

液状きゅう肥（スラリー）を散布した小麦収穫跡地土壌の 微生物バイオマスと窒素無機化活性の変動

新良 力也

I. 緒 言

北海道においても、酪農家の多頭化経営が進み、産出される家畜糞尿量が酪農家自身の農地に対する適切な還元量を超えつつあるため、家畜糞尿を畑作農地へ積極的に還元し単位耕地面積あたりの負荷量を低減させることが重要課題となっている（Nira, 2001）。従来から、堆きゅう肥の畑地施用は進められているが、産出が増大しているスラリーについては、その窒素成分の流亡とアンモニア揮散が起りやすいことから取り扱いに困難が伴っているようである（北海道立農業・畜産試験場家畜糞尿プロジェクト研究チーム, 1999）。

北海道の畑作地帯では、一般に、作物の生育期間を確保するために春先の短期間に播種作業が集中し、堆きゅう肥の施用作業は春を避けて秋に実施されることが多い。スラリーの畑作地帯への散布についても、作業労力の分散を考えれば秋に実施したいところであるが、秋施用の場合、スラリーに多量に含まれる水溶性窒素成分が融雪期間に流亡する恐れがある（新良ら, 1998）。そこで、この窒素成分の流亡を防ぐ散布方法のひとつとして、スラリーを小麦収穫跡地へ散布することを検討した。スラリーの水溶性窒素成分を、微生物に、麦稈を分解する際に必要とする窒素成分として利用固定させて、その溶脱を抑制させることを想定した。他方、小麦収穫跡地では、高C/N比である小麦収穫残渣の分解を促進するために窒素肥料の散布が進められており（松代・佐藤, 1981）、この窒素肥料の代わりにスラリー中のアンモニア態窒素を利用することも想定した。これらの効果があり得るかどうかが、スラリーの小麦収穫跡地への散布を実施し、微生物による窒素固定保持を土壌微生物バイオマスの変動から、また、分解促進を窒素無機化活性の推移からそれぞれ評価した。

II. 材料および方法

1. 試験圃場と処理

北海道農業研究センター畑作研究部内圃場で、秋播小麦を1996年8月9日にコンバインにて収穫後、収穫跡地の一部に、スラリー散布試験区を9月12日に設定した。この圃場の土壌型は褐色火山性土に分類される。

試験区は、小麦残渣の上にスラリーを散布する処理区、小麦残渣を除去してからスラリーを散布する処理区、小麦残渣を残してスラリーを散布しない処理区からなる。各処理区の面積を25m²（5m×5m）として、処理の配置は3反復の乱塊法で行った。小麦残渣量は、コンバイン収穫後の残渣を圃場に均一に散布したことから、小麦収穫調査時の茎葉重720g DM m⁻²に一致すると判断した。スラリー施用量は、投入されるスラリー中のアンモニア態窒素と小麦残渣を合わせた投入物のC/N比が30以下となるよう5 L m⁻²とした。このC/N比30以下という設定は、土壌にすき込まれる小麦収穫残渣の分解を促進するために散布する化学肥料の窒素量を決定する指標（松代・佐藤, 1981）を参考にした。

スラリーは芽室町上美生地区の肥培かんがい施設から運搬し、畑地表面に均一になるよう散布した。使用したスラリーの全蒸発残留物含有率は38g L⁻¹、全窒素含有率は3.1g N L⁻¹、そして、アンモニア態窒素含有率は1.7g N L⁻¹であった。一方、小麦茎葉の全窒素含有率は5.6g N kg⁻¹であった。従って、5 L m⁻²の液状きゅう肥を施用することで、液状きゅう肥中のアンモニア態窒素量が8.5g N m⁻²、麦稈由来窒素量が4.0g N m⁻²すき込まれ、麦稈由来炭素量は未分析であるが、一般に炭素含有量は400g C kg⁻¹程度に一定しているので、この値を用いれば、288g C m⁻²相当の炭素がすき込まれることとなって、C/N比は23と算出される。スラリー散布翌日9月13日には、ディスクハローとロータリーハローにより小麦残渣およびスラリーを土壌に混和した。この時、ハローの深さは12~16cm程度となった。

翌年4月、上記圃場全面に再度ロータリーハローをかけて4月24日にてん菜を植えつけた。肥料はエコープ高度化成肥料N202を1350kg ha⁻¹相当、要素量でいえば162kg N ha⁻¹, 270kg P₂O₅ ha⁻¹, 162kg K₂O ha⁻¹, 54kg MgO ha⁻¹相当を作条施用し、栽植密度を畝間65cm, 株間22cmとした。その後、5月9日には畦間サブソイラーを、6月16日にはロータリーカルチを実施した。そして、収穫調査は10月22日に行った。

2. 調査項目

1996年10月2日、翌1997年5月6日、6月30日、9月1日に、各処理区より作土土壌を採取して、土壌中の微生物バイオマスと窒素無機化活性を測定した。土壌は、直径3.5cmの円筒採土用具で一区あたり8箇所、深さ0~15cm部のものを採取し混合して分析試料とした。1997年の採取はてん菜の畝間中央部から行った。

1997年4月28日、6月23日、8月25日には、深さ別土壌の無機態窒素量の分布を調査した。てん菜畝間中央部から、直径2.5cmの円筒採土用具で深さ0~15cm, 15~35cm, 35~55cm, 55~75cm部分の土壌を採取し分析した。この調査では、一区あたり1箇所ずつの採土である。

また、1997年6月23日、8月25日、10月6日には、各処理区から1畝あたり2株、計4株のてん菜を抜き取り、体内窒素量を分析した。

3. 測定および統計処理方法

微生物バイオマスと窒素無機化活性を測定する土壌は、採取後約3時間室内に広げて軽く風乾した後、2mmふるいを通させた。微生物バイオマスはクロロホルムくん蒸抽出法で、窒素の場合はBrookesら(1985)の方法に準じて、新良・西宗(2000)の分析手順に従い、炭素の場合はVanceら(1987)の方法に準じて測定した。窒素無機化活性は、重窒素希釈法を用いてNishioら(1985)の算出法で求めた。具体的な手順はNiraら(1996)の方法とほぼ同じであるが、測定温度は採取時期の地温を反映させるようにした。すなわち、過去2~3年に観測された深さ10cm部の地温データから、土壌採取月日と同月日より前10日間の平均地温を求めて培養温度に設定した。

土壌中の無機態窒素は2M塩化カリウム液で抽出しフローインジェクション分析により定量し(新良・西宗, 2000b)、てん菜体内の窒素量はサリチル

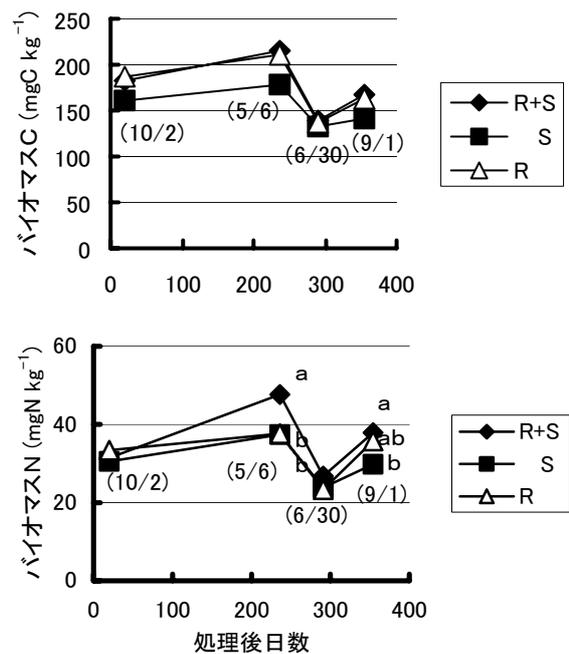
酸-硫酸を使ったケルダール法(木内, 1975)で定量した。

得られた測定値に対しては、統計処理ソフトSAS(SAS Institute, 1988)のGLMプロシージャを使って分散分析およびTukeyの多重比較検定を行った。なお、測定結果は3反復の平均値で示した。

III. 結 果

1. 土壌微生物バイオマス炭素・窒素の変動

土壌微生物バイオマス炭素は132~215mg C kg⁻¹の範囲にあり、バイオマス窒素は23.3~47.6mg N kg⁻¹で、6月に低下傾向を示した以外、大きな変動はみられなかった(第1図)。麦稈およびスラリーのすき込み処理による影響については、5月と9月試料のバイオマス窒素に有意な差が認められ、麦稈とスラリーを同時にすき込めば大きくなっていた。



第1図 土壌微生物バイオマスの推移

R+S;麦稈とスラリーのすき込み処理, S;スラリーのみすき込み処理, R;麦稈のみすき込み処理。

図中()内の数値は試料採取月日を示す。

各調査時に処理間差が認められた場合には英文字を付け、同英文字が付いた数値はTukey検定p<0.05水準で有意な差がないことを示す。

バイオマスC/N比は4.4~6.9の範囲でほぼ一定し、処理による有意な差は認められなかった。イギ

リスローザムステッドでの調査事例 (Ocioら, 1991) においても、麦稈および麦稈と窒素肥料のすき込み後の土壌微生物バイオマス C / N比は 4.7 ± 0.50 に安定していたと報告されており、高 C / N比の有機物がすき込まれた場合にも微生物バイオマスの C / N比は大きく変化せず、言い換えれば、不足分の窒素を補ってやらなければ微生物の増殖が容易に進行しないことを確認した。

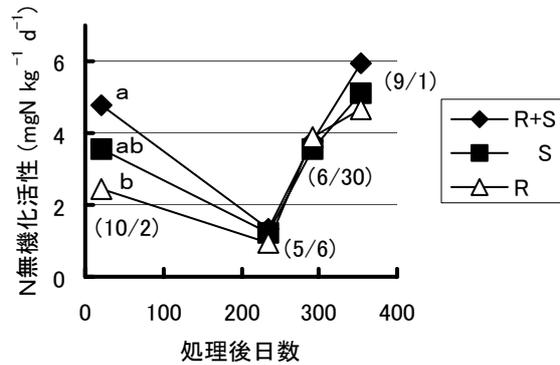
2. 窒素無機化活性の変動

窒素無機化活性は、散布年の10月2日に $2.46 \sim 4.78 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ であったのが翌年5月6日には $0.92 \sim 1.31 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ に低下し、その後、6月30日に前年10月の値に近づき、9月1日には調査時としては最高値 $4.66 \sim 5.96 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ になった (第2図)。この季節変動は、必ずしも、微生物バイオマ

スの増減と対応せずに測定温度すなわち推定地温に強く依存していた。すなわち、5月6日の試料は測定温度 10°C と低く窒素無機化活性も最低を記録し、10月と6月では 16°C 、 17°C で、ほぼ同じ程度の活性となり、9月1日の試料は 21°C と最高温で活性も高くなった。麦稈とスラリーのすき込み処理による影響は処理年に認められ、麦稈のみをすき込むよりもスラリーのみを施用するほうが窒素無機化活性は高まる傾向が見られ、さらに、麦稈とともにスラリーを施用すれば有意に高くなった。その後は、翌年の9月に、同順の序列で活性の大小の傾向がみられた以外、この試料も含めて、有意な差は認められなかった。

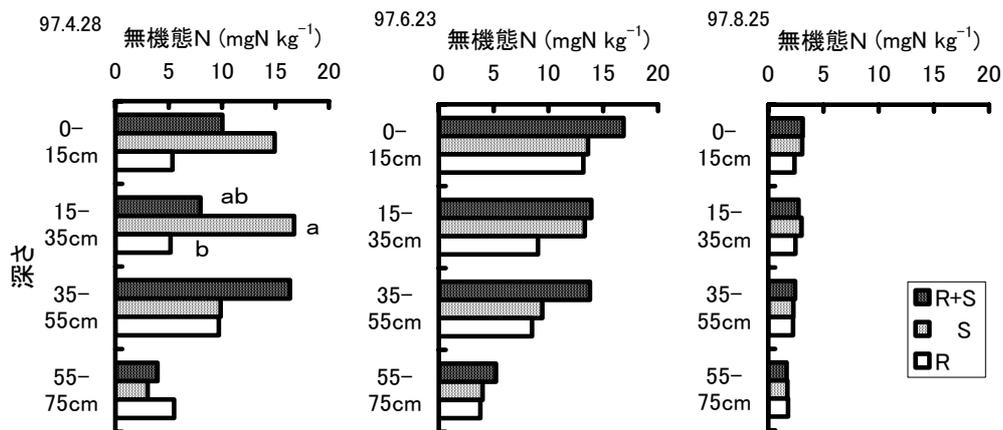
3. 土壌中の無機態窒素量の推移

土壌中の無機態窒素量には、越冬融雪直後4月28



第2図 土壌中の窒素無機化活性の推移

凡例の内容と図中の数値と英文字の表す意味は第1図と同じ。



第3図 土壌中の深さ別無機態窒素分布の変化

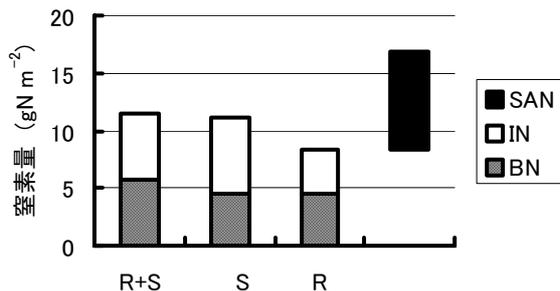
凡例の内容は第1図と同じ。

各調査時の深さごとに処理間差が認められた場合には英文字を付け、同英文字が付いた数値は Tukey 検定 $p < 0.05$ 水準で有意な差がないことを示す。

日に、スラリーのみを施用した区で麦稈とスラリーを同時に施用した区と比べ、表層0～35cm部分において大きくなる傾向がみられた(第3図)。6月23日には処理による差異はほとんど見られなくなり、その後、8月25日には、どの処理区でも表層から75cm層まで無機態窒素量が小さくなった。4月において、麦稈とスラリーを施用した区でスラリーのみを施用した区より無機態窒素量が低下していた現象は、スラリーをC/N比の高い麦稈と同時にすき込むことにより、スラリー由来の無機態窒素が土壤微生物に吸収固定されたことで生じたと考えられる。

4. 融雪直後土壤中の微生物バイオマス窒素量と無機態窒素量の分配

融雪直後の調査結果から各処理区ごとに75cm層までの無機態窒素量(4月28日データ)と微生物バイオマス窒素(5月6日データ)を積算したのが第4図である。微生物バイオマスについては、麦稈とスラリー施用による増大がすき込み処理をした表層



第4図 越冬融雪後の土壤中における微生物バイオマス窒素と無機態窒素量の分配と散布スラリー由来のアンモニア態窒素量との比較

R+S;麦稈とスラリーのすき込み処理, S;スラリーのみすき込み処理,R;麦稈のみすき込み処理,SAN;散布スラリー由来アンモニア態窒素, IN;無機態窒素, BN;微生物バイオマス窒素

土壤で大きいと考えられるので、0～15cm層のもので土壤全体を代表させた。スラリーを施用した二つの処理区で無機態窒素量が大きく、そのうち、麦稈とスラリーを同時に施用した区で微生物バイオマス窒素が微増していた。しかし、麦稈とスラリーを同時に施用した区の微生物バイオマス窒素の増大量は、散布したスラリー中のアンモニア態窒素量に比べてかなり小さく、また、無機態と微生物バイオマス窒素を積算した窒素量は、麦稈のみを施用した区の積

算窒素量に散布したスラリーのアンモニア態窒素量を加算したものに比べて小さい。すなわち、散布したアンモニア態窒素の大部分が調査対象系外へ流亡したものと考えられる。ここでは、下層土での微生物バイオマスの変動を追跡していないが、土壤カラムにスラリーを表面施用してもごく表層0～2.5cmより下部で微生物活性にほとんど影響が及ばなかった試験(大矢, 2000)を参考にすれば、スラリー施用区で下層土の微生物バイオマスが大きく増大したとは推測しがたい。

5. 後作物てん菜の窒素吸収量と収量

てん菜の体内窒素量には、生育初期6月23日に処理間差が認められた(第1表)。スラリーのみを施用した区で体内窒素量が大きく、麦稈とスラリーを同時に施用した区では、スラリー散布の効果がみられずに麦稈のみ施用区と同程度であった。これは、麦稈と同時にすき込むことでスラリー中のアンモニア態窒素が微生物に取り込まれて、てん菜の吸収可能な窒素量が減少したために生じたと考えられ、4月下旬の土壤中の無機態窒素量が小さかった(第3図)

第1表 テンサイの体内窒素量と収量におよぼすスラリーと麦稈散布の影響

処 理	作物体内窒素量 (gN m ⁻²)			根重収量 (kg m ⁻²)
	6月23日	8月25日	10月6日	
R+S	2.2b	12.3a	11.8a	6.0a
S	3.0a	12.1a	11.0a	6.1a
R	2.1b	10.3a	11.6a	6.1a

R+S;麦稈とスラリーのすき込み,S;スラリーのみすき込み,R;麦稈のみすき込み。

各調査時の処理間差について、同英文字が付いた数値はTukey検定 $p < 0.05$ 水準で有意な差がないことを示す。

ことと対応している。その後、8月25日から10月6日の体内窒素量に処理間の差異は認められなかった。また、根重収量についても、処理間差はみられず、6.0～6.1kg m⁻²の収量となった(第1表)。

IV. 考 察

散布したスラリー中のアンモニア態窒素量に比べて、散布処理による微生物バイオマス窒素の増大量は小さく、本圃場試験では、越冬融雪後までスラリーの水溶性窒素成分を微生物バイオマスとして土壤中に保持させ得たとは言い難かった。イギリスローザムステッド研究所の圃場で行われた麦稈のすき込

み試験（Ocioら, 1991）では、麦稈をすき込んだ土壌で微生物バイオマスが一年間高く維持されたと報告されているが、 100kg N ha^{-1} 相当の硝酸アンモニウムの同時施用による効果としては、施用後14日目にさらなる増大がみられた以降、麦稈のみのすき込み処理との差異が認められていない。今回実施した試験でも麦稈とスラリーの同時施用による微生物バイオマスの増大は著しくなく、増大効果を長期間維持することは容易に実現できないのかもしれない。さらに、重窒素標識した麦稈粉末を添加した土壌の培養試験において急増する微生物バイオマス窒素には、麦稈中の易分解性窒素が多く使われたという結果（Ocioら, 1991b）も考え合わせて、前述のOcioら（1991）は、麦稈と同時に施用した無機態窒素の一部が微生物バイオマスに取り込まれずに溶脱作用を受ける可能性があると考えしている。しかし、培養実験（Ocioら, 1991b）では、硝酸アンモニウムの同時添加により、微生物バイオマスのさらなる増大が認められること、同時に、無機態窒素の急激な減少が認められたことを重視すれば、散布方法の改良によって、野外でも散布窒素成分を微生物バイオマスとして保持させる可能性は残されていると考えられる。

スラリー施用による土壌微生物バイオマス窒素の増大量が散布したスラリー中のアンモニア態窒素量に比べて小さかった原因としては、他方、アンモニア揮散により、散布スラリー中の窒素が土壌から消失して微生物バイオマス形成に寄与できなかった可能性も考えられる。家畜糞尿処理・利用の手引き（1999）では、ヨーロッパにおける知見として、地上に露出している麦稈に付着したスラリーからのアンモニア揮散が60%を超えた例が紹介されている。また、松中ら（2001）は、オーチャードグラス刈り取り後にスラリーを表面施用した場合のアンモニア揮散量は、 6 kg m^{-2} 相当の施与で144時間に施与アンモニア態窒素の30%前後に達し、うち24時間内の揮散が旺盛だったと報告している。スラリー散布に伴うアンモニア揮散は急速にかなりの窒素量に達する可能性がありそうである。本研究で散布20日後（10月2日）に採取した土壌では、スラリー散布による微生物バイオマス窒素の増大が大きくないにもかかわらず、窒素無機化活性の測定中に副次的に求まる無機態窒素量の増大も $12\sim 16\text{ mg N kg}^{-1}$ （ $1.4\sim 1.9\text{ g N m}^{-2}$ ）と小さくなかった（データ略）。この

ことは、スラリー散布を行っても、アンモニア揮散が生じて土壌中の無機態窒素量をあまり増大させず、微生物バイオマス形成の窒素供給源となり得なかったことを示唆する。

麦稈のみのすき込むよりも、スラリーを散布してすき込めば、当年秋の窒素無機化活性が高まることが認められた（第2図）。麦稈のようなC/N比の高い作物残渣をすき込む場合には、化学窒素肥料を施用して投入物のC/N比を下げることで速やかな窒素放出につながる（Paul and Clark, 1989）。本試験で窒素無機化活性が高まったのは、スラリー中のアンモニア態窒素が投入物のC/N比を低下させる役割を果たし、速やかな窒素放出につながったものと考えられる。しかし、その活性の増大効果は持続しなかった。松代・佐藤（1981）は、北海道十勝地方の火山性土において麦稈をすき込む場合に同時に施用する化学窒素肥料として、散布翌年の土壌中の無機態窒素を増加させる、すなわち、窒素無機化放出を増加させる効果は速効性の尿素では小さく、緩効性の窒素肥料で大きくなることを示している。また、アカクロバ等の緑肥を麦稈と同時にすき込むことが、単に窒素のみならず、易溶性の炭水化物の補給を通じて微生物群の生育を増進し、麦稈分解時の後期過程における窒素の再放出を助長するとの研究がある（沢田ら, 1968；今野ら, 1992）。これらの研究結果に基づいて考えると、本研究においてスラリー散布直後の窒素無機化活性増大効果が翌年に持続しなかった原因として、含有窒素の大部分がアンモニア態であることから推定できる通り、使用したスラリーが分解放出の持続する窒素源と微生物群の生育増進に効果のある炭水化物をあまり含まないという速効性化学肥料に似た性格を持っていたことをあげられる。

翌年に作付けたてん菜の生育に関しては、初期においてのみ処理間差が認められ、スラリー単独施用した処理で体内窒素量が大きくなった。これは、同処理土壌で越冬融雪後の無機態窒素量が大きかったことに応じて窒素吸収量が大きくなる一方で、同じ量のスラリーを麦稈と同時にすき込んだ土壌では、微生物バイオマス窒素量がわずかに大きかったことが示すとおり、微生物による利用固定が進んで無機態窒素量が小さく、てん菜の窒素吸収量も小さくなった結果と考えられる。ここで、スラリー単独施用した処理土壌中の無機態窒素量の増大分は基肥窒素

量に比較して小さいのであるが、作条施肥のため作物根と肥料位置が離れている初期成育時に、作物根に接する土壤中の無機態窒素量が大きいスラリー単独施用区において、てん菜の窒素吸収量が大きくなったと考えられる。その後、てん菜の体内窒素量および収量にスラリー散布の影響が認められなかったのは、スラリー散布による窒素無機化活性の増大が継続せず、微生物バイオマスの変化量が小さく、さらに、スラリーの窒素肥料的効果も溶脱によって低下して、てん菜の生育を増大させ得る土壤肥料的要因がなかったためと結論できる。

以上、本試験では緒言で想定したほどのスラリー散布効果を得られなかったが、その原因として、前述した通り、微生物には麦稈中の易分解性窒素が利用され無機態窒素の一部が利用固定されずに土壤から溶脱した可能性、緩効性の窒素成分あるいは炭水化物補給の不足、アンモニア揮散による窒素投入量不足が考えられる。スラリーの畑地施用時におけるアンモニア揮散の程度は施用法により大きく変動し、土中施用に比べて今回採用した表面散布施用法で著しいため、散布は可能な限り土壤表面に近い位置からするよう指導されている(北海道立農業・畜産試験場家畜糞尿プロジェクト研究チーム, 1999)。アンモニア揮散を防ぐようなスラリーの施用法を採用し窒素投入量不足が解消されれば、本研究で得られた微生物バイオマスの微増、散布直後の窒素無機化活性の増大という効果をより高められる可能性はある。また、緩効性の窒素成分あるいは炭水化物補給については、スラリーを散布して緑肥を育てすき込むこと(北海道立農業・畜産試験場家畜糞尿プロジェクト研究チーム, 1999)も検討すべきであろう。さらに、本研究では、無機化放出促進とスラリーの散布量をできるだけ多く稼ぐことを考慮したため、投入有機物のC/N比を30以下と設定したが、C/N比をより高くした散布すき込みが微生物バイオマスへの窒素固定活性を高めることも考えられるので、スラリーの散布量をいかほどに設定すべきかについても検討の余地がある。

V. 摘 要

液状きゅう肥(スラリー)を畑作農地に施用する方法のひとつとして、小麦収穫跡地への散布を試み、スラリー中のアンモニア態窒素が土壤微生物に利用固定されて融雪期の窒素溶脱が軽減されるのか、同

時に、スラリーが小麦収穫残渣の分解を促進させる窒素源となり得るのかを調べた。想定した効果については、微生物バイオマスと窒素無機化活性の変動でもって評価した。

小麦収穫跡地にスラリー5 L m⁻²相当を散布して、麦稈と同時にすき込むと、麦稈のみあるいはスラリーのみをすき込んだ場合に比べて、土壤微生物バイオマス窒素が微増した。重窒素希釈法で求めた土壤中の窒素無機化活性は、麦稈とスラリーを同時にすき込んだ場合、麦稈のみをすき込んだ場合に比べてすき込み年の秋に大きくなったが、翌年には、同程度で推移した。

融雪後春先の土壤では、スラリーを散布した場合、麦稈のみをすき込んだ場合に比べて無機態窒素量が大きく、さらに、麦稈とスラリーを同時にすき込んだ場合、スラリーのみをすき込んだ場合に比べて微生物バイオマス窒素が大きかった。しかし、これら窒素の増大量は散布したスラリー中に含まれていたアンモニア態窒素量に比べて小さく、越冬融雪後まで、スラリーの水溶性窒素を土壤中に効果的に保持させたとは言えなかった。

また、スラリー散布翌年に栽培したてん菜の窒素吸収量と収量に、麦稈とスラリーを同時にすき込む効果はほとんど認められなかった。

小麦収穫跡地にスラリーを散布した効果が小さかった原因として、微生物には麦稈中の易分解性窒素が利用され無機態窒素の一部が利用固定されずに土壤から溶脱した可能性、緩効性の窒素成分あるいは炭水化物補給の不足、アンモニア揮散による窒素投入量不足と考察した。

VI. 謝 辞

試料の化学分析にご協力いただいた高杉美恵子氏に深謝いたします。

VII. 引用文献

- 1) Brookes, P.C., Landman, A., Pruden, G. and Jenkinson, D.S. (1985): Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil. Biol. Biochem.*, 17, 837-842
- 2) 北海道立農業・畜産試験場家畜糞尿プロジェクト研究チーム(1999): 家畜糞尿処理・利用の手

- 引き1999, pp. 61-63, 北海道立新得畜産試験場
- 3) 木内知美(1975): 全窒素, 栄養診断のための栽培植物分析測定法, 作物分析法委員会編, pp.63-69, 養賢堂, 東京
- 4) 今野一男・平井義孝・菊地晃二(1992): 畑土壌における麦稈の分解過程に及ぼす各種緑肥の影響, 土肥誌, 63, 466-469
- 5) 松中照夫・千徳あす香・小澤恵梨(2001): 草地表面に施与されたpHの異なる乳牛液状きゅう肥からのアンモニア揮散, 土肥講要集, 47, 167
- 6) 松代平治・佐藤辰四郎(1981): 十勝火山性土における有機物の利用に関する研究 2.秋播小麦稈施用時のC/N比調節, 道立農試集報, No.46, 30-40
- 7) Nira, R. (2001): Recycling of animal wastes through integration of dairying and arable cropping in Hokkaido. In: Proceedings of the international workshop on sustainable food production in cropping systems of temperate regions, pp. 55-63, HNAES and JISTEC, Obihiro
- 8) Nira, R., Hashimoto, T., Matsuzaki, M., and Nishimune, A. (1996): Nitrogen transformations and availability in soils with application of fumigants, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 42, 261-268
- 9) 新良力也・西宗 昭(2000): 土壌にすき込まれた作物残渣からの無機化窒素放出と微生物バイオマス中の残渣由来窒素の消長, 土肥誌, 71, 321-329
- 10) 新良力也・西宗 昭(2000b): 反応速度論的手法による作物残渣窒素無機化量の推定, 土肥誌, 71, 330-336
- 11) 新良力也・西宗 昭・下名迫寛(1998): 液状厩肥を施用した畑土壌の窒素肥効性, 北濃, 65, 280-285
- 12) Nishio, T., Kanamori, T., and Fujimoto, T. (1985): Nitrogen transformations in an aerobic soil as determined by a $^{15}\text{NH}_4^+$ dilution technique. *Soil Biol. Biochem.*, 17, 149-154
- 13) Ocio, J.A., Brookes, P.C. and Jenkinson, D.S. (1991): Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N. *Soil. Biol. Biochem.*, 23, 171-176
- 14) Ocio, J.A., Martinez, J. and Brookes, P.C. (1991b): Contribution of straw-derived N to total microbial biomass N following incorporation of cereal straw to soil. *Soil. Biol. Biochem.*, 23, 655-659
- 15) 大矢朋子(2000): ばっ気処理と施用法の異なる乳牛スラリーが土壌の α -グルコシダーゼ活性に及ぼす影響, 土肥誌, 71, 533-536
- 16) Paul, E.A. and Clark, F.E. (1989): *Soil Microbiology and Biochemistry*, pp.139, Academic Press, San Diego, CA.
- 17) SAS Institute (1988): *SAS/STAT User's guide. Release 6.03 ed.* SAS Institute, Cary, NC.
- 18) 沢田泰男・新田一彦・吉岡真一(1968): 麦稈の分解と窒素の再放出に対する緑肥の影響, 北海道農試集報, No.92, 38-44
- 19) Vance, E.D., Brookes, P.C., and Jenkinson, D.S., (1987): An extraction method for measuring soil microbial biomass C, *Soil Biol. Biochem.*, 19, 703-707