

B-51 温室効果ガスの人為的な排出源・吸収源に関する研究

(2) CH₄, N₂Oの排出・吸収に関する研究

⑧草地からのCH₄, N₂O発生と家畜ふん尿管理

研究代表者

農林水産省 草地試験場

環境部 土壌物質動態研究室 渋谷 岳

農林水産省 草地試験場

環境部 土壌物質動態研究室

渋谷 岳・野中 邦彦・川内 郁緒

平成10年度予算額

4,381千円

〔要旨〕家畜ふん尿の処理利用過程や施肥に伴って草地からの放出される温室効果ガスの動態を解析することで、その発生実態を把握し、地球環境保全に資することを目的とする。

そこで、91、95、96、97、98年に通年測定した採草地におけるCH₄, N₂Oフラックスデータ、及び過去数回のスラリー施用時のガスフラックスデータに基づき、環境庁地球環境研究総合推進費B-2-(4)-②「草地における温室効果微量ガス放出量の解明に関する研究」において作成した排出係数インデックスの改訂を行い、さらに対策技術として検討してきた家畜ふん尿(スラリー)の施用方法や施肥窒素肥料の種類変更に関するインデックスを追加作成した。

また、平成9年度に完了した環境庁地球環境研究総合推進費B-16-(3)「草地における温室効果微量ガスの動態と制御技術」において計画した、施肥時のN₂O放出量の低減化に有効な施肥管理方法について、コストの比較を行った。その結果、有効とした施肥計画の肥料代は約17～51%増となり、最もコスト高となったのはCDUを使用した施肥設計であった。

〔キーワード〕草地、亜酸化窒素、メタン、窒素肥料、家畜ふん尿

1. 序

97年11月に京都で行われた第3回気候変動枠組み条約締約国会議(COP3)において、CO₂(二酸化炭素)のみならず、CH₄(メタン)、N₂O(亜酸化窒素)、HFC(ハイドロフルオロカーボン)、PFC(パーフルオロカーボン)、SF₆(六フッ化硫黄)が削減対象となり、2008年から2012年の5年間を目標期間とする削減目標が設定された。この削減目標達成に向けた行動計画作成のために、各温室効果ガスの精度の高い排出・吸収量推定が求められている。

草地畜産における温室効果ガスの発生は、家畜ふん尿からのCH₄及びN₂O、施肥窒素からのN₂Oによるものが多く、これらの発生量を抑制することが地球温暖化対策として重要であると考えられる。

そこで、これまでの測定データを検討し、平成6年度に試作した採草地からのCH₄, N₂O排出係数インデックスの改訂を行うとともに、施用肥料の種類変更による採草地からのN₂O放出量低減化に有効な施肥管理方法に関するコスト調査を行った。

2. 研究方法

(1) 草地及び家畜ふん尿に関係した CH_4 , N_2O 排出係数インデックスの改訂

91、95、96、97、98年に通年測定した採草地における CH_4 , N_2O フラックスデータ、及び過去数回のスラリー施用時のガスフラックスデータに基づき、環境庁地球環境研究総合推進費B-2-(4)-②「草地における温室効果微量ガス放出量の解明に関する研究」において作成した排出係数インデックスの改訂を検討した。

(2) スラリー施用法及び窒素肥料の種類が異なる場合の CH_4 , N_2O 排出係数インデックスの作成

環境庁地球環境研究総合推進費B-2-(4)-②「草地における温室効果微量ガス放出量の解明に関する研究」、B-16-(3)「草地における温室効果微量ガスの動態と制御技術」において、検討してきた対策技術に関して、スラリー施用方法や窒素肥料の種類に関する CH_4 , N_2O の排出係数インデックスを作成する検討を行った。

(3) 施用肥料の種類変更による採草地からの N_2O 放出量低減化に関するコスト調査

平成9年度に完了した環境庁地球環境研究総合推進費B-16-(3)「草地における温室効果微量ガスの動態と制御技術」において計画した、施肥時の N_2O 放出量の低減化に有効な施肥管理方法について、コストの比較を行った。検討した肥料は、慣行肥料(尿素入り高度複合777号:17ALL)、硝化抑制剤入り化成肥料(尿素入り硫加磷安ジシアン555号:DCD、AM尿素化成高度45号:AM)、緩効性窒素肥料(31.0CDU窒素:CDU)である。CDUはリン及びカリを含まないため、施用時にはそれぞれ、過磷酸石灰、塩化カリを添加した。

3. 実験結果及び考察

(1) 草地及び家畜ふん尿に関係した CH_4 , N_2O 排出係数インデックスの改訂

平成6年度に作成したインデックスでは、標準誤差を含めて検討した数値を提示したが、その後測定数値が増えた部分もあるため、これまで得られたデータを加えて、統計処理による検討を行い、草地、窒素肥料及び家畜ふん尿に関する CH_4 , N_2O の排出係数の改訂を行った(表1)。

改訂した排出係数は、平成6年度に作成したインデックスと比較して、排出係数の測定回数が増えた部分については、精度の高い数値を出すことができたといえる。しかしながら、項目の中には、中央値や標準偏差が平均値に対して大きく離れているものがある。肥料や家畜ふん尿の施用時期や圃場へ施用するまでの状態によって CH_4 , N_2O 排出量は大きく影響を受けるが、測定に関してはそれらの条件を厳密にそろえて行ったものではないため、数値の精度という点では決して高いとは言えず、今後ともさらに継続的な測定の必要がある。また家畜ふん尿に関係した部分は測定回数が少ないこともあり、更なる測定例の充実が望まれる。

なお、ここで示した数値は草地試験場のある栃木県那須地域で得られたものであるため、全国に適用するには検討が必要である。全国に対応した排出係数の策定のためには、全国草地面積の約6割を占める北海道や家畜ふん尿の多量施用地域である南九州地域などを含む、全国規模での調査が必要である。

表1 草地、林地及び家畜ふん尿に関係したCH₄,N₂Oの排出係数(改訂版)

N ₂ O排出係数						
項目	n	中央値	平均値	標準偏差	範囲	単位
草地	5	44.0	43.8	2.5	40.6 ~ 47.4	N ₂ O-Nmg/m ² /yr
窒素肥料* ¹	20	2.3	1.0	0.9	0.1 ~ 4.4	N ₂ O-N%/N施用量
放牧牛ふん* ²	7	0.07	0.05	0.04	0.02 ~ 0.11	N ₂ O-N%/T-N
尿	7	0.37	0.27	0.18	0.12 ~ 0.61	N ₂ O-N%/T-N
スラリー	7	0.16	0.12	0.07	0.06 ~ 0.26	N ₂ O-N%/T-N
放牧牛* ³	—	0.32	--	--	0.09 ~ 0.55	N ₂ O-Ng/頭/day
林地	1	--	45.9	--	--	N ₂ O-Nmg/m ² /yr
CH ₄ 排出係数						
項目	n	中央値	平均値	標準偏差	範囲	単位
草地	5	-126.5	-129.9	18.8	-106.8 ~ -146.2	CH ₄ -Cmg/m ² /yr
放牧牛ふん	7	0.19	0.18	0.06	0.10 ~ 0.28	CH ₄ -C%/T-C
スラリー	7	0.31	0.25	0.17	0.06 ~ 0.55	CH ₄ -C%/T-C
放牧牛* ³	—	2.75	--	--	0.85 ~ 4.65	CH ₄ -Cg/頭/day
林地	1	--	-449.5	--	--	CH ₄ -Cmg/m ² /yr

*1:アンモニア性窒素:47%、尿素性窒素:53%

*2:春先や排出後乾燥した状態が続くとN₂O放出は起きない場合もある。

*3:モデルシミュレーション出力値(築城ら,放牧地における牛の成長のモデル化,草地試報,43:1-11,1990)

(2) スラリー施用方法や窒素肥料の種類に関するCH₄,N₂Oの排出係数インデックスの作成

① 乳牛ふん尿に関係したCH₄,N₂Oの排出係数インデックスの作成

平成6年度に作成したインデックスの項目以外に、対策技術として検討してきたスラリーの施用方法に関するインデックスを追加作成した。乳牛ふん尿に関係した排出係数インデックスを表2に示す。

表2 乳牛ふん尿に関係したCH₄,N₂Oの排出係数

N ₂ O排出係数						
項目	n	中央値	平均値	標準偏差	範囲	単位
スラリー						
表面施用	7	0.16	0.12	0.07	0.06 ~ 0.26	N ₂ O-N%/T-N
N.I添加*	1	--	0.07	--	--	N ₂ O-N%/T-N
土中施用	4	0.49	0.47	0.19	0.29 ~ 0.68	N ₂ O-N%/T-N
N.I添加*	1	--	0.20	--	--	N ₂ O-N%/T-N
土壌混和	1	--	0.15	--	--	N ₂ O-N%/T-N
溝施用	1	--	0.18	--	--	N ₂ O-N%/T-N
ふん尿貯留槽	1	--	4.27	--	--	N ₂ O-Ng/頭/yr
CH ₄ 排出係数						
項目	n	中央値	平均値	標準偏差	範囲	単位
スラリー						
表面施用	7	0.31	0.25	0.17	0.06 ~ 0.55	CH ₄ -C%/T-C
土中施用	4	0.06	0.06	0.03	0.02 ~ 0.10	CH ₄ -C%/T-C
土壌混和	1	--	0.09	--	--	CH ₄ -C%/T-C
溝施用	1	--	0.18	--	--	CH ₄ -C%/T-C
ふん尿貯留槽	1	--	23.0	--	--	CH ₄ -Ckg/頭/yr

*:N.I添加=スラリー全窒素量の0.5重量%相当の硝化抑制剤(チオ尿素)を添加

スラリー施用に関しては、比較的数の存在する機械を用いた場合を想定して、対策技術を検討してきたものである。測定回数が1回しかないものもあり、この項目についてはさらに測定回数を重ねて、より数字の精度を上げた後に、対策技術としての有効性を確認する必要がある。ここ

で比較的数量多く検討してきたものは、表面施用と土中施用であるが、インデックスを見てわかるとおり、この施用方法と $\text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}$ の排出量の間にはトレードオフの関係が存在している。そこで、施用直前に硝化抑制剤を添加したスラリーの土中施用方法により、 $\text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}$ の両方の排出量の低減化を企図した。硝化抑制剤には魚毒活性があるものもあり、そのようなことも考慮して、ここではチオ尿素を選んでいるが、他の硝化抑制剤を使用すれば数値は変わるため、今後さらに効果の高い硝化抑制剤の検討も必要である。ちなみにチオ尿素は平成11年4月の時点では、量産には至っておらず、このようなことも対策技術構築にあたっては考慮が必要である。

②窒素肥料に関係した N_2O の排出係数インデックスの作成

採草地では窒素肥料を施用するため、その際に N_2O が発生する。そこで、窒素肥料の種類を変えて N_2O 発生量を低減化させる試験を行った。その際に使用した肥料についての特徴を表3に示す。

表3 検討した窒素肥料の特徴

化成肥料		$\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=17-17-17\%$	尿素:53% アンモニア態窒素:47%
肥効調整型肥料			
化学合成タイプ	(CDU)	CDU窒素	
被覆タイプ	(LP30)	被覆尿素30日溶出タイプ	
	(LP70)	被覆尿素70日溶出タイプ	
	(ロング40)	被覆硝酸カルシウム40日溶出タイプ	
硝化抑制剤入り	(DCD)	$\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=15-15-15\%$	硝化抑制剤:ジシアジアミド
	(AM)	$\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=15-15-15\%$	硝化抑制剤:2-アミノ-4-クロロ-6-メチルピリミジン
硝酸性窒素肥料	(硝カル)	硝酸カルシウム	(潮解性が大きく、取扱いに難)

化成肥料、硝化抑制剤入り肥料以外はリン及びカリウムを含まないため、 P_2O_5 として過燐酸石灰、 K_2O として塩化カリウムを使用した。

施肥は早春、1番、2番、3番刈後の4回行い、1回の施用量は $\text{N}, \text{P}_2\text{O}_5, \text{K}_2\text{O}$ で各5kg/10a。

採草地での施肥方法は、草地表面に肥料を撒くことしかできない。土中に施用する方法がないわけではないが、その場合は草地にもダメージを大なり小なり与えることになり、その年の収量に影響がでるため、通常はやらない。そこで、各種検討肥料を草地表面に施用してデータを収集した結果を表4に示す。

表4 窒素肥料に関係した N_2O の排出係数

項目	n	中央値	平均値	標準偏差	範囲	単位
化成肥料	20	2.3	1.0	0.9	0.1~4.4	$\text{N}_2\text{O-N\%/N施用量}$
肥効調整型窒素肥料						
化学合成タイプ						
CDU	12	0.5	0.4	0.3	0.0~1.0	$\text{N}_2\text{O-N\%/N施用量}$
被覆タイプ						
LP30	8	0.4	0.3	0.2	0.1~0.7	$\text{N}_2\text{O-N\%/N施用量}$
LP70	12	0.3	0.2	0.2	0.0~0.6	$\text{N}_2\text{O-N\%/N施用量}$
ロング40	8	0.4	0.4	0.2	0.1~0.6	$\text{N}_2\text{O-N\%/N施用量}$
硝化抑制剤入り						
DCD	12	0.4	0.3	0.2	0.0~0.8	$\text{N}_2\text{O-N\%/N施用量}$
AM	12	0.4	0.4	0.2	0.1~0.7	$\text{N}_2\text{O-N\%/N施用量}$
硝カル	12	0.4	0.2	0.2	0.0~0.8	$\text{N}_2\text{O-N\%/N施用量}$

表1と同様に、スラリー施用方法や肥料の種類変更の試験で得られたデータの中央値や標準偏差には、平均値に対して大きく離れている部分がある。前述したように、施用時期や圃場へ施用するまでの状態によってCH₄、N₂O排出量は大きく影響を受けるが、厳密に条件をそろえてデータを取ったものではないため、数値の精度には問題がある。それ故に、ここに示した数値のみの比較により対策技術体系を構築するのは問題があり、前述した施用時期、地域性や収量なども含めた検討が必要である。

(3) 施用肥料の種類変更による採草地からのN₂O放出量低減化に関するコスト調査

平成9年度に完了した環境庁地球環境研究総合推進費B-16-(3)「草地における温室効果微量ガスの動態と制御技術」において、N₂O放出量のみならず、牧草収量、品質、取り扱いの難易等を勘案して計画した、施肥時のN₂O放出量の低減化に有効な施肥管理方法(表5)について、コストの比較を行った。

その結果、表6に示すように、従来の慣行肥料を用いた施肥管理方法に比べて、肥料代が約17~51%増となった。最もコスト高となったのはCDUを使用した施肥計画であった。

表5 N₂O放出量低減化に有効な施肥計画と予想されるN₂O放出量低減化率

施肥計画	試算低減化率
全追肥時に硝化抑制剤入り化成肥料(DCD, AM)のみを使用	43~57%減
早春施肥は慣行肥料(化成)、刈取後施肥は緩効性窒素肥料(CDU)を使用	47%減

試算低減化率は、慣行施肥におけるN₂O放出量最小値(N₂O放出実測値-標準誤差)に対して、それぞれの施肥時期別N₂O放出量最大値(N₂O放出実測値+標準誤差)の積算値から試算した。各N₂O放出量は無施肥の数値で補正している。

表6 施用肥料の種類変更による採草地からのN₂O放出量低減化に要するコスト

	10aあたり年間	差額
17ALL全分施	10588円	—
AM全分施	14452円	3864円
DCD全分施	12388円	1800円
早春17ALL+他分施時CDU	15993円	5405円

施肥は早春、1番、2番、3番刈後に行い、各分施時N-P₂O₅-K₂O=5-5-5kg/10aで、年4回分施した。CDU施用時は過燐酸石灰、塩化カリも施用するため、その費用も含んでいる。肥料代の計算は、平成10年12月現在の価格を使用。1円以下は四捨五入している。

施用量に関しては、既存の施肥体系との置き換えを主眼にしているため、窒素、リン酸、カリの施用量は変更していない。一般に肥効調節型肥料は肥効率が高いため、減肥の可能性が高い。減肥ができれば、肥料の施用量自体が減るためにコストもN₂O放出量も減ることから、肥効調節型肥料の使用は有効な選択肢となり得ると思われる。減肥とコストの点は今後の検討が必要となる。

4. 得られた成果

1. 91、95、96、97、98年に通年測定した採草地におけるCH₄、N₂Oフラックスデータ、及び過去数回のスラリー施用時のガスフラックスデータに基づき、環境庁地球環境研究総合推進費B-2-(4)-②「草地における温室効果微量ガス放出量の解明に関する研究」において作成した排出係数インデックスの改訂を行った。

2. 環境庁地球環境研究総合推進費B-2-(4)-②「草地における温室効果微量ガス放出量の解明に関する研究」、B-16-(3)「草地における温室効果微量ガスの動態と制御技術」において、検討してきた対策技術に関して、スラリー施用方法や窒素肥料の種類に関するCH₄,N₂Oの排出係数インデックスを作成する検討を行った。
3. 平成9年度に完了した環境庁地球環境研究総合推進費B-16-(3)「草地における温室効果微量ガスの動態と制御技術」において計画した、施肥時のN₂O放出量の低減化に有効な施肥管理方法について、コストの比較を行った。その結果、従来の慣行肥料を用いた施肥管理方法に比べて、肥料代が約17～51%増となり、最もコスト高となったのはCDUを使用した施肥計画であった。

[研究発表の状況]

(1) 口頭発表 なし

(2) 論文発表

- ①山本克巳、渋谷 岳：畜産における温室効果ガスの発生制御 第四集, 139-163(1999)
草地からのメタンおよび亜酸化窒素の発生とその制御 (b) 亜酸化窒素
- ②渋谷岳、川内郁緒、野中邦彦：草地飼料作研究成果最新情報 14, 71-72(1999)
硝化抑制剤添加スラリーの上中施用によるメタン及び亜酸化窒素放出量の低減(予定)
- ③渋谷岳、川内郁緒、野中邦彦：草地飼料作研究成果最新情報 14, 73-74(1999)
肥効調節型窒素肥料の利用による採草地からの亜酸化窒素放出の低減(予定)