

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (特設分野研究)

研究期間：2014～2017

課題番号：26310304

研究課題名(和文) 有機無農薬水稻栽培年数の経過に伴って土壌・水稻・雑草・動物はどう変化するか？

研究課題名(英文) Changes in soil, flora and fauna in rice paddies under continuous organic farming with no agrochemicals inputs

研究代表者

小林 和彦 (KOBAYASHI, KAZUHIKO)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授

研究者番号：10354044

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：ある農家が開発した有機稲作農法のしくみを研究した結果、以下のことが分かった。この農法は、施肥も除草もしないために極めて労働節約的であり、そのことが農家経営に大いに貢献していた。この農法に転換した当初の米収量は、慣行農法よりもかなり低いが、農法を継続するうちに慣行の農法の収量に近づいた。これは、冬春雑草のすきこみを継続することで、イネが吸収できる土壌窒素量やリン酸量が増えたのが一つの理由であった。この農法を継続すると、イネと競合する雑草が減り、稲作害虫の天敵であるクモ類が増えた。

研究成果の概要(英文)：Studying an organic rice farming system developed by a farmer, we found the following mechanisms of this system. This organic farming system is very labor-efficient due to the omission of fertilizer applications and weeding, which greatly contributed to this farm's economic sustainability. The rice yield was much lower only a few years after conversion to this system than that in conventional farming, but the former yield approached the latter as the practice is continued for several years. One of the reasons for this increase of rice yield due to the continued organic management is the increased availability of soil nitrogen and phosphorus as the off-season weeds are incorporated across the years. The continued practice of organic farming also reduced the population of a summer-season weed species and increased the population of natural enemies like spiders.

研究分野：農業環境工学

キーワード：有機農法 土壌 窒素 リン 雑草 生物多様性 イネ 水田

1. 研究開始当初の背景

栃木県の有機稲作農家 T 氏は、合計 53 枚の水田で、最長 23 年から最短 1 年に及ぶ様々な年数にわたり有機無農薬栽培を続けてきた。同氏の農法（以下、本農法）では、化学肥料も農薬も用いず、有機肥料もほとんど投入しないが、慣行よりもやや低い程度の米収量を得られている。除草剤を全く使わないのに、極めて効果的にイネ栽培期間中の雑草生育を抑制する一方で、稲収穫後から春先の雑草生育を促し、代かき前にすき込んでいる。

研究代表者らは以前の研究で、本農法を継続した水田では慣行農法の水田よりも土壌窒素の無機化量が多く、米生産における窒素利用効率が高いことを見出していたが (Tanaka et al. 2016)、そのしくみは不明であった。また、本農法の最大の特徴である雑草管理については、その実態もしくみも未解明であった。さらに、本農法を継続することで、水田の生態系にも変化が生じていると想像されたが、実態は不明であった。

2. 研究の目的

本研究は、この優れた有機栽培農家が水田で何をやっていて、その結果どんな変化が水田生態系の各要素（土壌、作物、雑草、動物等）に生じるかを解明することを目的とした。その際、有機栽培継続年数の異なる水田を比較することにより、有機栽培の継続により生じる変化を解明した。また、研究期間内に、対象水田の基盤整備が進行することを利用して、基盤整備後に開始した有機農法の継続とともに生じる変化を明らかにした。

3. 研究の方法

(1) 農法の計測

本農法における圃場での農作業を、継続的・定量的に計測するために、インターバルカメラを主な対象圃場に設置して、日中 5 分おきに画像撮影し、取れた画像から圃場内作業の種類と時間を測定した。また、トラクターに GPS ロガーを設置して移動時間を計測するとともに、T 氏に作業日誌をつけてもらって、作業時間全体を計測した。

(2) イネの生育と収量

慣行農法の水田と継続年数の異なる有機栽培水田について、2 年間にわたり水稻の生育と収量を調査した。また、穂数に影響を与えると考えられる栽植密度と移植時期とを変えた処理区を、有機農法水田の中に設けて、精籾収量を詳細に調べた。

また、T 氏の有機栽培水田から採取した土壌を用いて、培養実験を行って還元状態の発達を調べるとともに、幼穂形成期のイネの生育を測定した。さらに、T 氏の有機栽培水田の土壌を用いて、粗大有機物量と湛水期間、育苗方法を変えたポット実験を行い、移植後 42 日目のイネの生育を測定した。

(3) 土壌

有機栽培年数の異なる圃場で、本農法によるスズメノテッポウ主体の休閒期雑草すき込みが、土壌—水稻系の窒素とリンに及ぼす影響を調べた。また、有機栽培継続期間が 10 年と 18 年の水田各 3 圃場に、2 年間継続して休閒期雑草を代かき前に除去した区画と、雑草すき込みを継続した区画を設けて、窒素とリンの変化を比べた。さらに、ポット実験によって、重窒素で標識したスズメノテッポウをすき込んだ際の窒素の行方を調べた。

(4) 雑草

本農法継続年数の異なる水田において、代かき直前に植生調査を行い、雑草バイオマスと種組成を測定した。また、基盤整備後の圃場において、埋土種子数と移植 40 日後頃の雑草量を調査し、基盤整備後の有機栽培継続年数と雑草生育の関係を調べた。

(5) 節足動物

本農法継続年数の異なる水田および慣行農法水田で、3 つの異なる時期にスニーピングにより節足動物を採取し、害虫、天敵、指標種などの個体数を調べた。

4. 研究成果

(1) 本農法の特徴と農家経営

本農法では、化学肥料や農薬を使用しないため、それらの施用労力が不要で、圃場内の除草を行わないため、除草時間もゼロである。そのため、本農法の直接労働時間は、農林水産省統計部調査による同規模経営の慣行農法をわずかに上回る同程度で、同じく有機農家の直接労働時間の半分以下であった。こうした極めて労働節約的な農法によって、T 氏の経営は粗収益 1 千万円、夫婦 2 人の所得 6 百万円を達成していた。(万木ら 2018)。

(2) イネの生育と収量

本農法を長期継続すると、慣行栽培圃場に匹敵する精籾収量が得られた (図 1)。その際、精籾収量は穂数と密接に関係することが分かった。

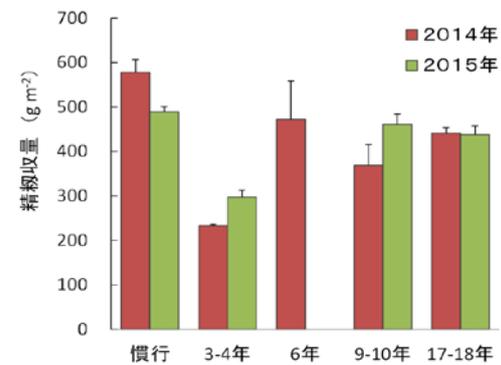


図 1. 精籾収量と有機栽培継続年数の関係
図中のバーは標準偏差

穂数を増加させるためには、栽植密度を上げることが考えられる。移植時期が遅く栄養生長期間が短い場合には、栽植密度を現行よりも上げると、穂数が増加して収量が増加した。一方、移植時期が早く栄養生長期間が長い場合には、穂数が増加しても一穂穎花数が減少して収量は変わらなかった。従って、本農法でより高い収量を得るためには、早植えを行うこと、遅植えの場合には栽植密度を増やす必要があることが分かった。

本農法の春季雑草をすき込み、湛水後に移植する方法は、土壌の還元が発達して水稻生育への影響が懸念されたが、長い湛水期間やポット成苗植え等の方法により、大きな悪影響は回避できていると考えられた。

(3) 土壌-水稻系の養分動態

①窒素：すき込まれた雑草から水稻に移行した窒素は約 15%、土壌残存が約 70%、未回収が約 15%であり、雑草由来窒素の無機化による土壌中での減少は、半減期 1.6 年の 1 次反応に従った。有機栽培 22 年継続後における土壌中の雑草由来窒素は、土壌全窒素の 2%、可給態窒素に占める割合は約 23%と推定された。雑草由来の窒素無機化量は、すき込み開始後から増加し、10 年後にほぼ平衡に達した。その段階では、すき込み雑草由来窒素相当量が、土壌固有の地力窒素に上乘せされて毎年土壌から供給されると推定された。

②リン：土壌中の全リン酸に占める有効態リン酸の割合は、本農法開始後 10-15 年はほぼ一定であったが、その後増加に転じた (Sakuraoka et al. 2018)。逆にすき込みを 2 年間中断すると、有効態リン酸の割合は低下した。雑草すきこみによる有効態リン酸の増加量は、アスコルビン酸還元 Bray-2 リン酸量でみると、すき込まれた雑草中のリン酸量の約 5 倍に達した。このことは、雑草のすき込みが、土壌中のリン酸を有効態へ変化させるしくみがあることを示すが、そのしくみの解明は、今後の課題である。

(4) 雑草

①有機農法継続年数と雑草バイオマス・種数の関係：代かき直前の雑草の植被率は、本農法継続 5 年目以上の水田では概ね 75% 以上であり、水田がほぼ植被で覆われる状態であった。その場合、雑草バイオマスは最大約 500g/m² に達し、作土の有効態窒素濃度と有意な正の相関にあった。一方、埋土種子個体数と本農法継続年数の間には、有意な正の相関があり、本農法開始からおよそ 5 年以内では埋土種子数の少なさが圃場の雑草バイオマスを規定していた。それが約 5 年以上経過すると、埋土種子ではなく土壌窒素量が雑草バイオマスを規定するようになると考えられた。

一方、代かき直前の圃場に生育する植物種数は、本農法継続年数の増加とともに直

線的に増加した。慣行農法から有機農法へと転換した後の雑草の質(種数)の変化は、量(バイオマス)の変化よりも緩やかであり、当該圃場においては少なくとも 20 年以上をかけて増加していくと考察された。

②基盤整備後の圃場における有機農法継続年数と雑草個体数の関係：移植後 40 日後頃の残草調査では、どの圃場でも 4 年間を通してコナギが最も多く、ついでクログワイ、オモダカ、ヒエ属水田雑草、イヌホタルイの残草が目立った。各年の埋土種子数をもとに、コナギについて埋土種子数あたりの残存個体数を計算すると、有機栽培 1 年目あるいは 2 年目に 1% を超える残草が認められる圃場もあったが、有機栽培年数が長くなるとどの圃場でも 1% を下回った (図 2)。

調査圃場の中では最も早い 2013 年度に基盤整備を行った圃場では、基盤整備 4 年後になると、相当量のコナギ埋土種子数があるにも関わらず、コナギの残草がほとんど認められなくなり (埋土種子数の 0.01% 以下)、コナギの発生が強く抑制されていた。中央農研における数年間にわたる圃場試験では、無除草の場合に埋土種子の 2-10% のコナギが残草し、1% 以下になることは無かった。このことから、コナギの残草を埋土種子の 1% 以下に抑えた本農法のコナギ抑草効果が確かめられた。

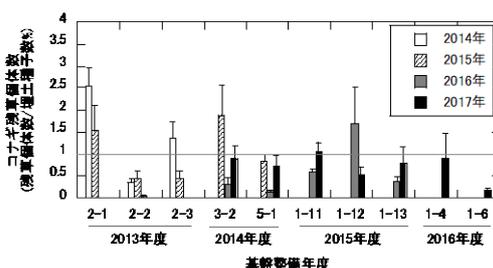


図 2. 基盤整備後の有機農法継続に伴う、コナギ残存個体数の減少

(5) 節足動物の個体数変化

天敵であるアシナガグモ属や、食葉性の害虫であるフタオビコヤガ、イチモンジセセリの幼虫は、本農法の継続年数が長くなるにつれて個体数が増加し、10 年前後で頭打ちになる傾向がみられた。一方、吸汁性害虫であるヨコバイ類やウンカ類は、本農法継続年数が長くなるにつれて個体数が減少する傾向がみられた (Tsutsui et al. 2018)。こうした傾向は、土壌の窒素無機化量の増加とそれに伴う植物体の窒素の増加 (食葉性害虫)、それに起因する土壌の腐食連鎖に由来する餌昆虫類の増加 (アシナガグモ属)、増加した天敵による個体数制御 (ヨコバイ類やウンカ類) が関与している可能性がある。

<引用文献>

① Sakuraoka R, Toriyama K, Kobayashi K, Yamada S, Kamioka H, Mori S, Incorporation of fallow weed increases phosphorus availability in

a farmer's organic rice fields on allophanic Andosol in eastern Japan, *Soil Science and Plant Nutrition*, 2018,
DOI: 10.1080/00380768.2018.1473006

② Tanaka A, Toriyama K, Kobayashi K, Nitrogen supply via internal nutrient cycling of residues and weeds in lowland rice farming, *Field Crops Research*, 2012, 137, 251-260.

③ Tsutsui HM, Kobayashi K, Miyashita T, Temporal trends in arthropod abundances after the transition to organic farming in paddy fields, *PLoS ONE*, 2018, 13(1), e0190946.
DOI:10.1371/journal.pone.0190946

④ 万木孝雄、安島悠、小林和彦、北関東における有機稲作優良経営にみる収益構造の事例分析、*農村研究*、126号、2018、1-15

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

① Sakuraoka R, Toriyama K, Kobayashi K, Yamada S, Kamioka H, Mori S, Incorporation of fallow weed increases phosphorus availability in a farmer's organic rice fields on allophanic Andosol in eastern Japan, *Soil Science and Plant Nutrition*, 2018,
DOI: 10.1080/00380768.2018.1473006 (査読あり)

② 万木孝雄、安島悠、小林和彦、北関東における有機稲作優良経営にみる収益構造の事例分析、*農村研究*、126号、2018、1-15 (査読あり)

③ Tsutsui HM, Kobayashi K, Miyashita T, Temporal trends in arthropod abundances after the transition to organic farming in paddy fields, *PLoS ONE*, 2018, 13(1), e0190946.
DOI:10.1371/journal.pone.0190946 (査読あり)

[学会発表] (計14件)

①鳥山和伸、網野拓、小林和彦、春雑草を有機物源とする有機稲作の窒素利用、(2)一次反応モデルによる雑草の分解量および無機化・蓄積量の推定(日本土壌肥料学会2017年度仙台大会、東北大学、宮城県仙台市、2017年9月5日)

② 櫻岡良平、小林和彦、山田晋、鳥山和伸、森聖二、上岡啓之、水稻有機栽培の継続が可給態リン酸量に及ぼす影響(第2報)(日本土壌肥料学会2017年度仙台大会、東北大学、宮城県仙台市、2017年9月5日)

③ 今須宏美、山岸順子、小林和彦、雑草緑

肥と深水管理を組み合わせたイネ有機栽培における移植時期と栽植密度の収量への影響(第243回日本作物学会講演会、東京大学農学部、東京都文京区、2017年3月29日~30日)

④ 今須宏美、山岸順子、小林和彦、栃木県野木町の農家圃場における有機栽培水稻の生育と収量形成および養分吸収の特徴(第242回日本作物学会講演会、龍谷大学、滋賀県大津市、2016年9月10日~11日)

⑤ 齊藤優也、山田晋、小林和彦、大黒俊哉(2016)有機無農薬米作の継続が水田雑草のバイオマスへ及ぼす影響(雑草学会、東京農業大学、東京都世田谷区、2016年3月29日)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林和彦 (KOBAYASHI, Kazuhiko)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授
研究者番号: 10354044

(2) 研究分担者

内野彰 (UCHINO, Akira)
農業・食品産業技術総合研究機構・中央農業研究センター・上級研究員
研究者番号: 20355316

鳥山和伸 (TORIYAMA, Kazunobu)
国際農林水産業研究センター・生産環境・畜産領域・再雇用職員
研究者番号: 30355557

山田 晋 (YAMADA, Susumu)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・助教
研究者番号: 30450282

宮下 直 (MIYASHITA, Tadashi)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授
研究者番号: 50182019

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

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

二宮正士 (NINOMIYA, Seishi)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授
研究者番号: 90355488