

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (特設分野研究)

研究期間：2015～2017

課題番号：15KT0114

研究課題名(和文) 資源枯渇性からみた肥料の持続的利用；窒素固定非依存型ダイズ栽培の可能性

研究課題名(英文) Sustainable use of fertilizer in terms of resource scarcity: Possible cultivation of soybean independent of biological nitrogen fixation

研究代表者

齋藤 雅典 (Saito, Masanori)

東北大学・農学研究科・教授

研究者番号：40355079

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ダイズは窒素栄養を根粒窒素固定に依存しているが、その窒素固定のために多量のリンを吸収する必要がある。リンはその資源枯渇が危惧されており、窒素固定に依存しないダイズ栽培によって、リンを節減し、より持続的な栽培の可能性を探った。土壌のリン肥沃度が低い場合、根粒非着生系統のダイズを、窒素多量施肥で栽培することによって、通常ダイズ品種(根粒着生)と同等の収量が得られた。この場合、根粒非着生ダイズ栽培の環境インパクト(温暖化、富栄養化、資源枯渇)は、通常品種の栽培とほぼ同じか、やや小さかった。これらのことから、根粒非着生系統ダイズ利用による環境負荷低減型栽培の可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：Soybean depends their nitrogen nutrition on biological nitrogen fixation of root nodules, for which much phosphorus is required. However, phosphorus is concerned about its resource depletion. In terms of resource scarcity of phosphorus, we explore a possible less-phosphorus cultivation of soybean by using non-nodulating line of soybean. In a soil with low phosphorus fertility, when much nitrogen fertilizer was supplied, yield of non-nodulating soybean was comparable with that of normal nodulating cultivar of soybean. Environmental impact analysis of these cultivation process showed that the environmental impacts (global warming, eutrophication, resource scarcity) in non-nodulating soybean cultivation was comparable or rather smaller than those in nodulating soybean cultivation. These suggests it may be possible to cultivate soybean with less environmental loads using non-nodulating line of soybean.

研究分野：環境農学

キーワード：ダイズ 根粒窒素固定 リン LCA 資源枯渇 肥料 窒素 土壌

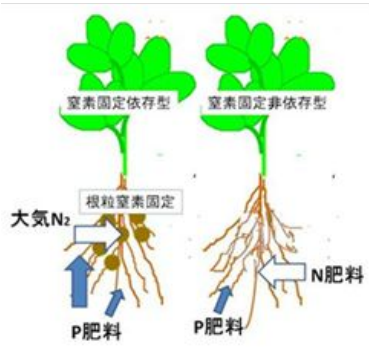
1. 研究開始当初の背景

農産物の LCA 研究は、生産 流通 消費 廃棄の各プロセスの中で、生産段階の環境負荷がもっとも大きいことを示してきた。特に、肥料成分である窒素およびリンの水質や地球温暖化に対する環境インパクトは大きい。一方、資源枯渇性からみると、窒素肥料は化石燃料エネルギーさえ得られれば大気から限りなく合成され得るが、リンはリン鉱石資源に依存しており、その資源は近い将来に枯渇するのではないかと危惧されている。また採掘されるリンの 80%以上がリン肥料として利用されており、リン資源の利用の上で肥料の持続的利用法の開発は国際的にもきわめて重要な課題である。

ダイズなどのマメ科作物は窒素栄養を根粒窒素固定に依存しており、窒素肥料をほとんど必要としないが、根粒窒素固定のためには多量のリンが必要である。一方、わが国の農業生産システムは、多量の窒素肥料や畜産廃棄物等により潜在的に窒素過剰の状態にある。資源枯渇性からみると、限られたリン資源を使って窒素固定に依存したマメ科作物の栽培を行うより、過剰基調にある窒素を利用してリンの節減を図りつつ、マメ科作物を栽培することの方が、窒素・リンの循環からみてより持続的な農業生産システムにつながる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、根粒窒素固定を活用するのは逆の発想で、根粒窒素固定に依存せずにダイズ栽培の環境負荷低減の可能性を探る。そのために、(1)ダイズの根粒非着生システムを用い、「窒素肥料依存型 + リン肥料節減型栽培 (根粒窒素固定非依存型)」の可能性について栽培試験を行うとともに、(2)その環境影響をライフサイクルインベントリ分析により評価し、根粒窒素固定非依存型栽培による環境負荷低減の可能性を探る。さらに、(3)過剰基調にある窒素源として家畜ふん堆肥に着目し、それを窒素肥料として根粒窒素固定非依存型ダイズ栽培に利用した場合の地球温暖化への環境インパクトを評価する。



3. 研究の方法

(1) 根粒非着生ダイズの栽培試験

リン肥沃度 (リン施肥量) の異なる条件で、通常の根粒着生ダイズ品種「エンレイ」と窒

素多量施肥による根粒非着生ダイズ (同質遺伝子系統 En1282) の生育・収量を 2 年間にわたって比較した。

<圃場> 東北大学・川渡フィールドセンター畑圃場 (非アロフェン質黒ボク土)

<供試ダイズ品種> エンレイ (通常着生)、En1282 (非着生)

<施肥処理>

- ・ リン酸施肥 2 水準: 低リン区 (リン酸無施肥)、高リン区 (過リン酸石灰 100kg P₂O₅/10a)
- ・ 窒素施肥: 根粒非着生系統 En1282 には、30kg N/10a (初年目)、あるいは 36kg N/10a (2 年目) を緩効性肥料で施用。すべてに共通で 3kg N/10a を基肥として施用。
- ・ カリウム施肥: 30 kg K₂O/10a を共通に基肥として施用。

<生育・収量調査> 常法で行った。固定窒素量は ¹⁵N 窒素自然存在比法により推定。

(2) 根粒非着生ダイズ栽培のライフサイクル環境影響評価

(1) の根粒非着生ダイズ栽培に係わる栽培管理のライフサイクルインベントリを整理し、その環境影響を評価した。

<評価範囲> 播種前の耕起から収穫までの栽培管理作業。

<使用データ> フォアグラウンドデータとして栽培管理作業を、バックグラウンドデータとして、肥料・農薬製造、農作業燃料を考慮し、栽培作業関係のデータは好野ら (2010) によった。

<評価および原単位> LCA ソフトウェア Sima-Pro 搭載のデータベースに基づき環境負荷を推算し、産総研の開発した LIME により地球温暖化、資源消費、富栄養化のカテゴリに対する影響評価を行った。面積あたり、および収量あたりの評価を行った。

(3) 根粒非着生ダイズへの多量窒素施肥を家畜ふんで代替した場合の環境影響 (地球温暖化インパクト) の推算

家畜ふん尿の窒素が余剰基調にあるので、その家畜ふん堆肥を、窒素肥料源として根粒非着生ダイズへの栽培に活用する可能性を探るために、(2) の結果に基づき、窒素肥料を家畜ふん堆肥、ここではもっとも窒素肥料代替率の高い鶏ふん堆肥によって代替した場合の栽培プロセスにおける環境影響を地球温暖化 (温室効果ガス排出量) に着目して評価する。

<栽培シナリオ> 根粒着生あるいは非着生を化学肥料で栽培する場合、根粒非着生ダイズへの窒素施肥を鶏ふん堆肥で代替する場合、を想定した。シナリオでは、「根粒非着生 + 窒素化学肥料 + 低リン」、「根粒着生 + 高リン」、「根粒着生 + 低リン」の 3 処理を、シナリオでは、「根粒非着生 + 鶏ふん」を、試算の対象とした。

シナリオにおいて、鶏ふん堆肥の窒素肥

料代替率は、牛尾ら（土肥誌、2004）より、窒素代替率 50%、鶏ふん堆肥の窒素含有率 3% とした。すなわち、根粒非着生ダイズへの基肥窒素 + 多量施肥窒素 33 kgN/10a を鶏ふん堆肥 2.2t/10a で代替する。なお、試算には、1 年目の栽培試験データを使用し、根粒非着生 + 鶏ふんの収量は、根粒非着生 + 窒素化学肥料 + 高リン施肥、と同等と仮定した。

シナリオ において鶏ふん堆肥不利用の場合は鶏ふんを焼却することも、試算の中に含めた。

また、作業、農薬等は両シナリオで共通なので試算より除外した。

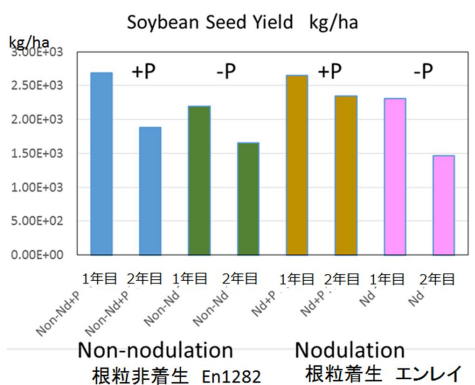
< 温室効果ガス排出係数 > 以下に基づいた。

- ・ 化学肥料製造：日本 CFP 原単位。
- ・ 鶏ふん堆肥製造、土壌面排出（化学肥料施用時 N_2O 、堆肥施用時 N_2O ）、堆肥使用しない場合の鶏ふん焼却：日本国温室効果ガスインベントリ（2017）。
- ・ 土壌面排出（根粒由来 N_2O ）：金ら（日作紀、2005）より推算

4. 研究成果

(1) 根粒非着生ダイズの栽培試験

根粒着生品種エンレイを高リン条件で栽培した場合に、両年とももっとも高収量が得られたが、低リン条件での収量は、特に 2 年目に大きく低下し、非着生系統 En1282 と大きな差はなかった。非着生系統 En1282 は、緩効性窒素肥料の施用によって大幅に増加し、一方、リン施肥による影響をエンレイほど受けず、低リン条件では、窒素多量施肥により着生系統エンレイと同等の収量が得られる可能性が示された。



乾物生産および窒素・リンの動態に注目すると、まず乾物生産の増加速度の最大値が大きいほど収量は高い傾向にあった。低リン区におけるリンあたりの乾物生産効率は 2 ヶ年ともに、緩効性窒素肥料を施用した非着生 > 通常着生となった。

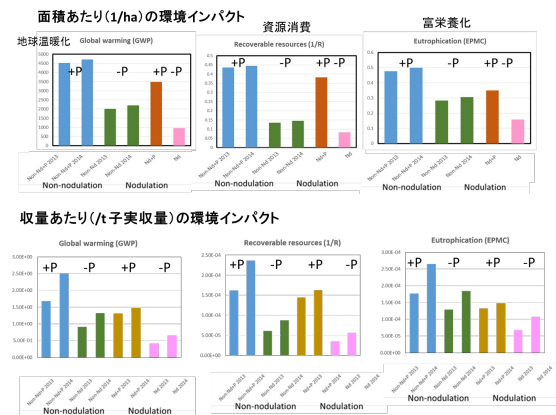
以上より、リン酸肥沃度の低い圃場では窒素固定を活用するためにリン酸を多く施肥するよりも、固定窒素へ依存せず、リンの利用性が高い非着生系統を用い、緩効性窒素肥料の多施用にて収量を確保する方が、資源枯渇リスクの高いリン資源の有効利用の観点

から望ましい可能性が示唆された。

(2) 根粒非着生ダイズ栽培のライフサイクル環境影響評価

環境影響評価の原単位を面積あたりで評価するか、収量あたりで評価するかによって若干傾向は異なるが、地球温暖化・資源評価・富栄養化のいずれのインパクトカテゴリにおいても、リン施肥のインパクトが大きかった。

低リン条件の非着生系統の収量水準は高リン条件・通常着生品種の収量水準に及ばないが、収量あたりの環境インパクトは、根粒非着生系統の方がやや小さい、あるいは同等であった。このことから、根粒非着生系統ダイズの窒素多施肥栽培は、リン施肥量を節減し、相対的に各種の環境インパクトを軽減できる可能性を栽培の可能性が示された。

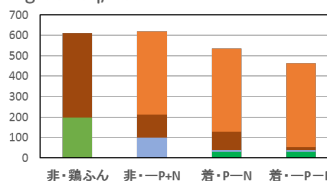


(3) 根粒非着生ダイズへの多量窒素施肥を家畜ふんで代替した場合の環境影響（地球温暖化インパクト）の試算

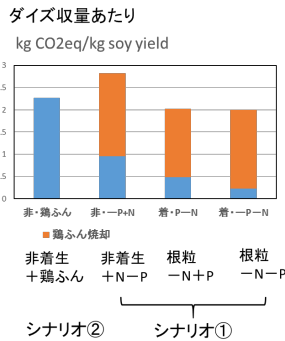
化学肥料窒素を鶏ふん堆肥施用で代替するシナリオ の場合、堆肥製造過程や堆肥の圃場への施用後の土壌面からの N_2O 排出がきわめて大きく、機能単位にかかわらず、全体として地球温暖化インパクトを大幅に大きくする。しかし、シナリオ で、鶏ふんを焼却処分することを考慮すると、焼却による温室効果ガス排出量が大きく、全体として地球温暖化インパクトはシナリオ と同じ水準に達する。

面積あたり

kg CO₂eq/10a



シナリオ②: 非着生 + 鶏ふん
シナリオ①: 非着生 + N-P, 根粒 - N-P, 根粒 - N



これらのことから、根粒非着生ダイズ栽培における化学肥料窒素を、単に鶏ふん堆肥によって代替しようとしても地球温暖化インパクトの軽減にはむすびつかないことが示された。化学窒素肥料替を鶏ふん堆肥等の家畜ふん資材で代替しつつ環境負荷を低減させるためには、家畜ふん処理システム全体および堆肥の地域循環を含め、システム境界を地域全体へ広げて評価しなければならない。

以上、本研究により、リン肥沃度の低い条件の場合、根粒非着生系統のダイズであっても、窒素多量施肥により着生系統と同等の収量が得られる可能性が示された。さらに、この場合の栽培プロセスの環境影響評価を行ったところ、根粒非着生ダイズを低リン肥沃度・多量窒素施肥条件で栽培した場合、高リン肥沃度で根粒着生品種を栽培した場合より、環境インパクトはやや小さい、あるいは同等であった。これらのことから、根粒非着生系統ダイズ利用による環境負荷低減型栽培の可能性が示された。さらに、窒素施肥を鶏ふん堆肥での代替した場合を想定したが、鶏ふん堆肥施用は地球温暖化インパクトを大幅に増加し、鶏ふん処理システムを含めて考慮する必要があった。

<引用文献>

- 金榮厚ら(2005)根粒着生能力が異なるダイズ系統圃場からの一酸化窒素と亜酸化窒素の発生,日作紀,74: 427-430.
牛尾進吾ら(2004)家畜ふん堆肥の成分特性と肥料の効果を検討した施用量を示す「家畜ふん堆肥利用促進ナビゲーションシステム」,土肥誌,75: 99-102.
好野奈美子ら(2010)休閑期カバー作物不耕起ダイズ栽培のライフサイクルインベントリ分析,LCA学会研究発表会要旨

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1件)

齋藤雅典,根粒非着生品種によるダイズのリン節減栽培の可能性と家畜ふん堆肥による肥料代替の環境影響評価、コンポスト総合研究プロジェクト平成 29 年度成果報告書、査読無、2018, p,44-49

[学会発表](計 3件)

齋藤雅典,根粒非着生品種によるダイズのリン節減栽培の可能性と家畜ふん堆肥による肥料代替の環境影響評価、PICS みやぎ 10 周年記念シンポジウム、2018 年 2 月 9 日、仙台

Saito, M., Tajima, R., Uchida, S., Possibility of non-nodulating soybean cultivation from the viewpoint of phosphorus resource scarcity. Ecobalance 2016 International Conference, 2016 年 10 月 5 日、京都

田島亮介,松岡千尋,伊藤豊彰,齋藤雅典,土壌リン酸レベルが異なる圃場における根粒超着生・通常着生・非着生ダイズ系統の窒素同化とリン吸収の関係. 第 241 回日本作物学会講演会、2016 年 3 月 29 日、水戸

[図書](計 1件)

齋藤雅典:朝倉書店、食と微生物の事典、2017、512p. (執筆担当部分) p.392-393.

[産業財産権]

出願状況(計 0件)
取得状況(計 0件)

[その他]

6. 研究組織

(1)研究代表者

齋藤 雅典 (SAITO, Masanori)
東北大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号: 4 0 3 5 5 0 7 9

(2)研究分担者

内田 晋 (UCHIDA, Susumu)
茨城大学・農学部・准教授
研究者番号: 3 0 6 3 1 0 1 4

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: 6 0 5 3 0 1 4 4

(3) 連携研究者

林 清忠 (HAYASHI, Kiyotada)
(独)農研機構・農業環境変動研究センター・上席研究員
研究者番号: 4 0 3 5 5 4 7 5