

飼料用トウモロコシに対する乳牛ふん尿由来堆肥およびスラリーのリン酸肥効

八木 哲生^{*1} 酒井 治^{*2} 松本 武彦^{*3} 三枝 俊哉^{*4}

乳牛ふん尿を主原料とした堆肥およびスラリーについて、飼料用トウモロコシに対するリン酸の肥料換算係数（減肥可能量を計算するため、ふん尿処理物の全リン酸含量に乘じる係数）を検討した。圃場試験において、堆肥およびスラリーのリン酸肥効は化学肥料と同等かそれ以上と考えられたが、肥料換算係数に幅があった。本試験の結果に加え、乳牛ふん尿堆肥のリン酸溶解性に関する既往の知見や生産現場での適用性も考慮すると、堆肥およびスラリーに含まれる全リン酸含量の60%を化学肥料相当と評価することが適当と判断し、肥料換算係数をいずれも0.60と設定した。

緒 言

わが国の飼料自給率は2018年現在で約25%と低く、2030年までに34%に高める目標が掲げられている¹⁹⁾。ホールクロップ用途としての飼料用トウモロコシ (*Zea mays* L.; 以下、トウモロコシ) は、牧草と比較してエネルギー生産量が高く、栽培期間の気象条件に恵まれない北海道でも広く栽培できるため、飼料自給率向上に貢献しうる飼料作物として期待される¹⁴⁾。北海道におけるトウモロコシの栽培面積は、飼料価格の高騰が始まった2007年 (38,300 ha) から増加を続け、2017年 (55,100 ha) にはわが国全体 (94,800 ha) の約6割を占めるに至る¹⁸⁾。

近年の酪農経営では、1戸当たりの乳牛飼養頭数およびふん尿発生量が増加傾向にあるため、ふん尿処理物を経営内の飼料作物畑へ適正に還元することが困難な事例がある⁵⁾。また、草地へのふん尿処理物の施用は、牧草サイレージへの混入による品質低下が懸念されるため²⁵⁾、結果としてトウモロコシ畑への過剰施用が引き起こされる懸念がある。したがって、飼料用トウモロコシ畑において、施用されるふん尿処理物に含まれる養分を適切に

評価し施肥設計することが重要である。

「北海道施肥ガイド」⁴⁾ では、各種有機物の養分含量を化学肥料に換算するための肥料換算係数（ふん尿処理物等有機物の全養分含量に乘じる係数）を定めている。トウモロコシ畑におけるふん尿処理物の肥料換算係数は、すでに窒素について単年および連年の施用条件ごとに整理されており²⁷⁾、カリについては1.0（化学肥料と同等）と設定されている⁴⁾。一方、トウモロコシに対してのリン酸肥効は未検討であったため、トウモロコシ畑ではふん尿処理物を施用しても化学肥料を減肥する根拠が無かった。

既報^{11, 12)} によると、酪農場で産出される乳牛ふん尿処理物のリン酸 (P_2O_5) 含有率の水準は、堆肥およびスラリーで各々 2.8および2.1 g kg⁻¹程度であるため、トウモロコシ畑について現実的な施用量（堆肥およびスラリーのいずれも 50 Mg ha⁻¹）²⁾ を想定すると、リン酸の投入量は100 kg ha⁻¹を超えると見込まれ、これは施肥標準 (200 kg ha⁻¹)⁴⁾ の50%以上に相当する。ふん尿処理物のリン酸肥効は、道外府県において肥効率60~100%（肥料換算係数として0.6~1.0）と見込む事例が多いことを踏まえると¹⁵⁾、道内のトウモロコシ畑においてもふん尿処理物の施用に伴うリン酸減肥による肥料節減の可能性がある。しかしながら、一般に、植物に対するリン酸の影響は低温時に大きいといわれるので²⁰⁾、府県より寒冷な北海道での肥効を確認する必要がある。

そこで、本試験では、道内で最も寒冷な根釧地域においてトウモロコシに対する乳牛ふん尿由来の堆肥およびスラリーのリン酸肥効を検討した。

2020年11月12日受理

^{*1} (地独) 北海道立総合研究機構 酪農試験場, 086-1135 北海道標津郡中標津町 (現在, 北海道立総合研究機構 中央農業試験場, 069-1395 北海道夕張郡長沼町)
E-mail: yagi-tetuo@hro.or.jp

^{*2} 同上 (現在, (地独) 北海道立総合研究機構 北見農業試験場, 099-1496 北海道常呂郡訓子府町)

^{*3} 同上

^{*4} 同上 (現在, 酪農学園大学, 069-8501 北海道江別市)。

試験方法

1 圃場試験におけるリン酸肥効

栽培試験は、2011および2012年の2年間、北海道標津郡中標津町の北海道立総合研究機構根釧農業試験場（現酪農試験場；以下、酪農試）の黒ボク土圃場¹⁷⁾において行った。供試したふん尿処理物は、酪農試の牛舎で産出された乳牛ふん尿を主体とする堆肥およびスラリーで²⁷⁾、各栽培年の水分および肥料成分の含有率は表1の通りである。試験開始時において、供試圃場の土壌化学性（0～20cm）は、pH (H₂O) が6.2、有効態リン酸含量が53 mg-P₂O₅ kg⁻¹、交換性カリ、苦土および石灰含量が各々147 mg-K₂O kg⁻¹、150 mg-MgO kg⁻¹および2264 mg-CaO kg⁻¹、リン酸吸収係数が17.7 g-P₂O₅ kg⁻¹であった。

各試験処理は2カ年とも同一区画に配置（連用）し、化学肥料（過リン酸石灰）、堆肥およびスラリーを各々単独で施用して全リン酸（P₂O₅）量を100 kg ha⁻¹としたリン酸100 kg ha⁻¹系列（P100系列；処理名を各々、C100、M100およびS100と略）、上記の各区に化学肥料のリン酸100 kg ha⁻¹を上乗せし、化学肥料と各ふん尿処理物を併用（総リン酸施用量は施肥標準量）した200 kg ha⁻¹系列（P200系列；処理名を各々、C200、M200およびS200と略）を設けた（表2）。各系列内においてふん尿処理物施用区と化学肥料施用区を比較し（各系列での対照区は、C100またはC200）、ふん尿処理物のリン酸肥効を評価した。さらに、各資材中のみかけのリン酸利用率（以下、リン

酸利用率）を求めるため、リン酸無施用区（P0）も設置した。本設計では、各系列のふん尿処理物施用区におけるリン酸利用率が化学肥料単独施用区と同等であれば、ふん尿処理物のリン酸肥効が化学肥料と概ね同等と判断できる。なお、ふん尿処理物の施用量は、各栽培年早春に採取したふん尿処理物のリン酸含有率に基づき、全リン酸量が100 kg ha⁻¹となるように決定したが、実際に施用したふん尿処理物の成分含有率とは若干異なったため、化学肥料とふん尿処理物由来のリン酸施用量はわずかに異なる（表2）。

C100およびC200における化学肥料の施肥量は、リン酸を除き「北海道施肥ガイド2015」⁴⁾の施肥標準に準じ、硫酸アンモニウム、硫酸カリウム、硫酸マグネシウムを用いて、窒素（N）、カリ（K₂O）、苦土（MgO）として、各々130、140、40 kg ha⁻¹を全面全層に施肥した（表2）。ふん尿処理物施用区における化学肥料の施用量は、すでに肥料換算係数が設定されている窒素およびカリについては、ふん尿処理物ごとにその値を考慮し化学肥料区の施肥量から減じた。5月中旬に上記の化学肥料、堆肥およびスラリーを施用し、概ね1週間以内にロータリーハロにて約15 cmの深さで攪拌後、ケンブリッジローラーによる鎮圧、コーンプランターによる播種を行った。

試験区の1区面積は25 m²（5 m×5 m）とし、リン酸無施用区は2反復、その他処理区は3反復を設けた。試験に供したトウモロコシ品種は、試験当時に当地域で奨励されていた早生品種である「たちぴりか」とした⁶⁾。本品

表1 圃場試験で供試したふん尿処理物の成分分析値

ふん尿 処理物	栽培年	水分	肥料成分（全含量）					無機態窒素	
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	NH ₄ -N	NO ₃ -N
堆肥	2011	807	4.6	3.5	6.4	4.5	1.3	0.0	0.2
	2012	793	5.6	4.0	6.9	5.8	1.7	0.0	0.5
スラリー	2011	933	2.5	1.0	2.8	1.8	0.5	1.2	n.d.
	2012	939	2.6	0.9	2.5	1.9	0.4	1.6	n.d.

成分分析値は現物あたり濃度（gkg⁻¹）。無機態窒素のNH₄-NおよびNO₃-Nは各々アンモニウム態および硝酸態窒素。

表2 圃場試験におけるふん尿処理物および化学肥料の施用量

系列	処理	ふん尿 施用量 (Mg ha ⁻¹)	ふん尿中全肥料成分 (kg ha ⁻¹)			肥料換算施用量 (kg ha ⁻¹)								
						ふん尿由来*			化学肥料			合計		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
P100	C100	-	-	-	-	-	-	-	130	100	140	130	100	140
	M100	24	122	91	159	24	91	159	103	0	0	128	91	159
	S100	93	237	90	248	95	90	248	32	0	0	126	90	248
P200	C200	-	-	-	-	-	-	-	130	200	140	130	200	140
	M200	24	122	91	159	24	91	159	103	100	0	128	191	159
	S200	93	237	90	248	95	90	248	32	100	0	126	190	248
	P0	-	-	-	-	-	-	-	130	0	140	130	0	140

2011年と2012年の平均値。

* ふん尿由来成分の肥料換算施用量は、ふん尿中肥料全成分量に肥料換算係数（堆肥はN0.2、K₂O1.0、スラリーはN0.4、K₂O1.0）を乗じて求めた。ただし、本試験で検討するリン酸の肥料換算係数については、1.0と仮定して処理区を設置した。

種の相対熟度 (RM)²⁶⁾ は75である。設定播種密度は99,200粒 ha^{-1} (畦間×株間は56×18 cm) とした。いずれの栽培年についても、5月下旬から6月上旬に播種し、9月下旬から10月上旬に収穫した。

トウモロコシ作物体の収穫は、概ね糊熟期から黄熟期 (総体乾物率27~31%) とし、次の方法により調査した。すなわち、各試験区の3畦から生育中庸な15個体の地上部を、地際より高さ約15 cmで刈取り、茎葉部と雌穂部の各生重量を測定した。その後、茎葉部は採取したすべての個体を粗く細断し、その一部を3日間、雌穂部は採取したすべての雌穂のうち代表的な4~5本を7日間、70°Cで通風乾燥した。このように求めた部位別の乾物率を、前述の生重量に乗じて茎葉と雌穂の合計乾物収量 (Mg ha^{-1}) を算出した。また、生育中期 (2011年、7月18日；2012年、7月30日) にも、各処理区で中庸な個体を地際より採取し、地上部全体の乾物重量を測定するとともに、乾燥粉碎物を分析用試料とした。

土壌は、2011年の早春に各試験区から3地点ずつ (0~20 cm) 採取・混合し、2 mm篩を通した風乾細土を化学性の分析に供した。

圃場試験を行った2011および2012年の積算日平均気温は次の通りであった。すなわち、2011年および2012年の順に、5~9月は2282および2298°C (平年値2135°C)、播種から生育中期に相当する5月20日から7月20日は840および769°C (平年値778°C) であり、試験年の気温を平年と比較すると栽培期間全体としてはやや高め、播種から生育中期までは平年並みかやや高い条件であった。

2 土壌、作物体およびふん尿処理物の分析方法

作物体粉碎試料は、水野・南¹³⁾ の方法に基づき硫酸と過酸化水素で湿式分解した後、分解液中のリン酸含有率をバナドモリブデン酸による比色法¹⁶⁾ により測定し、乾物試料あたりリン酸含有率を得た。茎葉部と雌穂部の各々について、乾物重にリン酸含有率を乗じることにより地上部リン酸吸収量 (kg ha^{-1}) を求めた。ふん尿処理物および化学肥料のリン酸利用率 (%) は、リン酸施用区と同無施用区 (P0区) のリン酸吸収量の差 (各処理区における試験年ごとの平均値) を、総リン酸施用量 (ふん尿処理物と化学肥料の合計値) で除して100を乗じて求めた。さらに、ふん尿処理物施用区のリン酸利用率を同系列の対照区におけるリン酸利用率で除して求めた値を「リン酸の肥料換算係数」 (以下、肥料換算係数) とした。なお、P200系列では、ふん尿処理物のみのリン酸利用率を求めることが困難であったため、ふん尿処理物の肥料換算係数を求めず、化学肥料とふん尿処理物を併用した条件におけるリン酸利用率のみ求めた。

土壌は0~20 cmで採取し、pH (H_2O) はガラス電極法

(土壌：水=1：2.5)、有効態リン酸含量はトルオーグ法、交換性カリ、苦土および石灰の各含量は1 mol L^{-1} 酢酸アンモニウム液による抽出法、リン酸吸収係数は2.5%リン酸アンモニウム液法により測定した¹⁾。また、0~20 cm土壌の熱水抽出性窒素含量は、土壌に10倍量 (v/w) の水を加えてオートクレーブにて加熱処理 (105°C, 60分) した後、ろ液を硫酸と過酸化水素で分解し、アンモニウム態窒素濃度をフローインジェクション法 (FOSS, FIA star 5000 Analyzer) により測定して求めた⁷⁾。

ふん尿処理物の肥料成分は、現物試料について前述の水野・南 (1980) の方法で湿式分解した後、分解液中の窒素 (フローインジェクション法)、リン酸 (バナドモリブデンによる比色法) およびカリ、石灰、苦土 (原子吸光法) の各含量を測定して求めた。アンモニウム態窒素および硝酸態窒素の各含量は、現物試料の100 g L^{-1} 塩化カリウムによる抽出液を前述のフローインジェクション法により測定して求めた。

3 統計解析

乾物重、乾物収量、リン酸含有率およびリン酸吸収量は、試験年ごとにリン酸資材および施用量を要因とした二元配置分散分析 (P0区を除く処理区)、Tukey-Kramer法による多重比較検定 (P0区を含む全処理区) を行った。

これらの解析では、「JMP12.1」 (SAS Institute Japan) を用い、危険率5%未満のときに統計的な有意差が認められるとした。

結 果

1 圃場試験におけるリン酸肥効

収穫期における乾物収量水準は、2011年で13.1~14.3 Mg ha^{-1} 、2012年で13.5~16.9 Mg ha^{-1} であり、当地域の基準収量 (13.5~15.0 Mg ha^{-1} ；総体乾物率30%と想定)⁴⁾ と概ね同じ水準であった (表3)。

はじめにP0区を除く処理区について二元配置分散分析を行い、試験年ごとに各調査項目に対するリン酸の資材および施用量の効果を検討した (表3)。2011年では生育中期におけるリン酸含有率についてのみ、施肥量の効果が認められた。一方、2012年では、施肥量の効果は生育中期における乾物重、リン酸含有率およびリン酸吸収量について認められ、資材の効果は生育中期における乾物重およびリン酸吸収量、収穫期における乾物収量について認められた。また、資材および施肥量の交互作用は、2012年の生育中期におけるリン酸含有率についてのみ認められた。

生育中期における各項目を処理間で比較すると、いずれの試験年でもP0区では一部処理区より低い場合が多かった。P100およびP200の各系列内では、各処理区の

表3 圃場試験における地上部乾物重, リン酸含有率, リン酸吸収量, 乾物収量, リン酸利用率および肥料換算係数

処理	生育中期					収穫期				
	乾物重 (Mg ha ⁻¹)	P含有率 (P ₂ O ₅ %)	P吸収量 (kg-P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	利用率 ¹⁾ (%)		乾物収量 (Mg ha ⁻¹)	P吸収量 (kg-P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	利用率 ¹⁾ (%)	肥料換算 係数	
2011年										
C100	0.81 ± 0.08 ab	1.00 ± 0.04 a	8.2 ± 0.7 ab	1.7		13.8 ± 0.9 a	73 ± 3 a	11.4		
M100	0.90 ± 0.06 ab	1.05 ± 0.11 a	9.4 ± 1.2 ab	3.2		13.1 ± 0.8 a	69 ± 8 a	7.9		0.70
S100	0.93 ± 0.09 a	1.04 ± 0.06 a	9.7 ± 0.4 ab	3.5		13.2 ± 0.1 a	72 ± 4 a	11.1		0.97
C200	0.85 ± 0.12 ab	1.03 ± 0.06 a	8.8 ± 1.3 ab	1.2		13.6 ± 0.7 a	70 ± 7 a	4.0		
CM200	0.88 ± 0.14 ab	1.12 ± 0.06 a	9.9 ± 1.9 ab	1.8		14.3 ± 0.6 a	75 ± 5 a	6.9		
CS200	0.88 ± 0.06 ab	1.16 ± 0.08 a	10.3 ± 1.1 a	2.0		13.3 ± 0.5 a	73 ± 3 a	5.7		
P0	0.63 ± 0.01 b	1.02 ± 0.10 a	6.4 ± 0.8 b	—		13.1 ± 1.0 a	62 ± 9 a	—		
資材 ²⁾	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.	n.s.			
施肥量 ²⁾	n.s.	*	n.s.			n.s.	n.s.			
交互作用 ²⁾	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.	n.s.			
2012年										
C100	1.45 ± 0.25 bc	0.77 ± 0.05 ab	11.2 ± 1.5 bc	2.0		14.6 ± 0.1 ab	59 ± 2 a	4.6		
M100	1.81 ± 0.03 ab	0.70 ± 0.03 b	12.7 ± 0.7 ab	4.0		15.5 ± 0.8 ab	59 ± 8 a	4.9		1.08
S100	1.79 ± 0.12 ab	0.74 ± 0.03 ab	13.2 ± 0.8 ab	4.5		16.4 ± 0.7 a	61 ± 6 a	7.3		1.61
C200	1.83 ± 0.09 ab	0.76 ± 0.02 ab	13.9 ± 0.7 a	2.4		14.9 ± 0.5 ab	62 ± 11 a	3.7		
CM200	1.84 ± 0.03 a	0.81 ± 0.01 a	14.8 ± 0.3 a	3.0		16.9 ± 1.3 a	68 ± 3 a	7.3		
CS200	2.04 ± 0.14 a	0.73 ± 0.01 ab	15.0 ± 1.3 a	3.1		16.2 ± 0.7 ab	76 ± 18 a	11.1		
P0	1.24 ± 0.18 c	0.74 ± 0.04 ab	9.2 ± 0.8 c	—		13.5 ± 1.8 b	55 ± 11 a	—		
資材 ²⁾	*	n.s.	*			**	n.s.			
施肥量 ²⁾	**	*	**			n.s.	+			
交互作用 ²⁾	n.s.	**	n.s.			n.s.	n.s.			

乾物重, リン酸含有率, リン酸吸収量および乾物収量は平均値±標準偏差。異なるアルファベットは処理間で有意差があることを示す ($p < 0.05$, Tukey-Kramer)。

1) 利用率は, 各処理区のリン酸吸収量からP0区のリン酸吸収量の差し引き値を総リン酸施肥量で除して求めた (各処理区の平均値より算出)。なお, P200系列における利用率は, ふん尿処理物と化学肥料の合計のリン酸施肥量から求めた。本利用率から系列ごとに肥料換算係数を算出した。

2) **, *, +は $p < 0.01, 0.05, 0.10$, n.s.は $p < 0.10$ であることを示す (二元配置分散分析)。

乾物重およびリン酸吸収量について処理間差は認められないもの ($p > 0.05$), いずれの項目でも堆肥またはスラリー施用区は対照区と同等か, それよりわずかに高かった。同時期におけるリン酸利用率についても, 堆肥またはスラリーを施用した区は, 対照区と同等かわずかに高い場合が多かった。収穫期における各項目を処理間で比較すると, 2012年の乾物収量についてP0区と一部処理の間で差が認められるものの ($p < 0.05$), リン酸吸収量については処理間差が認められなかった。また, リン酸利用率についても処理間で一定の傾向はみられず, P100系列で4.9~11.1, P200系列で5.7~11.1の範囲にあった。P100系列における2カ年の肥料換算係数は0.70~1.61の範囲にあった。

考 察

試験を実施した2011および2012年の積算日平均気温は, 5月から9月の積算では両年ともに平年より約150℃高かったものの, リン酸肥効の影響がより大きいと考えられる播種後約2ヶ月間では平年並み (2012年) か, やや高い程度 (2011年) であり, 両年の乾物収量は当地域の基準収量に近かった。リン酸施肥量の効果は, 両年とも

に生育中期におけるリン酸含有率について認められ, 2012年では乾物重およびリン酸吸収量についても認められた。2012年では播種から生育中期までの積算気温が2011年よりも低かったため, リン酸施肥量の影響は2012年で2011年より大きかったと考えられた。なお, 本試験は各処理区の配置を固定し連用条件で行ったが, 2012年早春における各処理区の有効態リン酸含量は64~72 mg kg⁻¹の範囲にあり, 処理間で大差がないことから有機物連用の影響は小さいと考えられた。以上より, 本試験は, 当地域でリン酸肥効を検討する条件として妥当と考えられた。

生育や収量に対するリン酸資材の影響は2012年でのみ認められ, ふん尿処理物施用区で化学肥料単用区よりわずかに優る傾向にあった。このような傾向が, 播種から生育中期における気温がより低く, リン酸施肥量の効果が現れやすかった2012年で確認できたことにより, ふん尿処理物のリン酸肥効は栽培年の気象条件に関わらず期待してよいと考えられた。本試験では, 堆肥およびスラリー由来の全リン酸を単独で化学肥料の代替 (肥料換算係数を1.0と仮定) として施用したP100系列において, 化学肥料と同等以上の生育および収量が得られ, これら

のリン酸利用率（収穫期で4.9～11.1%）は化学肥料（同4.6, 11.4%）と概ね同等であった。複数の既報においても、牛ふん堆肥のリン酸肥効は化学肥料と同等以上と報告されており^{10, 23, 24)}、この理由として、牛ふん堆肥はク溶性リン酸や潜在的な水溶性リン酸を多く含むことが考えられる^{9, 22, 23)}。また、本試験では、ふん尿処理物を化学肥料と併用したP200系列において、化学肥料とふん尿処理物を合わせたリン酸利用率（収穫期で5.7～11.1）は、化学肥料を単独施用した場合（同3.7, 4.0）よりも高かった。この理由は、両者を併用することにより、土壌における化学肥料由来リン酸の不可給化が抑制された可能性が考えられる⁸⁾。なお、2012年の生育中期におけるリン酸含有率について、資材と施肥量の処理の交互作用が認められたのは、CM200区のリン酸含有率がM100区より有意に高いことによるものであるが、その理由は明らかではない。

これらのことから、北海道の中で特に寒冷な当地域でも、ふん尿処理物のリン酸肥効を考慮し化学肥料を減肥することが可能と考えられた。一方で、ふん尿処理物の単独施用条件において、供試したふん尿処理物の製造工程が同一であるにも関わらず、肥料換算係数には幅（0.70～1.61）があり、1.0を超える場合もみられたが、土壌型、施肥位置など、肥効が高まる施用条件については未検討であることから、過剰な減肥による減収リスクを高めない範囲で肥料換算係数を設定することが適当と判断した。

ふん尿処理物の施用にともなうリン酸減肥可能量を最大限見積もるためには、肥効を左右するリン酸の溶解性を考慮し施肥設計することが望ましい^{9, 22)}。しかし、生産現場での施肥設計を簡便にするためには、一般的な堆肥のリン酸の溶解性を想定し減肥基準を設定するのが現実的である。横田ら²⁹⁾は、牛ふん堆肥のリン酸の溶解性に対する主原料、副資材の種類と量、腐熟期間の影響を検討し、可給性の高い易溶性リン酸割合は腐熟期間が短いほど（6ヶ月未満で80%）、副資材の混入量が少ないほど（混入量30%未満で75%）高く、副資材としてパーク・おがくずを含む乳牛ふん堆肥で低い（混入量30%以上で60%）と報告している。これによると、堆肥中のリン酸のうち、易溶性画分を化学肥料と同等に利用できるとすれば⁹⁾、化学肥料の減肥可能量は全リン酸量の6～8割程度と考えられる。このことは、牛ふん堆肥のリン酸肥効率を60～100%（肥料換算係数として0.6～1.0）とする府県の見解¹⁵⁾、また肥料換算係数が0.7以上（肥効率として70%以上）と見込まれた本試験と概ね矛盾しない。そこで、同一製造場所でもふん尿処理段階における成分変動が一定程度あることも考慮し²¹⁾、乳牛ふん尿処理物のリン酸肥効を府県で提案されている肥効率60～100%の下限值、すなわち肥料換算係数として0.6と設定するの

が適当と判断した。なお、酪農地帯では、酪農場の規模拡大にともなってフリーストール牛舎が増加したこともあり、敷料の混合割合が低く高水分の堆肥、液状のふん尿処理物であるスラリーなど、腐熟度の高くないふん尿処理物の産出量が増加していることも踏まえると^{3, 28)}、乳牛ふん尿処理物の易溶性リン酸割合は比較的高いと考えられるため²⁹⁾、上記基準の適用による減収リスクは小さい。

以上より、ふん尿処理物のリン酸肥効が未検討であったトウモロコシに対し、乳牛ふん尿由来の堆肥およびスラリーのリン酸の肥料換算係数を0.6と設定した。

謝辞 本稿を取りまとめるにあたり、北海道立総合研究機構中央農業試験場 農業環境部長 中本 洋氏にご校閲頂いた。ここに、深く感謝の意を表する。

付記 本研究は、環境省の委託プロジェクト「湿原流域の変容の監視手法の確立と生態系修復のための調和的管理手法の開発」の成果の一部である。

引用文献

- 1) 土壌環境分析法編集委員会. 土壌環境分析法. 博友社, 東京, 1997, p.195-385
- 2) 北海道農政部. 北海道農業生産技術体系. 第4版, 北海道農政部, 札幌, 2013, p.305-350
- 3) 北海道農政部. 平成26年普及奨励ならびに指導参考事項. 北海道農政部, 札幌, 2014, p.152-153
- 4) 北海道農政部. 北海道施肥ガイド2015, 北海道農政部, 札幌, 2015, p.1-235
- 5) 北海道農政部. 北海道家畜排せつ物利用促進計画. 北海道農政部, 札幌, 2016, p.1-7
- 6) 北海道農政部. 北海道牧草・飼料作物優良品種一覧. 北海道農政部, 札幌, 2018, p.1-37
- 7) 北海道立総合研究機構農業研究本部. 土壌・作物栄養診断のための分析法. 2012, p.88-89
- 8) 加藤雅彦・小宮山鉄兵・藤澤英司・森國博全. 畑条件下での牛糞・鶏糞堆肥と重過リン酸石灰の併用による肥料由来の可給態リン酸の不可給化の抑制. 土肥誌. 81, 367-371 (2010)
- 9) Komiyama T, Ito T, Saigusa M. Measurement of the maximum amount of water-extractable phosphorus in animal manure compost by continuous and sequential water extraction. Soil Sci. Plant Nutr., 60, 196-207 (2014)
- 10) 河野憲治・尾形昭逸・丸本一城. 鉍質土と黒ボク土における添加有機物と化学肥料の窒素, イオウおよびリンの利用効率の比較. 土肥誌. 63, 146-153 (1992)

- 11) 松本武彦・寶示戸雅之. チモシー単播草地に施用した乳牛スラリーの化学成分変動に対応した窒素肥効の評価. 土肥誌. 76, 253-259 (2005)
- 12) 松本武彦・寶示戸雅之. チモシー単播草地に表面施用した乳牛堆肥の窒素無機化率を考慮した肥効評価. 土肥誌. 77, 407-412 (2006)
- 13) 水野直治・南 松雄. 硫酸一過酸化水素による農作物中N, K, Mg, Ca, Fe, Mn定量のための迅速処理法. 土肥誌. 51, 418-420 (1980)
- 14) 中辻浩喜. 土地利用方式からみた乳牛生産の評価. 日草誌. 55, 79-85 (2009)
- 15) 西尾道徳. 農業技術大系. 土壤肥料編第5-1巻畑, 堆肥の肥効率の検証, 農文協, 東京, 2006, p.162.8-162.15
- 16) 日本土壤協会. 堆肥等有機物分析法. 2010年版, 日本土壤協会, 東京, 2010. P.53-55
- 17) 農耕地土壤分類委員会. 農耕地土壤分類第3次改訂版. 農業環境技術研究所資料. 17, 1-79 (1995)
- 18) 農林水産省. 平成29年産作物統計 (普通作物・飼料作物・工芸農産物). 2018.
- 19) 農林水産省. 農業・農村・基本計画. 2020.
https://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/attach/pdf/index-13.pdf
- 20) 岡島秀夫・石渡輝夫. 土壤温度と作物生育とくにリン肥効との関連についてーその1 大豆幼植物の生育と地温. 土肥誌. 50, 334-338 (1979)
- 21) 大家理哉・鷲尾建紀・石橋英二. 牛ふんを主原料とする堆肥中リン酸並びにカリウム含量の変動特性. 岡山県農業研報. 9, 33-39 (2018)
- 22) 小田部裕・藤田 裕・植田稔宏・折本善之. クエン酸可溶性含量を指標とした家畜ふん堆肥中リン酸およびカリウムの肥効評価. 土肥誌. 85, 461-465 (2014)
- 23) 小柳 渉・和田富広・安藤義昭. 家畜ふん堆肥中リン酸の性質と肥効. 新潟県農業総合研究所畜産研究センター研究報告. 15, 6-9 (2005)
- 24) 瀧 典明. 畑地における家畜ふん堆肥中のリン酸の肥効. 東北農業研究. 56, 99-100 (2003)
- 25) 田村 忠・小倉紀美・前田善夫. 牧草サイレージ発酵品質に対する堆肥混入の影響および牧草収穫時の堆肥混入量の推定. 日草誌. 47, 68-71 (2001)
- 26) 戸澤英男. トウモロコシー歴史・文化, 特性・栽培, 加工・利用. 農文協, 東京, 2005. p.116-131
- 27) 八木哲生・酒井 治・松本武彦・三枝俊哉. 北海道根釧地域の飼料用トウモロコシ畑に連用した乳牛ふん尿由来堆肥およびスラリーの窒素肥効. 土肥誌. 90, 433-442 (2019)
- 28) 山田洋文. 家畜ふん尿処理における新技術導入の経営的評価:「セミソリッドふん尿用固液分離装置」を事例として. フロンティア農業経済研究. 15, 63-73 (2010)
- 29) 横田 剛・伊藤豊彰・小野剛志・高橋正樹・三枝正彦. 製造条件の異なる牛ふん堆肥の無機態リン酸組成. 土肥誌. 74, 133-140 (2003)

Phosphorus Fertilizer Conversion Factor for Cattle Manure and Slurry Applied to Maize Fields

Tetsuo YAGI^{*1}, Osamu SAKAI^{*2}, Takehiko MATSUMOTO^{*3}
and Toshiya SAIGUSA^{*4}

Summary

The fertilizer conversion factor is used for calculating the amount of available nutrients in organic matter, therefore, crucial for determining the proper amount of chemical fertilizer in the crop field which is applied animal manure and slurry. Hokkaido fertilizer recommendations for maize (*Zea mays* L.) define conversion factors for calculating the available nitrogen and potassium levels in cattle manure and slurry, but the conversion factor for phosphorus has not been ascertained yet. This study aimed to determine the phosphorus fertilizer conversion factor for cattle manure and slurry, respectively, applied to maize fields. We conducted field experiments using manure and slurry, separately, mainly composed of dairy cow feces and urine. The availability of phosphorus in both cattle manure and slurry were expected to be approximately the same as, or higher than, that of chemical phosphorus fertilizer. Based on our field experiments and previous literature, we determined that 60% of total phosphorus present in both cattle manure and slurry is expected to be equivalent to that in chemical phosphorus fertilizer. Therefore, we suggest that the phosphorus fertilizer conversion factors for both cattle manure and slurry are 0.60 respectively in maize fields.

^{*1} Hokkaido Research Organization Dairy Research Center. Nakashibetsu, Hokkaido, 086-1135. (Present; Hokkaido Research Organization Central Agricultural Experiment Station. Naganuma, Hokkaido, 069-1395 Japan.)

E-mail: yagi-tetuo@hro.or.jp

^{*2} Ditto. (Present; Hokkaido Research Organization Kitami Agricultural Experiment Station. Kunneppu, Hokkaido, 099-1496 Japan.)

^{*3} Ditto.

^{*4} Ditto. (Present; Univ. Rakuno Gakuen. Ebetsu, Hokkaido, 069-8501 Japan.)