

学位論文題名

堆肥施与が経年採草地における
温室効果ガス収支に与える影響

学位論文内容の要旨

1. 背景と目的

膨大な輸入飼料に依存した我が国の畜産では、過剰な家畜ふん尿が発生し、水質汚濁の原因にもなっているため、その有効利用が重要である。家畜生産を支える草地は、不耕起で管理され、一般作物に比べ植物体の地下部炭素(C)が大きいことから、畑地より土壤有機炭素(SOC)を集積する。草地への堆肥施与は、SOC集積を促進させるが、メタン(CH₄)や亜酸化窒素(N₂O)の吸収発生にも影響を与える。本研究では、最適な草地管理を確立するために、草地の施肥管理が温室効果ガス(二酸化炭素(CO₂), CH₄, N₂O)収支に与える影響を明らかにすることを目的とした。

2. 調査地と方法

北海道新ひだか静内のリードカナリグラス採草地で、2005年4月から2008年5月までの3年間、調査をおこなった。対象草地に化学肥料のみを施与した化学肥料区、堆肥と化学肥料を併用した堆肥区、無施肥区を設定した。堆肥区では、肉牛バーク堆肥を連用し、堆肥施与量は一般農家が実行可能であり、堆肥からの年間カリウム放出量が牧草のカリウム要求量を超えないレベルとして、2005年から2008年までそれぞれ44, 43, 44, 46 Mg FM ha⁻¹ (5.8, 6.0, 7.7, 8.0 Mg C ha⁻¹)とした。各処理区で、純生態系生産(NEP)と、NEPに堆肥投入によるC搬入を加え収穫によるC搬出を差し引いた純生物相生産(NBP)を求めた。NEPの測定には、純一次生産量(NPP)と有機物分解の差からNEPを求める生態学的手法と、乱流変動量を直接測定する渦相関法を用いた。CH₄とN₂O発生の測定には、クローズドチャンバー法を用いた。

3. 生態学的手法による採草地の炭素収支の測定

施肥管理が採草地のC動態とC収支に与える影響を明らかにするため、生態学的手法によりC収支を測定した。地下部現存量の季節変化が明らかでなかったため、NEPは、地上部純一次生産量(ANPP)から土壤有機物分解と堆肥分解を差し引いて求められた。NEPの3年間平均(±標準偏差)は、化学肥料区、堆肥区、無施肥区それぞれ1.1±1.0, -2.7±2.7, -1.2±0.3 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹であった。いずれの区においても、収穫によるC搬出はNEPを上回った。NBPの3年間平均(±標準偏差)は、化学肥料区、堆肥区、無施肥区それぞれ-3.7±0.4, -0.5±1.4, -3.9±0.1 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹で、堆肥の投入により圃場へのC固定もしくはC放出の減少が認められた。

春(3月上旬から6月下旬)には植物体地下部由来のCO₂発生が増加することが観測された。これは生きた根の呼吸の増加か、枯死根の分解に由来すると推察された。春のCO₂発生の増加が生きた根の呼吸の増加に由来したとしても、枯死根に由来したとしても、それらは植物が吸収したCに由来するもので、NEPに影響しないと考えられた。

4. 採草地の窒素収支と N₂O 発生

春の CO₂ 増加が生きた根の呼吸と枯死根の分解のいずれに由来しても、NEP には影響しないと考えられたが、それらが N 収支に与える影響は異なる。もし生きた根の呼吸であれば、N 収支には関係しないが、枯死根の分解であれば、CO₂ 発生時に無機態 N を放出する。そこで、採草地の N 収支を求め、春の CO₂ 増加の由来を検討した。さらに、N 収支と N₂O 発生の関係も比較した。春の CO₂ 増加を枯死体分解に由来すると仮定し、植物枯死体分解、土壌有機物分解、堆肥分解による CO₂ 発生量をそれぞれの C:N 比で除し、無機化 N 量とした。無機化 N 量、N 降下物量、化学肥料施肥量の和を全無機態 N 供給量とし、植物体地上部 N 吸収量と比較したところ、有意な正の相関を示した。植物枯死体由来の無機化 N 量は、全無機態 N 供給量の 18~23% を占め、植物生長にとって重要な供給源のひとつであることが示された。つまり、春の CO₂ 発生の増加は、生きた根の呼吸ではなく枯死根の分解に由来していたと考えられた。

3 年間の年間 N₂O 発生量は年次間に有意な差は認められず、平均 (± 標準偏差) は化学肥料区、堆肥区、無施肥区、裸地区それぞれ 2.4 ± 0.9 , 3.5 ± 1.4 , 0.7 ± 0.1 , 3.4 ± 0.8 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ であった。化学肥料区、堆肥区、裸地区の間には有意差は認められなかったが、これらの区は無施肥区より 5% 水準で有意に大きかった。季節積算 N₂O 発生量は、全無機態 N 供給量よりも余剰 N 量 (全無機態 N 供給量と植物体地上部 N 吸収量の差) と強い相関を示し、余剰 N に対する N₂O 発生係数は 1.20% と算出された。この発生係数は降水量の増加とともに増加した。余剰 N を減らすことが、N₂O 発生を抑制すると推察された。

5. C 収支測定手法の比較

C 収支測定手法の比較のため、対象草地において生態学的手法、渦相関法、SOC 変化量の測定によって C 収支を求め、比較、検証した。全ての手法で、堆肥区は化学肥料区より大きく、その差は生態学的手法で 3.9 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹、渦相関法で 5.6 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹、SOC 変化量で 5.4 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹ であった。しかし、それぞれの C 収支の値は手法間で異なり、生態学的手法による C 収支 (化学肥料区、堆肥区それぞれの 2 年平均 -3.6 , 0.3 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹) は、渦相関法による C 収支 (化学肥料区、堆肥区それぞれの 2 年平均 0.1 , 5.6 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹) より $2.6 \sim 5.9$ Mg C ha⁻¹ yr⁻¹ 小さかったが、SOC 変化量 (化学肥料区、堆肥区それぞれの 2 年平均 -4.3 , 1.3 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹) とは近い値を示した。このことから、渦相関法による NEP の推定の過大評価の可能性が考えられた。

6. 採草地の CH₄ 発生

施肥管理が草地の CH₄ 吸収発生に与える影響を明らかにするため、対象草地において CH₄ 発生量を測定した。CH₄ 発生量は 2007 年で有意に大きかったが ($p < 0.05$)、処理区間で有意な差は認められず、3 年間の CH₄ 発生量の平均 (± 標準偏差) は化学肥料区、堆肥区、無施肥区それぞれ 1.3 ± 2.6 , 0.1 ± 0.2 , 1.5 ± 2.4 kg C ha⁻¹ yr⁻¹ であった。したがって、本調査地では、施肥管理は CH₄ 吸収発生量に影響を与えなかったと判断された。

7. 施肥管理が採草地の温室効果ガス収支に与える影響

施肥管理が CO₂, CH₄, N₂O に与える影響を総合的に評価するため、CO₂, CH₄, N₂O の放射強制力を考慮した係数をそれぞれ 1, 25, 298 として、対象草地の地球温暖化指数 (GWP) を算出した。CO₂ 収支には、生態学的手法による NBP を用いた。GWP は化学肥料区、堆肥区、無施肥区それぞれ 14.9 , 3.6 , 14.5 Mg CO₂ eq ha⁻¹ yr⁻¹ となった。GWP への寄与は CO₂ が最も大きく、堆肥区では堆肥による C 導入で圃場の C 消費が抑制されたため、GWP が最も小さかった。ただし、堆肥区の N₂O 放出量は化学肥料区より 1.3~1.6 倍大きかった。

8. 結論

採草地への堆肥の施与は、土壌の C 消費を抑制し、地球温暖化への負荷を減少させた。しかし、堆肥の施与は N₂O 発生を促進し、その抑制は今後の課題である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 波多野 隆 介
副 査 教 授 長谷川 周 一
副 査 教 授 平 野 高 司

学 位 論 文 題 名

堆肥施与が経年採草地における 温室効果ガス収支に与える影響

本論文は10章からなり、図57、表35、引用文献219を含む138ページの和文論文である。他に参考論文1編が添えられている。

膨大な輸入飼料に依存した我が国の畜産では、過剰な家畜ふん尿が発生し、水質汚濁の原因にもなっているため、その有効利用が重要である。家畜生産を支える草地への堆肥施与は、温室効果ガスの吸収・発生に影響を与える。そこで本研究では、最適な草地管理を確立するために、草地の施肥管理が温室効果ガス (CO_2 , CH_4 , N_2O) 収支に与える影響を明らかにすることを目的とした。

北海道新ひだか静内のリードカナリグラス採草地で、2005年4月から2008年5月までの3年間、調査をおこなった。対象草地に化学肥料のみを施与した化学肥料区、堆肥と化学肥料を併用した堆肥区、無施肥区を設定した。堆肥区では、肉牛バーク堆肥を連用し、堆肥施与量は一般農家が実行可能であり、堆肥からの年間カリウム (K) 放出量が牧草のK要求量を超えないレベルとして、2005年から2008年までそれぞれ $44\sim 46 \text{ Mg FM ha}^{-1}$ ($5.8\sim 8.0 \text{ Mg C ha}^{-1}$) とした。各処理区で、純生態系生産 (NEP) と、NEP に堆肥投入による炭素 (C) 搬入を加え収穫によるC搬出を差し引いた純生物相生産 (NBP) を求めた。NEP の測定には、純一次生産量 (NPP) と有機物分解の差からNEPを求める生態学的手法と、乱流変動量を直接測定する渦相関法を用いた。 CH_4 と N_2O 発生の測定には、クローズドチャンバー法を用いた。

施肥管理が採草地のC動態とC収支に与える影響を明らかにするため、生態学的手法によりC収支を測定した。地下部現存量の季節変化は認められなかったことから、NEPは、地上部純一次生産量 (ANPP) から土壌有機物分解と堆肥分解を差し引いて求められた。NEPの3年間平均は、化学肥料区、堆肥区、無施肥区それぞれ 1.1 , -2.7 , $-1.2 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ であった。堆肥区でより大きなCの消耗が認められた。化学肥料区と堆肥区の収穫量に有意な差は認められなかったが、これらは無施肥区より有意に大きかった。NEPに、堆肥施与のC搬入と、収穫のC搬出を加えたNBPの3年間平均は、化学肥料区、堆肥区、無施肥区それぞれ -3.7 , -0.5 , $-3.9 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ で、堆肥区で

は堆肥施与のC搬入が、NEP でみられたC消費および収穫のC搬出を補っていた。

採草地の窒素(N)収支と N_2O 発生を定量的に評価するため、草地における無機態N供給量を推定した。植物枯死体分解、土壌有機物分解、堆肥分解による CO_2 発生量をそれぞれのC:N比で除し、無機化N量とした。無機化N量、N降下物量、化学肥料施肥量の和を全無機態N供給量とし、植物体地上部N吸収量と比較したところ、有意な正の相関を示した。化学肥料区、堆肥区、無施肥区の季節積算 N_2O 発生量は、余剰N量(全無機態N供給量と植物体地上部N吸収量の差)と強い相関を示し、余剰Nに対する N_2O 発生係数は0.77%と算出された。この発生係数は降水量の増加とともに増加した。余剰Nを減らすことが、 N_2O 発生を抑制すると推察された。

C収支測定手法の比較のため、対象草地において生態学的手法、渦相関法、土壌有機炭素(SOC)変化量の測定によってC収支を求め、比較、検証した。全ての手法で、堆肥区は化学肥料区より大きかったが、それぞれのC収支の値は手法間で異なり、生態学的手法によるC収支は、渦相関法によるC収支より $2.6\sim 5.9\text{ Mg C ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ 小さかったが、SOC変化量とは近い値を示した。このことから、渦相関法によるNEPの推定の過大評価の可能性が考えられた。

施肥管理が草地の CH_4 吸収発生に与える影響を明らかにするため、対象草地において CH_4 発生量を測定した。 CH_4 発生量は2007年で有意に大きかったが、処理区間で有意な差は認められなかった。したがって、本調査地では、施肥管理は CH_4 吸収発生量に影響を与えなかったと判断された。

施肥管理が CO_2 、 CH_4 、 N_2O に与える影響を総合的に評価するため、 CO_2 、 CH_4 、 N_2O の放射強制力を考慮した係数をそれぞれ1、25、298として、対象草地の地球温暖化指数(GWP)を算出した。 CO_2 収支には、生態学的手法によるNBPを用いた。GWPは化学肥料区、堆肥区、無施肥区でそれぞれ14.9、3.6、14.5 $Mg\ CO_2\ eq\ ha^{-1}\ yr^{-1}$ となり、堆肥区では堆肥施与のC搬入で、圃場のC消費が抑制されたためGWPが最も小さくなり、温暖化を抑制する効果がみられた。

以上のように、本研究は、草地における要素放出速度に配慮した適切な堆肥施用は、収量を維持し、温室効果ガス放出を抑制できることを示したものであり、関連学会等で高く評価されている。よって、審査員一同は、清水真理子が博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。