

酪農における粗飼料自給率向上に向けた飼料給与技術の確立

脇 大作・大六野 洋*1・東山崎達生*2・川畑健次

要 約

ホルスタイン搾乳牛を用いて完全混合飼料（TMR）中の自給粗飼料割合について検討した。自給粗飼料を乾物当たり60%混合したTMRを給与し、パーティクルセパレーター（PSPS）を用いて選び食いの有無を調査したところ、給与飼料と残渣飼料のPSPS上段割合は、-2.1~9.3で、全頭の絶対値が10以下であったことから、選び食いができないことを確認した。

自給粗飼料（トウモロコシサイレージ（S）とイタリアンS）を40%（40%区）、50%（50%区）、60%（60%区）含むTMRを給与し、飼料利用性及び乳生産性を調査した。まず、TMR中の濃厚飼料原料として、トウモロコシ圧ペン、大豆粕、加熱大豆、綿実、一般ふすまを混合したところ、乳量に有意差は見られなかったものの、60%区は50%区及び40%区に比べ、各々乳量が2.3 kg（10%）、3.5 kg（14%）低い値を示した。次に、TMR中の濃厚飼料原料として、トウモロコシ圧ペン、大豆粕を混合したところ、乾物摂取量及び乳量、乳質、TMRの可消化養分総量（TDN）に有意差は認められず、TMR中の自給粗飼料を乾物当たり60%まで高めても、乳量・乳質等を低下させないで飼養できることが判った。

粗飼料を60%含むTMRの粗飼料原料を自給粗飼料（トウモロコシSとイタリアンS）とした自給区と自給粗飼料（トウモロコシS）と輸入粗飼料（オーツヘイ、アルファルファ乾草）とした輸入区を比較したところ、乾物摂取量及び乳量、乳質、TMRのTDNに有意差は認められず、輸入粗飼料と同様に自給粗飼料が利用可能であることが判った。

また、試験区間の飼料費を比較したところ、粗飼料割合を60%まで高めることおよび粗飼料を全量自給にすることで、飼料費の削減が可能であった。また、フリーストール牛舎で給与飼料中の自給粗飼料割合を60%に調整した部分的混合飼料（PMR）を給与し、経済性「生乳代金－飼料費」を検討した結果、輸入粗飼料を用いたPMRに比べ、経済性の高いことが示された。

キーワード：経済性、自給粗飼料多給、TMR、乳生産性、泌乳牛

緒 言

近年、家畜の飼料原料として用いられる配合飼料価格は、アジア諸国等の新興国における人口の増加や所得水準の上昇、バイオ燃料の利用拡大などを背景とした穀物価格の高止まりにより、高値で推移している⁹⁾。また、輸入乾草の価格についても、主産地における国内需要及び新興国である中東諸国や中国、韓国等の需要が堅調である中、天候不順や円安等の影響を受け、高値で推移している²⁰⁾。

このような中、酪農経営においては、飼養規模の拡大に伴い、輸入穀類や乾草への依存度を高め、泌乳能力の向上を図ってきた¹⁸⁾中で、配合飼料や輸入粗飼料などの購入飼料価格の高止まりにより、収益性が低下していると考えられる。

また、本県においては、酪農及び肉用牛生産近代化計画において、比較的安価でかつ安定的に生産可能な国産粗飼料の生産・利用の拡大等を図り、輸入飼料への依存を軽減し、自給飼料の生産基盤に立脚した安定的な経営に転換し、粗飼料自給率を100%とすることを目標としている¹²⁾。

一般に、粗飼料は濃厚飼料に比べ消化率や代謝率が低い¹⁵⁾傾向にあり、自給粗飼料を多給する飼養管理技術への取り組みとして、混合飼料中の粗飼料と濃厚飼料の混合割合について、40:60が50:50に比べ乳量が多かった¹³⁾との報告があるものの、飼料原料についての検討は行われていない。一方、一定の産乳に要する代謝エネルギー量（ME）は、トウモロコシS主体の粗飼料を多給した場合でも同程度となる^{7),14)}との報告があり、粗飼料多給型の飼養管理の可能性が示唆されている。

（連絡先）大家畜部

*1 北薩地域振興局農林水産部農政普及課

*2 肝属家畜保健衛生所

そこで、本研究では、比較的安価で安定的に調達できる自給粗飼料を多く用いることで飼料費を低減することを目的に、自給のトウモロコシ S を主体とした粗飼料多給型の TMR 給与技術を検討するため、県内の酪農家で用いられている濃厚飼料多給型の TMR (粗飼料の乾物割合 40%) と比較し、飼料利用性および乳生産性等を検討した。また、酪農家の粗飼料調達においても、輸入への依存が高いことから、輸入粗飼料との比較が必要と考え、粗飼料の一部に輸入粗飼料を利用した TMR についても同様の比較検討を行った。

さらに、現場での飼養スタイルであるフリーストールでの飼養試験を実施し、乳生産性等に加え、経済性の検討を行った。

試験材料および方法

1 試験 1: 自給粗飼料割合を 60% (乾物中) に調整した TMR の選び食い試験

- (1) 調査期間: 2015 年 8 月～9 月
- (2) 供試牛: ホルスタイン種雌牛 15 頭 (搾乳牛)
- (3) 供試飼料: TMR 原料として、トウモロコシ S (乾物当たり 35%), イタリアン S (乾物当たり 25%), トウモロコシ圧ペン, 大麦圧ペン, 大豆粕, 一般ふすまを混合
- (4) 調査方法: 選び食いの有無について、PSPS の上段 (19mm の篩い) を用い、給与飼料と残食飼料を PSPS で篩い、PSPS に残った飼料の割合を調査し、それぞれ割合の差が 10 以下を選び食い無し¹⁾ と判定

2 試験 2-1: TMR 中の自給粗飼料割合が乳生産性と飼料利用性に及ぼす影響 (繋留による消化試験)

- (1) 調査期間: 2017 年 1 月 30 日～3 月 17 日
- (2) 供試牛: 1 産次のホルスタイン種雌牛 3 頭 (搾乳牛)
- (3) 供試飼料: TMR 原料として、トウモロコシ S, イタリアン S, トウモロコシ圧ペン, 大豆粕, 加熱大豆, 綿実一般ふすま, ビートパルプを混合
- (4) 試験区分: TMR 中の粗飼料混合割合を乾物当たり 60%, 50%, 40% (表 1) とし、各々 60% 区, 50% 区, 40% 区の 3 区を設定 (表 1-1)
- (5) 調査方法: 各区 1 頭配置し、ラテン方格法²⁾により 3 回実施 (馴致を 5 日 (初回のみ), 飼料馴致 9 日, 試験を 5 日)

TMR の給与は飽食とし、搾乳は朝夕 2 回実施

- (6) 調査項目は、乳量, 4% 補正 FCM 乳量 (以下 FCM 乳量), 乳成分 (乳脂肪, 乳蛋白質, 無脂固形分,

体細胞, 乳中尿素態窒素 (MUN), 乾物摂取量 (DMI), 乾物消化率, 一般成分 (水分, 粗蛋白質 (CP), 粗脂肪 (EE), 可溶無窒素物 (NFE), 粗繊維 (CF), 粗灰分 (CA)), 中性デタージェント繊維 (NDF), 酸性デタージェント繊維 (ADF) の消化率, TDN

①飼料給与量 × 成分割合, ②残食量 × 成分割合, ③ふん排泄量 × 成分割合を測定し, 消化率は, ③ / (① - ②) により算出

乾物割合は, 55℃ 48 時間の通風乾燥により算出

3 試験 2-2: TMR 中の自給粗飼料割合が乳生産性と飼料利用性に及ぼす影響 (繋留による消化試験)

- (1) 調査期間: 2017 年 1 月 30 日～3 月 17 日
- (2) 供試牛: 1～5 産次のホルスタイン種雌牛 6 頭 (搾乳牛)
- (3) 供試飼料: TMR 原料として、トウモロコシ S, イタリアン S, トウモロコシ圧ペン, 大豆粕, 一般ふすま, ビートパルプを混合
- (4) 試験区分: 給与 TMR 中の粗飼料混合割合を乾物当たり 60%, 50%, 40% (表 1) とし、各々 60% 区, 50% 区, 40% 区の 3 区を設定 (表 1-1)
- (5) 調査方法: 各区 2 頭配置し、ラテン方格法²⁾により 3 回実施 (馴致を 5 日 (初回のみ), 飼料馴致を 9 日, 試験を 5 日)

TMR の給与は飽食とし、搾乳は朝夕 2 回実施

- (6) 調査項目は、乳量, FCM 乳量, 乳成分 (乳脂肪, 乳蛋白質, 無脂固形分, 体細胞, MUN), DMI, 乾物消化率, 一般成分, NDF, ADF の消化率, TDN

①飼料給与量 × 成分割合, ②残食量 × 成分割合, ③ふん排泄量 × 成分割合を測定し, 消化率は, ③ / (① - ②) により算出

乾物割合は, 55℃ 48 時間の通風乾燥により算出

4 試験 3-1: TMR 中の粗飼料原料 (自給と輸入) が乳生産性と飼料利用性に及ぼす影響 (繋留による消化試験)

- (1) 調査期間: 2019 年 2 月 16 日～3 月 15 日
- (2) 供試牛: 1～2 産次のホルスタイン種雌牛 4 頭 (搾乳牛)
- (3) 供試飼料: TMR 原料として、トウモロコシ S (自給), イタリアン S (自給), オーツヘイ (輸入), アルファルファ乾草 (輸入), トウモロコシ圧ペン, 大豆粕, 一般ふすまを混合

(4)試験区分：TMR 中の粗飼料の混合割合を乾物当たり 60%とし、粗飼料原料を自給粗飼料（トウモロコシ S とイタリアン S）とした自給区、トウモロコシ S と輸入粗飼料（オーツヘイとアルファルファ乾草）とした輸入区を設定（表 1-2）

(5)調査方法：各区 2 頭配置し、反転試験法²¹⁾により 3 回実施（馴致を 5 日（初回のみ）、飼料馴致を 9 日、試験を 5 日）

TMR の給与は飽食とし、搾乳は朝夕 2 回実施

(6)調査項目は、乳量、FCM 乳量、乳成分（乳脂肪、乳蛋白質、無脂固形分、体細胞、MUN）、DMI、乾物消化率、一般成分、NDF,ADF の消化率、TDN

①飼料給与量 × 成分割合、②残食量 × 成分割合、③ふん排泄量 × 成分割合を測定し、消化率は、③/（①-②）により算出

乾物割合は、55℃ 48 時間の通風乾燥により算出

5 試験 3-2：PMR 中の自給粗飼料原料（自給と輸入）が乳生産性と飼料利用性に及ぼす影響（フリーストールによる飼養試験）

(1)調査期間

夏期試験：2019 年 7 月 25 日～8 月 9 日

冬期試験：2020 年 1 月 9 日～1 月 22 日

(2)供試牛：ホルスタイン種雌牛（搾乳牛）を夏期試験では 21 頭、冬期試験では 27 頭

(3)供試飼料：

ア 濃厚飼料：搾乳ロボット内で搾乳中に搾乳牛用配合飼料を 2.3kg 給与

イ PMR：トウモロコシ S（自給）、グラス S（自

給、夏期：イタリアン、冬期：オオクサキビ）、オーツヘイ（輸入）、アルファルファ乾草（輸入）、トウモロコシ圧ペン、大豆粕、一般ふすまを混合

混合割合は、試験 3-1 の TMR から濃厚飼料の栄養価を減じ、粗飼料混合割合は、給与飼料（濃厚飼料と PMR）中の乾物当たり 60%に設定

(4)試験区分：PMR 中の粗飼料原料を自給のトウモロコシとイタリアンライグラスの S とした自給区、トウモロコシ S と輸入粗飼料（オーツヘイとアルファルファ乾草）とした輸入区設定（表 1-2）。

(5)調査方法：フリーストール牛舎で飼養し、搾乳ロボットで搾乳

濃厚飼料はロボット内で搾乳時に 2.3kg/頭・日、PMR は飽食で給与し、夏期と冬期の 2 回実施（馴致を 3～5 日、試験を 3 日）

(6)調査項目：乳量、乳成分（乳脂肪、乳蛋白質、無脂固形分、体細胞、MUN）、DMI、一般成分、NDF,ADF の摂取量、経済性（生乳代金-飼料費）

飼料摂取量は、計量器付き飼槽で計量（飼槽からこぼれた PMR を減量）

乾物割合は、55℃ 48 時間の通風乾燥により算出

経済性に用いた生乳代金単価は、当場の平成 30 年度平均販売単価

飼料費単価は、飼料をめぐる情勢¹⁹⁾ 及び農業物価指数¹⁷⁾ から引用

表 1-1 供試飼料の混合割合 (単位：乾物%)

飼料名	試験 2-1 (TMR)			試験 2-2 (TMR)			
	粗飼料混合割合			粗飼料混合割合			
	60%区	50%区	40%区	60%区	50%区	40%区	
トウモロコシ S (自給)	50	40	30	50	40	30	
イタリアン S (自給)	10	10	10	10	10	10	
オオクサキビ S (自給)	—	—	—	—	—	—	
オーツヘイ (輸入)	—	—	—	—	—	—	
アルファルファ乾草 (輸入)	—	—	—	—	—	—	
トウモロコシ圧ペン	13	16	19	20	21.5	24.5	
加熱大豆	11	8	4	—	—	—	
綿実	1.5	1.5	1.5	—	—	—	
大豆粕	6	7	8	18.5	17	16	
一般ふすま	2	4	5	—	3	4	
ビートパルプ	—	4	8	—	7	14	
ミネラル・ビタミン製剤	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
濃厚飼料 (ロボット内)	—	—	—	—	—	—	
栄養価	TDN	75.6	76.5	77.1	71.7	72.6	73.9
(設計値)	CP	15.1	15.3	15.4	16.1	16.1	16.2
	NDF	35.2	34.9	34.6	32.8	32.8	32.2

表1-2 供試飼料の混合割合

(単位: 乾物%)

飼料名	試験3-1 (TMR)		試験3-2 (PMR・濃厚飼料)			
	粗飼料原料		夏 期		冬 期	
	自給区	輸入区	自給区	輸入区	自給区	輸入区
トウモロコシS (自給)	50	20	50	20	50	20
イタリアンS (自給)	10	—	10	—	—	—
オオクサキビS (自給)	—	—	—	—	10	—
オーツヘイ (輸入)	—	30	—	30	—	30
アルファルファ乾草 (輸入)	—	10	—	10	—	10
トウモロコシ圧ペん	23	26	14.5	19.4	14	19.4
加熱大豆	—	—	—	—	—	—
綿実	—	—	—	—	—	—
大豆粕	15	12	12	8.9	12.4	8.9
一般フスマ	—	—	—	—	—	—
ビートパルプ	—	—	—	—	—	—
ミネラル・ビタミン製剤	2	2	1.4	1.5	1.5	1.5
濃厚飼料 (ロボット内)	—	—	12.1	10.2	12.1	10.2
栄養価 (設計値)						
TDN	71.9	70.0	71.1	69.3	71.5	69.3
CP	14.6	14.4	14.8	14.3	14.5	14.3
NDF	32.9	32.6	34.7	36.0	34.8	36.0

結 果

1 試験1: 自給粗飼料割合を60% (乾物中) に調整したTMRの選び食い試験

試験期間中の搾乳牛15頭の平均値は、DMIが23.3kg/日、乳量が25.2kg/日であった。給与飼料と残渣飼料のPSPS上段割合の差は、-2.1～9.3の値を示し、その絶対値は全頭10以下であった(表2)。

2 試験2-1: TMR中の自給粗飼料割合が乳生産性と飼料利用性に及ぼす影響(繋留による消化試験)

TMR中の自給粗飼料を60% (乾物中) 混合した60%区、50%混合した50%区、40%混合した40%区の3区を設定し、乳生産性及び飼料利用性について調査した。供試飼料の成分については、CP、EE、NFE、CF、CA、NDF、ADFに大きな差はなかったが、水分において、60%区が59.2%、50%区が53.8%、40%区が48.5%と自給粗飼料割合が多くなると水分が上昇した(表3)。

DMI、乳量、FCM乳量については、試験区間で、有意な差は認められなかったものの、60%区は50%区及び40%区に比べ、各々乳量が2.3kg(10%)、3.5kg(14%)低い値を示した。生乳成分については、全項目において、有意な差は認められなかった。消化率については、ADF消化率において60%区が50%区に比べ有意に高く(P<0.05)、その他の成分消化率及びTDNに有意な差は認められなかった(表4)。

3 試験2-2: TMR中の自給粗飼料割合が乳生産性と飼料利用性に及ぼす影響(繋留による消化試験)

試験2-2においては、試験2-1で乳量に有意差はなかったものの、60%区が40%区に比べ乳量とFCM乳量が低かったことから、TMRの原料のうち試験2-1で用いた綿実と加熱大豆を用いず、第一胃内での乾物消失率が比較的速いトウモロコシ圧ペんと大豆粕¹⁰⁾を増量したTMRを給与した。試験区分は、TMR中の自給粗飼料を60% (乾物中) 混合した60%区、50%混合した50%区、40%混合した40%区を設定し、乳生産性及び飼料利用性について調査した。

供試飼料の成分については、CP、EE、NFE、CF、CA、NDF、ADFに大きな差はなかったが、水分において、60%区が57.4%、50%区が53.2%、40%区が47.7%と自給粗飼料割合が多くなると水分が上昇した(表5)。

また、試験2-2のTMRの飼料成分は、試験2-1と比べEE、CFとADFが低く、NFEが高かった。

TMR中の濃厚飼料原料を変更した3種のTMRを給与した結果、DMI、乳量、FCM乳量については、有意な差は認められなかった。生乳成分については、MUNにおいて60%区が40%区より有意に高く(P<0.05)、その他の項目については、有意な差は認められなかった。消化率については、乾物消化率、TDN、CF消化率において、60%区が50%区より有意に低く(P<0.05)。EE消化率においては、60%区が40%区より有意に高く(P<0.05)、NFE消化率においては、60%区が40%区より有意に低かった(P<0.05)。その他の成分消化率に有意な差は認められな

かった（表 6）。

飼料費については、60%区が 1,101.0 円/頭・日となり、50%区の 1,170.7 円と 40%区の 1,249.5 円に比べ、各々 69.7 円、148.5 円安かった（表 7）。

4 試験 3-1：TMR 中の粗飼料原料（自給と輸入）が乳生産性と飼料利用性に及ぼす影響（繫留による消化試験）

試験 3-1 においては、試験 2-2 で 40%区と比べ、DMI と乳生産性に差がみられなかった 60%区を基本に、TMR 中の粗飼料原料として自給粗飼料を乾物当たり 60%混合した自給区とトウモロコシと輸入粗飼料（オーツヘイ、アルファルファ乾草）を乾物当たり 60%混合した輸入区を設定し、乳生産性及び飼料利用性について調査した。

供試飼料の成分については、CP、EE、NFE、CF、CA、NDF、ADF に大きな差はなかったが、水分において、自給区が 58.9%、輸入区が 38.1%と自給区が輸入区より高い値を示した。（表 8）。

TMR 中の粗飼料原料が異なる TMR を給与した結果、DMI、乳量、FCM 乳量については、有意な差は認められなかった。

生乳成分については、全成分において有意な差は認められなかった。

消化率については、EE 消化率において、自給区が輸入区より有意に低く（ $P < 0.05$ ）、その他の成分消化率及び TDN に有意な差は認められなかった（表 9）。

飼料費については、自給区が 1350.8 円となり、輸入区の 1485.8 円に比べ 135 円安かった（表 10）。

5 試験 3-2：PMR 中の自給粗飼料原料（自給と輸入）が乳生産性と飼料利用性に及ぼす影響（フリーストールによる飼養試験）

試験 3-2 においては、試験 3-1 で実施した TMR 中の粗飼料原料（自給・輸入）を比較する目的で実施した繫留による消化試験で、乳生産性・飼料利用性に大きな差が見られなかったことから、当場の飼養形態であるフリーストール牛舎・搾乳ロボット体系における PMR 中の粗飼料原料（自給、輸入）の違いが乳生産性及び飼料利用性に及ぼす影響について調査を行った。

(1) 夏期試験

供試飼料の成分（自給区、輸入区）については、EE、NFE、CF、CA、NDF、ADF に大きな差はなかったが、水分において、自給区が 57.4%、輸入区が 37.0%、CP において、自給区が 14.7、輸入区が 12.7%であり、自給区が輸入区より高い値を示した（表 11）。

乳生産性については、乳量、生乳成分（脂肪、蛋白質、無視固形分）、体細胞、乳脂量に有意な差は認められなかった（表 12）。

飼料摂取量については、濃厚飼料摂取量に有意な差は認められなかったが、DMI、養分摂取量（TDN、CP、EE、NFE、CF、NDF、ADF）は、自給区が輸入区に比較し有意に低かった（ $P < 0.01$ ）（表 13）。

(2) 冬期試験

供試飼料の成分（自給区、輸入区）については、CP、EE、NFE、CF、CA、NDF、ADF に大きな差はなかったが、水分において、自給区が 56.7%、輸入区が 36.8%であり、自給区が輸入区より高い値を示した（表 14）。

乳生産性については、乳量、生乳成分（脂肪、蛋白質、無脂固形分）、体細胞、乳脂量に有意な差は認められなかった（表 15）。

飼料摂取量については、濃厚飼料摂取量に有意な差は認められなかったが、DMI、養分摂取量（TDN、CP、EE、NFE、CF、NDF、ADF）は、自給区が輸入区に比較し有意に低かった（ $P < 0.01$ ）（表 16）。

(3) 経済性

夏期試験及び冬期試験について、生乳代金及び飼料費は自給区が輸入区より安かったが、経済性指標である「生乳代金－飼料費」は、夏期試験で 48.5 円/頭・日、冬期試験で 223.1 円/頭・日自給区が高かった（表 17）。

表2 牛ごとの選び食い行動の違い(試験1)

試験牛	DMI Kg/日	乳量 Kg/日	給与飼料PSPS	残渣飼料PSPS	給与前後PSPS
			上段 % ①	上段 % ②	上段割合の差 ②-①
牛4	26.1	33.4	26.2	35.5	9.3
牛8	20.7	19.6	27.5	34.3	6.8
牛3	20.3	21.7	26.2	32.5	6.3
牛6	23.2	12.8	27.5	31.4	3.9
牛5	26.2	29.2	26.2	30.0	3.8
牛14	25.3	31.9	29.8	31.6	1.8
牛12	25.7	25.4	29.8	31.9	2.1
牛9	19.2	9.9	27.5	28.1	0.6
牛13	24.0	40.4	29.8	30.1	0.3
牛7	26.1	24.9	27.5	28.6	1.1
牛10	15.7	19.9	27.5	27.6	0.1
牛2	23.2	25.2	26.2	26.4	0.2
牛15	22.0	31.6	29.8	30.0	0.2
牛11	25.0	27.2	29.8	29.3	-0.5
牛1	27.2	25.6	26.2	24.1	-2.1
平均	23.3	25.2	27.8	30.1	2.3

表3 供試した TMR の飼料成分(試験 2-1)

区分	水分 (原物%)	一般成分及び繊維成分(乾物%)						
		CP	EE	NFE	CF	CA	NDF	ADF
60%区	59.2	15.3	4.2	54.0	20.2	6.3	41.9	25.7
50%区	53.8	15.1	4.5	54.6	19.8	6.0	40.6	24.8
40%区	48.5	15.7	5.0	54.5	19.1	5.8	39.3	24.1

表4 搾乳牛(初産)における TMR 中の粗飼料配合割合の違いが乳生産性・採食性に及ぼす影響(試験 2-1)

区分	頭数 (頭)	DMI (kg/日)	乳量 (kg/日)	FCM						消化率(%)						
				乳量 (kg/日)	生乳成分(%)				乾物	TDN	CP	EE	NFE	CF	NDF	ADF
					脂肪	蛋白質	無脂	MUN								
60%区	3	15.8	20.9	23.3	4.4	3.1	8.6	14.9	69.3	72.0	73.3	87.6	75.6	57.8	56.9	55.6 ^a
50%区	3	14.5	23.2	25.4	4.5	3.2	8.6	14.7	66.9	70.5	70.3	85.4	74.0	53.2	51.1	48.9 ^b
40%区	3	16.0	24.4	26.2	4.5	3.2	8.6	14.3	67.3	71.3	71.1	81.7	74.3	53.6	50.5	48.2 ^{a,b}

注) t検定により, 異英文字間に有意差あり (P<0.05)

表5 供試した TMR の飼料成分(試験 2-2)

区分	水分 (原物%)	一般成分及び繊維成分(乾物%)						
		CP	EE	NFE	CF	CA	NDF	ADF
60%区	57.4	15.0	2.9	57.6	18.4	5.6	41.9	22.9
50%区	53.2	15.1	2.8	58.9	17.7	5.5	39.9	23.7
40%区	47.7	15.4	2.6	59.9	16.5	5.5	38.4	20.6

表6 搾乳牛における TMR 中の粗飼料配合割合の違いが乳生産性・採食性に及ぼす影響 (試験 2-2)

区分	頭数	DMI (kg/日)	乳量 (kg/日)	FCM					消化率 (%)							
				乳量 (kg/日)	脂肪	蛋白質	無脂	MUN	乾物	TDN	CP	EE	NFE	CF	NDF	ADF
60%区	6	18.8	26.1	27.4	4.2	3.4	8.9	18.7 ^a	68.1 ^a	69.2 ^a	71.2	81.6 ^a	76.1 ^a	51.3 ^a	54.1	43.3
50%区	6	19.3	26.6	27.2	4.1	3.4	8.9	16.8 ^{ab}	70.8 ^b	72.2 ^b	72.5	79.1 ^{ab}	77.6 ^{ab}	58.2 ^b	56.6	49.7
40%区	6	19.8	27.4	28.1	4.1	3.5	9.0	16.0 ^b	70.7 ^{ab}	70.1 ^{ab}	71.5	73.5 ^b	78.4 ^b	57.8 ^{ab}	56.1	43.5

注) t検定により, 異英文字間に有意差あり (P<0.05)

表7 TMR 中の自給粗飼料割合の違いによる飼料費の比較 (試験 2-2)

区分	飼料名	摂取	単価	飼料費
		TDN量 (kg)	(円/kg)	(円/頭・日)
60%区	トウモロコシサイレージ(自給)	6.2	80.6	499.6
	イタリアンサイレージ (自給)	1.0	70.0	70.1
	トウモロコシ圧ペン	3.4	59.0	203.4
	大豆粕	2.8	115.9	327.9
	計	13.5	—	1,101.0
50%区	トウモロコシサイレージ(自給)	5.1	80.6	410.3
	イタリアンサイレージ (自給)	1.0	70.0	71.9
	トウモロコシ圧ペン	3.8	59.0	224.5
	大豆粕	2.7	115.9	309.3
	フスマ	0.4	64.6	26.8
	ビートパルプ	1.0	126.9	127.9
	計	14.0	—	1,170.7
40%区	トウモロコシサイレージ(自給)	3.9	80.6	315.7
	イタリアンサイレージ (自給)	1.1	70.0	73.8
	トウモロコシ圧ペン	4.4	59.0	262.4
	大豆粕	2.6	115.9	298.7
	フスマ	0.6	64.6	36.6
	ビートパルプ	2.1	126.9	262.3
	計	14.6	—	1,249.5

表8 供試した TMR の飼料成分(試験 3-1)

区分	水分 (原物%)	一般成分及び繊維成分 (乾物%)						
		CP	EE	NFE	CF	CA	NDF	ADF
自給区	58.9	12.5	3.0	61.3	17.8	5.4	37.1	22.5
輸入区	38.1	12.0	3.0	62.0	17.6	5.4	36.0	21.1

表9 搾乳牛における TMR 中の粗飼料原料の違いが乳生産性・採食性に及ぼす影響(試験 3-1)

区分	頭数	DMI (kg/日)	乳量 (kg/日)	FCM					消化率 (%)							
				乳量 (kg/日)	脂肪	蛋白質	無脂	MUN	乾物	TDN	CP	EE	NFE	CF	NDF	ADF
自給区	6	21.9	28.9	34.1	4.8	3.2	8.7	13.5	67.4	69.6	62.1	65.2 ^a	76.1	55.0	52.4	50.8
輸入区	6	23.6	28.5	33.6	4.8	3.4	8.8	10.6	67.7	68.9	65.7	76.1 ^b	75.5	54.8	52.5	52.0

注) t検定により, 異英文字間に有意差あり (P<0.05)

表10 TMR中の粗飼料原料の違いによる飼料費の比較(試験3-1)

飼料名		給与 TDN量 (%)	単価 (円/kg)	飼料費 (円/頭・日)
自給区	トウモロコシサイレージ(自給)	7.8	80.6	628.7
	イタリアンサイレージ(自給)	1.3	70.0	91.0
	トウモロコシ圧ペン	5.0	59.0	295.0
	大豆粕	2.9	115.9	336.1
計		17.0	—	1,350.8
輸入区	トウモロコシサイレージ(自給)	3.2	80.6	257.9
	オーツヘイ(輸入)	4.1	105.6	433.0
	アルファルファ乾草(輸入)	1.5	116.4	174.6
	トウモロコシ圧ペン	5.8	59.0	342.2
	大豆粕	2.4	115.9	278.2
計		17.0	—	1,485.8

表11 供試したPMRの飼料成分(試験3-2 夏期)

区分	水分 (原物%)	一般成分及び繊維成分(乾物%)						
		CP	EE	NFE	CF	CA	NDF	ADF
自給区	57.4	14.1	2.6	59.7	17.3	6.2	37.2	22.3
輸入区	37.0	12.7	2.3	59.0	19.8	6.2	38.9	24.5

表12 フリーストール牛舎内におけるPMR中の粗飼料原料の違いが乳量・乳質に及ぼす影響(試験3-2 夏期)

区分	頭数 (頭)	乳量 (kg/日)	搾回数 (回/日)	生乳成分(%)			体細胞 (千)	乳脂量 (kg/日)	
				脂肪	蛋白質	無脂固形分			
自給区	20	26.2	2.4	3.8	3.1	8.5	10.6	90	1.0
輸入区	20	28.2	2.3	3.6	3.1	8.5	12.7	70	1.0

表13 フリーストール牛舎内におけるPMR中の粗飼料原料の違いが飼料・養分摂取量に及ぼす影響(試験3-2 夏期)

区分	配合飼料摂取量 (現物, kg/日)	PMR摂取量(kg/日)		養分摂取量(kg/日)						
		現物	乾物	TDN	CP	EE	NFE	CF	NDF	ADF
自給区	2.2	38.3	16.3 ^a	13.3 ^a	2.7 ^a	0.5 ^a	11.0 ^a	3.1 ^a	6.5 ^a	4.0 ^a
輸入区	2.3	32.6	20.5 ^b	17.0 ^b	3.2 ^b	0.6 ^b	14.3 ^b	4.6 ^b	9.0 ^b	5.7 ^b

注) t検定により, 異英文字間に有意差あり (P < 0.01)

表14 試験6で供試したPMRの飼料成分(試験3-2 冬期)

区分	水分 (原物%)	一般成分及び繊維成分(乾物%)						
		CP	EE	NFE	CF	CA	NDF	ADF
自給区	56.7	13.5	3.0	59.0	17.6	7.0	36.5	22.2
輸入区	36.8	12.5	2.7	60.1	18.4	6.3	36.2	22.2

表 15 フリーストール牛舎内における PMR 中の粗飼料原料の違いが乳量・乳質に及ぼす影響(試験 3-2 冬期)

区分	頭数 (頭)	乳量 (kg/日)	搾乳回数 (回/日)	生乳成分 (%)				体細胞 (f)	乳脂量 (kg/日)
				脂肪	蛋白質	無脂固形分	MUN		
自給区	27	35.8	3.0	3.7	3.1	8.7	11.4	71	1.32
輸入区	27	36.2	3.0	3.5	3.2	8.8	9.2	66	1.28

表 16 フリーストール牛舎内における PMR 中の粗飼料原料の違いが飼料・養分摂取量に及ぼす影響(試験 3-2 冬期)

区分	配合飼料摂取量 (現物, kg/日)	PMR 摂取量 (kg/日)		養分摂取量 (kg/日)						
		現物	乾物	TDN	CP	EE	NFE	CF	NDF	ADF
自給区	2.0	44.1	19.5 ^a	15.6 ^a	3.0 ^a	0.6 ^a	12.7 ^a	3.6 ^a	7.5 ^a	4.7 ^a
輸入区	2.0	38.1	23.1 ^b	18.3 ^b	3.4 ^b	0.7 ^b	15.7 ^b	4.6 ^b	9.2 ^b	5.7 ^b

注) t検定により, 異英文字間に有意差あり (P < 0.01)

表 17 フリーストール牛舎内における PMR 中の粗飼料原料の違いによる経済性の比較 (試験 3-2)

試験名	試験区分	生乳代金 ①			飼料費 ②			①-② (円/日)
		乳量 (kg/日)	単価 (円)	金額 (円/日)	摂取量 (kg/日)	単価 (円)	金額 (円/日)	
夏期試験	自給区	26.2	117.0	3,064.2	18.3	54.21	992.0	2,072.2
	輸入区	28.2	117.0	3,300.6	22.5	56.65	1,276.9	2,023.7
冬期試験	自給区	35.8	117.0	4,192.1	21.3	53.12	1,133.0	3,059.1
	輸入区	36.2	117.0	4,234.2	24.9	56.11	1,398.3	2,836.0

※ 夏期試験の「生乳代金-飼料費」の差額：自給区2,072.2円 - 輸入区2,023.7円 = 48.5円

※ 冬期試験の「生乳代金-飼料費」の差額：自給区3,059.1円 - 輸入区2,836.0円 = 223.1円

考 察

試験 1 においては, 自給粗飼料を乾物当たり 60 % 含む TMR の給与による飼養方法を開発することを目的としており, 選び食いによりその比率が変化することがないことを確認するために, 粗飼料 60 % を含む TMR の選び食い試験を実施したところ, 残渣飼料と給与飼料の PSPS 上段割合の差は, -2.1 ~ 9.3 の値を示し, その絶対値は全頭 10 以下¹¹⁾であったことから, 選び食いが無い TMR 調整が可能であることが明らかとなった。

試験 2-1 では, 自給粗飼料の混合割合を高めた TMR を開発するための試験を実施した。そのうち, 試験 2-1 では, 高栄養価の TMR を作成するために, 濃厚飼料は, 栄養価が高い綿実と第 1 胃内の微生物に悪影響を与えないバイパス性の高いタンパク質を多く含む加熱大豆などを TMR の構成原料とした。その結果, 乳量及び FCM 乳量において, 有意差は認められなかったものの, 60 % 区が 50 % 区及び 40 % 区に比べ, 乳量が各々 2.3 kg (10 %), 3.5kg (14 %) 低い値を示し

た。供試牛は, 比較的採食性の低い初産牛での試験ではあったが, 一般に農家の牛群において, 初産牛が最も多く含まれることから, 乳量が低いと農家での利用は困難と考え, TMR 調整における方向性を転換することとした。

そこで, 試験 2-2 では, TMR の原料のうち試験 2-1 で用いた綿実と加熱大豆を除き, 比較的分解速度が速いトウモロコシと大豆粕¹⁰⁾を増量して給与した。その結果, DMI, 乳量, FCM 乳量に有意な差が認められなかったことから, 自給粗飼料を 60 % (トウモロコシ S : 50 %, イタリアン S : 10 %) まで高めた TMR を給与しても, 乳量を低下させない飼養が可能であると考える。

なお, MUN について, 60 % 区が 40 % 区に比べ有意に高い値を示した。そこで, 表 4 と表 5 を用いて TDN/CP を算出したところ, 60 % 区が 4.54, 40 % 区 4.55 と同等であり, 摂取蛋白質量に由来するものではなく, 分解性蛋白質の給与割合が高いことに由来¹⁾すると推察された。このため, 自給粗飼料割合を 60 %

まで高めた TMR を給与する場合には、分解性蛋白質を低く調整することが望ましいと考えられた。

乾物と CF の消化率及び TDN について、60 % 区が 50 % 区に比べ有意に低く、NFE について 60 % 区が 50 % 区に比べ有意に低かったことは、粗飼料以外の原料由来の NDF が、粗飼料由来のものより、分解される NDF を比較的多く含んでいる²⁾ことやビートパルプの NFE が、粗飼料由来のものより消化率が高い³⁾ことが作用していると考えられた。また、60 % 区の NDF や NFE の消化率をさらに向上させることができれば、栄養価を高めることが可能であると考えられ、粗飼料を多給する場合には、NDF 中の ADF 割合の低い、つまり、繊維の消化性の高い粗飼料を原料にするなど検討する余地があると考えられる。

EE 消化率について 60 % 区が 40 % 区に比べ高かったことについては、試験 2-1 においても有意差はなかったものの同様の傾向が認められている。Firkins ら⁴⁾と Hawkins⁶⁾らは、脂肪酸の不飽和度が高いものほど消化率が高くなると報告しており、さらに、飽和度の高い飼料中では消化率の差が大きくなるとの報告⁵⁾や、不飽和度が高くなると脂肪の消化率は高まるもののルーメン発酵に悪影響を与える可能性が高まり、繊維消化率の低下や乾物摂取量の低下等を招く¹⁰⁾との報告がある。このように、脂肪の消化の機序は複雑であると考えられ、今回の試験に用いた TMR については、飼料原料の混合割合の違いが、脂肪酸の不飽和度に影響し、消化率に差が認められたものと推察された。

試験 3-1 では、TMR 中の粗飼料原料（自給と輸入）が乳生産性と飼料利用性に及ぼす影響を調査した。試験区間の DMI、乳量、FCM 乳量、生乳成分に有意な差は認められず、また、飼料費は自給区が 135 円/頭・日安くなった。このことから、自給粗飼料を 60 % まで高めた TMR を給与することで、輸入粗飼料を用いた TMR と同等の乳量を確保し、かつ、飼料費を低減することが可能となり、酪農経営の改善が期待される。

試験 3-2 では、フリーストールと搾乳ロボット体系の飼養環境において、PMR 中の粗飼料原料（自給と輸入）の違いによる乳生産性を比較したところ、両区に有意な差が認められず、試験 3-1（繋留による消化試験）と同様の結果となった。しかしながら、輸入区の乾物や各成分の摂取量が有意に高かった。

今回の研究では、自給粗飼料を乾物当たり 60 % 含む（トウモロコシ S : 50 %、イタリアン S : 10 %）TMR において、消化の比較早い濃厚飼料であるトウモロ

コシ庄ペンと大豆粕で栄養価を調整することにより、TMR 中の自給粗飼料割合を 60 % まで高める飼料給与技術を開発することができた。また、この技術は、粗飼料利用量を濃厚飼料多給型（粗飼料 40 %）と比べ 20 % 増給しつつ、粗飼料自給率 100 % を達成できる。

しかしながら、搾乳ロボット体系における PMR については、乳牛の自発的搾乳を促すための搾乳ロボット内濃厚飼料が必要となることを考慮すると、粗飼料の多い PMR となることから、PMR の嗜好性の低下とともに濃厚飼料と PMR の摂取バランスの悪化が懸念されることから、濃厚飼料の栄養価と PMR の原料混合割合の両面からの研究を行う必要がある。

引用文献

- 1)新しい牛群検定成績上について（その 16）2011. 家畜改良事業団
- 2)Batajoo K.K.and R.D.Shaber 1994. Impact of nonfiber carbohydrate on intake,digestion,and milk production by dairy cows,J.Dairy sci.77:1326-1339
- 3)Bhatti S.A. and J.L.Firkins 1995. Kinetics of hydration and functional specific gravity of fibrous feed by-products,J.Anim.Sci.73:1449-1458
- 4)Firkins J.L. and M.L.Eastridge 1994. Assessment of the effects of iodine value on fatty acid digestibility,feed intake and milk production,J.Dairy.Sci.77:2357-2366
- 5)Grummer R.R. 1995. Ruminalinertness vs. intestinal digestibility of fat supplements:can there be harmony,13-24
- 6)HawkinsD.E., K.D.Niswender, G.M.Oss, C.L.Moeller, K.G.Odde, H.R.Sawyer and G.D.Niswender 1995. Increase in serum lipidsincreases luteal lipid content and alters the disappearance rate of progesterone in cows, J.anim. sci.73:541-545
- 7)早坂喜代史 1997. 完全混合飼料給与におけるホルスタイン種泌乳牛の乾物摂取量と養分要求量に関する研究, 北海道大学農場研究報告:1-68
- 8)本格的議論のための飼料の課題 2014. 農林水産省
- 9)稲熊利和 2009. 畜産・酪農をめぐる課題～飼料価格の高騰と政策支援のあり方～, 立法と調査 No.288:92-101
- 10)Jenkins T.C.,1993. Lipid metabolism in the rumen,J. Dairy. Sci.76:3851-3863
- 11)J. Heinrichs and P. Kononoff 2002, Evaluating particle size of forage and TMRs using the new Penn State Forage Particle Separator, Dairy Anim. Sci:2-42

- 12)鹿児島県酪農・肉用牛生産近代化計画書 2016. 鹿児島県
- 13)森浩一郎・平野政衛・田中和宏・千葉昭弘・成田弘 1989. 混合飼料の飼料構成が搾乳牛の採食量, 乳量, 乳質に及ぼす影響 コーンサイレージを用いた混合飼料中の粗飼料と濃厚飼料の割合が搾乳牛の採食量, 乳量, 乳質に及ぼす影響 (第 2 報), 鹿児島県畜産試験場研究報告 21:27-39
- 14)中辻浩喜 1999. 泌乳牛の粗飼料多給飼料下における飼料エネルギーの飼料効率に関する研究,北海道大学農場研究報告:75-128
- 15)日本標準試料成分表 (独立行政法人農業技術研究機構編), 中央畜産会,東京.40-90
- 16)西口靖彦・安藤貞・早坂喜代史 2005. 濃厚飼料多給条件下で測定した各種飼料のルーメン内分解特性, 近畿中国四国農業研究センター研究報告 7:61-67
- 17)農林水産統計 農業物価指数 (平成 31 年 2 月) 2019. 農林水産省, 大臣官房統計部
- 18)酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針—新たな時代に挑み, 新たな時代につなぐ, 持続可能な酪農・肉用牛生産の創造に向けて— 2020. 農林水産省
- 19)飼料をめぐる情勢 2019. 農林水産省
- 20)飼料をめぐる情勢 2020. 農林水産省
- 21)吉田実 1983. 畜産を中心とする実験計画法

Establishment of Feed Feeding Technology to Improve the Self-sufficiency Rate of Roughage in Dairy Farming

Daisaku Waki, Hiroshi Dairokuno, Tatsuki Touyamasaki and Kenji Kawabata

Summary

Examination of the ratio of self-sufficient forage in complete mixed feed (TMR) using Holstein milking cows TMR mixed with 60% of self-sufficient roughage per dry matter was fed, and the presence or absence of eating was investigated using a Penn State Forage Particle Separator (PSPS). The ratio of PSPS upper part of feed and residual feed was -2.1 to 9.3, and the absolute value of all cows was 10 or less, so it was confirmed that they could not be selected and eaten.

Feed TMR containing 40% (40% group), 50% (50% group), 60% (60% group) of self-sufficient roughage (corn silage (S) and Italian S) to improve feed availability and milk productivity. First, when corn pressure pens, soybean meal, cooked soybeans, cotton seeds, and general bran were mixed as raw materials for concentrated feed in TMR, there was no significant difference in milk yield, but 60% group was 50% group and Compared to the 40% group, the values were 2.3 kg (10%) and 3.5 kg (14%) lower, respectively. Next, when corn pressure pen and soybean meal were mixed as concentrate feed raw materials in TMR, no significant difference was observed in dry matter intake, milk yield, milk quality, and total digestible nutrients (TDN), and self-sufficiency in TMR. It was found that even if the roughage is increased to 60% per dry matter, it can be bred without reducing the milk yield and quality.

A comparison of the self-sufficient area where the TMR forage raw material containing 60% of the forage was used as the self-sufficient forage (corn S and Italian S) and the imported area where the self-sufficient forage (corn S) and the imported forage (oats hay, alfalfa hay) were used was the dry matter intake. No significant difference was observed in the amount, milk yield, milk quality, and TDN, indicating that self-sufficient roughage can be used in the same way as imported roughage.

In addition, when the feed costs in the test section were compared, it was possible to reduce the feed costs by increasing the ratio of self-sufficient roughage to 60% and making the total amount of roughage self-sufficient. In addition, as a result of examining the economic "raw milk price-feed cost" by feeding a partial mixed feed (PMR) in which the ratio of self-sufficient roughage in the feed was adjusted to 60% at the free stall barn, PMR using imported roughage It was shown that it is more economical than.

Keywords : Economical, Milking cows, Milk yield and quality, Self-sufficiency rate of roughage, TMR