

泌乳牛の放牧飼養時における反芻胃内での タンパク質と炭水化物分解の同期化に関する研究

学位論文内容の要旨

放牧主体飼養の泌乳牛は、飼料窒素(N)の利用効率が低く、栄養管理面で大きな問題とされている。これは、放牧草は粗タンパク質(CP)含量が高く、CP 自体の反芻胃内分解性（程度と速度）も非常に高いことによる。反芻動物の反芻胃内では飼料 CP はアンモニアにまで分解され、これを反芻胃内微生物がタンパク質に再合成し、小腸に流下した微生物態タンパク質(MCP)を動物がアミノ酸として吸収し利用する。MCP 合成量は、微生物への N 供給量だけでなく炭水化物(CHO)によるエネルギー供給に依存し、両者のバランスにより最大化する。放牧泌乳牛では、摂取する放牧草の CP 含量が高くかつ分解性が高い特徴により、反芻胃内にアンモニアが大量かつ急激に生成されるため、微生物のタンパク質同化能力を超過する。大幅に過剰となったアンモニアは反芻胃壁から直接吸収され、そのほとんどは尿中に排泄されるため、乳牛の N 利用効率は低くなる。これを改善するためには、放牧草の CP 分解度に見合う CHO を補給して MCP 合成量を増加させ、反芻胃から吸収されるアンモニア量を低減する必要がある。補給する CHO 源は、高分解性の CHO である非繊維性炭水化物を多く含む飼料（NFC 飼料）が最適ではあるが、その分解パターンを放牧草 CP 分解パターンと同期化させる必要がある。しかし、その同期化の手法は、一般の泌乳牛の放牧飼養管理では、放牧草と NFC 飼料を同時に給与できない点で決定的な制約を受ける。この点を考慮した NFC 飼料の給与タイミングの検討が必要であるが、これについて詳細に検討した国内外の研究はほとんどない。本研究は、放牧主体飼養下の泌乳牛における NFC 飼料の給与タイミングの操作により反芻胃での CP と CHO の分解の同期化を図り、これによる泌乳牛の N 利用効率の向上を目的とした。

結果は次のように要約される。

1) 「牧草摂取割合および放牧草 CP 含量の違いが泌乳牛の N およびエネルギー利用に及ぼす影響」

過去 19 年間に本学生物生産研究農場内で行なわれた延べ 170 頭の物質出納試験結果を用いて、放牧草摂取割合および放牧草 CP 含量の違いが泌乳牛の N およびエネルギー利用に及ぼす影響を検討した。その結果、放牧草摂取割合が高く、放牧草 CP 含量が高い場合、CP 消化率は高く、体内に吸収される N 量は増加するが、その多くが尿中に排泄された。また、放牧草摂取割合が高い場合には、エネルギー消化率も高く、代謝エネルギー摂取量は高かった。しかしながら、放牧草由来の CP 摂取量が増加するにしたがい、摂取エネルギーからの乳エネルギーへの転換効率は低下した。

2) 「乳牛の放牧飼養時における放牧草栄養成分とその反芻胃内分解性の季節変動」

乳牛放牧飼養下における放牧草の栄養成分とその分解性の季節変動を測定した。この結果を基に反芻胃での CP

と CHO 分解の同期化に適した NFC 飼料の給与タイミングについて、既存のモデル (CNCPS: Cornel Net Carbohydrate and Protein System) を用いたシミュレーションにより検討した。その結果、春(5月)と秋(9, 10月)の放牧草は、夏(7, 8月)の放牧草と比較して、分解性の高い CP を多く含むが、CHO 含量が低いことから、春および秋には反芻胃で N 過剰状態となりやすいことが示された。また、放牧草の分解速度の速い CP に対応させるためには、NFC 飼料を放牧前に給与することで反芻胃での CP と CHO 分解を同期化させることが予測された。

3) 「放牧飼養時の NFC 飼料給与タイミングの違いが反芻胃内性状および N 利用に及ぼす影響」

実際の放牧条件下において、NFC 飼料の放牧前給与が反芻胃内性状、尿中 N 排泄量、MCP 合成量に及ぼす影響を検討した。反芻胃カニューレ装着乾乳牛を用いた 1 日 1 回 5 時間の放牧において、NFC 飼料 (圧片コーン) の放牧 2 時間前給与と非給与を比較した。その結果、反芻胃内アンモニア濃度は、いずれの処理でも牧草摂取後に急激に上昇したが、そのピークは NFC 飼料を給与した群で低かった。放牧前の NFC 飼料給与で MCP 合成量は増加し、尿中 N 排泄量は低下した。次に、NFC 飼料の適切な給与タイミングを明らかにするため、反芻胃カニューレ装着乾乳牛に生牧草を 1 日 1 回給与し NFC 飼料 (圧片コーン) の給与タイミングの違い (生牧草給与の 4 時間前、2 時間前、直前および生牧草給与 6 時間後) が、反芻胃内での牧草の分解様相、血中尿素態 N 濃度 (BUN) などに及ぼす影響を検討した。その結果、牧草給与 6 時間後もしくは牧草給与直前の NFC 飼料給与では、牧草は反芻胃で急激に分解されたのに対し、牧草給与の 4 および 2 時間前に給与した処理では、分解は緩やかであった。また、牧草給与 6 時間後の NFC 飼料給与では BUN 濃度は牧草摂取後急激に上昇したのに対し、牧草給与 4 および 2 時間前の NFC 飼料給与ではその増加割合は小さかった。以上の結果から、放牧の 2 時間程度前に NFC 飼料を給与することで、反芻胃において牧草摂取直後の急激な N の吸収が抑制され、MCP 合成量が増加、乳牛の N 利用効率が向上する可能性が示唆された。

4) 「放牧飼養時の補助飼料給与タイミングの違いが泌乳牛の乳生産および N 利用に及ぼす影響」

NFC 飼料の放牧 2 時間前給与が N 利用に及ぼす効果について、放牧主体飼養下の泌乳牛群における放牧期間 (5~10 月) を通じた検討を行った。NFC 飼料 (圧片コーン+配合飼料) を放牧 2 時間前給与あるいは放牧後給与した泌乳牛群の乳生産、乳中尿素態 N (MUN) 濃度および尿中 N 排泄量を比較した。その結果、乳生産量は放牧期間を通して処理間で違いはなかった。しかし、放牧草量が豊富で放牧草由来 N 摂取量が高い時期 (5~7 月) では、NFC 飼料の放牧 2 時間前給与群の N 摂取量に対する MUN 濃度および尿中 N 排泄割合は低かった。一方、放牧草摂取量が低下 (8~10 月) した時期では、MUN 濃度および尿中 N 排泄量に処理間に差はなかった。NFC 飼料の給与タイミングが泌乳牛の N 利用に及ぼす影響は、放牧時期による放牧草の N 含量および草量により異なることが示唆された。次に、それらの違いが泌乳牛の N 利用に及ぼす影響を、個体の N 出納まで明らかとする試験を行った。異なる N 含量および草量の放牧地に放牧した泌乳牛を用い、NFC 飼料 (トウモロコシサイレージ+配合飼料) の放牧 2 時間前給与あるいは放牧後給与した泌乳牛の乳生産および N 出納を比較した。その結果、放牧 2 時間前に NFC 飼料を給与し高 N 含量の放牧地に放牧した泌乳牛は、放牧後に NFC 飼料を給与した泌乳牛と比べて、乳生産量に差はないものの、乳タンパク質生産量が多い傾向にあった。また、同時に、N 摂取量に占める尿中 N 排泄割合も少なく、N 出納が大きかった。一方、低 N 含量および草量の少ない放牧地に泌乳牛を放牧した場合、NFC 飼料の給与タイミングの違いは乳生産および N 利用に影響を及ぼさなかった。

以上の結果から、泌乳牛の放牧飼養では、反芻胃での CP と CHO 分解の同期化を考慮した NFC 飼料の給与タイミングの操作により、泌乳牛の N 利用効率は向上することが明らかとなった。特に、反芻胃内で N 過剰状態とな

り尿 N 排泄量の多い高 N 含量の放牧草を多く摂取する放牧条件下においては、放牧の 2 時間前に NFC 飼料を給与することで、反芻胃から吸収される N 量を低減し、泌乳牛が生産に利用可能な N 量を高めうることを明らかとした。放牧草の成分含量および摂取量を正確に把握し、反芻胃での CP と CHO の分解動態を予測したうえで、これに対応した補助飼料の給与管理を行なうことは、泌乳牛の放牧飼養下の栄養面で最も問題となる N 利用効率を改善するために非常に有効である。

学位論文審査の要旨

主査 教授 近藤 誠司
副査 教授 小林 泰男
副査 助教授 上田 宏一郎
副査 講師 中辻 浩喜

学位論文題名

泌乳牛の放牧飼養時における反芻胃内での タンパク質と炭水化物分解の同期化に関する研究

本論文は 6 章からなり、図 41、表 32、引用文献 106、補遺を含む、総頁数 128 の和文論文であり、別に 4 編の参考論文が添えられている。

一般的に放牧草は粗タンパク質(CP)含量が高く、その分解性も高いため、放牧主体飼養下の泌乳牛の反芻胃ではタンパク質の分解産物であるアンモニアの生成が過剰となりやすい。そのアンモニアの多くは反芻胃壁から吸収された後、ほとんどが尿に排泄されるため、放牧泌乳牛は摂取窒素(N)の利用効率が低く、栄養管理面で大きな問題とされている。この N 利用効率を改善するためには、微生物体タンパク質(MCP)合成量を増加させることが重要であると考えられる。MCP 合成量は、反芻胃でタンパク質と炭水化物の分解を同期化させることにより向上するとされている。従って、放牧主体飼養下における併給飼料としては、放牧草 CP の分解度に見合う易分解性の CHO である非繊維性炭水化物を多く含む飼料(NFC 飼料)が適している。しかし、一般的な泌乳牛の放牧飼養下では、放牧草と NFC 飼料は同時に給与することは困難であるため、反芻胃において放牧草 CP と NFC 飼料 CHO 分解パターンを同期化させることは容易ではない。そのため、NFC 飼料の種類だけではなく、NFC 飼料の給与タイミングの検討は重要であるが、詳細に検討した国内外の研究はほとんどない。本研究は、放牧主体飼養下の泌乳牛において NFC 飼料の給与タイミングの操作により反芻胃内での CP と CHO 分解の同期化を図り、放牧泌乳牛の N 利用効率向上を目的とした。得られた結果の概要は以下の通りである。

1) 過去 19 年間で得られた延べ 170 頭の物質出納試験結果を用いて、放牧草摂取割合および放牧草 CP 含量の違いが泌乳牛の N およびエネルギー利用に及ぼす影響を検討した。その結果、放牧草摂取割合が高く、放牧草 CP 含量が高い場合、CP 消化率は高く、体内に吸収される N 量は増加するが、その多くが尿中に排泄された。また、放牧草由来の CP 摂取量が増加するに従い、摂取エネルギーからの乳エネルギーへの転換効率は低下した。

2) 放牧飼養下において放牧草の反芻胃内におけるタンパク質と CHO の分解度を測定し、その結果を基に反芻胃での CP と CHO 分解の同期化に適した NFC 飼料の給与タイミングについて、既存のモデル (CNCPS: Cornet Net Carbohydrate and Protein System) を用いたシミュレーションにより検討した。その結果、夏 (6、7、8 月) の放牧草と比較して、春 (5 月) と秋 (9、10 月) の放牧草は、分解性の高い CP を多く含み、これらの季節では反芻胃で N 過剰状態となりやすいことが示された。また、放牧草の分解速度の速い CP に対応させるためには、NFC 飼料を放牧前に給与することで反芻胃での CP と CHO 分解を同期化させうることが予測された。

3) 反芻胃カニューレ装着乾乳牛を用いて、実際の放牧条件下および生牧草給与下において、NFC 飼料の給与タイミングが乳牛の N 利用に及ぼす影響を検討した。その結果、実際の放牧条件下の試験では、反芻胃内アンモニア濃度は牧草摂取後に急激に上昇したが、NFC 飼料を放牧前に給与することにより、そのピーク濃度は低下した。また、放牧前の NFC 飼料給与で MCP 合成量は増加し、尿中 N 排泄量は低下した。生牧草給与下の試験において、牧草給与 6 時間後もしくは牧草給与直前の NFC 飼料給与では、牧草は反芻胃で急激に分解されたのに対し、牧草給与の 4 および 2 時間前の NFC 飼料給与処理では、分解は緩やかであった。また、牧草給与 6 時間後の NFC 飼料給与では血中尿素態 N 濃度は牧草摂取後急激に上昇したのに対し、牧草給与 4 および 2 時間前の NFC 飼料給与ではその増加割合は小さかった。以上の結果から、放牧の 2 時間程度前に NFC 飼料を給与することで、反芻胃において牧草摂取直後の急激な N の吸収が抑制され、MCP 合成量が増加、乳牛の N 利用効率が向上する可能性が示唆された。

4) NFC 飼料の放牧前給与が泌乳牛の乳生産および N 利用に及ぼす影響を放牧後給与と比較した試験を、放牧期間を通して、また放牧草成分含量および草量が異なる放牧条件下で行った。その結果、乳生産量に処理間に差はなかったものの、放牧草の CP 含量が高く、草量が豊富で放牧草由来 N 摂取量が高い放牧条件下では、NFC 飼料の放牧後給与と比較して、NFC 飼料の放牧 2 時間前給与は N 摂取量に対する MUN 濃度および尿中 N 排泄割合は低かった。しかし、放牧草 CP 含量が低い、もしくは放牧草摂取量が低下した時期では、MUN 濃度および尿中 N 排泄量に処理間に差はなかった。NFC 飼料の給与タイミングが泌乳牛の N 利用に及ぼす影響は、放牧時期による放牧草の N 含量および草量により異なることが示唆された。

以上のように本研究は、反芻胃での CP と CHO 分解の同期化の観点から放牧泌乳牛の N 利用効率向上を追究し、反芻胃での CP と CHO の分解動態を考慮した NFC 飼料の給与タイミングの操作は放牧泌乳牛の N 利用効率を向上させうることを明らかとした。この成果は、泌乳牛の放牧飼養時における併給飼料の給与法について新たな知見を示したものであり、学術面において高く評価され、泌乳牛の飼養管理への応用面での貢献度も大きい。

よって審査員一同は、三谷 朋弘が博士 (農学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。