

日本短角種肥育牛への圧砕稲わら給与が血液成分 および産肉性に及ぼす影響

小松 篤司^{*1)}・深澤 充^{*1)}・東山 由美^{*1)}・関矢 博幸^{*1)}
木村 俊之^{*2)}・木村 映一^{*1)}・大谷 隆二^{*1)}・押部 明徳^{*1)}

抄 録：汎用コンバインの脱穀機能により稲の穂先から茎まで圧砕された稲わら（圧砕稲わら）は自脱コンバインから排出された稲わらよりも短時間で乾燥する。このため、天候不順により調製が難しかった地域においても有効な粗飼料としての供給が可能と考えられる。しかし、圧砕稲わらの家畜に給与した研究はこれまで行われていない。そこで、本研究では広く普及している乾燥稲わらと圧砕稲わらを用い、乾燥処理の違いが飼料成分に及ぼす影響と、肥育期の日本短角種去勢牛に給与した際の血液性状や産肉性に及ぼす影響について比較検討した。稲わら中の一般成分については乾燥処理の違いによる有意な差は認められなかった。圧砕稲わら中のビタミンE含量は乾燥稲わらに比べて処理直後が高く、貯蔵30日以降は両稲わらとも低いレベルで推移した。また、乾燥稲わら区および圧砕稲わら区の血漿中ビタミンE濃度については、試験期間中の推移に有意差は認められなかった。血漿中の代謝産物では、圧砕稲わら区の遊離脂肪酸濃度が給与後30、90および120日において乾燥稲わら区に比べて低い値（ $P<0.05$ ）を示した。一方でグルコース、尿素態窒素およびコレステロール濃度は、両区ともに同レベルの変化を示した。抗酸化性との関係については、酸化ストレスの指標である血漿中d-ROMs値が圧砕稲わら給与により低下する傾向が認められた。試験期間における増体および屠畜後の産肉成績については、両区に違いは認められなかった。日本短角種肥育牛への圧砕稲わら給与は、従来の乾燥稲わらに比べて血漿成分への特徴的な影響は認められず、増体並びに産肉性にも遜色ない事が明らかになった。よって圧砕稲わらは乾燥稲わらの代替粗飼料として有効利用が可能である。

キーワード：圧砕稲わら、ビタミンE、日本短角種、遊離脂肪酸、抗酸化

Effects of a Macerated Rice Straw Diet on Blood Metabolites and Productivity in Japanese Shorthorn Steers : Tokushi KOMATSU^{*1)}, Michiru FUKASAWA^{*1)}, Yumi HIGASHIYAMA^{*1)}, Hiroyuki SEKIYA^{*1)}, Toshiyuki KIMURA^{*2)}, Eiichi KIMURA^{*1)}, Ryuji OHTANI^{*1)} and Akinori OSHIBE^{*1)}

Abstract : We investigated the chemical composition and vitamin E content of a macerated rice straw diet prepared by a quick-dry technique with a screw-type threshing combine, and compared its effects on productivity and blood metabolites, as well as on antioxidation, with a normal rice straw diet in Japanese Shorthorn steers. No difference in chemical composition was observed between macerated rice straw and normal rice straw. The vitamin E content of macerated rice straw in storage for a short time was higher than that of macerated rice straw stored over time after preparation. No difference was observed in the plasma vitamin E levels of the steers. In steers on a macerated rice straw diet, plasma free fatty acid concentrations remained low compared to those in steers on a normal rice straw diet. There were no differences in plasma glucose, urea nitrogen, or cholesterol concentrations. A plasma reactive oxygen metabolites test showed that oxidative stress was decreased by the macerated rice straw diet. No difference was found between the macerated rice straw and normal rice straw diets in either meat productivity or live body weight gain. Thus, a macerated rice straw diet can be substituted for a normal rice straw diet for the maintenance of health and meat production in Japanese Shorthorn steers.

Key Words : Macerated Rice Straw, Vitamin E, Japanese Shorthorn Steer, Free Fatty Acid, Antioxidation

*1) 農研機構東北農業研究センター（NARO Tohoku Agricultural Research Center, Morioka, Iwate 020-0198, Japan）

*2) 現・農研機構中央農業総合研究センター（NARO Agricultural Research Center, Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan）

2014年7月31日受付、2014年12月8日受理

I 緒 言

我が国の畜産は自給飼料の生産基盤が限られることから、乾草や稲わらのような粗飼料も輸入に頼っている。持続可能な飼料循環型の生産構造への転換を図るためには国内の飼料生産基盤の有効利用による飼料自給率の向上が不可欠である。近年は食用米の作付面積が制限されていることから、水田機能を維持しながら飼料自給率を向上させる方策として、飼料用稲の栽培が全国的に増えている。しかしながら、養豚や養鶏農家において輸入濃厚飼料の代替として飼料用米の子実だけを給与することが多くなってきたため、利用されない稲わらの排出量が年々増加している。

稲わらは肉牛経営において有用な粗飼料源であるが、日本の気象条件では乾燥調製が難しく利用は十分に進んでいない。国内における稲わらの年間生産量に対して、その利用割合は約10%に留まっている(農林水産省 2013)。特に、東北地域では秋の刈り取り後における天候不順が日常化しており、稲わらの調製条件はさらに厳しく、乾燥が不充分となるリスクが高い。

このような東北地域特有の気候に対応するため、東北農業研究センター(以下、東北農研)においてスクリュウ型脱穀機能を有する汎用コンバインで稲わらを圧砕して(圧砕稲わら)、迅速乾燥後に収集する一体化技術が開発された(大谷ら 2013)。具体的には圧砕した稲わらを刈株上に排出し、通気性を高めることにより2日間程度で乾燥させる技術である。この調製技術により東北地域でも乾燥した稲わらの安定的生産が期待できる。しかしながら、圧砕稲わらは磨り潰されて乾燥した形態であり、このような物理的特性が成分バランスに及ぼす影響は明らかではない。加えて、長期給与試験による飼料評価に関する知見もないことから、圧砕稲わらの利用は未だ普及には至っていない。押部らは(2011)、日本短角種および黒毛和種繁殖牛に圧砕稲わらを給与した場合、従来の乾燥稲わらと比較して圧砕処理の影響により採食時間は短くなるが、反芻時間は変わらないため十分な粗飼料評価指数(RVI)を確保できることを報告している。

本研究では稲わらの圧砕処理が成分構成に及ぼす影響を明らかにするとともに、日本短角種去勢牛の肥育期に圧砕稲わらの給与を行って、増体量、血漿

中代謝産物と酸化指標物質濃度および産肉成績への影響について検討を行った。

II 材料と方法

1. 供試飼料

東北農研内の圃場で栽培された飼料用米を収穫して2つの乾燥処理を行った。対照区の稲わらは「べこごのみ」の籾を収穫した後、立毛状態で圃場に放置し、8日間乾燥させてロールベアラとラップにより梱包・ラップした。試験区の圧砕稲わらは同一の圃場で栽培された「べこごのみ」をカッティングユニットを取り外して、ウィンドローウを取り付けた汎用コンバインにより籾収穫時に圧砕処理された稲わらを1日間圃場に放置し、翌日に梱包・ラップした。貯蔵開始日から30日間隔で圧砕稲わらおよび乾燥稲わらからそれぞれ3点ずつ採取し、ビタミンEの測定に用いた。また、150日間貯蔵後の圧砕稲わらおよび乾燥稲わらからそれぞれ3点ずつ採取し、一般飼料成分の分析に用いた。

2. 給与試験

日本短角種去勢牛6頭(平均体重454kg、平均月齢17ヵ月)を用いた。粗飼料として従来法である天日処理による乾燥稲わらを給与する対照区と、圧砕稲わらを給与する試験区を設定し、上記6頭を体重と月齢を参考にそれぞれの区に各3頭ずつ配置した。両区とも1日1回、14:00に飽食量となる稲わらと体重の2%量となる市販の育成用配合飼料(TDN 72%、CP 13%)を給与し、翌日に稲わらと配合飼料の残量を測定して、それぞれの採食量を算出した。飲水および固形塩の摂取は自由とした。屠畜は21.9~23.0ヵ月齢に、岩手県内の食肉処理センターで行った。なお、供試動物の取り扱い、東北農研における動物実験等実施要領に従って行った。

3. 化学分析

稲わらは、70℃で、48時間加熱乾燥した後に水分、粗蛋白質、粗脂肪、粗灰分、細胞壁成分、中性デタージェント繊維および酸性デタージェント繊維を常法により分析した(自給飼料利用研究会 2009)。

4. 採血および筋肉サンプルの採取

試験開始から終了まで30日間隔で頸静脈血をヘパリン含有真空採血管に採取し、直ちに遠心(3,200rpm、1,950×g、20min、4℃)して血漿を分取、測定まで-20℃で凍結保存した。

5. 血漿中抗酸化機能関連項目の測定

血漿中の酸化ストレス度と抗酸化力の測定はフリーラジカル評価装置 (F.R.E.E. : FreeRadical Elective Evaluator; ウィスマー、東京) を使用した。酸化ストレス度は、Diacron-reactive oxygen metabolites test (d-ROMsテスト) により測定した (Cornelli *et al.* 2001)。抗酸化力の測定は、OXY absorbent test (OXY吸着テスト) を用いた (Vassalle *et al.* 2004)。

6. 血漿中代謝産物測定

血漿中のグルコース、尿素体窒素、尿酸、遊離脂肪酸、トリグリセライド、リン脂質、総コレステロールおよび遊離コレステロール濃度は血液自動分析装置 (日立7070型、東京) を用い、常法の試薬 (テストワコー、和光純薬、大阪) により測定した。

7. 飼料および血漿中ビタミンEの測定

トコフェロールおよびトコトリエノール含量の合計をビタミンE含量とし、Sookwong (2001) らの方法に準じて、稲わらは外部標準法、そして血漿中濃度は内部標準法で定量した。稲わらは裁断後、粉碎した。HPLC分析は、カラム：シリカゲルカラム (Inertsil SIL 100A-3、4.6 × 250 mm、3 μm GLサイエンス)、カラム温度：40 °C、移動相：ヘキサン/1,4-ジオキサン/2-プロパノール (1,000 / 40 / 5, v / v / v)、流速：1.0 mL / minで分離を行い、蛍光検出：RF-10AXL FLD 検出器 (ex 294 nm, em 326 nm 島津製作所) にて検出を行った。試料中のトコフェロールおよびトコトリエノール量は各々の標準物質を用いた濃度曲線により定量した。

8. 統計解析

全ての統計処理はR (The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) を視覚的に操作できるプログラムであるEZR (自治医科大学附属さいたま医療センター、埼玉) を利用した (Kanda *et al.* 2013)。飼料中のビタミンE含量については対応のない、また、血漿中の代謝産物濃度については対応のある反復測定二元配置分散分析を行い、試験期間と処理との間に交互作用のあるものについては各経過日数時点で比較し、studentのt検定を行った。また、各処理区において0日を基準としてDunnettの多重比較検定を行った。稲わら中成分における分析値の比較についてはstudentのt検定を用いた。なお、数値は平均値 ± 標準誤差で示し、有意水準はP<0.05とした。

Ⅲ 結 果

対照区の乾燥稲わらおよび試験区の圧砕稲わらに含まれる成分含量の割合を表1に示した。いずれの項目についても両稲わらに有意な差は認められなかった。図1には梱包・ラップ調製直後から150日後までにおける稲わら中ビタミンE含量の推移を示した。試験区のビタミンE含量は調製直後から30日目にかけて大きく減少した。一方で対照区においては同期間で若干の低下は認められたが、貯蔵期間を通じてビタミンE含量に有意な変動は認められなかった。

供試牛の開始時および終了時体重と試験期間内の

表1 乾燥稲わらおよび圧砕稲わら中の一般成分含量¹⁾ (乾物中%)

	対照区 (乾燥稲わら)	試験区 (圧砕稲わら)
DM	76.1	74.4
TDN	44.1	43.8
CP	3.6	3.9
EE	1.3	1.2
CA	19.9	20.5
ADF	41.4	42.1
NDF	66.1	66.8
OCW	63.7	64.2

1) 各稲わらから採取したサンプル (3点) の平均値
DM: 乾物率、TDN: 可消化養分総量、CP: 粗タンパク質、EE: 粗脂肪、CA: 粗灰分、ADF: 酸性デタージェント繊維、NDF: 中性デタージェント繊維、OCW: 細胞壁成分

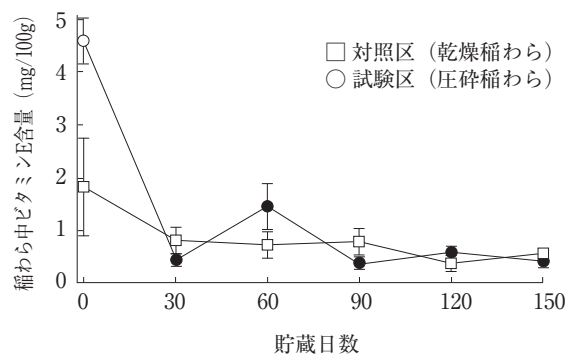


図1 稲わらおよび圧砕稲わらにおけるビタミンE含量の変化

注. 平均値 ± 標準誤差、●: 給与0日と比較して有意差有 (P<0.05)

表2 乾燥稲わらまたは圧砕稲わらを給与した日本短角種去勢牛の試験期間における体重および日増体量¹⁾

処理区	頭数	開始時		終了時		日増体量 (kg/day)
		体重 (kg)	月齢	体重 (kg)	月齢	
対照区 (乾燥稲わら)	3	453.0 ± 35.2	16.4 ± 0.5	598.0 ± 39.0	21.3 ± 0.58	0.80 ± 0.04
試験区 (圧砕稲わら)	3	454.0 ± 32.5	16.8 ± 0.9	593.7 ± 37.9	22.0 ± 1.00	0.74 ± 0.06

1) 平均 ± 標準誤差

表3 供試牛の産肉成績¹⁾

	対照区 (乾燥稲わら)	試験区 (圧砕稲わら)
出荷月齢	21.3 ± 0.58	22.0 ± 1.04
枝肉重量 (kg)	333.7 ± 22.5	332.7 ± 22.5
ロース芯面積 (cm ²)	42.3 ± 6.50	39.7 ± 7.23
バラ厚さ (cm)	5.8 ± 0.58	5.9 ± 0.85
皮下脂肪厚 (cm)	1.9 ± 0.36	2.2 ± 0.10
歩留基準値 (%)	72.9 ± 1.10	72.4 ± 1.31
BMS	2	2
BCS	5	5
等級	B2-1頭 A2-2頭	B2-2頭 A2-1頭

1) 平均 ± 標準誤差

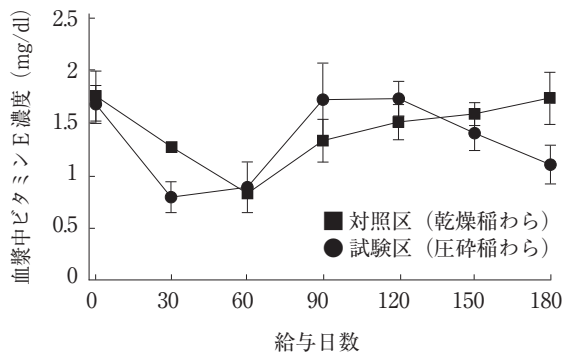


図2 血漿中ビタミンE含量の変化

注. 各区3頭の平均値 ± 標準誤差

日増体量を表2に示した。両区の終了時体重および日増体量は同様であった。また、採食量についても両区に差は認められなかった（データ非掲載）。供試牛の枝肉成績を表3に示した。枝肉重量、ロース芯面積、バラ厚さ、皮下脂肪厚および歩留基準値いずれの項目についても、圧砕稲わら給与は対照区の乾燥稲わらとの差はなく、同様の肥育成績であった。

血漿中ビタミンE濃度の推移を図2に示した。試験期間を通じて両区のビタミンE濃度に差は認められなかった。血漿中のグルコース（図3 a）、尿素

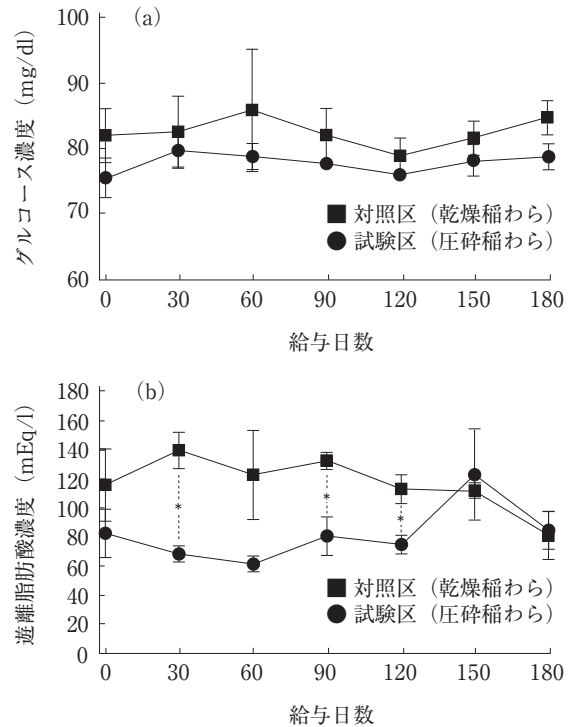


図3 稲わらおよび圧砕稲わら給与時の血漿中グルコース (a) および遊離脂肪酸 (b) の変化

注. 各区3頭の平均値 ± 標準誤差、*：給与日数で比較して有意差有 (P<0.05)

体窒素、タンパク質、尿酸、コレステロールおよびリン脂質濃度も両区に違いは認められなかった（図非掲載）。一方で、遊離脂肪酸濃度の変化では、給与開始30、90および120日後において、対照区と比較して試験区で有意に低い値を示した（図3 b）。

図4に血漿中のd-ROMs値およびOXY吸着能の変化を示した。生体の酸化ストレスレベルの指標であるd-ROMs値は、給与開始日と比較した場合、試験区では60日および180日後において有意に低い値となった（図4 a）。血漿中の総抗酸化力を示すOXY項目については試験区および対照区において有意な違いは認められなかった（図4 b）。

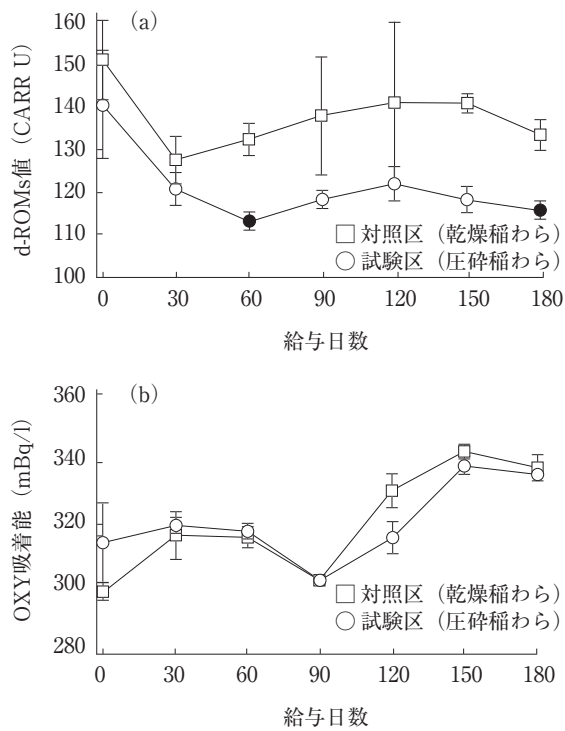


図4 稲わらおよび圧砕稲わら給与時の血漿中酸化ストレス (a) および抗酸化力 (b) の変化

注. 各区3頭の平均値±標準誤差、●: 給与0日と比較して有意差有 ($P < 0.05$)

IV 考 察

16ヵ月齢の日本短角種肥育牛に乾燥稲わらおよび圧砕稲わらを6ヵ月間給与した試験において、両稲わら区の日増体量に違いは見られなかった。また、採食量にも違いは見られなかったことから、圧砕処理による稲わらの物理的特性は影響しなかったと考えられた。押部ら (2011) は黒毛和種繁殖牛を用いた圧砕稲わら給与試験において採食時間が減少する傾向が認められたが、反芻時間は変わらないことから、結果として粗飼料評価指数 (RVI) は乾燥稲わらと同様であることを明らかにしている。本研究では、屠畜成績においても乾燥稲わら区と圧砕稲わら区に有意な違いは認められなかった。したがって、日本短角種去勢牛に乾燥稲わらの代替として圧砕稲わらを給与しても、成長および肉質に関して同等の成績を得られることが明らかになった。

稲わら中のビタミンE含量は、調製直後では圧砕稲わらにおいて高く、貯蔵期間を経ると、両区ともに低いレベルで推移した。ビタミンEは酸化性を

示す機能性ビタミンであるが、光や空気に触れるとその含量が低下することが知られている (梶本 1989)。調製直後のビタミンE含量が圧砕稲わらで高かったのは、圧砕稲わらは乾燥稲わらと比較して短時間で乾燥させるため、ビタミンE含量の損失が少なかったと考えられる。しかしながら、両区の稲わらは日数経過とともに光と空気に触れることでビタミンE含量は低下したと考えられる。また、圧砕稲わら区における血漿中のビタミンE濃度が有意に増加することはなかった。

血漿中の遊離脂肪酸濃度は乾燥稲わら区よりも圧砕稲わら区で低く推移した。遊離脂肪酸濃度の増加は、エネルギー不足に伴う体脂肪動員を反映する (Hart *et al.* 1979)。また、遊離脂肪酸は飼育環境の変化などのストレスによっても血漿レベルが上昇する成分である (Reynaert *et al.* 1976)。遊離脂肪酸濃度が乾燥稲わら区と比較して圧砕稲わら区で低いレベルで推移したこと、また、グルコース濃度は両区で違いが認められなかったことから、圧砕稲わら区では乾燥稲わら区のエネルギー水準と遜色なかったと考えられる。

生体の酸化ストレスを評価するd-ROMs試験では、圧砕稲わらを給与した区で血漿中d-ROMs値が低くなった。血漿中d-ROMsレベルは疾病などの重篤な酸化ストレス環境下では著しく上昇するが (関 2009)、生理的状況では抗酸化機能を持った栄養素の摂取で変化する (Cornelli *et al.* 2001)。したがって、圧砕稲わらは乾燥稲わらに比べて抗酸化物質が多く含まれている可能性がある。稲わら調製時の違いが抗酸化物質の含量や活性に及ぼす影響について今後検討する必要がある。

OXY試験は血漿中の次亜塩素酸消去能を測定することにより判断される抗酸化能試験であるが、飼料による違いは見られなかった。抗酸化能は、運動など肉体的な要因で変化的ことが報告されているが (Cases *et al.* 2006)、本研究では給与飼料以外の飼養条件は同じである。また、OXY吸着テストは主にビタミンCや尿酸など比較的低分子量の因子が関与する抗酸化能を測定するものであり、全ての抗酸化について測定することはできない (Jansen *et al.* 2013)。このため、圧砕稲わらに含まれる高分子量の抗酸化物質の摂取により、圧砕稲わら区においてd-ROMsテストで示される酸化ストレスが低いレベルを示す一方、OXY吸着テストで示される抗酸

化能に違いが認められなかったと考えられる。

以上より、日本短角種去勢牛に圧砕稲わらを給与しても、増体、肉質、遊離脂肪酸を除く血漿中の代謝産物には違いは見られず、稲わらの代替として問題なく利用できることが明らかとなった。一方で血漿中の酸化ストレスを示すd-ROMs試験では低い傾向であったことから、圧砕稲わら中の機能性成分が血漿中の酸化ストレスを低下させる可能性が示唆された。圧砕稲わら調製技術は東北地域の過酷な天候不順に影響されず、また、家畜に給与しても慣行の乾燥稲わらと同等の成績を得られることから、地域資源を有効に利用できる技術である。

引用文献

- 1) Cases, N.; Sureda, A.; Maestre, I.; Tauler, P.; Aguiló, A.; Córdova, A.; Roche, E.; Tur, J. A.; Pons, A. 2006. Response of antioxidant defences to oxidative stress induced by prolonged exercise: antioxidant enzyme gene expression in lymphocytes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 98 : 263-269.
- 2) Cornelli, U.; Terranova, R.; Luca, S.; Cornelli, M.; Alberti, A. 2001. Bioavailability and antioxidant activity of some food supplements in men and women using the D-Roms test as a marker of oxidative stress. *J. Nutr.* 131 : 3208-3211.
- 3) Hart, C.; Bines, A.; Morant, V. 1979. Endocrine control of energy metabolism in the cow: correlations of hormones and metabolites in high and low yielding cows for stages of lactation. *J. Dairy Sci.* 62 : 270-277.
- 4) Jansen, E.; Tatjana, R. 2013 Comparative analysis of serum (Anti) oxidative status parameters in healthy persons. *Int. J. Mol. Sci.* 14 : 6106-6115.
- 5) 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.
- 6) 梶本五郎. 1989. 油脂の変質とその防止対策. *油科学* 38 : 545-552
- 7) Kanda, Y. 2013. Investigation of the freely-available easy-to-use software "EZR" (Easy R) for medical statistics. *Bone Marrow Transplant.* 48 : 452-458.
- 8) 農林水産省. 2013. 飼料をめぐる情勢 (平成25年6月).
- 9) 大谷隆二, 金井源太, 天羽弘一, 関矢博幸, 冠秀昭, 押部明德. 2010. 汎用コンバインとスワースコンディショナを用いた稲わらの乾燥・収集体系. 東北農業研究成果情報.
- 10) 押部明德, 大谷隆二, 福重直輝, 小松篤司, 池田堅太郎, 関矢博幸, 田中 治, 木村俊之, 木村映一, 中込弘二. 2011. 汎用コンバインを用いた圧砕処理が黒毛和種雌牛における稲わらの粗飼料価に及ぼす影響. 東北農業研究センター研究報告 113 : 29-32.
- 11) Reynaert, R.; Marcus, S.; De Paepe, M.; Peeters, G. 1976. Influences of stress, age and sex on serum growth hormone and free fatty acid levels in cattle. *Horm. Metab. Res.* 8 : 109-114.
- 12) 関 泰一. 2009. d-ROMsテストによる酸化ストレス総合評価. *生物試料分析.* 32 : 301-306
- 13) Sookwong, P.; Nakagawa, K.; Murata, K.; Kojima, Y.; Miyazawa, T. 2007. Quantitation of tocotrienol and tocopherol in various rice brans. *J. Agric. Food Chem.* 55 : 461-466.
- 14) Vassalle, C.; Masini, S.; Carpeggiani, C.; L'Abbate, A.; Boni, C.; Zucchelli, G. 2004. In vivo total antioxidant capacity: comparison of two different analytical methods. *Clin. Chem. Lab. Med.* 42 : 84-89.