様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　５ 年　 ６ 月 １４ 日現在

機関番号：８２１１１
研究種目：若手研究
研究期間：2020～2022
課題番号：２０Ｋ１５５１２

研究課題名（和文）生産者圃場でのトウモロコシ窒素の充足実態の評価

研究課題名（英文）Nitrogen deficiency of maize in the farmer's fields of Iwate prefecture

研究代表者
藤竿　和彦（Fujisao, Kazuhiko）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・東北農業研究センター・研究員

研究者番号：３０８３７３６５

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　2,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は岩手県でトウモロコシを栽培する生産者の圃場にて、生育期間中の窒素不足の実態を評価した。この結果、土壌中の全窒素含量が低い場合には窒素不足となっている圃場が多く、全窒素含量が3g/kg未満の場合には絹糸抽出期頃から窒素不足になっていた。こうした圃場では、絹糸抽出期からの約1カ月の間に乾物生産量の損失が平均2.2t/haだったと推定された。土壌中の全窒素含量が少ない圃場では、堆肥などによって登熟期間中に窒素を供給する必要があると考えられた。しかし、気象データを用いた推定結果からは、調査した圃場では無機化が比較的に早い鶏糞堆肥では登熟期間中に窒素を供給することが難しいと推察された。

研究成果の学術的意義や社会的意義
本研究は生産者の圃場において窒素不足が生じやすい環境を示すと共に、生育期間中に窒素不足が生じた時期を示しており、肥培管理を検討する上で基礎的な結果を得た。また、窒素不足に起因して損失した乾物生産量を示したことで、経済的な観点から検討するためにも必要な結果を示した。本結果は農業での効果的な肥培管理を検討する上で有用な知見を示したと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to evaluate nitrogen deficiency of maize cultivated in the farmer's fields of Iwate prefecture. The results revealed that nitrogen deficiency occured in the fields where the total nitrogen content in the soil was low. Specifically, nitrogen deficiency occurred particularly around the silking stage when the total nitrogen content was below 3 g/kg. In these fields, it was estimated that an average loss of 2.2 t/ha in dry matter production occurred during approximately one months from the silking stage. Consequently, it was inferred that the application of nitrogen during the ripening period, such as through the use of compost, is necessary in fields with low total nitrogen content in the soil.

研究分野：作物学

キーワード：トウモロコシ　窒素不足　生産者圃場

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

作物の生産現場で得られる実収量は研究で得られる潜在収量よりも低い場合が多い。しかし、多種の要因が影響しうることから、低収量の原因を把握することは困難な場合が多い。植物生育に最も重要な窒素でさえ例外ではなく、窒素肥料の投入量が個々の圃場で過剰なのか、不足しているのかも判断が難しい場合がある。これまでに各地方自治体で窒素の肥培管理法が示され、土壌の窒素特性ごとに肥培管理が示されているため、一般的には十分な窒素管理が行われていると考えられている。しかし、こうした肥培管理の設定には植物体内の窒素の過不足は考慮されず、最終的に得られる収量にのみ基づいて検討されていることが多い。このため、生育途中の窒素不足によって生産性が低水準に留まっている、または過剰供給をしている可能性がある。本研究で扱った飼料用トウモロコシの栽培では、草丈が高いために追肥作業が難しく、基肥のみに頼ることが多い。このため、生育中に窒素が不足しやすい栽培条件と想像される。

こうした現状に際し、肥培管理を向上させていく上では、どの時期に、どの程度の窒素が不足しているかを把握し、その時期に窒素供給を行う肥培管理を構築することが必要である。そこで、本研究では飼料用トウモロコシを対象に、生産者の圃場において生育期間中のトウモロコシを調査し、トウモロコシ内の窒素の過不足の実態を評価することを目的に本研究を実施した。

２．研究の目的

本研究は生産者圃場においてトウモロコシの窒素の過不足の実態を把握し、窒素の状態が生産性への影響を明らかにすることを目的として実施した。また、調査結果をもとに、窒素が不足する時期に窒素供給が可能な堆肥の利用法について検討を行った。

これらの目的を達成するために、①試験圃場での施肥試験から、窒素不足の状態と日射利用効率の関係を求めた。②岩手県内の生産者圃場でトウモロコシの生育調査を行い、窒素濃度から窒素不足が生じやすい時期と量と評価し、それに伴う生産性の低下の影響を推定した。また、③生産者圃場の気象環境下での堆肥の緩効性肥料としての特性を推定し、その利用法について検討した。

３．研究の方法

① 窒素不足による生産性の損失量の評価

生産者圃場での窒素不足の持つ影響の大きさを評価するため、受光日射量当たりの乾物生産量（日射利用効率）に着目し、窒素不足が与える影響を調べた。窒素の過不足を示す代表的な指数にはNitrogen Nutrition Index（NNI）があり、これは過不足を判断するための窒素濃度の閾値（危険濃度）に対するトウモロコシ内の窒素濃度の比で表される(Lemaire et al., 1989; Plénet and Lemaire, 2000)。日射利用効率は窒素濃度との関係が特定の生育時期においては調べられているものの、NNIとの関係は十分に調査されていない。本研究では、2020年と2021年に農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター内の試験圃場で、相対熟度が110日または115日の4品種を供試し、窒素施肥量を0-280 kg/haの間で変化させた栽培試験を行った。7月中旬から9月上旬にかけて経時的に調査を行い、トウモロコシの地上部乾物重と窒素濃度を分析し、NNIを算出した。加えて、小型無人航空機を用いて被覆率を調べた。作物の被覆率と日射の受光率とは強い関係にある（白岩ら、2011)。この事を利用し、被覆率と日射量の推移、加えて各調査日の地上部乾物重から日射利用効率を求めた。

② 生産者の圃場におけるトウモロコシの窒素の過不足の実態調査

現行の栽培管理下における窒素の過不足を評価するため、岩手県内のトウモロコシ生産者の圃場の中から追肥を行っていない圃場を対象とし、2019年と2020年に合計40筆の生育調査を行った。絹糸抽出期頃から9月の黄熟初期までに経時的に生育調査を行い、トウモロコシの地上部乾物重と窒素濃度を分析した。実験①で得られた結果を基にNNIを算出し、個々の圃場において調査期間中に窒素不足となった時期を調べた。窒素不足の場合には、要求される窒素量を推定した。加えて、実験①の結果を基に、窒素不足によって低下した日射利用効率を推定し、損失した乾物生産量を推定した。

③ 圃場環境下における堆肥特性の解析と利用法の検討

本研究では栽培試験に基づく堆肥の効果を評価することは労力的に難しいため、解析によってトウモロコシ栽培に与える堆肥の影響を検討した。既存の研究で堆肥の培養試験から窒素の無機化と地温との関係が示されている（石橋ら2014)。また、気象データから地温を推定するモデルが示されている（広田ら、1995)。本研究では農研機構の提供する気象メッシュデータから調査圃場の内で代表的な圃場の気象データを取得し、この気象データから地温を、そして窒素の無機化率を推定した。この推定結果を基に、本研究で調査した栽培環境における堆肥からの窒素供給とトウモロコシの窒素吸収を推定し、堆肥の利用について検討した。ただし、石橋らの研究では豚糞堆肥のパラメーターが算出されていないため、窒素の無機化の特性が豚糞堆肥と類似している鶏糞堆肥の結果を用いて推定を行った。

４．研究成果

① 窒素不足による生産性の損失量の評価

東北農業研究センターにおける栽培試験の結果、既存の研究結果と同様に窒素濃度と日射利用効率には関係があった。しかし、生育が進むほど処理区間での窒素濃度の変動幅が小さくなり、窒素濃度に対する日射利用効率の変動が大きくなる傾向にあった(図なし)。両者の関係は調査時期によって異なっていたため、窒素濃度から日射利用効率を推定するためには生育時期を表す変数が必要だと考えられる。一方で、NNI と日射利用効率との関係は調査時期によらず同様の傾向を示し、NNI が低下するとともに日射利用効率が低下していた（図 1)。両者の関係を 2 本の直線を用いた折れ線回帰で解析した結果、NNI が 1 以下の時に NNI の低下と共に日射利用効率が低下する回帰式を得た。この回帰式をもとにすると、NNI が 0.5 となる時、日射利用効率は最大値の 43%に低下すると考えられる。

また、本実験で得られた空撮画像を解析した結果、NNI の相対値はトウモロコシの葉色と関係があった。小型無人航空機による空撮画像を解析することで NNI を推定でき、栽培中のトウモロコシの窒素不足の状況及び乾物生産能力を評価できると考えられた。

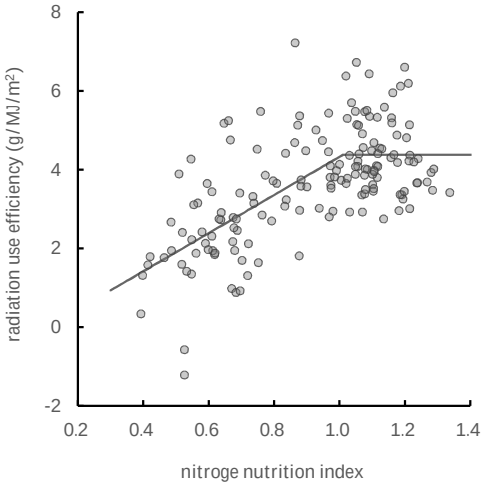

図 1　nitrogen nutrition index と日射利用効率の関係

② 生産者の圃場におけるトウモロコシの窒素の過不足の実態調査

岩手県内の生産者圃場での調査の結果、圃場ごとに NNI の推移は大きく異なっていた。圃場によっては播種後の積算気温が 1300℃付近の絹糸抽出期ごろから NNI が 1 未満となり、窒素不足と判断される状態だった。圃場間で比較すると、土壌中の全窒素含量が低いほど、調査期間中の NNI が低い水準で推移する傾向にあり、NNI が 1 未満に達する時期も早い傾向にあった(図 2)。本調査結果からは、酪農向けの飼料生産圃場と比較し、耕種農家の水田転換畑では土壌中の全窒素含量が低く、比較的早くにトウモロコシが窒素不足となる傾向だった。一般的に、耕種農家の水田転換畑は飼料生産の圃場よりも相対的に土壌中の全窒素含量が少ない場合が多いため、本調査結果と同様に水田転換畑でのトウモロコシ栽培では相対的に窒素が不足しやすいと考えられる。ただし、土壌中の全窒素含量が 7 g/kg を超える圃場であっても 9 月の調査時には NNI が低くなる傾向があった。こうした圃場では、NNI が高い水準にあった 7 月から 8 月と同様に、9 月の調査時にも土壌の無機態窒素含量は比較的に高い傾向にあったため、トウモロコシの窒素吸収が抑制されたために NNI が低下したと考えられる。9 月の調査時は黄熟初期頃に当たり、根の老化が窒素吸収の抑制の原因だった可能性が考えられる。根の老化が 9 月における NNI の低下の原因だった場合には、これ以前にトウモロコシ内に窒素を蓄積させることが収量向上に必要だと考えられる。

実験①でもとめた NNI と日射利用効率の関係をもとに生産者圃場における窒素不足に起因する生産性損失を推定した結果、土壌中の全窒素含量が 1-3 g/kg だった圃場群では、黄熟初期まで日射利用効率が最大値から 10%以上も低下していたと推察された。日射利用効率の低下量をもとに、調査圃場の受光率が 100%であると仮定し、メッシュ農業気象データから提供される日射量をもとに絹糸抽出期から黄熟初期までの約 1 カ月間に損失した乾物重を算出した。この結果、土壌中の全窒素含量が 1-3 g/kg だった圃場群では平均で 2.2 t/ha の乾物重を窒素不足によって損失していたと考えられた。子実を収穫する場合には黄熟初期からさらに 1 カ月ほど栽培が継続することから、窒素不足に起因する乾物重の損失は更に大きかったと考えられる。これらの圃場群では、絹糸抽出期ごろに窒素を供給することが可能であれば、効果的に収量を改善させられると考えられた。

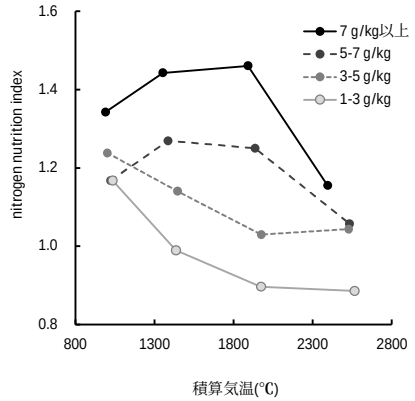

図 2　調査期間中の生産者圃場における Nitrogen Nutrition Index の推移
結果は土壌中の全窒素含量から 4 つのグループに分けた時の圃場群の平均値で示す。

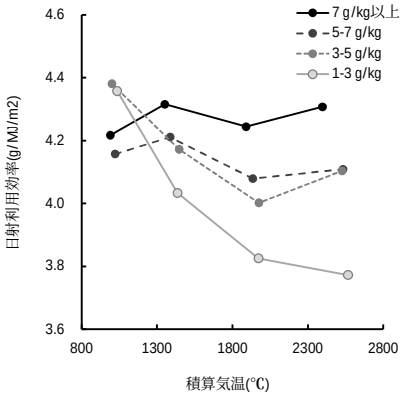

図 3　調査期間中の生産者圃場における推定された日射利用効率の推移
結果は土壌中の全窒素含量から 4 つのグループに分けた時の圃場群の平均値で示す。

③ 圃場環境下における堆肥特性の解析と利用法の検討

堆肥は緩効性の窒素供給源として利用できるため、トウモロコシの登熟期間中の窒素供給に有用だと考えられる。しかし、堆肥の種類と気象環境によって窒素供給の時期が異なるため、調査圃場の気象データから堆肥中の窒素の無機化率とトウモロコシの窒素吸収を推定した。この結果、耕種農家の栽培環境では、播種後の積算気温が 1300℃付近から鶏糞堆肥からの無機態窒素の供給が少なくなりやすいと推察された。調査した耕種農家では鶏糞堆肥と窒素の無機化の傾向が似ている豚糞堆肥を利用していた。これらの圃場で絹糸抽出期ごろから NNI が 1 を下回り、登熟期間中に窒素不足が顕著となっていたが、これは無機化が比較的早い堆肥を使用していたことが一つの原因だった可能性がある。一方で、酪農家の圃場では牛糞堆肥が使用されていたが、春と秋の両方の施用時期で共に窒素の無機化率は生育の遅い時期に増加する傾向にあった。牛糞堆肥は無機化の速度が遅いことは短所であるが、十分に多くの量を連年で施用することが可能であれば、登熟期間中の窒素供給に有用だと考えられた。しかし、播種直後の 5 月頃は窒素の有機化による窒素飢餓が生じる可能性が示唆された。

トウモロコシ圃場の調査から土壌中の全窒素含量が低い圃場ではトウモロコシは絹糸抽出期以降の登熟期間に窒素不足によって生産性が低下していたことが示された。これらの圃場では、牛糞堆肥の様な比較的に遅効性の堆肥を用いることで生産性が改善すると考えられる。しかし、比較的に早く窒素が無機化する鶏糞堆肥や豚糞堆肥では、トウモロコシの登熟期間に窒素を供給することが難しいことが推察された。一方で、牛糞堆肥は生育初期に窒素飢餓を生じさせる可能性も示唆された。トウモロコシ栽培を中心に考えた場合には、一般的な牛糞堆肥よりも早く窒素が無機化し始める特性が必要だと考えられる。また、調査圃場では黄熟期初期以降にトウモロコシの窒素吸収が抑制されていた可能性が示唆された。このため、黄熟初期以前の登熟初期に十分に多くの窒素蓄積を可能とする堆肥の施用量が高収量の達成に必要だと思われる。この適切な施用量については本研究から示すことは難しく、今後の更なる検討が必要と考えられる。

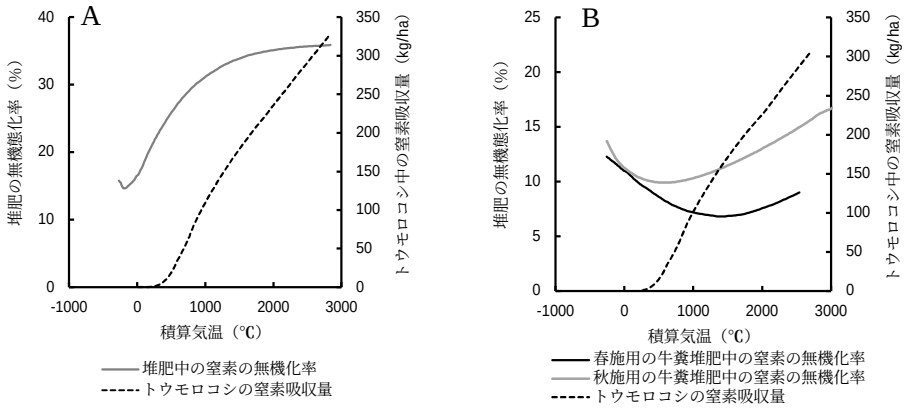

図 4　調査した耕種農家と酪農家の各地域における気象環境における堆肥からの窒素無機化率とトウモロコシの窒素吸収量の推定値
A に耕種農家の環境での鶏糞堆肥の、B に酪農家の環境での牛糞堆肥の推定結果を播種からの積算気温に対する推移で示す。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計0件

〔学会発表〕　計2件（うち招待講演　0件／うち国際学会　0件）

１．発表者名 藤竿和彦
２．発表標題 岩手県の農家圃場における トウモロコシ内の窒素の過不足の実態
３．学会等名 日本作物学会第251回講演会
４．発表年 2021年

１．発表者名 藤竿和彦
２．発表標題 トウモロコシの葉色と窒素不足との関係
３．学会等名 日本草地学会札幌大会
４．発表年 2023年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

―

６．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考

７．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

８．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関