

4. 1. 2 肉牛における炭素の移行・蓄積に関する研究

Study on the Transfer Accumulation of Carbon in Beef Cattle

増田 毅, 石岡 正直, 多胡 靖宏, 中村 裕二

環境シミュレーション研究部

Tsuyoshi MASUDA, Masanao ISHIOKA, Yasuhiro TAKO, Yuji NAKAMURA

Department of Environmental Simulation

Abstract

The radiation dose due to ^{14}C released from a spent nuclear fuel reprocessing plant is delivered to the neighboring population mainly through intake of agricultural and daily products. In the vicinity of the reprocessing plant in Rokkasho, Aomori, Japan, stock-farming is widely undertaken, including cattle-breeding. Then, it is important to clarify experimentally how fast ^{14}C is transferred and how much it accumulates in cattle. In the experiment described here, a stable isotope of carbon (^{13}C) was used as a substitute tracer for ^{14}C .

Changes in ^{13}C isotopic ratio were measured in breath air, urine, feces, muscle and serum of beef cattle ($n=3$) which had been given ^{13}C -labeled grass feed for 28 days. The ^{13}C ratios in breath air, urine and feces very rapidly decreased within 3 days after cessation of the administration of ^{13}C -labeled feed. However, a slow decrease in ^{13}C ratio was observed in muscle and serum with decreasing half-times of 55.5 and 18.8 days, respectively.

1. 目的

家畜炭素移行モデル作成試験では、大型再処理施設から放出される放射性炭素 ^{14}C の、地域で生産している畜産物（牛乳及び牛肉）への移行を現実的に評価することが目標である。そこで、平成 18 年度から 19 年度にかけて、ウシと同じ反芻動物であるヤギを対象として、粗飼料あるいは濃厚飼料から乳汁への炭素移行データを収集してきた。これらの飼料から乳汁への移行の調査に続き、平成 20 年度は、飼料から牛肉への炭素移行に関するデータ収集することを目的とした。

2. 方法

実験動物は雌ウシ（黒毛和牛とホルスタインの F1）で、約 10 ヶ月齢（日齢 324.7 ± 26.3 日、体重 350.8 ± 16.0 kg）の 6 頭（実験群 3 頭、対照群 3 頭）を用いた。飼料は、粗飼料として稲藁を、濃厚飼料としてバラ RF クロス（雪印種苗）を自由摂取させた。

六ヶ所村での肉牛肥育方法を模擬するため、飼育方法は六ヶ所村倉内の JA らくのう青森農業協同組合での飼育方法に倣った。飼育場所は JA らくのう青森農業協同組合哺育牧場飼育室を用い、6 頭は 1 枈の区画で群飼いし、餌槽、水場は 6 頭共通とした。

播種後 69 日目の牧草（オーチャードグラス） 60 m^2 を栽培している密閉した温室に 150 L の $^{13}\text{CO}_2$ (99.9%) を注入した。その後 8 日間光合成により ^{13}C を牧草に固定させた。播種後 77 日目に、地際から刈り取り収穫をし、収穫物は室内で 1 週間の自然乾燥をした。 ^{13}C 標識粗飼料（全炭素に対する ^{13}C 比が $1.45 \pm 0.09 \text{ atom\%}$ 、半乾燥状態約 42 kg ）を得た。投与期間は 28 日間とし、投与群（ $n=3$ ）には毎日 1 回午前中に ^{13}C 標識粗飼料 500 g を摂取させた。通常の非標識粗飼料の ^{13}C 濃度は $1.08 \pm 0.00 \text{ atom\%}$ であることから、 ^{13}C 投与量は $230 \pm 59 \text{ mg/日/頭}$ と計算した。対照群（ $n=3$ ）には ^{13}C 標識粗飼料を与えず、通常の飼料のみでの飼育を行った。

呼吸はガスマスクを用いて採取した後、ポンプでアルミバックに移送保存し、測定用試料とした。尿は陰部刺激により自然排尿させてカップに採取し、1 ml をサンプルチューブに保存し、測定用試料とした。便は肛門から手を入れ直腸部から一握り分を採取し、70℃で乾燥後ボールミルで粉碎し、測定用試料とした。血液は頸静脈から 4 ml を採取し、遠心分離により血清と血球を分離し、血清はこれを冷凍保存し測定用試料とした。筋は後肢上部の皮膚及び筋膜を 1-2 cm 程度切開し、1 mm 径の筒とかぎ針からなるニードルバイオプシー針（ツルーカット組織採取針、（株）栗田注射針製作所）によって、直径 1 mm 長さ 1 cm 程度の半腱様筋を 3 回採取した。呼吸、尿、便、血液のサンプリングは、投与開始前 2 週間から投与開始後 4 週間までの 6 週間は週 2 回、その後は 4 週間毎に 1 回の頻度で行った。筋のサンプリングは投与開始前 2 週間から投与開始後 2 週間までの 4 週間は週 1 回、その後は投与開始 4 週目に行い以後 4 週間毎に 1 回行った。採取した試料は、質量分析器(Delta V, Thermo Fisher Scientific)により、全炭素に対する ^{13}C 比の分析を行った。

3. 成果の概要

^{13}C 標識粗飼料の投与期間を通じて、投与群の ^{13}C 同位体比は、炭素排出経路である呼吸、尿、糞において対照群に比して高い値を示した。投与終了後に投与群の ^{13}C 同位体比は速やかに低下し、投与終了後 3 日目の呼吸を除いた投与終了後の全ての試料で対照群と有意な差は見られなかった(Fig. 1)。

一方、体内組織中の ^{13}C 同位体比は、血清、筋ともに ^{13}C 標識粗飼料の投与期間を通じて上昇し、投与終了後はゆるやかな低下を示した。血清では、投与終了後 65 日目まで、筋では 101 日目以降まで、対照群よりも有意に高い値を示した。このようなピーク後の緩徐な低下(Fig. 2)を、指数関数で近似し、血清、筋でそれぞれ 18.8, 55.5 日の半減期を得た。Cornelius 等(1959)は ^{14}C 標識グリシンを用いて乳牛の血清蛋白代謝回転を測定し、その半減期を

11.66-15.34 日と報告している。本実験での肉牛血清での ^{13}C 同位体比上昇の減衰半減期 18.8 日はこの報告と大きくは異ならず、血清蛋白代謝回転を反映しているものと考えられる。牛肉の代謝回転に関する報告はないが、Court 等(1998)はウシと同じ反芻動物であるヒツジを用いて ^{14}C , ^3H , ^{35}S 経口投与後の骨格筋における ^{14}C , ^3H , ^{35}S の減衰を測定し、ヒツジ骨格筋組織の代謝回転半減期を 80 日と 205 日の 2 成分と報告している。これらの値が本試験で得られた 55.5 日より長い理由の一つとして種差が挙げられる。また、Crout 等の実験の測定期間の長さ (358 日) は本試験の期間 (140 日) よりも長いため、より長い半減期の成分も検出している可能性が考えられる。さらに、ヒツジの実験では長期間の実験でヒツジの成長が終了するのに向かつて骨格筋成長速度や代謝回転速度の低下が起きている可能性があると考えられる。

今回投与した ^{13}C 総量は 28 日間で $6.44 \pm 1.65 \text{ g}$ であるが、このときの牛肉中のピーク値が約 0.003% の上昇であることから、牛肉 1 kg 中では $9.45 \times 10^{-3} \text{ g}$ と計算できる。即ち、今回の実験と同様の条件であれば、 ^{14}C 1 Bq の餌としての摂取に対して、ピーク時で $1.46 \times 10^{-3} \text{ Bq/kg}$ 程度が牛肉中に残存すると推定できる（食品成分表から含水率 70%、炭素含有量 45%とおいた）。また、筋中 ^{13}C の減衰半減期が 55.5 日であることから、この半減期の値が出荷時まで変化しないと仮定した場合には、筋中存在量は出荷される 1 から 2 年後においてピーク時の残存量の 1.0×10^{-2} から 1.0×10^{-4} の量に減衰すると推定できる。このように、本調査の結果から、放射性炭素をウシが餌として摂取した場合の牛肉中の放射性炭素濃度やその出荷時までの時間変化を、ある程度推定できるようになった。

引用文献

- Cornelius et al. (1959) *Am. J. Vet. Res.*, 44-52
Court et al. (1998) *Radiat. Environ. Biophys.*, 36, 243-250.

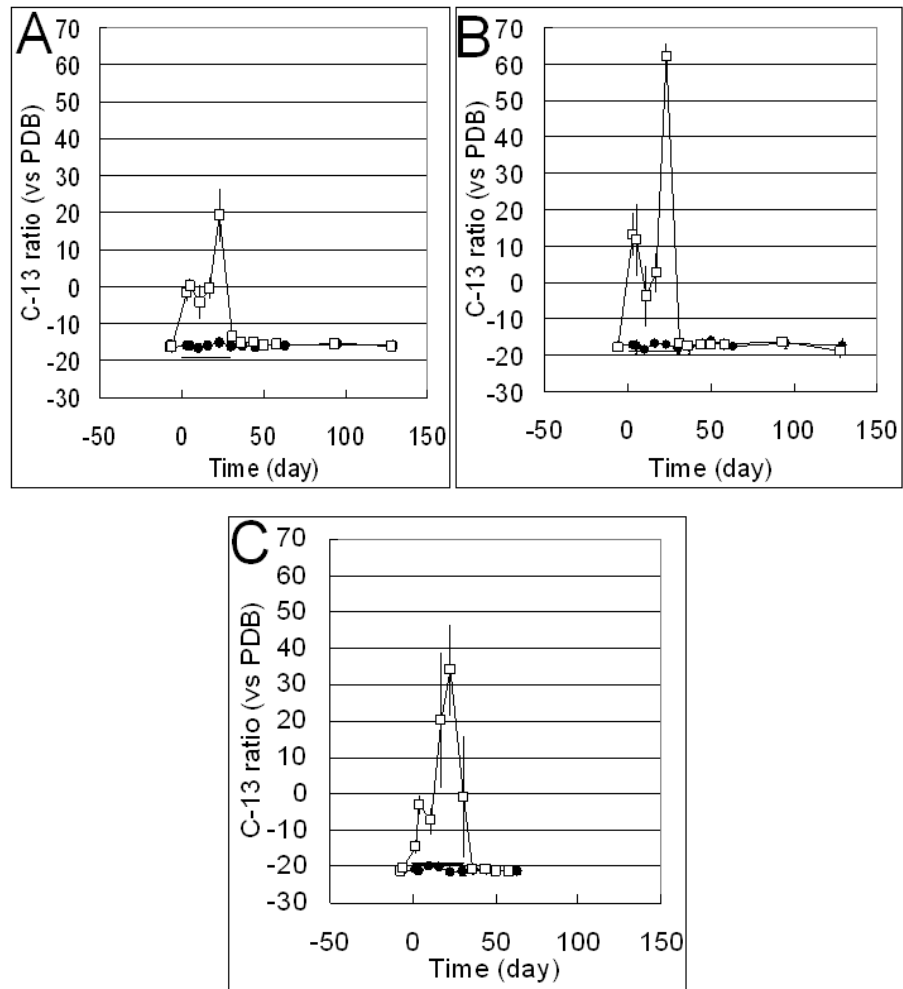


Fig. 1 Changes of ¹³C ratio in carbon excretion pathways.
X axis: time (day), Y axis: ¹³C relative abundance (‰ vs. PDB, $\pm$ S.D.). A: breath, B: urine, C: feces.
□: Experiment group (n=3), ●: Control group (n=3). Horizontal bar (0 to 28 days): ¹³C-labeled grass feeding period.

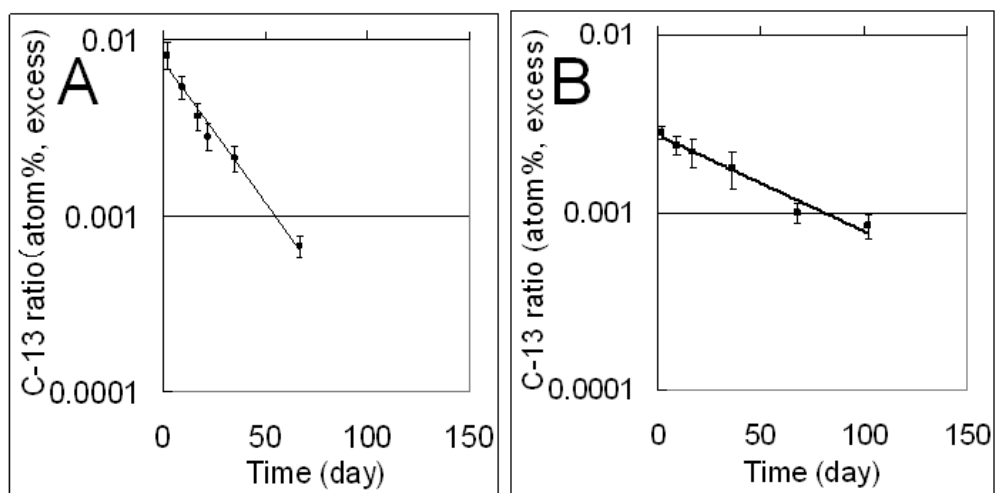


Fig. 2 ¹³C enrichment in body composition (n=3)
X axis: time (day), Y axis: ¹³C ratio (atom% excess, $\pm$ S.D.). A: serum, B: muscle.