

受賞論文

放牧飼養時における乳牛の栄養管理に関する一連の研究

花田 正明

帯広畜産大学畜産科学科, 帯広市 080-8555

Studies on nutritional management of grazing dairy cows

Masaaki HANADA

Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine
Obihiro, Hokkaido, 080-8555, Japan

キーワード: 乳牛, 放牧, 牧草摂取量, 窒素利用

Key words: Dairy cows, Grazing, Herbage intake, Nitrogen utilization

草地の放牧利用による牛乳生産は、飼料費や労働費の軽減、化石燃料の節約さらには傾斜地の有効利用など採草利用に比べ多くの利点を有するが、経営面積の拡大や乳牛の泌乳能力が年々向上する中、草地に余裕がない、放牧飼養すると栄養管理が難しくなり乳量や乳成分が低下するなどの理由で泌乳牛の放牧飼養形態は次第に衰退してきた。しかし、個体乳量の向上や飼養頭数の増加に伴い購入飼料費や労働時間の増加や生産病の多発などの問題点を抱えるようになってきた1980年代半ば以降、粗飼料を主体とした飼養形態の重要性が再認識されるようになり、牧草の早刈りによる栄養価改善や高栄養価牧草の低コスト供給源として乳牛の放牧飼養形態が見直されるようになってきた。

放牧飼養時に適切な栄養管理を行うことを困難にしている理由として、放牧地からの牧草摂取量やその変動要因、放牧飼養時における栄養摂取の特徴、さらに放牧地の合理的利用方法などに関する情報の不足が挙げられる。このような背景の中、本研究では泌乳牛の放牧飼養時における栄養管理技術の改善を目的とし、放牧飼養時における泌乳牛の乾物摂取量や栄養摂取量など養分摂取の特徴を把握し、併給飼料の給与による養分摂取の不均衡の是正に関する検討を行ってきた。

【放牧飼養時における乾物摂取量】

泌乳牛の放牧飼養時における乾物摂取量を把握するため、1985年から1992年にかけて北海道立根釧農業試験場のオーチャードグラス主体草地に、延べ352頭の泌乳牛を昼夜放牧あるいは時間制限放牧させて放牧

地からの牧草摂取量を調査した(花田(1995),表1)。試験に供した乳牛はいずれもホルスタイン種であり、乳量は18~38 kg/日の範囲であった。放牧方法は滞牧日数を1日とする輪換放牧であり、放牧の他に併給飼料として濃厚飼料や牧草サイレージなどを給与した。放牧地および全飼料の乾物摂取量は、3時間の制限放牧ではそれぞれ4.5~6.0 kg/日, 19.8~22.5 kg/日であり、6時間の制限放牧ではそれぞれ4.5~11.5 kg/日, 19.5~23.8 kg/日, 昼夜放牧ではそれぞれ, 8.3~13.3 kg/日, 16.8~24.5 kg/日であった。このように放牧時間が長くなるにしたがい放牧地からの牧草摂取量は増加するが、放牧飼養時における全飼料の乾物摂取量は16~24 kg/日程度あり、放牧時間が異なっても全飼料の乾物摂取量は同程度であることが示された。

1990年以降アメリカ北東部のオーチャードグラス草地に泌乳牛を昼夜放牧させた研究報告(HOLDEN *et al.*: (1994), REIS and COMBS (2000))でも、放牧地からの乾物摂取量は10~15 kg/日, 全飼料の乾物摂取量は19~22 kg/日, 乳量は30 kg/日前後と、北海道立根釧農業試験場で実施した泌乳試験と同じ程度の値が得られている。また、日本飼養標準(1999)やアメリカのNRC飼養標準(1988)によるとFCMを30 kg/日生産している乳牛の乾物摂取量は21 kg/日程度であり、放牧と併給飼料を組み合わせた飼養形態でも、飼養標準に示されている標準値と同程度の乾物を乳牛に摂取させることが可能であることが示された。しかし、ペレニアルライグラス草地に泌乳牛を放牧させた最近のアメリカでの報告(KOLVER and MULLER (1998))では、併給飼料を給与しなくても放牧だけで19 kg/日の乾物を摂取したとの報告があり、ペレニアルライグ

表1 併給飼料給与時における乳牛の乾物摂取量および乳生産量

放牧方法	併給飼料	乾物摂取量(kg/日)		乳量 (kg/日)
		牧草	全飼料	
3時間制限放牧	濃厚飼料+牧草サイレージ	4.5- 6.0	19.8-22.5	26.4-28.3
6時間制限放牧	濃厚飼料+牧草サイレージ	4.5-11.0	19.5-23.8	21.0-29.2
昼夜放牧	濃厚飼料+牧草サイレージ	8.3-13.3	16.8-24.5	18.1-38.8

(花田, 1995)

ラス草地の放牧利用により上記に示した値以上の牧草を放牧地から摂取できる可能性が示されている。近年、北海道北部地方を中心にペレニアルライグラス草地の放牧利用による乳生産が広まりつつあり、オーチャードグラス草地とは別にペレニアルライグラス草地を放牧利用したときの牧草摂取量についてデータを蓄積していく必要がある。

【放牧飼養時における養分摂取量の特徴】

泌乳牛の放牧試験と平行して実施した綿羊による消化試験の結果(花田, 1995), オーチャードグラスを主体とした放牧地における牧草の栄養価は, ① TDN 含量は 66~80%と牧草サイレージなどに比べて高いが, 季節の進行にともない低下する, ②粗タンパク質(CP)含量は 16~26%と高いが, CP 含量に対する TDN 含量の比は乳牛の CP 要求量に対する TDN 要求量の比よりも小さい, ③ NDF 含量は 45~58%程度と低いという特徴を持っていることが示された。季節の進行に伴う牧草の TDN 含量の低下は, 放牧地からの乾物および栄養摂取量に影響を及ぼし, 併給飼料を給与しない場合, 春に比べ牧草の TDN 含量が低下した夏・秋では放牧地からの乾物および TDN 摂取量はそれぞれ春の 85%, 80%まで減少した(表 2)。

放牧地における牧草の TDN 含量と CP 含量を比較してみると, TDN 含量は CP 含量の 3.5~4.0 倍含まれている。日本飼養標準(1999)によると乳量 20~30 kg/日の乳生産に必要な CP 量に対する TDN 量の比は 4.5~5.0 であり, 放牧地の牧草を主体とした飼料条件下ではエネルギー摂取量とタンパク質摂取量の不均衡を招きやすいことが示唆された。北海道立根釧農業試験場で実施した一連の泌乳牛の放牧試験(花田, 1995)における TDN 充足率(要求量に対する摂取量の割合)は 78~121%であったのに対して, CP 充足率は 104~146%であった。このように TDN 充足率は常に CP 充足率を下回っており, 泌乳初期などでは TDN 充足率が 100%に満たないことはしばしば認められた。

TDN と CP 摂取量の不均衡は血液中の尿素態窒素濃度の上昇につながり, 放牧への依存割合が高い昼夜放牧や TDN 充足率が負になりやすい泌乳前期で血液中の尿素態窒素濃度が 16 mg/dl を上回る高値が多く見られた。春季から夏季にかけて昼夜放牧条件下の泌

表2 併給飼料無給与時における牧草摂取量の季節間の比較

	季節		
	春	夏	秋
牧草の栄養価, 乾物中%			
TDN	75.0	69.0	67.7
CP	18.4	20.5	19.2
摂取量, kg/日			
乾物	14.1	12.1	13.6
TDN	10.5	8.3	9.2
摂取量, g/MBS/日			
乾物	129.1	108.7	113.3
TDN	96.3	74.7	76.4
乳量, kg/日	23.0	16.1	19.1

(花田, 1995)

乳牛に濃厚飼料を定量給与した試験では(花田, 1995), CP 摂取量に対する TDN 摂取量の比と血中の尿素態窒素濃度の値との間に負の相関関係があることが示され, CP 摂取量に対する TDN 摂取量の比が 4.0 以下になった夏季では血中の尿素態窒素濃度の値は 20 mg/dl 以上の値を示した。過剰なタンパク質摂取は単にタンパク質の利用性を低下させるだけではなく, 尿素合成のためのエネルギー必要量が増えるため(urea cost), エネルギー不足を助長させることにもつながる。

このように放牧飼養時における泌乳牛の養分摂取の特徴として, ①放牧地からの養分摂取量は春季に比べ牧草の TDN 含量が低下する夏季以降で減少する, ②エネルギー摂取量の不足, タンパク質の過剰摂取といったエネルギー摂取量とタンパク質摂取量の不均衡が生じやすいことが示された。

【併給飼料の給与が放牧地からの乾物摂取量に及ぼす影響】

放牧地からの養分摂取量は, 牧草の栄養価をはじめ様々な要因によって影響を受ける。また, 放牧を主体とした飼養条件ではタンパク質とエネルギー摂取の不均衡が生じやすいため, 放牧飼養時において乳量や乳成分の低下を防ぐためには併給飼料の給与により過不足となる栄養素の是正, 特にエネルギー源の補給によりエネルギーとタンパク質の不均衡の是正を図る必要があると考えられる。放牧飼養されている泌乳牛へのエネルギー補給には 2 つの目的があり, 一つは牛への

正味エネルギー供給量を高めることであり、もう一つは反芻胃内微生物へのエネルギー供給を高め反芻胃における窒素損失を低減することである。

併給飼料を給与してオーチャードグラス草地に昼夜放牧させた場合、全飼料からの乾物摂取量は21 kg/日前後であるが放牧地からの乾物摂取量は11 kg/日前後であり(表1)、併給飼料を給与せずに寒地型牧草草地に昼夜放牧させた欧米の報告(REIS and COMB(2000), PULID and LEAVER(2001))の放牧地からの乾物摂取量(14 kg/日前後)より少ない。このことは併給飼料の給与により全飼料からの乾物摂取量は増加するが、放牧地からの牧草摂取量が減少するため全飼料からの乾物摂取量は必ずしも加算的には増加しないことを示唆している。すなわち放牧飼養時において不足する栄養素を補うために併給飼料を給与する場合、単に不足している量を補うのではなく、併給飼料の給与が放牧地からの牧草摂取量に及ぼす影響を考慮しなければ期待どおりの効果は得られないであろう。

併給飼料として濃厚飼料、牧草サイレージおよびとうもろこしサイレージを昼間放牧させた泌乳牛に給与し、併給飼料の違いが放牧地からの牧草摂取量に及ぼす影響を検討した(花田, 1995)。その結果、いずれの

飼料も給与量の増加に伴い放牧地からの牧草摂取量の減少は減少したが、その減少量は濃厚飼料やとうもろこしサイレージに比べ牧草サイレージ給与したときに多くなった(図1)。濃厚飼料およびとうもろこしサイレージのSubstitution rate (SR: 併給飼料1 kgの給与による放牧地からの乾物摂取量の減少量)は0.2であったのに対し、牧草サイレージのSRは0.8と高い値を示し、放牧地からの乾物摂取量に与える影響は飼料の種類によって異なることが示された。

一般に、放牧条件下において泌乳牛へのエネルギー補給を目的に給与される併給飼料には、デンプンや糖などからなる非繊維性炭水化物とセルロースやヘミセルロースなどからなる構造的炭水化物の2種類が用いられる。そこでトウモロコシ、ビートパルプ、牧草サイレージなどを組み合わせてNDF含量の異なる併給飼料を昼夜放牧させた泌乳牛に給与し、併給飼料のNDF含量が牧草摂取量に及ぼす影響を検討した(花田, 1995)。その結果、併給飼料のNDF含量の高い飼料を給与した群の方が放牧地からの乾物摂取量は少なく、特に泌乳前期で併給飼料間の差が大きかった(表3)。

このように放牧飼養時における養分摂取量の不足や

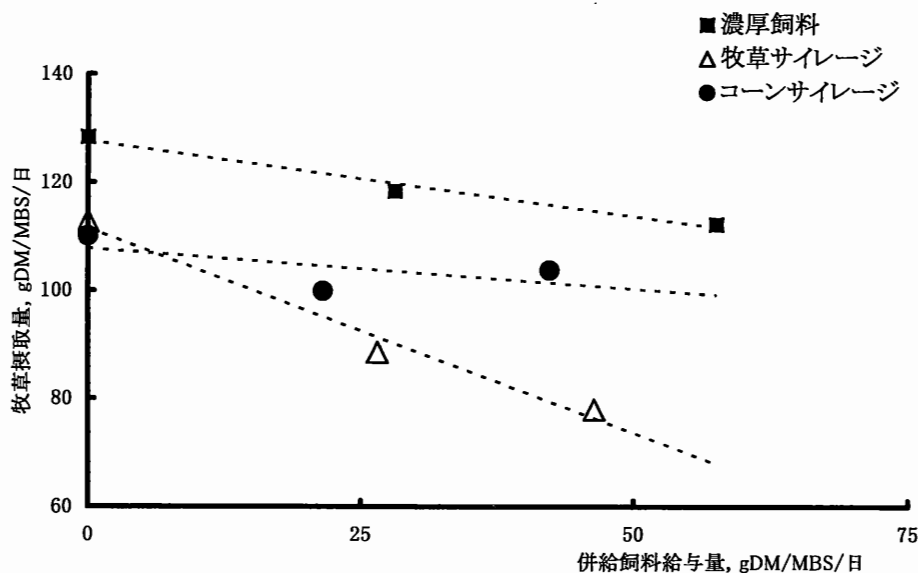


図1 併給飼料の違いが放牧地からの牧草摂取量に及ぼす影響(花田, 1995)

表3 併給飼料のNDF含量が昼夜放牧させた泌乳牛の乾物摂取量に及ぼす影響

	泌乳前期			泌乳中期群			泌乳後期群		
	HF ¹⁾	MF ²⁾	LF ³⁾	HF ¹⁾	MF ²⁾	LF ³⁾	HF ¹⁾	MF ²⁾	LF ³⁾
分娩後日数	85	79	62	164	156	163	318	265	321
乾物摂取量, kg/日									
牧草	8.3	9.8	12.4	9.4	9.9	11.3	10.8	11.2	12.0
併給飼料	11.7	11.2	11.8	8.2	8.3	8.1	5.5	5.4	5.2
合計	20.0	21.0	24.2	17.6	18.2	19.4	16.3	16.6	17.2
TDN摂取量, kg/日	14.2	15.7	18.2	12.8	13.5	14.7	11.6	11.9	12.6

¹⁾ HF: 併給飼料のNDF含量=37%

²⁾ MF: 併給飼料のNDF含量=31%

³⁾ LF: 併給飼料のNDF含量=27%

(花田, 1995)

不均衡の是正には併給飼料の給与が必要であるが、併給飼料の給与は放牧地からの牧草摂取量に影響を及ぼすことを留意しなければならない。併給飼料の給与上の留意点として、①併給飼料を給与しても飼料全体の乾物摂取量は加算的には増加しない、②放牧地からの牧草摂取量に与える併給飼料の影響は飼料によって異なる、③併給飼料のNDF含量が高くなるにしたがい放牧地からの牧草摂取量は低下するということが示された。併給飼料が放牧地からの牧草摂取量に与える影響は放牧条件によっても異なり、割当て草量や放牧時間が十分にある場合には同じ飼料でもSRは高くなるといわれているので(Phillips (1988)), 併給飼料の影響は時間制限放牧よりも昼夜放牧でより大きくなるということも留意すべきである。

【反芻胃からの窒素損失と小腸へのタンパク質供給量】

採草地に比べ放牧地では草高の低い状態あるいは生育段階の早い時期で牧草を利用するため、牧草のCP含量は16~26%と高い。しかし、CPの過剰摂取やエネルギー摂取量との不均衡などの理由により牧草タンパク質は必ずしも有効に利用されていない。放牧飼養では要求量以上のCPを乳牛に摂取させることができるが、牧草タンパク質の反芻胃内分解度が高いため反芻胃から消失する窒素が多く乳生産に必要なタンパク質が小腸に供給されていないかもしれない。また、反芻胃でアンモニアとして吸収される窒素量の増加は、タンパク質の利用性の低下だけでなく、エネルギーの利用効率にも悪影響を与える。そこで放牧飼養された牛の反芻胃内における窒素の動態や小腸への窒素供給量ならびに十二指腸内容物のアミノ酸組成について反芻胃および十二指腸カニューレを装着した去勢牛を用いて調べ、放牧飼養時における反芻胃からの窒素消失対策やタンパク質補給の必要性の有無について検討した。

1) 反芻胃からの窒素消失

併給飼料を給与せずに去勢牛を寒地型牧草地に放牧

させ、反芻胃での窒素消化を調べた結果(AIBIBULA *et al.* (2002), HANADA *et al.* (2001)), 摂取した窒素の約60%は反芻胃内で分解され、その内の半分近くが反芻胃から吸収されるために、実際に下部消化管に移行する窒素は摂取量の70%程度であった(表4)。反芻胃から吸収される窒素量は、反芻胃内で分解される有機物(OMTDR)に対する反芻胃内で分解される窒素(RDN)の割合と正比例の関係がみられ(図2)、その割合が約22 g/kgを越えると反芻胃でのみかけの窒素吸収量が正の値になり、十二指腸に到達する窒素は摂取量よりも少なくなることが示された。併給飼料を給与しないで放牧させたときのRDN/OMTDRの平均値は41 g/kgであったことから、反芻胃内微生物への窒素供給に対してエネルギー供給量の不足が反芻胃内で分解された窒素の45%が反芻胃から吸収されてしまう主な原因であると考えられた。反芻胃からの窒素消失量を抑制し、牧草タンパク質の利用性を高めるためには併給飼料の給与により反芻胃内で分解される有機物量を増加させRDN/OMTDR値を22 g/kgに近づけることが必要であろう。オーチャードグラス草地に去勢牛を放牧させ併給飼料としてビートパルプを給与した結果、RDN/OMTDR値は37 g/kgから30 g/kgに低下し、窒素摂取量に対する反芻胃からの窒素消失量の割合は19%から7%まで低下した(艾比布拉(2004))。また、これら一連の研究から反芻胃内アンモ

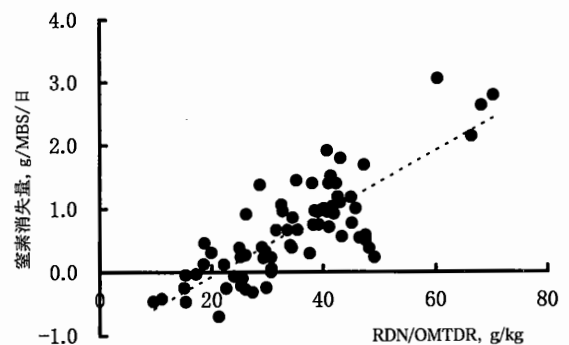


図2 反芻胃への窒素供給(RDN)とエネルギー供給(OMTDR)のバランスと反芻胃からの窒素消失量との関係 (AIBIBULA *et al.* (2002), HANADA *et al.* (2001))

表4 併給飼料を給与せずに昼夜放牧させた去勢牛の反芻胃内における窒素消化ならびに十二指腸への窒素移行量¹⁾

	平均値(範囲)
窒素摂取量, g/MBS/日	3.56(2.53~ 5.14)
RDN摂取量, g/MBS/日	2.17(1.05~ 3.70)
反芻胃内タンパク質分解率, %	59.0(41.3 ~72.9)
RDN/OMTDR ²⁾ , g/kg	41.5(24.3 ~66.3)
反芻胃からの窒素消失量, g/MBS/日	0.98(-0.39~ 2.64)
十二指腸へのNAN ³⁾ 移行量	2.53(2.43~ 2.87)

¹⁾ n=54 (AIBIBURA *et al.* (2002), HANADA *et al.* (2001))

²⁾ OMTDR: 反芻胃内で分解された真の有機物量

³⁾ NAN: 非アンモニア態窒素

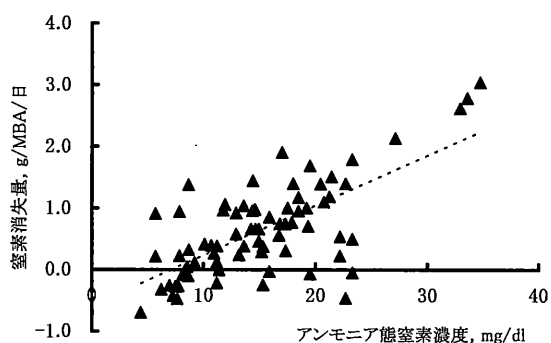


図3 反芻胃内容液のアンモニア態窒素濃度と反芻胃からの窒素消失量との関係
(AIBIBULA *et al.* (2002), HANADA *et al.* (2001))

ニア態窒素濃度の増加に伴い反芻胃からの窒素消失量は直線的に増加することが示され、反芻胃での窒素消失の指標として反芻胃内のアンモニア態窒素濃度は有効であり、アンモニア態窒素濃度が8 mg/dlを上回っているときは反芻胃からの窒素消失が生じていると判断された(図3)。

2) 小腸へのタンパク質供給

併給飼料を給与せずに去勢牛を放牧したときの十二指腸へ到達した非アンモニア態窒素量は2.4から2.9 g/MBS/日であったのに対し(表4)、併給飼料としてエネルギー源を給与することにより十二指腸へ流入する非アンモニア態窒素量は3.3 g/MBS/日まで増加した(HANADA *et al.*, 2003)。併給飼料を給与して十二指腸への窒素移行量を増加させても下部消化管における窒素消化率は65%と変わらなかったことから、併給飼料としてエネルギー源を給与することにより反芻胃からの窒素吸収を抑制し、下部消化管からの窒素吸収量を増加させることが期待できる。

これら去勢牛を用いた放牧試験における代謝タンパク質摂取量をAFRC(1993)の方法に従って求めると、併給飼料無給与時では11 g/MBS/日であった。これは代謝タンパク質要求量の約5倍であり、泌乳牛に換算すると1日あたり26 kgの乳生産に必要な代謝タンパク質量に相当する。さらに上述のように併給飼料としてエネルギー源を給与することにより下部消化管からの窒素吸収量が増加するため、適切なエネルギー補給し、反芻胃内での窒素利用性を改善することにより乳量30 kg/日までならタンパク質飼料を給与しなくても代謝タンパク質要求量を満たすことができると推察された。

放牧条件下において牧草、十二指腸内容物および反芻胃内微生物のアミノ酸組成を比較した結果(藤井ら(2002), HANADA *et al.* (2003))、牧草と十二指腸内容物とではアミノ酸組成が異なり、メチオニンやリジンの割合は牧草よりも十二指腸内容物の方が高く、アルギニンやフェニルアラニンの割合は牧草に比べ十二

指腸内容物で低くなった。しかし、十二指腸内容物と牛乳のアミノ酸組成と比較してみると、全乳のアミノ酸組成(日本標準飼料成分表(2001))に比べ十二指腸内容物ではメチオニン、リジン、ヒスチジンなどの割合が低く、放牧を主体とした飼養形態において乳牛へのタンパク質供給が乳タンパク質生産の制限要因となるとしたらこれらのアミノ酸が制限アミノ酸になりやすいと推察された。

これらの研究は泌乳牛の放牧飼養時における栄養管理技術の改善を目的として実施され、放牧飼養時における泌乳牛の乾物摂取量を量的に示すととも放牧条件下ではエネルギー摂取とタンパク質摂取の不均衡が生じやすいことを指摘した。さらに、不足する栄養素の補給方法や養分摂取の不均衡の是正するための併給飼料の給与方法の留意点として、併給飼料の給与が放牧地からの牧草摂取量に及ぼす影響を考慮することの必要性和反芻胃内における窒素利用性の改善のための反芻胃へのエネルギーと窒素供給バランスの指針を提示した。勿論、泌乳牛の放牧飼養時における栄養管理技術の改善にはまだ多くの課題が残されているが、本研究で得られた成果の一部でも実際の酪農生産現場において参考になれば幸いである。

上述の研究は私1人で実施したのではなく、多くの方々と協力して成されたものである。北海道畜産学会賞を受賞するにあたり、私に放牧研究の機会を与えて下さったの方々、一緒に研究に取り組んで下さったの方々さらに様々な形で研究を支援して下さいました心からお礼申し上げます。

文 献

- AFRC (1993) Energy and protein requirements of ruminants. CAB International. Wallington. UK.
- AIBIBULA, Y., M. HANADA and M. OKAMOTO (2002) Nitrogen digestion in the rumen and small intestine of steers grazing orchardgrass and meadow fescue pastures. *Grassl. Sci.*, 48: 332-339.
- 艾比布拉伊馬木・花田正明・岡本明治 (2004) 放牧飼養時におけるビートパルプの給与がルーメン内窒素利用および十二指腸へのアミノ酸供給に及ぼす影響。日草誌 49: 623-628.
- 独立行政法人農業技術研究機構編 (2001) 日本標準飼料成分表 (2001年版)。中央畜産会。東京。
- 花田正明 (1995) 泌乳牛の放牧飼養時における併給飼料の給与法に関する研究。北海道立農業試験場報告, 85: 1-66.
- HANADA, M., Y. AIBIBULA and M. OKAMOTO (2001) Nitrogen flow to duodenum of steers grazing on orchardgrass and meadowfescue pastures. *Proceedings of the XIX International Grassland Congress*, 826-827.

- HANADA, M., Y. AIBIBULA and M. OKAMOTO (2003) Effect of energy supplement for steers grazing temperate pasture on nitrogen flow to duodenum and amino acid composition of duodenal digesta. Proceedings of the sixth International Symposium on the Nutrition of Herbivores. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 3: 361-364.
- HOLDEN, L. A., L. D. MULLER and S. A. FALES (1994) Estimation of intake in high producing Holstein cows grazing grass pasture. J. Dairy Sci., **77**: 2332-2340.
- KOLVER, E. and L. D. MULLER (1998) Performance and nutrient intake of high producing cows consuming pasture or a total mixed ration. J. Dairy Sci., **81**: 1403-1411.
- 藤井恭介・花田正明・艾比布拉伊馬木・岡本明治 (2003) 放牧飼養された去勢牛の十二指腸内容物のアミノ酸組成と小腸へのアミノ酸供給. 北海道草地研究会報. 37: 88.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1988) Nutrient requirements of dairy cattle. Sixth revised edition. National Academy Press. Washington. USA.
- 農林水産省技術会議事務局編 (1999) 日本飼養標準乳牛 (1999年度版). 中央畜産会. 東京.
- PHILLIPS, C. J. C. (1988) The use of conserved forage as a supplement for grazing dairy cows. Grass and Forage Sci., **43**: 215-203.
- PULID, R. G. and J. D. LEAVER (2001) Quantifying the influence of sward height, concentrate level and initial milk production and grazing behaviour of continuously stocked dairy cows. Grass and Forage Sci., **56**: 57-67.
- REIS, R. B. and D. K. COMBS (2000) Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. J. Dairy Sci., **83**: 2888-2898.