

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：11101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26550092

研究課題名(和文)長期無肥料水田で生じる窒素循環の活性化と土壤微生物相の変化

研究課題名(英文)Activity of nitrogen cycling and soil microbial community in paddies without fertilizer application

研究代表者

杉山 修一(Sugiyama, Shuichi)

弘前大学・農学生命科学部・教授

研究者番号：00154500

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：長期間無施肥でも慣行栽培並の収量を上げている稲作農家が存在する。本研究では、長期無施肥で多収を達成している理由を明らかにするために、収量性の異なる長期無肥料水田の窒素収支を比較した。多収水田では生育を通じて土壌からの無機窒素の供給が高く、イネは慣行栽培並みの窒素吸収量を得ていた。これは、多収水田では前年の稲わらが土壌中で分解され無機窒素として土壌中に循環する量が多いことと土壤微生物が稲わらを分化する能力が高いことに起因していた。しかし、分解だけでは窒素の不足を補えず、土壌中での微生物(細菌)による窒素固定も大きな貢献をしていることが想定された。

研究成果の概要(英文)：Although it is expected that high crop yield is possible only under appropriate fertilizer application, a few farmers in Tohoku region have been attained high rice yield without any application of chemical fertilizer during 40 years. To clarify the mechanisms behind high yield without fertilizer application comparison was made between high-yield paddies and low-yield paddies without long term fertilizer application in a Tohoku region.

The high-yield paddies had a higher capacity to supply mineralized nitrogen from soil and attained high yield (480kg 10a) comparable to conventional farming. This high yield resulted from (1) a larger amount of rice straw of previous crop available for decomposition and (2) higher decomposition activity of soil microbes. However, nitrogen fixation by soil bacteria seem to contribute for the high yield to compensate nitrogen loss by taking out of nitrogen contained in rice grain from a field.

研究分野：生態学

キーワード：水田 無施肥 収量 窒素循環 土壤微生物 有機物分解

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 耕地に投入される大量の化学肥料は、作物の生産性の確保には欠かせないが、湖沼や地下水汚染、温室効果ガスである  $N_2O$  排出という環境負荷を引き起こす。窒素を巡る作物生産と環境負荷のジレンマは、農地の持続的生産システムの確立のために解決すべき重要課題である。

(2) 外部から肥料を投入しないと高い作物生産が維持できないことはこれまでの作物栽培の常識であるが、宮城県の水田農家 K 氏は、30 年以上肥料を与えずにイネを栽培し、毎年慣行栽培の収量に匹敵する 480kg/10a の収量をあげている。この水田の作物 土壌の窒素循環を明らかにすることは、作物栽培における「窒素のジレンマ」を解決する方法につながる。

(3) 無肥料条件で水田に供給される窒素は、前年の稲ワラを含む土壌有機物から供給される無機化窒素と灌漑水や水田内部の窒素固定に由来する窒素である。無機化された窒素は作物以外に土壌微生物も吸収する。これまでの水田の窒素循環モデルでは、吸収する窒素の割合は 50~67%とされてきたが(西尾道徳 1997)、この割合が減れば、作物の窒素吸収量は増える。また、窒素欠乏状態になることで、水田の窒素固定細菌が増え、窒素固定由来の窒素も増える可能性が考えられる。そこで、無施肥栽培を長期間続けることで土壌微生物相が変化し、作物 - 土壌の栄養塩循環システムが活性化されるという着想を得た。

## 2. 研究の目的

本研究では上記着想を証明するために以下の二つの仮説の検証を行う。(1)長期無肥料栽培の水田では窒素固定菌や窒素要求性の低い微生物相が発達する。(2)そのような水田では、窒素循環が活性化され、イネの吸収する窒素量が増え、収量が増加する。

## 3. 研究の方法

平成 26 年度は、長期無肥料栽培で 10 ア

ール当たり 8 俵(480kg)の収量をあげている宮城県涌谷町 K 氏水田の作物 土壌を含めた窒素循環の流れを定量し、あわせて土壌微生物による有機物分解や窒素固定や吸収を解析することで、無肥料で多収が可能になるメカニズムを明らかにする。

平成 27 年度は、東北地域の長期無肥料栽培が行われている水田のうち 10 アール当たりの収量が 250kg 以下の低収量水田 3 カ所(弘前、青森、遠野)と 350kg 以上の高収量水田 3 カ所(青森、五所川原、涌谷)を比較する。

具体的研究方法は下記の通りである。

### (1)水田間の窒素循環の定量化と収量生成機構の解析

平成 26 年度の試験と同じく、6 要素間の窒素循環を定量化する。調査間隔は田植え前と田植え後の 8 月初めまでの 2 週間間隔で 4 月に土壌をサンプリングし、土壌に含まれる有機炭素と有機窒素を測定する。田植え後 5 月末から 8 月初めまで 2 週間間隔で 6 回、10 月はじめの収穫期に行く。前年度と同じように、イネの吸収する窒素量、微生物の吸収する窒素量、土壌有機物から無機化される窒素量、水田の出入り口で灌漑水の窒素含有量を測定する。

### (2)リターバッグによる土壌微生物群集構造の比較と分解特性の解明

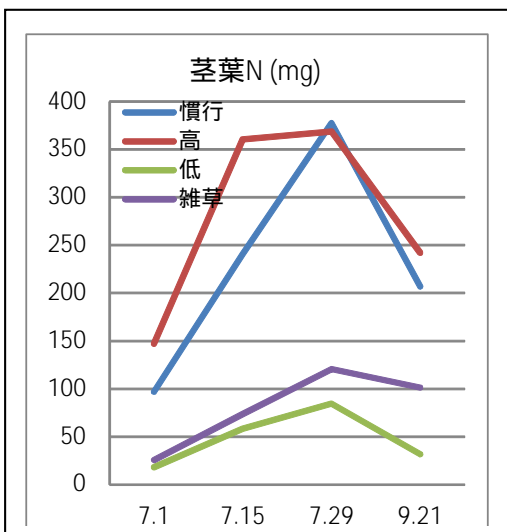
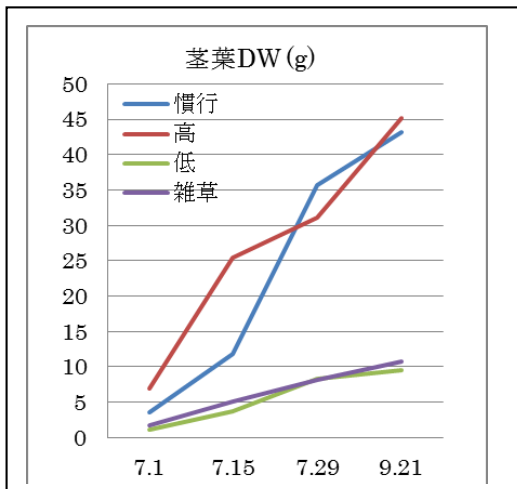
各水田土壌をポットに入れ、灌水状態にして、プラスチックネットに入れた稲ワラの分解(重さの減少)を 1 月間隔で調べ、各水田に住む土壌微生物の分解能力を明らかにする。同時に、ワラに付着している微生物の DNA を収集し、リボソーム RNA 遺伝子の塩基配列を調べることで、分解微生物(細菌と真菌)の群集構造を明らかにする。

## 4. 研究成果

### (1) 無肥料水田間の窒素循環の比較

図 1 に示したように、無肥料水田間では、高収量水田と低収量水田には、イネの生育量と窒素吸収量に大きな差が見られた( $p < 0.001$ )。無肥料の高収量水田は慣行栽培に匹敵する生育量を示したが、低収量水田は初期生育から生育が高収量に劣り、通常の間

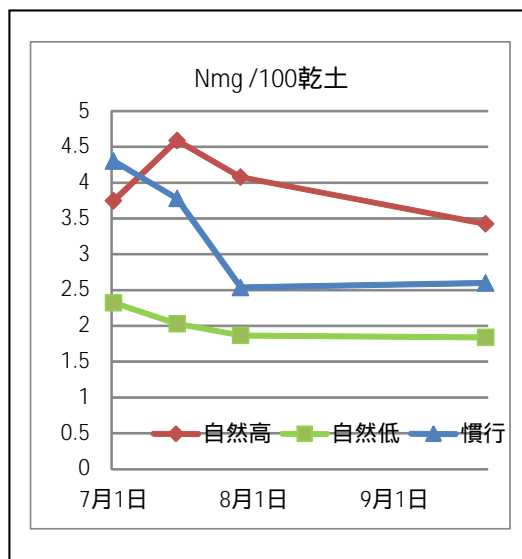
ジスティック成長で見られる立ち上がり期



の指数関数的な成長が見られなかった。バイオマスと窒素含有率の積で表されるイネの窒素吸収量も生育量と同じような傾向を示し、イネによる窒素吸収量は生育量の差を反映していた。これらのことから、無肥料水田における収量差は、雑草の存在が関係しており、低収量水田では雑草による窒素吸収のため本来利用できる窒素が利用できなくなることで、大幅な収量低下がもたらされていた。

(2) 土壌中の無機態窒素の変化

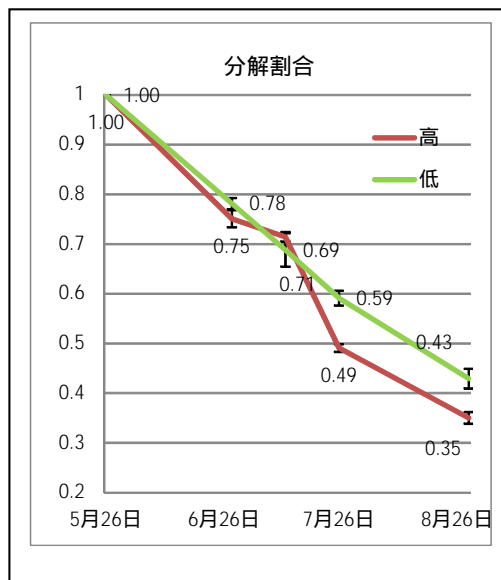
下図に、7月~9月までの土壌の無機態Nの変化を示した。高収量水田は7月には慣行水田と同じくらいの土壌窒素量があり、さらにそれ以降では慣行栽培を上回った。このことは、無肥料の高収量水田は土壌からの無機態窒素の供給量が高い、つまり“地力”が著しく高いことを示している。それに対して、低収量水田は、常に土壌中の無機態窒素量が生育期間全体を通して半分くらいであった。した



がって、低収量水田では、雑草により窒素が奪われる以外に、土壌からの無機態窒素供給力が低いことも収量低下の原因となっていた。

(3) 土壌微生物による稲ワラ分解力

リタ-バッグ法により、低収量と高収量水田土壌の稲ワラ分解を示した図を下に示す。7月までは低収量と高収量水田土壌には稲ワ



ラ分解速度に差は見られなかったが、7月26日には、高収量土壌の0.49に対して低収量土壌は0.59と有意な差が見られ、この差は8月以降も続いた。この結果は、高収量水田の土壌微生物はワラ分解力が優れていることを示しており、生育後期における高収量水田土壌の高い無機態窒素量は、土壌微生物のワラ分解力と関係していた。

#### (4)灌漑水による窒素の出入り

下記表に低収量と高収量水田における灌漑水の入り口と出口における窒素濃度(ppm)を示した。

表に示されているように、高収量水田の灌漑水の入り口の窒素濃度は0.3ppmで低収量水田の0.96ppmより低い。また、水田の排出口での窒素濃度も高収量と低収量水田で明確な差はない。したがって、水田に流れ込む灌漑水からの窒素供給量が水田における収量差を作り出す要因にはなっていないことを示している。

	各水田の水の入口と出口における灌漑水の窒素濃度 (ppm)			
	入口		出口	
	全窒素	無機窒素	全窒素	無機窒素
高収量	1.54	0.30	0.65	0.24
低収量	1.00	0.96	0.37	0.16

#### (5) 結論

以上の結果から、長期無肥料で多収を達成している水田では微生物の変化により窒素の無機化が促進されているものの、水田での有機物の分解を通じた窒素の無機化や灌漑水からの栄養塩の流入では多収をもたらす窒素供給のメカニズムは説明できない。したがって、水田内での自律的な窒素固定が長期無肥料での多収に関係していると結論できる。

#### 5. 主な発表論文等

##### 〔雑誌論文〕(計 1 件)

Okubo A., Matusaka M. and Sugiyama S. Impacts of root symbiotic associations on interspecific variation in sugar exudation rates and rhizosphere microbial communities: a comparison among four plant families. Plant and Soil 399:345-356. 2016.

##### 〔学会発表〕(計 3 件)

細谷啓太, 杉山修一: 東日本 16 無肥料水田における収量差の解析. 日本作物学会第 239 回講演会. 藤沢, 2015.

細谷啓太, 劉 広成, 杉山修一: 収量性が異なる長期無施肥水田の窒素循環. 日

本作物学会第 240 回大会. 長野, 2015.

細谷啓太, 杉山修一: 無肥料無農薬水田における雑草群集の決定要因 日本生態学会第 63 回講演会, 仙台, 2016

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

杉山修一 ( SUGIYAMA Shuichi )  
弘前大学・農学生命科学部・教授  
研究者番号: 00154500