

博士（農学） 審示戸 雅 之

学位論文題名

草地土壤の経年的酸性化と牧草の生育特性に関する研究

学位論文内容の要旨

良質な粗飼料として充分量の牧草生産を行うためには、適切な施肥が不可欠である。その結果として土壤の酸性化が進行するので、草地土壤の酸性化は必然的に起こる現象である。したがって、持続的な草地管理のためには草地土壤の酸性化の機構に応じた対策が必要である。

そこで本研究では、草地土壤の経年的酸性化の機構と牧草生育に対する影響を解析して、酸性条件および低温条件で重要性が増す牧草のリン施肥法を検討し、あわせて炭酸カルシウム施用による牧草生育改善効果を解析することを目的として実験を行ない、以下の結果を得た。

1 草地土壤の経年的酸性化とアルミニウム溶出の機構

1) 草地土壤の経年的酸性化は、①生理的に酸性である窒素肥料に含有されるアンモニアの硝酸化成に起因し、②その結果生成するプロトンが土壤に吸着された交換性塩基を交換・溶出し、溶出した塩基が肥料に随伴するアニオンとともに降雨時に流亡することによる塩基飽和度の低下が酸性化の二次的な要因として関与した。繰り返し表面施用される窒素肥料が酸性化の主要因であるので、酸性化の程度は窒素施用量に比例し、土壤表層ほど著しかった。尿素の場合には硝酸化成によって生成するプロトンが少なく、かつ炭酸イオン濃度が高まることによる緩衝作用があるために、酸性化の程度がきわめて緩やかであった。

2) 酸性化した草地の土壤溶液には有害なアルミニウムが高濃度に溶出し、その濃度は塩安>硫安>>尿素の順で高く、窒素施用量に比例し、土層深に反比例し、施肥後の時期によって異なった。土壤溶液へのアルミニウムの溶出は土壤のpHが5.0以下で発現し、アニオン濃度の上昇によっても増加した。

2 酸性化による牧草生育阻害要因とその発現機構

1) 土壤溶液のアルミニウム濃度を変えた土耕条件における生育量から判定した耐酸性と、生育障害を受けるアルミニウム濃度から判定したアルミニウム耐性はほぼ対応した。両者から判定した耐酸性はオーチャードグラス>チモシー=ケンタッキーブルーグラス>アカクローバ $\geq$ ペレニアルライグラス=レッドトップ>アルファルファ>シロクローバの順であった。

2) 経年的に酸性化が進行する圃場条件における各草種の耐酸性はおおむね

土耕実験の結果と対応したが、酸性化による生育低下量は土耕実験より小さく、とくにアルファルファは土耕実験より耐酸性が大きかった。この原因がアルファルファの根は作土層下部にまで伸長するのに対し、経年的酸性化が進行する土層は表層0~5cmに限られていたことにあったことから、圃場条件における耐酸性評価には根張り特性も重要な要因であった。

3) 経年的酸性化に伴ってアルミニウム耐性が強いオーチャードグラスにおいても収量は年次変動を伴いつつ地上部リン含有率とともに低下した。土壤溶液のリン濃度は土壤が酸性化した場合に高く、アルミニウムの溶出によるリン吸收阻害が生育低下の重要な要因であった。

4) 耐酸性の草種間差は根の生育および牧草のリン含有率と比例的な関係にあり、アルミニウムの地上部移行性とは反比例的関係にあった。アルミニウム共存下におけるリン吸收の低下はすべての草種で根の生育の低下によって支配されたが、ペレニアルライグラスおよびシロクローバではこれに加えて単位根重当たりのリン吸收効率の低下が関与した。一方、イネ科3草種のアルミニウム耐性系統は感受性系統に比べてリンの吸收・利用効率が高かった。経年的酸性化草地における生育低下は主にアルミニウムによる根の伸長阻害に起因するリン吸收の低下によってもたらされるものであり、アルミニウム耐性が弱い草種では、これに加えてアルミニウムによる直接的な生育阻害作用も関与すると理解された。地上部における単位リン当たりの乾物生産効率はアルミニウムによって低下しなかった。また、牧草の低リン耐性は低pH条件で低下し、アルミニウム耐性は低リン肥沃度条件で低下した。これらのことから、牧草におけるアルミニウム耐性と低リン耐性は、根の生育を介在要因として密接に関連すると理解された。

5) 酸性化による収量低下の程度は降水量が少ない年次でとくに著しく、多雨年ではその影響が小さかった。その原因是土壤溶液のアルミニウム濃度が土壤水分が少ない条件でより高濃度になることにあり、そのためアルミニウムによって吸収が阻害される牧草のリン含有率も少雨年で低かった。

### 3 土壤の特性と牧草の生育特性に対応した肥培管理法

1) 土壤pHを適正に維持した場合のリン吸收効率および収量は、酸性褐色森林土ではオーチャードグラス、チモシーともに早春にリンを全量施用した場合に最も高く、8月に全量施用した場合に最も低かった。これに対し黒色火山性土では両草種とも、数回に分けて施用する分施で吸収効率が高く、8月または9月の全量施用で低かった。これら土壤間の違いは主に土壤のリン固定力の差に由来した。

2) 酸性条件の酸性褐色森林土におけるオーチャードグラスに対する効率的なリンの施肥方法は3回の分施であり、効率的なリン施肥時期は経年的酸性化過程で早春全量施肥から分施へ移行した。黒色火山性土ではオーチャードグラス、チモシーともに酸性化の初期から分施が効率的であった。

3) 経年的に酸性化した草地に炭酸カルシウムを施用することにより、第一次的に①土壤pHが上昇し、その結果、②土壤溶液のアルミニウム濃度が低下し、

③カルシウム濃度が上昇し、④アルミニウムによる根の伸長阻害が解除され、  
第二次的に⑤土壤微生物数および活性の増加と、⑥蓄積有機物の分解を促進す  
ることによる養分供給量の増加がもたらされ、⑦牧草根伸長による養分吸収力  
の上昇を誘発し、最終的に、⑧リンを代表とする養分吸収量の増加によって生  
育量が増大した。

4) 酸性矯正が必要になる0~2cm土壤の限界pHは牧草のアルミニウム耐性に  
よって異なり、オーチャードグラスで5.0、チモシーおよびケンタッキープルー  
グラスで5.1、ペレニアルライグラス、アカクローバ、レッドトップで5.2、ア  
ルファルファ、シロクローバで5.4であった。これら以上のpHでは上記1) およ  
び2) のリン施肥法を用いるべきである。

# 学位論文審査の要旨

主査 教授 但野利秋

副査 教授 佐久間敏雄

副査 教授 中世吉公男

## 学位論文題名

### 草地土壤の経年的酸性化と牧草の生育特性に関する研究

本論文は、図83、表63、引用文献276を含み、7章からなる総頁数249の和文論文である。別に参考論文14編が添えられている。

良質で充分量の牧草を生産をするためには、適切な施肥が不可欠であり、その結果として土壤の酸性化が進行する。本研究は、草地土壤の経年的酸性化の機構と酸性化が各種牧草の生育に及ぼす影響を解析して、酸性条件で重要性が増すリン施肥法と炭酸カルシウム施用による牧草生育改善効果を検討し、持続的な草地の肥培管理方策を確立することを目的として実施されたものである。主な内容は下記の如く要約される。

#### 1. 草地土壤の経年的酸性化とアルミニウム溶出の機構

草地土壤の経年的酸性化は、①生理的に酸性である窒素肥料に含有されるアンモニアの硝酸化成に起因し、②その結果生成するプロトンが土壤に吸着された塩基を交換・溶出し、溶出した塩基が肥料に随伴するアニオンとともに降雨時に流亡することによる塩基飽和度の低下が二次的な要因として関与した。酸性化の程度は窒素施用量に比例し、土壤表層ほど著しかった。酸性化した草地の土壤溶液には有害なアルミニウムが高濃度に溶出し、その濃度は塩安>硫安>>尿素の順で高く、窒素施用量に比例し、土層深に反比例し、施肥後の時期によって異なった。土壤溶液へのアルミニウムの溶出は土壤のpHが5.0以下で発現し、アニオン濃度の上昇によても増加した。

#### 2. 酸性化による牧草生育阻害要因とその発現機構

土耕条件における生育量から判定した耐酸性はオーチャードグラス>チモシー=ケンタッキーブルーグラス>アカクローバ=ペレニアルライグラス=レッドトップ>アルファルファ>シロクローバの順であり、生育障害を受けるアルミニウム濃度から判定したアルミニウム耐性とほぼ対応した。一方、経年的に酸性化が進行する圃場条件における各草種の耐酸性は土耕実験の結果と対応したが、酸性化による生育低下は土耕条件より小さく、上記圃場条件における耐酸性評価には播種後の酸性化していない土壤における根張り特性も重要な要因であった。

耐酸性の草種間差は根の生育および牧草のリシ含有率と比例的な関係にあり、アルミニウムの地上部移行性とは反比例的の関係にあった。土壤溶液のリン濃度

は土壤が酸性化した場合に高く、アルミニウム共存下におけるリン吸収の低下はすべての草種で根の生育の低下によって支配され、ペレニアルライグラスおよびシロクローバではこれに加えて単位根重当たりのリン吸収効率の低下が関与した。さらに、イネ科3草種のアルミニウム耐性系統は感受性系統に比べてリソの吸収効率が高かった。

地上部における単位リン当たりの乾物生産効率はアルミニウムによって低下しなかった。また、牧草の低リン耐性は低pH条件で低下し、アルミニウム耐性は低リン肥沃度条件で低下した。したがって、経年的酸性化草地における生育低下は主にアルミニウムによる根の伸長阻害に起因するリン吸収の低下によってもたらされるものであり、アルミニウム耐性が弱い草種では、これに加えてアルミニウムによる直接的な生育阻害作用も関与すると理解された。

### 3. 土壤の特性と牧草の生育特性に対応した肥培管理法

土壤pHを適正に維持した場合の牧草のリン吸収効率および収量は、酸性褐色森林土では早春にリンを全量施用した場合に最も高く、8月に全量施用した場合に最も低かった。これに対し黒色火山性土では数回に分けて施用する分施で吸収効率が高く、8月または9月の全量施用で低かった。これら土壤間の違いは主に土壤のリン固定力の差に由来した。酸性条件の酸性褐色森林土におけるオーチャードグラスに対する効率的なリンの施肥方法は3回の分施であり、効率的なリン施肥時期は経年的酸性化過程で早春全量施肥から分施へ移行した。黒色火山性土ではオーチャードグラス、チモシーとともに酸性化の初期から分施が効率的であった。

経年的に酸性化した草地に炭酸カルシウムを施用することにより牧草の生育は改善された。この生育改善は、土壤pHの上昇によって土壤溶液アルミニウム濃度が低下し、アルミニウムによる根の伸長阻害が解除され、リン吸収量が増加することに起因した。酸性矯正が必要になる0~2cm土壤の限界pHは牧草のアルミニウム耐性によって異なり、オーチャードグラスで5.0、チモシーおよびケンタッキープルーグラスで5.1、ペレニアルライグラス、アカクローバ、レッドトップで5.2、アルファルファ、シロクローバで5.4であった。これら以上のpHでは上記のリン施肥法を用いるべきである。

以上のように、本研究は草地土壤における経年的酸性化とアルミニウム溶出の機構ならびに酸性化による牧草生育阻害要因とその発現機構を解明して、それに基づいて持続的な草地の肥培管理方策を提示したものであり、その成果は学術的に高く評価し得るとともに実際の草地管理に対して貢献するところが極めて大きい。よって審査員一同は別に行った学力認定試験と合わせて本論文の提出者竇示戸雅之は博士（農学）の学位を受けるのに充分な資格があるものと認定した。