

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

日置雅之¹⁾・中村嘉孝¹⁾・山本 拓²⁾・糟谷真宏³⁾・瀧 勝俊¹⁾

摘要：本県の秋冬キャベツおよびスイートコーン栽培期間中の土壤窒素無機化量を推定するため、80℃16 時間水抽出法による可給態窒素量を用いた簡便かつ迅速な方法について検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1 供試土壤の窒素無機化量の推定式は、土壤タイプ、土壤採取時期、層位に関係なく、見かけの活性化エネルギー (Ea) が 74.9 kJ mol^{-1} 、速度定数(k)が 0.007 day^{-1} と Ea が 67.4 kJ mol^{-1} 、k が 0.366 day^{-1} との 2 つの項からなる共通の単純並行型モデルに適合した。
- 2 窒素無機化量推定式から地温に基づいて算出した栽培期間中の土壤窒素無機化量は、可給態窒素量と高い正の相関を示し、秋冬キャベツでは可給態窒素量の 1.43 倍、スイートコーンでは 1.20 倍と推定できた。

キーワード：秋冬キャベツ、スイートコーン、土壤窒素無機化量、可給態窒素量、80℃16 時間水抽出法

緒 言

作物生産と環境保全を両立するため過不足のない窒素施肥を行うためには、栽培期間中の土壤からの窒素無機化量を把握し、それを考慮した施肥設計を立てる必要がある。土壤からの窒素無機化量を明らかにする手法として、異なる温度での培養試験結果から反応速度論¹⁾に基づいて土壤窒素無機化量推定式を作成し、栽培期間中の地温から土壤窒素無機化量を推定する方法がある²⁻⁴⁾。しかし、この方法では時間と労力がかかるため、簡便かつ迅速に土壤窒素無機化量を推定する方法が望まれている。

近年、上菌ら⁵⁾によって土壤窒素肥沃度の指標である可給態窒素量を簡易に測定する方法 (80℃16時間水抽出法) が開発された。この方法は、常法である保温静置培養法⁶⁾と比較して簡便であり、生産現場で迅速に可給態窒素量を測定することができる。可給態窒素量から栽培期間中の土壤窒素無機化量が推定できれば、迅速な施肥診断が可能となり、無駄のない合理的な施肥技術の普及が期待できる。そこで、秋冬キャベツおよびスイートコーン栽培において、可給態窒素量を用いた土壤窒素無機

化量の簡易推定の可能性について検討した。

材料及び方法

1 供試土壤

土壤は、2015～2017 年に豊橋市、田原市、長久手市の露地畑ほ場で作付け前 (堆肥施用前) に採取したものを供試した。秋冬キャベツでは作土のみ対象としたが、スイートコーンでは作土より下層の土壤からの窒素供給についても把握するために作土と併せて次表層も調査した。土壤タイプは、豊橋市のほ場は、典型黄色土および細粒質黄色土、田原市は細粒質黄色土および礫質未熟低地土、長久手市では典型黄色土であった。以下の分析には、2 mm 目で篩別した風乾土壤を用いた。

2 秋冬キャベツおよびスイートコーンの栽培概要

供試土壤を採取した秋冬キャベツほ場は、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

本研究の一部は日本土壤肥料学会中部支部第96回例会 (2017年3月)および日本土壤肥料学会2018年度神奈川大会 (2018年9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。

環境基盤研究部²⁾ 東三河農業研究所³⁾ 環境基盤研究部(現山間農業研究所)

(2019. 10. 10 受理)

～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。

3 可給態窒素量の測定

可給態窒素量は、上菌ら⁵⁾の方法にしたがって80℃16時間水抽出法で抽出した有機態炭素量から算出した。すなわち、100 mL容三角フラスコに風乾土壌3 gを秤取りし、80℃の蒸留水を約50 mL加え、アルミホイルで蓋をし、軽く攪はんした後、80℃の通風乾燥器内で16時間加熱した。加熱終了後、室温まで放冷し、10%硫酸カリウム液を5 mL加え、軽く攪はん後、No. 5Cろ紙（アドバンテック東洋株式会社、東京）でろ過した。抽出液を0.02 M 塩酸で適宜希釈後、全有機体炭素計TOC-5000A（株式会社島津製作所、京都）によって有機態炭素量を測定した。得られた有機態炭素量に、換算係数0.046を乗じて可給態窒素量とした。

4 栽培期間中の土壤窒素無機化量の推定

土壤窒素無機化量の推定のために、培養試験を行った。すなわち、風乾土壌10 gを120 mL容のガラス瓶に量り取り、最大容水量の40%となるよう蒸留水を添加し、アルミホイルで覆いをした後、定温器内で静置培養した。

培養温度は10℃、20℃、30℃の3段階とし、培養期間は0日、7日、14日、28日、56日、84日、112日とした。培養期間中は、7～14日毎に蒸発した水分を重量から算出して補給した。培養期間終了後は、ガラス瓶に10%塩化カリウム溶液50 mLを加え、30分間水平振とうした。その後、No. 5Bろ紙（アドバンテック東洋株式会社、東京）でろ過し、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度法、銅・カドミウム還元-ナフチルエチレンジアミン吸光度法で測定した⁶⁾。

ここで得られた温度別の窒素無機化量の推移について反応速度論¹⁾に基づいて解析し、モデルに当てはめて窒素無機化量推定式を作成した。この推定式には、次式に示した杉原ら²⁾の単純並行型モデルを採用し、最小二乗法を用いて最適な速度定数 (k_1 , k_2)、見かけの活性化エネルギー (E_{a1} , E_{a2}) および定数 (N_1 , N_2) を算出した。

$$N = N_1 (1 - \exp(-k_1 \times t_1)) + N_2 (1 - \exp(-k_2 \times t_2))$$

$$t_n = \exp(E_{a_n}(T-298)/8.314/T/298) \quad (n = 1, 2)$$

N : 窒素無機化量 (mg kg^{-1})

N_1, N_2 : 定数 (mg kg^{-1})

k_1, k_2 : 速度定数 (day^{-1})

t_n : 25℃変換日数 (day)

E_{a_n} : 見かけの活性化エネルギー (J mol^{-1})

T : 絶対温度 (K)

作成した推定式に栽培期間における深さ 10 cm の日平均地温を代入し、土壤窒素無機化量とした。ここでの栽培期間は、定植または直播から収穫までの期間とした。なお、地温は、豊橋市（東三河農業研究所露地畑ほ場）、田原市（現地露地畑ほ場）、長久手市（農業総合試験場園芸研究部露地畑ほ場）で測定したものをを用いた。

結果及び考察

1 供試土壌の可給態窒素量

80℃16時間水抽出法により求めた可給態窒素量を表1に示した。作土の可給態窒素量は、秋冬キャベツで16～64 mg kg^{-1} 、スイートコーンで21～72 mg kg^{-1} であった。また、スイートコーンの次表層は6～74 mg kg^{-1} となり、平均値から判断すると作土の方が高い傾向にあった。

2 栽培期間中の土壤窒素無機化量

温度別の土壤窒素無機化量の推移を反応速度論に基づき解析した結果について、2015年の秋冬キャベツほ場（典型黄色土）を例として図1に示した。単純並行型モデルへ当てはめた結果、推定式の2項は、 E_{a1} : 74.9 kJ mol^{-1} 、 k_1 : 0.007 day^{-1} と E_{a2} : 67.4 kJ mol^{-1} 、 k_2 : 0.366 day^{-1} となり、窒素無機化特性が大きく異なった。北村ら⁷⁾は今回と同様の2つの項からなる推定式において、土壤の有機態窒素の無機化特性は土壤により大きく変化しないとしていることから、本試験においても、その他の土壤タイプ、土壤採取時期、層位について k_1 、 k_2 、 E_{a1} 、 E_{a2} を上記の値にそれぞれ固定し、 N_1 、 N_2 を計算した結果、単純並行型モデルに概ね合致した（データ略）。

秋冬キャベツとスイートコーンの栽培日数とその間

表1 80℃16時間水抽出法による供試土壌の可給態窒素量

作物名	層位	n	細粒質黄色土			典型黄色土			礫質未熟低地土				
			平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大		
			(mg kg^{-1})			(mg kg^{-1})			(mg kg^{-1})				
秋冬キャベツ	作土	14	30	16	55	20	30	20	40	4	59	48	64
スイートコーン	作土	9	39	22	54	7	36	21	51	3	69	66	72
	次表層	9	26	12	55	7	9	6	14	3	57	44	74

注) 乾土当たり。

の深さ 10 cm の日平均地温の積算値を表 2 に示した。秋冬キャベツでは、栽培日数は 110~130 日、積算地温は 1700~1900°C day で年次間差は小さかった。スイートコーンでは、栽培日数は 66~90 日、積算地温は 1500~1750°C day で、ともに秋冬キャベツよりも少なかった。また、栽培様式による違いをみると、栽培日数はマルチ・直播の方が長かったが、積算地温は大きな差は認められなかった。

求めた土壌窒素無機化量推定式に栽培期間中の日平均地温を代入して算出した土壌窒素無機化量を表 3 に示した。栽培期間中の作土からの窒素無機化量は、秋冬キャベツで 15~89 mg kg⁻¹、スイートコーンで 21~108 mg kg⁻¹ であった。これらの値について、仮比重を黄色土では 1.0、礫質未熟低地土では 0.5、作土深をいずれも 20 cm と仮定すると、秋冬キャベツで 3~13 g m⁻²、スイートコーンで 4~15 g m⁻² の窒素が無機化していると推定された。また、可給態窒素量と同様に、作土と次表層を比較すると作土の方が高い傾向にあった。

図 2 に可給態窒素量と栽培期間中の土壌窒素無機化量との関係を示した。秋冬キャベツ、スイートコーンともに、土壌タイプ、栽培年次、栽培様式、さらにスイートコーンでは層位に関わらず、可給態窒素量と土壌窒素無機化量との間には有意な正の相関が認められた。近似

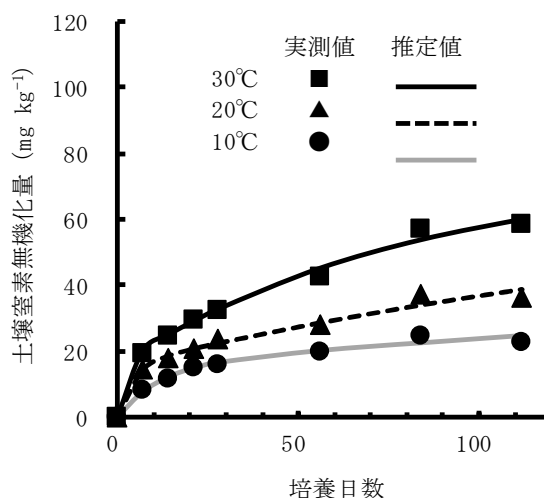


図 1 温度別土壌窒素無機化量の推移と推定曲線 (2015 年典型黄色土 (長久手市) の例)

注) 温度別推定曲線は単純並行型モデルに当てはめた推定式に培養温度を代入して作成。

$$N_1 \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} : 112.6, k_1 \text{ (day}^{-1}\text{)} : 0.007, \\ E_{a1} \text{ (kJ mol}^{-1}\text{)} : 74.9, N_2 \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} : 16.6, \\ k_2 \text{ (day}^{-1}\text{)} : 0.366, E_{a2} \text{ (kJ mol}^{-1}\text{)} : 67.4$$

表 2 栽培日数と積算地温

作物名	年次	栽培様式	<i>n</i>	栽培日数 ¹⁾ (day)	積算地温 ²⁾ (°C day)
秋冬キャベツ	2015年	無マルチ・定植	6	122 ± 1	1864 ± 11
	2016年	無マルチ・定植	11	111 ± 16	1905 ± 116
	2017年	無マルチ・定植	21	129 ± 21	1737 ± 141
スイートコーン	2016年	無マルチ・定植	6	66 ± 5	1523 ± 66
	2017年	無マルチ・定植	8	78 ± 2	1701 ± 104
		マルチ・直播	5	90 ± 10	1751 ± 155

1) 平均値±標準偏差。

2) 平均値±標準偏差。深さ10cmで測定。

表 3 供試土壌の栽培期間中の土壌窒素無機化推定量

作物名	層位	細粒質黄色土		典型黄色土		礫質未熟低地土	
		<i>n</i>	無機化量 ¹⁾ (mg kg ⁻¹)	<i>n</i>	無機化量 ¹⁾ (mg kg ⁻¹)	<i>n</i>	無機化量 ¹⁾ (mg kg ⁻¹)
秋冬キャベツ	作土	14	37 ± 15	20	50 ± 11	4	76 ± 11
スイートコーン	作土	9	48 ± 20	7	44 ± 9	3	82 ± 23
	次表層	9	34 ± 18	7	11 ± 4	3	67 ± 5

1) 平均値±標準偏差。

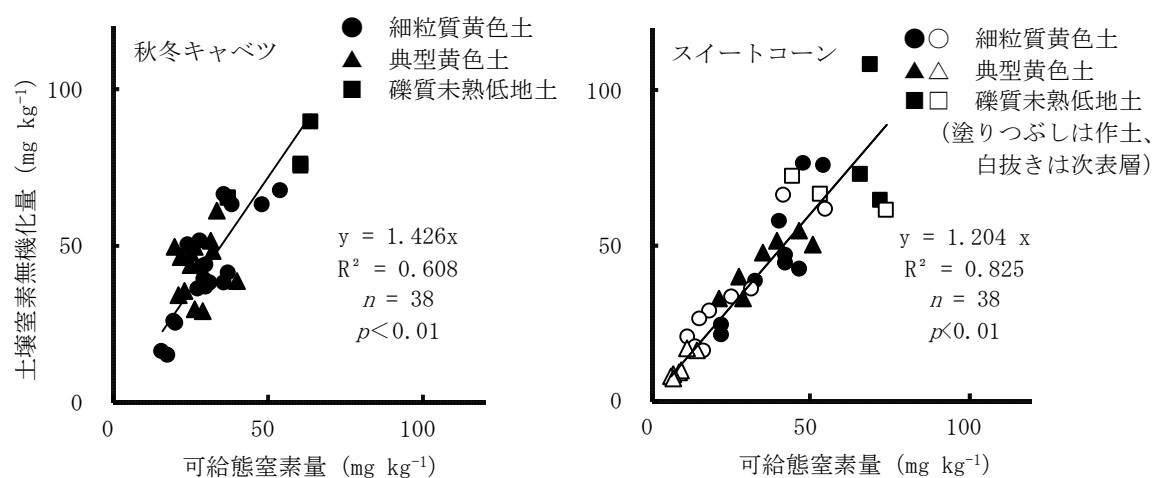


図2 可給態窒素と土壌窒素無機化量との関係

(左) 秋冬キャベツ、(右) スイートコーン

注) 秋冬キャベツは作土のみ、スイートコーンは作土と次表層

直線の傾きから、栽培期間中の土壌窒素無機化量は、秋冬キャベツで可給態窒素量の1.43倍、スイートコーンでは1.20倍と推定できた。本試験でのキャベツの栽培期間中の積算地温はスイートコーンの1.1倍であり、2つの作物間での近似直線の傾きの違いは、栽培期間中の積算地温の影響によるものと考えられた。また、土壌窒素無機化量は地温に依存するため、調査対象以外の作型については、土壌窒素無機化量推定式に栽培期間中の日平均地温を代入し、今回求めた傾きの適応性を確認する必要がある。

以上のことから、秋冬キャベツ、スイートコーンともに、80°C16時間水抽出法による可給態窒素量から栽培期間中の窒素無機化量が推定できることが明らかとなった。今後は、土壌から無機化する窒素と施肥窒素の作物による利用効率を明らかにすることで、80°C16時間水抽出法による可給態窒素量に基づいた合理的な窒素施肥設計が可能になると考える。

引用文献

1. 金野隆光. 土壌中の生物活性と温度. 土壌の物理性. 41, 7-16(1980)
2. 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)
3. 金野隆光, 杉原進. 土壌生物活性への温度影響の指標化と土壌有機物分解への応用. 農業環境技術研究所報告. 1, 51-68(1986)
4. 古江広治, 上沢正志. 反応速度論的手法での土壌および有機質資材の有機態窒素の無機化特性値データ集. 農業研究センター研究資料. 43, 1-50(2001)
5. 上菌一郎, 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壌可給態窒素含量の迅速評価. 日本土壌肥科学雑誌. 81, 252-255(2010)
6. 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)
7. 北村秀教, 関 稔, 今泉諒俊. 土壌窒素発現に基づいた水稻施肥プログラムの開発. 愛知農総試研報. 21, 47-61(1989)