

メタン発酵消化液の長期連用が 牧草地土壌理化学性と牧草収量・品質に及ぼす影響

The Effects of Long-term Application of Anaerobically Digested Slurry from Methane Fermentation on the Physico-chemical Properties of Grassland Soils and Grass Yield/Quality

桑原 淳* 横濱 充宏** 大岸 譲***

Jun KUWABARA, Mitsuhiro YOKOHAMA, and Yuzuru OOGISHI

乳牛ふん尿を主原料としたメタン発酵消化液の牧草地への長期連用が土壌表層の理化学性と牧草収量・品質に及ぼす影響を明らかにするため、別海町の実圃場で調査を行った。その結果、メタン発酵消化液の散布年数の長い圃場ほど牧草地土壌表層に腐植の集積、陽イオン交換容量の増大、容積重の減少及び粗孔隙量の増大といった土壌理化学性の改善効果が見られた。牧草収量は化学肥料による収量と同程度であり、草地更新から9年を経過した採草地においても収量の大きな減少はなかった。また、メタン発酵消化液の長期連用によって、牧草地土壌表層と牧草試料中に亜鉛や銅といった微量元素は蓄積しなかった。

《キーワード：メタン発酵消化液；土壌理化学性；牧草収量・品質；微量元素》

A study was conducted in actual farm fields in the town of Betsukai to clarify the effects of long-term application of anaerobically digested slurry from methane fermentation using dairy-cattle waste as the main ingredient on the physico-chemical properties of grassland soils and grass yield/quality. The results revealed improvements in physico-chemical properties of soils in the surface layer, including humus accumulation, increased cation exchange capacity, decreased volume-weight, and increased macropore volume, in fields in which the anaerobically digested slurry from methane fermentation was applied for longer periods. Grass yields were similar to those of fields using chemical fertilizer, and no significant decrease in yield was found even in the grassland where nine years had passed since pasture renovation. It was also found that the long-term application of anaerobically digested slurry did not cause accumulation of zinc, copper or other micronutrients in the surface layer of grassland soils or grass samples.

《Keywords : anaerobically digested slurry from methane fermentation ; physico-chemical properties of soils ; grass yield/quality ; micronutrient》

1. はじめに

(独)土木研究所寒地土木研究所は、北海道東部の別海町にある別海資源循環試験施設において、乳牛ふん尿を主原料にメタン発酵させバイオガスを発生させるとともに発酵残渣液(以下：消化液)を液肥として牧草地に散布する研究を行っている。消化液を牧草地に長期間連用した場合の牧草地の土壤理化学性と牧草収量・品質に及ぼす影響は、これまで消化液散布の歴史が浅かったこともあり、明らかにされていなかった。別海資源循環試験施設の消化液の散布は平成13年から始まり、散布年数が9年と比較的長期間にわたって実施された圃場もある。本研究では、これら実圃場で調査を行うことで、消化液の長期連用が牧草地の土壤理化学性と牧草収量・品質に及ぼす影響について検証した。

2. 試験方法

現地調査では、牧草地から土壌と牧草試料を採取した。調査を行った圃場の概要を表-1に示す。計15圃場の内、消化液を散布している圃場(以下：消化液散布圃場)は①～⑨の9圃場、散布していない圃場(以下：非散布圃場)は⑩～⑮の6圃場であった。

土壌試料は、牧草地の土壌表層0～5cm(以下：表層1層目)と表層5～10cm(以下：表層2層目)の2層を1圃場当たり6箇所から採取した。採取した土壌は一般性状分析と微量元素分析を行った。それぞれの分析項目と分析手法を表-2に示す。各分析項目について、分析を行った圃場には○印を、分析を行っていない圃場には×印を表-1に記した。なお、表-1の一般分析と微量元素分析は表-2の分析項目と対応している。

牧草収量調査は1番草を対象に行い、⑨番の圃場を除く14圃場で実施した。調査圃場は全てチモシー主体のクローバ混播草地であった。調査を行った時期は、平成22年6月22、23日であり、圃場内の約2割のチモシーが出穂していた。牧草試料は、1圃場当たり6箇所に1㎡の牧草収量枠を設置し、地上から約10cmの位置で刈取った。刈取った牧草は、雑草を取り除いた後、乾物重を測定した。乾物重測定後、刈取ったチモシーを表-2に示した一般分析と微量元素の分析に供試した。各分析項目の分析実施の有無は、土壌試料と同じように○×印で表-1に記した。

表-1 調査圃場の概要

番号	消化液 散布年数	土壌分析の有無		牧草分析の有無	
		一般	微量元素	一般	微量元素
①	2年	○	○	○	○
②	3年	○	○	○	○
③	4年	○	○	○	○
④	5年	○	×	○	×
⑤	6年	○	○	○	○
⑥	7年	○	×	○	×
⑦	8年	○	○	○	○
⑧	9年	○	×	○	×
⑨	9年	○	×	×	×
⑩	散布なし	○	○	○	○
⑪	散布なし	○	×	○	×
⑫	散布なし	○	×	○	×
⑬	散布なし	○	×	○	×
⑭	散布なし	○	×	○	×
⑮	散布なし	○	×	○	×

表-2 分析項目と分析手法

【土壌一般性状分析】	
分析項目	分析手法
1. 腐植	乾式燃焼法
2. 陽イオン交換容量	ショーレンベルガー法
3. 容積重	炉乾燥法
4. 粗孔隙量	遠心分離法
【牧草一般成分分析】	
分析項目	分析手法
1. 乾物収量	通風乾燥法
2. 粗蛋白質含量	近赤外分光光度法
3. 可消化養分容量	近赤外分光光度法
4. カルシウム	蛍光X線分析法
5. マグネシウム	蛍光X線分析法
6. カリウム	蛍光X線分析法
7. リン酸	蛍光X線分析法
8. 硝酸態窒素	吸光分光光度法
【土壌・牧草微量元素分析】	
分析項目	分析手法
1. 鉄	原子吸光光度法
2. 亜鉛	原子吸光光度法
3. 銅	原子吸光光度法
4. マンガン	原子吸光光度法
5. モリブデン	原子吸光光度法

3. 結果

3. 1 土壤理化学性への影響

3. 1. 1 腐植の集積

消化液には有機物が含まれているため、消化液の散布により土壤表層には毎年有機物が供給されることになる。土壤の有機物含量の指標として、土壤表層の腐植含量と直近の草地更新からの消化液散布年数との関係を示した(図-1)。非散布圃場では、横軸を直近の草地更新からの経過年数とした。また、消化液のような乳牛ふん尿発酵液の土壤への散布効果は、散布の影響を最も受けている表層1層目の分析値から表層2層目の分析値を差し引いた値(以下：層差)を求め、明確になる¹⁾。本研究も同様の評価手法を用い、図の縦軸には腐植含量の層差をとった。

その結果、消化液散布圃場では、散布年数の増加に伴い表層1層目の腐植が増加していた。この近似直線の相関係数は、t検定において危険率5%で有意であった。一方、非散布圃場においても表層1層目に腐植が集積していた。これは、牧草の地上部や根が枯死し堆積することで有機物含量が増加していく²⁾影響と考えられるが、消化液散布圃場のような有意な腐植の集積は見られなかった。このような腐植の集積は土壤団粒構造の発達につながることを期待される³⁾。

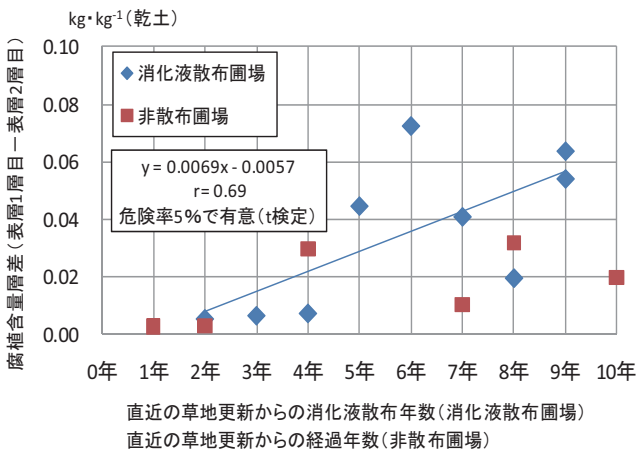


図-1 直近の草地更新からの消化液散布年数と腐植含量の層差との関係

3. 1. 2 陽イオン交換容量の増大

土壤が植物の生長に必要な養分を保持する機能を保肥力という⁴⁾。保肥力は、腐植を多く含む団粒構造の発達した土壤で大きくなるとされる⁴⁾。ここでは、保肥力の大小を陽イオン交換容量の大小で評価した。

図-2に直近の草地更新からの消化液散布年数と陽イオン交換容量の層差との関係を示した。非散布圃場では、陽イオン交換容量の層差と牧草地の経過年数との間に有意な関係はなかったが、消化液散布圃場では、消化液の散布年数の増加に伴い表層1層目に陽イオン交換容量が増大していた。この近似直線の相関係数は、t検定において危険率5%で有意であった。消化液散布圃場では、保肥力の優れた土壤となっていた。

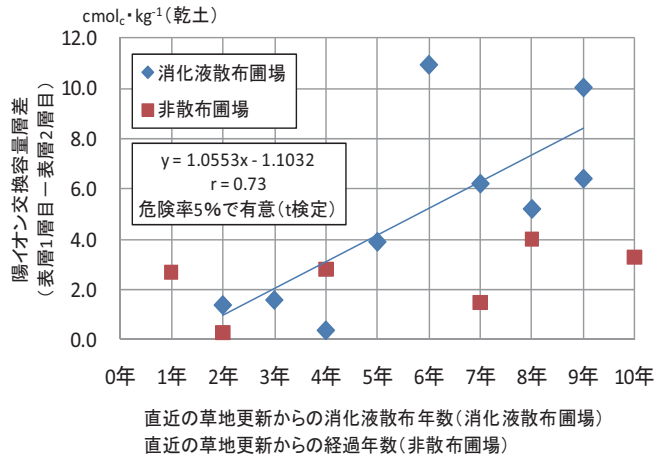


図-2 直近の草地更新からの消化液散布年数と陽イオン交換容量の層差との関係

3. 1. 3 土壤の膨軟化

牧草地では、施肥や牧草の刈取り、梱包作業、運搬など農作業機械による走行機会が多い。このため牧草地土壤表層は緻密化しやすく、容積重の増大や孔隙量の減少が問題となる⁵⁾。図-3に直近の草地更新からの消化液散布年数と容積重層差との関係を示した。

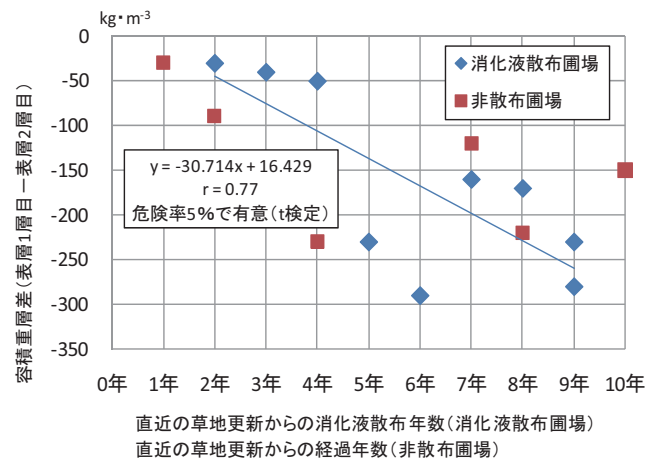


図-3 直近の草地更新からの消化液散布年数と容積重の層差との関係

図から消化液散布圃場では、消化液散布年数の増加に伴い表層1層目の容積重は減少していることが示された。この近似直線の相関係数は、t検定において危険率5%で有意であった。一方、非散布圃場においても表層1層目の容積重は減少していたが、牧草地の経過年数と容積重層差の間に消化液散布圃場のような統計的に有意な関係は見られなかった。

消化液散布圃場では、消化液散布年数の長い圃場ほど牧草地土壌表層は膨軟化しているといえる。土壌の膨軟化は、植物の根の伸長に役立つだけでなく、土壌への酸素の供給にもつながる⁵⁾。

3. 1. 4 排水性・通気性の改善

土壌の排水性・通気性については、粗孔隙量が增大しているかどうかで評価した。図-4に直近の草地更新からの消化液散布年数と粗孔隙量の層差との関係を示した。前述の容積重の層差と同様に非散布圃場では、表層1層目の粗孔隙量が增大していたが、草地更新からの経過年数との間に一定の傾向は見られなかった。

消化液散布圃場では、消化液の散布年数の増加に伴い表層の粗孔隙量が增大した。この近似直線の相関係数は、t検定において危険率1%で有意であり、高い相関関係を示した。消化液の散布年数が長いほど、表層1層目の土壌は排水性・通気性に優れた土壌となっていたと推察される。

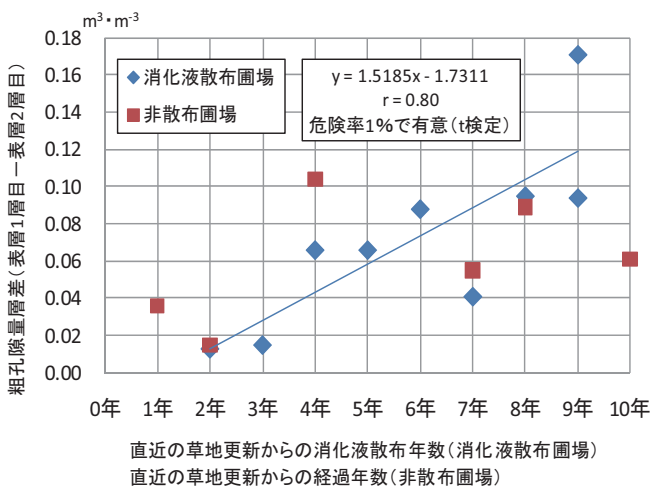


図-4 直近の草地更新からの消化液散布年数と粗孔隙量の層差との関係

3. 1. 5 土壌表層の微量元素含量

乳牛ふん尿には亜鉛や銅などの微量元素も含まれているため、消化液の長期散布により、これら微量元素

が土壌表層に蓄積する可能性がある。そこで、消化液の散布が土壌表層1層目の微量元素(鉄、マンガン、亜鉛、銅、モリブデン)含量にどのような影響を与えているか調査を行った(図-5、6)。

その結果、消化液散布圃場と非散布圃場(散布年数0年にプロット)の各微量元素含量に明確な差はなかった。また、消化液散布年数の経過に伴い微量元素含量が増加していく傾向もなかった。農用地における亜鉛含量の管理基準値は120mg·kg⁻¹とされている⁶⁾。これと比較しても各圃場の亜鉛含量は基準値未満であり、問題となる量ではない。散布年数が8年程度であれば、消化液の散布が牧草地土壌表層の微量元素含量に及ぼす影響はなかった。

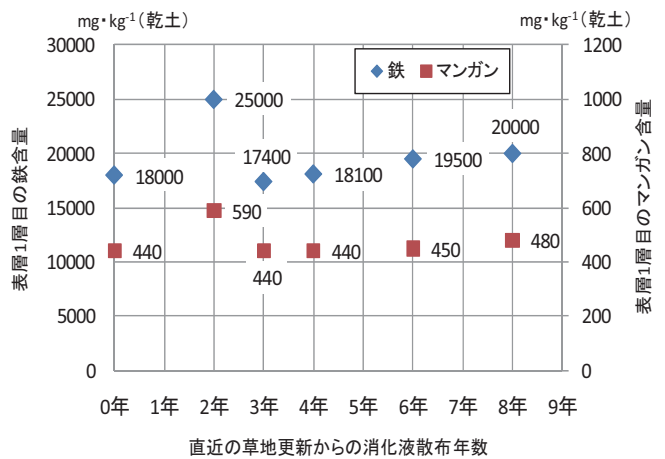


図-5 直近の草地更新からの消化液散布年数と表層1層目の鉄、マンガン含量との関係

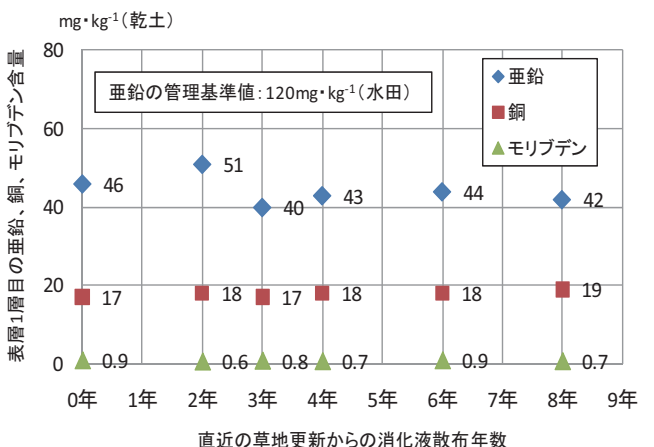


図-6 直近の草地更新からの消化液散布年数と表層1層目の亜鉛、銅、モリブデン含量との関係

3. 2 牧草収量・品質への影響

3. 2. 1 乾物収量

1 番草を対象に行った乾物収量の平均値は、消化液散布圃場で431kg / 10aであり、非散布圃場で368kg / 10aであった(図-7)。両圃場の乾物収量の平均値は、t 検定において有意な差がなく、同程度の収量であるといえた。

また、直近の草地更新からの消化液散布年数と乾物収量との関係を図-8に示した。牧草収量は草地更新後3年目にピークを迎える⁷⁾が、消化液散布圃場では、それ以降においても、乾物収量に大きな減少は見られなかった。2010年の別海町における1 番草乾物収量の平均値は、450kg / 10aである⁸⁾。これと比較しても消化液散布圃場の乾物収量はほぼ同程度維持されており、更新後9年を迎えた牧草地でも期待される収量を維持しているといえる。

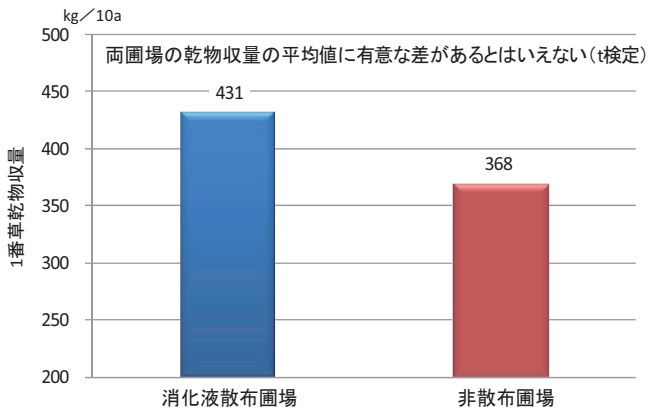


図-7 消化液散布圃場と非散布圃場の1 番草乾物収量の平均値

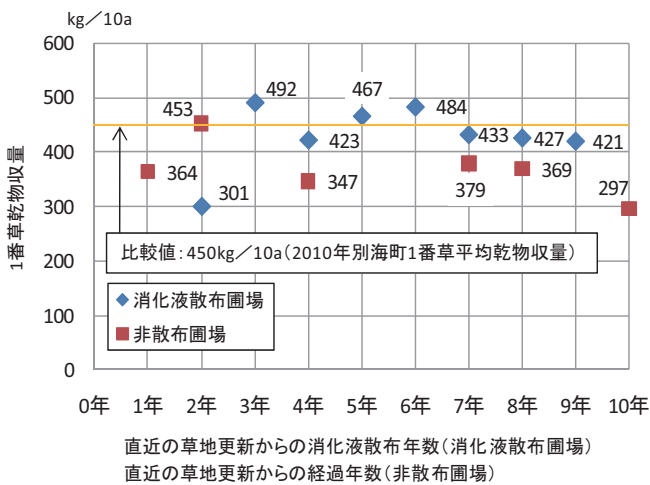


図-8 直近の草地更新からの消化液散布年数と1 番草乾物収量との関係

3. 2. 2 牧草の栄養価

牧草の栄養価を評価するために、主要栄養素である粗蛋白質含量と乳牛が消化吸収可能な消化率を表す可消化養分総量⁹⁾について、分析を行った。

消化液散布圃場と非散布圃場の牧草試料中の粗蛋白質含量と可消化養分総量に有意な差はなく、消化液散布の影響は見られなかった(図-9)。牧草の栄養価は、消化液散布の有無に関係なく同程度であった。

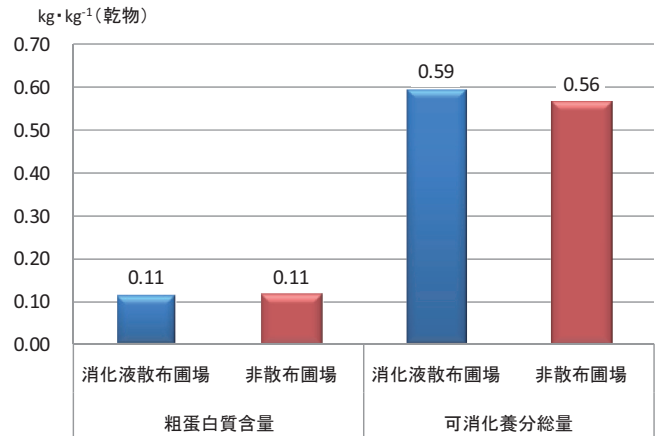


図-9 消化液散布圃場と非散布圃場の粗蛋白質含量平均値と可消化養分総量の平均値

3. 2. 3 牧草養分含量と硝酸態窒素含量

消化液などの家畜ふん尿の大量散布は、牧草試料中のカリウムや硝酸態窒素の過剰な蓄積につながる¹⁰⁾。カリウムの蓄積は、拮抗関係にあるカルシウムとマグネシウムの吸収を抑制し、牧草の生長する過程でこれらの欠乏症につながる危険がある¹⁰⁾。また、硝酸態窒素の蓄積は家畜の硝酸中毒の発生につながる可能性がある¹⁰⁾。

図に消化液散布年数8年目と9年目の牧草地から採取した牧草試料の成分結果を示した(図-10、11)。両図ともに各分析項目の適正な含有量の範囲を青色に、欠乏症が現れる可能性のある含有量の範囲を青色に、過剰な含有量の範囲を赤色に着色し、分析値をオレンジ色の線で結んだ。その結果、両圃場の牧草試料には、カリウムや硝酸態窒素の過剰な蓄積はなく、適正な含有量となっていた。マグネシウム含量は、両圃場の牧草試料ともやや低く注意は必要だが、欠乏しているという状態ではなかった。消化液の散布年数が9年と長期間散布された牧草試料であっても、養分含量や硝酸態窒素含量の過剰な蓄積はなく、適正な含有量を維持していた。

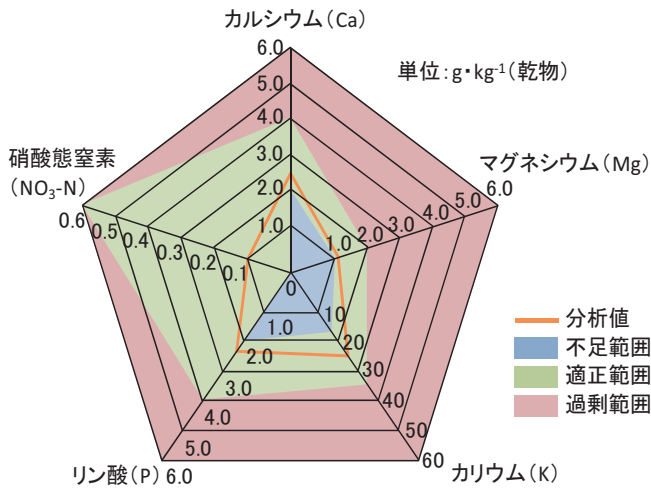


図-10 消化液散布年数 8 年目の牧草成分含量

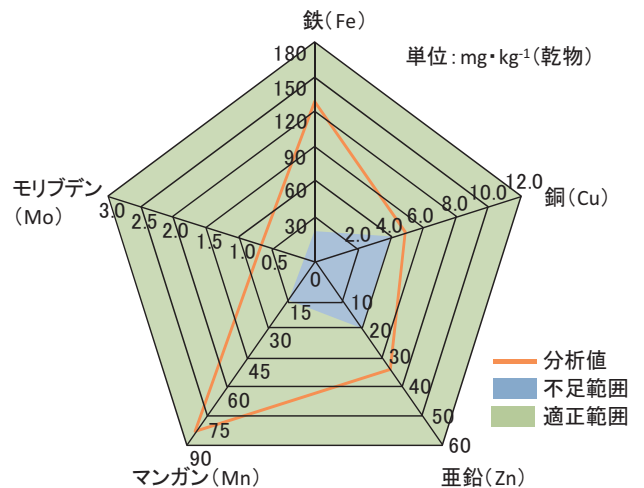


図-12 非散布圃場の牧草微量元素含量

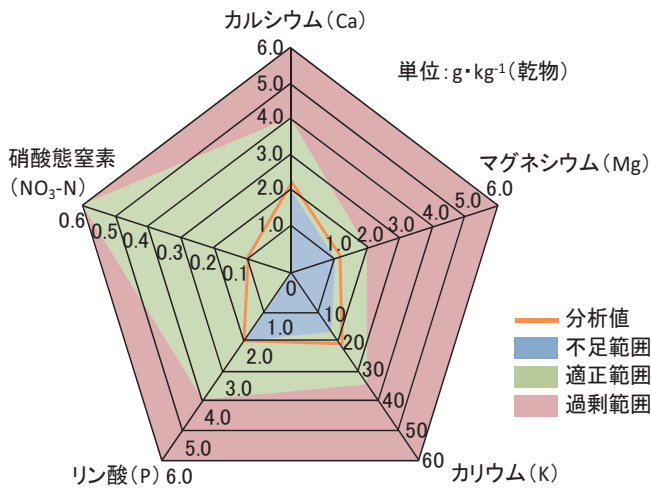


図-11 消化液散布年数 9 年目の牧草成分含量

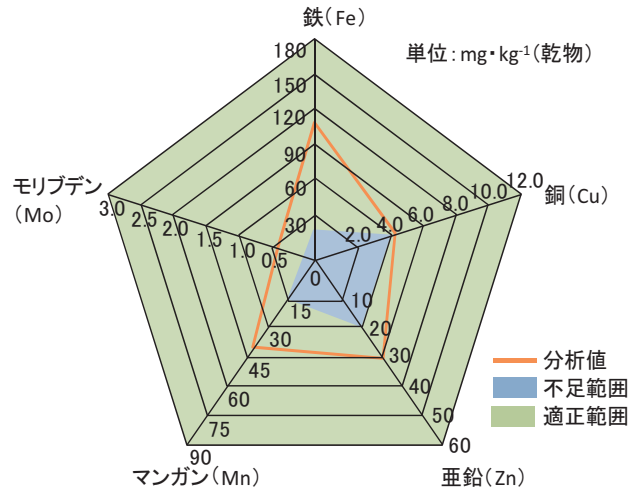


図-13 消化液散布年数 8 年目の牧草微量元素含量

3. 2. 4 牧草試料の微量元素含量

牧草試料の微量元素含量についても消化液による影響があるか検証を行った。微量元素は、微量ながらも牧草の生長に必要な元素でもあるため¹⁰⁾、牧草試料中の必要な含有量が定められている¹¹⁾。

図に非散布圃場から採取した牧草試料の微量元素含量と消化液散布年数 8 年目の圃場から採取した牧草試料の微量元素含量を示した(図-12、13)。図-13から、消化液を 8 年間散布した牧草試料であっても各分析項目において、過剰な蓄積をしている微量元素はなく、適正な範囲を維持しているのが分かる。図-12に示した非散布圃場の微量元素含量と比較しても、明らかに増えている微量元素はなく、消化液の散布によって牧草試料中にこれら微量元素は蓄積しなかった。このことから、消化液の散布量は、従来通り窒素などの肥料成分量から算出すればいいことが分かった。

4. まとめ

本研究により、消化液の長期連用が牧草地土壌表層の理化学性と牧草収量・品質に与える影響について、以下のことが明らかとなった。

(1) 牧草地土壌表層に腐植が集積していた。消化液散布圃場では消化液散布年数の増加に伴い、腐植が増加していた。非散布圃場では一定の傾向は見られず、有機物を含む消化液の散布は土壌表層に腐植の集積をもたらし、土壌団粒構造の形成に役立っているといえる。

(2) 牧草地土壌表層の保肥力が増大した。腐植の集積と同様に消化液の散布年数の増加に伴い、保肥力が増大した。消化液の散布により土壌表層は、牧草の生長に必要な養分を多く保持できる土壌となっていた。

(3) 牧草地土壌表層が膨軟化していた。牧草地の経

年的な土壌表層の緻密化は見られず、牧草の根が伸長しやすい土壌となっていた。

(4) 牧草地土壌表層の排水性・通気性が改善していた。消化液散布年数の増加に伴い、土壌表層の排水性・通気性に優れた土壌となっていた。

(5) 牧草収量と牧草栄養価については、消化液散布圃場と非散布圃場の間に明確な差はなかった。消化液散布圃場では、化学肥料と同程度の牧草収量と牧草栄養価が維持されており、草地更新から9年を経過した牧草地でも期待される収量を維持していた。

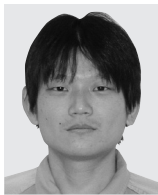
(6) 消化液散布圃場の牧草試料中にカルシウム、マグネシウム、カリウム及びリン酸の養分含量や硝酸態窒素含量の過剰な蓄積はなかった。消化液を9年間散布した牧草試料にも異常値はなく、養分含量のバランスは維持されていた。

(7) 消化液の散布年数が8年程度であれば消化液の散布により、牧草地土壌表層と牧草試料中に微量元素は蓄積しなかった。このことから消化液の散布量は、従来通り窒素などの肥料成分量から算出すればいいことが分かった。

参考文献

1) 横濱充宏、今井啓：肥培かんがいと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) 北海道農協「土づくり」運動推進本部編：草地の土づくり、p 7、2007。
- 3) 松中照夫：土壌学の基礎－生成・機能・肥沃度・環境－ pp.46-50、社団法人農山漁村文化協会、1996。
- 4) 前田正男、松尾嘉郎：図解土壌の基礎知識、pp. 66-76、社団法人農山漁村文化協会、1996。
- 5) 土壌物理研究会編：土壌の物理性と植物生育、pp.268-274、養賢堂、1979。
- 6) 環境省法令：農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準について、環水土149号、昭和59年11月8日公布。
- 7) 酪農総合研究所編：目で見える牧草と草地、pp.58-59、酪農総合研究所、1999。
- 8) 根室農業改良普及センターホームページ
<http://www.agri.pref.hokkaido.jp/fukyu/mnmr/>
- 9) 農林水産省北海道農業試験場編：北海道の牧草栽培技術－基礎編－、pp.216-225、農業技術普及協会、1982。
- 10) 松中照夫：土壌学の基礎－生成・機能・肥沃度・環境－ pp.196-234、社団法人農山漁村文化協会、1996。
- 11) 北海道農政部編：北海道施肥ガイド2010（施肥標準・診断基準・施肥対応）、社団法人北海道農業改良普及協会、pp.189-192、2010。



桑原 淳*
Jun KUWABARA

寒地土木研究所
寒地農業基盤研究グループ
資源保全チーム
研究員



横濱 充宏**
Mitsuhiro YOKOHAMA

寒地土木研究所
寒地農業基盤研究グループ
資源保全チーム
上席研究員



大岸 譲***
Yuzuru OOGISHI

寒地土木研究所
寒地農業基盤研究グループ
資源保全チーム
研究員