

稲発酵粗飼料給与が交雑種および褐色和種牛肉の理化学的特性と貯蔵性に及ぼす影響

中西直人・井出忠彦¹・石崎重信²・吉羽宣明³・山田知哉・石田元彦⁴

農研機構畜産研究部門 飼養管理技術研究領域, 那須塩原市, 329-2793

¹長野県畜産試験場, 塩尻市, 399-0711

²千葉県畜産総合研究センター, 八街市, 289-1113

³埼玉県農業技術研究センター, 熊谷市, 360-0102

⁴石川県立大学, 野々市市, 921-8836

要 約

長野県畜産試験場(長野県畜試), 千葉県畜産総合研究センター(千葉県畜総研), 埼玉県農業技術研究センター(埼玉県農技)で行われた稲発酵粗飼料を給与した肥育試験で生産された胸最長筋を分析に供した。長野県畜試, 千葉県畜総研では交雑種牛に稲発酵粗飼料を全期間給与する全期間区, 稲発酵粗飼料を肥育の前期中と後期中に給与し中期は稲わらを給与する前後期区, 肥育前期はチモシー乾草を給与し肥育中期以降は稲わらを給与した対照区を設けた。牛肉中の α -トコフェロール含量は, 全期間区>前後期区>対照区の順に多くなった。冷蔵庫に貯蔵中におきる肉色の劣化の程度を示すメトミオグロビン割合, 脂質の酸化の程度を示すTBARS値は, 長野県畜試で生産された牛肉では対照区に比較して全期間区や前後期区で低い値を示した。千葉県畜総研でも全期間区と前後期区のTBARS値は抑制された。メトミオグロビン割合は, 全期間区が前後期区より有意に低い値を示した。埼玉県農技で褐毛和種を用いて農家で行われた2回の試験でも肥育全期間に稲発酵粗飼料を給与した試験区は稲発酵粗飼料を給与しなかった対照区より α -トコフェロール含量が有意に多くなり, 試験区ではTBARS値が抑制された。メトミグロビン割合は, 試験区と対照区で差がなかった。

胸最長筋の脂肪含量は各試験場で区間に有意差はなかった。牛肉の軟らかさを示す剪断力価は, 千葉県畜総研では前後期区が対照区より有意に低い値を示したが, 長野県畜試と埼玉県農技の試験では区間に有意な差は認められなかった。長野県畜試では, 皮下脂肪と筋間脂肪において全期間区は前後期区及び対照区に比較してパルミチン酸の割合が少なくオレイン酸の割合が多くなり, 千葉県畜総研では筋肉内脂肪で前後期区が対照区よりオレイン酸の割合が多くなった。以上より, α -トコフェロールを豊富に含む稲発酵粗飼料を肥育牛に給与することによって, 牛肉に α -トコフェロールが蓄積し, 肉色の劣化や脂質の酸化が抑制されることが示された。

キーワード: 稲発酵粗飼料, 牛肉, α -トコフェロール, TBARS, メトミオグロビン

緒 言

我が国の畜産は輸入飼料に依存した生産体系であることから, 飼料自給率は低迷しており, 飼料自給率の向上や家畜排せつ物の適切な農地還元による資源循環型畜産

の推進が課題となっている。このような状況の中, 水田において稲発酵粗飼料の生産を推進することは, 飼料増産にとって有力な方法であると考えられる。さらに畜産農家にとっても, 輸入粗飼料の価格上昇に対する対策として, また口蹄疫やBSEの発生以降の国内産の安全な

粗飼料として稲発酵粗飼料の重要性が増加している。稲発酵粗飼料は嗜好性に優れており、ビタミンEを豊富に含んでいるため、稲発酵粗飼料を肥育牛へ給与することによって、ビタミンEが牛肉へ蓄積することが期待されている^{17,20)}。牛肉に蓄積されたビタミンEは、肉色の劣化や脂質の酸化を防止する効果があり^{6,8,9)}、牛肉の付加価値の向上につながると考えられる。そこで本試験では、稲発酵粗飼料の給与が牛肉へのビタミンEの蓄積、また肉色の劣化防止や脂質酸化防止に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、地域農業確立総合研究「関東地域における飼料イネの資源循環型生産・利用システムの確立」で行われた肥育試験^{2,3,21)}において生産された牛肉の理化学分析結果をとりまとめた。さらに稲発酵粗飼料の給与が体脂肪の脂肪酸組成や牛肉の軟らかさなどに及ぼす影響に関しては未だ明らかでないため、稲発酵粗飼料の給与が牛肉の理化学的特性に与える影響についても検討した。

材料および方法

1. 肥育方法

長野県畜産試験場（長野県畜試）²⁾、千葉県畜産総合研究センター（千葉県畜総研）³⁾、埼玉県農業技術研究センター（埼玉県農技）²¹⁾において肥育試験を実施した。長野県畜試ではホルスタイン種雌牛に黒毛和種雄牛を交配して生産された交雑種牛12頭（去勢牛3頭、雌牛9頭）を用いた。肥育試験の概要を表1²⁾に示した。配合飼料は、発育と摂取状況に応じて各試験区ともに1日当たり4.5～13kg給与した。粗飼料給与に関しては、牛肉中へ α -トコフェロールを確実に蓄積させるため、肥育全期間にわたって稲発酵粗飼料を給与する全期間区、稲発酵粗飼料を肥育前期と後期に給与し、ビタミンAの影響が最も大きい肥育中期に¹²⁾は稲わらを給与する前後期区、慣行肥育として肥育前期にチモシー乾草を給与し、中期以降稲わらを給与してビタミンA制御を行った対照区を設けて試験を行った。千葉県畜総研では交雑種去勢牛（黒毛和種雄牛×ホルスタイン種雌牛）12頭を用いた。肥育試験の概要を表2³⁾に示した。配合飼料は、各試験区ともに発育と摂取状況に応じて1日当たり5～12kg給与した。粗飼料給与は、長野県畜試と同様に稲発酵粗飼料を全期間給与する全期間区、稲発酵粗飼料を肥育前期と後期に給与する前後期区、前期にチモシー乾草を給与し、中期以降は稲わらを給与する対照区を設けた。埼玉県農技では同じ農場で2つの試験が行われた。肥育試験の概要を表3²¹⁾に示した。供試

牛は、試験1では褐毛和種雌牛5頭を用い、試験区が2頭、対照区が3頭であった。また試験2では褐毛和種去勢牛5頭を用い、試験区が2頭、対照区が3頭であった。それぞれの肥育試験で給与された飼料の β -カロテンと α -トコフェロール含量を表4^{2,3,21)}に示した。

表1. 長野県畜産試験場で行われた肥育試験の概要²⁾

試験区分 (供試頭数)	肥育前期 8～15ヵ月齢	肥育中期 15～22ヵ月齢	肥育後期 22～28ヵ月齢
全期間区 (4頭)	稲 WCS (7kg) 注) 配合飼料 7L7A7A P (200g)	稲 WCS (5kg) 配合飼料	稲 WCS (5kg) 配合飼料
前後期区 (4頭)	稲 WCS (7kg) 配合飼料 7L7A7A P (200g)	稲わら (1.5kg) 配合飼料	稲 WCS (5kg) 配合飼料
対照区 (4頭)	チモシー乾草 (3kg) 配合飼料 7L7A7A P (200g)	稲わら (1.5kg) 配合飼料	稲わら (1.5kg) 配合飼料

稲 WCS：稲発酵粗飼料 7L7A7A P：7L7A7A[°]レット
注)：() 内の数値は、1日当たりの給与量

表2. 千葉県畜産総合研究センターで行われた肥育試験の概要³⁾

試験区分 (供試頭数)	肥育前期 8～14ヵ月齢	肥育中期 14～20ヵ月齢	肥育後期 20～26ヵ月齢
全期間区 (4頭)	稲 WCS (7kg) 注) 配合飼料 7L7A7A P (200g)	稲 WCS (5kg) 配合飼料	稲 WCS (4kg) 配合飼料
前後期区 (4頭)	稲 WCS (7kg) 配合飼料 7L7A7A P (200g)	稲わら (2kg) 配合飼料	稲 WCS (4kg) 配合飼料
対照区 (4頭)	チモシー乾草 (3kg) 配合飼料 7L7A7A P (200g)	稲わら (2kg) 配合飼料	稲わら (1.5kg) 配合飼料

稲 WCS：稲発酵粗飼料 7L7A7A P：7L7A7A[°]レット
注)：() 内の数値は、1日当たりの給与量

表3. 埼玉県農業技術研究センターで行われた肥育試験の概要²¹⁾

試験1	
試験区分 (供試頭数)	肥育前期 11～27ヵ月齢
試験区 (2頭)	自家配合飼料 稲発酵粗飼料 5～6kg
対照区 (3頭)	自家配合飼料・市販配合飼料 稲わら 1～1.5kg
試験2	
試験区分 (供試頭数)	肥育期間 11～26ヵ月齢
試験区 (2頭)	自家配合飼料・市販配合飼料 稲発酵粗飼料 6～10kg
対照区 (3頭)	自家配合飼料・市販配合飼料 イタリアンライグラスストロー 1.6～2.6kg

表 4. 給与飼料の β -カロテン含量および α -トコフェロール含量 (mg/ 乾物 1kg)

	長野畜試		千葉県畜総研		埼玉県農技 1		埼玉県農技 2	
	β -カロテン	α -トコフェロール	β -カロテン	α -トコフェロール	β -カロテン	α -トコフェロール	β -カロテン	α -トコフェロール
配合飼料	0.2	11.5						
稲 WCS	37.2	329.4	5.1 ~ 14.3	6.1 ~ 49.1	26.3	71.0	32.3	149.1
アルファルファペレット	64.9	51.8						
稲わら	1.3	23.8			0.2	5.6		
ホシ-乾草	15.6	8.6						
イタリアンライグラスストロー							0.4	7.5

埼玉県農技 1：埼玉県農業技術研究センター 試験 1

埼玉県農技 2：埼玉県農業技術研究センター 試験 2

長野畜試：長野県畜産試験場

千葉県畜総研：千葉県畜産総合研究センター

2. 牛肉の分析方法

サーロイン部の胸最長筋を分析に用いた。牛肉は、と畜後 2 週間以内に研究室に到着後ただちに、真空パックし -30℃で分析まで凍結保存した。ただし調理ロスと剪断力価用の牛肉は、厚さ 2.5cm に試料を切断後真空パックし、と畜後 2 週間まで 4℃で貯蔵後、-30℃で凍結保存した。試料は一晚 4℃で解凍した後、分析を行った。水分は、2 回ミンチ後 100℃で 24 時間乾燥させて測定した。粗脂肪は、水分測定で乾燥させた牛肉をエーテルで抽出して測定した。調理ロスは、試料を 70℃で 1 時間水浴して調理し、一晚 4℃で冷蔵庫においたときの目減りの量とした。剪断力価は、調理した牛肉を 1cm × 1cm の肉片とし、ワーナーブラッツラーシェアー測定装置により測定した。牛肉中の α -トコフェロールは、液体クロマトグラフ蛍光検出器（日本分光 FP-920）を用いて測定した¹⁴⁾。サーロイン部より皮下脂肪、筋間脂肪を採取して脂肪酸組成を測定し、胸最長筋のミンチを用いて筋肉内脂肪の脂肪酸組成を測定した。総脂質の抽出は Folch¹⁵⁾の方法により行った。メチルエステル化した脂肪サンプルの脂肪酸組成を、ガスクロマトグラフ（島津製 GC-14A）を用いて測定した。FID 検出器の温度は 250℃とした。カラムオープン温度は 150℃から 250℃まで 1 分当たり 5℃上昇させた後、250℃で 10 分保持した。カラムは Stabilwax（島津）を用いた。冷蔵庫に貯蔵中の肉色や脂質の酸化は、厚さ 1cm の牛肉を滅菌シャーレにいれ、PVC フィルム（酸素透過率 2.5 × 10⁴mL/m² · 24h · atm）で覆い、4℃で暗所に保存して測定した。測定は冷蔵庫に貯蔵後 1, 7, 13 日目に行った。肉表面のメトミオグロビン割合の測定は、色差計（ミノルタ社製 CM - 2600d）を用いて行った¹⁸⁾。脂質の酸化度としてチオバルビツール反応性物質（TBARS: Thiobarbituric Acid Reactive Substances）の値を三津

本ら⁹⁾の方法で測定した。

3. 統計分析

SAS Add-In 6.1 for Microsoft Office を用いて統計分析を行った。処理区を独立変数とする一元配置分散分析を行い、処理による有意性が認められた場合、処理区の平均値を PLSD 法で多重比較した。また胸最長筋の α -トコフェロール含量とメトミオグロビン割合、 α -トコフェロール含量と TBARS 値の間で非線形回帰分析を行った。

結 果

表 5 には、4 つの試験の胸最長筋の理化学的特性値を示した。埼玉県農技では 2 つの試験で試験区と対照区に胸最長筋の脂肪含量で差がなかった。長野畜試では、胸最長筋の脂肪含量は全期間区 < 前後期区 < 対照区となり、稲発酵粗飼料の給与期間が長い程脂肪含量が少なくなったが有意ではなかった。千葉県畜総研では、前後期区の胸最長筋の筋肉内脂肪含量がもっとも多くなったが有意ではなかった。埼玉県農技では 2 回の試験ともに対照区より稲発酵粗飼料を全期間給与した試験区の方が有意に α -トコフェロール含量が多くなった。長野畜試、千葉県畜総研ともに、全期間区の α -トコフェロール含量が対照区より有意に多くなった。また前後期区は、対照区と有意な差はなかったが、対照区より α -トコフェロールが多い値を示した。剪断力価は埼玉県農技の試験 2 と長野畜試では区間に有意な差はなかったが、千葉県畜総研では前後期区が対照区より有意に低い値を示した。調理ロスは埼玉県農技の試験 2、長野畜試、千葉県畜総研で有意な差はなかった。

冷蔵庫に貯蔵中の牛肉のメトミオグロビン割合の変化

を表6に示した。長野県畜試の成績では、全期間区と前後期区の間でメトミオグロビン割合が対照区より抑制され、13日目のメトミオグロビン割合は、全期間区が対照区より有意に低かった。千葉県畜総研では、対照区と前後期区の間でメトミオグロビン割合は、貯蔵日数と関係なくほぼ同様の値を示したが、13日目には全期間区の間でメトミオグロビン割合が前後期区より有意に低くなった。埼玉県農技で行われた2つの試験では、試験区と対照区で

メトミオグロビン割合に差はなかった。

表7には冷蔵庫に貯蔵中の牛肉のTBARS値の変化を示した。長野県畜試の結果では、全期間区と前後期区の間でTBARS値は、対照区に比較して有意に抑制された。また有意ではないが、全期間区は前後期区よりもTBARS値が低い値を示した。千葉県畜総研でも、有意性はないが稲発酵粗飼料の給与期間が長いほどTBARS値は抑制され、長野県畜試と同様の結果を示した。埼玉県農技では、

表5. 稲発酵粗飼料の給与期間が胸最長筋の理化学測定値に及ぼす影響

試験区分	埼玉県農技1		埼玉県農技2		長野畜試			千葉県畜総研		
	試験	対照	試験	対照	全期	前後	対照	全期	前後	対照
供試頭数	2	3	2	3	4	4	4	4	4	4
筋肉内脂肪含量 (%)	18.0	15.1	25.4	23.0	20.1	22.7	27.5	28.1	35.9	28.1
α-トコフェロール (mg/kg)	6.4 ^a	3.0 ^b	5.2 ^a	2.9 ^b	4.4 ^a	3.6 ^{ab}	2.5 ^b	3.2 ^a	3.1 ^{ab}	2.4 ^b
剪断力値 (kg/cm ²)			2.0	2.4	2.4	2.4	1.9	2.0 ^{ab}	1.8 ^a	2.4 ^b
調理ロス (%)			22.6	22.6	20.2	22.4	20.1	21.2	18.9	21.4

a,b: 異なる文字は同一試験場内で区間に5%水準で有意差あり

埼玉県農技1: 埼玉県農業技術研究センター 試験1

埼玉県農技2: 埼玉県農業技術研究センター 試験2

長野県畜試: 長野県畜産試験場

千葉県畜総研: 千葉県畜産総合研究センター

表6. 稲発酵粗飼料の給与期間が胸最長筋のメトミオグロビン割合 (%) に及ぼす影響

試験区分	埼玉県農技1		埼玉県農技2		長野畜試			千葉県畜総研		
	試験	対照	試験	対照	全期	前後	対照	全期	前後	対照
供試頭数	2	3	2	3	4	4	4	4	4	4
貯蔵日数										
1日	12.7	10.6	8.7	10.0	10.9	9.3	9.4	4.8	5.7	6.1
7日	27.1	45.2	33.3	32.7	27.9	29.6	34.7	25.4	30.5	30.6
13日	58.1	55.3	65.7	71.1	38.7 ^a	48.5 ^{ab}	65.7 ^b	40.6 ^a	56.3 ^b	53.0 ^{ab}

a,b: 異なる文字は同一試験場内で区間に5%水準で有意差あり

埼玉県農技1: 埼玉県農業技術研究センター 試験1

埼玉県農技2: 埼玉県農業技術研究センター 試験2

長野県畜試: 長野県畜産試験場

千葉県畜総研: 千葉県畜産総合研究センター

表7. 稲発酵粗飼料の給与期間が胸最長筋のTBARS値 (mgMDA/牛肉1kg) に及ぼす影響

試験区分	埼玉県農技1		埼玉県農技2		長野畜試			千葉県畜総研		
	試験	対照	試験	対照	全期	前後	対照	全期	前後	対照
供試頭数	2	3	2	3	4	4	4	4	4	4
貯蔵日数										
1日	0.09	0.11	0.09	0.08	0.10	0.10	0.21	0.11	0.17	0.17
7日	0.19	0.84	0.12	0.34	0.23 ^a	0.69 ^{ab}	1.43 ^b	0.36	0.54	0.64
13日	0.45	1.98	0.61	1.08	0.57 ^a	1.12 ^a	2.85 ^b	0.68	0.98	1.19

a,b: 異なる文字は同一試験場内で区間に5%水準で有意差あり

埼玉県農技1: 埼玉県農業技術研究センター 試験1

埼玉県農技2: 埼玉県農業技術研究センター 試験2

長野県畜試: 長野県畜産試験場

千葉県畜総研: 千葉県畜産総合研究センター

2つの試験ともに有意性はないが、試験区が対照区より低いTBARS値を示した。

図1、2には、交雑種牛を用いほぼ同様の試験が行われた長野県畜試と千葉県畜総研の合計24頭を用いて胸最長筋の α -トコフェロール含量と冷蔵庫に貯蔵後13日目のメトミオグロビン割合及びTBARS値の関係を図1と図2にそれぞれ示した。統計分析の結果、両者の関係は有意であり、 α -トコフェロール含量が多くなるほどメトミオグロビン割合、TBARS値ともに低下しており、稲発酵粗飼料の給与によって α -トコフェロール含量を増加させることが肉色の保存や脂質酸化防止に効果があることが示された。

表8には長野県畜試で生産された牛肉の脂肪酸組成を示した。皮下脂肪、筋間脂肪、筋肉内脂肪ともに全期

間区のアレイン酸割合が大きな値を示し、皮下脂肪、筋間脂肪では有意であった。皮下脂肪、筋間脂肪では、全期間区のパルミチン酸割合が低くなり、筋間脂肪では全期間区が前後期区より有意に低かった。千葉県畜総研では、皮下脂肪は脂肪酸組成に区間で有意差がなかった。筋間脂肪では、前後期区のスチアリン酸割合が全期間区、対照区より有意に低くなった。筋肉内脂肪では、前後期区のアレイン酸割合が対照区より有意に多くなった(表9)。埼玉県農技では、試験1では皮下脂肪、筋間脂肪で脂肪酸割合に区間差がなかった(表10)。試験2では、皮下脂肪で試験区の総不飽和脂肪酸割合が対照区より有意に低くなった。筋肉内脂肪で試験区のミリスチン酸割合が、対照区より有意に多くなった(表11)。

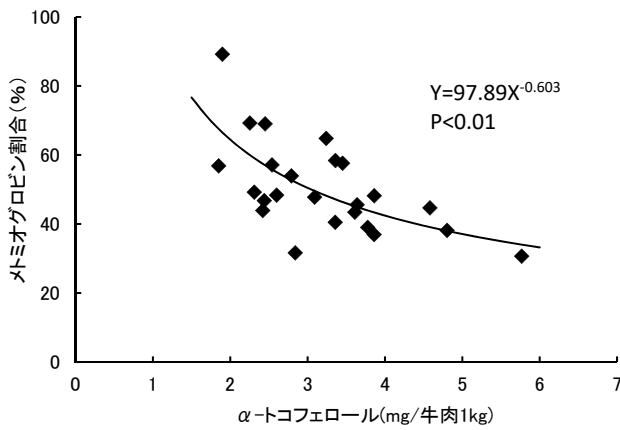


図1. 胸最長筋の α -トコフェロール含量と4°Cで13日間貯蔵後のメトミオグロビン割合の関係

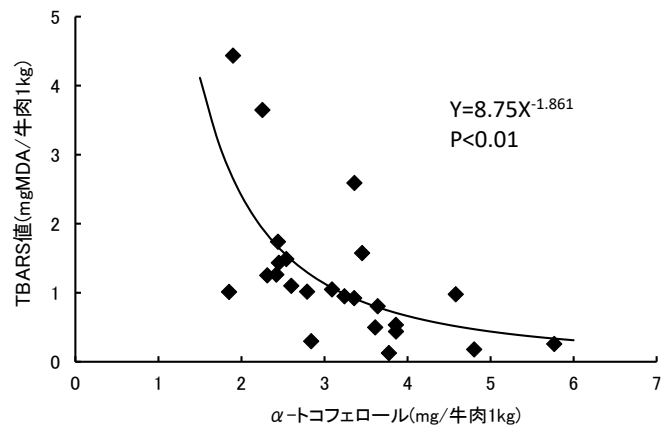


図2. 胸最長筋の α -トコフェロール含量と4°Cで13日間貯蔵後のTBARS値の関係

表8. 稲発酵粗飼料の給与が脂肪酸割合(%)に及ぼす影響(長野県畜産試験場)

試験区分 供試頭数	皮下脂肪			筋間脂肪			筋肉内脂肪		
	全期	前後	対照	全期	前後	対照	全期	前後	対照
ミリスチン酸 (14:0)	2.4	2.7	2.7	2.2	3.0	3.2	2.7	3.2	2.9
ミリストレイン酸 (14:1)	1.5	1.8	1.4	1.0 ^a	1.5 ^b	1.2 ^{ab}	1.0 ^{ab}	1.2 ^a	0.8 ^b
パルミチン酸 (16:0)	22.8	24.5	25.1	20.5 ^a	25.0 ^b	24.7 ^{ab}	24.9	27.8	26.6
パルミトリン酸 (16:1)	5.8	6.4	6.5	4.4 ^a	5.2 ^{ab}	5.6 ^b	4.6	4.7	4.3
ステアリン酸 (18:0)	6.4	6.9	7.1	9.9	9.8	10.0	9.1	9.5	10.3
オレイン酸 (18:1)	56.9 ^a	54.0 ^{ab}	52.9 ^b	57.8 ^a	51.9 ^{ab}	51.2 ^b	53.4	49.6	50.8
リノール酸 (18:2)	2.9	2.6	3.1	2.8	2.5	3.0	2.7	2.6	2.9
リノレン酸 (18:3)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
総飽和脂肪酸	32.6	35.0	35.9	33.9	38.7	38.8	38.0	41.6	40.9
総不飽和脂肪酸	67.4	65.0	64.1	66.1	61.3	61.2	62.0	58.4	59.1

a,b: 異なる文字は5%水準で有意差あり

表9. 稲発酵粗飼料の給与が脂肪酸割合 (%) に及ぼす影響 (千葉県畜産総合研究センター)

試験区分 供試頭数	皮下脂肪			筋間脂肪			筋肉内脂肪		
	全期	前後	対照	全期	前後	対照	全期	前後	対照
ミリスチン酸 (14:0)	3.2	2.9	3.2	3.7	3.2	3.5	3.6	3.2	3.7
ミリストレイン酸 (14:1)	1.7	2.0	1.8	1.5	1.8	1.4	1.0	1.1	1.1
パルミチン酸 (16:0)	26.1	26.5	26.9	26.8	26.7	27.9	28.7	28.6	30.6
パルミトレイン酸 (16:1)	5.9	6.6	5.7	5.4	6.0	4.6	4.4	4.2	4.1
ステアリン酸 (18:0)	9.1	7.1	8.8	11.1 ^a	8.6 ^b	11.6 ^a	11.4	10.4	12.2
オレイン酸 (18:1)	50.9	51.6	50.7	48.7	50.5	48.1	47.9 ^{ab}	49.3 ^a	45.4 ^b
リノール酸 (18:2)	2.0	2.2	2.1	1.8	2.2	2.0	1.8	1.9	1.8
リノレン酸 (18:3)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
総飽和脂肪酸	39.3	37.4	39.6	42.4	39.4	43.8	44.6	43.3	47.4
総不飽和脂肪酸	60.7	62.6	60.4	57.6	60.6	56.2	55.4	56.7	52.6

a,b: 異なる文字は5%水準で有意差あり

表10. 稲発酵粗飼料の給与が脂肪酸割合 (%) に及ぼす影響 (埼玉県農業技術研究センター 試験1)

試験区分 供試頭数	皮下脂肪		筋間脂肪	
	試験	対照	試験	対照
ミリスチン酸 (14:0)	2.1	2.4	2.5	2.9
ミリストレイン酸 (14:1)	1.4	1.4	1.2	1.2
パルミチン酸 (16:0)	21.3	23.3	23.9	25.4
パルミトレイン酸 (16:1)	6.0	5.5	4.8	4.7
ステアリン酸 (18:0)	6.5	8.2	10.0	11.1
オレイン酸 (18:1)	60.1	56.2	55.0	51.7
リノール酸 (18:2)	2.0	2.1	1.7	2.0
リノレン酸 (18:3)	0.2	0.1	0.1	0.1
総飽和脂肪酸	30.4	34.7	37.1	40.2
総不飽和脂肪酸	69.6	65.3	62.9	59.8

表11. 稲発酵粗飼料の給与が脂肪酸割合 (%) に及ぼす影響 (埼玉県農業技術研究センター 試験2)

試験区分 供試頭数	皮下脂肪		筋間脂肪	
	試験	対照	試験	対照
ミリスチン酸 (14:0)	3.1	2.5	3.4 ^a	2.9 ^b
ミリストレイン酸 (14:1)	1.6	1.6	1.0	0.9
パルミチン酸 (16:0)	25.3	24.3	28.4	27.7
パルミトレイン酸 (16:1)	6.0	5.9	4.5	4.0
ステアリン酸 (18:0)	9.2	7.7	11.8	11.5
オレイン酸 (18:1)	51.6	54.9	48.1	49.8
リノール酸 (18:2)	2.2	2.2	1.9	2.0
リノレン酸 (18:3)	0.2	0.2	0.1	0.1
総飽和脂肪酸	38.4 ^a	35.1 ^b	44.3	43.0
総不飽和脂肪酸	61.6 ^a	64.9 ^b	55.7	57.0

a,b: 異なる文字は5%水準で有意差あり

考 察

ビタミンEの製剤を肥育牛に肥育終了前に給与して、牛肉にビタミンEを蓄積させることはすでに行われており⁶⁾、ビタミンE製剤を投与した牛肉は、肉色劣化の指標であるメトミオグロビン割合の増加が抑制され、脂質酸化の指標であるTBARS値が抑制されることが示されている。また、植物体のビタミンE含量が多いことを利用して、肥育牛へビタミンEを蓄積させる試みも行われている^{14,15)}。山田ら²⁰⁾ 篠田ら¹⁷⁾ は、稲発酵粗飼料を給与すると牛肉へ α -トコフェールが肉色や脂質の劣化を防止することが可能なレベルまで蓄積することを示した。本試験においても、長野県畜試と千葉県畜総研の全期間区は対照区より α -トコフェール含量が有意に多くなり、埼玉県農技でも試験区は対照区より α -トコフェール含量が有意に多くなった。また長野県畜試、

千葉県畜総研の前後期区は有意ではないが対照区より α -トコフェール含量が多い傾向にあった。したがって、稲発酵粗飼料の給与により牛肉の α -トコフェール含量が多くなり、さらに給与期間が長いほど牛肉中の蓄積量が多くなることが示された。

本試験では、肉色悪化の指標であるメトミオグロビン値と脂質酸化の指標であるTBARS値についても、各試験場で稲発酵粗飼料を給与した区と対照区で有意差が認められた。さらに長野県畜試、千葉県畜総研では全期間区が前後期区より稲発酵粗飼料の給与効果が大きく、稲発酵粗飼料の給与期間が長いほど効果が大きいことが示された。三津本¹⁰⁾ は、牛肉中の α -トコフェール含量と牛肉貯蔵後16日目のメトミオグロビン割合の関係を検討し、 α -トコフェール含量が牛肉1kg当たり3.5mg以上あれば、メトミオグロビン割合を消費者が購買を控える目安となる30~40%以下に抑えることができる

とした。本試験では、稲発酵粗飼料の給与により α -トコフェロールの増加にともない13日目のメトミオグロビン割合が抑制されることを示したが、 α -トコフェロールが3.5mg/牛肉1kgでメトミオグロビン割合は40%を超える値を示した。本試験では、凍結した牛肉を解凍後、冷蔵庫に貯蔵してメトミオグロビン割合とTBRAS値を分析したため、三津本らの結果より高いメトミオグロビン割合を示したと考えられる。

胸最長筋の脂肪含量では、千葉県畜総研の前後期区で高くなったが、これは肥育中期の血液中ビタミンA濃度が前後期区で最も低下し、ビタミンAのコントロールが適切に行われたためとされている³⁾。しかしながら、千葉県畜総研の全期間区、前後期区、対照区の脂肪含量に有意差は認められず、埼玉県農技の2つの試験、長野県畜試の試験においても、対照区と稲発酵粗飼料を給与した区で脂肪含量に有意差がなかった。これらのことから、稲発酵粗飼料の給与により β -カロテンを摂取することによってビタミンAのコントロールが難しくなっても、稲発酵粗飼料の β -カロテンが脂肪含量へ及ぼす影響は小さいのではないかと推察された。剪断力価は、千葉県畜総研の前後期区が有意に小さくなったが、これは前後期区の脂肪含量が高いためであると考えられる。ただ長野県畜試、千葉県畜総研、埼玉県農技の各区の剪断力価は2kg/cm²前後の低い値を示し、非常に軟らかい牛肉であり¹²⁾、稲発酵粗飼料給与が牛肉の軟らかさに及ぼす影響は極めて少なかったと考えられる。

長野県畜試の肥育試験の結果では、皮下脂肪、筋間脂肪で全期間区のオレイン酸割合が対照区より有意に多くなった。千葉県畜総研では筋肉内脂肪で前後期区が、対照区よりオレイン酸割合が有意に多くなった。Juarezら⁵⁾は、肥育期間に去勢牛へ大麦を多給した試験においてビタミンEを添加すると、筋肉内脂肪のオレイン酸割合が有意に増加したことを示しているが、その要因を考察では明らかにしていない。Juarezら⁴⁾、Mapiyeら⁷⁾は、ビタミンEを肥育牛に給与することによって、胸最長筋の筋肉内脂肪においてtrans11-18:1の割合が増加し、trans10-18:1の割合が減少することを示し、その原因として反芻胃での不飽和脂肪酸の水素添加にビタミンEが影響をあたえるのではないかとしている。Pottierら¹⁶⁾は乳牛にビタミンE含量の多い飼料を給与し、乳脂肪中のtrans11-18:1割合が多くなったことを報告しているが、この理由として低繊維、高炭水化物の飼養条件下で減少する繊維分解性細菌の成長と機能をビタミンEが維持することにより、反芻胃内での水素添加が変化するためとしている。これらの研究

は、牛肉および牛乳が人間の健康に及ぼす影響の観点から、ビタミンEの短期間給与が微量なtrans11-18:1とtrans10-18:1割合に与える影響を検討したものであった。本研究では、ビタミンE含量の多い稲発酵粗飼料を肥育用飼料として給与しているが、ビタミンEの長期間摂取が牛肉脂肪中のオレイン酸割合に及ぼす影響はほとんど検討されていない。オレイン酸は牛肉の食味に影響を与えるとされており¹⁹⁾、近年注目されている。稲発酵粗飼料の給与により牛肉中のオレイン酸割合が高くなると稲発酵粗飼料の新たな付加価値を提供することになると考えられる。本件に関しては今後、さらに検討を行う必要があると思われる。

以上より、 α -トコフェロールを豊富に含む稲発酵粗飼料を肥育牛に給与することによって、牛肉に α -トコフェロールが蓄積し、肉色の劣化や脂質の酸化による酸化臭の発生が抑制されることが明らかにされた。これらより、稲発酵粗飼料の給与により牛肉の付加価値向上が期待される。

引用文献

- 1) Folch, J.M., Lees, M. and Stanley, G.H.S. (1957). Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues, *J. Biol. Chem.*, 226, 497-509.
- 2) 井出忠彦・古賀照章 (2009). 稲発酵粗飼料を用いた肉用繁殖牛・肥育牛の給与技術の確立、関東地域における飼料イネの資源循環型生産・利用システムの確立. 最終報告書 II. 研究報告編 (農研機構中央農業総合研究センター編), 農研機構中央農業総合研究センター, つくば, 279-290.
- 3) 石崎重信・山田真希夫 (2008). 稲発酵粗飼料を利用した交雑種去勢牛肥育, 千葉県畜産総合研究センター研究報告, 8, 1-7.
- 4) Juarez, M., Dugan, M.E.R., Aalhus, J.L., Aldai, N., Basarab, J.A., Baron, V.S. and McAllister, T.A. (2010). Dietary vitamin E inhibits the trans 10-18:1 shift in beef backfat, *Canadian J. Anim. Sci.*, 90, 9-12.
- 5) Juarez, M., Dugan, M.E.R., Aalhus, J.L., Aldai, N., Basarab, J.A., Baron, V.S. and McAllister, T.A. (2011). Effects of vitamin E and flaxseed on rumen-derived fatty acid intermediates in beef intramuscular fat, *Meat Sci.*, 88, 434-440.
- 6) Liu, Q., Lanari, M.C. and Schaefer, D.M. (1995).

- A review of dietary vitamin E supplementation for improvement of beef quality, *J. Anim. Sci.*, 73, 3131–3140.
- 7) Mapiye, C., Dugan, M.E.R., Juarez, M., Basarab, J.A., Baron, V.S., Turner, T., Yang, X., Aldi, N. and Aalhus, J.L. (2011). Influence of α -tocopherol supplementation on trans-18:1 and conjugated linoleic acid profiles in beef from steers fed a barley-based diet, *Animal*, 6, 1888–1896.
 - 8) Mitsumoto, M., Cassens, R.G., Schaefer, D.M., Arnold, R.N. and Scheller, K.K. (1991). Improvement of color and lipid stability in beef with dietary vitamin E and vitamin C dip treatment, *J. Food. Sci.*, 56, 1489–1492.
 - 9) Mitsumoto, M., Arnold, R.N., Schaefer, D.M. and Cassens, R.G. (1995). Dietary vitamin E supplementation shifted weight loss from drip to cooking loss in fresh beef longissimus during display, *J. Anim. Sci.*, 73, 2289–2294.
 - 10) 三津本充 (1995). ビタミン E 投与による牛肉品質の安定化, 栄養生理研究会報, 39, 147–156.
 - 11) Muramoto, T., Higashiyama, M. and Kondo, T. (2005). Effect of pasture finishing on beef quality of Japanese shorthorn steers, *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 18, 420–426.
 - 12) 村元隆行・前野かおり・岡田祐季・手塚咲・鎌田丈弘 (2014). 日本短角種牛肉における剪断力価と軟らかさとの関係, 東北畜産学会報, 64, 7–12.
 - 13) 農業・食品産業技術総合研究機構 (2009). 日本飼養標準・肉用牛, 2008年版, 中央畜産会, 東京, 105–109.
 - 14) O'Sullivan, A., O'Sullivan, K., Galvin, K., Moloney, A.P., Troy, D.J. and Kerry, J.P. (2002). Grass silage versus maize silage effects on retail packaged beef quality, *J. Anim. Sci.*, 80, 1556–1563.
 - 15) O'Sullivan, A., O'Sullivan, K., Galvin, K., Moloney, A.P., Troy, D.J. and Kerry, J.P. (2004). Influence of concentrate composition and forage type on retail packaged beef quality, *J. Anim. Sci.*, 82, 2384–2391.
 - 16) Pottier, J., Focant, M., Debier, C., Buysser, G.D., Goffe, C., Mignolet, E., Froidmont, E. and Larondelle, Y. (2006). Effect of dietary vitamin E on rumen pathways and milk fat depression in dairy cows fed high-fat diets, *J. Dairy Sci.*, 89, 685–692.
 - 17) 篠田満・櫛引史郎・新宮博行・上田靖子・村井勝 (2007). 黒毛和種の肥育後期におけるイネホールクロップサイレージ給与が増体, 血液性状および枝肉性状に及ぼす影響, 日本畜産学会報, 78, 201–208.
 - 18) Stewart, M.R., Ziper, M.W. and Watts, B.W. (1965). The use of reflectance spectrophotometry for the assay of raw meat pigments, *J. Food Sci.*, 30, 464–469.
 - 19) Westerling, D.G. and Hedricks, H.B. (1979). Fatty acid composition of bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics, *J. Anim. Sci.*, 48, 1343–1348.
 - 20) 山田知哉・樋口幹人・中西直人 (2012). 稲発酵粗飼料を用いた発酵 TMR 給与が黒毛和種去勢牛の肥育成績ならびに牛肉の抗酸化能に及ぼす影響, 肉用牛研究会報, 92, 4–9.
 - 21) 吉羽宣明 (2008). 稲発酵粗飼料の給与が褐毛和種の肥育成績および牛肉の特性に及ぼす影響, 埼玉県農林総合研究センター研究報告, 8, 25–32.

Effects of Feeding Whole Crop Rice Silage on Meat Quality of Crossbred (Japanese Black × Holstein) and Japanese Brown Cattle

Naoto NAKANISHI, Tadahiko IDE¹, Shigenobu ISHIZAKI², Nobuaki YOSHIBA³,
Tomoya YAMADA and Motohiko ISHIDA⁴

Division of Animal Feeding and Management Research,
Institute of Livestock and Grassland Science, NARO,
Nasushiobara, 329-2793 Japan

¹Nagano Animal Industry Experimental Station,
Shiojiri, 399-0711 Japan

²Chiba Prefectural Livestock Research Center,
Yachimata, 289-1113 Japan

³Saitama Prefectural Livestock Center,
Kumagaya, 360-0102 Japan

⁴Ishikawa Prefectural University,
Nonoichi, 921-8836 Japan

Summary

We investigated the effect of feeding whole crop rice silage (WCRS) on meat quality and fatty acid composition of fattening cattle. Twelve crossbred cattle (Japanese Black × Holstein) were raised in the Nagano Animal Industry Experimental Station and Chiba Prefectural Livestock Research Center. Crossbred cattle were divided into three groups (WF, FF, and control). The WF group was fed WCRS from the age of 8 to 28 months. The FF group was fed WCRS from the age of 8 to 15 months and 22 to 28 months, and also was fed rice straw from the age of 15 to 22 months. The control group was fed timothy hay from the age of 8 to 15 months and rice straw from the age of 15 to 28 months. The α -tocopherol levels of the longissimus muscle (LM) increased in this order: control < FF < WF. The percentage of metmyoglobin in LM was significantly lower in the WF and FF groups than in the control group. The thiobarbituric acidreactive substances (TBARS) numbers of LM were also significantly lower in the WF and FF groups than in the control group. The fat contents and shear force values of LM did not show significant differences among the three groups. The oleic acid percentages of intermuscular and subcutaneous fat were significantly higher in the WF group than in the control group in the Nagano Animal Industry Experimental Station.

Next, we investigated the effects of WCRS feeding on Japanese brown cattle fattened on the farm. Japanese brown heifers were fed WCRS (WCRS group) or rice straw (control group) from the age of 11 to 27 months. In addition, Japanese brown steers were fed WCRS (WCRS group) or Italian ryegrass straw (control group) from the age of 11 to 26 months. In both experiments, LM from the WCRS groups showed higher α -tocopherol concentrations and lower TBARS numbers than the control groups.

These results indicate that WCRS feeding promotes the accumulation of α -tocopherol in LM and stabilizes meat color and lipids.

Key words: rice, silage, beef, α -tocopherol, metmyoglobin