

エクストルーダ処理国産トウモロコシ子実サイレージの *in situ*乾物消化率に及ぼす国産飼料用米の混合割合の影響

田川伸一¹・國實寿典²・嶮野英子^{3,*}・神園巳美³・河本英憲³・魚住 順³・出口 新³・
内野 宙³・佐藤裕一郎⁴

¹ 清水港飼料株式会社石巻工場. 宮城県石巻市三河町 11 〒 986-0846

² 清水港飼料株式会社研究所. 千葉県船橋市本町 2 丁目 10-14 船橋サウスビル 8 階 〒 237-0005

³ 農研機構東北農業研究センター. 岩手県盛岡市下厨川字赤平 4 〒 020-0198

⁴ 株式会社イチノセキ. 岩手県一関市滝沢字鶴ヶ沢 7-17 〒 029-0132

キーワード: *in situ* 乾物消失率, エクストルーダ, 化学組成, 飼料用米, トウモロコシ子実サイレージ

The effect of mixed ratio of whole rice with hulls on *in situ* dry matter degradability of extruded ensiled high moisture shelled corn produced in Japan

Shin-ichi Tagawa¹, Hisanori Kunizane², Eiko Touno³, Tomomi Kamizono³, Hidenori Kawamoto³,
Sunao Uozumi³, Shin Deguchi³, Hiroshi Uchino³, Yuichiro Sato⁴

¹ Shimizuko Shiryo Co., Ltd., Ishinomaki, Miyagi, 986-0846, Japan

² Shimizuko Shiryo Co., Ltd., Funabashi, Chiba, 237-0005, Japan

³ Tohoku Agricultural Research Center, NARO, Morioka, Iwate 020-0198, Japan

⁴ Ichinoseki Co., Ltd., Ichinoseki, Iwate 029-0132, Japan

Corresponding: Eiko Touno, (Tel&Fax: 019-643-3543, E-mail: etouno@affrc.go.jp)

Key Words: Chemical composition, Extruder, High moisture shelled corn, *In situ* dry matter degradability, Whole rice with hulls.

2020年7月7日受付, 2021年2月2日受理

緒 言

近年, 農業就業者の高齢化に伴い, 水田の集約化・大規模化が進んでいる。しかし, 大規模化による労力不足が懸念されており, 省力的に栽培される飼料用トウモロ

コシ栽培への取組が増えている(農業・食品産業技術総合研究機構, 2019)。この場合, 機械の汎用性等の観点から, トウモロコシホールクロップやトウモロコシの雌穂(子実, 穂軸(芯), 苞葉)を収穫するイアコーンではなく, 子実のみを収穫する体系が導入される場合が多い。導入の先駆けとなった北海道ではトウモロコシ子実は一般的に乾燥し, 広域に流通している(日向, 2020)。しかし, 乾燥には燃料代等のコストがかかること, また都府県においては, トウモロコシ子実を乾燥させる施設が少なく, 米用の乾燥機を借用して利用する必要が

* 連絡者: 嶮野 英子 (とうの えいこ)
(農研機構東北農業研究センター)
〒 020-0198 岩手県盛岡市下厨川字赤平 4
Tel&Fax: 019-643-3543
E-mail: etouno@affrc.go.jp

あることなどから（農業・食品産業技術総合研究機構，2019），乾燥トウモロコシ子実への取組は容易ではないと考えられる。都府県での導入期である現在，乾燥工程が不要であるという観点から，トウモロコシ子実をサイレージ化したハイモイスターシェルドコーン（High moisture shelled corn, HMSC）としての利用が栽培面積拡大に向けて重要である。これまで，いくつかの研究グループは乳牛でHMSCの栄養価を評価し，その有効性を報告している（San Emeterioら，2000；ObaとAllen，2003a,b；大下ら，2016a,b；青木ら，2016）。

日本の2019年の経営耕地面積は，一経営体当たり北海道平均28.52 haに比べて都府県平均2.17 haと少なく，また，1戸当たりの飼料作物作付面積は，同年は北海道71.6 haに比べて都府県8.9 haと少ない（農林水産省，2020）。このことから，現在の都府県の栽培面積は狭小で，トウモロコシ子実の高い生産数量を求めることは難しいと考えられる。そのため，畜産部門生産者が必要とする年間の需要量をまかなうことができず，利用が制限されるケースが報告されている（農業・食品産業技術総合研究機構，2019）。そこで，HMSC利用拡大のための新たな方策が望まれている。その方策の一つとして，東北地方で生産が盛んで収穫量も多い飼料用米とHMSCを混合し，配合飼料の原料とすることができれば，小規模なロットでの収穫量でも畜産部門生産者での利用の道が開け，小規模の子実用トウモロコシ栽培面積からでも耕種部門生産者が栽培を試みるのが可能となる。しかし，飼料用米と混合したHMSCの乳牛による消化性に関する研究は少ない。

一方，HMSCは水分が多いため，配合飼料の原料として利用し易い形態に加工する必要がある。すなわち，飼料の原料の大宗を占める輸入トウモロコシ，大豆粕，マイロなど（農林水産省，2020）と同程度の低水分にすること，また圧ベントウモロコシの様に消化性を改善するための加工処理技術が必要である。その加工処理方法の一つとしてエクストルーダ処理が挙げられる。エクストルーダは，原料に熱・水分・圧力を加え，その原料中のデンプン質を α 化した後，エクストルーダ内の原料を大気中に急激に放出することによって膨化させ，比重0.3前後の多孔質な製品を作る（高山と中山，1984）。すなわち，エクストルーダ処理された飼料はエクストルーダ処理前に比べて消化性が高まると考えられる。田川ら（2017）はエクストルーダ処理した飼料用米と玄米は，無処理と比べて高い消化性であったことを報告しており，HMSCと飼料用米を混合して利用するために，エクストルーダ処理は適した加工処理方法と考える。そこで，本報告ではHMSCと飼料用米を異なる割合で混合

し，エクストルーダ処理した場合の混合飼料の化学組成および*in situ*乾物消失率を調査し，最適な混合割合を明らかにすることを目的とした。

材料および方法

HMSCの調製

トウモロコシは，農研機構東北農業研究センター（岩手県盛岡市）内の圃場において栽培したものをを用いた。供試品種としてTX1241（RM110，タキイ種苗株式会社，京都市）を用い，2016年5月31日に畝幅75 cm，株間21 cm，播種密度は6,800本/10aで播種した。完熟期である11月2日にリールヘッダー型汎用コンバインで子実のみ収穫した。収穫直後の子実を無破碎・無加水でフレコンラップ法（嶮野ら，2018）を用いてサイレージに調製した。2017年9月29日に開封し，エクストルーダによる加工処理に供した。

エクストルーダ処理

エクストルーダ処理混合飼料の原料は，飼料用米（宮城県産，品種：まなむすめ，粳米）とHMSCの割合を1:0（対照区），1:1（11区），1:2（12区）および2:1（21区）で混合し，粉碎せずに用いた。本試験では，飼料用米単味のを対照区とした。本来であればHMSCのみをエクストルーダ処理したものの化学組成と第一胃内分解特性に関するパラメータも必須のデータと考えるが，HMSC単味のエクストルーダ処理はHMSCがエクストルーダ処理機械に詰まってしまい，エクストルーダ処理できなかった。

エクストルーダ処理混合飼料は，2017年10月2日に，株式会社イテノセキ（一関市）で，エクストルーダ（Instapro extruder 2000R，Insta-Pro International，IA，USA）を用いて，田川ら（2017）と同様の条件で製造した。当該機械はエクストルーダ処理大豆を製造している機械である。エクストルーダの設定は，エクストルーダ処理大豆製造時と同様に，温度を175から177℃，チャンバー内圧力を28 kg/m³とした。製造したエクストルーダ処理混合飼料はエクストルーダ処理後に空冷式ドラム冷却機で冷まし，ハンマーミルで粉碎した。

供試家畜

家畜試験は農研機構東北農業研究センター動物実験等実施要領に基づいて実施した。2018年2月6日から3月8日に，農研機構東北農業研究センター（盛岡市）で，第一胃フィステル装着ホルスタイン種雌牛4頭（試験開始時の平均体重610 ± 33 kg，第一胃液平均pH 7.04）

を用いて行った。試験期間は濃厚飼料の割合を徐々に増やすための馴致期 14 日、予備期 14 日、本期 3 日とした。給与飼料は農研機構東北農業研究センター産のオーチャードグラス (*Dactylis glomerata* L., cv. Akimidori II) 1 番草サイレージ (粗飼料)、市販乳牛用配合飼料 (濃厚飼料) とし、粗飼料と濃厚飼料の割合を乾物換算して 6:4 とした。給与量は、日本飼養標準・乳牛 (農業・食品産業技術総合研究機構, 2007) の維持に必要なエネルギー量を充足する量とし、飼料は 1 日 2 回 (9:00, 16:00)、半量ずつ給与し、水と鈹塩は自由に摂取させた。

第一胃内培養試験と *in situ* 乾物消失率のパラメータの計算

エクストルーダ処理混合飼料 (対照区, 11 区, 12 区および 21 区) は、2 mm メッシュを装着した粉碎機 (SK1, レッチェ社, ドイツ) で粉碎したものを供試した。第一胃内培養試験はナイロンバック法 (自給飼料利用研究会, 2007) により実施し、各培養時間の *in situ* 乾物消失率を調査した。すなわち、試料約 5 g を詰め込んだナイロンバック (100 × 200 mm, 280 メッシュ, 目開き 53 μm, 三紳工業株式会社, 横浜市) を供試家畜の第一胃内に投入し、4, 8, 12, 24 および 48 時間の培養後に取り出して残存乾物量を定量した。なお、1 頭につき、各処理区 (4 区)・各培養時間 (5 培養時間) について 2 バックを供試し、全 40 バックを試験開始時に投入した。また、培養 0 時間は第一胃内へ投入せず、40 °C の水槽内で 1 時間浸漬した。培養したサンプルは、速やかに氷水に浸して微生物の活動を停止させ、家庭用洗濯機を用いて注水洗浄を行った後、60 °C の通風乾燥機内で 48 時間乾燥した。また、1 頭につき、培養時間毎のナイロンバックを 2 バックの平均値を各時間の残存量とした (4 反復)。得られたデータはパラメータを算出するため、次式に当てはめた。

$$P = a + b \times (1 - e^{-ct}) \quad (\text{Ørskov と McDonald, 1979})$$

パラメータ a (速やかに消失する区分)、b (緩やかに消失する区分) および c (b の消失速度) は、SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC) の NLIN プロシジャを用いてそれぞれ求めた。なお、P は消失率、t は浸漬時間を示す。また、各試料の有効分解率 (Effective degradability, ED) は、第一胃通過定数を乳牛で採用されている 2% (自給飼料利用研究会, 2009) として、上述のパラメータ a、b および c を用いて次式により求めた。

$$ED = a + b \times c / (c + 0.02) \quad (\text{Ørskov と McDonald, 1979})$$

化学分析

供試したエクストルーダ処理混合飼料 (対照区, 11 区, 12 区および 21 区) は、1 mm のメッシュを装着した粉碎機 (SK1, レッチェ社, ドイツ) で粉碎し、水分、粗たん白質 (Crude protein, CP)、粗脂肪 (Ether extract, EE) および粗灰分を常法により、耐熱性 α-アミラーゼ処理中性デタージェント繊維 (Neutral detergent fiber, aNDFom)、酸性デタージェント繊維 (Acid detergent fiber, ADFom)、酸性デタージェントリグニン (Acid detergent lignin, ADL) およびケイ酸を飼料分析基準 (農林水産消費安全技術センター, 2008) に従い分析した。また、供した HMSC については、飼料成分の分析サンプルとは別に新鮮物 40 g に 4 倍量の水 (160 ml) を加えて 4 °C 下で一晩抽出し、ガラス電極 pH メーター (F-51, 株式会社堀場製作所, 京都市) によって pH を、Shodex KC-811 カラムを装着した日本分光製高速液体クロマトグラフィーを用いたプロモチモールブルーポストラベル法 (大桃ら, 1993) によって有機酸 (乳酸、酢酸、プロピオン酸および n-酪酸) 含量をそれぞれ測定した。

HMSC の発酵品質と供試したエクストルーダ処理混合飼料の化学組成

本試験に用いた HMSC の発酵品質は、pH が 4.2、水分が現物中 28.0%、乳酸含量が新鮮物中 0.9%、酢酸含量が新鮮物中 0.1% であった。また、酪酸とプロピオン酸は検出されない良好なものであった。また、HMSC 原料の CP および EE 含量はそれぞれ乾物中 9.0% および 3.3% であり、また、aNDFom 含量は乾物中 8.7% であった。

本試験に供試したエクストルーダ処理混合飼料の化学組成を示した (表 1)。エクストルーダ処理混合飼料の乾物率は 87.6 から 90.3% の範囲であった。CP およ

表 1. 供試したエクストルーダ処理混合飼料の化学成分

	対照区	21 区	11 区	12 区
	飼料用米 (籾米) と HMSC の比率			
	1:0	2:1	1:1	1:2
DM	90.3	90.0	90.1	87.6
CP	6.3	6.7	6.9	7.0
EE	0.7	0.9	0.9	1.0
aNDFom	17.0	13.3	13.2	12.8
ADFom	10.7	8.0	8.0	7.1
ADL	3.5	2.5	2.6	2.2
ケイ酸	2.9	1.8	1.9	1.3
粗灰分	2.9	1.8	1.9	1.3

DM 以外は乾物中%、HMSC: ハイモイスチャーシェルドコーン、DM: 乾物率、CP: 粗たん白質、EE: 粗脂肪、aNDFom: α-アミラーゼ処理中性デタージェント繊維、ADFom: 酸性デタージェント繊維、ADL: 酸性デタージェントリグニン

びEE含量は、HMSCの割合が多い12区が、それぞれ乾物中7.0%と1.0%で最も高く、逆にaNDFom, AD-Fom, ADL, ケイ酸および粗灰分含量は12区が低く、それぞれ乾物中12.8%, 7.1%, 2.2%, 1.3%および1.3%であった。

統計処理

第一胃内乾物分解特性を示すパラメータはそれぞれ、対照区, 11区, 12区および21区の間でSASのANOVAプロシジャを用いて一元配置の分散分析を行った。なお、5%水準で有意差が認められた場合にはTukey法による多重検定をおこなった。

結果および考察

in situ 乾物消失率のパラメータ

対照区, 21区, 11区および12区の*in situ*乾物消失率のパラメータとEDを示した(表2)。本試験結果のパラメータaは45.8から51.8, パラメータbは30.6から40.1の範囲となり、これらは処理間に有意な差はみられなかった。一方、対照区のパラメータaとbの合計値は83.1であったのに対し、HMSCを混ぜた12区は90.3となり、飼料用米(粳米)とHMSCとを1:2で混ぜることによって高くなることが考えられた。しかし、11区は82.4で飼料用米とHMSCの混合比率の異なる他の試験区と比較して違和感のある結果であった。この結果について、今後詳細に検討する必要があると考えられた。西口ら(2005)が報告した粉砕トウモロコシの溶解性画分は 32.8 ± 0.94 , 分解性画分は 61.9 ± 1.4 で溶解性画分と分解性画分の合計が94.7であった。本試験ではHMSCの低水分化と消化性改善のためにエクストルーダ処理を行ったが、飼料用米(粳米)を混ぜることによりパラメータaとbの合計値は粉砕トウモロコシよりも低い結果であった。しかし、HMSCに飼料用米(粳米)を1/3程度までであれば、消化性の低下を最小限に抑えつつ、混合して利用できる可能性が示された。

ObaとAllen(2003)はHMSCと乾燥したトウモロ

コシを比べるとデンプンの消失率がHMSCの方が高いことを報告している。本試験ではサンプル量が少なく、飼料中のデンプンの消失率を調べることができなかった。今後デンプンの消失率について検討し、エクストルーダ処理の影響を検討する必要があると考えられた。

パラメータc(bの消失速度)は対照区の飼料用米(粳米)が0.5であったのに対し、HMSCを混ぜた区は0.2程度で有意に低かった。飼料用米の多給ではその消化速度の速さから亜急性アシドーシスが問題となっているが、HMSCの混合により、緩やかに分解を進めることができると考えられた。なお、これらのパラメータから計算されたED(有効分解率)は、73.3から81.7の範囲で処理間に有意な差はみられなかった。

以上より、HMSCに飼料用米(粳米)を1/3程度混合しエクストルーダ処理をすることで、トウモロコシ実の消化性を維持しつつ、分解速度の緩やかな、亜急性アシドーシスの危険性の少ない混合飼料が調製可能と考えられた。このことから、今後はエクストルーダ処理混合飼料の第一胃内発酵に及ぼす影響も調査し、その特性を詳細に検討する必要がある。

謝辞

本試験結果の統計処理にあたり山形大学農学部准教授松山裕城博士にご指導を賜った。ここに感謝申し上げる。

引用文献

- 青木康浩, 大下友子, 上田靖子, 根本英子, 青木真理. イアコーンサイレージ, ハイモイスターシェルドコーンおよび乾燥トウモロコシ子実の給与が泌乳牛の飼養成績および血液性状に及ぼす影響. 日草誌, 62: 146-151. 2016.
- 自給飼料利用研究会編. 三訂版粗飼料の品質評価ガイドブック. 6-21, 79-89. 日本草地畜産種子協会. 東京. 2009.

表2. 飼料用米(粳米)とHMSCの割合がエクストルーダ処理混合飼料の*in situ*乾物消失率のパラメータに及ぼす影響

	対照区	21区	11区	12区	標準誤差	p値
	飼料用米(粳米)とHMSCの比率					
	1:0	2:1	1:1	1:2		
パラメータa	45.8	49.1	51.8	50.2	0.97	0.16
パラメータb	37.3	40.1	30.6	40.1	1.72	0.16
パラメータc	0.5 ^A	0.2 ^B	0.2 ^B	0.2 ^B	0.04	<0.01
ED	79.8	80.4	73.3	81.7	1.98	0.48

HMSC; ハイモイスターシェルドコーン, パラメータa; 速やかに消失する区分, パラメータb; 緩やかに消失する区分, パラメータc; bの消失速度, ED; 有効分解率. 肩文字^{A,B}は異符号間に有意差あり(p<0.05).

- 日向貴久. 水田作地帯における国産濃厚飼料生産に向けた取り組みと今後の展望～北海道での子実用トウモロコシ栽培を事例に～調査・報告 畜産の情報 2020年5月号. 2020. https://www.alic.go.jp/joho-c/joho05_001121.html?print=true&css= [2020年11月2日参照]
- 西口靖彦, 安藤 貞, 早坂貴代史. 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. 近中四研報, 4:61-67. 2005.
- 農林水産省. 農業構造胴体調査, 確報・平成31年農業構造動態調査, 農林水産省大臣官房統計部経営・構造統計課センサス統計室農林業構造統計班, 2019. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500211&tstat=000001015214&cycle=7&year=20190&month=0&tclass1=000001019791&tclass2=000001135463> [2020年11月18日参照]
- 農林水産省. 飼料をめぐる情勢(データ版)生産局畜産部飼料課消費・安全局畜産安全管理課. 2020. https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/attach/pdf/index-538.pdf [2020年11月2日参照]
- 農林水産省. 飼料の状況について. トピックス. 飼料. 生産局畜産部飼料課. 令和2年5月29日. 2020. https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/index.html [2020年11月11日参照]
- 農業・食品産業技術総合研究機構. 子実用トウモロコシ生産・利活用の手引き(都府県向け)第1版. 農業・食品産業技術総合研究機構. つくば市. 2019. https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/130345.html [2020年2月29日参照]
- 農業・食品産業技術総合研究機構. 日本飼養標準乳牛2006年版. 中央畜産会. 東京. 2007.
- 農林水産消費安全技術センター. 飼料分析基準(2008年4月1日・19消安第14729号農林水産省消費・安全局長通知)第3章5耐熱性 α -アミラーゼ処理中性デタージェント繊維(aNDF及びaNDFom). 農林水産消費安全技術センター. さいたま市. 2008. <http://www.famic.go.jp/ffis/feed/bunseki/bunsekikijun.html> [2018年5月7日参照]
- Oba M, Allen MS. Effects of corn grain conservation method on ruminal digestion kinetics for lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. *J. Dairy Sci.*, 86:184-194. 2003a.
- Oba M, Allen MS. Effects of diet fermentability on efficiency of microbial nitrogen production in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 86:195-207. 2003b.
- 大桃定洋, 田中 治, 北本宏子. 高速液体クロマトグラフィによるサイレージ中の有機酸の定量. 草地試研報, 48:51-56. 1993.
- Ørskov ER, McDonald I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agr. Sci.*, 92: 499-503. 1979.
- 大下友子, 根本英子, 青木康浩, 上田靖子, 青木真理. ハイモイスチャーシェルドコーンとイアコーンサイレージの飼料成分組成, 栄養価および圃場収量の比較. 日草誌, 62: 140-145. 2016a.
- 大下友子, 青木康浩, 根本英子, 上田靖子, 青木真理. トウモロコシ子実主体サイレージ(HMSCおよびCCM)の飼料成分組成, 発酵品質および栄養価. 日畜会報, 87: 125-131. 2016b.
- San Emeterio F, Reis RB, Campos WE, Satter LD. Effect of course or fine grinding on utilization of dry or ensiled corn by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 83:2839-2848. 2000.
- 高山幸英, 中山 猛. EP加工. 配合飼料講座・下巻. 43-46. チクサン出版社. 東京. 1984.
- 田川伸一, 松山裕城, 佐藤裕一郎, 遠藤芳郎, 堀口健一. ドライエクストルーダ処理飼料用米の第一胃内消化特性. 日草誌, 63: 89-92. 2017.
- 嶺野英子, 魚住 順, 河本英憲, 出口 新, 内野 宙. フレコンラップ法の無破碎粉米サイレージ調製における適用可能性の検討. 日草誌, 64: 175-179. 2018.