

曝気スラリー散布が土壤理化学性と牧草収量に及ぼす影響

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 資源保全チーム ○桑原 淳
道北支所 池田 晴彦
道東支所 煤孫 英雄

北海道では、広大な牧草地を背景に家畜ふん尿を曝気処理した曝気スラリーが、液肥として牧草地に散布されている。曝気スラリーには、肥料成分だけでなく有機物も豊富に含まれているため、牧草地に液肥として散布すれば、良質の有機肥料となる。そこで筆者らは、曝気スラリーの長期散布が、牧草地土壤の理化学性と牧草収量に及ぼす影響を検証した。その結果、曝気スラリーを散布している圃場では腐植の集積、保肥力の増大、土壤の膨軟化、排水性、保水性の改善に加えて牧草収量が長期間にわたって維持されていた。

キーワード：曝気スラリー、土壤理化学性、牧草収量

1. はじめに

家畜ふん尿は、窒素、リン酸、カリウム等の肥料成分を含み、液肥として利用することが可能である。実際北海道では、水で希釈して曝気処理を行った家畜ふん尿（以下：曝気スラリー）を液肥として牧草地に散布する、肥培かんがい事業が広く行われてきた。

筆者らは既報において、曝気スラリーを散布している圃場（以下：肥培かんがい圃場）では、表層5cmに腐植の集積した層が形成され、曝気スラリーを散布していない圃場（以下：非肥培かんがい圃場）と比較して、表層における土壤理化学性が改善されていることを明らかにした¹⁾。

牧草地では、牧草収量が低下すると草地更新が行われる。草地更新には、作業の手間やコストがかかるため、草地更新から長期間にわたって、牧草収量を維持していくことは、草地の維持管理上重要であるといえる。しかし、多くの場合牧草収量は、草地更新から4～6年後、低下し始める²⁾。この主な原因として、①土壤表層の化学性の悪化、②同物理性の悪化、③草種構成の悪化があげられている²⁾。すなわち、牧草収量の維持には、草地更新から4～6年目以降これら3つの悪化要因が進行していかないと条件となる。

このことから、肥培かんがい効果の検証にあたっては、非肥培かんがい圃場との比較だけでなく、肥培かんがい圃場表層の土壤理化学性や牧草収量が経年的に悪化していないかを検証していくことも求められている。

そこで、本研究では曝気スラリーの長期散布が、土壤理化学性と牧草収量の経年変化に及ぼす影響を検証した。

2. 試験方法

天塩町内で、調査圃場として選定した牧草地の概要を表-1に示す。計13圃場の内、肥培かんがい圃場は①～⑨の9圃場、非肥培かんがい圃場は⑩～⑬の4圃場であった。また、採草地は、①、④～⑪の9圃場、放牧地は、②、③、⑫、⑬の4圃場であった。

表-1 調査圃場の概要

番号	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	不明	散布なし
⑬	放牧地	不明	散布なし

土壤調査は平成18、19年度の2ヶ年で行った。1圃場につき6箇所、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

また牧草収量調査は、平成20年度に9つの採草地(肥培かんがい圃場7圃場、非肥培かんがい圃場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。また牧草の刈取り時期は、全ての圃場において、牧草地のほとんどのチモシーが出穂した穂揃期であった。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

3. 土壌分析項目の分析手法

牧草地土壌は、一度造成すると、その後次の草地更新までの十数年間、耕起されることはない³⁾。このため、牧草地土壌表層は、年数の経過とともに営農機械の走行によって土壌が緻密化しやすい⁴⁾。さらに、牧草地土壌表層は養分が付加、蓄積される場所であるとともに、牧草根の大部分が分布する場所でもある^{3) 4)}。したがって、肥培かんがいが土壌の理化学性に及ぼす影響を検証するためには、土壌表層の性状把握が重要となる。

筆者らは、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)を検証することで、草地更新作業等他の要因に由来する差異を分離し、肥培かんがいによる効果のみを抽出している¹⁾。

本研究においても、各土壌分析項目の層差を求め、直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数ごとに、散布図を作成した。また、土壌表層の理化学性改善効果は、曝気スラリーを長期間散布することで徐々に現れてくると考え、近似曲線には2次曲線を引いた。この近似曲線の2乗相関係数の有意性をt検定で統計解析を行い、長期的な曝気スラリー散布に伴う土壌理化学性への経年的影響を検証した。

4. 結果と考察

(1) 腐植の集積

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示す(図-1)。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³⁾。本調査圃場の非肥培かんがい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層目に腐植が集積していた。

一方、肥培かんがい圃場(図中のオレンジ色のプロット、後続の図も同様)では、曝気スラリー散布開始から5~6年目までは非肥培かんがい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。

腐植は、土壌団粒構造の形成に役立つといわれている⁵⁾。団粒構造が発達した土壌は、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が期待できる⁵⁾。

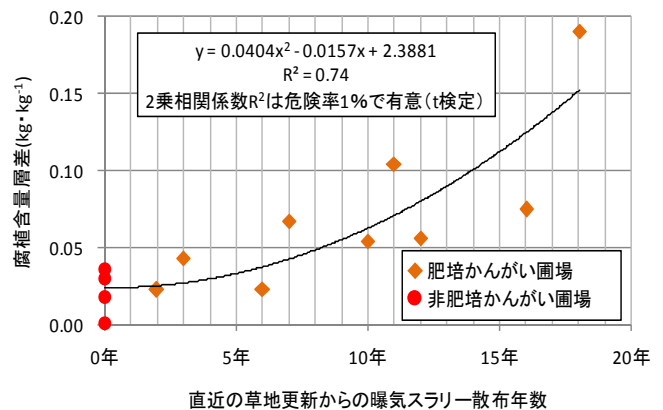


図-1 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と腐植含量層差の関係

(2) 塩基置換容量の増大

土壌が持つ保肥力の大小は、塩基置換容量の大小で表すことができる⁵⁾。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。

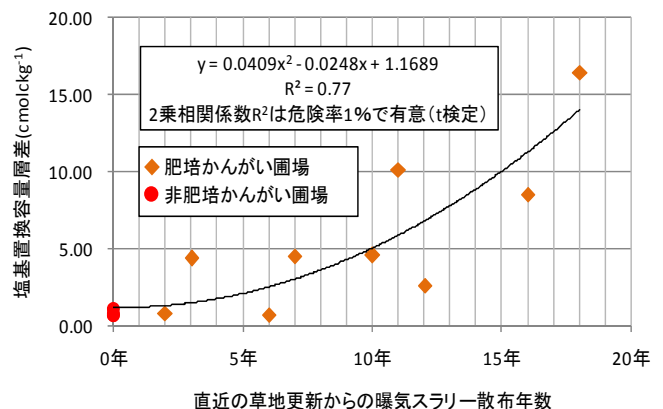


図-2 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と塩基置換容量層差の関係

非肥培かんがい圃場と比較すると、肥培かんがい圃場

では、曝気スラリー散布開始から5～6年目までは土壤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2乗相関係数 R^2 は危険率1%で有意であった。このことから、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年経過した後といえる。

(3) 塩基の集積

塩基置換容量が増大していた肥培かんがい圃場の表層1層目では、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肥培かんがい圃場は、塩基の供給量も多い。これらを反映して肥培かんがい圃場表層にCa(図-3)、Mg(図-4)が集積している様子が確認できた。

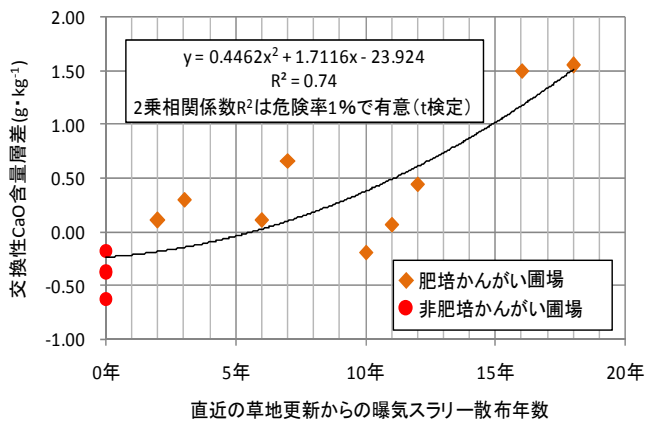


図-3 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と交換性CaO含量層差の関係

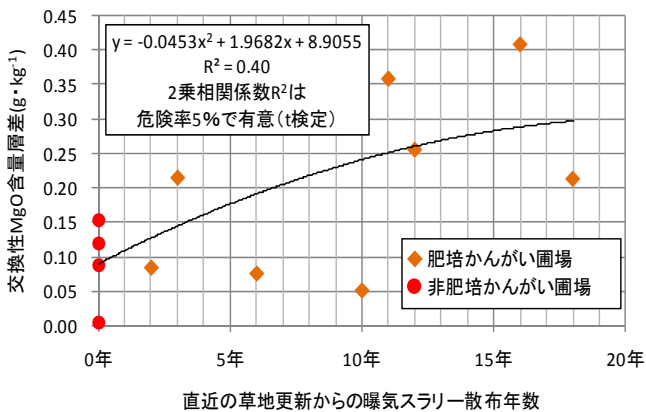


図-4 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と交換性MgO含量層差の関係

図-3から、非肥培かんがい圃場では、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。逆に、肥培かんがい圃場では直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数が10年を過ぎたあたりから、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。

またMgは、曝気スラリーの散布年数の増加とともに、徐々に表層に集積する傾向が認められたが、その傾向は散布から15年を過ぎたあたりで横ばいに近い形となった。これは、もともと家畜ふん尿に含まれるMg含量が他の塩基と比べて少ない⁶⁾ことが影響していると考えられ、Caとは違う集積傾向であった。

(4) 土壤の膨軟化

前述したように、牧草地土壌では大型機械の走行等により土壤表層は圧縮される。牧草地土壌が圧縮されると容積重が増大する。このような土壤物理性の悪化が進行していけば、植物の根の伸長と養分の吸収が円滑に行われ²⁾ないため、土壤化学性の改善効果も小さくなる。

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-5)を示す。図から、肥培かんがい圃場では散布年数の増加とともに土壤表層の容積重が直線的に低下しているのが分かる。このように、肥培かんがい圃場では土壤表層において容積重の低下、つまり土壤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、土壤表層の堅密化を防ぎ、植物の根の伸長に役立っているといえる。

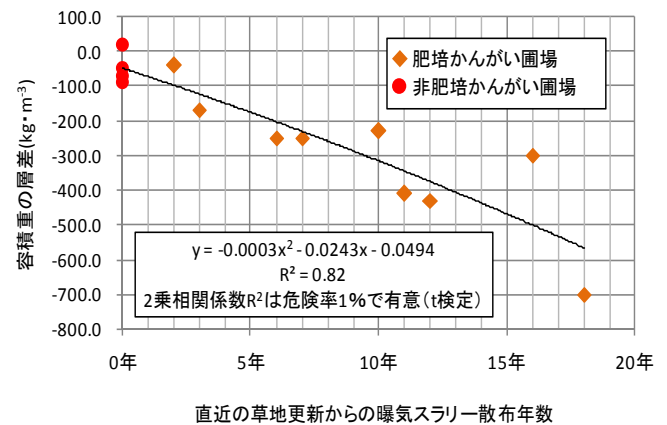


図-5 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と容積重層差の関係

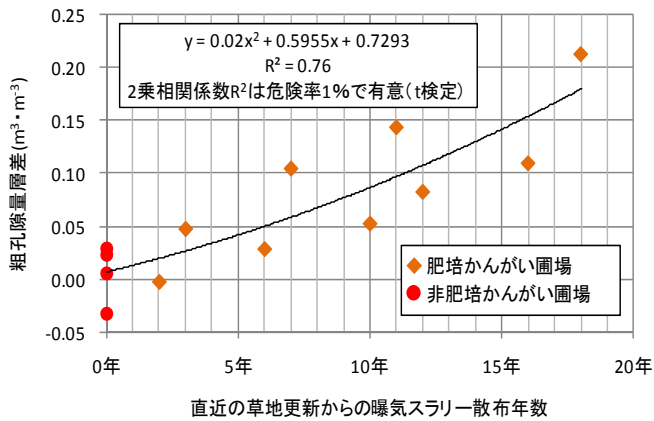
(5) 通気性・排水性の改善

土壤の排水性・通気性が改善されたかどうかは、土壤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参与しているからである⁶⁾。図-6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。

図から肥培かんがい圃場では、曝気スラリーを長期的に散布している圃場ほど、土壤表層の粗孔隙量が2次曲線的に増大している様子が読み取れる。また、非肥培かんがい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。

このことから、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。

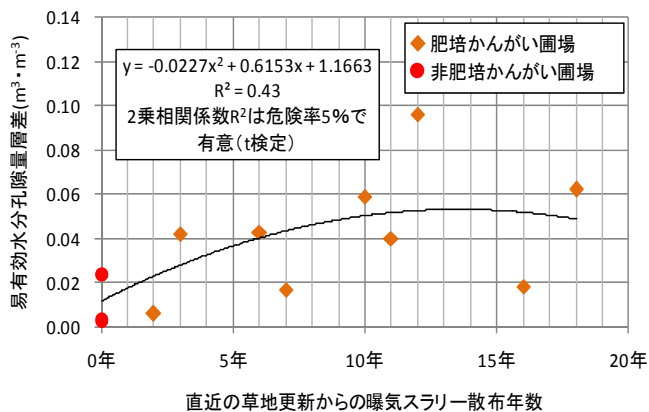


図一六 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と粗孔隙量層差の関係

(6) 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。

図一七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、肥培かんがい圃場では、曝気スラリーの散布年数の増加に伴って、徐々に土壌表層の易有効水分孔隙量が上昇しているのが読み取れる。このことから、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。



図一七 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

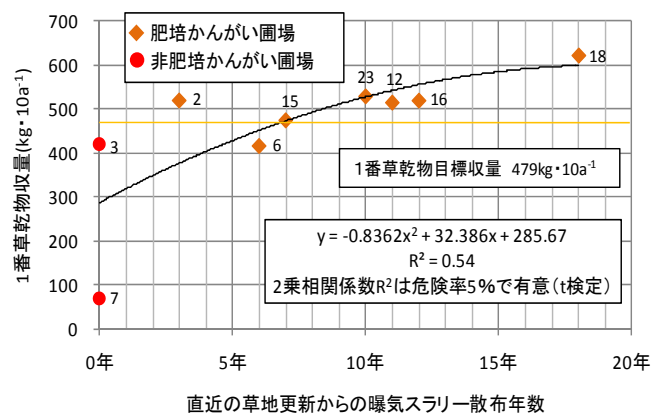
(7) 牧草収量への影響

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(図一八)。乾物収量は雑草を取り除いた牧草のみの重量で表し、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)。また、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から道北地方の479kg/10a⁷⁾とした。

多くの場合牧草収量は、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²⁾。しかし、肥培かんがい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、徐々に増加する傾向を示した。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るのが分かる。さらに、直近からの草地更新年数が23年を迎える草地であっても乾物収量は、529kg/10aであり目標収量以上であった。

このことから、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、目標収量の維持に役立っているといえる。

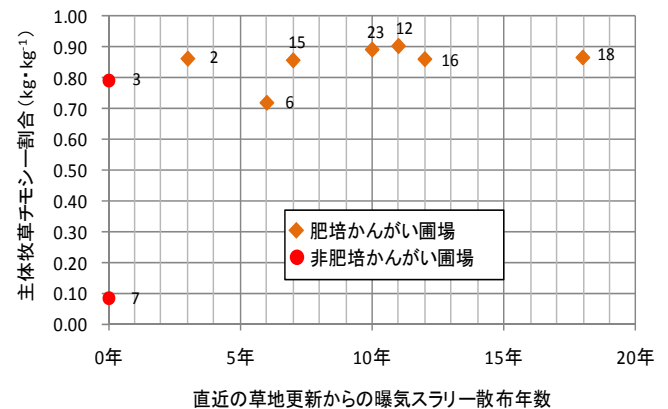


図一八 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と1番草乾物収量の関係

(8) 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⁸⁾

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一九に示す。



図一九 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

肥培かんがい圃場では、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%以上に維持されていた。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、肥培かんがい圃場では、直近の草地更新からの年数経過に伴う、雑草の侵入による主体イネ科牧草の減少が認められず、長期間にわたって主体イネ科牧草群落が維持されていた。

(9) 可消化養分総量への影響

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⁹⁾。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-10に示す。

図から肥培かんがい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、非肥培かんがい圃場と同程度であることが分かる。このことから、可消化養分総量については、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。

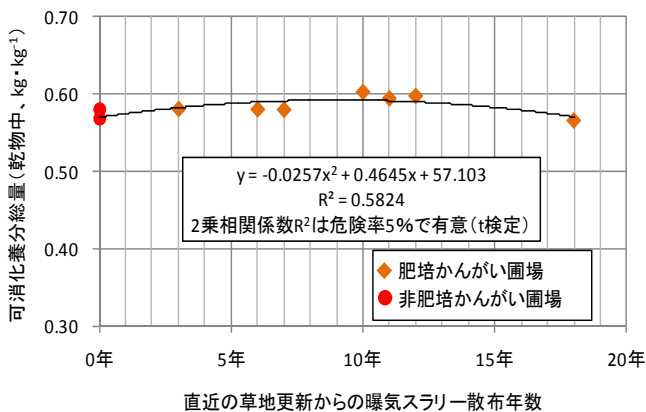


図-10 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と可消化養分総量の関係

(10) 牧草体の硝酸態窒素への影響

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¹⁰⁾。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¹⁰⁾ 可能性が指摘されている。

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示す(図-11)。図から肥培かんがい圃場、非肥培かんがい圃場に関係なく、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。

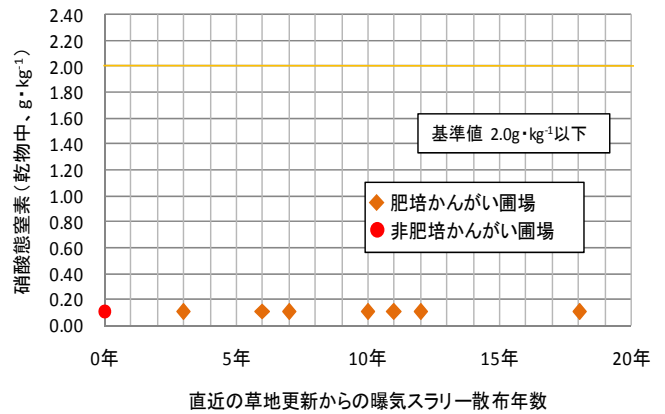


図-11 直近の草地更新からの曝気スラリー散布年数と牧草体の硝酸態窒素の関係

5. まとめ

本研究では、長期的な曝気スラリーの散布が土壌理化学性や牧草収量・品質の経年変化に及ぼす影響を明らかにした。その結果、肥培かんがい圃場において、直近の草地更新からの経過年数に伴う、土壌表層の理化学性悪化と草種構成の悪化はなかった。それにより、草地更新から23年を経過した牧草地であっても、牧草収量は目標収量以上を維持していた。

曝気スラリーの長期散布は以下の効果があることが統計的解析により立証された。

- ①土壌表層に腐植の集積をもたらした。特に曝気スラリー散布から5～6年が経過した後にその傾向が見られた。
- ②腐植の集積と時を同じくして、土壌表層の保肥力が増大していた。
- ③土壌表層における塩基類 (Ca, Mg) の増加をもたらした。
- ④土壌表層の膨軟化をもたらした。営農機械による土壌表層の堅密化を防止していた。
- ⑤排水性と通気性の維持に関わりの深い粗孔隙量が土壌表層で増大していた。
- ⑥保水性の維持に関わりの深い易有効水分孔隙量が土壌表層で増大していた。
- ⑦牧草の乾物収量が増大した。直近の草地更新から23年を経過した牧草地であっても、目標収量を維持していた。
- ⑧雑草の侵入に伴う草種構成の悪化を抑制した。
- ⑨牧草体の栄養価は曝気スラリーの散布によって影響されなかった。
- ⑩牧草体の硝酸態窒素は曝気スラリーの散布によって増加しなかった。

引用・参考文献

- 1) 横濱充宏、今井啓：肥培かんがいが土壌の理化学性におよぼす影響の評価、寒地土木研究所月報 No. 655、pp.21-32、2007.
- 2) 日本土壌肥料学会北海道支部編：北海道農業と土壌肥料 1987、pp. 396-412、財団法人北農会、1987.
- 3) 松中照夫：土壌学の基礎—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.
- 4) 土壌物理研究会編：土壌の物理性と植物生育、pp.270-274、養賢堂、1979.
- 5) 前田正男、松尾嘉郎：図解土壌の基礎知識、pp. 58-73、社団法人農山漁村文化協会、1996.
- 6) 土壌物理研究会編：土壌の物理性と植物生育、p. 210、養賢堂、1979.
- 7) 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）、p199、農林水産省北海道農業試験場、2000.
- 8) 酪農総合研究所編：目で見える牧草と草地、p. 39、1999.
- 9) 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.
- 10) 原田勇：牧草の栄養と施肥、pp. 165-172、養賢堂、1977.