HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	消石灰処理された家畜糞尿資材の水稲栽培における有効性
Author(s)	南雲, 俊之; 笛木, 伸彦; 波多野, 隆介
Citation	北海道大学大学院農学研究科邦文紀要, 23(4), 403-413
Issue Date	2001-03-23
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/12196
Type	bulletin (article)
File Information	23(4)_p403-413.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大農邦文紀要 23(4)：403～413，2001

消石灰処理された家畜糞尿資材の水稲栽培における有効性

南 雲 俊 之・笛 木 伸 彦*・波多野 隆 介
（北海道大学大学院農学研究科土壌学分野・*北海道立中央農業試験場）

Utility of Livestock Excreta Chemically Treated with Slaked Lime in regard to Paddy Rice Production

Toshiyuki NAGUMO, Nobuhiko FUEKI* and Ryusuke HATANO
(Laboratory of Soil Science, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, 060-8589 Japan
*Soil and Fertilizer Laboratory, Hokkaido Prefectural Central Agricultural Experiment Station, Iwamizawa, 069-0365 Japan)

I．はじめに

畜産は北海道における主要な産業の１つである．しかしながら，そこから発生する糞尿は，現物重で8600 Gg[1]，窒素に換算して120～133 GgN[2,3,4]に達し，地域によっては農地haあたりの窒素量が200 kgN/haを超える[5]と試算されている。この多量に発生する家畜糞尿の処理と利用が大きな課題となっている[3]。

家畜糞尿の処理は，堆肥化が主流であり，スラリー処理もされている[6,7,8]。堆肥化処理では，腐熟化の促進，水分減少だけでなく，フェノール類や低級脂肪酸といった成育阻害物質の分解除去や，病原菌や雑草種子を死滅させるために，中～高温で一定期間発酵させる必要がある[3,9]。その一手段として切り返し等が行なわれるが，ある調査では切り返し回数は散布時を含めて1.4回と少なく[6]，十分でない。また，北海道のような積雪・凍結がある寒冷地では十分な発酵温度に到達しにくいため，発酵が遅れる[1]。他方，堆肥化過程でのアンモニア揮散は，切り返し時に大きな放出フラックスを生じることが認められている[10,11]。すなわち，発酵を促進するための切り返し作業は，同時に，アンモニア揮散も助長している可能性がある。大気降下物としてのアンモニアは，潜在的酸性降下物とみなされ[12]，その増加が土壌酸性化や森林生態系の窒素飽和をもたらす原因となるため注目されている[13,14]。その主要な発生源として，畜産糞尿処理に伴うアンモニア揮散が挙げられている[15,16]。さらに，堆肥盤に屋根がなく野晒しにされる，堆肥盤とともにレキ汁タンクの容量が不足している，といった処理施設の不備もしばしば指摘されている[6,7,8,17,18,19]。これが糞尿そのものあるいは糞尿中の窒素を漏出させ，局所的な地下水の窒素汚染源になっていると疑われている[20]。

石灰処理は従来から発酵促進のために用いられていたが，近年，消石灰処理による化学的有機質肥料製造プラントが開発されてきた[21]。このシステムでは，反応槽においてスラリー状（水分80%，尿やレキ汁などを使って調整する）の原料に対して消石灰を３～５％（w/w）添加し，pH 12程度で反応させる。その後乾燥レーンにおいて，２週間程度で乾燥処理され，最終的に水分20～30%程度の資材が製造される。この消石灰処理では，１）低級脂肪酸が中和される，２）消石灰添加量が少ないため高温にはならない（20～30°C程度）ものの，ハエの発生防止や大腸菌の死滅に効果がある[22]，また，従来の堆肥化処理と比べて閉鎖的に処理されるため，３）発生したアンモニアはプラント内で回収できる，４）排水は反応時の水分調整に再利用される，といった環境保全上のメリットがあり，糞尿処理の一選択肢として有望であると考えられる。とはいえ，堆肥化処理でも消石灰処理のような化学処理でも，製造された

* 現在の所属：北海道立十勝農業試験場 Soil and Fertilizer Laboratory, Hokkaido Prefectural Tokachi Agricultural Experiment Station, Memuro, 082-0071 Japan

資材が有効に利用されなければ，家畜糞尿の問題は解決しない。

家畜糞尿は，草地，野菜畑などに施用される場合が多いのに対して，水田では現在ほとんど利用されていない。水田への堆きゅう肥施用実態を見ると，稲ワラ堆肥でさえ，近年の労働力不足や機械化作業の進展に伴ってその施用は大きく減少している[23,24]。むしろ稲ワラの焼却処分の増加に伴う煙害が社会問題となっている。さらに，これら堆きゅう肥の水田への施用は，とくに水稲生育後半の窒素供給力を高めるため，白米中タンパク含有率が上昇し，米の食味低下の原因となる[25]ことから，ますます敬遠されている。しかし，地力減退に対する懸念[26]とともに有機栽培への関心も社会的に高まっている。上述ような化学処理資材は，従来の堆きゅう肥と異なり，乾燥されて軽量であり，ペレット化も可能で，汚物感も軽減されている。これが化学肥料の代替として使用できるようになれば，余剰糞尿の需要も創出される可能性がある。

そこで，本研究では，1）消石灰を用いて化学的に処理された家畜糞尿資材（以下，消石灰処理資材と称す）の含有窒素の形態別割合を分析し，稲ワラ堆肥と比較してその窒素肥効を評価するとともに，2）現地農家水田において消石灰処理資材による家畜糞尿資材の施用試験を行い，土壌中での無機態窒素の消長と水稲の生育，収量を調査した。これらの結果から，消石灰処理資材の水稲栽培に対する利用可能性を評価した。

II．材料と方法

A．試験圃場と耕種概要

供試圃場は，北海道大野町に位置する。大野町の年平均気温は8.1°C，年平均降水量は681 mmで，5～10月の積算気温は2,897°Cである[27]。供試圃場の土壌タイプは，東前統に属する泥炭土[28]であり，表層から泥炭層が現れている。この圃場の作土の可給態窒素量を40°C 7日間湛水培養法[29]で測定した。

試験は1999年に行なった。処理区は，農家慣行に従って粒状化成肥料を施用した対照区と，消石灰処理資材のみを施用した消石灰処理資材区を設けた（Table 1）。施肥方法は，両区とも全量全層基肥施用とした。供試品種はきらら397，育苗は箱マット中苗とした。移植は，6条田植え機を用いて5月29日（以下，5/29のように示す）に行い，収穫は9/21に行なった。この年は，生育期間中の旬別気温が平年より2～4°C高温で推移し，5～9月の積算気温は2791°C（平年2561°C），日照時間も734 h（平年598 h）と多かった[27]。

なお，本研究で用いた消石灰処理資材は，牛糞，鶏糞と魚残渣をそれぞれ40，40，20%の割合で混合したものである。消石灰処理資材の表示成分は，pH 8.3，乾物（DM）あたり全窒素2.0%，C/N比12，リン酸（P_2O_5）2.4%，カリ（K_2O）2.6%，カルシウム（CaO）24%であった[21]。

B．資材中窒素の分画定量と可給度

Stewartらの方法[30]に従って，消石灰処理資材の形態別窒素量を測定した。また，40°C 7日間湛水培養して窒素無機化量を測定し[29]，これを可給態窒素量とした。このとき，比較のために，北海道立中央農試稲作部（岩見沢市）で調整された稲ワラ主体の堆肥も，同様に分析した。

C．土壌pH，Ehと土壌溶液のモニタリング

土壌pHとEh，および土壌溶液の測定は，6/5，7/10，8/6，9/9の4回行なった。土壌pHとEhは，作

Table 1　Fertilization and paddy rice cultivation practice.

Fertilization Practice (kg/10a)	
Control	Granulated Compound Fertilizer $N:P_2O_5:K_2O=8.0:10.7:12.0$
Slaked Lime Treated Excreta	'Yu-ki Blend Hiryo' (Cattle 4:Poultry 4:Fish Residues 2) $N:P_2O_5:K_2O=15.0:18.0:19.5$
incorporating the fertilizers to plow layer for both fields	
Cultivation Practice	
Rice Cultivars: 'Kirara 397'	
Planting Density: 26.5 stub/m² for Chemical Fertilizer Field	
27.5 stub/m² for Slaked Lime Treated Field	
Transplanting Date: May 29, 1999	
Harvesting Date: September 21, 1999	

土層（0～10 cm）にそれぞれ pH メーター（TOA 社製，ポータブル pH 計 HM－14 P）と ORP 電極（TOA 社製，PTS－2019 C）を挿入して，測定した。土壌溶液のモニタリングは，鳥山の方法[31,32,33]に従って，土壌溶液採取器（DAIKI 製，DIK－301 A）を用いて作土層，4 株中央部から採取した。なお，この採取器 10 本を 1 セットとし，各区 4 連で行い，50～80 ml の液量を得た。採取した試料は，実験室に持ち帰り，NH_4^+－N 濃度をインドフェノール青法によって，溶存ケイ酸濃度はモリブデン青法によって，Cl^-，NO_3^-－N，PO_4^{3-}－P，SO_4^{2-}－S 濃度をイオンクロマトグラフィーによって，Ca^{2+}，Mg^{2+}，K^+，Na^+ 濃度を原子吸光法によって測定した。

D．水稲の乾物重，養分吸収量の測定

7/10，8/6，9/9 と 9/21 に各区より 10 株ずつ 2 か所から水稲体を抜き取り，その 20 株を 1 連として，2 連で採取し，実験室に持ち帰り，常法[29]に従って乾物重と養分（N，P_2O_5，K_2O，SiO_2）含有率を測定した。

E．収量調査および玄米品質と白米成分の測定

収穫時（9/21）に，各区から 40 株ずつ 2 反復で刈り取り，はさ架けして乾燥させた。脱穀，籾摺りを行なった後，粒厚 1.95 mm 以上の玄米を精玄米とし，精玄米重（精玄米収量）を求めた。収量構成要素は，常法に従って調査した。玄米の外見的品質（良質米 High-Quality，未熟米 Immature，被害・着色米 Damaged，死米 Dead の割合）は，精玄米試料について品質判定機（静岡製機製）を用いて測定した。タンパクおよびアミロース含有率は，粉砕した精白米試料について，それぞれインフラライザー（BRAN＋LUEBBE 社製），オートアナライザー（BRAN＋LUEBBE 社製）を用いて測定した。

III．結　　果

A．消石灰処理資材の可給態窒素量

消石灰処理資材と稲ワラ堆肥はともに，有機態窒素が全窒素のそれぞれ 99，96％と，大部分を占めた（Table 2，G－A－B）。しかしながら，稲ワラ堆肥では，酸不溶性窒素が 710 mgN/100 gDM で，全窒素含有率の 34％と，難分解性有機態窒素が多かった（Table 2，F）。それに対して，消石灰処理資材の場合，10％KCl 可溶性有機態窒素含有率が 817 mgN/100gDM と全窒素含有率の 39％を占め，易分解性有機態窒素が極めて多かった（Table 2，C）。

また，消石灰処理資材の可給態窒素量は 577 mgN/100 gDM と，稲ワラ堆肥での 35 mgN/100 gDM と比べて極めて多く，上述の窒素組成と対応していた（Table 2）。したがって，消石灰処理資材は，稲ワラ堆肥と比べて，易分解性有機態窒素にきわめて富み，そのため可給態窒素が多いことが分かった。このことから，消石灰処理資材からの窒素供給は施用後速やかに起こると推察された。

なお，供試圃場の土壌可給態窒素量は 48 mgN/100 g 乾土であり，窒素肥沃度は極めて高かった。

Table 2　Nitrogenous composition and available nitrogen of slaked lime treated excreta and rice straw compost.

Nitrogenous Composition	10%KCl Extractable			6NHCL Extractable		Acid Unextractable	
	NH_4-N (A)	NO_3-N (B)	Organic-N[§] (C)	NH4-N[#] (D)	Organic-N[##] (E)	(Residue) (F)	Total (G)
	mgN/100g						
Slaked Lime Treated Excreta	15	10	817	92	872	333	2139
	(0.7)	(0.5)	(38.2)	(4.3)	(40.8)	(15.6)	(100.0)
Rice Straw Compost	5	77	26	184	1109	710	2111
	(0.2)	(3.7)	(1.2)	(8.7)	(52.5)	(33.6)	(100.0)

Avairable N	Avairable N Measured by Incubation Method mgN/100g
Slaked Lime Treated Excreta	577
Rice Straw Compost	35

Value in parentheses show the percentage of each fraction to total N content.
[§]Amount of organic N extracted by 10%KCl solution
[#]Amount of NH_4-N generated by 6NHCl hydolysis
[##]Amount of organic N generated by 6NHCl hydolysis

B．土壌pH，Ehおよび土壌溶液のアニオン・カチオン濃度

水田圃場における4株中央部での土壌溶液中のNH_4^+－Nの消長から基肥窒素の消失時期を知ることができ，これを境に土壌窒素無機化が水稲窒素吸収の律速要因になる[31,32,33]。また，4株中央部に水稲根が達していない生育初期(本研究では，6～7月)における土壌溶液のNH_4^+－N濃度の増加は，施用された堆きゅう肥と土壌窒素の無機化によるものと考えられている[31,32]。本研究において，移植直後の6/5における土壌溶液のNH_4^+－N濃度は，対照区では2.7 mgN/Lであったのに対して，消石灰処理資材区では1.5 mgN/Lと低かった（Fig. 1)。その後，幼穂形成期頃の7/10には，NH_4^+－N濃度は対照区で3.7 mgN/Lと上昇し，消石灰処理資材区では7.8 mgN/Lと著しく上昇した(Fig. 1)。しかし，8/6と9/9では，消石灰処理資材区で対照区よりわずかに高いものの，0.4 mgN/L以下と低く推移した（Fig. 1)。したがって，基肥施用した化学肥料および生育初期に無機化，集積した消石灰処理資材由来の窒素の消失時期はいずれも出穂期前にあり，その後，土壌窒素や施用した消石灰処理資材の窒素無機化が水稲窒素吸収の律速要因となることが確かめられた。また，対照区でも土壌窒素の無機化によって生育初期に土壌溶液中NH_4^+－N濃度の上昇が認められたものの，消石灰処理資材区でのその上昇は対照区と比べて極めて大きく，消石灰処理資材由来の窒素無機化が顕著に進んでいたと示唆された。

消石灰処理資材区の土壌Ehは，対照区に比べて全体に低く推移する傾向が見られたが，生育期間を通して100 mV以上に保たれていた（Fig. 1)。

土壌pHは，調査期間を通して，対照区と比べて消石灰処理資材区で0.5～1高かった。また，消石灰処

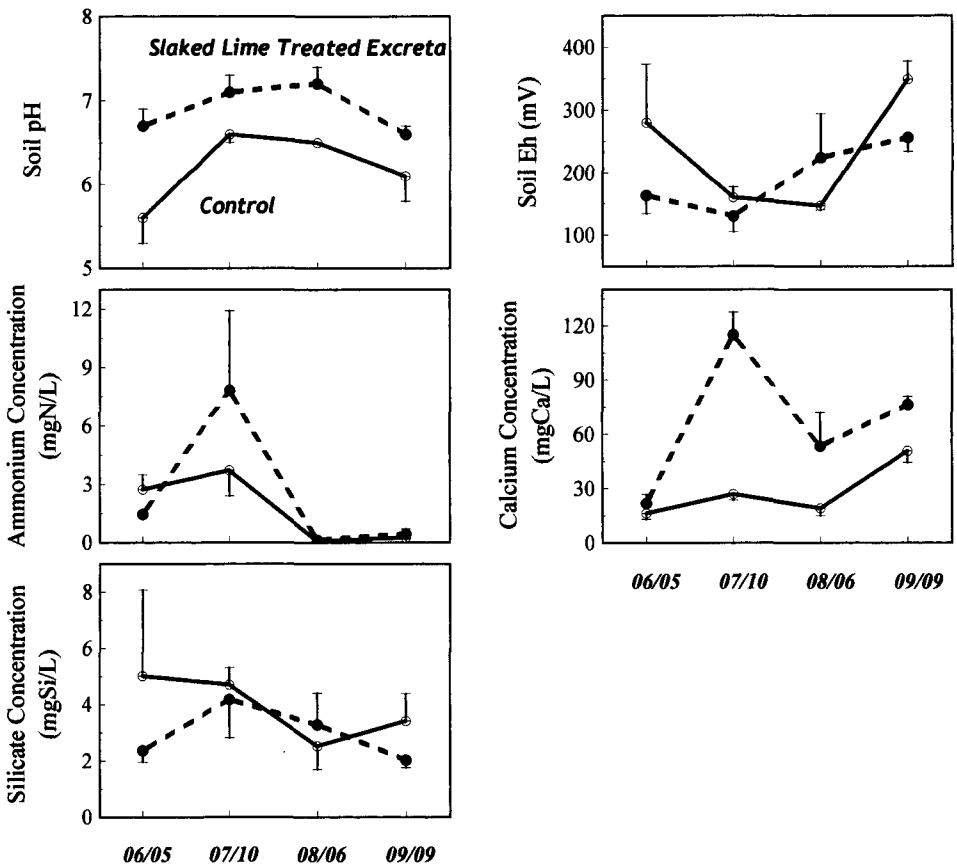

Fig. 1　Soil pH and Eh, and NH_4-N, Ca and Dissolved Silicate concentrations in soil solution.
Solid and broken line shows the data of control and slaked lime treated excreta plot, respectively, and the bars show standard deviation of the data.

理資材区での土壌溶液の Ca^{2+} 濃度は，対照区よりも明らかに高く，7/10には115 mg/Lに達した（Fig. 1）。これらのことは，消石灰処理資材のCaO含有率が高いためと考えられた。また，土壌溶液のSi濃度は，生育初期の6/5に対照区より消石灰処理資材区でやや低かったものの，その後両区とも3～5 mg/Lとほぼ同濃度で推移した（Fig. 1）。その他の成分については，処理区間で特徴的な傾向は示さなかった。

C．水稲生育と養分吸収

水稲の地上部乾物重は，7/10では対照区92 kgDM/10 aに対して消石灰処理資材区で78 kgDM/10 aと少なかったが，8/6には消石灰処理資材区で503 kgDM/10 aと対照区での504 kgDM/10 aに追いつき，収穫時の9/21では消石灰処理資材区で1,143 kgDM/10 aと対照区での974 kgDM/10 aをやや上回った（Fig. 2）。

水稲の窒素吸収量は，7/10では対照区2.1 kgN/10 aに対して消石灰処理資材区で1.7 kgN/10 aと少なかった。その後，8/6には消石灰処理資材区で8.6 kgN/10 aと対照区での8.3 kgN/10 aを越え，収穫時の9/21では消石灰処理資材区で14.2 kgN/10 aと対照区での11.2 kgN/10 aを上回った（Fig. 2）。このように，生育初期の消石灰処理資材区の地上部乾物重は，水稲の窒素吸収量が不足していたため，対照区と比べて不足していた。しかし，7月以降，生育が進むにつれて消石灰処理資材区の窒素吸収量は顕著に増加し，地上部乾物重が増加した。

また，消石灰処理資材区におけるリン酸およびカリ吸収量は，窒素の場合と同様に，対照区と比べて生育初期に少なく，生育後期に多くなる傾向を示した（Fig. 2）。ケイ酸吸収量も，同様の推移を示したが，生育期間を通して対照区よりも消石灰処理資材区で低かった（Fig. 2）。

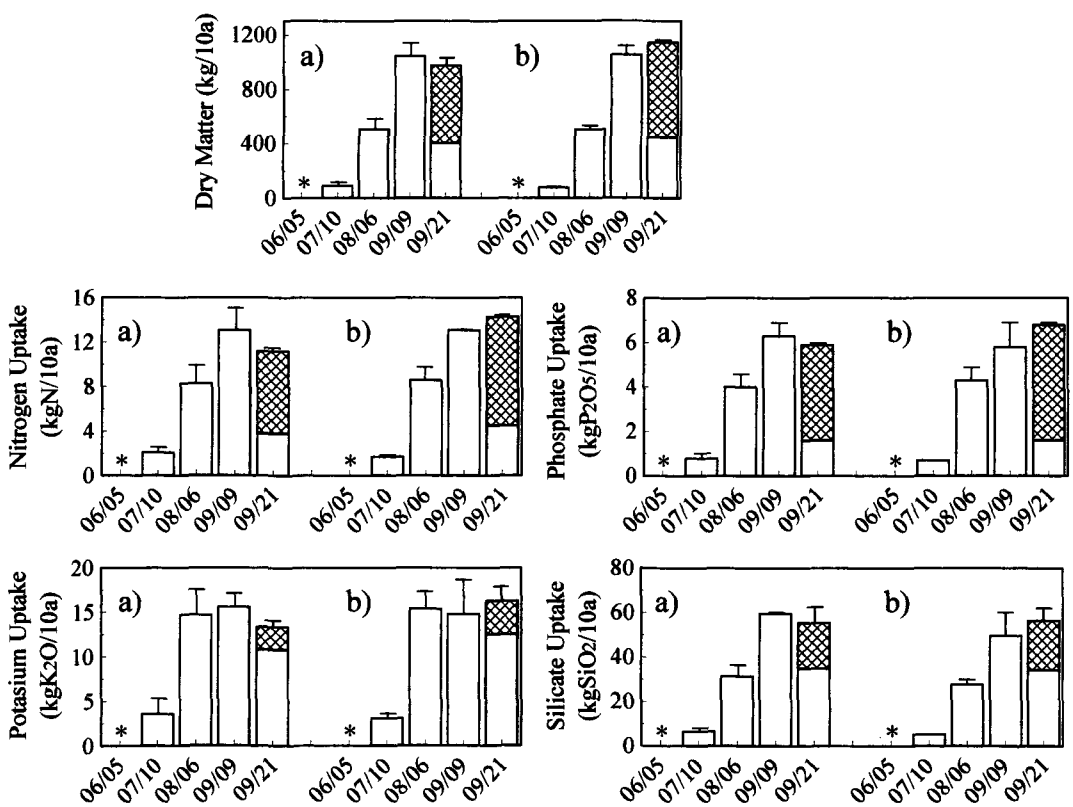

Fig. 2 Dry matter production and nutrient uptake of rice plant in a) control plot and b) slaked lime trated excreta plot. Open and shaded bar shows the values for stems & leaves and grains, respectively, and the bars show standard deviation of the total value. *not measured.

D．収量と収量構成要素

精玄米収量は，対照区491 kg/10 a に対して，消石灰処理資材区では564 kg/10 a と対照区より約70 kg/10 a，15%多かった(Table 3)。消石灰処理資材区では，とくに一穂あたりの籾数が55と，対照区での47より多く，穂数も584本/m² と対照区での527本/m² より多かった（Table 3)。その結果，消石灰処理資材区における総籾数は，31,800粒/m² で，対照区での24,700粒/m² より明らかに多かった（Table 3)。このことから，消石灰処理資材区における精玄米収量は，籾数の増加によると考えられた。

品種によって安定した形質である千粒重は24 g/1000粒で，ほぼ一定であった（Table 3)。また，不稔歩合も両処理区とも約3%とほぼ同じで，低かった（Table 3)。しかしながら，登熟歩合は，対照区での83%と比べて消石灰処理資材区では74%と低かった（Table 3)。

E．米の外見的品質と食味特性値

未熟米の割合は消石灰処理資材区で13%と対照区での6.1%よりも高く，逆に，良質米の割合は消石灰処理資材区で87%と対照区での94%よりも低かった（Table 4)。これらは，上述の登熟歩合と対応していた。

食味成分についてみると，白米中アミロース含有率は両区とも18%であり，やや低い値となっていた（Table 4)。しかしながら，白米中タンパク含有率は，現在目標とされている8%と比べると，対照区でも8.5%と高く，消石灰処理資材区では9.8%とさらに高かった（Table 4)。

IV．考　　察

消石灰処理資材区における水稲収量は，対照区よりも15%多かった(Table 3)。深山[34]は，窒素吸収パターンの地域性を検討し，暖地では千籾収量に

Table 3　Rice yield and yield component.

Yield	Unhulled Grain	Milled Grain	Screenings
		kg/10a	
Control	616±23	491±17	20±3
Slaked Lime Treated Excreta	705± 1	564± 2	26±0
Yield Component	Number of Ears	Grain Number of Individual Ears	Total Grain Number
	Number/m²	Grain/Number of Ear	100grain/m²
Control	527±23	46.9±3.7	247± 9
Slaked Lime Treated Excreta	584±49	54.5±1.2	318±20
	Sterility	Ripened Grain	Thousand-Kernel Weight
	%		g
Control	3.1±0.1	82.5±6.9	24.2±0.3
Slaked Lime Treated Excreta	2.8±0.3	73.9±5.2	24.0±0.1

Data show mean±SD in duplicate measurement (n=2)

Table 4　Looks-oriented quality of rice grain and some component involved rice taste.

Looks-Oriented Quality of Rice Grain	High Quality	Immature	Damaged	Dead
		%		
Control	93.8±1.2	6.1±1.1	0.1±0.1	0.0±0.1
Slaked Lime Treated Excreta	87.2±0.6	12.7±0.6	0.1±0.1	0.1±0.0
Rice Component	Amylose	Crude Protein		
	%			
Control	18.2±0.1	8.5±0.4		
Slaked Lime Treated Excreta	17.9±0.1	9.8±0.7		

Data show mean±SD in duplicate measurement (n=2)

よって収量が増加しているのに対して，寒地では籾数の増加によって収量が増加していると述べた。消石灰処理資材区では，対照区よりも総籾数が明らかに増加しており（Table 3），消石灰処理資材区での増収に結びついたと考えられる。

一般的に，総籾数は，幼穂形成期と出穂期の窒素吸収量で決定づけられる。北海道のような寒地においては，幼穂形成期から出穂期にかけての窒素吸収量が多いとされ[35]，とくに出穂期および/または幼穂形成期の水稲窒素吸収量と総籾数との有意な相関が認められている[34,36,37]。消石灰処理資材区での窒素吸収量は，対照区と比べて，生育初期に幾分少ないものの，幼穂形成期頃から増加していた（Fig. 2）。この時期の消石灰処理資材区における土壌溶液中 NH_4^+－N 濃度は，生育初期には対照区と比べて低かったが，その1か月後には大きく上昇していた（Fig. 1）。この NH_4^+－N は8月には消失しており，幼穂形成期から出穂期にかけてかなり多量の NH_4^+－N が供給され，水稲に吸収されたと推察された。北海道において N 含有率（1.7～9.1%），C/N 比（4.9～21.4），窒素無機化率の異なる資材を用い，化学肥料との代替率を変えて（30，50，100%）水稲栽培試験を行なった結果[38]では，いずれの資材も代替率が大きいほど総籾数が減少し，それと対応して収量が減少した。しかしながら，消石灰処理資材は易分解性有機物（有機態窒素）に富んでおり，一般的な堆きゅう肥よりも比較的早い時期から多量の窒素無機化が起こっていたと予期される。そのため，出穂期までの窒素吸収が確保され，総籾数の増加に寄与し，増収をもたらしたと考えられる[34,37]。

ところで，生育後期に窒素吸収が多いと，白米中タンパク含有率が高まることが明らかにされている。北海道では，低タンパク米生産のために，水稲に対する現在の窒素肥培管理は，生育初期，とくに籾数を決定づける幼穂形成期（7月）～出穂期（8月上旬）により多くの窒素を吸収させる一方で，出穂期以降は窒素吸収を抑える管理が推奨，指導されている[39]。しかしながら，泥炭土は気温，地温が上昇する生育後期に土壌窒素の無機化が増加し，水稲に多量の窒素吸収が起こるとされる[40,41]。実際に，本研究において，土壌の可給態窒素量は 48 mgN/100 g 乾土と極めて高かった。また，堆きゅう肥の施用によっても，その有機態窒素の無機化が気温，地温の上昇に伴って起こる。そのため，一般的に白米中タンパク含有率は泥炭土で他の土壌タイプと比べて高く，堆きゅう肥の施用によっても高まることが知られている[25]。その一方で，宮崎ら[42]は，堆肥施用区でも化学肥料施用区と水稲の窒素吸収パターンを同じにすれば，堆肥由来窒素も化学肥料由来窒素も玄米収量に対する効果に差がないことを認めている。消石灰処理資材の窒素供給パターンは，易分解性窒素に極めて富み，化学肥料に比較的近いと予期される。本研究では，対照区，消石灰処理資材区とも，基肥窒素消失時期は，ほぼ同じ8月上旬の出穂期前であった（Fig. 1）。しかし，消石灰処理資材区の水稲の窒素吸収は出穂期以降も大きく増加しており（Fig. 2），消石灰処理資材の有機態窒素の無機化が多量に起こっていたことを示唆する。また，本研究で用いた泥炭土は，窒素肥沃度が極めて高く，土壌窒素の無機化も起こったと推測される。そのため，白米中タンパク含有率は，現在目標とされている8%と比べると，対照区でも 8.5%と高く，消石灰処理資材区では 9.8%とさらに高くなったものと考えられた（Table 4）。

また，排水が悪く，易分解性有機物が多い水田土壌に堆きゅう肥を施用した場合，その分解に伴って強い還元状態となり，水稲の根系障害や養分吸収阻害が起こる可能性が指摘されている[43]。本研究では，泥炭土に対して易分解性有機物に富む消石灰処理資材を施用したにもかかわらず，消石灰処理資材区での土壌 Eh は，対照区と同程度の酸化的状態に保たれており（Fig. 2），還元障害はないものと思われた。

なお，消石灰処理資材区におけるリン酸およびカリ吸収量は，窒素の場合と同様の推移を示した（Fig. 2）。一般的に水稲生育にとって最も重要な肥料要素は窒素とされている。本研究でも，上述のように，消石灰処理資材施用による水稲収量と品質への効果は窒素で説明でき，それゆえ，リン酸とカリの効果は化学肥料の場合と同等であったと思われた。また，ケイ酸栄養は，収量増加だけでなく低タンパク米生産にも効果があるとされている[25,44,45]。本研究で，消石灰処理資材区における水稲のケイ酸吸収量は，ケイ酸資材を全く施用していない対照区より少なかったが（Fig. 2），この理由はわからなかった。

最後に，本研究において，消石灰処理資材の施用は，幼穂形成期頃からの多量の窒素供給によって増収をもたらしたものの，初期生育の不足や生育後期

の窒素供給による白米タンパク含有率の増加といった課題も認められた。今後，その改善のため，化学肥料との併用によって生育初期（幼穂形成期まで）の窒素供給を増加させるといった，最適な施用法を検討する必要が認められた。また，本研究は泥炭土を対象にして行なったが，今後，北海道において水田利用されている他の主要な土壌タイプ，すなわちグライ土や火山灰土についても検討する必要がある。さらに，堆肥施用の効果は気象条件によって変動が大きく，とくに遅延型冷害に遭うと成育遅延，登熟不良などの障害を招き，減収をもたらすことが指摘されている[46,47]。消石灰処理資材は従来の堆きゅう肥と特性が異なるとはいえ，本研究を行なった1999年は高温かつ日照の多い年であり，低温条件下での検討も必要であろう。

V. 要　　約

1）消石灰を用いて化学的に処理された家畜糞尿資材（消石灰処理資材）は，稲ワラ堆肥と比べて易分解性有機物に極めて富んでおり，多量の窒素無機化が起こり易かった。

2）泥炭土水田での栽培試験の結果，幼穂形成期までの窒素吸収量は対照区に比べて消石灰処理資材区でやや低かったものの，消石灰処理資材区では出穂期までの水稲窒素吸収量は対照区と比べて多く，その結果，総籾数が増加し，精玄米収量が増加した。

3）ただし，消石灰処理資材区では，白米中タンパク含有率が対照区と比べて高かった。

謝　　辞

株式会社サトー建機（現，株式会社ジー・イー・システムズ佐藤健治氏）には，本研究で用いた家畜糞尿由来の消石灰処理資材（製品名‘プロニュー’）を提供していただくとともに，現地調査に協力していただいた。また，大野町の春山忠夫さんには，試験圃場を提供していただき，日常の栽培管理の面倒を見ていただいた。深く感謝いたします。

引用文献

1）阿部英明：畜産におけるバイオマス資源量の把握と活用，北農，**59**(3)，35-41，1992

2）前田善雄：ふん尿処理利用の基本的考え方，あぐりぽーと（ホクレン営農技術情報誌），**21**，p 2，1999

3）北海道立農業・畜産試験場家畜糞尿プロジェクト研究チーム：家畜糞尿処理・利用の手引き，124 p，1999

4）南雲俊之，波多野隆介：北海道における食糧の生産・供給に伴って生ずる環境への窒素ロス，持続的農業経営システムの確立と食糧供給力への影響予測（平成11年度科学研究費補助金研究成果報告書，基礎研究A(2)，課題番号09356006，研究代表者黒河功），p 80-101，2000

5）宝示戸雅之：草地・畜産地帯における環境負荷の実態と今後の対策，北海道土壌肥料研究通信－第45回シンポジウム，p 23-27，1999

6）松本武彦，小山佳正，吉川直，能代昌雄：根室管内における糞尿の処理・利用の実態と問題点，北農，**60**(4)，380-384，1993

7）高橋圭二：草地酪農地帯における糞尿処理施設面からの問題点，北農，**63**，338-340，1996

8）Takahashi, K.: Current status and problems confronting dairy manure management in Hokkaido, Proceedings of International Workshop on Environmentally Friendly Management of Farm Animal Waste (T. Matsunaka ed.), held in Sapporo, Nov. 25-29, 1997, p231-235, 1998

9）羽賀清典：堆肥化処理，畜産環境保全論（押田ら編），p 56-60，養賢堂，東京，1998

10) Tamura, T., T. Katayama and K. Haga: Emission patterns of malodorous compounds and greenhouse gases from the pile-type composting of cattle manure, *Anim. Sci. J.*, **70**(4), 235-239, 1999

11) 湊啓子，田村忠，前田善夫：過リン酸石灰添加による牛ふん尿の堆肥化過程におけるアンモニア揮散抑制，新得畜試研究報告，**23**，17-24，2000

12) Galloway, L. N.: Acid deposition: perspectives in time and space, *Water, Air and Soil Pollution*, **85**, 15-24, 1995

13) Baba, M. and M. Okazaki: Acidification in nitrogen-saturated forested catchment, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **44**(4), 513-525, 1998

14) Currie, W. S., J. D. Aber, C. T. Doriscoll: Leaching of nutrient cations from the forest floor: effects of nitrogen saturation in two long-term manipulations, *Can. J. Forest Res.*,

29, 609-620, 1999
15) Sommer, S. G. and N. Hutchings: Techniques and strategies for reduction of ammonia emission from agriculture, *Water, Air and Soil Pollution*, **85**, 237-248, 1995
16) Ferm, M.: Atmospheric ammonia and ammonium transport in Europe and critical loads: a review, *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, **51**, 5-17, 1998
17) 長尾正克：家畜糞尿の完結的農地還元法の効果，北農，**63**，370-373，1996
18) 松本武彦：北海道の草地酪農地帯における家畜糞尿の利用と問題点，北海道土壌肥料研究通信－第44回シンポジウム，p 39-58，1998
19) 鵜川洋樹，横山繁樹，A. E. Luloff：十勝酪農における糞尿処理と環境問題意識，北海道農試農業経営研究，**77**，11-24，1998
20) Nagumo, T. and R. Hatano: Nitrogen losses to the environment with production and consumption of food in Hokkaido, Proceedings of International Symposium of Bio-Recycleing/Composting, held in Sapporo, Sep. 6-8, 1999, Poster Session p37-39, 1999
21) サトー建機：プロニュー技術提案設計書，47 p，1999
22) 石山英光，山下滋貴，井上尊尋：家畜ふん尿の生石灰添加処理，福岡農総試研報，**C-3**，85-90，1984
23) 前田要：土壌管理と施肥技術―稲作―，北農，**58**，21-25，1991
24) 北海道農政（農務）部：米に関する資料：生産・価格・需要，1981～1997
25) 稲津脩：北海道産米の食味向上による品質改善に関する研究，北海道立農業試験場報告，**66**，1-89，1988
26) 農林水産技術会議事務局：土壌環境の変化に起因する稲作不安定化要因の解明と対策技術の開発，研究成果234，140 p，1990
27) 北海道立道南農業試験場：大野町の気象，http://www.agi.pref.hokkaido.jp/dounan/zyoutyo/kisyo.htm；平成11年度作況報告，http://www.agi.pref.hokkaido.jp/dounan/sakumoto/sakkyo11.htm,2000
28) 北海道立中央農業試験場：地力保全基本調査成績書，渡島南部地域上磯町・七飯町・大野町，101 p，1975
29) 北海道立中央農業試験場と北海道農政部農業改良課：土壌および作物栄養の診断基準―分析法（改訂版）―，109 p，1992
30) 井田明，深山政治，森哲郎，徳永美治：有機態窒素の分画定量法，土壌養分分析法（土壌養分測定法委員会編），p 201-209，1997
31) 鳥山和伸：真空採決管を利用した水田土壌窒素の簡易モニター法，農及園，**63**(6)，52-56，1988
32) 鳥山和伸，石田博：土壌溶液モニター法による水田土壌中の NH_4－N 消失時期の把握，日土肥誌，**58**(6)，747-749，1987
33) 鳥山和伸：水稲の成育予測と土壌窒素の無機化，水田土壌の窒素無機化と施肥（日本土壌肥料学会編），p 125-156，博友社，東京，1990
34) 深山政治：水稲の最適窒素保有量と土壌窒素吸収パターンからみた施肥，水田土壌の窒素無機化と施肥（日本土壌肥料学会編），p 63-97，博友社，東京，1990
35) 関矢信一郎，志賀一一：北海道における水田土壌中の窒素の動態と水稲の窒素吸収パターンについて，日土肥誌，**46**，280-285，1975
36) 三浦周，坂本宣崇，古山芳廣：寒地における側条施肥水稲に対する窒素追肥の影響，道立農試集報，**63**，31-39，1991
37) 今野一男，宮森康雄：異なる移植方式における水稲側条施肥の肥効，道立農試集報，**72**，1-9，1997
38) 北海道立中央農業試験場稲作部栽培第一科：有機物の窒素無機化特性と水稲に対する化学肥料代替限界（水稲における有機栽培管理技術の確立），平成7年度北海道農業試験会議（成績会議）資料，9 p，1995
39) 北海道農政部，北海道立農業試験場：低蛋白米生産をめざした水田土壌窒素診断の手引き，1998
40) 石塚喜明，田中明：泥炭地稲作の土壌肥料学的研究―特に泥炭地水田に於ける客土が水稲の生育相並びに養分吸収に及ぼす影響について―，北農試集報，**69**，86-102，1956
41) 志賀一一，宮崎直美：泥炭地水田の特性と施肥法，泥炭地の農業―泥炭地研究室創立50年記念論文集―（北海道農業試験場），p 187-226，1969

42) 宮崎直美，関矢信一郎，志賀一一：寒地水稲に対する有機物由来窒素と肥料由来窒素の効果比較，北海道農試研報，**129**，137-153，1981
43) 橋本秀教：粗大有機物施用の効果，有機物施用の理論と応用，p 129-155，農文協，東京，1977
44) 宮森康雄：低タンパク米生産におけるケイ酸の役割とその診断指標，日土肥誌，**67**，696-700，1996
45) 柳原哲司，宮森康雄，藤倉潤治，稲津脩，関口久雄，谷口健雄：客土による泥炭地産米の食味向上，北農，**59**，76-81，1992
46) 宮崎直美，古賀野完爾，久津那浩三，関矢信一郎：寒地水田における堆肥施用が窒素的土壌肥沃度と水稲生育に及ぼす影響，北海道農試研報，**145**，13-29，1986
47) 関矢信一郎，君和田健二：水稲冷害と土壌肥料，日土肥誌，**66**，686-696，1995

Summary

Serious issues are involved with the processing and utilization of the large amount of livestock excreta generated in Hokkaido. Although livestock excreta had generally been processed by composting, the chemical treatment of excreta provides some environmental benefits. In light of this, we evaluated the utility of livestock excreta chemically treated with slaked lime in regard to paddy rice production.

1) Livestock excreta chemically treated with slaked lime (slaked lime-treated excreta) contains a large amount of easily decomposable organic nitrogen (N) as compared to rice straw compost. Consequently, a large amount of N mineralization was considered to occur easily in the case of slaked lime-treated excreta.

2) From the results of cultivation experiments conducted in a peat soil field, the rice N uptake rate in the plot to which slaked lime-treated excreta had been applied was larger than that in the plot to which chemical fertilizer had been applied until the heading stage of rice growth, even if the N uptake rate in former plot was lower compared with that in latter plot up to the young ear formation stage. Consequently, the rice yields in the field applied with slaked lime-treated excreta was increased, compared with the yields of the chemical-fertilizer field.

3) However, the protein content of milled rice was higher in the plot applied with chemical fertilizer than in the plot to which slaked lime-treated excreta had been applied.