

湛水条件における有機質肥料の窒素無機化推定式の作成

小田紫帆里¹⁾・日置雅之²⁾・瀧 勝俊³⁾

摘要: 水稲栽培での有機質肥料の効果的な利用を目的に、愛知県内で流通している有機質肥料について、湛水条件における窒素無機化パターンを反応速度論的手法に基づき解析し、窒素無機化推定式を作成した。作成した推定式は、混合有機質肥料の1種類が「有機化・無機化並行型モデル」に適合し、その他の肥料は「単純型モデル」に適合した。

キーワード: 有機質肥料、反応速度論的解析、窒素無機化推定式、湛水条件

緒言

水稲栽培において有機質肥料は、有機栽培米や特別栽培米生産に化学肥料の代替として利用されることが多い。有機質肥料は、動物性または植物性の有機物を原料とするため、施用時期により肥効が大きく異なるという特徴をもつ。そのため、生産者は作物の生育時期ごとに必要な養分量を満たす肥料の種類、施用量及び施用時期の選択を勘や経験に頼ることが多い¹⁾。

有機質肥料の窒素成分を水稲が効率的に利用するためには、肥料からの窒素無機化パターンを把握し、その供給量を推定する必要がある。また、水稲栽培において、過剰な窒素施肥は軟弱徒長を招き、倒伏や病害虫被害による収量減少につながるため²⁾、窒素施用量の細やかな制御が必要である。施用時期による有機質肥料の肥効の違いは、肥効発現が微生物による分解に伴うために生じるものである。分解の律速反応は酵素反応と考えられ、温度の影響を大きく受けることから、反応速度論に基づく解析による窒素無機化推定式^{3,4)}の作成が可能である。愛知県で流通している有機質肥料については畑条件における窒素無機化特性が過去に明らかにされているが⁵⁾、湛水条件では報告がない。

そこで本研究では、水稲栽培での有機質肥料の効果的な利用を目的に、県内で流通している有機質肥料について、湛水条件における有機質肥料の窒素無機化パターンを反応速度論的手法に基づき解析し、窒素無機化推定式を作成したので報告する。

材料及び方法

1 供試した有機質肥料

有機質肥料として、愛知県内で流通している動物質肥料8種、植物質肥料2種及び混合有機質肥料3種を供試した(表

1)。供試した有機質肥料は粉碎後、水分は乾燥減量法で、全炭素含量及び全窒素含量は、全炭素・全窒素/水素同時定量装置(MACRO CORDER JM1000CN、株式会社ジェイ・サイエンス・ラボ、京都)を用い、乾式燃焼法で測定した⁷⁾。

表1 供試有機質肥料の水分、全炭素、全窒素含量及びC/N比

分類	肥料名	肥料法 ¹⁾ 上の分類	水分 T-C ³⁾ T-N ³⁾ C/N 比				
			%	%	%		
動物質 肥料	骨粉	蒸製骨粉	5.1	24.4	4.7	5.2	
	魚かす	魚かす ²⁾	10.1	32.3	6.9	4.7	
	ポーク チキン ミール	肉骨粉	6.8	42.4	9.1	4.6	
	骨粒	蒸製骨 ²⁾	4.2	24.5	4.0	6.1	
	カニ殻	甲殻類質 肥料 ²⁾	5.4	26.1	4.1	6.4	
	フェザー ミール	蒸製毛粉	7.6	54.4	12.5	4.3	
	皮粉	蒸製皮革粉	10.8	39.3	13.3	2.9	
	加工 家さんふん	加工家さん ふん肥料	8.2	30.3	2.9	10.5	
	植物質 肥料	大豆	大豆油かす 及びその粉末	10.7	46.9	8.2	5.7
		ひまし 油かす	ひまし油かす 及びその粉末	9.4	49.9	6.1	8.3
混合有機質 肥料 A		混合有機質 肥料	7.8	41.8	9.8	4.3	
混合 有機質 肥料	混合有機質 肥料 B	混合有機質 肥料	5.8	33.9	6.9	4.9	
	混合有機質 肥料 C	混合有機質 肥料	9.0	47.4	5.1	9.2	

1) 肥料の品質の確保等に関する法律⁶⁾

2) 入手時点では特殊肥料

3) 乾物あたり

¹⁾環境基盤研究部(現園芸農産課) ²⁾環境基盤研究部(現作物研究部) ³⁾環境基盤研究部

表2 供試土壌の化学性

pH	EC 1:2.5	乾土あたり										
		T-C	T-N	C/N	交換性塩基			CEC	培養 窒素 ¹⁾	可給態 リン酸 ²⁾	可給態 ケイ酸	遊離 酸化鉄
					CaO	MgO	K ₂ O					
5.9	0.067	1.06	0.10	10.8	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹

1) 30°C4 週間生土湛水培養

2) トルオーグ法

2 培養試験

培養試験は、愛知県弥富市内の水田土壌(粗粒質還元型グライ低地土⁸⁾、土性SL)を供試した。この土壌の化学性を表2に示した。

風乾土20 g に有機質肥料を乾土1 kgあたり窒素50 mg相当量混合し、培養びん(内径22 mm、高さ90 mm)に充填した。蒸留水を20 mL入れた後、軽くかきまぜて空気を抜き、ゴム栓で密閉して定温器内で静置培養した。培養温度は10°C、20°C、30°Cの3水準とし、培養期間は0、3、7、14、28、56、70、84日とした。この期間、培養びん内に発生したガスは適宜除去した。培養期間終了後、120 mL容の振とうびんに、培養した土壌及び水を塩化カリウム溶液として最終濃度100 g L⁻¹となるように200 g L⁻¹塩化カリウム溶液及び蒸留水で洗いこみ、30分間水平振とうした。その後、No.5Bのろ紙でろ過し、アンモニア態窒素を連続流れ分析装置(AA3型、ビーエルテック株式会社、大阪)を用い、インドフェノール青吸光度法⁹⁾で測定した。

有機質肥料由来の窒素無機化量は、有機質肥料を混和した土壌の値から有機質肥料を混和しない土壌の値を差し引いて求めた。その値を投入した全窒素量で除して、みかけの窒素無機化率を算出した。

3 反応速度論的解析

培養試験で温度別に得られた窒素無機化率については、杉原ら(1986)の方法⁴⁾に基づいて、培養日数を温度変換日数法により変換し、25°Cでの無機化曲線に残差平方和が最小となるように最小二乗法で当てはめた。この曲線として、有機態窒素の無機化の基本的なモデルである単純型モデル、単純並行型モデル、有機化・無機化並行型モデルの3つを設定した(表3)。最適モデルは、赤池の情報量(AIC)が最小となるモデルに決定した。なお、これらの解析にあたっては、表計算ソフト「EXCEL」のソルバー機能(反復計算を行い解を求める機能)を利用した¹⁰⁾。

結果及び考察

1 有機質肥料の成分

有機質肥料の成分組成を表1に示した。全炭素含量は、24.4~54.4%の範囲で、フェザーミールで高く、骨粉で低かった。全窒素含量は、皮粉が13.3%と最も高く、次いでフェザーミールが12.5%と高かった。最も低かったのは、加工家きんふんの2.9%であった。C/N比は、とうもろこし由来である混

表3 有機態窒素の無機化モデル

モデル	式
単純型 モデル	$N=N_0(1-\exp(-k*t))+b$ $t=\exp(Ea(T-298))/(8.314*T*298)$
単純 並行型 モデル	$N=N_1(1-\exp(-k_1*t_1))+N_2(1-\exp(-k_2*t_2))+b$ $t_1=\exp(Ea_1(T-298))/(8.314*T*298)$ $t_2=\exp(Ea_2(T-298))/(8.314*T*298)$
有機化・ 無機化 並行型 モデル	$N=N_0(1-\exp(-k*t))-N_{im}(1-\exp(-k_{im}*t_{im}))+b$ $t=\exp(Ea(T-298))/(8.314*T*298)$ $t_{im}=\exp(Ea_{im}(T-298))/(8.314*T*298)$

N: 窒素無機化率(%), $N_{0,1,2}$: 可分解性有機態窒素量(%), k : 25°Cにおける窒素無機化速度定数(day⁻¹), t : 窒素無機化反応における温度変換日数(day), b : 無機態窒素量(%), $Ea_{1,2}$: 窒素無機化反応における見かけの活性化エネルギー(J mol⁻¹), T : 絶対温度(°C), N_{im} : 有機化窒素量(%), k_{im} : 25°Cにおける窒素有機化速度定数(day⁻¹), t_{im} : 窒素有機化反応における温度変換日数(day), Ea_{im} : 窒素有機化反応における見かけの活性化エネルギー(J mol⁻¹)

合有機質肥料Cを含めた植物質肥料で高く、動物性肥料では低い傾向を示したが、最も高かったのは、加工家きんふんであった。

2 有機質肥料の窒素無機化率

温度別窒素無機化率の推移は、混合有機質肥料Cでのみ、10°Cでの培養14日目から培養終了まで窒素有機化が生じ、他の肥料とは窒素の無機化パターンが異なった(図1)。30°Cにおける84日培養後の窒素無機化率は、混合有機質肥料Cで最も低く、それ以外の肥料では概ね全窒素相当量が無機化した。多くの畑培養試験の結果では、有機質肥料に含まれる窒素量の80%程度が最終的に無機化している^{5,11)}。しかし、本研究と同様に、見かけ上肥料の窒素が全量無機化する現象は、灰色低地土にコメヌカを添加した湛水培養試験において報告されている¹²⁾。本研究の供試土壌をこの報告の供試土壌と比較すると、どちらも低地土に分類される土壌であり、C/N比は10.8と12と同程度である。したがって、本研究においてもこの報告と同様に、有機物の添加による急速な微生物群の増殖によって、添加有機物以外の土壌有機物からの窒素無機化量が增大するプライミング効果が発現したと推察される。一般的に有機質肥料の窒素無

機化率はC/N比を指標として説明されることが多い^{5,13)}が、本研究においても、30°Cで84日培養後の窒素無機化率は、有機質肥料のC/N比と5%水準で有意な負の相関関係が認められた。この結果は、これまでの報告^{5,13)}を支持するものであった(図2)。

3 窒素無機化推定の作成

培養試験で得られた温度別窒素無機化率の推移を反応速度論に基づいて解析した結果、培養期間中に窒素の有機化が顕著であった混合有機質肥料Cは「有機化・無機化並行型モデル」に、その他の肥料は「単純型モデル」にそれぞれ適合し、表4に示す窒素無機化特性値が得られた。

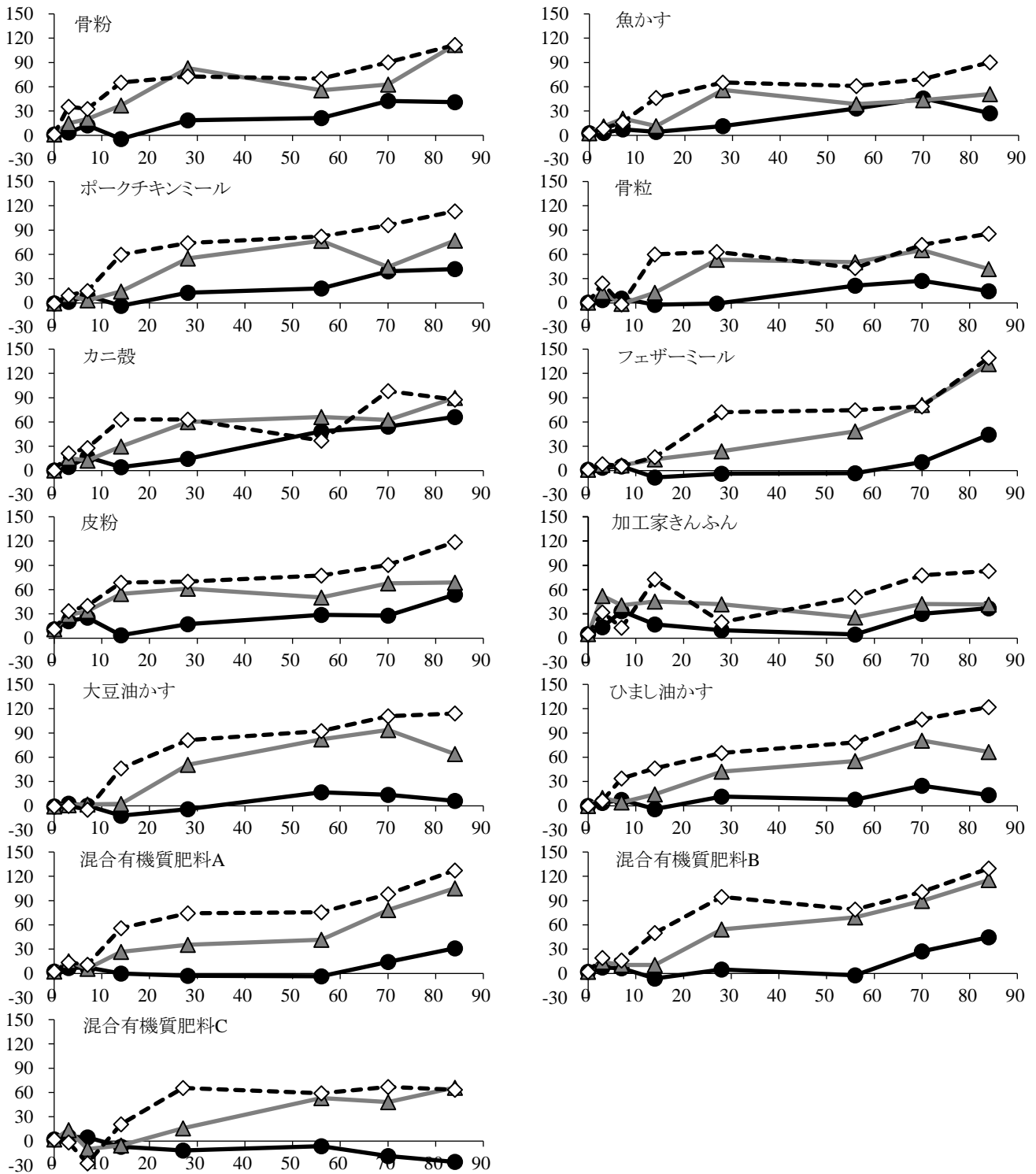


図1 各有機質肥料の窒素無機化率の推移
 縦軸は窒素無機化率(%), 横軸は培養日数
 ●10°C、▲20°C、◇30°C

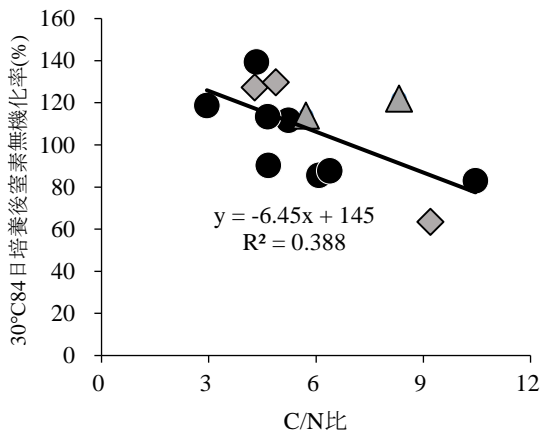


図2 有機質肥料のC/N比と30°C84日培養後の窒素無機化率の関係

●動物質、▲植物質、◆混合有機質

以上のように、愛知県内で流通している13種の有機質肥料について、湛水条件における窒素無機化推定式を作成した。しかし、本研究では、プライミング効果の発現が窒素無機化率に影響したと推察されることから、今後、低地土以外の土壌における推定式の適応性を検証する必要がある。また、得られた無機化特性値は実際の栽培試験により作物の窒素吸収と合致しているか等の検証も進めていく必要がある。

謝辞: 本研究を行うに当たり有機質肥料の収集について愛知県経済農業協同組合連合会の池田彰弘技術主管にご協力いただいたので、ここに感謝の意を表する。

引用文献

1. 日本土壌協会. 有機栽培技術の手引き(水稻・大豆等編). 37(2012)
2. 堀江武. 農学基礎セミナー新版作物栽培の基礎. 農山漁村文化協会. 東京. p.80(2004)
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. 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方法. 農業環境技術研究所報告. 1, 127-166(1986)
5. 大橋祥範, 日置雅之, 糟谷真宏. 愛知県内で流通する12種の有機質肥料からの窒素無機化量の推定. 愛知県農業総合試験場研究報告. 49, 1-8(2017)
6. 独立行政法人農林水産消費安全技術センター. 肥料・土壌改良資材関係法令. <http://www.famic.go.jp/ffis/fert/sub1.html>(2021.3.4参照)
7. 独立行政法人農林水産消費安全技術センター. 肥料等試験法(2020). 36-39(2020)
8. 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農

表4 各有機質肥料の窒素無機化特性値

肥料名	Ea	N ₀ ¹⁾	k	Ea _{im}	N _{im}	k _{im}	b
	J mol ⁻¹	%	day ⁻¹	J mol ⁻¹	%	day ⁻¹	%
骨粉	90104	87.7	0.0535	-	-	-	2.38
魚かす	69130	71.8	0.0296	-	-	-	3.79
ポーク チキン ミール	75519	99	0.0290	-	-	-	0
骨粒	94293	68.6	0.0415	-	-	-	0
カニ殻	58842	77.5	0.0575	-	-	-	0
フェザー ミール	74154	99	0.0246	-	-	-	0
皮粉	47000	79.3	0.0156	-	-	-	17.7
加工 家さんふん	90364	99	0.0053	-	-	-	21.9
大豆 油かす	94430	99	0.0285	-	-	-	0
ひまし 油かす	94288	99	0.0260	-	-	-	0.980
混合有機質 肥料A	94497	99	0.0285	-	-	-	0.716
混合有機質 肥料B	89362	99	0.0370	-	-	-	0.891
混合有機質 肥料C	96160	99	0.0370	20227	39.0	0.309	6.6

1) ソルバー機能の利用にあたっては、N₀<99となるように条件付けした。

- 業環境変動研究センター. 日本土壌インベントリー. [https://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/\(2021.3.4参照\)](https://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/(2021.3.4参照))
9. 土壌環境分析法編集委員会. 土壌環境分析法. (1997)
10. 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)
11. 内村浩二, 三浦伸之. 黒ボク茶園における有機物資材の窒素無機化特性. 茶業研究報告. 98, 11-19(2004)
12. 新良力也. コメヌカとオカラの湛水培養での窒素無機化特性解析と圃場での窒素放出経過の推定. 日本土壌肥料学雑誌. 81(5), 511-513(2010)
13. 細川幸一, 西川大樹, 西野領之輔, 八杉峻也, 西浦愛子, 斉藤正志, 大西雄幸. 水田における有機質肥料および有機入り化成肥料のC/N比と窒素肥効の関係. 福井県農業試験場研究報告. 53, 9-12(2016)