

寒冷地における草地土壌の有機物並びに窒素の経年的動態と それに基づく窒素施肥管理法に関する研究

学位論文内容の要旨

草地は一度造成された後、10数年の長期間にわたってそのままの状態を利用される。その間、施肥は全て表面であり、また枯死茎葉・根などの有機物も草地表層に還元されるため、表層土壌の養分供給能は経年的に高まる。一方、草地の牧草収量は造成2、3年目が最高を示し、それ以降は経年的に低下する。この収量低下に関しては種々な要因が指摘されているが、牧草収量の規制要因として大きい肥料・土壌窒素についての検討は少ない。

本研究では、牧草収量の低下要因について肥料・土壌窒素の動態と経年過程で蓄積する有機物との関係を中心に検討し、草地の経年化に伴う効率的な窒素施肥管理法について明らかにしようとした。

1. 経年化に伴う収量の変化と肥料・土壌窒素吸収及び有機物蓄積との関係

北海道北部の鉾質土に立地する草地の収量は降水量の年次変動に対応して変化した。そのため、15年間にわたって順次イネ科単播草地を造成し、同一気象年で経年数の異なる草地の収量を比較した。肥料窒素が十分施用されている条件(年間窒素施肥量 $18\text{kg}/10\text{a}$)では草地の経年化に伴う収量の低下は僅かであった。一方、肥料窒素が少ない条件(年間窒素施肥量 $12\text{kg}/10\text{a}$)では、造成9~10年目以降に収量低下を示した。この主な原因は1番草収量が造成7~9年目以降経年的に低下するためであり、1番草における肥料窒素利用率と土壌からの窒素吸収量の低下が関与していた。しかし、経年草地は地温の高い2、3番草での肥料窒素利用率が低いものの、土壌からの窒素吸収量が多いために、必ずしも低収とはならなかった。これらの結果、1番草での肥料窒素の増施効果は草地の経年化に伴い増大するが、2、3番草のそれは経年数に関係なくほぼ一定であった。

草地の枯死茎葉・根による年間の有機物還元量は $400\text{kg}/10\text{a}$ 、窒素還元量は $4\sim 5\text{kg}/10\text{a}$ 程度であったが、物理分画した蓄積有機物のうち地表面枯死茎葉と粒径 2mm 以上画分のC/N比とセルロース、ヘミセルロースの存在割合が経年化に伴って高まった。その結果、経年草地の表

層土壌では肥料窒素の有機化量が増加し、低温時には有機化された肥料窒素の再無機化が遅れ、また、表層土壌の窒素無機化量も減少した。このことが1番草の肥料窒素利用率、土壌からの窒素吸収量の低下をもたらし、さらに、2,3番草での土壌からの窒素吸収量の増加に関与して経年草地の牧草生育、収量に反映したものと推定した。

草地は経年化しても肥料・土壌窒素の収支はほぼバランスしており、造成2～4年目までは土壌窒素の持出し、6～8年目以降は土壌への富化となり、10年目程度で造成時の土壌窒素量に回復した。肥料・土壌窒素の収支から概算された肥料窒素の見掛けの差引き損失率は6～9%であった。

2. 草地の収量規制要因とその改善

表層土壌の酸性化が牧草収量に及ぼす影響は窒素施肥量の少ない条件ほど大きく、これには肥料窒素利用率と土壌からの窒素吸収量の低下が関与した。この結果は、①表層土壌の酸性化は有機物の分解を抑制し、蓄積有機物量の増大と未分解な粗大画分の割合を高めた、②施肥後の有機態窒素含量が増加し、生育後半まで高く維持された、③表層土壌のpHが5.5以下になると土壌窒素の無機化が抑制され、pH上昇効果も顕著に増大したことなどに起因した。したがって、草地の窒素循環からみた表層土壌のpH環境は5.5以上に維持する必要がある。

酸性化した草地表層土壌の改善のための炭カル表面施用は、施用当年で僅かな収量低下を引起こすが、2,3年目は増収をもたらした。施用当年の肥料窒素の肥効低下は、表層土壌のpH上昇による窒素揮散の影響よりも蓄積有機物の急速な分解による肥料窒素の有機化の影響が大きいと推定した。施用時期は春期より秋期が優った。

草地における有機物分解は牧草生育期間、特に地温の高い7～8月の降水量に支配された。経年草地の2,3番草収量は7～8月の降水量が多い年次(250mm程度)で造成3,4年目草地より高収となり、少ない年次(150mm前後)で低収となった。これらの関係は翌春の1番草収量にも反映し、経年草地の1番草収量は前年の降水量が不足した年次で造成3,4年目草地のその75%と低収であった。以上の結果は、①草地の経年化に伴い窒素無機化能の高い土層が表層に偏り、②降水不足年にはこの表層が過乾に陥って蓄積有機物の分解が抑制され、③土壌からの窒素吸収量が減少したことによると推定した。したがって、7～8月の降水量が少ない条件では、経年草地に対して秋施肥の実施または翌早春の肥料窒素を増肥する必要がある。

3. 土壌窒素吸収量の経年変化に対応した効率的窒素施肥管理の組み立て

一般農家草地の収量は経年化に伴い低下したが、これは土壌からの窒素吸収量が経年的に減少するためであった。土壌からの窒素吸収量の予測法として、草地では作土試料の生土培養法によ

て測定される無機態窒素含量が有効であると考えられた。しかし、混播マメ科草種によって土壌分析値との関係が異なることや混播マメ科草からの窒素移譲量をどう評価するかの問題が残された。そこで、土壌からの窒素吸収量を①草地更新時の土壌、②施用厩肥、③混播マメ科草移譲、④草地系内の有機物由来に大別し、それぞれの規制要因と変化様式を検討した。

①草地更新時における土壌からの窒素吸収量は更新対象草地の利用形態、植生及び立地土壌の種類によって異なったので5種類に類型区分した。なお、耕起方法や耕起時期の違いが土壌からの窒素吸収に及ぼす影響は造成当年に限られた。②厩肥の効果は施用量が同量であれば造成時基肥＝維持段階の表面分施であった。施用厩肥に由来する窒素吸収量は、施用法と土壌によって経年変化が異なったので、それぞれの窒素吸収予測式を示した。③ラジノクローバを主要マメ科草種とする混播草地のマメ科草窒素移譲量は前年のマメ科率を独立変数とする指数関数式で表現され、造成2年目で年間2kg、3年目で3～4kg/10a程度であった。また、マメ科率を適正水準（20～30%）に維持しうる混播イネ科草の「土壌＋肥料＋マメ科草移譲」合計の年間窒素吸収量は10～12kg/10aであった。④草地系内の枯死茎葉・根などの有機物窒素の消失率は、経年数と牧草生育期間の降水量に依存するので、それらを独立変数とした有機物由来の窒素吸収予測式を提案した。

これらの窒素吸収量予測式から求められた推定値と肥料窒素の合計量はイネ科草の年間窒素吸収量10～20kg/10aの範囲で造成2～5年目のイネ科草主体及びイネ・マメ混播草地について実測されたイネ科草の窒素吸収量とよく適合した。

以上の結果に基づいて、土壌からの窒素吸収量が多い造成2～5年目程度までの草地に対する効率的な窒素施肥管理法と、土壌からの窒素吸収量が低下した経年草地に対する窒素施肥管理法を提示した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐久間 敏 雄
副 査 教 授 但 野 利 秋
副 査 教 授 中世古 公 男

本論文は5章からなる総頁数152頁の和文論文である。図52、表61および引用文献122篇を含み、

他に参考論文14篇が添えられている。

草地の収量を、造成後長期にわたって維持することは、年来の懸案であるが、変化が多様かつ長期にわたるために、いまだに適切な対策を樹立できない状態にある。この研究は、天北地方の経年草地における牧草収量逓減の原因を、肥料および土壌窒素の動態とそれに対する蓄積有機物の影響を中心にして研究し、窒素施肥法の原理を明らかにしたものである。

はじめに、提起された問題に対する既往の研究を要約して、蓄積有機物の消長とその分解による窒素の可給化を考慮したイネ科草地の窒素施肥法を究明することに研究の焦点をしばった。

まず、オーチャードグラス単播草地を、窒素肥料施肥水準18および12kgN/10a/年で、15年間にわたって順次造成し、経過年数の異なる草地の収量を同一の気象・土壌条件下で比較した。この結果、収量低下は造成7年目以降の1番草に顕著に現れ、また、窒素施肥量の少ない区で著しいことが明らかになり、それを防止する上で窒素の円滑な供給が重要なことを示した。しかし、この間、枯死茎葉、根などとして土壌に還元される窒素の量は4-5kg/10a/年に達し、土壌および肥料を合計した窒素収支は、造成後6年目頃からプラスに転ずる。さらに、土壌窒素の総量は10年目前後で造成前の状態に復帰し、その後も微増の傾向をたどる。したがって、1番草の収量低下は窒素総量の減少というよりは、その利用率が低下することによると推定した。これを確かめるために、物理分画した蓄積有機物の化学性を調べ、粗大画分のC/N比とセルロース/ヘミセルロース比が、経過年数とともに高まることを突き止めた。すなわち、経年草地においては、C/N比の高い有機物の蓄積が窒素源の蓄積を相対的に上回るようになり、肥料窒素の有機化が増え、土壌窒素の無機化が抑制されるために窒素不足が起りやすくなる。したがって、窒素不足は高温・多湿な時期には表面化せず、低温で乾燥しやすい1番草生育期に強く現れる。

次に、年次の経過にともなって草地表層土壌の酸性化が著しくなり、これが収量の低下と密接に関係していることを示した。酸性化にともなって土壌表層の蓄積有機物が増加し、肥料窒素の利用率が低下するが、pH 5.5以下になると土壌窒素の無機化も明らかに抑制された。炭カルの表面施用によって当年の収量は若干低下したが、2年目以降は増収した。施用当年の収量低下は、窒素の揮散によるというよりは、有機物の急激な分解による肥料窒素の有機化によるところが大きいと推定した。

草地の蓄積有機物は、7-8月の降水量が多い年ほど速やかに分解し、それによって放出される無機態窒素が、当年の2、3番草収量および翌年の1番草収量に好影響を与えるが、造成後年数が経過するほどその傾向が顕著になった。古い草地ほど有機物蓄積量の多い部分が表層に偏り、寡雨年には過度の乾燥によって生物活性が抑制されることがその理由であった。それゆえ、7-

8月の降水量が極端に少ない年には、秋施肥を行うか、翌早春の窒素肥料を増施する必要があるとした。

試験圃場における以上の結果を、天北地域の農家圃場について確認するとともに、一般の施肥法を考えるうえで重要な問題点を次の3点に整理した。(1)草種・土壌による違い(2)混播草地におけるマメ科牧草からの窒素移譲量、(3)厩肥の影響。草種、土壌による違いについては、現地調査結果に基づいて5類型に区分し、それぞれの窒素利用率を推定した。(2)についてはラヂノクロバー混播草地の移譲量を差引法によって推定し、それを前年マメ科率の関数として現した。(3)については、数カ所の草地における厩肥窒素の消失率を実測して、それに由来する窒素の供給量を施用法別、土壌別に推定する方法を示した。これらの結果を総合して、有機物由来窒素の吸収を予測するモデルを考案し、その予測精度を検証するとともに、それに基づいて肥料として施用すべき窒素の量を決定する方法を体系化した。

以上の成果は、草地生態系内部における窒素の循環機構を解明した点で学術的にユニークな成果であると同時に、経年草地の窒素施肥法の確立に寄与するものであり、応用研究としても高く評価できる。

よって審査員一同は、別に行った学力確認試験の結果と併せて、本論文の提出者三木直倫は、博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。