

愛知県の青刈りトウモロコシ栽培における 土壤の可給態窒素含量に基づいた窒素施肥管理の必要性

中村嘉孝¹⁾・河野朋之²⁾・長渕政広³⁾・山本るみ子⁴⁾・長嶋 圭⁵⁾・森下 忠⁶⁾・宮崎幸司¹⁾

摘要:飼料価格の高騰を受けて、愛知県では水田の転作作物として青刈りトウモロコシ栽培が拡大しつつある。そこで、適切な施肥管理による飼料生産の拡大に向けて、田畠輪換水田における土壤の可給態窒素含量(AvN)の実態を明らかにするとともに、AvNに基づいた窒素施肥管理の検証を行った。調査した田畠輪換水田におけるAvNの平均値は30 mg kg⁻¹であり、飼料畠におけるAvNの平均値の125 mg kg⁻¹よりも有意に低かった。各ほ場のAvNの差に基づいて、窒素施肥量を田畠輪換水田では愛知県の施肥基準量よりも増肥し、飼料畠では減肥して青刈りトウモロコシを栽培した結果、目標収量と同程度の収量が得られることが示唆された。田畠輪換水田と飼料畠のAvNは大きく異なるため、それぞれのほ場のAvNに基づいて窒素施肥管理を行うことが必要である。

キーワード:転作作物、青刈りトウモロコシ、田畠輪換水田、可給態窒素含量

緒言

愛知県は、県内に港湾があるため輸入飼料が安価に入手できること、食品製造業が盛んでその副産物を飼料利用しやすいこと、都市化の進展により栽培ほ場の確保が困難であること等から、他の地域に比べて飼料生産は少ない¹⁾。1999～2000年に愛知県の酪農家を対象に実施されたアンケートにおいて、飼料畠を持たない酪農家数は45%と半数程度であり、近隣の耕種農家等が生産した飼料を利用したくないと回答した酪農家数は7割と多かったことから、市場を通じて供給される飼料への依存が強いことが報告されている²⁾。このため、2022年にトウモロコシ等の飼料原料の国際価格が高騰した際³⁾、流通飼料を主体とする県内の畜産経営は圧迫された。このことから、県内の畜産農家は近隣で生産された飼料の利用に対する関心を高めている。

粗飼料の中でも、トウモロコシ全体を飼料とする青刈りトウモロコシは高栄養価で、濃厚飼料の給与量の低減に寄与する。青刈りトウモロコシ栽培は、愛知県の田畠輪換水田における主な栽培体系である水稻-小麦-大豆の2年3作体系において、大豆栽培の代替作物として導入することができる。これらのことから、耕種農家である大規模作業受託者が田畠輪換水田において青刈りトウモロコシ栽培を拡大しつつある。

愛知県の施肥基準⁴⁾で示される施肥量は、「作物に利用されない余剰肥料成分を最小限にして環境負荷軽減に配慮

しながら、本県における地力中庸な土壤において目標収量を得るために必要となる最大施肥量」とされている。これまで、本県における青刈りトウモロコシは畜産農家自身によって生産してきた。畜産農家が管理する飼料畠には家畜ふん堆肥が潤沢に施用されており、堆肥を連用してきた飼料畠では土壤からの養分供給量が多く、化学肥料の使用量を低減できる可能性がある。一方、青刈りトウモロコシ栽培が拡大しつつある田畠輪換水田において、水稻-小麦-大豆の2年3作体系では、堆肥を散布作業できる期間が短いこと、堆肥からの窒素供給による水稻の倒伏が懸念されること、耕種農家による堆肥の入手や散布労力の確保が困難なこと等から堆肥の施肥量は少ない。この堆肥の施肥歴の違いにより、主に耕種農家が管理する田畠輪換水田と、主に畜産農家が管理する飼料畠における土壤からの窒素供給量には差があると考えられる。しかし、この差は施肥基準⁴⁾で示された窒素施肥量を加減するほどかは明らかではない。

施肥成分の中でも、窒素は作物の生育に強く影響するともに、作物に吸収されないと環境負荷につながる。このため、土壤からの窒素供給量に応じて窒素施肥量を加減し、作物生産性と環境保全を両立させることが望ましい。飼料用トウモロコシ栽培における窒素施肥管理については、温暖地向けに土壤の窒素供給量の指標となる可給態窒素含量(AvN)に基づく窒素施肥対応(以下、窒素施肥対応)⁵⁾が示されているものの、本県における適応性は明らかではない。

そこで、本研究では青刈りトウモロコシを栽培予定の田畠

¹⁾普及戦略部 ²⁾普及戦略部(現新城設楽農林水産事務所) ³⁾普及戦略部(現畜産研究部) ⁴⁾普及戦略部(現農業大
学校) ⁵⁾普及戦略部(現豊田加茂農林水産事務所) ⁶⁾普及戦略部(現農業経営課)

本研究は「農林水産省みどりの食料システム戦略推進交付金:グリーンな栽培体系への転換サポート」により実施した。
(2025.9.3受理)

輪換水田と飼料畑におけるAvNの実態を明らかにするとともに、AvNに基づく窒素施肥管理の必要性について明らかにすることを目的とした。

材料及び方法

1 田畠輪換水田または飼料畑における土壤の可給態窒素含量の実態(試験1)

2022~2024年に、愛知県内で青刈りトウモロコシを栽培予定の田畠輪換水田33点と飼料畑15点における作土のAvNを調査した(表1)。青刈りトウモロコシ栽培前に、各調査は場の作土を採取後、風乾して2 mmで篩別してから、AvNの測定に供試した。窒素施肥対応⁵⁾においてAvNは80°C16時間水抽出による簡易迅速評価法⁶⁾が適用できるとされていることから、これを愛知県の畠土壤向けに簡易迅速化した方法⁷⁾でAvNを測定した。

2 土壤の可給態窒素含量に応じた窒素施肥管理の検証(試験2)

(1) 検証は場の栽培概要

2023~2024年に、試験1の調査は場の中から、田畠輪換8点、飼料畑5点の合計13は場において、AvNに基づいて窒素施肥量を加減し、青刈りトウモロコシ栽培を行った(表2)。すなわち、窒素施肥対応⁵⁾を参考にして、AvNが60 mg kg⁻¹以下の場合は窒素施肥量を21.6~22.5 g m⁻²、AvNが95 mg kg⁻¹の場合は窒素施肥量を8.4~11.2 g m⁻²、AvNが148~159 mg kg⁻¹の場合は窒素施肥量を6.1~7.2 g m⁻²とした。

表1 可給態窒素含量の調査は場(試験1)

土地利用	所在市町	調査は場数(点)
田畠輪換水田 (合計33点)	東浦町	1
	弥富市	10
	豊田市	16
	大府市	2
	豊川市	4
飼料畑 (合計15点)	長久手市	1
	常滑市	5
	田原市	9

(2) 調査項目

収穫調査は、収穫期に生育が平均的で連續した5株をは場内2か所から採取して行った。採取した作物体の新鮮重を測定し、各は場の栽植密度から面積当たりに換算して新鮮収量とした。新鮮重を測定した後の作物体を80°C48時間通風乾燥し、乾物重を測定して、水分含量と乾物収量を求めた。その後、この乾燥試料を粉碎して窒素含有濃度の測定に供試した。窒素含有濃度の測定は、全炭素・全窒素/水素同時定量装置(MACRO CORDER JM1000CN、株式会社ジエイ・サイエンス・ラボ、京都)で行った。2024年の検証は場のうち、田畠輪換水田のは場⑦とほ場⑧、飼料畑のは場⑫とほ場⑬において、収穫調査時の乾物あたりの硝酸態窒素濃度を推定⁸⁾した。

結果及び考察

1 田畠輪換水田または飼料畑における土壤の可給態窒素含量の実態(試験1)

調査した田畠輪換水田におけるAvNの平均値は30 mg kg⁻¹であり、飼料畑の125 mg kg⁻¹よりも有意に低かった(図1)。

調査した田畠輪換水田33点のうち、30点のAvNは60 mg kg⁻¹よりも低く、窒素施肥対応(AvNが60 mg kg⁻¹までの場合、

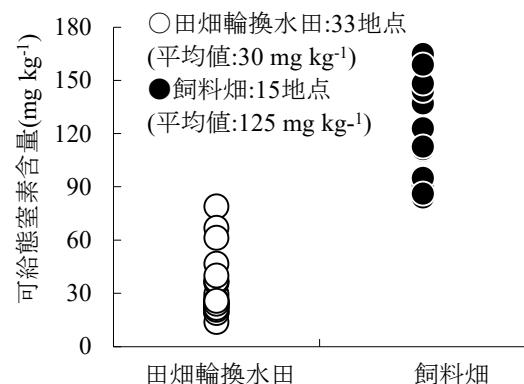


図1 土地利用別の可給態窒素含量(試験1)
1%水準で有意差あり(Mann-Whitney U検定)

表2 土壤の可給態窒素含量に基づく窒素施肥管理の検証は場と施肥管理(試験2)

土地利用	は場番号	所在市	販売種子名	検証年	播種日	収穫調査日	可給態窒素含量 (mg kg ⁻¹)	窒素施肥量 (g m ⁻²)
田畠輪換水田	①	弥富市	スノーデントおととは	2023年	8月3日	10月31日	19	22.0
	②				8月3日	10月31日	22	22.0
	③				8月3日	10月31日	14	22.0
	④				8月3日	10月31日	19	22.0
	⑤	豊田市	ニューデント100	2024年	4月16日	7月23日	37	22.4
	⑥				4月16日	7月23日	36	21.6
	⑦	豊川市	スノーデントおととは	2024年	7月25日	11月11日	22	22.5
	⑧				7月25日	11月11日	22	22.1
飼料畑	⑨	常滑市	スノーデント夏皇	2023年	7月26日	10月27日	159	7.2
	⑩				7月24日	11月6日	159	6.1
	⑪			2024年	7月24日	11月6日	148	7.2
	⑫	田原市	Z-Corn115	2024年	4月10日	7月26日	95	11.2
	⑬				4月10日	7月26日	95	8.4

表3 検証ほ場の作物収量及び乾物あたりの硝酸態窒素濃度の推定値(試験2)

土地 利用 番号	新鮮 収量 (kg m ⁻²)	水分 含有率 (g g ⁻¹)	乾物 収量 (kg m ⁻²)	乾物中 NO ₃ -N ¹⁾ (mg kg ⁻¹)
田畠 輪換 水田	① 5.1	0.74	1.32	-
	② 4.5	0.75	1.14	-
	③ 3.1	0.72	0.86	-
	④ 4.6	0.71	1.33	-
	⑤ 5.6	0.65	1.97	-
	⑥ 4.7	0.59	1.93	-
	⑦ 5.2	0.70	1.57	233
	⑧ 5.6	0.67	1.86	393
飼料 畑	⑨ 4.8	0.68	1.53	-
	⑩ 4.8	0.68	1.54	-
	⑪ 4.5	0.66	1.52	-
	⑫ 4.9	0.69	1.51	211
	⑬ 5.4	0.70	1.63	216

1) 乾物あたりの硝酸態窒素濃度の推定値

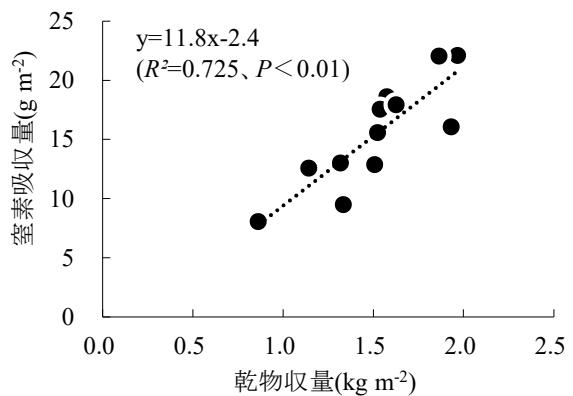
窒素施肥量は 22 g m^{-2} ⁵⁾からみたこれらのほ場の窒素施肥量は 22 g m^{-2} と診断された。一方、調査した飼料畑15点のAvNは $84 \sim 165 \text{ mg kg}^{-1}$ で、窒素施肥対応(AvNが $60 \sim 90 \text{ mg kg}^{-1}$ の場合、窒素施肥量は 15 g m^{-2} 、AvNが $90 \sim 110 \text{ mg kg}^{-1}$ の場合、窒素施肥量は 10 g m^{-2} 、AvNが $110 \sim 210 \text{ mg kg}^{-1}$ の場合、窒素施肥量は 5 g m^{-2})⁵⁾からみた窒素施肥量は $5 \sim 15 \text{ g m}^{-2}$ と診断された。このことから、県内の田畠輪換水田と飼料畑のAvNには明らかな差があるだけでなく、その値から診断される窒素施肥量にも差があることが明らかとなった。愛知県の施肥基準⁴⁾における青刈りトウモロコシ(トウモロコシ・サイレージ用と記載)の窒素施肥量は 12 g m^{-2} とされている。しかし、調査した飼料畑のAvNに基づく窒素施肥対応⁵⁾から診断された窒素施肥量は $5 \sim 15 \text{ g m}^{-2}$ で、施肥基準⁴⁾の半量程度と少なくてよい場合と、施肥基準よりも多く施肥すべき場合があり、生産性確保と環境負荷軽減のためにAvNに基づいた施肥管理が必要であることが示唆された。一方、AvNが低い田畠輪換水田において青刈りトウモロコシを栽培する場合は、施肥基準⁴⁾よりも窒素を施肥する必要性が示唆された。

2 土壤の可給態窒素含量に応じた窒素施肥管理の検証(試験2)

検証ほ場における新鮮収量は、田畠輪換水田のほ場③が 3.1 kg m^{-2} と低かったものの、その他の検証ほ場は $4.5 \sim 5.6 \text{ kg m}^{-2}$ であった(表3)。愛知県の施肥基準⁴⁾における青刈りトウモロコシの目標収量(新鮮収量)は、4.0(山間部)～5.5(平坦部) kg m^{-2} とされている。検証したほ場はいずれも平坦部で、窒素施肥量も異なるものの、ほ場③を除いた各ほ場の新鮮収量は、目標収量と同程度であった。

トウモロコシの窒素吸収量は収量と密接な関係があること⁹⁾から、目標収量に応じた窒素吸収量を確保する必要がある。本研究の検証ほ場の新鮮収量は目標収量と同程度であり、その窒素吸収量は目標収量を得るために必要な窒素吸収量の指標になると考えられる。

図2に乾物収量と窒素吸収量の関係を示した。乾物収量と

図2 乾物収量と窒素吸収量の関係(試験2)
図中は回帰式を表す

窒素吸収量は、窒素吸収量(g m^{-2})= $11.8 \times \text{乾物収量}(\text{kg m}^{-2}) - 2.4$ の有意な正の相関関係が見られた。

トウモロコシをホールクロップサイレージとするための収穫適期の水分含有率は 0.7 g g^{-1} 前後とされている¹⁰⁾。このことから、水分含有率を 0.7 g g^{-1} として目標収量(新鮮収量 $4.0 \sim 5.5 \text{ kg m}^{-2}$)を乾物収量に換算すると、 $1.2 \sim 1.7 \text{ kg m}^{-2}$ と算出された。この乾物収量と、本研究で得られた乾物収量と窒素吸収量の回帰式から施肥基準⁴⁾の目標収量を得るために必要な窒素吸収量を推定すると、 $12 \sim 17 \text{ g m}^{-2}$ と算出された。県内の未成熟トウモロコシ(スイートコーン)の窒素吸収量は、窒素吸収量(g m^{-2})= $0.872 \times \text{土壤由来窒素供給量}(\text{g m}^{-2}) + 0.334 \times \text{窒素施肥量}(\text{g m}^{-2})$ 、で推定できることが報告されている¹¹⁾。青刈りトウモロコシと未成熟トウモロコシの違いや栽培期間の気温に違いがあるものの、この推定式に試験1で調査した田畠輪換水田のAvNの平均値からAvNを 30 mg kg^{-1} 、作土深を 20 cm 、乾燥密度 1.0 g cm^{-3} 、土壤の窒素無機化換算係数¹²⁾を 1.20 、窒素施肥量を施肥基準⁴⁾の 12 g m^{-2} として、トウモロコシの窒素吸収量を推定すると 10 g m^{-2} で、目標収量を得るために必要な窒素吸収量よりも少なかった。このことから、田畠輪換水田において、施肥基準⁴⁾の窒素施肥量では青刈りトウモロコシの目標収量を得るために必要な窒素吸収量に對して窒素供給量が不足すると推定された。よって、試験1の結果と同様に、目標収量を得るために必要な窒素吸収量からみても、AvNの低い田畠輪換水田では施肥基準⁴⁾よりも窒素施肥量を施肥する必要があると考えられる。

作物の乾物あたりの硝酸態窒素濃度の推定値は、田畠輪換水田のほ場⑦とほ場⑧はそれぞれ $233, 393 \text{ mg kg}^{-1}$ で、飼料畑のほ場⑪とほ場⑬はそれぞれ $211, 216 \text{ mg kg}^{-1}$ であった(表3)。

乾物あたり硝酸態窒素濃度が 2000 mg kg^{-1} より高いと反する家畜に急性中毒を生じる可能性があることから、硝酸態窒素濃度はできる限り低いことが望ましい⁸⁾。ほ場⑦とほ場⑧の窒素施肥量は、それぞれ $22.5, 22.1 \text{ g m}^{-2}$ と施肥基準⁴⁾よりも多く、ほ場⑪とほ場⑬の窒素施肥量が、それぞれ $11.2, 8.4 \text{ g m}^{-2}$ と施肥基準⁴⁾よりも少なかった。

m^2 と施肥基準⁴⁾よりも少なかったが(表2)、作物の乾物あたりの硝酸態窒素濃度の推定値は同程度で、硝酸塩中毒のリスクも低かった。このことから、AvNに基づいて窒素施肥量を調整することは、飼料作物の生産性確保と環境負荷軽減だけでなく、家畜の硝酸塩中毒のリスク低減にもつながると考えられる。

ほ場③における新鮮収量が目標収量よりも低かった要因は明らかではなかった。飼料用トウモロコシは耐湿性が低いことから、田畠輪換水田において青刈りトウモロコシ栽培を行う場合、排水路の整備等の湿害対策を実施することが重要⁵⁾とされている。ほ場③のAvNに基づいて窒素施肥量を施肥基準⁴⁾よりも増肥させたにもかかわらず新鮮収量が目標収量よりも低かったことから、その要因解明に向けてまずは湿害有無と対策の検討が必要であると考えられる。

3まとめ:青刈りトウモロコシ栽培における適正な窒素施肥管理の拡大に向けて

本研究により、愛知県の青刈りトウモロコシ栽培において、田畠輪換水田と飼料畑のAvNには窒素施肥量を加減すべき差があることが示されるとともに、目標収量を得るために必要な窒素吸収量を確保するためにも、AvNに基づいた窒素施肥管理の必要性が明らかとなった。

このことは、田畠輪換水田における青刈りトウモロコシを2期作する場合も同様である。すなわち、愛知県の施肥基準⁴⁾において、青刈りトウモロコシを2期作する場合の窒素施肥量は2作の合計で24 g m^{-2} (各作でそれぞれ12 g m^{-2})となっているが、本研究で明らかになったとおり、AvNが低い田畠輪換水田で青刈りトウモロコシを2期作する場合、窒素施肥量を施肥基準⁴⁾よりも増肥する必要があると考えられる。一方、家畜ふん堆肥が潤沢に継続して施用された結果、AvNが150 mg kg^{-1} よりも高い飼料畑では、青刈りトウモロコシを2期作する場合もAvNに基づいて窒素施肥量を減肥すべきと考えられる。

AvNに基づいた窒素施肥量については、試験2の結果から窒素施肥対応⁵⁾が参考になることが示唆された。しかし、愛知県の未成熟トウモロコシ栽培におけるAvNに基づく窒素施肥指針¹¹⁾では、AvNが30 mg kg^{-1} 未満の窒素施肥量は25 g m^{-2} 以上とされており、本研究で参考とした窒素施肥対応⁵⁾よりも多い。さらに、この窒素施肥指針¹¹⁾におけるAvNの水準は窒素施肥対応⁵⁾よりも細かい10 mg kg^{-1} ごとに設定されており、礫質土とそれ以外の土壤でも施肥量を分けて設定している。これらのことから、青刈りトウモロコシ栽培においても、より適正な窒素施肥管理に向けて、愛知県の土壤実態に応じた窒素施肥指針の作成が必要であると考えられる。

謝辞:本研究の実施にあたり、現地の生産者及び各農業改

良普及課担当者に多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

1. 愛知県. 愛知県酪農・肉用牛生産近代化計画書. (2021). <https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/388037.pdf>. (2024.8.8参照)
2. 水上優子, 山下和巳, 法邑勲, 井上正勝, 神谷勝則. 愛知県内酪農家の自給飼料生産の現状と今後の課題. 愛知農総試研報. 33, 101-108(2001)
3. 農林水産省畜産局飼料課. 飼料をめぐる情勢(令和6年7月). https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/attach/pdf/index-1105.pdf. (2024.8.7参照)
4. 愛知県農業水産局農政部農業経営課. 農作物の施肥基準. (2021). <https://www.pref.aichi.jp/soshiki/nogyo-keiei/sehikijun.html>. (2024.8.8参照)
5. 須永義人編. 飼料用トウモロコシの作付け拡大に向けた新しい栽培技術2019年度版. (2020). https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/nilgs-corn2019.pdf (2024.8.8参照)
6. 上園一郎, 加藤直人, 森泉美穂子. 80°C16時間水抽出液のCOD簡易測定による畑土壤可給態窒素含量の迅速評価. 土肥誌. 81(3), 252-255(2010)
7. 中村嘉孝, 久野智香子, 大橋祥範, 安藤薰, 大竹敏也. 愛知県の非黒ボク土露地畑における80°C16時間水抽出液の吸光度測定による可給態窒素含量の簡易迅速評価. 土肥誌. 93(1), 29-33(2022)
8. 須永義人, 原田久富美, 畠中哲哉. 汁液分析を用いた立手中のトウモロコシ(*Zea mays* L.)の硝酸態窒素濃度推定法. 日草誌. 45(3), 299-303(1999)
9. 原田久富美, 須永義人, 畠中哲哉. トウモロコシ(*Zea mays* L.)の養分濃度の品種間差異. 日草誌. 47(3), 289-295(2001)
10. 名久井忠, 岩崎薰, 早川政市. ホールクロップサイレージ用トウモロコシの収穫適期の検討. 日草誌. 26(4), 412-417(1981)
11. 日置雅之, 中村嘉孝, 山本拓, 大橋祥範, 糟谷真宏, 瀧勝俊. 土壤・堆肥・化学肥料由来別窒素利用率と可給態窒素に基づいた秋冬キャベツおよびスイートコーンの施肥指針. 愛知農総試研報. 52, 17-22(2020)
12. 日置雅之, 中村嘉孝, 山本拓, 糟谷真宏, 瀧勝俊. キャベツ、スイートコーン栽培期間中の土壤窒素無機化量の簡易推定. 愛知農総試研報, 51, 83-86(2019)