

学位論文題名

北海道北部重粘土草地の牧草生産性に対する 低水分ストレスの影響評価に関する研究

学位論文内容の要旨

日本有数の大規模草地型酪農地域である北海道北部は、牧草の主要生育期間（5～8月）の降雨量が300 mm程度と少なく、草地面積の約5割は保水性に乏しい重粘土に立地している。そのため、当地域の牧草生育は降雨量や土壌の保水性の影響を受け易く、2～4年に1度の頻度で水不足（低水分ストレス）の被害を受けている。本研究では、このような北海道北部の重粘土草地に対する低水分ストレスの被害を軽減・回避する方策の効率的導入等に資するため、牧草生産性に対する低水分ストレスの影響を定量的に評価する手法を開発することを目的とした。

1. 褐色森林土および灰色台地土に立地するオーチャードグラス（OG）草地の土壌水分動態を、根圏土層（0～60 cm）と下層土（60 cm以深）間の水フラックスに着目しながら明らかにした。根圏土層の有効水分が多い湿潤期には、根圏土層から下層土への下向き水フラックスが多く発生し、その値は褐色森林土で 0.21 cm d^{-1} 、灰色台地土で 0.19 cm d^{-1} 程度と見積もられた。これに対し、根圏土層の有効水分が減少する乾燥期には、下層土から根圏土層への上向き水フラックスが認められた。その値は、灰色台地土が 0.04 cm d^{-1} （蒸発散量の20%）で、褐色森林土の 0.10 cm d^{-1} （同55%）より小さく、この違いは主に下層土の透水性の差異に起因すると考えられた。両土壌の下層土のマトリックポテンシャルは上向き水フラックスの発生に伴って小さくなり、また地下停滞水が存在した灰色台地土では7月上旬～8月上旬の上向きフラックス発生期間に停滞水位が次第に低下したことから、上向きフラックスの水供給源としては、褐色森林土では下層土が、灰色台地土では下層土と地下停滞水が重要であった。本試験結果と牧草収量の土壌間差に関する既往の知見とを合わせて考えると、下層土から根圏土層への上向きの水フラックスの大きさは、乾燥期の牧草生育を規制する重要な要因の一つと推察された。

2. 北海道の重要草種であるOGの各番草（1, 2, 3番草）について、降雨遮断条件で特定の生育時期だけに水分を供給して、生育時期別の低水分ストレスが各番草の生育に及ぼす影響を検討した。1番草では、萌芽期から節間伸長期までの約20日間、2番草では従属再生長期から独立再生長移行期までの約20日間、また3番草では従属再生長期から転換期までの約10日間の水分供給を制限すると、それぞれの収量は著しく低下した。この理由は、同期間の水分供給を制限するとOGの窒素吸収が抑制されて分げつの発生や再生が迅速かつ円滑に進まず、各番草収量を形成する分げつの増大期間が十分確保できなかったためと説明された。以上から、OGの1, 2および3番草生育に対する重要な水分供給時期は、1番草が萌芽期から節間伸長期までの20日間、2番草が従属再生長期か

ら独立再生長移行期までの 20 日間、3 番草が従属再生長期から転換期までの 10 日間程度であり、これらの期間に低水分ストレスを受けると顕著な低収を示すことが明らかとなった。

3. 重粘土草地の牧草生産性に対する低水分ストレスの影響を定量的に評価する手法を開発するため、土壌水分条件を重要な要因として組み込んだ OG の乾物生産予測モデルを開発し、その妥当性を検証した。モデルは、「土壌中の水移動」、「根の吸水」、「乾物生産」を表す 3 つのサブモデルから構成され、すべての計算は厚さ 5cm の土層を単位として行われる。土壌中の水移動サブモデルでは、ポテンシャル勾配に基づいて土層間の水フラックスを求めた後、各土層における水収支式から土壌水分量（マトリックポテンシャル）を決定する。根の吸水サブモデルでは、各土層の根の吸水量を求める。根の吸水量は各土層のマトリックポテンシャルが 0～-1000 cm の範囲では最大吸水量に等しく、-1000～-16000 cm では土壌水分の低下に伴い直線的に減少するとした。乾物生産サブモデルでは、牧草の水利用効率と根の吸水量との積により乾物生産量を求める。牧草の水利用効率は土壌水分条件で変化するとし、各土層のマトリックポテンシャルが 0～-3000 cm の範囲では最大水利用効率に等しく、-3000～-16000 cm では、土壌水分の低下につれて直線的に減少するとした。褐色森林土および灰色台地土草地の干ばつ年におけるシミュレーションでは、牧草乾物重、深さ別土壌水分量および蒸発散量の推定値の推移は、両草地とも実測値と概ね対応した。また、干ばつ年と湿潤年を含む 3 カ年にわたる牧草乾物重の推定値も実測値とほぼ一致していた。以上から、土壌水分の減少による乾物生産量の低下を吸水量と水利用効率の双方の減少によって表現した本モデルは、牧草の乾物生産に対する低水分ストレスの影響をほぼ適切に表し、低水分ストレス強度の定量的評価に利用できると結論された。

4. 水分特性が異なる 3 種類の土壌に生育する OG を想定し、北海道北部における将来の地球温暖化による気温上昇に伴う乾物生産量の変化とそれに及ぼす低水分ストレスの影響を、前述のモデルを用いて検討した。1 番草では、細粒質土壌のように保水性が小さくかつ降雨量が少ない場合を除けば、牧草生育に対する低水分ストレスの影響は概ね小さく、気温上昇により蒸発散量が増大し、現代比 1.2～1.4 倍程度の乾物生産量が期待された。このことには土壌に豊富に存在する融雪水が貢献していると推察された。これに対し 2 番草では、牧草生育に対する低水分ストレスの影響が気温の上昇に伴い強まることが懸念され、土壌の保水性および透水性が小さい場合や降雨量が少ない条件では、気温が上昇しても蒸発散量は増大せず、増収はほとんど期待できないと予測された。この一因として、気温上昇による 1 番草の増収、すなわち水消費量の増大が、かえって 2 番草の再生初期や生育期間全般での低水分ストレスの発現頻度を高める可能性がうかがわれた。3 番草では、乾物生産量がいずれの土壌でも 1、2 番草よりも少なく、気温上昇に伴う乾物生産量の変化やそれにおよぼす降雨量の影響も小さかった。年間合計乾物生産量は、全般に土壌が細粒になるほど減少する傾向にあったが、降雨量の多寡や土壌条件を問わず、気温の上昇に伴い増加した。しかし、最も増加した場合でも、現代比 1.2 倍程度と予測され、気象条件のみから推定した既報での予測値（同 1.5 倍）よりも小さかった。これらのことから、地球温暖化による気温の上昇に伴う牧草乾物生産量の変化予測においては、降雨量の多少や土壌水分特性の違い等に起因する低水分ストレスの影響も考慮することが重要と考えられた。

5. 以上のように、本研究では、北海道北部の重粘土草地の土壌水分動態を根圏土層と下層土間の水フラックスに焦点をおいて解明するとともに、生育時期別の低水分ストレスが北海道の重要草種

である OG の生育に及ぼす影響を明らかにした。そして、これらの知見と既往の成果等を統合して、低水分ストレスの影響を組み込んだ牧草の乾物生産予測モデルを開発し、モデルの妥当性と有効性を現在の気象および将来の温暖化気候条件下で検証することにより、本モデルを北海道北部重粘土草地の牧草生産性に対する低水分ストレスの影響評価手法として確立した。

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 浦 野 慎 一

学 位 論 文 題 名

北海道北部重粘土草地の牧草生産性に対する 低水分ストレスの影響評価に関する研究

本論文は7章からなり、図29、表24、引用文献104を含む131ページの和文論文で、他に参考論文7編が添えられている。

草地型酪農地域である北海道北部では、牧草生育期間の降雨量が少なく、草地面積の約5割は保水性に劣る重粘土に立地するため、草地は2～4年に1度の頻度で水不足（低水分ストレス）の被害を受けている。本研究は、重粘土草地に対する低水分ストレスの被害軽減策の効率的導入等に資するため、牧草生産性に対する同ストレスの影響評価手法を開発することを目的とした。

褐色森林土と灰色台地土に立地するオーチャードグラス（OG）草地の根圏土層（0～60 cm）と下層土（60 cm以深）間の水フラックス動態を調査した。根圏土層の有効水分が減少する乾燥期には、下層土から根圏土層へ上向きの水フラックスが生じ、その値は灰色台地土が 0.04 cm d^{-1} （蒸発散量の20%）で、褐色森林土の 0.10 cm d^{-1} （同55%）より小さかった。下層土の水分動態からみて、上向きフラックスの給源は、褐色森林土では下層土、灰色台地土では下層土と地下停滞水であった。また、上向きの水フラックスの大きさは乾燥期の牧草生育の重要な規制要因の一つと推察された。

OGの各番草（1、2、3番草）について、降雨遮断条件で特定の生育時期に水分を供給し、生育時期別の低水分ストレスが各番草の生育に及ぼす影響を検討した。1番草では、萌芽期～節間伸長期（20日間）、2番草では従属再生長期～独立再生長移行期（20日間）、3番草では従属再生長期～転換期（約10日間）の水分供給を制限すると、収量は著しく減少した。この理由は、同期間の水分供給制限によりOGの窒素吸収が抑制されて分けつの再生が遅延し、各番草収量を形成する分けつの増大期間が十分確保できなかったためであった。以上から、OGの各番草生育に対する重要な水分供給時期は、それぞれ上述の期間であり、これらの期間に低水分ストレスを受けると顕著な低収を示すことを明らかにした。

低水分ストレスの影響を組みこんだOGの乾物生産予測モデルを開発した。モデルは「土壌中の水移動」、「根の吸水」、「乾物生産」を表す3つのサブモデルから成り、すべての計算は厚さ5cmの土層を単位として行う。土壌中の水移動サブモデルでは、ダルシー則に基づいて土層間の水フラックスを算出後、水収支式から各土層の土壌水分量（マトリックポテンシャル）を決定する。根の吸水サブモデルでは、各土層の根の吸水量を求める。根の吸水量は、各土層のマトリックポテンシャ

ルが-1000 cm 以上では最大吸水量に等しく、それ以下では土壤水分の低下とともに減少するとした。乾物生産サブモデルでは、牧草の水利用効率と根の吸水量との積により乾物生産量を求める。牧草の水利用効率は、各土層のマトリックポテンシャルが-3000 cm 以上では最大水利用効率に等しく、それ以下では土壤水分の低下とともに減少するとした。褐色森林土と灰色台地土草地の干ばつ年における牧草乾物重、土壤水分量および蒸発散量の推定値は、両草地とも実測値と概ね対応した。また、湿潤年における牧草乾物重の推定値も実測値とほぼ一致した。以上から、土壤水分の減少による牧草乾物生産量の低下を吸水量と水利用効率の双方の減少で表した本モデルは、低水分ストレス強度の定量的評価に利用できる」と結論された。

北海道北部での将来の地球温暖化による気温上昇に伴う OG 乾物生産量の変化とそれに及ぼす低水分ストレスの影響を、前述のモデルを用いて検討した。1 番草では、牧草生育に対する低水分ストレスの影響は概ね小さく、気温の上昇により蒸発散量が増大し、現代比 1.2~1.4 倍程度の乾物生産量が期待された。一方、2 番草では、低水分ストレスの影響が気温上昇に連れて強まり、土壤の保水性と透水性が小さい場合や少雨条件では、気温が上昇しても蒸発散量は増大せず、増収はほとんど見込めなかった。3 番草では、気温上昇に伴う乾物生産量の変化やそれにおよぼす降雨量の影響は小さかった。年間合計乾物生産量は、降雨量の多寡や土壤条件を問わず、気温の上昇に伴って増加した。しかし、最も増加した場合でも現代比 1.2 倍程度と予測され、気象条件のみから推定した既報での予測値（同 1.5 倍）よりも小さかった。したがって、温暖化による気温上昇に伴う牧草乾物生産量の変化予測においては、降雨量の多少や土壤水分特性の違い等に起因する低水分ストレスの影響も考慮することが重要と指摘された。

以上のように、本研究は、北海道北部重粘土草地の牧草生産性に対する低水分ストレスの影響評価手法を開発するとともに、その有効性を検証したものであり、関連学会等で高く評価されている。よって、審査員一同は、中辻敏朗が博士（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。