

機関番号：10105

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20580289

研究課題名 (和文) 牧草の曲げ強度が放牧家畜の選択採食におよぼす影響

研究課題名 (英文) EFFECT OF BENDING STRENGTH OF HERBAGE PLANTS ON SELECTIVE GRAZING OF DOMESTIC ANIMALS

研究代表者

本江 昭夫 (HONGO AKIO)

帯広畜産大学・畜産学部・教授

研究者番号：30091549

研究成果の概要 (和文)：植物体の物理的強度とウシとウマの採食行動との関係を明らかにするためにイネ科牧草を用いて実験を行った。家畜が1バイトあたりに使っていたバイト強度と牧草葉身の破断強度を比較すると、採食にあたりせん断によって植物体を破断しているものと推察された。イネ科植物葉身の曲げ強度に大きな影響を与える断面係数を計算するために、二重三角形モデルと二重放物線モデルを作成し、実際に断面係数を計測することができた。

研究成果の概要 (英文)：The experiments were carried out using grass leaves in order to clarify the relationship between physical strength of plant materials and grazing behaviour of cattle and horse. In comparison of biting strength per bite by domestic animals with breaking strength of leaves, shearing force may play an important role in breaking plant materials. For a calculation of modulus of section, which seriously affect bending strength of grass leaves, the double triangle model and the double parabolic model were made and applied to a calculation of modulus of section.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：畜産学・獣医学・畜産学・草地学

キーワード：牧草、曲げ強度、放牧、家畜、選択採食

1. 研究開始当初の背景

草食家畜の採食は、植物体の一部を全体から破断することである。その後、採食した植物体から細胞内容物をとりだすか、または醗酵に適した大きさにまで、再度、咀嚼によって細断しなければならない(Wright & Vincent, 1996)。このような採食行動をとらなければならないので、草食家畜はきわめて選択的に植物を採食する。一般に、草食家畜は引きちぎることが容易な植物種あるいはは

器官を選択的に採食するといわれている。このような植物は繊維質含量が少ないものが多く、従って、草食家畜が植物を破断するための物理的労力は少なくすむ(Hafez et al. 1969)。一方、食べられる側の植物の茎や葉は、自身の重さを重力に反して支えなければならないだけでなく、外部から加えられる、曲げや圧迫などの要因にも耐えることができるだけの、物理的強度を持っていないといけない。このように、草食家畜の採食行動

を研究するには、植物の物理的強度と、草食家畜が植物を破断する時に使う力という2つの側面からアプローチする必要がある。著者はこれまで草食家畜と植物との境界領域において研究を行ってきた。それらの成果について以下に要約しておく。

まず、イネ科牧草の柔らかい葉と硬い出穂茎が混在する模擬草地を作り、ヒツジに採食させる実験を行った。堅い出穂茎が採食の障害となって、結果として、1バイトあたりの採食草量が減少することを明らかにした(Hongo, A. Selective grazing in pure and leaf/culm mixtures of herbage grasses by sheep. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 131, 353-359, 1998).

ついで、ウシとウマを用いて実験を行った。柔らかい葉と硬い出穂茎が混在する草地を採食する場合、上顎の切歯が退化しているウシは柔らかい葉だけを選択的に採食することができることを明らかにした。ウシによるこのような選択採食に対して、「Comb-out strategy 漉き取り戦略」という新しい考え方を提案した(Hongo, A. and Akimoto, M. The role of incisors in selective grazing by cattle and horses. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 140, 469-477, 2003)。

ヒツジの切歯の生えかわりをテーマとして実験を行った。永久歯が完全に生え揃った後と比べ、乳歯が脱落している間は、ヒツジはバイト数を多くし、逆に、1バイトあたりの採食葉数とDM重をほぼ半分にして牧草を採食していた。このような結果から、草食家畜が植物を破断する時に、下顎の切歯をどのように使っているのか明らかにする必要性が出てきた(Hongo, A. et al. Changes in incisor dentition of sheep influence biting force. *Grass and Forage Science* vol. 59, 293-297, 2004)。

短い草地を採食する時に、アルパカの縦に裂けている上唇が果たす役割を明らかにするために実験を行った。採食実験後の食べ残した葉の長さはヒツジよりアルパカで明らかに低かった。アルパカで見られた採食戦略は、極端に短い草を食べるための適応であると考えられた。アルパカは短い草を口にに入れる時に裂けている上唇を左右に広げ、その結果として下顎の切歯をより地面に近い位置に置くことができる、という結果が得られた(Hongo, A. et al. The role of a cleft upper lip of alpacas in foraging extremely short grasses evaluated by grazing impulse. *Small Ruminant Research* 69, 108-114, 2007)。

以上のような研究結果から、放牧家畜が植物を引きちぎる時に使用する力を測定する必要性があると考えられた。そこでこの研究では、ロードセルを用いた装置を作って模擬

草地を作り、放牧家畜に採食させて、その力を測定する実験を行う。このような研究分野はバイオメカニクス(生体力学)と呼ばれており、近年、目覚ましい発展をとげている分野である。この研究では、バイオメカニクスで利用されている分析手法を放牧の研究に応用することが主要な目的である。

2. 研究の目的

これまで、草食家畜の選択採食を研究する場合、採食した牧草の量を測定するのが一般的であった。牧草を引きちぎる時の切歯の役割について検討されたことはない。また、牧草の物理的特性は消化率との関連性から研究されることが多く、牧草の破断と形態や構造との関連性を検討した研究はほとんどない。そこで、この研究では、独自に開発した三方向ロードセルを用いて、草食家畜の採食行動を詳細に記録する。牧草の破断に要した運動量と、摂取した乾物とエネルギーの量を比較し、放牧家畜の採食効率を検討する。このような方法論がこれまで応用されたことはない。

放牧家畜が採食時に使う力の大きさに直接影響を与える要因は植物の物理的強度である。工学系の材料力学の分野では、普通、引張り強度、せん断強度、曲げ強度を測定する。Instron 測定装置を用いることが一般的であるが、この装置を柔軟性があり柔らかい植物に利用することはできない。そこで、独自に曲げ強度、せん断強度、引張り強度を0.1グラムの精度で測定できる試験装置を開発する。

また、予備試験を行ったところ、イネ科葉身の曲げ強度とせん断強度の間には高い正の相関があった。この結果は、放牧家畜が牧草に接触した瞬間に、その牧草を採食する場合の破断に必要な仕事量を判別することができることを示している。これまで放牧家畜の選択採食については不明な部分が多かったが、植物の物理的強度が放牧家畜の選択採食に及ぼす影響を明らかにできることが期待される。

この研究で目差しているような、草食家畜が採食時に費やす運動量の測定方法が確立できれば、草食家畜の採食速度を支配する要因、あるいは、選択採食のメカニズムなどが運動量を基準として比較検討することができる。このような基礎的な知見の集積は、動物生産の改善にも貢献できると期待される。

3. 研究の方法

(1)初年度は、イネ科牧草のオーチャードグラスを用いて基礎的な実験を行った。牧草を刈取り、葉身のみを切り取って、これらを鉄製ボルトに取り付けた。葉数の密度は10~50枚/ボルトとした。鉄製ボルトを、独自に開発

した3方向ロードセルに連結した。牧草をウシとウマに採食させた。採食時の3方向の引張り荷重を測定した。これらの結果から、採食する部位と密度が、採食時に使用する力積、および、力の方向とどのように関連しているのかを明らかにすることを目的とした。採食させた後、すべての葉身と葉鞘の長さを測定し、バイト深を計算した。また、採食させた牧草について、曲げ強度、引張り強度、せん断強度を測定し、採食時に使用する力積との関係を検討した。

(2)曲げ強度測定装置をあらたに開発する。イネ科植物の葉身の曲げ強度は10グラム以下と小さい。このような微小な曲げ強度を測定するには専用の測定装置を開発する必要がある。これまでの曲げ強度の測定装置は、下に置かれた2個の支点の上にサンプルを乗せ、上から受感部とセンサーを下方に降下させる方法を採用している。しかし、このような方法では数グラムの微小な曲げ強度は測定できない。そこで、上図のように、受感部とセンサーを下側に固定し、4点で支持したサンプルを下方に降下させていき、その時の曲げ強度を測定するような装置を開発した。この方法によると受感部の重さはつねに下方に作用しており、その重さに加わった力として曲げ強度が測定できる。予備試験では、0.1グラムのレベルまで測定することが可能であった。これまで作られたことのない新しい曲げ強度測定装置を開発することができた。

(3)2年目は、イネ科牧草のトルフェスクを用いて基礎的な実験を行った。使用した装置、家畜などは前年と同様とした。得られた結果から、家畜の体の大きさが採食時に使用する力積とどのように関連しているのか、また、使用した力積と牧草の乾物重との関係を明らかにすることを目的とした。さらに、家畜が採食時に使用する力積と、牧草の曲げ強度、引張り強度、せん断強度との関係を検討した。

(4)3年目は、イネ科植物のバイオメカニクスの特性に焦点をしばり実験を行った。植物のトルフェスク(TF)、オーチャードグラス(OG)、デントコーン(DC)の葉身を用いて実験を行った。これらの葉身の基部について、曲げ強度を測定し、その測定部位から先端部の重さを測定した。ここで得られた曲げ強度と生草重の比率を計算した。この比率は葉身のSafety factorと呼ばれており、ある部位の曲げ強度がそこより先方の生草重の何倍の強さをもっているのかを示す指数として利用されており、植物の草型を理論的に解析で

きると言われている(Chazdon 1986)。

4. 研究成果

(1)家畜の採食行動と植物の物理的強度との関係を明らかにするために、上顎の切歯が退化していないウシと、上下の切歯を持っているウマを用いて実験を行った。採食実験では、オーチャードグラス葉身を1つのロードセルに10、20、30、40、50枚ずつ取り付け、これらの葉身を家畜に採食させて、その時に使用した力を0.006秒間隔で記録した。採食試験とは別に、葉身の引張り強度、せん断強度、曲げ強度を測定した。さらに、葉身の断面図を実体顕微鏡とデジタルカメラで記録し、断面積を計測した。

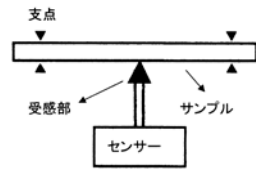
大きい曲げ強度を持っていた葉身は、せん断強度と引張り強度も大きかった。せん断強度と曲げ強度については葉身の断面の形状が大きく影響していた。また、せん断強度より引張り強度の方が大きな値を示したが、これはイネ科の葉身では繊維が葉身の縦方向と平行に走っているためである。

ウシとウマが1バイトあたりに使ったバイト強度と牧草の各種物理的強度を比較すると、せん断強度の結果から計算した値に近くなっていた。このことから、ウシ、ウマの採食は主にせん断によって植物を破断しているものと推察された。採食試験の結果から採食効率を求めると、葉密度が40枚と50枚では、ウマに比べウシの採食効率が大きくなった。ウシは上顎の切歯を退化させ、その代わりに歯板を持つことによって、特に高密度の牧草を採食する際にウマに比べ力を効率的に使用できるものと推察された。上顎の歯板がクッションの働きをすると仮定すると、1バイトの時間はウマよりもウシの方が長くなると予想されたが、ウシとウマの間に有意な差は見られなかった。

(2)前年と同様に、ウシとウマを用いて実験を行った。採食実験では、イネ科牧草のトルフェスクの葉身を1つのロードセルに10、20、30、40、50枚ずつ取り付け、これらの葉身を家畜に採食させ、その時に使用した力を0.006秒間隔で記録した。採食試験とは別に、葉身の引張り強度、せん断強度、曲げ強度を測定した。さらに、葉身の断面の形態を実体顕微鏡に接続したデジタルカメラで撮影し、専用ソフトを用いて葉身断面の面積を計測した。

葉身の曲げ強度は変異が大きく、平均すると $23.7 \pm 3.4\text{g}$ であった。せん断強度と曲げ強度との間には $r=0.77$ ($p<0.003$)という高い相関が認められた。これら2つの形質は葉身の断面の形状、特に主脈の発達の程度が大きな影響を与えていた。

ウシとウマが1バイトあたりに使ったバイト強度と牧草の各種物理的強度を比較する



と、せん断強度の結果から計算した値に近くなっていた。このことから、ウシ、ウマの採食は主にせん断によって植物を破断しているものと推察された。採食試験の結果から、使用した荷重あたりに摂取した乾物重を計算し、これを採食効率と定義した。葉密度が40枚と50枚では、ウマの採食効率はウシより高い値を示した。ウシは上顎の切歯を退化させ、その代わりに歯板を持つことによって、特に高密度の牧草を採食する際にウマに比べ力を効率的に使用できるものと推察された。上顎の歯板がクッションの働きをすると仮定すると、1バイトの時間はウマよりもウシの方が長くなると予想され、5段階の葉身密度の平均値を求めると、ウシで 0.173 ± 0.010 秒であったが、ウマで 0.111 ± 0.003 秒であった ($p < 0.001$)。

(3) 3年目には、家畜の飼料として広く利用されているイネ科植物の曲げ強度と関連する形質を解析し、家畜の選択採食におよぼす影響を明らかにすることを研究目的とした。トールフェスク (TF)、オーチャードグラス (OG)、デントコーン(DC)の葉身を用いて実験を行った。葉身の一定長さの重さと、曲げ強度、せん断強度、引張り強度を測定した。断面係数を計算するために、TFとOGの葉身には二重三角形モデルを、DCの主脈には二重放物線モデルを応用した。このようなモデルを応用した葉身の断面係数の計測結果は、これまで報告されたことはない。

葉身の曲げモーメントはTFとOGで $90 \sim 113 \text{ g} \cdot \text{mm}$ 、断面係数は $0.33 \sim 0.40 \text{ mm}^3$ 、曲げストレスは $0.38 \sim 0.47 \text{ g} / \text{mm}^2$ であり、有意な差は認められなかった。葉身の曲げ剛性、つまり曲がりにくさはそれぞれ 4.1 ± 0.4 、 $8.4 \pm 0.6 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$ であり、有意であった ($p < 0.001$)。曲げ強度を自身の重さで割って安全係数を求めると、TFの 21.2 ± 1.3 に対して、OGは 35.8 ± 2.6 であり、有意な差が認められた ($p < 0.001$)。

熟期の異なる4品種のDCを供試したが、品種間ではほとんど差はなかった。葉身の曲げモーメントは基部で 14.7 ± 1.1 、中間部で $4.8 \pm 0.4 \text{ kg} \cdot \text{mm}$ 、断面係数はそれぞれ 10.1 ± 0.7 、 $3.5 \pm 0.4 \text{ mm}^3$ であり、有意な差 ($p < 0.001$) が認められた。曲げストレスはそれぞれ 1.70 ± 0.19 、 $1.47 \pm 0.13 \text{ kg} / \text{mm}^2$ であり、有意な差は認められなかった。葉身の曲げ剛性はそれぞれ 1207 ± 99 、 $287 \pm 36 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$ であった ($p < 0.001$)。TFやOGなどの牧草と比べ、DCの結果はかなり大きな値を示したが、葉身断面の大きさの違いが反映したためである。今回の研究で作成した断面係数のモデルがどのような植物に応用できるのか、今後、検証する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① Enkhee Devee, Juan Marcos Aro Aro, Yuji Toukura, Masahiro Hirata, Akio Hongo, Biting strategy of sheep in grazing grass leaf blades, Grassland Science, 55, 63-73, 2009, 査読有.
- ② Akio Hongo, Enkhee Devee, Yuji Toukura, Juan Marcos Aro Aro, Masahiro Hirata, Effect of bending and shearing properties of grass leaf blade sections on grazing behaviour of sheep, Research Bulletin of Obihiro University, 30, 13-23, 2009, 査読無.
- ③ Maimaijiang Zunong, Tuerxum Tuerhong, Meiji Okamoto, Akio Hongo, Masahiro Hanada, Effects of a potato pulp silage supplement on the composition of milk fatty acids when fed to grazing dairy cows, Animal Feed Science and Technology, 152, 81-91, 2009, 査読有.
- ④ 本江昭夫, 家畜とは何か、国立民族学博物館調査報告, 84, 97-115, 2009, 査読有.
- ⑤ 藤倉雄司, 本江昭夫, 山本紀夫, キヌアは栽培植物か?—アングス産雑穀の栽培化に関する一試論、国立民族学博物館調査報告, 84, 225-244, 2009, 査読有.

[学会発表] (計1件)

- ① Akio Hongo, Enkhee Devee, Masahiro Hirata, Jimin Zhang, Jiming Cheng, Sheep recognize chewing easiness of grass leaves prior to prehension through sensing bending strength, International Grassland Congress, 2008年6月30日、フフホト、中国.

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本江 昭夫 (HONGO AKIO)
帯広畜産大学・畜産学部・教授
研究者番号：30091549

(2) 研究分担者

なし ()
研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()
研究者番号：