

16.2 肥培灌漑による生産環境改善効果の解明

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：寒地農業基盤研究グループ（資源保全）

研究担当者：横濱充宏、大深正徳、桑原淳、山田章

【要旨】

肥培灌漑による曝気スラリー散布が土壌理化学性や牧草収量に及ぼす影響を検証した結果、肥培灌漑圃場では、土壌表層において膨軟化や、排水性、肥料の保持能力などの改善が、また、目標値以上の牧草収量の維持が認められ、肥培灌漑による作物生産性の向上効果が確認された。さらに、肥培灌漑圃場では無機態窒素の下層への集積は認められない。

キーワード：肥培灌漑、曝気スラリー、土壌理化学性、牧草、環境

1. はじめに

北海道の酪農地帯では、これまでに国営、道営等による農業農村整備事業の進捗に伴い肥培灌漑施設が広く普及してきた。この肥培灌漑施設は、灌漑水により希釈した乳牛ふん尿を液肥として草地圃場に散布するシステムである。従来、このシステムの導入は作物生産性の向上や営農の効率化など生産環境改善効果を主な目的としてきたが、昨今では、環境保全への国民の関心が高まる中、この施設がもたらす環境負荷抑制効果についても期待されるようになってきている。

しかしながら、もたらされる効果の検証にあたっては、システム導入によるふん尿取り扱い性の向上や消化液施用に伴う土壌物理・理化学性改善とこれに伴う環境負荷物質の保持能力の増大、さらには土壌・牧草間の重金属収支の変化など、定量、定性的な解明には長期的な観測が必要とされるものが多い。

そこで、本研究課題では下記3項目についての研究を実施することとした。個別処理システムによる生産環境改善効果および環境負荷軽減効果が経済性も含めて明らかにされ、共同型処理技術に関する成果と対照されることにより、嫌気・好気処理、共同・個別処理の選択・組み合わせによる地域に最適なバイオマスの循環利用方法の提案が図れる。

1) 個別処理システムの生産環境改善効果の解明 (H20～22)、2) 肥培灌漑土壌における環境負荷物質収支の解明 (H20～22)、3) 個別処理システムによる環境負荷改善効果の解明 (H21～22)、4) 草地農地の肥培灌漑効果のまとめ (H22)。

平成 20 年度は、上述 1) ならびに 2) に関連して、曝気

スラリー散布が土壌理化学性と牧草収量に及ぼす影響について検証するとともに、肥培灌漑土壌における無機態窒素の集積状況を調査し、環境負荷物質収支の解明に向けての初期値を整理した。

2. 個別処理システムの生産環境改善効果の解明

家畜ふん尿を曝気処理した曝気スラリーは窒素、リン酸、カリウム等の肥料成分を含み、牧草地に液肥として散布すれば、長期的には土壌の理化学性を改善するとともに牧草収量・品質にも影響を及ぼすと考えられる。

そこで、曝気スラリーの長期散布が牧草地土壌の理化学性と牧草収量・品質に及ぼす影響を検証した。

2.1 調査方法

曝気スラリー散布の実績があるA町内で13箇所の牧草地を調査圃場に選定し、肥培灌漑の有無、あるいは肥培灌漑期間の長短に伴う土壌理化学性への影響を調査した。調査対象の牧草地の概要を表-1に示す。これらの調査圃場においてそれぞれ土壌調査と牧草収量調査を実施した。

土壌調査は、1圃場につき6箇所で、深さ0～5cm（以下：表層1層目）と5～10cm（以下：表層2層目）の2層から土壌試料を採取し、下記の分析を行った。

(1) 腐植：乾式燃焼法、(2) 塩基置換容量 (CEC)：ショーレンベルガー水蒸気蒸留法、(3) 交換性塩基 (Ca、Mg、K) ショーレンベルガー原子吸光度法、(4) pH(H₂O)：ガラス電極法、(5) 容積重：炉乾燥法、(6) 三相比：実容積測定法、(7) 孔隙分布：遠心法

ただ、肥培灌漑が土壌の理化学性に及ぼす影響を検証するためには、牧草地土壌では、土壌表層の性状把握が

重要となることから^{1), 2)}、一般的には、肥培灌漑圃場と非肥培灌漑圃場の表層1層目の土壌分析値を単純に比較することが考えられる。しかし、この方法では、農家の管理手法の違いや、地形条件の違いに由来する土壌理化学性の変異幅が大きく、肥培灌漑による影響のみを抽出できない。そこで、肥培灌漑による効果のみを抽出する評価方法として、表層1層目の土壌分析値から、表層2層目の土壌分析値を差し引いた値(以下:層差)によって比較する方法を採用した。これで、草地更新作業等の他の要因に由来する差異を分離することができる。

また、牧草収量調査は、13調査圃場の内、9つの採草地(肥培灌漑圃場7圃場、非肥培灌漑圃場2圃場)において1番草を対象に行った。調査した採草地は全てチモシー主体のクローバ混播草地であった。牧草の刈取り時期はチモシーの穂前期とした。牧草試料について、新鮮重、乾物重、牧草割合、雑草割合の測定を行い、下記に示す成分分析を行った。

- (1)粗蛋白質、(2)可消化養分総量:以上、近赤外分析法、
- (3)硝酸態窒素:クロマトグラフ法

表-1 調査圃場の概要

番号	調査圃場状況		
	利用形態	更新後年数	曝気スラリー散布年数
①	採草地	20年	18年
②	放牧地	2年	18年
③	放牧地	16年	18年
④	採草地	3年	4年
⑤	採草地	15年	7年
⑥	採草地	23年	10年
⑦	採草地	12年	11年
⑧	採草地	6年	12年
⑨	採草地	16年	12年
⑩	採草地	3年	散布なし
⑪	採草地	7年	散布なし
⑫	放牧地	20年	散布なし
⑬	放牧地	15年	散布なし

2.2 調査結果

2.2.1 土壌化学性への影響

(1) 腐植の集積

腐植は、土壌団粒構造の形成に重要といわれており、団粒構造が発達した土壌には、後述する土壌の肥力増大や土壌の排水性、保水性の改善といった効果も期待さ

れる³⁾。直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と腐植含量層差の関係を図-1に示す。

牧草地土壌においては、年数の経過とともに、牧草の根や牧草地上部が枯死脱落することで、土壌表層を中心に有機物が集積していく。そのため、本調査圃場の非肥培灌漑4圃場(散布年数0年にプロットした赤丸、後続の図も同様)においても、表層1層目に腐植の集積が確認された。

一方、肥培灌漑圃場(図中の橙色のプロット、後続の図も同様)では、曝気スラリー散布開始から5~6年目までは非肥培灌漑圃場と比較しても腐植含量層差に大きな差は見られなかった。しかし、その後散布年数の増加に伴い、土壌表層における腐植含量の集積が顕著となった。この近似曲線の決定係数R²は0.74と極めて大きく、危険率1%で有意であった。この散布図から判断すると、肥培灌漑による腐植の集積が顕著となるのは、曝気スラリー散布開始から5~6年が経過した後と分かる。

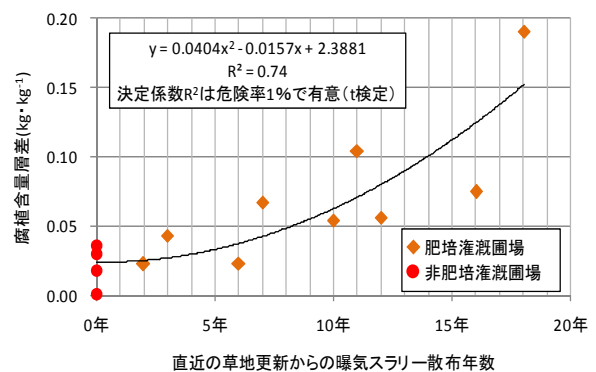


図-1 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と腐植含量層差の関係

(2) 塩基置換容量の増大

土壌が持つ肥力の大小は、塩基置換容量の大小で表すことができる³⁾。塩基置換容量が大きければ、土壌は植物の栄養分であるカルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、カリウム(K)をより多く保持できるようになる。これら塩基はアルカリ性を呈し、下層へ溶脱せずに表層に保持されれば、土壌表層の酸性化防止効果も期待できる。直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と塩基置換容量層差の関係を図-2に示す。

非肥培灌漑圃場と比較すると、肥培灌漑圃場では、曝気スラリー散布開始から5~6年目までは土壌表層における塩基置換容量に明確な増大傾向は見られなかった。しかし、その後2次曲線的に増大しているのが分かる。この近似曲線の決定係数R²は危険率1%で有意であった。

以上より、塩基置換容量の増大効果が見られるのは、腐植の集積と時を同じくして、曝気スラリー散布開始から5~6年と推測される。

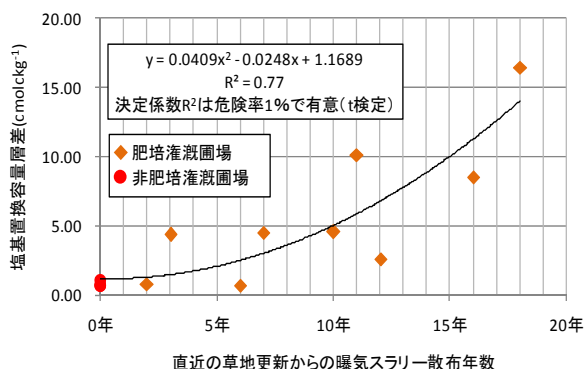


図-2 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と塩基置換容量の関係

(3) 塩基の集積

塩基置換容量が大きい圃場では、Ca、Mg、Kなどの塩基が保持されやすくなる。また、曝気スラリーには塩基が含まれているため、毎年継続的に曝気スラリーを散布している圃場では、塩基の供給量が多くなる傾向がある。

これらを反映して肥培灌漑圃場の表層にはCa、Mgが集積している様子が確認された(図-3、4)。それぞれの決定係数R²は、Caが危険率1%で有意であり、Mgが危険率5%で有意であった。図-3をみると、非肥培灌漑圃場では、層差が負の値となっており、Caが表層1層目から下層土へ溶脱していたことが推測される。一方の肥培灌漑圃場では、直近の草地更新から曝気スラリー散布年数が10年を過ぎたあたりで、表層におけるCaの集積傾向が顕著となり、その後飛躍的に増大した。肥培灌漑によりCaが表層に保持されやすくなったと推測される。またMgは、曝気スラリーの散布直後から表層に集積する傾向が認められたが、散布から15年を過ぎたあたりで横ばいになった(図-4)。

また、Kの集積については、明確な傾向が認められなかった(図-5)。これは、人為的な加里系化学肥料の投入量の違いが、土壌表層のKの集積に大きく影響を及ぼしているためであろう。家畜ふん尿中にはKが多いことから、減肥を伴わない化学肥料と曝気スラリーの施用はKの集積を招きやすく、これを原因とする牛のMg欠乏症状の発生を招きやすい⁴⁾。逆にKの欠乏は、マメ科牧草の衰退を招き、根粒菌による窒素固定機能の停止から最終的に草地の荒廃化と連鎖的な影響が生じる²⁾。したがって、曝気スラリー中のK濃度を分析した上で、Kの施肥

計画を立てることが重要と考えられる。

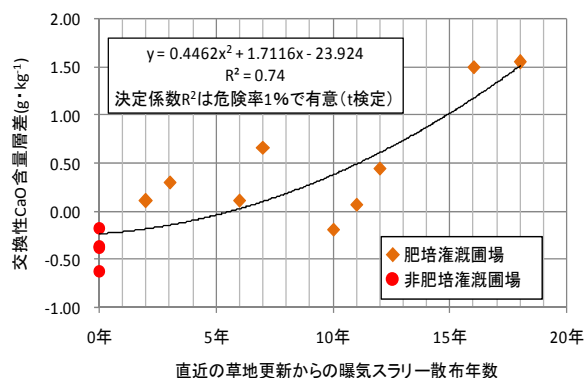


図-3 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と交換性CaO含量層差の関係

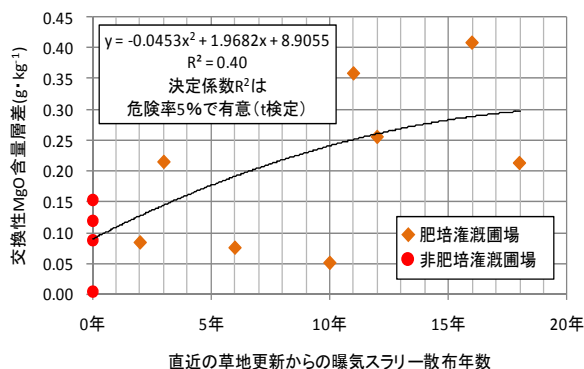


図-4 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と交換性MgO層差の関係

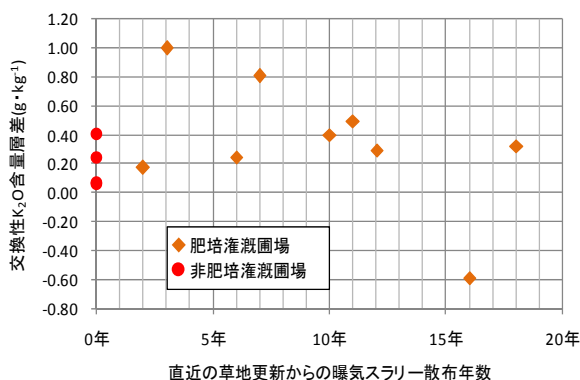


図-5 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と交換性K₂Oの経年変化

(4) 土壌 pH

牧草地土壌の特徴の1つに、表層1層目の酸性化がある。牧草地土壌は、硫安などの生理的酸性肥料を施肥し続けると、表層1層目の酸性化が進行する¹⁾。しかし、牧草は肥料なしでは生育できないため、施肥と酸性化防

止策の組み合わせが重要となる²⁾。特に、今回調査を行った疑似グライ土の牧草地では、土壌表層における pH の値が、草地更新の 1 指標とされている⁵⁾。今回 pH のデータを集めることができた、肥培灌漑 5 圃場の土壌表層 1 層目、2 層目における pH の値を図-6 に示す。

図-6 から、曝気スラリー散布年数が 7 年目のデータ以外では、表層 1 層目と表層 2 層目の pH の差は -0.1~0.3 程度であり明確な差は認められなかった。また、土壌表層 1 層目の pH だけに着目すると、直近の草地更新から曝気スラリー散布年数が 10 年以上を経過した牧草地であっても、pH の値は 5.0~5.5 と許容値の範囲内を維持していた。このことから、肥培灌漑圃場の表層 1 層目においては、草地更新からの経過年数に伴う急激な酸性化が進行していないことが推測される。

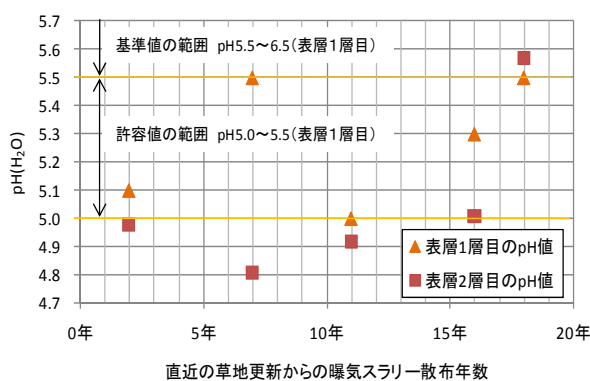


図-6 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と表層 1 層目・2 層目の pH(H₂O)

2.2.2 土壌物理性への影響

(1) 土壌の膨軟化

牧草地土壌では大型機械の走行等により土壌表層は圧縮される。牧草地土壌が圧縮されると容積重や固相率が增大する。このような土壌物理性の悪化が進行していくと、植物の根の伸長と養分の吸収が円滑に行われなくなるため、土壌化学性の改善効果も小さくなる⁷⁾。特に、疑似グライ土の牧草地では排水性、通気性が不良で乾燥によって堅密化しやすい⁸⁾。直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と容積重層差の関係を図-7 に、同じく曝気スラリー散布年数と固相率層差の関係を図-8 に示す。

これらの図から、肥培灌漑圃場では散布年数の増加とともに容積重と固相率が直線的に低下しているのが分かる。この散布図の近似曲線の決定係数 R²は容積重、固相率ともに危険率 1% で有意であった。このように、肥培

灌漑圃場では容積重と固相率の低下、つまり土壌の膨軟化が顕著に進行していた。曝気スラリーの長期的散布は、土壌表層の堅密化を防ぎ、植物の根の伸長に役立つといえる。

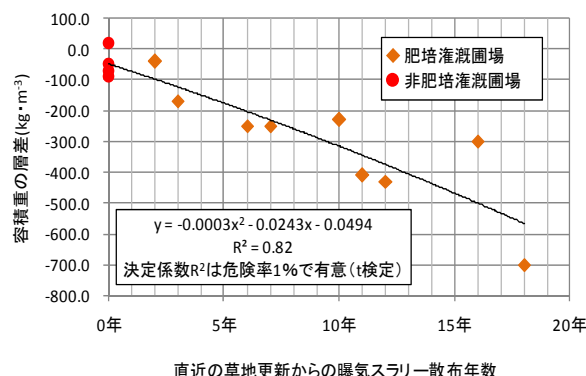


図-7 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と容積重層差の関係

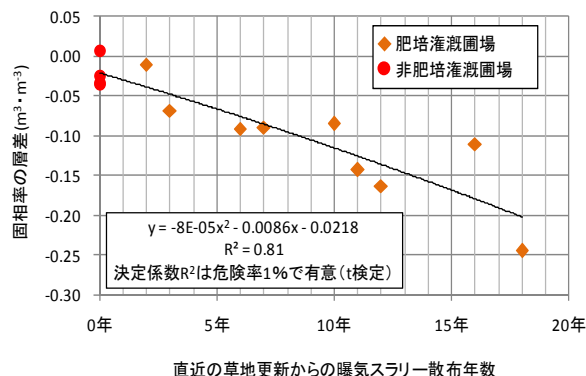


図-8 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と固相率層差の関係

(2) 排水性・通気性の改善

土壌の排水性・通気性が改善されたかどうかは、土壌の粗孔隙量が増大したかどうかで評価できる。これは粗孔隙量が、余剰水分の迅速な排水と大気への流入に関与しているからである²⁾。図-9 に直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と粗孔隙量層差の関係を示す。肥培灌漑圃場では、曝気スラリーを長期的に散布している圃場ほど、粗孔隙量が増大している。また、非肥培灌漑圃場との差が生じ始めるのは、曝気スラリー散布開始から 5~6 年が経過した後であることが分かる。この近似曲線の決定係数 R²は危険率 1% で有意であった。以上より、長期的な曝気スラリーの散布は、営農機械の走行による粗孔隙量の減少を防ぐだけでなく、粗孔隙量の増大による排水性・通気性の改善をもたらしているといえる。

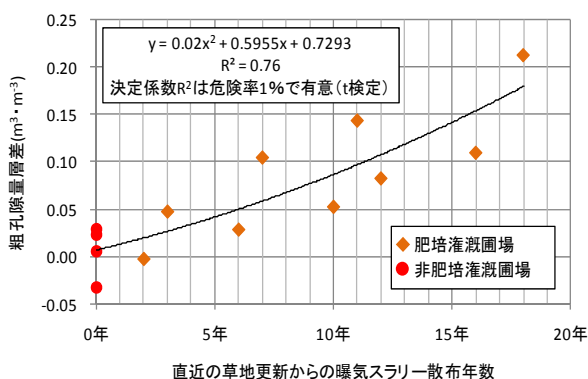


図-9 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と粗孔隙量層差の関係

(3) 保水性の改善

易有効水分孔隙量は、植物が容易に吸収できる水分の保持にかかわる孔隙であり、作物の水分供給において、重要な役割を担う。図-10 に直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と易有効水分孔隙量層差の関係を示す。

粗孔隙量の増加ほど明確ではなかったが、肥培灌漑圃場では、曝気スラリーの散布年数の増加に伴って、徐々に易有効水分孔隙量が上昇しているのが読み取れる。この時の近似曲線の決定係数 R^2 は危険率5%で有意であった。曝気スラリーの散布は牧草地土壌表層の保水性を増大させる効果があるといえる。

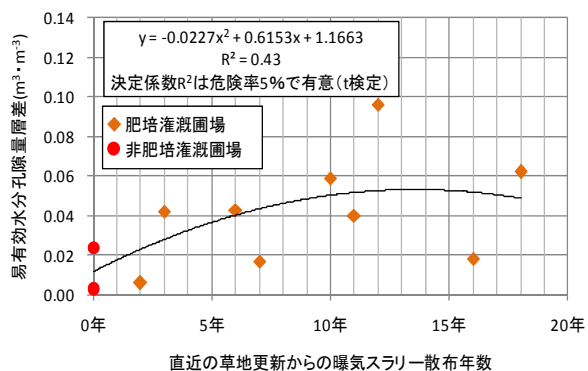


図-10 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と易有効水分孔隙量層差の関係

2.2.3 牧草収量への影響

(1) 生産量の改善

直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と乾物収量の関係を示す(図-11)。なお、乾物収量は雑草を取り除いた牧草のみの重量とし、プロット横の数字は、直近の草地更新からの年数を示した(後続の図も同様)。さらに、1番草乾物の目標収量は、チモシー主体草地の地域

別平均乾物収量データにおける道北地方の値 479kg/10a とした⁹⁾。

牧草収量は、多くの場合、草地更新から4~6年目にピークを迎え、その後は牧草個体の消滅と雑草の進入によって低下していく。しかし、肥培灌漑圃場の乾物収量にはそのような傾向が見られず、直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数が増えるに従って、徐々にではあるが増加傾向を示した。その結果、曝気スラリー散布から18年を経過した圃場でも高い収量を維持していた。さらに、直近からの草地更新年数が23年目(曝気スラリー散布年数は10年目)を迎える草地であっても乾物収量は529kg/10aと目標収量以上であった。この近似曲線の決定係数 R^2 は危険率5%で有意であった。

以上より、曝気スラリーの長期散布は、牧草収量の経年的な低下を防ぐだけでなく、目標収量の維持に寄与しているといえる。

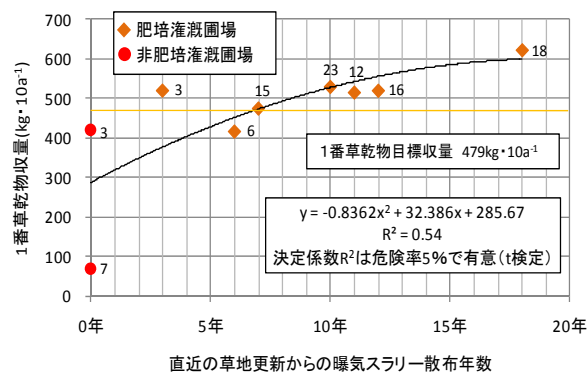


図-11 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と1番草乾物収量の関係

(2) 草種構成割合の維持

牧草収量は、裸地の割合や雑草の進入に左右されるため、草地の草種構成割合と密接な関係がある¹⁰⁾。例えば、収量の多い草地では、主体となるイネ科牧草の割合が十分であって、雑草や裸地の割合が少ない傾向がある¹¹⁾。

直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と主体イネ科牧草であるチモシーの全生草重(雑草を含む)に対する割合の関係を図-12に示す。

肥培灌漑圃場では、直近の草地更新から曝気スラリー散布年数が10年以上を経過した牧草地であっても、チモシーの全生草重に対する割合は、80%以上が維持されていた。さらに、直近からの草地更新年数が23年を迎える草地でもチモシーの割合は89%であった。

このことから、肥培灌漑圃場では、直近の草地更新からの年数経過による、主体イネ科牧草の減少が認められず、長期間にわたってチモシーが維持されているのが分

かる。

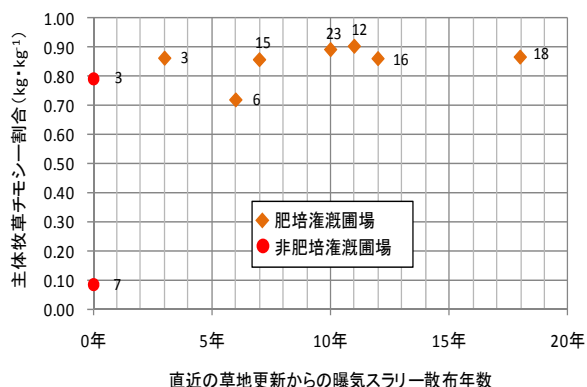


図-12 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と主体牧草割合の関係

2.2.4 牧草品質への影響

(1) 粗蛋白質含量

蛋白質は、生物のからだを構成する最も基本的な物質である。そのため、家畜の成長と生産を順調に行うには、蛋白質を過不足なく含んだ牧草飼料を供給することが重要である¹²⁾。

直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と牧草乾物中の粗蛋白質含量の関係を図-13に示す。

図-13から肥培灌漑圃場と非肥培灌漑圃場の粗蛋白質含量に、明確な差は確認できなかった。また、肥培灌漑圃場の粗蛋白質含量は、曝気スラリーの散布年数に関係なく、ほぼ一定であった。このことから、粗蛋白質含量は、曝気スラリーの長期散布による影響を受けていないといえる。

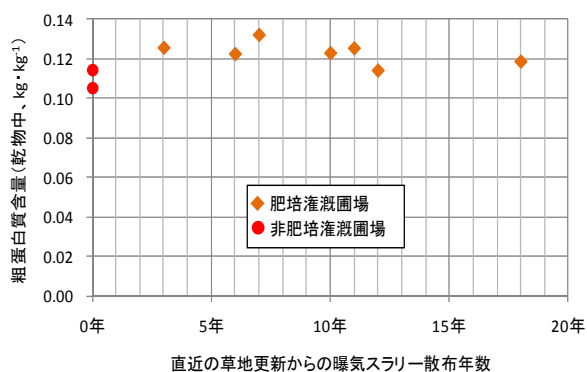


図-13 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と牧草乾物中の粗蛋白質含量の関係

(2) 可消化養分総量

可消化養分総量は牧草中に含まれる養分の内、乳牛によって消化吸収可能な養分の総量である¹¹⁾。

直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と牧草乾物中の可消化養分総量との関係を図-14に示す。

図-14から肥培灌漑圃場の可消化養分総量は、曝気スラリーの散布年数に関係なく、ほぼ一定であった。また、曝気スラリー散布から18年目の草地でも牧草乾物中の可消化養分総量は、非肥培灌漑圃場と同程度であることが分かる。以上より、可消化養分総量についても、曝気スラリーの長期散布による影響を受けていないといえる。

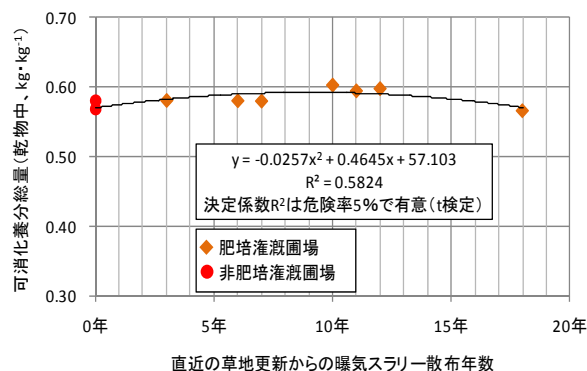


図-14 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と牧草乾物中の可消化養分総量の関係

(3) 硝酸態窒素

曝気スラリーは窒素成分を含むため、液肥として大量に散布すれば、牧草体内の硝酸態窒素が増加する¹¹⁾。それにより、牧草乾物中の硝酸態窒素の濃度が、乳牛の硝酸中毒を引き起こす限界値とされる $2.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ を著しく超える可能性が指摘されている¹³⁾。

直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と牧草乾物中の硝酸態窒素の関係を図-15に示す。

図-15から肥培灌漑圃場、非肥培灌漑圃場に関係なく、牧草乾物中の硝酸態窒素は $0.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ であり、限界値とされる $2.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ をこえていなかった。このことから、硝酸態窒素は、曝気スラリーの長期散布によって増加していないことが分かる。

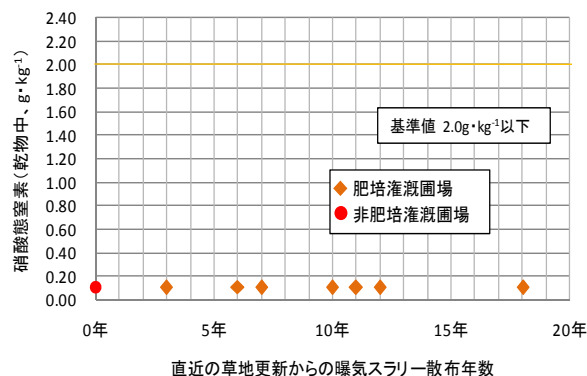


図-15 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と牧草乾物中の硝酸態窒素の関係

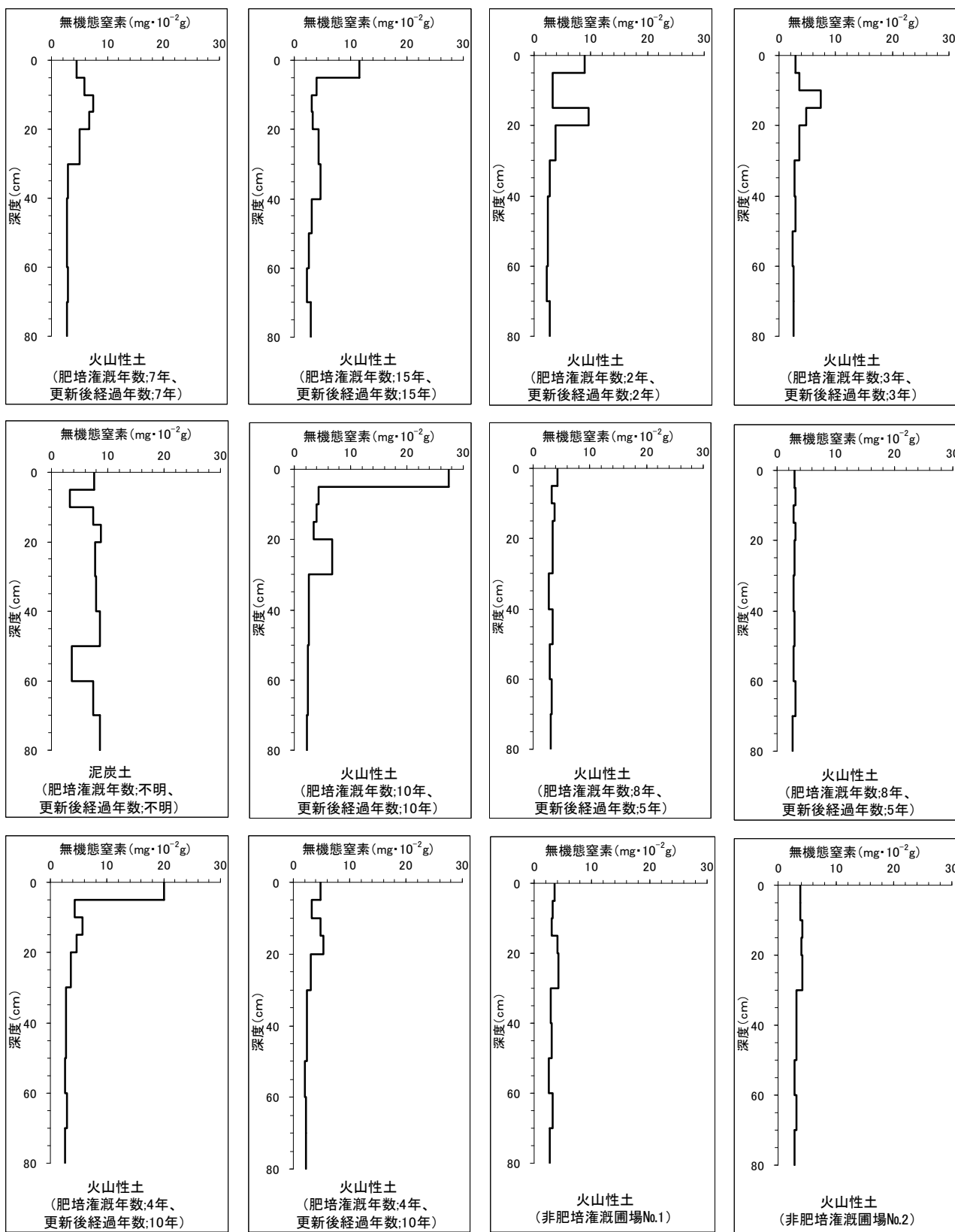


図 16 無機態窒素垂直分布

2.3 小活

本研究では、長期的な曝気スラリーの散布が牧草農地の土壤理化学的性質や収量・品質に及ぼす影響を明らかにした。その結果、肥培灌漑圃場では、直近の草地更新からの経過年数に伴う、土壤表層の理化学的性質や草種構成の悪化はなく、また、草地更新から23年を経過した牧草地であっても、目標値以上の牧草収量維持が確認できた。

3. 肥培灌漑土壌における環境負荷物質収支の解明

3.1 調査方法

北海道東部で肥培灌漑を実施している火山性土圃場を9圃場と泥炭土圃場を1圃場、さらに同じく火山性土の非肥培灌漑圃場を2圃場、合計12圃場を選定し、これらの圃場の表層から約80cm深までの無機態窒素の集積状況を調査した。

3.2 調査結果

調査した12圃場の深さ80cmまでの無機態窒素の垂直分布を図16に示す。なお、中段左のグラフは泥炭土圃場のもので、それ以外の11のグラフは火山性土圃場のものである。有機物である泥炭の堆積層からなり、泥炭の分解により無機態窒素が生成しやすい泥炭土の圃場のデータを残りの火山性土のデータと比較することはできないが、火山性土における厚さ30cm程度の作土層下の下層土の無機態窒素含量は、肥培灌漑年数を経過しても非肥培灌漑圃場とほとんど変わらず、肥培灌漑により下層土に無機態窒素が集積する傾向は認められなかった。このことから、適正な肥培灌漑では、下層への無機態窒素の移動集積による地下水汚染は生じないものと推察される。

なお、調査した肥培灌漑圃場の表層において、無機態窒素含量に大きな圃場間差が生じているが、これは、調査時期が秋期の曝気スラリー散布時期と重なったため、調査圃場に秋期の曝気スラリー散布前のものと散布後のものが混在したためである。

4. まとめ

肥培灌漑による曝気スラリー散布が土壤理化学的性質や牧草収量に及ぼす影響について検証した結果、肥培灌漑圃場では、土壤表層において膨軟化や、排水性、肥料の保持能力などの改善が、また、目標値以上の牧草収量の維持が認められ、肥培灌漑による作物生産性の向上効果が確認された。さらに、肥培灌漑圃場では無機態窒素の下層への集積もなく、肥培灌漑による地下水汚染は生じないものと推察される。

参考文献

- 1) 松中照夫：土壤学の基礎—生成・機能・肥沃度・環境—、pp. 284-289、社団法人農山漁村文化協会、2006。
- 2) 土壤物理研究会編：土壤の物理性と植物生育、p. 210、pp. 270-274、養賢堂、1979。
- 3) 前田正男、松尾嘉郎：図解土壤の基礎知識、pp. 58-73、社団法人農山漁村文化協会、1996。
- 4) 松中照夫：土壤学の基礎—生成・機能・肥沃度・環境—、pp. 222-226、社団法人農山漁村文化協会、2006。
- 5) 北海道農政部編：北海道施肥ガイド（施肥標準・診断基準・施肥対応）、p. 228、社団法人北海道農業改良普及協会、2002。
- 6) 日本土壤肥料学会北海道支部編：北海道農業と土壤肥料1987、pp. 396-412、財団法人北農会、1987。
- 7) 財団法人畜産環境整備機構編：家畜ふん尿処理・利用の手引き、p. 8、1998。
- 8) 北海道農協「土づくり」運動推進本部編：草地の土づくり、pp. 4-6、2007。
- 9) 北海道農業試験研究推進会議編：平成11年度研究成果情報（北海道農業）、p. 199、農林水産省北海道農業試験場、2000。
- 10) 酪農総合研究所編：目で見る牧草と草地、p. 39、1999。
- 11) 農林水産省北海道農業試験所編：北海道の牧草栽培技術—基礎編—、pp. 217-226、農業技術普及協会、1982。
- 12) 並河澄、大森昭一郎、米倉久雄、吉本正、内海恭三、新井肇：畜産、pp. 30-32、社団法人農山漁村文化協会、1994。
- 13) 原田勇：牧草の栄養と施肥、pp. 165-172、養賢堂、1977。

CLARIFICATION REGARDING THE IMPROVEMENT EFFECT OF ORGANIC IRRIGATION ON PRODUCTION ENVIRONMENTS

Abstract : This study examined the effects of applying aerobically digested slurry through organic irrigation on soil's physicochemical properties and grass yields. The results indicated soil softening and improvements in drainage, fertilizer retention capacity and other properties in a field where such organic irrigation was applied. The grass yield was maintained at a level higher than the target value, indicating a crop productivity improvement effect from organic irrigation. No accumulation of inorganic nitrogen was found in the lower layer of the field.

Key words : organic irrigation, aerobically digested slurry, physicochemical properties of soil, grass, environment