

Evaluation of associative effects on ruminal fermentation kinetics between rice straw and supplements using *in vitro* gas production method

(第一胃内発酵動態に対する稲わらと補助飼料間の相乗効果の *in vitro* ガス産生法による評価)

学位論文内容の要旨

稲わらは、東南アジア諸国の 90%以上の反芻家畜に給与されている重要な飼料資源である。ミャンマー国は年間 3100 万トンのコメを生産する東南アジア諸国の農業国の一つであり、稲わらの飼料利用も多くなされている。しかし、稲わらは粗タンパク質含量と可消化エネルギー含量が低いために、反芻家畜による摂取量および消化率が低く、その結果家畜生産量も低い。稲わらの利用性向上をもたらす技術はこれまで種々提案されているが、ミャンマー国では、技術的および経済的現状から、尿素処理や補助飼料給与が現実的な技術とされている。

尿素処理は、第一胃内微生物への窒素源補給に加えて稲わらの繊維構造を脆弱化し、反芻家畜の第一胃内消化の程度と速度の向上をもたらす。反芻家畜に油粕類などのタンパク質飼料を給与すると、第一胃内微生物に窒素源を補われ稲わらの発酵速度が高まる。また、穀類などのデンプン質飼料を給与すると、第一胃内微生物にエネルギー源が補われ稲わらの第一胃内消化率が高まる。ミャンマー国では各種マメが多く生産されるが、その副産物の外皮も有用な補助飼料源である。これらを稲わらに補給すると第一胃内での稲わらの消化率が高まること明らかにされている。以上のような補助飼料の稲わらへの補給によって第一胃内発酵を改善する機序はそれぞれ異なるものの、いずれも加算的な効果ではなく稲わらと組み合わせることで生じる相乗的な効果である。

稲わら主体の反芻家畜生産システムにおいては、この相乗効果を最大限に生かすことが重要となる。各種補助飼料の補給によって稲わらの第一胃内消化率を最大にし、家畜生産量を向上させるためには、それぞれの組み合わせの第一胃内消化に対する相乗効果を定量評価する必要がある。さらに、その相乗効果の差異のメカニズムを明確にすることで、稲わら主体の反芻家畜生産システムに改善をもたらすものと思われる。

本研究では、ミャンマー国で生産された飼料を用いて *in vitro* ガス産生法を利用した稲わらと補助飼料の第一胃内発酵に対する相乗効果に関する研究を行った。最初に稲わらもしくは尿素処理稲わらにタンパク質飼料、エネルギー補助飼料およびその他の農業副産物を補給した際の相乗効果を定量評価し、次に各分類の補助飼料について稲わらとの相乗効果の変動をもたらす要因とそのメカニズムについて検討した。

結果は以下のように要約される。

1) 各種補助飼料と稲わらとの第一胃内発酵に対する相乗効果

タンパク質補助飼料として大豆粕、白色ヒマワリ粕、黒色ヒマワリ粕、綿実粕、落花生粕、ゴマ粕、エネルギー補助飼料としてトウモロコシ、破碎米、グレインソルガム、高収量グレインソルガム、および農業副産物補助飼料として米ぬか、ふすま、ライマメ外皮、フジマメ外皮、白色ヒヨコマメ外皮、黄色ヒヨコマメ外皮、白色破碎ヒヨコマメ、黄色破碎ヒヨコマメを用い、稲わら (RS) と尿素処理稲わら (URS) との相乗効果を定量評価した。各補助飼料 30% と RS もしくは URS70% の混合飼料、および各飼料を個別に乳牛の第一胃液培養液内で発酵させガス生産量を測定し、その累積ガス生産曲線からガス生産性パラメータを解析した。また、96 時間後の培養残渣を

定量し消化率を求め有効有機物消化率 (OMED) を推定した。混合飼料からのこれらの値と個別の飼料から得られた結果からの予測値とを比較し相乗効果を検討した。

その結果、綿実粕を除くタンパク質飼料と RS および URS との組み合わせでガス生成速度および OMED に正の相乗効果が確認された。大豆粕との相乗効果は他よりも高かったが、OMED への相乗効果の程度は 1~3% 程度と大きなものではなかった。エネルギー飼料との RS もしくは URS との正の相乗効果は、破碎米およびグレインソルガムとの組み合わせにおけるガス産生速度および OMED において認められた。農業副産物については、特にマメ外皮においてガス産生速度および OMED に対する正の相乗効果が高かった。

2) タンパク質補助飼料と稲わらの第一胃内発酵におけるタンパク質分解と炭水化物分解の同調と相乗効果の関連

タンパク質飼料を RS もしくは URS と組み合わせ第一胃液で培養した際の $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度と揮発性脂肪酸濃度 (VFA) の時間に伴う変化を測定し、タンパク質分解と炭水化物分解の同調パターンと相乗効果の関連を検討した。

その結果、大豆粕と RS もしくは URS との組み合わせでは培養液中の $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度と VFA 濃度の変化は平行して顕著に増加するパターンを示し、この同調がガス産生速度と消化率に対して他の飼料との組み合わせよりも高い相乗効果をもたらす一因であることが明らかとなった。これに対して、綿実粕との組み合わせでは $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度と VFA 濃度の変化は同調しておらず、この組み合わせで相乗効果が見られない原因であることも明確となった。

3) エネルギー補助飼料の稲わらへの補給レベルと相乗効果の関連

RS もしくは URS に対するエネルギー補助飼料の補給レベルを 5 段階 (0, 15, 30, 45, 60, 100%) 設定し第一胃液培養しガス生産量を測定した。同時に同条件の培養瓶の中に混合した飼料と混ざらないようにナイロン繊維バッグに入れた稲わらを挿入し、補給レベルによる培養液の環境変化が稲わら自体の消化率およびガス生産量に及ぼす影響を検討した。

その結果、トウモロコシおよび破碎米においては、高い補給レベルでは稲わら自体の消化率は顕著に低下した。高収量グレインソルガムについては、RS との組み合わせでは RS 自体の消化率は補給レベルによりほとんど変化しなかったが、URS との組み合わせでは 30~45% 補給において URS 自体の OMED が高まった。

4) 各種マメ外皮の繊維画分と稲わらとの相乗効果の関連

各種マメ外皮の全体もしくは繊維画分 (中性デタージェント繊維) と RS もしくは URS とを 30%:70% で組み合わせ、第一胃液で培養しガス産生および消化率を測定した。両測定のパラメータを比較し、稲わらとマメ外皮間の相乗効果とマメ外皮の構造的繊維の関連を検討した。

その結果、黄色ヒヨコマメ外皮については OMED とガス産生速度が全外皮培養より繊維画分培養の方が RS および URS のいずれの混合においても高かった。一方、フジマメ外皮との混合においては URS との混合において黄色ヒヨコマメと同様の結果が見られた。また、ライマメ外皮ではガス産生開始遅延時間が全外皮培養より繊維画分培養の方が RS および URS のいずれの混合においても短かった。これらから、マメ外皮が稲わらの消化性にもたらす相乗効果の原因は、外皮の種類によって異なり、易消化性の構造的繊維だけでなく溶解性繊維も関連することが示唆された。

以上の結果から、第一胃内発酵動態に対する稲わらと各種補助飼料間の相乗効果が量的に明確になった。さらに、その相乗効果の程度は、タンパク質飼料の第一胃内の分解速度、エネルギー飼料の補給レベル、農業副産物飼料の化学成分組成に依存して変化することが示された。また、尿素処理稲わらは無処理稲わらよりも消化率の高いものの、補助飼料に対する相乗効果の程度は両者に違いは認められないことが明らかとなった。

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	准教授	上 田 宏一郎
副 査	特任助教	三 谷 朋 弘

学 位 論 文 題 名

Evaluation of associative effects on ruminal fermentation kinetics between rice straw and supplements using *in vitro* gas production method

(第一胃内発酵動態に対する稲わらと補助飼料間の相乗効果の *in vitro* ガス産生法による評価)

稲わらは、東南アジア諸国の 90%以上の反芻家畜に給与されている重要な飼料資源である。しかし、稲わらは粗タンパク質含量と可消化エネルギー含量が低いために、摂取量および消化率が低く、家畜生産量も低い。反芻家畜にタンパク質飼料、デンプン質飼料、農業副産物などを稲わらに補給すると第一胃内での稲わらの消化率が高まること明らかにされている。補助飼料が稲わらの第一胃内発酵を改善する機序はそれぞれ異なるものの、いずれも加算的な効果ではなく稲わらと組み合わせて生じる相乗的な効果である。

稲わら主体の反芻家畜生産システムにおいては、この第一胃内消化に対する相乗効果を最大限に生かすことが重要となる。各種補助飼料によって家畜生産量を向上させるためには、稲わらと各種補助飼料の相乗効果を定量評価する必要がある。さらに、その差異のメカニズムを明確にすることで、稲わら主体の反芻家畜生産システムに改善をもたらすものと考えられる。

本研究では、*in vitro* ガス産生法を利用した稲わらと補助飼料の第一胃内発酵に対する相乗効果の定量評価とそのメカニズム解明に関する研究を行った。結果の概要は以下の通りである。

1) タンパク質飼料（大豆粕、白色ヒマワリ粕、黒色ヒマワリ粕、綿実粕、落花生粕、ゴマ粕）、エネルギー飼料（トウモロコシ、破碎米、グレインソルガム、高収量グレインソルガム）および農業副産物（米ぬか、ふすま、ライマメ外皮、フジマメ外皮、白色ヒヨコマメ外皮、黄色ヒヨコマメ外皮、白色破碎ヒヨコマメ、黄色破碎ヒヨコマメ）を用い、各補助飼料 30%と稲わら（RS）もしくは尿素処理稲わら（URS）70%の混合飼料を乳牛の第一胃液培養液内で発酵させガス生産量を測定し、ガス生産パラメータおよび消化率に対する相乗効果を定量評価した。

その結果、綿実粕を除くタンパク質飼料と RS および URS との混合でガス生成速度および有効有機物消化率（OMED）に正の相乗効果が確認された。大豆粕との相乗効果は他よりも高かったが、OMED への相乗効果の程度は 1~3%程度と大きなものではなかった。エネルギー飼料との RS もしくは URS との正の相乗効果は、破碎米およびグレインソルガムとの混合におけるガス産生速度および OMED において認められた。農業副産物については、特にマメ外皮においてガス産生速度および OMED に対する正の相乗効果が高かった。

2) タンパク質飼料を RS もしくは URS と混合し第一胃液で培養した際の NH₃-N 濃度と揮発性脂肪酸濃度 (VFA) の時間に伴う変化を測定し、タンパク質分解と炭水化物分解パターンの同調と相乗効果の関連を検討した。

その結果、大豆粕と RS もしくは URS との混合では培養液中の NH₃-N 濃度と VFA 濃度の変化は平行して顕著に増加するパターンを示し、この同調がガス産生速度と消化率に対して他の飼料との混合よりも高い相乗効果をもたらす一因であることが明らかとなった。これに対して、綿実粕との組み合わせでは NH₃-N 濃度と VFA 濃度の変化は同調しておらず、相乗効果が見られない原因であることが明確となった。

3) 混合飼料と混ざらないようにナイロン繊維バッグに入れた稲わらを培養瓶の中に挿入する方法により、RS もしくは URS に対するエネルギー補助飼料の補給レベルによる培養液の環境変化が稲わら自体の消化率およびガス生産量に及ぼす影響を検討した。

その結果、トウモロコシおよび破碎米においては、高補給レベルでは稲わら自体の消化率は顕著に低下した。高収量グレインソルガムについて RS 自体の消化率は補給レベルによりほとんど変化しなかったが、URS では 30~45%補給において OMED が高まった。

4) 各種マメ外皮の全体もしくは構造的繊維画分と RS もしくは URS と組み合わせた際の、第一胃液培養によるガス産生および消化率のパラメータを比較から、稲わらとマメ外皮間の相乗効果とマメ外皮の構造的繊維の関連を検討した。

その結果、黄色ヒヨコマメ外皮混合+RS および URS、フジマメ外皮+URS では OMED とガス産生速度が全外皮培養より繊維画分培養の方が高かった。また、ライマメ外皮混合ではガス産生開始遅延時間が全外皮培養より繊維画分培養で RS と URS とともに短かった。これらから、マメ外皮が稲わらの消化性にもたらす相乗効果の原因は、外皮の種類によって異なり、易消化性の構造的繊維だけでなく溶解性繊維やデンプンも関連することが示唆された。

以上のように本研究は、第一胃内発酵動態に対する稲わらおよび尿素処理稲わらと各種補助飼料間の相乗効果を明らかにした。さらに、その相乗効果程度は、タンパク質飼料の分解速度、エネルギー飼料の補給レベル、マメ外皮の炭水化物組成に依存して変化することを明確にした。以上の成果は、稲わらの第一内消化の相乗効果査定の重要性を示したものであり、学術面で高く評価される。また、東南アジア諸国における稲わら主体反芻家畜生産システムにおける効率的な補助飼料給与技術の確立にも大きく寄与するものと思われた。

よって、審査員一同は、Aye Sandar Cho 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。