

くず大豆を輸入大豆粕の代替として用いた発酵 TMR の産乳性、消化性の評価

齋藤 浩和*¹・木戸場 結香*²・佐藤 直人*³・嶺野 英子*⁴

緒言

配合飼料原料の約 9 割を輸入に頼る我が国の畜産経営は、海外での作柄や為替変動等により大きな影響を受ける。この影響を緩和する方法の一つとして、国産の飼料資源で輸入原料を代替していくことが考えられる。

主要な配合飼料原料には、トウモロコシと大豆粕があり、前者は家畜のエネルギー源として、また、後者はタンパク源として重要な役割を果たしている。酪農経営においては、飼料用トウモロコシ栽培が普及しており、サイレージ化されて栄養価の高い飼料として利用され、輸入トウモロコシの一部代替効果を得ている。一方、大豆粕に代替できる国産飼料は未だに実用化されていない。

大豆は、転作作物等として国内でも食用として栽培されている。しかしながら、その商品化の過程で一定程度発生している規格外品（くず大豆）は、十分な活用が行われていない。

また、大豆には生理活性物質としてのイソフラボンやエストロゲン様の作用を持つ物質も存在し、生産性への影響が懸念される。これらの物質には内分泌攪乱物質である可能性が指摘されているクメストロールが含まれており、この物質を含むクローバを大量に摂取した羊において、不妊の症状が現れたとの報告がある¹⁾。

そこで、くず大豆を輸入大豆粕の代替飼料として原料に用い、発酵 TMR 調製により子実を膨軟化させ、飼料中の生理活性物質含量の調査と搾乳牛に給与することによる産乳性等への影響を調べた。

材料および方法

1 くず大豆を使用した発酵 TMR の調製

発酵 TMR の原料乾物構成を表 1 に示した。自給粗飼料の多給を意識し、乾物中粗飼料割合が概ね 60%以上となるよう設計した。原料を構成する粗飼料のうち、トウモロコシサイレージは原料乾物構成比で 40%以上とした。飼料用トウモロコシは黄熟中期に収穫、自走式ハーベスタでの収穫時に切断長 16 mm、ローラー間隙 5 mm で破碎処理したものを使用した。各年の飼料設計は日本

飼養標準乳牛（2006 年版）を用いて養分要求量を設定した。2010 年および 2011 年は泌乳中後期のホルスタイン種経産牛、3 産以降、分娩後 20 週、平均気温 15°C、給与方式は TMR、乳量 30kg、乳脂肪分率 4%、体重 650kg でパラメータを設定した。2012 年は泌乳前～中期のホルスタイン種経産牛、3 産以降、分娩後 12 週、平均気温 15°C、給与方式は TMR、乳量 40kg、乳脂肪分率 4%、体重 650kg でパラメータを設定した。

2010 年および 2011 年は、対照区飼料中の大豆粕由来蛋白質をくず大豆で代替し各試験区の供試飼料とした。代替割合は、2010 年は、10%、20%および 30%。2011 年は 50%とした。

2012 年は、物理的加工処理の効果を検討するため、くず大豆の原料乾物構成比を 10%にし、物理的加工処理を施さない丸大豆と破碎処理を行った破碎大豆で調製を行った。

調製の方法は、各原料を飼料設計に応じた数量どおり、自給粗飼料、配合飼料、単味飼料、飼料添加剤の順に TMR ミキサーへ投入・混合した。均一に混合調製したのち、飼料投入用のフィードコンベヤを介し、細断型コンビラップの飼料ホップへ投入した。投入後、TMR は自動でロール状に圧縮成形され、ラップフィルムで梱包調製した。

調製に使用した機械は、TMR ミキサーはルクラー社製オリオンクラシック 10.5、飼料投入用のフィードコンベヤは株式会社渋谷鉄工所製 FCT60-4302、圧縮梱包調製はタカキタ社製細断型コンビラップ MW1020 を使用した。また、くず大豆の破碎処理は、デリカ社製『飼料米破碎機 DHC-4000M』を使用し、ローラー間隙 0.4 mm で処理した。

2 発酵 TMR に含まれる生理活性物質含量の調査

1 で調製した発酵 TMR のうち、2010 年および 2011 年について、生理活性物質の含量を東北農業研究センター協力のもと分析した。分析した生理活性物質の種類は、クメストロール (Coumestrol)、フォルモノネチン (Formononetin)、ゲニステイン (Genistein)、ダイゼイン (Daidzein) の 4 種類である。

*1 畜産研究所 家畜飼養・飼料研究室（現 宮古農業改良普及センター岩泉普及サブセンター）

*2 畜産研究所 家畜飼養・飼料研究室（現 県北広域振興局農政部二戸農林振興センター）

*3 畜産研究所 家畜飼養・飼料研究室（現 岩手県立農業大学校）

*4 (独)農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター（2015年4月、国立研究開発法人）

表1 発酵 TMR の乾物構成割合

調製年	調製区分	調製原料構成割合											飼料乾物中成分割合						
		破碎処理 トウモロコシ サイレージ ※1	牧草 ロール サイレージ ※2	輸入 乾草 ※3	配合 飼料 ※4	大豆粕 (ミール)	くず 大豆 ※5	圧片 大麦	圧片 トウモロコシ	第2リン酸 カルシウム	ビタミン ミネラル プレミックス	重曹	塩	乾物率	TDN	CP	NDF	NFC	EE
2010年	対照区	39.9	25.2	-	27.5	6.1	-	-	-	0.8	0.2	0.2	0.1	46.0	70.3	14.7	42.0	31.7	4.04
	10%代替区	40.0	25.2	-	27.1	5.7	0.7	-	-	0.8	0.2	0.2	0.1	46.0	70.3	14.7	42.1	31.6	4.13
	20%代替区	40.0	25.2	-	26.9	5.3	1.3	-	-	0.8	0.2	0.2	0.1	46.0	70.3	14.7	42.1	31.5	4.22
	30%代替区	40.0	25.3	-	26.5	5.0	1.9	-	-	0.8	0.2	0.2	0.1	46.0	70.3	14.7	42.1	31.4	4.29
2011年	対照区	50.9	16.3	-	23.1	8.3	-	-	-	0.9	0.3	0.1	0.1	42.9	70.3	14.8	41.4	33.6	3.26
	50%代替区	51.1	16.3	-	21.1	4.6	5.5	-	-	0.9	0.3	0.1	0.1	42.9	70.4	14.7	41.6	32.5	4.09
2012年	丸大豆区	46.4	-	12.1	-	7.3	10.4	7.6	14.7	0.8	0.3	0.2	0.2	46.4	73.5	15.1	39.7	33.8	4.54
	破碎大豆区	46.4	-	12.1	-	7.3	10.4	7.6	14.7	0.8	0.3	0.2	0.2	46.4	73.5	15.1	39.7	33.8	4.54

※1 トウモロコシサイレージのは、自走式ハーベスタでの収穫時に切断長16mm、ローラー間隙5mmで破碎処理されている。

※2 牧草ロールサイレージは2010年、2011年ともに1番草オーチャードグラスである。

※3 2012年は震災による原発事故の影響で給与可能な自給牧草ロールサイレージを保有していないため、輸入乾草を購入し使用。草種はカラードゴニアグラス（クライングラス）である。

※4 配合飼料は2010年の表示成分がTDN72.5%以上、CP18.0%以上、2011年の表示成分がTDN75.0%以上、CP18.0%以上である。

※5 2012年のくず大豆は、丸大豆区が物理的処理なし、破碎処理区がデリカ社製『飼料米破砕機 DHC-4000M』によりローラー間隙0.4mmで破碎処理している。

3 くず大豆を使用した発酵 TMR 給与試験

供試飼料について、フリーストール群飼での飼養試験と繋留飼養での消化試験を実施した。2010年は群飼試験で20%代替、消化試験で10%、20%、30%代替について実施した。2011年は50%代替、2012年は、物理的形状について飼養試験と消化試験を実施した。

(1) フリーストールでの飼養試験

供試牛は、フリーストールで飼養する泌乳牛を用い、泌乳日数、日乳量、産次がほぼ等しくなるよう2群に編成し、クロスオーバー法で給与試験を実施した。2010、2011年は35頭、2012年は29頭を供試し、2010年は、1期4週間×2回の8週間、2011年は1期3週間×2回の6週間、2012年も1期3週間×2回の6週間で試験を実施した。給与方法は発酵 TMR を飼槽に並べ、ラップフィルムとネットロールを外し、スキッドステアローダーのバケットで均一に広げて給与した。発酵 TMR の開封時間帯は毎日 14:00~15:00 とした。調査およびサンプリングは、朝が 8:30~10:00、夜が 18:30~20:00 の搾乳時に行った。調査項目は乳量、乳成分（乳脂肪分、乳蛋白質、乳糖、無脂乳固形、乳中尿素態窒素（MUN））として、乳量の測定および乳汁サンプルの採取日は各期最終日の前日夜および最終日の朝に行った。

(2) 繋留飼養での消化試験

供試牛は、繋ぎ牛舎で繋留飼養する泌乳牛を用いた。

2010年は泌乳後期牛4頭を用い、1期12日間のラテン方格法、2011年は泌乳前期牛8頭を用い、1期21日間のクロスオーバー法、2012年は泌乳前期牛6頭を用い、1期21日間のクロスオーバー法で実施した。

調査項目は、乳量および乳成分（乳脂肪分、乳蛋白質、乳糖、無脂乳固形、乳中尿素態窒素（MUN））、乾物摂取

量、飲水量、乾物消化率、CP 消化率、ルーメン内容液 pH（各期最終日の給餌直前、給餌2時間後、給餌4時間後）とした。乳量および乳成分の調査は各期最終日前日夜および最終日朝に実施した。消化率については酸化クロムによるインデックス法で算出した。

結 果

1 くず大豆を使用した発酵 TMR 調製後の飼料中生理活性物質含量

2010年および2011年に調製した発酵 TMR の乾物中に含まれる生理活性物質含量を表2に示した。

2010年に調製した発酵 TMR では、10%代替区を除き4種の生理活性物質が検出された。一方、2011年に調製した発酵 TMR では、クメストロールおよびフォルモノネチンは検出されなかった。

2 フリーストールでの飼養試験

結果を表3に示す。

2010年について、20%代替区は対照区と比較して乳量、乳成分ともに同等であった。

2011年について、50%代替区は対照区と比較して乳量、乳成分ともに同等であった。MUNはともに14.0 mg/dl程度と若干高くなったが、基準とされている数値の範囲内であった。

2012年について、破碎大豆区は丸大豆区と比較して乳量、乳成分ともに同等であった。2010、2011年の試験結果と比較し、乳脂肪分率、MUNが低くなる傾向であった。

3 繋留での消化試験

結果を表 4 に示す。

2010 年について、乳量、乳成分は数値に若干のばらつきはあるものの、対照区と同等の結果であった。乾物摂取量および飲水量、乾物消化率、CP 消化率は対照区と同等であり、試験区間の差はなかった。ルーメン内容液 pH は対照区、各試験区とも給餌直前から給餌 4 時間後に向けて緩やかに低下した。

2011 年について、乳量は対照区との間に差はなかった。乳成分のうち、MUN は 50%代替区の数値が 14.4 mg/dl と高いが、対照区との間に差はなかった。乾物摂取量および飲水量、乾物消化率、CP 消化率は対照区と同

等だった。ルーメン内容液 pH は対照区、50%代替区とともに給餌直前から給餌 4 時間後に向けて緩やかに低下した。

2012 年について、乳量、乳成分ともに丸大豆区と破碎大豆区の間に差はなく、同等の結果であった。乾物摂取量、飲水量、乾物消化率、CP 消化率は試験区間に差はなかった。ルーメン液 pH は両区とも給餌直前から給餌 2 時間後にかけて低下したが、給餌 4 時間後には給餌直前の水準になった。なお、群での飼養試験と同様、2010, 2011 年の試験結果と比較し、乳脂肪分率、MUN が低くなる傾向であった。

表 2 発酵 TMR 乾物中に含まれる生理活性物質含量

		(ppm)			
		ダイゼイン	ゲニステイン	フォルモノネチン	クメストロール
2010年	対照区	241.9	81.3	7.7	1.2
	10%代替区	245.2	85.4	N. D.	1.5
	20%代替区	299.3	86.4	20.5	1.2
	30%代替区	273.2	79.9	8.3	1.6
2011年	対照区	348.8	86.8	N. D.	N. D.
	50%代替区	389.2	87.3	N. D.	N. D.

表 3 飼養試験における産乳成績

試験年	区	n	泌乳日数	産次	乳量 (kg/日・頭)	4%FCM (kg/日・頭)	乳脂肪分率	乳蛋白質率	乳糖率	無脂乳固形分率	MUN (mg/dl)
2010年	対照区	35	163	2.6	32.7	34.9	4.46%	3.37%	4.48%	8.85%	11.5
	20%代替区	35	163	2.6	32.2	33.7	4.34%	3.34%	4.49%	8.83%	11.7
2011年	対照区	35	192	2.5	27.1	31.1	4.68%	3.28%	4.44%	8.72%	14.0
	50%代替区	35	192	2.5	27.3	30.0	4.50%	3.26%	4.47%	8.73%	14.4
2012年	丸大豆区	29	195	2.0	32.5	32.0	4.03%	3.16%	4.57%	8.74%	10.3
	破碎大豆区	29	195	2.0	33.7	32.7	3.91%	3.17%	4.59%	8.76%	10.0

表 4 消化試験における産乳成績および乾物摂取量、飲水量、乾物消化率、CP 消化率、ルーメン内容液 pH

試験年	区	n	乳量 (kg/日・頭)	4%FCM (kg/日・頭)	乳脂肪分率	乳蛋白質率	乳糖率	無脂乳固形分率	MUN (mg/dl)	乾物摂取量 (kg/日・頭)	飲水量 (ℓ/日・頭)	乾物消化率 (%)	CP 消化率 (%)	ルーメン内容液 pH		
														給餌直前	給餌 2h	給餌 4h
2010年	対照区	4	30.6	35.7	5.08%	3.51%	4.33%	8.85%	11.3	25.0	119.6	82.7	76.9	7.81	7.53	7.37
	10%代替区	4	30.4	34.0	4.82%	3.54%	4.30%	8.84%	10.6	24.7	120.7	81.2	78.5	7.92	7.66	7.54
	20%代替区	4	30.0	35.1	5.13%	3.50%	4.33%	8.83%	10.8	24.7	118.5	81.2	76.2	7.96	7.63	7.49
	30%代替区	4	31.9	36.4	4.95%	3.44%	4.34%	8.77%	11.5	25.7	123.4	82.3	77.8	7.86	7.55	7.40
2011年	対照区	8	29.7	31.3	4.40%	2.92%	4.54%	8.46%	13.0	20.8	97.3	81.1	75.4	7.71	7.51	7.31
	50%代替区	8	29.4	31.0	4.37%	2.85%	4.61%	8.45%	14.4	20.3	97.7	80.3	76.2	7.73	7.43	7.42
2012年	丸大豆区	6	38.4	39.6	4.17%	3.00%	4.52%	8.51%	8.82	23.6	139.6	79.4	79.5	7.68	7.46	7.77
	破碎大豆区	6	39.0	37.9	3.83%	2.89%	4.58%	8.47%	9.35	23.3	131.2	79.3	78.6	7.97	7.86	7.99

考 察

大豆には生理活性物質としてのイソフラボンやエストロゲン様の作用を持つ物質も存在し、繁殖性への影響が懸念される。

ダイゼインはエストロゲン活性が弱い²⁾、クメストロールおよびゲニステインは強いエストロゲン活性がある物質であり、特にクメストロールはエストラジオールと同程度という報告がある³⁾。

2010年の発酵TMRではくず大豆による代替を行っていない対照区でも4種類検出されており、大豆粕自体に一定量の生理活性物質が含まれていると考えられる。イソフラボンは熱安定性が高く⁴⁾、大豆粕製造過程の加熱では活性が失われないためと考えられる。

2011年に調製した発酵TMRでは、クメストロールおよびフォルモノネチンが検出されていない。大豆は品種、栽培地域により生理活性物質の含量が大きく異なるため⁵⁾と考えられる。

本試験で、大豆粕からくず大豆へ代替することで含量が増加した物質はエストロゲン活性が弱いダイゼインであり、その他の物質については変化がなく含量も少ないことから、繁殖性に悪影響を及ぼす量の生理活性物質は含まれていなかったと考えられた。

乳量30kg水準の設計で生大豆および加熱大豆を使用したTMRを泌乳牛に給与した場合の乳量と乳成分は、差がないという報告^{6,7)}がある。本試験では2010年および2011年に大豆粕(脱脂・加熱処理)を生大豆で代替したが、上記文献と同様に、乳量と乳成分に影響が見られなかった。

くず大豆を飼料として利用する場合、利用割合が多くなることによる影響があるかが重要となる。本試験では乾物構成割合が2010年に給与した10%代替区の0.7%から、2011年の50%代替区の5.5%まで使用しているが、産乳成績は同等であった。

給与飼料の乾物中粗脂肪含量が6~7%を超えた場合、ルーメン内の微生物活性が損なわれ、乳脂肪分率や乾物摂取量の低下を引き起こす可能性が高くなる⁸⁾。くず大豆の乾物中粗脂肪含量は18%程度で、3%前後である大豆粕の約6倍になっている。

2012年に物理的加工処理の必要性の検討を、くず大豆の原料乾物構成割合を10%程度まで高め、綿実など脂肪含量が高い飼料を使用しないことにより飼料中粗脂肪含量を4.54%に調整して実施した。加熱大豆の場合、物理的加工処理は消化率に影響を与えないとの報告がある⁹⁾。本試験でも、丸大豆と破碎処理した大豆との間

で発酵TMRでの産乳性や消化性に差がなく、くず大豆であっても消化率の向上を目的とした物理的加工処理は必要ないと考えられた。なお、2010, 2011年の結果と比較し2012年には乳脂肪分率、MUNが低くなる傾向が見られており、くず大豆の原料乾物構成割合を10%程度まで高めた場合は、組み合わせる原料構成割合や設計飼料成分について、さらに検討を加える必要性が示唆された。

摘 要

飼料に用いる輸入穀類のうち、主要な蛋白質源である大豆粕を国産のくず大豆で代替し、発酵TMR調製した。発酵TMR調製後の生理活性物質含量および、泌乳牛に給与した場合の産乳性、消化性について検討を行った。

生理活性物質は、くず大豆で代替する割合が増加するほど含量が増加した。最も多く含まれたのはエストロゲン活性が低いダイゼインであり、繁殖性への悪影響が強いとされるクメストロールやゲニステインも検出されたがその含量は低く、大豆粕を50%代替(乾物割合5.5%)する程度のくず大豆の利用では、繁殖性に悪影響を及ぼすような量ではないと考えられた。

トウモロコシサイレージが乾物中概ね40%以上となる発酵TMRを対照飼料とし、対照飼料中の大豆粕を、2010年は、10%、20%および30%、2011年は50%くず大豆で代替した。2012年には物理的加工処理の必要性の検討をくず大豆の発酵TMRの乾物中構成割合10%となるように調製して実施した。

フリーストールでの飼養試験において、くず大豆へ代替した発酵TMRの給与により、乳量および乳成分は対照区と試験区との間で差は認められなかった。また、2012年にくず大豆の物理的加工処理の有無による比較では乳量、乳成分は同等であった。

繋留での消化試験では、乳量および乳成分、乾物摂取量、飲水量、乾物消化率、CP消化率、ルーメン内容液pHに対照区と各試験区とに差はなく、くず大豆による大豆粕50%代替(乾物構成割合5.5%)までは消化性に影響を与えないと考えられた。

2012年に行った破碎処理大豆と丸大豆の比較では、飼養試験と同様に乳量と乳成分、消化性に差は見られず、消化率の向上を目的とした物理的加工処理は必要ないと考えられた。なお、2010, 2011年の結果と比較し2012年には乳脂肪分率、MUNが低くなる傾向が見られたので、くず大豆の原料乾物構成割合を10%程度まで高めた場合は、組み合わせる原料構成割合や設計飼料成分につい

て、さらに検討を加える必要性が示唆された。

以上から、くず大豆を発酵 TMR の調製原料として使用する際は、大豆粕の 50% 代替（原料中乾物割合 5.5%）までは可能であること、破碎処理せず丸大豆での利用が可能であることが示された。しかし、くず大豆の原料乾物構成割合が 10% を越えるような場合の生産性へ及ぼす影響については、さらに検討を加える必要性が示唆された。

引用文献

- 1) State of Western Australia (2005)
Sheep infertility from pasture legumes.
Department of Agriculture. Farmnote No. 41
- 2) 3) 森戸慶子(2002).
イソフラボノイドの hER α 及び hER β を介したエストロゲン活性の解析
博士学位論文要旨 論文内容の要旨および論文審査結果の要旨／金沢大学大学院自然科学研究科，平成 14 年 9 月：591-597
- 4) 川原美香, 永草淳(1998).
豆類の新規な食材としての利用に関する研究(第 3 報)
北海道立十勝圏地域食品加工技術センター成果報告
- 5) 扇谷陽子, 相澤博, 大谷倫子, 藤田晃三(2002)
大豆のイソフラボン量について；産地による比較
札幌市衛研年報 29, 83-89
- 6) Bernard, J.K. (1990). Effect of raw or roasted whole soybeans on digestibility of dietary nutrients and milk production of lactating dairy cows.
J. Dairy Sci. 73:3231-3236
- 7) Scott, T.A., D.K. Combs, and R.R. Grummer. (1991).
Effects of roasting, extrusion, and particle size on the feeding value of soybeans for dairy cattle.
J. Dairy Sci. 74:2555-2562
- 8) デーリー・ジャパン社 NRC 乳牛飼養標準 2001 年・第 7 版 30-32
- 9) Tice, E. M., M. L. Eastridge, and J. L. Firkins. (1993). Raw soybeans and roasted soybeans of different particle size.
J. Dairy Sci 76:224-235

