泌乳牛におけるゼオライトによる放射性セシウム移行抑制効果

生沼英之¹・齋藤美緒¹・小田康典¹・遠藤孝悦¹

¹ 福島県農業総合センター畜産研究所, 福島市 960-2156

(2013. 2. 27 受付, 2013. 4. 9 受理)

要 約 本研究は、泌乳牛におけるゼオライトが飼料由来の放射性セシウム (Cs) の移行性に及ぼす影響を検討した。ホルスタイン種泌乳牛 3 頭を用い、放射性 Cs を含む給与飼料 (TMR) のみ給与をした対照区、TMR にゼオライト 200 g/日 (200 g 区)、あるいは 400 g/日混合する区 (400 g 区) の 3 区を設け、ラテン方格法による給与試験を行った。その結果、対照区の生乳中放射性 Cs 濃度は 14.7 Bq/kg、移行係数が 3.46×10^{-3} であった。200 g 区および 400 g 区の生乳中放射性 Cs 濃度はそれぞれ 6.5 および 6.7 Bq/kg に減少し、移行係数は 1.56×10^{-3} および 1.50×10^{-3} になり、対照区と比べて低下する傾向にあった。ゼオライトの給与による乳量、乳成分および乾物消化率への変化は認められなかった。ゼオライトは泌乳牛において飼料から生乳への放射性 Cs の移行を抑制することが示された。

日本畜産学会報 84 (3), 333-339, 2013

2011 年 3 月に東京電力福島第一原子力発電所で放射能漏れ事故 (以下、福島第一原発事故) が発生し、近隣の草地あるいは飼料畑に放射性セシウム (Cs) などの放射性物質が飛散して粗飼料が汚染された (小林ら 2012)。それらの汚染粗飼料を摂取した家畜の生産物から放射性物質が検出されたために、原乳の出荷制限、牧草の給与制限、牛肉の出荷自粛、あるいは堆肥の流通自粛が行われ、汚染地域の大家畜生産は甚大な経済的損失を被った。

2011 年 4 月に農林水産省から「原子力発電所事故を踏まえた粗飼料中の放射性物質の暫定許容値の設定等について」が通知され、乳用の経産牛および初回交配以降の牛に給与される粗飼料に含まれることが許容される放射性 Cs は最大で 300 Bq/kg (原物重) に制限された。2012 年 2 月には、食品衛生法に基づく牛乳中の放射性 Cs に関する規制値が新たに 50 Bq/kg 以下に定められたため、泌乳牛向け粗飼料中の放射性 Cs の暫定許容値が 100 Bq/kg (水分含有量 80%換算) 以下に再設定された。これらのことから、放射性物質汚染地域において放射性 Cs の規制基準に合致した粗飼料および生乳を生産するための技術開発が強く求められている。

粘土鉱物の一種であるゼオライトは、陰イオン性の骨格からなるトンネル状の空隙構造を持ったアルミノケイ酸塩と呼ばれる (山口ら 2012)。ゼオライトはイオン交換能を持つため、農業分野では土壌改良資材として、また、畜産分野では飼料添加物としてアンモニアの除去、カビ毒吸着などに用いられている (Mumpton 1999)。また、そのイオン吸着機能を利用して、放射性廃棄物から放射性物

質を除去する処理にも用いられている。大家畜における放射性物質の吸着については、乳牛を用いて 10000 Bq/日以上放射性 Cs を摂取させる条件で、放射性 Cs の飼料から乳への移行性を検討し、ゼオライトを飼料に混合すると放射性 Cs の乳への移行が抑制されると報告されている (Unworth ら 1989)。

著者らの研究グループでは、A 飼料として流通しているウシに給与可能なゼオライト 5 製品について、放射性 Cs に汚染された飼料を摂取したウシの胃液に各製品を加え、嫌気条件下で培養したものを固液分離し放射性 Cs を分析することで、放射性 Cs の吸着能力の高い製品を明らかにした (生沼ら 2012)。また、25000 Bq/日以上放射性 Cs を含む飼料を摂取した泌乳牛に対するそれらのゼオライト製品の給与が、尿への放射性 Cs の移行を抑制すると報告されている (竹中 2012)。しかし、福島第一原発事故によって汚染された飼料を泌乳牛に給与することによって放射性 Cs が生乳に検出されることは報告されている (橋本ら 2011; 小林ら 2012) が、放射性 Cs 濃度が暫定許容値未満である飼料を給与した場合のゼオライトが飼料から乳への放射性 Cs の移行抑制に有効であるか否かの報告はなされていない。そこで本研究では、新たな放射性 Cs の暫定許容値である 100 Bq/kg 未満の放射性 Cs を含む自給飼料を利用する泌乳牛およびそのウシが生産した生乳の放射性 Cs 汚染を低減させる給与技術を開発することを目的に、ゼオライトが飼料由来の放射性 Cs の移行性に及ぼす影響を検討した。

連絡者：生沼英之 (fax : 024-593-4977, e-mail : oinuma_hideyuki_01@pref.fukushima.lg.jp)

材料および方法

1. 供試飼料

放射性 Cs がフォールアウトした福島県農業総合センター畜産研究所の圃場（福島県福島市）において、ペレニアルライグラスおよびトウモロコシを慣行法で栽培し、一番草の乾草およびサイレージを 2011 年 5 月および 9 月にそれぞれ調製した。放射性 Cs を含まないオーツ乾草、アルファルファ乾草および配合飼料は、飼料会社から購入して試験に供した。これらの飼料を用いて、日本飼養標準乳牛 2006 年版（独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 2006）に基づく栄養成分要求量を満たすように、かつ放射性 Cs 濃度が 100 Bq/kg（水分含有量 80%換算）未満になるように給与飼料を設計した（表 1）。

2. 給与試験および試料採取

本研究の飼養試験は 2012 年 6 月 18 日から 8 月 7 日に福島県農業総合センター畜産研究所において、福島県農業総合センター専門別検討会の承認を得て、産業動物の飼養および保管に関する基準（昭和 62 年 10 月 9 日総理府告示第 22 号）に準拠して実施した。

供試動物としてホルスタイン種泌乳牛 3 頭（平均体重 652 ± 60 kg, 平均産次 3.0 産, 平均分娩後日数 133 日）を用い、個別ストールにスタンションで係留して飼養した。給与飼料は完全混合飼料（TMR）として 8:00 と 16:00 に半分ずつ動物に給与し、不断給餌による自由採食をさせた。給与量は、給与量の 10%程度を食べ残すよう調整し、残飼は朝の給与前に全て回収した。鉱塩（ボビリック P；日本全薬工業株式会社、福島）および水は自由に摂取させた。搾乳は 8:30 と 16:30 に行い、乳量を計測した。

試験区として何も添加しない対照区、生沼ら（2012）の報告において放射性 Cs の吸着能力が最も高いとされた飼料用のゼオライト（フィードボンド；出光興産、東京）を 1 日当たり原物で 200 g あるいは 400 g 給与する区（ゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区）の 3 区を設定し、1 期が予備期 14 日、本試験期 3 日からなる 3×3 ラテン方格法により給与試験を実施した。ゼオライトを給与する区では、1 日給与量のゼオライトを半分ずつ TMR

に混合して 2 回に分けて給与した。本試験期間中には、給与量および残飼量を毎日秤量し、乾物摂取量を求めた。生乳を搾乳時に採取し、朝夕の採材物を乳量に対して一定の割合で混合して、成分分析用の試料とした。糞および尿のすべてを分離採取し、それぞれよく攪拌後、縮分した。血液は 13:00 に頸静脈より採血バッグ（テルモ血液バッグ PCD；テルモ株式会社、東京）に 200 mL 採血し冷凍保存した。

3. 試料の分析方法

生乳の成分（脂肪、タンパク質、無脂固形分、尿素窒素）は、コンビフォス（フォスジャパン、東京）で分析した。飼料原料、給与飼料、残飼および糞は 60℃、72 時間の通風乾燥機で予備乾燥させ、1 mm スクリーンをつけた粉砕機（SM2000 パワーカッティングミル；株式会社レッチェ、東京）で粉砕し、分析に供した。粉砕した試料は 135℃ 2 時間乾燥法で乾物（DM）、ジエチルエーテル抽出法で粗脂肪（EE）、600℃ 2 時間灰化で粗灰分（CA）を算出した（自給飼料利用研究会 2009）。試料の粗タンパク質（CP）をケルダール法（AOAC 1990）で、中性デタージェント繊維（NDFom）および酸性デタージェント繊維（ADFom）はデタージェント分析法（Van Soest 1991）でそれぞれ測定した。

放射性 Cs 濃度測定のための試料は、生乳 1000 g、血液 500 g および尿 2000 g を 200℃のホットプレートで、供試飼料、残飼および糞を 60℃の通風乾燥機で、水分除去したものをを用いた。測定試料を U8 容器に入れ、高純度ゲルマニウム半導体検出器（GEM40-76；セイコー・イージーアンドジー株式会社、東京）を用いたガンマ線スペクトロメトリーにより放射性 Cs を同定した。ここでは ^{134}Cs は 604 keV を、 ^{137}Cs は 661 keV のガンマ線を定量に用い、放射性 Cs 濃度は、IAEA-372（Shakhashiro と Sansone 2009）を標準として用い、計数値積算法（Covell 1959）で算出した。十分な計数値が得られるように、生乳は 4 時間、糞および尿は 3 時間、血液は 10 時間の測定を行った。放射性 Cs 濃度は ^{134}Cs と ^{137}Cs を合算したものとした。放射性 Cs の飼料から乳への移行係数（ F_m ）は次の式により算出した（佐伯ら 1995）。

$$F_m(\text{day/L}) = \frac{\text{生乳 1 L 中の放射性 Cs 濃度} (^{134+137}\text{Cs Bq/L})}{\text{摂取した飼料中の放射性 Cs 量} (^{134+137}\text{Cs Bq/day})}$$

4. 統計解析

統計解析は分散分析後、各処理間差を Tukey の方法により検定した。危険率 5%未満の場合に有意差があるものとみなした。また、危険率 10%未満の場合は傾向があるものとした。

結 果

1. 給与飼料の成分および化学成分

給与飼料の化学成分を表 2 に示した。TMR の乾物率、

Table 1 Ingredient proportion of the experimental diet (%DM)

Concentrate mix pellet*	34.5
Oats hay	29.2
Alfalfa hay	29.1
Corn silage	6.4
Perennial ryegrass hay	0.8

* Contained 36.5% corn grain, 20.2% soybean meal, 19.5% wheat bran, 18.0% beet pulp, 3.2% molasses, 1.0% dicalcium phosphate, 1.0% salt and 0.6% calcium carbonate.

CP, ADFom および NDFom 含量は、それぞれ 73.0%, 16.0%, 29.2% および 51.6% であった。乾物中の放射性 Cs 濃度は 202.5 Bq/kg, 水分含有量を 80% に換算した放射性 Cs 濃度は 40.5 Bq/kg であった。

2. ゼオライト添加が泌乳牛の生産性に及ぼす影響

乾物摂取量, 乾物消化率, 乳量および乳成分を表 3 に示した。乾物の 1 日あたりの飼料摂取量は対照区, ゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区において, それぞれ, 21.5, 20.4 および 22.0 kg となり, 各区間に差はなかった。乾物消化率は対照区, ゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区において, それぞれ, 60.4, 59.6 および 60.6% となり, 各区間に差はなかった。乳量は対照区, ゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区において, それぞれ, 30.9, 31.8 および 32.0 kg となり, 各区に有意な差はなかった。乳成分は, 乳脂肪, 乳タンパク, 無脂固形分および乳中尿素窒素の各濃度において, 各区間に差はなかった。

3. ゼオライト添加が泌乳牛の放射性 Cs 移行に及ぼす影響

放射性 Cs の収支と生乳, 尿, 糞および血液の放射性 Cs 濃度

飼料, 糞, 尿および生乳における放射性 Cs の収支およ

び糞, 尿, 生乳および血液の放射性 Cs 濃度を表 4 に示した。1 日あたりの放射性 Cs 摂取量および糞の放射性 Cs 量は, 各区間に差はなかった。尿の放射性 Cs 量は, 対照区, ゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区においてそれぞれ 1725,873 および 1139 Bq/日となり, ゼオライト 200 g 区は他の 2 区と比較して減少した ($P < 0.05$)。生乳の放射性 Cs 量は, 対照区, ゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区においてそれぞれ, 460, 205 および 212 Bq/日となり, 対照区と比較してゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区において減少した ($P < 0.05$)。

放射性 Cs の糞への分配率は, 各区間に差はなかった。尿への分配率は, 対照区, ゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区においてそれぞれ, 40.0, 22.3 および 26.0% となり, 対照区と比較してゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区において減少した ($P < 0.05$)。生乳への分配率は, 対照区, ゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区においてそれぞれ, 10.8, 4.9 および 4.8% となり, 対照区と比較してゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区において減少する傾向が見られた ($P < 0.10$)。

糞の放射性 Cs 濃度は, 各区間に差はなかった。尿の放射性 Cs 濃度は, 対照区, ゼオライト 200 g 区および 400 g 区においてそれぞれ, 72.9, 44.7 および 49.4 Bq/kg となり, 対照区と比較してゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区において減少した ($P < 0.05$)。生乳中の放射性 Cs 濃度は, 対照区, ゼオライト 200 g 区および 400 g 区においてそれぞれ, 14.7, 6.5 および 6.7 Bq/kg となり, 対照区と比較してゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区において減少した ($P < 0.05$)。血液の放射性 Cs 濃度は各区とも検出限界値未満となった。

飼料から生乳への放射性 Cs の移行係数 (F_m)

対照区における飼料から生乳への放射性 Cs の移行係数 (F_m) は, 対照区, ゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区においてそれぞれ 3.46×10^{-3} , 1.56×10^{-3} お

Table 2 Chemical composition of the experimental diet and roughage

		Total Diet
DM	(%)	73.0
Crude protein	(%DM)	16.0
Ether extract	(%DM)	4.0
ADFom	(%DM)	29.2
NDFom	(%DM)	51.6
Crude ash	(%DM)	7.7
$^{134+137}\text{Cs}$	(Bq/kg)	202.5
$^{134+137}\text{Cs}$ 80% moisture corrected	(Bq/kg 80%MC)*	40.5

* 80% moisture corrected.

Table 3 Feed intake, dry matter digestibility, milk yield and composition in lactating cows fed radiocesium-containing TMR with or without zeolite

Item	Dietary treatment			SEM
	Control	Zeolite 200 g	Zeolite 400 g	
Dry matter intake (kg/day)	21.5	20.4	22.0	0.8
Dry matter digestibility (%)	60.4	59.6	60.6	1.9
Milk yield (kg/day)	30.9	31.8	32.0	0.6
Milk composition (%)				
Fat	3.82	3.71	3.85	0.08
Protein	3.18	2.95	3.02	0.06
Solids-not-fat	8.43	8.37	8.32	0.06
Urea nitrogen	8.91	10.37	9.87	0.85

Table 4 Balance, partition and concentrations of radiocesium in lactating cows fed radiocesium-containing TMR with or without zeolite

Item	Dietary treatment			SEM
	Control	Zeolite 200 g	Zeolite 400 g	
Radiocesium (Bq/day)				
Intake	4348	4125	4460	168
Feces	4347	3696	2884	631
Urine	1725 ^a	873 ^b	1139 ^a	71
Milk	460 ^a	205 ^b	212 ^b	29
Partition of radiocesium intake (%)				
Feces	98.8	91.0	64.6	11.1
Urine	40.0 ^a	22.3 ^b	26.0 ^b	1.6
Milk	10.8 ^A	4.9 ^B	4.8 ^B	1.1
Concentration of radiocesium (Bq/kg FM)				
Feces	67.6	63.3	46.6	6.9
Urine	72.9 ^a	44.7 ^b	49.4 ^b	1.6
Milk	14.7 ^a	6.5 ^b	6.7 ^b	1.1
Blood	N.D. (< 2.1) ¹⁾	N.D. (< 1.8) ¹⁾	N.D. (< 2.0) ¹⁾	—

¹⁾ Not detected (< detection limit).^{a,b} Means in a row with different superscript differ significantly ($P < 0.05$).^{A,B} Means in a row with different superscript differ significantly ($P < 0.10$).**Table 5** Transfer coefficients (Fm : day/L) of radiocesium from the diet to milk in lactating cows fed radiocesium-containing TMR with or without zeolite

	Control	Zeolite 200 g	Zeolite 400 g	SEM
Fm (day/L)	0.00346 ^A	0.00156 ^B	0.00150 ^B	0.00036

^{A,B} Means in a row with different superscript differ significantly ($P < 0.10$).

および 1.50×10^{-3} となり、対照区と比較してゼオライト 200 g 区およびゼオライト 400 g 区において 55~56% 減少する傾向が見られた ($P < 0.10$) (表 5)。

考 察

1. ゼオライト添加が泌乳牛の生産性に及ぼす影響

ゼオライトは、自らの持つ陽イオンと他の陽イオンを交換する機能（イオン交換機能）および微細孔径構造によるその孔径より大きな分子を通過させない機能（分子ふるい機能）を持つことで、アンモニウムイオンや有害物質を捕捉する特性を有する。その特性を利用して、ゼオライトを家畜の飼料に添加して給与することにより、消化機能や飼料効率の向上、発育の促進および排泄物の脱臭効果があると報告されている (Mumpton 1999)。乳牛においては、乳熱対策で乾乳牛に 700 g/日のゼオライトを飼料に添加することで分娩前 2 週間の乾物摂取量は減少するが、乳量、乳脂肪量および乳タンパク質量に影響は見られないと報告されている (Thilsing-Hansen ら 2002)。また、欧州食品安全機関 (European Food Safety Authority 2007) は乳熱のリスク低減のために 500 g/日以上 of ゼオライト

を与えたときに乾物摂取量は減るが、250 g/日のゼオライト給与は、乾物摂取量、血液のミネラル濃度、乳生産性および乳成分に影響を与えないと指摘している。これらのことから、500 g/日未満のゼオライトの飼料添加は、乳牛の乾物摂取量、乳生産性および乳成分に及ぼす影響は小さいものと推察される。本研究におけるゼオライト給与量は 1 日当たり 200 g および 400 g であったことから、乾物摂取量、乳生産性および乳成分に及ぼした影響は小さく、そのため乾物消化率への影響も小さかったと考えられる。

Katsoulos ら (2005) は、濃厚飼料乾物中に 1.25~2.5% のゼオライトを添加した飼料の泌乳牛への一年近い給与は血液成分に影響しないと指摘している。また、佐瀬と矢部 (2002) は、泌乳牛に対して 200 g のゼオライトを 2 ヶ月間給与しても、乳生産性、乳成分および血液成分に影響を及ぼさないと指摘している。これらのことから、ゼオライトを一年程度の一泌乳期間に給与しても乳牛の健康維持や乳生産性に及ぼす影響は小さいものと推察される。しかし、福島第一原発事故で放出された放射性核種のうち ¹³⁷Cs は半減期が 30 年と長いこと、および放射性 Cs に汚染された農地およびその周辺地が広範囲であるために除

染作業が長期に及ぶことが想定されている。したがって、放射性 Cs に汚染された地域において、自給飼料を活用した乳牛の飼養体系では、放射性 Cs の吸着を目的とするゼオライトの給与期間は、乳牛の生涯生産期間と同等になることが考えられ、今後は乳牛のライフサイクルに合わせたゼオライトの長期給与の影響についての検討が必要となる。

2. ゼオライト添加が泌乳牛の放射性 Cs 移行に及ぼす影響

本研究では、水分含有量を 80% に換算した放射性 Cs 濃度が 40.5 Bq/kg の TMR を自由採食させ、4348 Bq/日の放射性 Cs を摂取すると生乳から 14.7 Bq/kg の放射性 Cs が検出され、飼料から生乳への放射性 Cs の移行係数は 3.46×10^{-3} となった。この移行係数は、国際原子力機関 (IAEA) の示す平均値 (IAEA 資料 2010) である 4.6×10^{-3} に近い数値であるとともに、今までに国内の事例で報告されている 100 Bq/日未満の放射性 Cs を摂取したときの数値 (Aii ら 1989; 伊藤ら 1994; 三橋 1996) の範囲内であった。これらのことから、放射性 Cs 濃度が暫定許容値未満の飼料を泌乳牛に給与した場合、生乳への放射性 Cs の移行係数に対して放射性 Cs の摂取量の影響は少ないものと推察される。

Cs はカリウムと同じアルカリ金属に属し、実験動物での体内動態は、カリウムと化学的および生化学的に同様とされている (小林ら 1998)。Cs がゼオライトとともに水溶液中に存在するとゼオライトが自らの持つアルカリ金属イオンを放出し、カリウムよりイオン交換順位が高い Cs と交換することで、同時に存在するカリウムよりも効率的に Cs を吸着すると指摘している (Nikolai ら 1995)。この特性を利用したゼオライト給与による飼料中放射性 Cs の体内吸収を抑制する効果は、トナカイにおいては Birgitta ら (1990)、ヒツジにおいては Phillippo ら (1988) が実証されている。本研究では、放射性 Cs を含む TMR にゼオライトを混合して泌乳牛に自由採食させると、生乳および尿の放射性 Cs 濃度が低減し、飼料から生乳への放射性 Cs の移行係数は低下した。その移行係数において、ゼオライト給与量の違いによる差は認められなかった。これらの結果は、ゼオライトを TMR に混合することにより、ルーメン内または下部消化管内において TMR から遊離した放射性 Cs イオンをゼオライトが吸着したためと推察される。

物質・材料データベース (独立行政法人物質・材料研究機構 2012) では、放射性 Cs の吸着に有効なゼオライトの分子構造は一定ではなく、産地や組成によって吸着能力に差があり、吸着目的とする放射性 Cs の濃度や酸性度によって吸着性能が変化することが示されている。Unworth ら (1989) は、泌乳牛において放射性 Cs を 16000 Bq/日摂取時にゼオライトを 300 g 給与することにより、生乳中の放射性 Cs 濃度を 45% 減少することを報告されてい

る。本研究において、ゼオライト給与による生乳の放射性 Cs 濃度の減少が 55~56% となったことは、ゼオライト製品の産地や組成による吸着能力の差および給与したゼオライト量に対して摂取した放射性 Cs 量が少なかったことから、ゼオライトが放射性 Cs を比較的効率よく吸着できたものと考えられる。

小林ら (1998) は、体内における Cs には、上部消化管で速やかに吸収された Cs が下部消化管において分泌および再吸収される「腸管—腸管サイクル」という代謝経路があると指摘している。さらに、放射性 Cs 吸着物質を用いた Cs の体内における吸収抑制のメカニズムは、この代謝経路で放射性 Cs 吸着物質が腸管壁からの Cs 再吸収を阻害することにより、糞中への放射性 Cs の排泄を促進するものと指摘している。これらのことから、ゼオライトは、ウシ消化管内において放射性 Cs を吸着することで放射性 Cs の消化管から血液への吸収および腸管壁からの再吸収を抑制することにより、生乳および尿への移行が抑制され、放射性 Cs を吸着したゼオライトが糞に多く排出するものと推察される。しかし、本研究においては、各処理区間の糞の放射性 Cs 濃度に差はなく、放射性 Cs の糞への排出が増加する傾向は見られなかった。この原因は不明であるが、糞の放射性 Cs 分析のための試料における放射性 Cs 濃度および排出量の違いが関係している可能性がある。すなわち、放射性 Cs 測定のための試料における濃度のばらつきの大きさおよび糞の排泄量が、尿量や乳量よりも 2~3 倍多かったことにより、その値を乗じて得られる糞の放射性 Cs 量のばらつきが大きくなり、差が検出できなかったと考えられる。したがって、放射性 Cs の出納試験において放射性 Cs 濃度を算出する場合には、放射性 Cs 測定のための試料を灰化等さらに濃縮して、比較するそれぞれの試料の濃度を同程度にしてからガンマ線を定量する必要があると推察される。

以上のことから、放射性 Cs 濃度が暫定許容値未満の 40.5 Bq/kg (水分含有量 80% 換算) の濃度で放射性 Cs を含む飼料を泌乳牛に自由採食させた場合、200 g/日の飼料用のゼオライトを飼料に混合することにより、乾物摂取量、乳生産性、乳成分および乾物消化率に影響を与えることなく、飼料由来の放射性 Cs の生乳への移行抑制に有効であることが示された。

謝 辞

本研究を行うにあたり、乳牛飼養試験について畜産草地研究所那須研究拠点の塩谷 繁氏、細田謙次氏、松山裕城氏、宮地 慎氏に貴重なご指導をいただいた。放射能測定、解析には東北大学電子光理学研究センターの大槻 勤氏、菊永英寿氏にご指導、ご助言をいただいた。ここに感謝の意を表します。乳牛飼養施設の改良、試料の採取には畜産研究所の児玉栄作、鈴木眞一、嶋原 武、菅野智康、中島元一各氏に協力いただいた。心より深く感謝します。

文 献

- Aii T, Kume S, Takahashi S, Kurihara M, Mitsuhashi T. 1989. The effect of the radionuclides from Chernobyl on iodine-131 and cesium-137 contents in milk and pastures in South-western Japan. *Journal of Zootechnical Science* **61**, 47-53.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 17th edn. AOAC International, Maryland, USA.
- Birgitta A, Sevald F, Gustaf A. 1990. Zeolite and bentonite as caesium binders in reindeer feed. *Rangifer, Special Issue* **3**, 73-82.
- Covell DF. 1959. Determination of gamma-ray abundance directly from the total absorption peak. *Analytical Chemistry* **31**, 1785-1790.
- 独立行政法人物質・材料研究機構. 2012. 物質・材料データベース (MatNavi). 独立行政法人物質・材料研究機構, 茨城県つくば市; [Cited 25 December 2010]. Available from URL: <http://reads.nims.go.jp/PDF/Cs/zeolite/>
- 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構. 2006. 日本飼養標準乳牛 2006 年版. 中央畜産会, 東京.
- European Food Safety Authority. 2007. Opinion of the scientific panel on additives and products or substances used in animal feed on the safety of zeolite (sodium aluminosilicate, synthetic) for the reduction of risk of milk fever in dairy cows. *The EFSA Journal* **523**, 1-11.
- 橋本 健, 田野井慶太郎, 桜井健太, 飯本 武, 野川憲夫, 桧垣正吾, 小坂尚樹, 高橋友継, 榎本百合子, 小野山一郎, 李 俊佑, 眞鍋 昇, 中西友子. 2011. 福島第一原子力発電所事故後の茨城県産牧草を給与した牛の乳における放射性核種濃度. *RADIOISOTOPES* **60**, 335-338.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). 2010. *Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments* **472**, 82-96.
- 伊藤伸彦, 棚山 蔵, 木口伸二, 久保盛恵, 亀田昌典, 古川義宣. 1994. 青森県における牛乳への ^{137}Cs 移行係数. *RADIO-ISOTOPES* **43**, 695-699.
- 自給飼料利用研究会. 2009. 三訂版粗飼料の品質評価ガイドブック. 日本草地畜産種子協会, 東京.
- Katsoulos PD, Roubies N, Panousis N, Christaki E, Karatzanos P, Karatzias H. 2005. Effects of long term feeding dairy cows on a diet supplemented with clinoptilolite on certain haematological parameters. *Veterinary Medicine—Czech* **50**, 427-431.
- 小林美穂, 鈴木一好, 宮本 進, 西村宏一, 小松正憲, 梅村恭子, 的場和弘, 木方展治. 2012. 東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の飛散を受けて実施した放牧試験牛の乳中放射能緊急調査報告. 日本畜産学会報 **83**, 57-64.
- 小林信義, 山本 泰, 明石真言. 1998. 放射線事故時におけるセシウム除去としてのプルシアンブルー. 保健物理 **33**, 323-330.
- 三橋俊彦. 1996. 国産牛乳におけるセシウム-137 の移行係数に関する研究. 畜産試験場研究報告 **56**, 1-5.
- Mumpton FA. 1999. *La roca magica*: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America* **96**, 3463-3470.
- Nikolai FC. 1995. Use of natural zeolites at Chernobyl. In: Ming DW, Mumpton FA (eds), *Natural Zeolites '93. Int. Comm. Natural Zeolites*, New York.
- 生沼英之, 矢内清恭, 松山裕城, 宮地 慎. 2012. 泌乳牛におけるゼオライトとベントナイトの放射性セシウム吸収抑制効果. 東北農業研究 **65**, 89-90.
- Phillippo M, Gvozdanovic S, Gvozdanovic D, Chesters JK, Paterson E, Mills CF. 1988. Reduction of radiocaesium absorption by sheep consuming feed contaminated with fallout from Chernobyl. *The Veterinary Record* **122**, 560-563.
- 佐伯誠道, 大桃洋一郎, 鎌田 博, 稲葉次郎, 宮本 進, 三橋俊彦. 1995. 環境パラメータシリーズ 5 飼料から畜産物への放射性核種の移行係数. 財団法人原子力環境整備センター, 東京.
- 佐瀬尚弘, 矢部俊則. 2002. 泌乳牛にゼオライトを給与した時の血液成分および乳成分の変化. 帯広畜産大学特別研究報告 **16**, 16-17.
- Shakhashiro A, Sansone U. 2009. Radionuclide activity measurements in environmental samples of water, soil and grass, CCRI (II)-S4 comparison report. *Metrologia* **46**, Technical Supplement. 1-18.
- 竹中昭雄. 2012. 畜産物への放射性セシウムの移行とその対策. 家畜衛生学雑誌 **38**, 97-103.
- Thilising-Hansen T, Jørgensen RJ, Enemark JMD, Larsen T. 2002. The effect of zeolite A supplementation in the dry period on periparturient calcium, phosphorus, and magnesium homeostasis. *Journal of Dairy Science* **85**, 1855-1862.
- Unsworth EF, Pearce J, McMurray CH, Moss BW, Gordon FJ, Rice D. 1989. Investigations of the use of clay minerals and prussian blue in reducing the transfer of dietary radiocaesium to milk. *The Science of the Total Environment* **85**, 339-347.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* **74**, 3583-3597.
- 山口紀子, 高田裕介, 林健太郎, 石川 寛, 倉俣正人, 江口定夫, 吉川省子, 坂口 敦, 朝田 景, 和頼朗太, 牧野知之, 赤羽幾子, 平舘俊太郎. 2012. 土壌-植物系における放射性セシウムの挙動とその変動要因. 農業環境技術研究所報告 **31**, 75-129.

Effect of zeolite supplementation on the transfer of radioactive cesium from diet in dairy cows

Hideyuki OINUMA¹, Mio SAITO¹, Yasunori ODA¹ and Kouetsu ENDO¹

¹ Livestock Research Centre, Fukushima Agricultural Technology Centre, Fukushima 960-2156, Japan

Corresponding : Hideyuki OINUMA (fax : +81 (0) 24-593-4977, e-mail : oinuma_hideyuki_01@pref.fukushima.lg.jp)

This study examined the effect of zeolite supplementation on the transfer of radioactive cesium (Cs) from radioactive-Cs-containing diet in lactating dairy cows. Three multiparous Holstein cows in late-lactation were used in a 3×3 Latin square design for a 17-day experimental period. Supplementary treatments to the diet comprised no supplementation (control), 200 g/day (zeolite 200 g) or 400 g/day (zeolite 400 g) of zeolite. There was no significant difference in milk yield, milk composition and dry matter digestibility between the supplementary treatments. In the control group, their milk contained 14.7 Bq/kg of radioactive Cs, whereas the radioactive Cs concentrations in milk of the Zeolite 200 g and Zeolite 400 g treatments were 6.5 and 6.7 Bq/kg, respectively. The radioactive Cs transfer coefficient to milk was decreased by zeolite supplementation from 3.46×10^{-3} in the control to 1.56×10^{-3} in Zeolite 200 g and 1.50×10^{-3} in Zeolite 400 g treatments. Our results indicate that zeolite supplementation to radioactive-Cs-containing diet is effective in reducing the transfer of radioactive Cs without negative effects on productivity in lactating dairy cows.

Nihon Chikusan Gakkaiho 84 (3), 333-339, 2013

Key words : radioactive cesium, transfer coefficient to milk, Zeolite supplementation.