類は、2 国で異なっていた。しかし、インドネシアと日本におけるイネの草丈と分けつ数は、通常の水生物密度 (ND) よりも 2 倍の密度 (DD) で、有意に高くなった ($p<0.05$)。さらに、日本での収量は、通常の水生物密度 (ND) よりも 2 倍の密度 (DD) で、有意に高くなった ($p<0.05$)。過去の研究では、水生生物密度の高い水田では、おそらく糞や動植物の遺体といった生物由来の窒素養分が増加したことによって、収量が増加したと考えられている (Anderson 1979)。また、有機栽培を行う耕作者の中には、土壌改良や作物生育促進のために用いる化学肥料及び有機肥料の代わりとして水生生物由来の窒素養分を利用する者もいる。こうした事例は、水生生物は有機水田の持続可能性を維持する上で重要な要素であり、様々な経路によって窒素循環に貢献していることを示している。さらに本研究では、水生生物および陸生節足動物の個体数は、通常の水生物密度 (ND) よりも 2 倍の密度 (DD) で増加した。ゆえに、水田における水生生物の機能と効果をより理解するためには、水生生物 - 植物 - 植食者の相互作用をさらなる研究によって明らかにする必要がある。

2 年間ともタニシの有無による葉色への有意差はなかった。また、草丈は、イネの生

育とともに増加したが、2年間ともにタニシが草丈に及ぼす影響は非有意であった。しかし、平均分けつ数は、2013年、2014年のタニシ区及びタニシなし区でそれぞれ13.3と10.9、及び24.0と21.3であり、処理区間で有意差があった。タニシが淡水生物群集に及ぼす影響は、第1回目の調査では、非有意であったが、第2回目の調査では有意であった。これは2013年と2014年とも同じ傾向であった。このようにタニシは、淡水生物の個体数に影響を及ぼすことが明らかとなった。

環境保全型農業では、生物多様性の保持や生態系サービス活用を通じ農産物の生産に好適な影響を及ぼすことが知られている。化学肥料が土壌に及ぼす負の影響を抑制する一つの方法は、タニシ等の生物が放出する栄養の利活用である。マルタニシは、昔から日本の水田に生息し、イネの生育に有益な生物と考えられていた。また、タニシは水田土壌の抗菌作用等の機能があることが推測されている。

今回の実験でタニシは、間接効果によりイネの分けつを促進していたことが明らかになった。この分けつ数はイネの収量に影響を及ぼす重要な収量構成要素であり、この分けつの増加はイネの収量の増加に寄与したと思われる。さらにタニシは淡水生物群集構造にも影響を与えていた。このような淡水生物による生物由来の窒素は、淡水生態系の栄養分として機能していることが報告されている。淡水生態系の栄養増加は、生態系の群集構造や生態系サービス等に影響を及ぼす。それゆえ、水田のタニシは水田湛水の生物群集に影響を及ぼすだけでなく、生物由来の窒

素を放出するキー種として水田淡水生態系で重要な役割を果たすと思われた。

研究課題の目的として、(1)「SRI農法」の信憑性の検証と(2)「新SRI農法」の考案とそれを活用した資源低投入環境保全型イネ栽培技術の確立を掲げた。日本、スリランカ、ベトナム、インドネシアの4カ国において、SRI農法の特徴である苗1本植え、栽培密度、間断灌漑等がイネの生育や収量に及ぼす影響を検討した。その結果、対象とした4カ国で結果に違いが見られたが、現状ではSRI農法が多くの国の農法として従来の栽培方法より増収の農法であるとは思われなかった。熱帯では、疎植がイネの生育や収量に好適だが温帯では疎植が増収に繋がった。今後、多くの国で方法を一定とした類似した研究により「SRI農法」の信憑性を検証する研究が望まれる。

2つめの目的とした「新SRI農法」の考案とそれを活用した資源低投入環境保全型イネ栽培技術の確立に関しては、タニシ等の湛水生物の活用により資源低投入環境保全型イネ栽培技術を確立することが可能であると思われた。これにより無化学肥料・無農薬・無除草剤の水稻増産技術である「新SRI農法」技術の確立も可能である。今後は、淡水生物の種間相互作用とそれがイネの生育及び収量に及ぼす影響を解明することが必要である。

引用文献

Anderson D.W. 1979 Processes of humus formation and transformation in soils of the Canadian Great Plains. *Journal of Soil Science*, 30:77-84

Chen, J., Ferris, H., 2000. Growth and nitrogen mineralization of selected fungi

and fungal-feeding nematodes on sand amended with organic matter. *Plant and Soil*, 218: 91-101

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3 件)

Trisnawati W. D., Tsukamoto T., Yasuda H. 2015. Indirect effects of nutrients in organic and conventional paddy field soils on the rice grasshopper, *Oxya japonica* (Orthoptera: Acrididae), mediated by rice plant nutrients. *Applied Entomology and Zoology*, 50: 99-107. 査読有

Cheng, W., Okamoto, Y., Takei, M., Tawaraya, K., Yasuda, H. 2015. Combined use of *Azolla* and loach suppressed weed *Monochoria vaginalis* and increased rice yield without agrochemicals. *Organic Agriculture*, 5: 1-10. 査読有

Cheng, W., Takei, M., Sato, C., Kautsar, K., Sasaki, Y., Sato, S., Tawaraya, K., Yasuda, H. 2015. Combined use of *Azolla* and loach suppressed paddy weeds and increased organic rice yield: second season results. *Journal of Wetlands Environmental Management* (in print), 査読有

[学会発表](計 3 件)

Trisnawati Dina, 安田弘法. 継続年数に異なる有機水田の地上部の群集構造における生物由来栄養分の間接効果: パターンとその機構. 第59回日本応用動物昆虫学会大会. 2015年3月26日-28日. 山形大学.

Vira Kusuma Dewi, Hironori Yasuda. 2015. The effect of mud snails on rice plant growth, aboveground arthropods through the changes in the community structure of aquatic organisms in the paddy fields. 第59回日本応用動物昆虫学会大会. 2015年3月26日-28日. 山形大学.

鈴木 理・佐藤 智. 2015. 農法が畦畔と水田の地表性クモ類の発生量に及ぼす影響. 第59回日本応用動物昆虫学会大会. 2015年3月26日-28日. 山形大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

安田 弘法 (YASUDA Hironori)
山形大学・農学部・教授
研究者番号: 70202364

(2)研究分担者

粕淵 辰昭 (KASUBUCHI Tatsuaki)
山形大学・農学部・客員教授
研究者番号: 00250960

(3)連携研究者

沢田 裕一 (SAWADA Hiroichi)
滋賀県立大学・環境科学部・教授
研究者番号: 90259391

(4)連携研究者

生井 恒雄 (NAMAI Tsuneo)
山形大学・農学部・教授
研究者番号: 70124609

(5)連携研究者

安藤 豊 (ANDO Ho)
山形大学・農学部・教授
研究者番号: 90005661

(6)連携研究者

藤井 弘志 (FUJII Hiroshi)
山形大学・農学部・教授
研究者番号: 30431646

(7)連携研究者

飯田 俊彰 (IIDA Toshiaki)
東京大学・農学生命科学研究科・講師
研究者番号: 30193139

(8)連携研究者

長谷 修 (HASE Shu)
山形大学・農学部・教授
研究者番号: 10261497

(9)連携研究者

佐藤 智 (SATO Satoru)
山形大学・農学部・教授
研究者番号: 70444023

(10)連携研究者

佐々木 由佳 (SASAKI Yuka)
山形大学・農学部・教授
研究者番号: 40375332

(11)連携研究者

程 為国 (CHENG Weiguo)
山形大学・農学部・教授
研究者番号: 80450279