

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780013

研究課題名(和文) 有機物投入における水稻根系の発生・枯死が生育・収量と炭素貯留に及ぼす影響

研究課題名(英文) The Effects on Crop Production and Soil Carbon Sequestration of Root Production and Mortality in Paddy Rice using Organic Fertilizer

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：近年、高騰傾向にある化学肥料の代替として堆肥等の有機物を積極的に活用した水稻栽培システムにおける根系の発生・枯死を含む動態を調査して、水稻の生育・収量と炭素貯留にどのような影響を及ぼすかについて検討をおこなった。その結果、有機質肥料を利用したイネ栽培では根の反応が化学肥料を用いて栽培するこれまでの慣行栽培と特に生育前半で異なり、根の発生量・枯死量ともに有機質肥料を施用した場合に大きくなった。この差異は水田における土壌炭素蓄積にも影響を及ぼすと考えられ、その影響はこれまで予想されていたよりも大きい可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Toward the use of organic matter as an alternative to chemical fertilizers which have recently increased in price, we investigated the root production and mortality of paddy rice using organic matter and crop production and carbon sequestration in relation to the dynamics. In the results, the production and mortality of root of rice using organic fertilizer were more than using chemical fertilizer. Using RothC models with our data, the evaluation of soil carbon sequestration was changed depending on these differences in roots. Our results suggest the effects of root dynamics is greater than the previous evaluations.

研究分野：作物栽培学

科研費の分科・細目：作物学・雑草学

キーワード：水稻 有機質肥料 根系 炭素貯留

1. 研究開始当初の背景

研究の学術的背景

水稲根系に関する研究の多くは根のバイオマス量(サンプリング時点での現存量)にのみ注目されてきた。しかしながら、根は生育期間中に発生と枯死を繰り返している。水稲の生育・収量に及ぼす根系の影響について考える場合には、根のバイオマス量にのみ注目せずに、一方、発生・枯死にも注目する必要がある。近年、高騰傾向にある化学肥料の代替として堆肥等の有機物を積極的に活用した作物栽培システムが注目されている。有機物は肥料成分である窒素・リン・カリ等を含んでいるが、有機物由来の養分は一般的に施用後徐々に溶出し化学肥料とは異なる肥料効果を示す。そのため、有機物を積極的に活用した作物栽培システムでは養分吸収を担う根系の役割が重要となるが、このような栽培での根系に関する知見は少なく、発生・枯死に注目したものはなかった。また、生育期間中に枯死した根は土壤に供給されるため、根系の発生・枯死は養分吸収だけでなく土壤炭素の収支にも影響する。土壤炭素について農業では、農地の炭素貯留が注目されている。森林生態系においては根の発生・枯死が土壤炭素に影響しているという指摘が多いが農業生態系における研究例はほとんどない。水稲では、収穫後の残根からの炭素供給についての研究はあるものの、生育期間中に枯死した根を含めてフィールドで定量的に評価した研究はなかった。このような根の発生・枯死を考慮することで、農地の炭素収支が現在の試算と異なってくる可能性は十分に考えられた。

2. 研究の目的

このような背景を踏まえて、本研究では我が国の主要な作物である水稲について、有機物を投入した際の根系の発生・枯死に注目しながら、以下の点について明らかにした。

(1) 有機物を積極的に投入した水稲栽培の生育・収量と根の発生・枯死の関係について土壤条件との関係を含めて明らかにする。

(2) 水稲根系から土壤に供給される炭素、特に生育期間中に枯死根から供給される炭素が、どの程度農地の炭素貯留に影響を及ぼすかについて明らかにした。

3. 研究の方法

(1) 2カ年の圃場試験

東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター内の水田を試験圃場として、水稲2株が入る枠による枠栽培をおこなった。水稲の生育に従って、水稲の生育調査およびサンプリングをおこなった。サンプリング時には、水稲の地上部乾物重、根の現存量の他、水稲の炭素含有率、窒素含有率を測定した。根系については現存量の他に、根の発生量と枯死量を評価した。

根の発生量と枯死量についてはイングロースコア法を用いた。イングロースコア法とは、ある容積の土壤から一度すべての根を取り除き、そこに新たに形成された根量を測定する方法である。この方法を改良して図1のような方法でサンプリングをおこない根の発生量と枯死量を算出した。すなわち、枠を設置する時に枠内に土を詰めた円筒状のメッシュバックをコアで覆い埋設する。測定開始期間にコアを取り除くとともに、メタルコアを埋設していない枠を全量掘り取り根の現存量を調査する。その2週間後にメッシュバックを採取しメッシュバック内にある根を新根とした。メッシュバックをサンプリングする際も枠を掘り取り、その場合の枠内の根の現存量も調査した。根の現存量の差異と、新婚発生量との差し引きから根の枯死量を評価した。各サンプリング時期には土壤のアンモニア態窒素量および酸化還元電位についても評価をおこなった。土壤の酸化還元電位の測定は枠内に白金電極を埋め込んで

測定した。アンモニウム態窒素はサンプリング時に土壌を採取して、ブレンナー法により抽出して、インドフェノールブルー法により定量した。

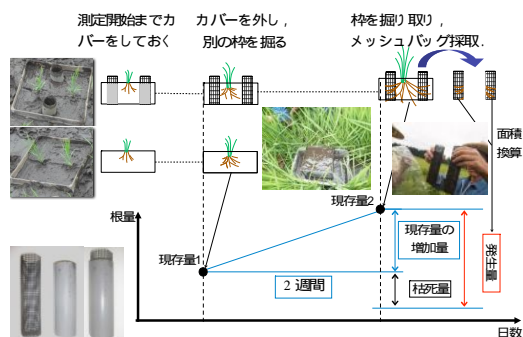


図 1. 本試験で用いたイングロスコア法。

(2) 有機肥料の培養試験

有機栽培においては、有機態として施用された窒素の溶出に時間がかかるため、窒素を化学肥料と同程度で施用した場合には、化学肥料を用いた慣行の栽培方法と比較して、水稻の生育初期で土壌中に存在する可給態窒素の量が少ないと考えられる。これは水稻の根系の動態や生育・収量に影響を与えられ、重要であるが、有機質肥料からどの程度、可給態窒素が溶出するかについては、用いる有機質肥料や気象条件によって異なるため、圃場調査のみで定量的に評価することは難しい。そこで本研究で用いた有機質肥料を複数の条件で湛水培養をおこない、その可給性を評価した。

培養試験は試験圃場からサンプリングして2回の室内培養試験と1回の屋外培養試験をおこなった。有機質肥料から溶出した可給態窒素を評価するためには対照区として、有機質肥料を施用しない土壌を用いて、差し引きで有機アグレットから溶出する可給態窒素を評価した。アンモニウム態窒素は、圃場試験と同様にブレンナー法により抽出して、インドフェノールブルー法により定量した。これらの結果を元に、有機質肥料の窒素生成曲線を得て、栽培期間の地温の推移に基づい

て各栽培期間に溶出した窒素量を予測した。

(3) 圃場試験に基づく土壌炭素蓄積の評価

(1)の圃場試験に基づいて、根系および生育期間中の根系の発生・枯死が土壌炭素貯留に及ぼす影響を評価するために土壌炭素動態予測モデルローザムステッドカーボンモデル(RothC)を用いて検討をおこなった。また、収穫時に刈り株は残渣として圃場に残される。稲わらも堆肥および畜産の飼料や敷料に利用されない場合は水田に残され根や刈り株とともに土壌と混和されることが多い。根以外のこれらの影響も加味して検討をおこなった。

RothC モデルは複数の土壌炭素コンパートメントを想定して、そのコンパートメント間の炭素の形態変化を計算していくモデルである。モデルの中で土壌中の有機炭素は5つのコンパートメント、易分解性有機物(Decomposable Plant Material: DPM)と難分解性有機物(Resistant Plant Material: RPM)、微生物バイオマス(Microbial Biomass: BIO)と腐植(Humified Organic Matter: HUM)、不活性炭素(Inert Organic Matter: IOM)に分けられる。

DPM と RPM は有機物として投入される炭素に含まれるコンパートメントであり、これらは土壌に投入された後、分解されて、他の画分である BIO ,HUM に変化する。また、一部は CO₂ として土壌から大気へ放出される。土壌中に残った BIO と HUM はさらに分解され、再度 CO₂ ,BIO ,HUM を生成し、以後この分解過程が繰り返される。IOM は土壌中に一定の割合で存在し、分解の影響を受けず、同じ量で土壌中に残存し続けるものとして定義される。IOM 以外の4つのコンパートメントはそれぞれ固有の分解係数を持ち、温度、土壌水分、植被の有無等の影響を受ける。この概要については図2に示した。

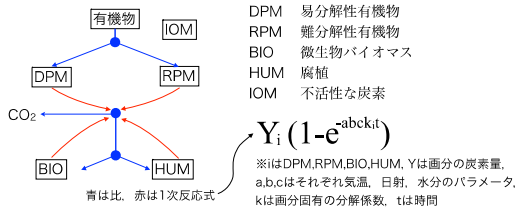


図 2. RothC モデルの概要

入力パラメータは月別の気温・降水量・水面蒸発量, 植物残渣あるいは堆肥としての炭素投入量と, 月別の植被(土壌が裸地であるか, 植被で覆われているか), および土壌要因として粘土含量である。気温, 降水量は東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター内のアメダスの 1981 年から 2010 年までの月平均値を使用した。蒸発散量は気温から蒸発量を推定する Thornthwaite(1948)の可能蒸発散量を用いた。モデルの初期値については, 土壌炭素は, 研究開始時に当センター内の水田土壌の 6.2%を用いた。土壌炭素の 5 つのコンパートメントの構成比は, 実験開始時に平衡状態であると想定して RothC の繰り返し計算をおこなって決定した。粘土含量はセンターの過去の測定値から 20%とした。水稻のように湛水条件で栽培をおこなった場合に炭素の分解率が低くなるが, ここでは白戸(2006)にしたがって, 他の入力パラメータによって定められた分解係数に対して湛水時では 0.2, 非湛水時では 0.6 を乗じた。また, IOM は黒ボク土の規定値に基づいて 0 とした。植物, 堆肥, 有機質肥料からの炭素投入量については本試験の圃場で得られたデータに基づいた。炭素含有率, 窒素含有率の測定に加え, RothC モデルに入力可能なように Shirato ら(2006)に従い, 各有機物の DPM, RPM を測定した。

これらのデータに基づき, 有機質肥料の施用と根および根の発生・枯死が土壌炭素に及ぼす影響を複数のシナリオで検討した。

4. 研究成果

(1) 2 力年の圃場試験

気象条件が平年並の年では, 有機質肥料施用区が化学肥料施用区よりも茎数が少なく収量が低い傾向があったが, 平年よりも高温・多照で推移した年は, 有機質肥料施用区でも初期の茎数が確保できて, 収量は両区でほぼ同等となった。一方, 根については, 生育段階ごとの現存量については両年ともに二つの処理区の間で大きな差異は見られなかった。しかし, 根の発生量・および枯死量は有機質肥料施用区と化学肥料施用区では差異が認められ, 両年とも生育前半で根の発生量および枯死量が有機質肥料施用区で多くなった。これらの生育・収量や根系の動態の違いは, 茎数の推移や生育前半での根の発生量の差異については(2)の実験で後述するように即効性の化学肥料と比較して有機質肥料から溶出する可給態窒素は生育初期では少ないこと, 生育前半の土壌のアンモニア態窒素が少ないことから, 有機質肥料施用区で土壌中の窒素が相対的に少なく, 窒素を多く獲得するために根が多く発生した可能性が考えられ, 生育前半の土壌中の可給態窒素量に起因すると考えられた。一方, 根の枯死量については酸化還元電位の測定から有機質肥料区で水田の還元状態が生育初期に化学肥料区より早く進行していることから, 有機質肥料施用区では有機物施用で土壌還元が進行して還元障害により根腐れが起きたためであると考えられた。以上より, 有機物を積極的に利用したイネ栽培においては窒素の溶出と還元状態によって根の発生・枯死の動態が影響を受ける可能性が考えられ, イネそのものの生育・収量にも影響を及ぼすことが示唆された。また, 出穂期以降の生育後半ではイネの根の現存量の調査からは根量が低下していくため, 根が発生せず枯死していく一方であるという報告もあるが本試

験では2カ年ともに出穂期以降の生育後半にも根の発生が観察された。

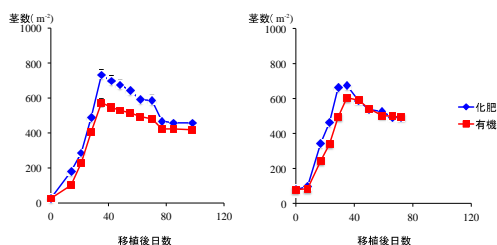


図 3. 茎数の推移。

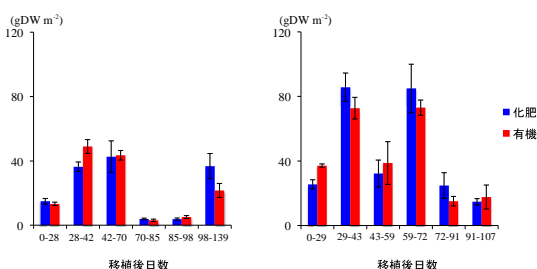


図 4. 根の発生・枯死の推移。

(2) 有機肥料の培養試験

(1) の栽培試験に用いた有機質肥料の窒素供給性について一次反応モデルで評価したところ、窒素供給性に関する有効な予測曲線を得ることができた。その結果、本試験で用いた有機質肥料に含まれる窒素は水稻の生育期間の比較的初期から溶出することが明らかとなった。また、温度条件を変えた試験の結果、有機質肥料中の窒素無機化速度は温度変化の影響はあまりうけず、気象条件の影響は限定的であると考えられた。(1) の成果に書いた通り、この窒素供給性が、2カ年の栽培試験でともに生育前半の根の発生・枯死に影響を与えた可能性が考えられた。

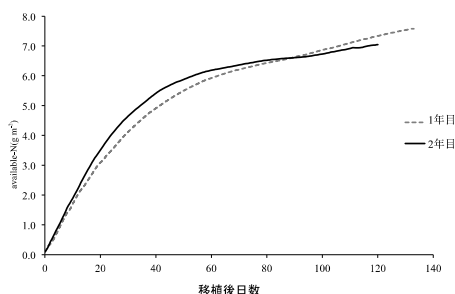


図 5. 有機質肥料からの予想窒素溶出量。

(3) 圃場試験に基づく土壌炭素蓄積の評価
栽培試験の結果に基づいて RothC を使って、有機質肥料施用区と化学肥料施用区の今後100年間の土壌炭素動態の試算を様々な条件でおこなったが、結果として、有機質肥料区で土壌炭素蓄積量が大きくなっていく傾向がみられた。本試験で調査した収穫期の根量は、RothC で使用されている規定値より約2.2倍大きく、この値を用いると100年間の土壌炭素蓄積量が400 kgC/10a程度大きくなった。さらに、生育期間中の枯死根を含めると、100年間の土壌炭素蓄積量が450 kgC/10a程度と50kg程度大きくなった。これらのことから、まず有機質肥料を施用する水稻有機栽培においては土壌炭素蓄積量は有機質肥料および根系動態の変化によって多くなる可能性が示唆された。また、根系の発生・枯死も加味した実測値に基づいて解析した結果、土壌炭素蓄積におよぼす根の貢献はこれまでよりも大きい可能性が考えられた。

表 1. モデルで予想される土壌炭素蓄積量

C量	DPM/RPM	枯死根	方法	増分(C/10a)			変化割合		
				10年	50年	100年	10年	50年	100年
規定値	規定値	—	慣行	0.20	0.51	0.81	1.03	1.07	1.12
規定値	規定値	—	有機	0.30	0.77	1.23	1.04	1.11	1.18
実測値	規定値	—	慣行	0.29	0.76	1.21	1.04	1.11	1.18
実測値	規定値	—	有機	0.40	1.03	1.66	1.06	1.15	1.24
実測値	実測値	—	慣行	0.34	0.82	1.28	1.05	1.12	1.19
実測値	実測値	—	有機	0.47	1.14	1.76	1.07	1.17	1.26
実測値	規定値	○	慣行	0.39	1.03	1.65	1.06	1.15	1.24
実測値	規定値	○	有機	0.50	1.32	2.11	1.07	1.19	1.31
実測値	実測値	○	慣行	0.44	1.10	1.72	1.07	1.16	1.25
実測値	実測値	○	有機	0.60	1.44	2.24	1.09	1.21	1.33

以上により、これまでバイオマス量にのみ注目されてきた水稻根系について発生・枯死を含めて評価することで、有機物を積極的に施用する水稻有機栽培のような場合には土壌条件に対する根の反応が化学肥料を用いて栽培するこれまでの慣行栽培と、生育前半で異なり、これには有機質肥料の窒素溶出性や有機物を施用することによる土壌の還元状態の変化が影響していると考えられた。ま

たこれらの変化が水田における土壌炭素蓄積にも少なからず影響を及ぼす可能性が示唆された。

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)

[学会発表](計 2件)

1. Tajima, R., K. Kamo, K. Tsushima, A. Mashiko, T. Ito and S. Saito. 2012. The Dynamics of Paddy Rice Roots in Organic Farming. ISRR2012, Dundee, UK (25/Jun/2012-30/Jun/2012).

2. 田島亮介, 増子晶彦, 伊藤豊彰, 齋藤雅典. 2012. 有機質施用水稲栽培における根の動態と土壌炭素との関係. 第36回根研究集会. 宮城(2012年6月16日).

6. 研究組織

(1)研究代表者

田島 亮介 (TAJIMA RYOSUKE)

東北大学・大学院農学研究科・助教

研究者番号：60530144