

土壌、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

日置雅之¹⁾・中村嘉孝²⁾・山本 拓³⁾・大橋洋範⁴⁾・糟谷真宏⁵⁾・瀧 勝俊²⁾

摘要：愛知県で栽培される秋冬キャベツおよびスイートコーンにおいて、80℃16時間水抽出法による可給態窒素量に基づいた施肥窒素指針を作成するために、土壌や栽培条件の異なる複数のほ場を調査し、汎用性の高い由来別窒素利用率の算出を試みた結果、以下のことが明らかとなった。

- 1 両作物とも、収量と作物体窒素吸収量との間には正の相関が認められ、目標収量を得るための作物体窒素吸収量が推定できた。
- 2 作物体窒素吸収量を目的変数、由来別窒素供給量を説明変数として重回帰分析を行った結果、両作物とも高い寄与率の重回帰式が得られた。
- 3 検証用のほ場において、算出した重回帰係数を由来別窒素利用率として推定した窒素吸収量は、実測値と概ね一致した。

これらの結果から、80℃16時間水抽出法による可給態窒素量に応じて、段階別に目標収量を得るための施肥窒素量を指針として作成した。

キーワード：秋冬キャベツ、スイートコーン、重回帰分析、窒素利用率、可給態窒素量、施肥窒素指針

Nitrogen Fertilizer Application Guideline for Autumn-winter Cabbage and Sweet Corn Based on the Nitrogen Utilization Rate of Soil, Compost, and Chemical Fertilizer and the Amount of Available Nitrogen

HIOKI Masayuki, NAKAMURA Yoshitaka, YAMAMOTO Taku, OHASHI Yoshinori,
KASUYA Masahiro and TAKI Katsutoshi

Abstract : For autumn-winter cabbage and sweet corn grown in Aichi Prefecture, we created a nitrogen fertilization application guideline based on the amount of available nitrogen estimated by the 80°C-16 h hot water extraction method. For this, we tried to calculate the nitrogen utilization rate according to the source by investigating several fields with different soil and cultivation conditions. The following was clarified:

1. In both crops, a positive correlation was found between yield and nitrogen uptake, and it was possible to estimate the nitrogen uptake of the crop to obtain the target yield.
2. As a result of a multiple regression analysis with the nitrogen absorption of crops as the objective variable and the nitrogen supply by sources as the explanatory variable, the multiple regression coefficients with high contribution rates were obtained for both crops.
3. In the verification cultivation field, the nitrogen absorption amount estimated from the multiple regression coefficient calculated as the nitrogen utilization rate by sources was in good agreement with the measured value.

From these results, the nitrogen fertilizer application guidelines were developed to achieve the target yield of each stage of available nitrogen estimation by the 80°C-16 h hot water extraction method.

Key Words : Autumn-winter cabbage, Sweet corn, Multiple regression analysis, Nitrogen utilization rate, Available nitrogen amount, Nitrogen fertilizer application guideline

本研究の一部は日本土壌肥料学会2017年度仙台大会(2017年9月) および日本土壌肥料学会中部支部第98回例会(2018年11月)において発表した。

本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発」により実施した。

¹⁾環境基盤研究部(現作物研究部) ²⁾環境基盤研究部 ³⁾東三河農業研究所 ⁴⁾企画普及部(現環境基盤研究部) ⁵⁾環境基盤研究部(現愛知県経済農業協同組合連合会)

(2020.9.9受理)

緒言

愛知県は、全国有数のキャベツ産地であり、堆肥施用一秋冬キャベツ・スイートコーンまたは夏キャベツ、緑肥一秋冬キャベツ等、様々な栽培体系が取られている。キャベツをはじめとする愛知県の露地畑ほ場は、概して腐植が少なく、保肥力が小さい土壌が多い。そのため、これまでキャベツの肥培管理については、安定生産、施肥コストの低減および環境保全を目的として、家畜ふん堆肥または緑肥を活用した減肥技術¹⁻³⁾や肥効調節型肥料を用いた効率的な施肥技術⁴⁾が検討され、導入されてきた。

特に、家畜ふん堆肥については、畜産が盛んな地域では積極的に施用され、土壌改良が図られてきた。その一方で、近年は堆肥の連用によって化学肥料の減肥を考慮すべきまで土壌窒素肥沃度が高くなる事例も散見されている⁵⁾。このような実態を考慮すると、作物の安定生産のためには、施肥基準に加え、ほ場ごとに土壌窒素肥沃度に応じた施肥窒素量の増減が必要である。土壌窒素肥沃度の指標である可給態窒素の分析は煩雑であり、土壌診断項目として可給態窒素を測定し、施肥指導に活用することはこれまでほとんどなかった。しかし、近年可給態窒素の簡易測定法として80℃16時間水抽出法⁶⁾が開発され、生産現場でも迅速に可給態窒素を測定できるようになり、可給態窒素量に応じた施肥技術の導入、普及が可能となってきた。

可給態窒素量に応じた施肥窒素指針を作るためには、「栽培期間中の土壌からの窒素供給量」、「目標収量に応じた作物体窒素吸収量」、「土壌、肥料および堆肥に含まれる窒素利用率」を明らかにする必要がある。著者らは、既報⁷⁾においてキャベツおよびスイートコーン栽培期間中

の土壌窒素無機化量が、先に述べた80℃16時間水抽出法で測定した可給態窒素量から推定できることを明らかにした。一方、愛知県における露地野菜の窒素吸収量の実態については、過去に複数の産地を対象に調査がなされているが⁸⁾、目標収量を得るための作物体窒素吸収量については明示されていない。さらに、土壌、肥料および堆肥の由来別窒素利用率の算定は、一つのほ場内に無窒素区や施肥量を段階的に変えた試験区を設定し、窒素吸収量の差し引きにより算出する方法¹⁻⁹⁾や安定同位体を用いた方法¹⁰⁻¹²⁾が用いられている。しかし、これらの方法では、得られた窒素利用率について別のほ場で検証を行った事例は見当たらず、汎用性の高い由来別窒素利用率の算出方法が求められている。

そこで本研究では、秋冬キャベツ(以下、キャベツ)およびスイートコーンについて、収量および窒素供給量に関連するデータを収集し、目標収量を得るために必要な作物体窒素吸収量および汎用性の高い由来別窒素利用率を算出した。さらに、これらの数値を用いて、80℃16時間水抽出法で測定した可給態窒素量に基づいた施肥窒素指針を作成したので報告する。

材料及び方法

1 調査対象ほ場

調査は、キャベツおよびスイートコーンを対象に、2015年～2018年に農業総合試験場内堆肥連用試験ほ場(豊橋市、長久手市)および現地栽培ほ場(豊橋市、田原市)で実施した。調査地点数は、キャベツのべ41地点、スイートコーンのべ33地点であった。表1、2に調査地点の主な概要を示した。調査ほ場の土壌タイプは、土性の

表1 調査ほ場の概要(キャベツ)

調査場所	n	土性	品種	堆肥施用			窒素利用率計算に用いたデータ数	
				牛	豚	無し	算出用	検証用
長久手市	3	CoSL(3)	YRしぶき2号(3)	1	1	1	0	0
豊橋市	27	LiC(16)、 CoSL(11)	冬藍(19)、そらと(6)、 ゆいな(2)	17	4	6	7	13
田原市	11	LiC(3)、CL(4)、 CoSL(4)	秋よし2号(2)、春岬(2)、 さちはる(2)、その他(5)	2	0	9	0	7

表2 調査ほ場の概要(スイートコーン)

調査場所	n	土性	品種	作型	窒素利用率計算に用いたデータ数	
					算出用	検証用
長久手市	10	CoSL(10)	恵味ゴールド(10)	無マルチ・ 定植(10)	5	3
豊橋市	11	LiC(11)	ゴールドラッシュ(8)、 味来(3)	無マルチ・ 定植(11)	5	3
田原市	12	CoSL(5)、CL(4)、 LiC(3)	サニーショコラ(7)、 恵味ゴールド(3)、その他(2)	マルチ・ 直播(12)	6	5

異なる黄色土と礫質の未熟低地土であった。キャベツは、8月に播種し、8月下旬～9月中旬に定植、12月上旬～2月下旬に収穫する作型であった。スイートコーンは、無マルチで定植する作型と直播してマルチする作型であり、前者では4月に播種し、4月下旬～5月上旬に定植、6月下旬～7月中旬に収穫、後者では、3月中旬～4月上旬に播種し、6月下旬～7月上旬に収穫していた。また、堆肥は、キャベツの作付け前（7～8月）のみ施用されていた。

2 目標収量に応じた作物体窒素吸収量の算出

作物体は、収穫期に周囲に欠株のない連続する5株を2か所または3か所で合計10株～15株採取し、キャベツは外葉と結球部、スイートコーンは茎葉と子実に分け、重量を測定した。作物体の窒素含量は、部位別に試料を乾燥、粉碎後、NCアナライザー SUMIGRAPH NC-800(住化分析センター株式会社、大阪)により分析した¹³⁾。

得られた収量と作物体窒素吸収量について、作物ごとに相関式を求め、県施肥基準¹⁴⁾における目標収量に応じた作物体窒素吸収量を算出した。

3 由来別窒素利用率の算出と検証

由来別窒素利用率を算出、検証するために、上記の調査地点のうち、平均的な生育、収量が得られた地点を選定し、さらにキャベツでは2015年～2016年、スイートコーンでは2016年～2017年の調査地点を由来別窒素利用率の算出用に、残りの地点を検証用に分けた。これらの調査地点について、土壌、化学肥料および堆肥由来の窒素供給量をそれぞれ算出した。

土壌由来の窒素供給量は、栽培期間中の土壌窒素無機化量と作付け前の無機態窒素量の合量に作土深と乾燥密度を乗じ、面積当たりに換算して算出した。栽培期間中の土壌窒素無機化量は、既報⁷⁾に準じて作土の培養試験における窒素無機化量をモデル¹⁵⁾に当てはめて作成した土壌窒素無機化推定式に栽培期間中の地温を代入して推定した。無機態窒素量は、アンモニア態窒素と硝酸態窒素+亜硝酸態窒素を連続流れ分析装置AA2型(ビーエルテック株式会社、大阪)を用いて、それぞれインドフェノール青吸光光度法、銅・カドミウム還元-ナフチルエチレンジアミン吸光光度法で測定した¹³⁾。

化学肥料由来の窒素供給量、すなわち施肥窒素量は実測または生産者への聞き取りで得た。

堆肥由来の窒素供給量は、堆肥の全窒素含量に施用量を乗じた。堆肥の全窒素含量は、堆肥試料を風乾、粉碎後、NCアナライザー SUMIGRAPH NC-800(住化分析センター株式会社、大阪)で測定した¹³⁾。

由来別窒素利用率は、作物別に以下の方法で算出、検証した。すなわち、算出用の調査地点の作物体窒素吸収量(y)を目的変数、由来別窒素供給量を説明変数として重回帰分析を行い、得られた重回帰係数を由来別窒素利用率とした。なお、窒素の供給源は、土壌(x₁)、化学肥料(x₂)、牛ふん堆肥(x₃)および豚ふん堆肥(x₄)としたが、堆肥施用翌年のスイートコーン作においては、堆肥

由来窒素と土壌由来窒素の分別が不可能であるため、一括して土壌由来として評価した。さらに、検証用の調査地点の由来別窒素供給量に算出した由来別窒素利用率を乗じて得られた推定値と実測の窒素吸収量とを比較した。

4 可給態窒素量に基づいた施肥窒素基準の作成

3で算出した由来別窒素利用率を用い、目標収量に応じた作物体窒素吸収量を得るために必要な化学肥料の施肥量を可給態窒素量の段階別に以下の手順で計算した。

前提として、作土深は0.2 mとし、本県のキャベツ、スイートコーンの主産地には、礫含量が50%を超える未熟低地土があることを考慮し、礫質土の乾燥密度を500 kg m⁻³とし、礫質土以外の乾燥密度を1000 kg m⁻³として、それぞれ計算した。

はじめに、可給態窒素量10 mgN kg⁻¹の増減に相当する化学肥料の施肥窒素量を、「可給態窒素含量(10 mgN kg⁻¹)×作土の重量×無機化換算係数×土壌由来窒素利用率÷施肥窒素利用率」により推定した。なお、無機化換算係数は、既報⁷⁾のとおりキャベツで1.43、スイートコーンで1.20とした。

次に、県施肥基準の施肥窒素量で目標収量に応じた作物体窒素吸収量となる時の可給態窒素量を、「(目標収量に応じた作物体窒素吸収量-県施肥基準の窒素量×化学肥料由来の窒素利用率)÷土壌由来の窒素利用率÷作土の重量÷無機化換算係数」により算出した。この可給態窒素量を標準とし、10 mgN kg⁻¹間隔で相当する施肥窒素量を減肥または増肥することで指針を作成した。

さらに、牛ふん堆肥、豚ふん堆肥を施用する場合の化学肥料の窒素減肥量は、「堆肥施用量×堆肥窒素濃度×堆肥由来窒素利用率÷施肥窒素利用率」で算出した。

試験結果

1 目標収量に応じた作物体窒素吸収量の算出

調査地点の収量は、キャベツで3.5 kg m⁻²～10.1 kg m⁻²、スイートコーンで1.2 kg m⁻²～2.7 kg m⁻²であり、作物体窒素吸収量は、キャベツで11.0 gN m⁻²～41.1 gN m⁻²、スイートコーン7.0 gN m⁻²～28.3 gN m⁻²であった。これらの数値は、いずれも既報¹⁾の調査結果よりも広範囲であった。

図1のとおり、両作物とも、収量と作物体窒素吸収量との間には正の相関が認められた。県施肥基準における目標収量は、キャベツで5.5 kg m⁻²、スイートコーンで1.6 kg m⁻²である¹⁴⁾。図1の関係から、この目標収量に応じた作物体窒素吸収量は、キャベツでは21.5 gN m⁻²、スイートコーンでは12.6 gN m⁻²となった。

2 由来別窒素利用率の算出と検証

由来別窒素利用率の算出と検証に使用した地点の由来別窒素供給量を表3、4に示した。両作物とも、土壌窒素無機化量、無機態窒素量および化学肥料由来窒素供給

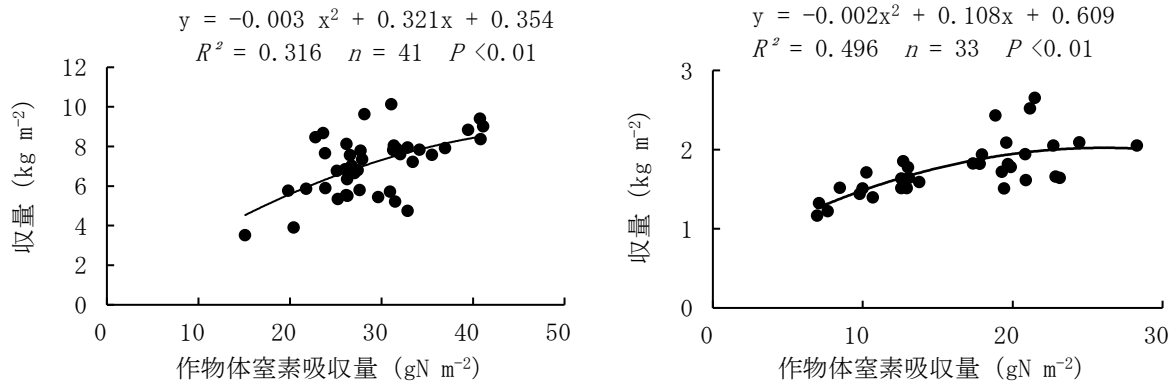


図1 作物体窒素吸収量と収量との関係（左：キャベツ、右：スイートコーン）

表3 由来別窒素利用率の算出および検証に用いたデータセット（キャベツ）

	土壌窒素 無機化量 (mgN kg ⁻¹)	無機態 窒素量 (mgN kg ⁻¹)	乾燥 密度 (kg m ⁻³)	作土深 (m)	由来別窒素供給量				作物体 窒素 吸収量 (gN m ⁻²)	収量 (kg m ⁻²)
					土壌 (gN m ⁻²)	化学 肥料 (gN m ⁻²)	牛ふん 堆肥 (gN m ⁻²)	豚ふん 堆肥 (gN m ⁻²)		
算出用 最大値	44	38	1134	0.20	18	30	31	51	31	10.1
(<i>n</i> =7) 最小値	16	25	1014	0.20	9	15	0	0	26	6.8
中央値	37	30	1028	0.20	14	24	0	0	28	7.8
検証用 最大値	89	97	1139	0.20	20	52	61	49	41	8.7
(<i>n</i> =20) 最小値	29	9	386	0.16	8	15	0	0	23	4.7
中央値	54	25	832	0.19	11	31	17	0	31	7.4

表4 由来別窒素利用率の算出および検証に用いたデータセット（スイートコーン）

	土壌窒素 無機化量 (mgN kg ⁻¹)	無機態 窒素量 (mgN kg ⁻¹)	乾燥 密度 (kg m ⁻³)	作土深 (m)	由来別窒素供給量		作物体 窒素 吸収量 (gN m ⁻²)	収量 (kg m ⁻²)
					土壌 (gN m ⁻²)	化学肥料 (gN m ⁻²)		
算出用 最大値	108	120	1134	0.25	37	33	28	2.7
(<i>n</i> =16) 最小値	39	5	386	0.17	9	10	13	1.5
中央値	53	11	899	0.20	14	25	20	1.9
検証用 最大値	78	40	1081	0.23	13	35	23	1.9
(<i>n</i> =10) 最小値	28	5	386	0.17	7	12	8	1.4
中央値	47	9	851	0.20	9	25	13	1.7

量は、ほ場間で大きくばらついた。

作物体窒素吸収量(y)を目的変数とし、土壌(x₁)、化学肥料(x₂)、牛ふん堆肥(x₃)および豚ふん堆肥(x₄)の窒素供給量を説明変数として重回帰分析を行った結果、キャベツでは、 $y = 0.716 x_1 + 0.643 x_2 + 0.056 x_3 + 0.139 x_4$ 、スイートコーンでは、 $y = 0.872 x_1 + 0.334 x_2$ となる重回帰式が得られ、キャベツで0.665、スイートコーンで0.919と高い寄与率であった。ここで得られた重回帰係数を由来別窒素利用率とし、検証用のデータセットを用い、由来別窒素供給量に重回帰係数を乗じて推定した作物体窒素吸収量を実測値と比較した(図2)。その結果、スイートコーンでは実測値よりも推定値の方が多い地点も見られたが、両作物とも推定値と実測値は概ね合致した。

3 可給態窒素量に基づいた施肥窒素基準の作成

可給態窒素量10 mgN kg⁻¹の増減に相当する化学肥料の施肥窒素量は、キャベツでは、礫質土以外の土壌で3.18 gN m⁻²、礫質土で1.59 gN m⁻²と推定できた。また、スイートコーンでは礫質土以外で6.27 gN m⁻²、礫質土で3.13 gN m⁻²となった。

礫質土以外の土壌では、県施肥基準の施肥窒素量は、キャベツでは30 gN m⁻²、スイートコーンでは25 gN m⁻²である¹⁴⁾。県施肥基準の窒素量を施肥した場合に必要な可給態窒素量を、「(目標収量に応じた作物体窒素吸収量-県施肥基準の窒素量×化学肥料由来の窒素利用率)÷土壌由来の窒素利用率÷作土の重量÷無機化換算係数」の計算で算出した結果、キャベツで11 mgN kg⁻¹、スイートコーンで20 mgN kg⁻¹となった。そこで、施肥基準が適用できる可給態窒素量を両作物とも20 mgN kg⁻¹と

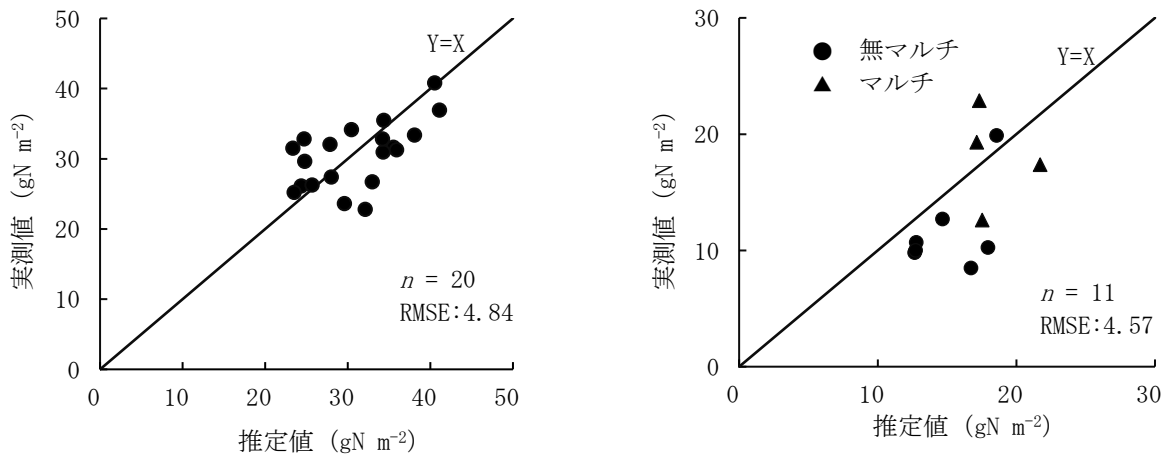


図2 由来別窒素利用率から推定した窒素吸収量と実測値（左：キャベツ、右：スイートコーン）

表5 可給態窒素量に基づいた施肥窒素指針

可給態 窒素量 (mgN kg^{-1})	施肥窒素量 (gN m^{-2})				備考
	礫質土以外		礫質土		
	キャベツ	スイート コーン	キャベツ	スイート コーン	
<20	33	31	33	34	堆肥等を施用して地力を高める
20	30	25	32	31	施肥基準どおり
30	27	19	30	28	地力が高いので窒素減肥する
40	24	12	29	25	

目標収量 (kg m^{-2}) : キャベツ 5.5、スイートコーン 1.6

作土深 (m) : 0.20、乾燥密度 (kg m^{-3}) : 礫質土以外 1000、礫質土 500

さらに、堆肥施用する場合には、堆肥窒素量に係数を乗じた量を減肥する。

(係数/牛ふん堆肥 0.09、豚ふん堆肥 0.22)

県施肥基準(礫質土以外) (gN m^{-2}) : キャベツ 30、スイートコーン 25

し、これを標準として 10 mgN kg^{-1} 間隔で相当する施肥窒素量を減肥または増肥することで指針を作成した(表5)。

一方、礫質土では県施肥基準をそのまま使えないため、前述で推定した可給態窒素量であるキャベツで 11 mgN kg^{-1} 、スイートコーンで 20 mgN kg^{-1} の値を用いて施肥窒素量を計算したところ、それぞれ 32 gN m^{-2} 、 31 gN m^{-2} となった。そこで、これらの量を可給態窒素量 20 mgN kg^{-1} の時の標準窒素施肥量とし、 10 mgN kg^{-1} 間隔で相当する施肥窒素量を増減することとした。

さらに、牛ふん堆肥、豚ふん堆肥を施用する場合の化学肥料の窒素減肥量は、それぞれの堆肥および化学肥料由来の窒素利用率を用いて、堆肥窒素施用量に牛ふん堆肥では 0.09、豚ふん堆肥では 0.22 を乗じることで推定できた。

考察

1 由来別窒素利用率

異なる土壌タイプや作型を一括して、作物体窒素吸収

量を目的変数とし、由来別の窒素供給量を説明変数として重回帰分析を行った結果、両作物ともに高い寄与率の重回帰式を得ることができた。それぞれの重回帰係数、すなわち由来別窒素利用率をみると、両作物とも土壌由来の重回帰係数が化学肥料由来よりも高く、特にスイートコーンで顕著であった。これは、化学肥料由来の窒素と比べて土壌から供給される窒素が緩効的であることや降雨による影響を受けにくいことが要因と推察された。さらに、スイートコーンの土壌由来窒素には前年に施用した堆肥の影響が含まれていることも考えられる。キャベツやスイートコーンでは、作物による窒素吸収量と比較して土壌からの窒素供給量は少ない。しかし、窒素利用率からみると、土壌窒素肥沃度が高くなれば無視できない量が供給されることになり、土壌窒素肥沃度を考慮した施肥は重要である。また、牛ふん堆肥では窒素利用率は 5.6% と豚ふん堆肥の 13.9% と比べて低く、従来言われている通り^{12, 16)} 施用直後の窒素供給はわずかであることが今回の結果からも明らかとなった。

さらに、窒素利用率の算出に用いた地点とは別の栽培年次の地点を用い、得られた由来別窒素利用率に由来別窒素供給量を乗じて推定した作物体窒素吸収量を実測値

と比較した結果、両作物とも推定値と実測値は概ね合致した。したがって、得られた由来別窒素利用率は、両作物とも、栽培年次、気象条件、土壌タイプおよび作型に関係なく汎用性が高いと判断した。

この重回帰分析を用いた窒素利用率の算出手法は、幅広く産地のデータを収集するのみで、同位体測定等の特殊な分析も不要であるため、産地単位で取り組みやすい。他の露地野菜においてもこの算出手法の適用可能かどうか今後検討する必要がある。

2 可給態窒素量に基づいた施肥窒素指針

可給態窒素量 10 mgN kg^{-1} の増減に相当する化学肥料の施肥窒素量を推定した結果、スイートコーンではキャベツのおよそ 2 倍の施肥窒素量になった。これは、スイートコーンでは、土壌由来の窒素利用率が高く、化学肥料由来の窒素利用率が低いことを反映しており、キャベツと比較して、土壌窒素肥沃度の向上により重きを置くことが収量増加の近道であることを示している。さらに、礫質土では、乾燥密度が低いため面積当たりの土壌量が少なく、土壌窒素肥沃度を高めても礫質土以外の土壌と比較して大きな窒素減肥は難しいことも明らかとなった。

キャベツでは、礫質土以外の土壌において、県施肥基準の施肥窒素量で目標収量に応じた作物体窒素吸収量を得るための可給態窒素量は 11 mgN kg^{-1} となった。そこで、施肥基準が適用できる可給態窒素量を 20 mgN kg^{-1} とし、 30 mgN kg^{-1} を超えるほ場では窒素減肥が可能であるとした。日置ら⁵⁾は、愛知県内のキャベツ栽培ほ場 261 地点の可給態窒素量を調査した結果、可給態窒素量が $20 \text{ mgN kg}^{-1} \sim 30 \text{ mgN kg}^{-1}$ のほ場は全調査ほ場の 24% であったのに対して、 30 mgN kg^{-1} 以上のほ場は 44% と多かったと報告している。これらのことから、本研究で作成した施肥窒素指針を県内のキャベツ産地に適用するとかなりほ場で窒素減肥が可能であることが明らかとなった。

以上のことから、キャベツおよびスイートコーンにおいて、重回帰分析を用いることにより、汎用性の高い由来別窒素利用率を算出し、可給態窒素量に基づいた施肥窒素指針を作成することができた。さらに、可給態窒素量の簡易測定法である $80^\circ\text{C}16$ 時間水抽出法と組み合わせることにより、愛知県内のキャベツ産地において簡易かつ迅速な施肥量の診断や指導の可能性が示された。今後は、他の露地野菜においてもこの施肥窒素指針の作成方法が利用できるか検討し、土壌窒素肥沃度に基づいた施肥窒素指針の作成、普及を進める必要があると考える。

謝辞：本研究を行うにあたり、現地調査ほ場の選定および調査について東三河農林水産事務所農業改良普及課および田原農業改良普及課野菜担当者に尽力いただいた。ここに感謝の意を表する。

1. 糟谷真宏, 荻野和明, 廣戸誠一郎, 石川博司, 鈴木良地. 牛ふん堆肥または豚ふん堆肥を連用する黄色土野菜畑における 5 年間の養分動態. 愛知農総試研報, 43, 137-149(2011)
2. 糟谷真宏, 廣戸誠一郎. 秋冬キャベツ栽培の夏季休閑期への緑肥作物導入による窒素収支の改善. 愛知農総試研報. 42, 141-146(2010)
3. 山本拓, 辻正樹, 中村哉志. マメ科緑肥クロタラリア (*Crotalaria juncea*) を利用したキャベツの窒素減肥. 愛知農総試研報. 51, 127-130(2019)
4. 大川浩司, 林悟朗. 機械利用によるうね内条施肥法がキャベツの生育斉一性と肥料の利用率に及ぼす影響. 愛知農総試研報. 30, 157-162(1998)
5. 日置雅之, 都築宏明, 瀧勝俊. 愛知県内露地畑における土壌窒素肥沃度の実態. 中部土壌肥料研究. 109, 30-31(2020)
6. 上菌一郎, 加藤直人, 森泉美穂子. $80^\circ\text{C}16$ 時間水抽出液の COD 簡易測定による畑土壌可給態窒素含量の迅速評価. 日本土壌肥料学雑誌. 81, 252-255(2010)
7. 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壌窒素無機化量の簡易推定. 愛知農総試研報, 51, 83-86(2019)
8. 牧田尚之, 久野智香子, 武井真理, 池田彰弘, 吉川那々子. 愛知県の主要産地における野菜類の養分収支. 日本土壌肥料学雑誌. 85, 236-240(2014)
9. 斉藤研二, 安藤利夫, 八植敦. コカブの作型別窒素吸収特性と窒素施肥法. 千葉農総研報, 6, 1-11(2007)
10. 久野智香子, 牧田尚之, 大橋洋範. ^{15}N で標識された窒素肥料の動態から見た砂壌質露地畑でのキャベツの施肥量削減の可能性. 愛知農総試研報, 44, 13-18(2012)
11. 渥美和彦, 新良力也. 砂地露地畑の冬どりキャベツ栽培における施肥窒素収支. 日本土壌肥料学会講演要旨集. 56, 273(2009)
12. 渥美和彦, 井原啓貴, 山崎成浩, 若澤秀幸. 施設野菜栽培における牛ふん堆肥由来窒素の動態(第 1 報)一施用 1 年目のセルリーおよびコマツナへの吸収と土壌残存. 日本土壌肥料学会講演要旨集. 58, 7(2012)
13. 土壌環境分析法編集委員会. 土壌環境分析法. 博友社. 東京. p. 1-427(1997)
14. 愛知県農業水産局農業経営課. 農作物の施肥基準. (2016). <https://www.pref.aichi.jp/soshiki/nogyo-keiei/0000085287.html> (2020. 5. 31 参照)
15. 杉原進, 金野隆光, 石井和夫. 土壌中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法. 農業環境技術研究所報告. 1, 127-166(1986)
16. 牛尾進吾, 吉村直美, 斉藤研二, 安西徹郎. 家畜ふん堆肥の成分特性と肥料的効果を考慮した施用量を示す「家畜ふん堆肥利用促進ナビゲーションシステム」. 日本土壌肥料学雑誌. 75, 99-102(2004)

引用文献