黒毛和種去勢牛への水田副産物の利用に関する実証的研究

筑波大学大学院
生命環境科学研究科
先端農業技術科学専攻
博士（農学）学位論文

髙平　寧子

目　　次

第Ⅰ章　緒論

1.1 黒毛和種去勢牛の飼養方法と特性 ---------- 1

1.2 自給飼料を活用した肉用牛肥育に関する既往の研究 ---------- 2

1.3 本研究の目的と概要 ---------- 5

1.4 キーワード ---------- 6

1.5 図表 ---------- 7

第Ⅱ章　生稲わらサイレージの飼料特性と肥育後期牛への給与が産肉性に及ぼす影響

2.1 緒言 ---------- 11

2.2 材料および方法 ---------- 13

2.3 結果 ---------- 17

2.4 考察 ---------- 19

2.5 要約 ---------- 24

2.6 図表 ---------- 25

第Ⅲ章　生稲わらサイレージおよび生米ぬかを混合した発酵 TMR の飼料特性と肥育後期牛への給与が産肉性に及ぼす影響

１節　生稲わらサイレージおよび生米ぬかを混合した発酵 TMR の特性と肥育牛の採食性

3.1.1 緒言 ---------- 34

3.1.2 材料および方法 ---------- 36
3.1.3 結果 ---------- 39
3.1.4 考察 ---------- 40
3.1.5 要約 ---------- 42
3.1.6 図表 ---------- 43

２節　肥育後期牛への生稲わらサイレージおよび生米ぬかを混合した発酵TMR の給与が産肉性に及ぼす影響
3.2.1 緒言 ---------- 50
3.2.2 材料および方法 ---------- 51
3.2.3 結果 ---------- 55
3.2.4 考察 ---------- 57
3.2.5 要約 ---------- 62
3.2.6 図表 ---------- 63

第Ⅳ章　肥育中後期牛への生稲わらサイレージおよび生米ぬかを混合した発酵TMR の給与が産肉性に及ぼす影響
4.1 緒言 ---------- 74
4.2 材料および方法 ---------- 76
4.3 結果 ---------- 80
4.4 考察 ---------- 83
4.5 要約 ---------- 88
4.6 図表 ---------- 89

第Ⅴ章　総括 ---------- 99

図表 ---------- 107

Summary ---------- 111

引用文献 ---------- 114

謝辞 ---------- 128

略語一覧

DG（日増体量; daily gain）

乾物摂取量（dry matter intake; DMI）

稲発酵粗飼料（rice whole-crop silage; イネ WCS）

可消化養分総量（total digestible nutrients; TDN）

粗蛋白質（crude protein; CP）

粗脂肪（crude fat, ether extract; EE）

アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ（aspartate aminotransferage; AST）

アラニンアミノトランスフェラーゼ（alanine aminotransferage; ALT）

グルタミルトランスペプチターゼ（glutamyl transpeptitage; GGT）

総蛋白（total protein; TP）

アルブミン（albumin; Alb）

血中尿素窒素（blood urea nitrogen; BUN）

カルシウム（calcium;Ca）

無機リン（inorganic phosphorus; IP）

総コレステロール（total cholesterol; T-Cho）

中性脂肪（triglyceride; TG）

グルコース（glucose; Glu）

遊離脂肪酸（nonesterified fatty acid; NEFA）

A/G 比（albmin/globulin ratio）

牛脂肪交雑基準（beef marbling standard score; B.M.S.）

牛脂肪色基準（beef fat standard score; B.F.S.）

牛肉色基準（beef color standard score; B.C.S.）

黒毛和種去勢牛への水田副産物および飼料用米の利用に関する実証的研究

第Ⅰ章　緒論

1.1 黒毛和種去勢牛の飼養方法と特性

肉専用種としてわが国で最も多く飼育されている黒毛和種は、肉質と脂肪交雑に優れるため、生産される肉は国内外問わず高い需要がある。加えて、貴重な遺伝資源としても世界から注目されている（肉用牛研究会 2015）。

黒毛和種の肥育は、8～10 ヵ月齢で体重 290kg 程度の肥育素牛を導入し、約 20 ヵ月間の肥育期間を経て、体重 750kg 程度、29 ヵ月齢以上で出荷するのが一般的である（農林水産省 2015a）。通常、肥育開始から出荷までの肥育期間は体の発育に応じ、前期（8～13 ヵ月齢; 骨・筋肉・第一胃の発達時期）、中期（14～19 ヵ月齢; 脂肪交雑の発達時期）、そして後期（20～26 ヵ月齢; 脂肪質の調整等仕上げの時期）と 3 期に分けられ、それぞれの時期において、粗飼料と濃厚飼料の給与比率や粗飼料の種類、濃厚飼料の TDN や CP 含量、およびビタミン A の添加量を変える（Figure. 1.1）。肥育前期は、濃厚飼料を多給する長期間の肥育に適応させるために良質な粗飼料を多給し、濃厚飼料は肥育中後期に比較して TDN 含量が低く、CP 含量が高いものを給与する。肥育中後期は、濃厚飼料を飽食させ増体や脂肪の蓄積を促す時期である。粗飼料は稲わらが給与され、その給与量は濃厚飼料の 1 割程度と少量である。

枝肉の格付けは歩留等級と肉質等級（脂肪交雑、肉の色沢、肉の締まり及びきめ、脂肪の色沢）で判定される牛枝肉取引規格により実施され（公益社団法人日本食肉格付協会 2014）、格付けの高い枝肉ほど高値で取引される。なかでも、脂肪交雑は黒毛和種去勢牛の枝肉価格に大きく影響する（村田 1988; 広岡ら 1998; 西岡ら 2008）ため、黒毛和種の特性である脂肪交雑の改良を重点に育種改良や飼養技術の改善が進められてきた（向井 2007）。肥育中期にビタミン

A 給与量を制限し、血中ビタミン A 濃度を低下させることで脂肪交雑が向上する（岡ら 1992; Oka ら 1998ab; 松田ら 2004）。このため、肥育中期には、肉質を向上させるためにビタミン A 含量の少ない濃厚飼料を多給し、プロビタミン A である β-カロテン含量の低い乾燥稲わらを少量給与する飼養管理が行われている。しかし、牛の生体内でビタミン A 不足が極度でかつ長期化すると、飼料摂取量や増体の低下（安田と村上 1986; 全国家畜畜産物衛生指導協会 1999）に加え、筋肉水腫（甫立ら 2004）、視力の低下（松田ら 2000）、および肝機能障害（渡辺ら 2010）などの病態を招きやすく、死廃事故や肉質の低下による経済的損出に直結する。

また、肉質を向上させるために肥育期間を長くする傾向があるが、肥育期間が長くなるほど飼料費等の生産費が増加し、内臓脂肪や皮下脂肪などの無駄な脂肪の付着が多くなるとともに肥育効率を低下させることから（山崎 1977; 道後ら 1988）、肥育期間の延長は必ずしも収益性の向上にはつながらない。家畜改良増殖目標では、種畜の改良や飼養管理の改善により出荷月齢を現行の 29 ヵ月齢から 26 ヵ月齢程度にまで短縮させることが、飼料費低減に必要な技術的課題として掲げられている（農林水産省 2015b）。さらに、去勢若齢肥育牛生産費調査（農林水産省 2015c）によると、1 頭当たりの獣医師料及び医薬品費は生産費の約 1%を占める（Table 1.1）ため、肉用牛の健康状態の維持や正常な発育等を促し、かつ、肥育農家の経済的損出を防ぐためには、肉用牛の発育段階等に応じた適切な飼料給与による飼養管理が重要であると考えられる。

1.2 自給飼料を活用した肉用牛肥育に関する既往の研究

脂肪交雑を重視するわが国の肉用種肥育牛の飼養方法は、濃厚飼料を多給する肥育形態が多い。飼料穀物のほとんどは輸入に依存しており、このうち 4 割

をトウモロコシが占めている（農林水産省 2016）。近年、異常気象による不作や新興国における穀物需要拡大等の要因から、輸入トウモロコシは価格の変動が激しく、不安定な供給状態が続いている。さらに、濃厚飼料の農家小売価格は、平成 20 年度以降、トン当たり 6 万円台と高値安定で推移している（農畜産業振興機構 2017）（Figure. 1.2）。わが国の肉用牛肥育経営において、飼料費は生産費の 33.5%と高い割合を占めている（農林水産省 2015c）。また、都府県における TDN 1kg 当たりの自給飼料の生産コストは、輸入粗飼料の購入価格と比較し、TDN 1kg 当たり 3 割程度低減できることが示されている（農林水産省 2017）（Figure. 1.3）

近年の飼料価格の高騰ならびに変動は、購入飼料への依存度が高い肉用牛肥育経営を圧迫するひとつの要因となっている。したがって、自給飼料の活用による購入飼料依存度の低減は、肥育経営の安定化に寄与する極めて重要な課題である。

農林水産省は、平成 22 年度の粗飼料自給率 77%を平成 32 年度には 100%とする目標を掲げており、その対策として水田をはじめとした生産資源を最大限活用することを提唱している（農林水産省 2010）。このような状況において、水田を活用して生産できる稲発酵粗飼料（イネ WCS）、飼料用米、および稲わらの利用は、肉用牛経営における購入飼料依存度並びに飼料費の低減につながる可能性がある。イネ WCS は、輸入配合飼料の価格高騰および飼料自給率向上への対応、さらには政府による「水田フル活用」の助成策が強化されたこと（農畜産業振興機構 2009）などから、国内における平成 27 年の作付面積は、平成 20 年と比較して約 4 倍の 38,226ha と急増している（農林水産省 2016）。

イネ WCS には、β-カロテンが乾燥稲わらに比較して多く含まれている（平岡ら 2003; 大宅ら 2005; 金谷 2007）。そのため、黒毛和種に対しては、繁殖雌牛

（秋友ら 2001）、脂肪交雑の発達時期に影響しない肥育前期（古澤ら 2004）や後期（清水 2005; 篠田ら 2007）に給与されることが多い。生産現場においても、イネ WCS は繁殖雌牛に給与されている事例が散見される。しかし、サイレージ調製前の予乾処理により β-カロテン含量を低減できる（平岡ら 2003; 大宅ら 2005; 金谷 2007）ため、予乾処理をしたイネ WCS であれば、肉用肥育牛の肥育全期間に乾草や稲わらの代替粗飼料として給与可能（髙平ら 2011）であることが明らかとなっている。

稲わらは、肉用牛の粗飼料として不可欠であるが、飼料として利用されるのは国内生産量の 10%にしかすぎない（永西 1998; 社団法人全国農林統計協会連合会 2008）。したがって、稲わらの国内自給率は 85%にとどまっており（農林水産省 2016）、残りの 15%は全て中国からの輸入である。しかし、輸入の稲わらは、口蹄疫等の伝染病の発生状況により輸入が制限あるいは停止する危険性があり、供給状況は不安定である（農林水産省 2016）。そのため、国産稲わらの安定供給と利用拡大は喫緊の課題となっている（永西 2002; 吉田 2002）。国産稲わらの利用率が低い原因として、稲刈り後の天候不順により、十分な天日乾燥ができないことや、降雨後の圃場は軟弱なため、回収機械が入りにくいことがあげられるが、収穫直後の稲わらをサイレージ調製することでこの問題を解消できることが示されている（高橋ら 2005; 社団法人農産漁村文化協会 2009）。生稲わらサイレージは、乾草稲わらに比べて β-カロテン含量が多く含まれている（金谷ら 2008）が、肥育後期牛における給与であれば、脂肪交雑に影響を与えず、採食量の低下等ビタミン A 欠乏症の発生リスクを低減できる（髙平ら 2015）ことが明らかとなっている。

また、玄米のとう精時に副産物として発生する生米ぬかは、TDN 含量が現物で 80.5%と高い飼料素材である（農業・食品産業技術総合研究機構 2010）。農

場副産物であるため安価であり、生米ぬかの給与により、牛肉の風味と相関が高いオレイン酸等の不飽和脂肪酸割合が増加するとの報告（Dryden と Marchello 1970; 浅田ら 2007）もある。

1.3 本研究の目的と概要

肉用肥育牛においては、輸入飼料を中心とした購入飼料を多用する飼養管理が実施されてきたため、品質の安定しない自給飼料は積極的に利用されてこなかった。

酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針（農林水産省 2015b）では、輸入飼料への依存からの脱却や、飼料コスト低減の観点から、イネ WCS や飼料用米等国産飼料の生産・利用による国産飼料生産基盤の確立が技術的な課題とされており､肉用牛経営においても国産飼料の積極的利用が必要である。今後は、国際競争力強化の観点から良質な自給飼料を活用した輸入飼料への依存度が低い飼養管理方法による高品質牛肉生産が求められるため、国産の自給飼料を活用した肉用肥育牛の実証的飼養法の確立が必要である。そこで本研究では、水田由来の自給飼料を活用した肉用肥育牛の飼養技術を確立するため、これら飼料を給与した実証的飼養法について検証する。

本論文では、これらの観点に立ち、第Ⅱ章において生稲わらサイレージの飼料特性や肥育後期黒毛和種去勢牛へ給与した場合の有効性について考察した。第Ⅲ章では、生稲わらサイレージと生米ぬかの給与方法や適正な給与時期を解明するため、発酵 TMR 体系で肥育後期黒毛和種去勢牛へ給与した場合の有効性について考察した。さらに、第Ⅳ章では、生稲わらサイレージと生米ぬかの長期給与が飼養成績に及ぼす影響について解明するため、発酵 TMR 体系で肥育中期から黒毛和種去勢牛へ給与した場合の有効性について考察した。

1.4 キーワード

生稲わらサイレージ（Fresh rice straw silage）

自給飼料（Self-supplying feed）

生米ぬか（Rice bran）

発酵 TMR（Fermented total mixed ration）

黒毛和種去勢牛（Japanese black steers）

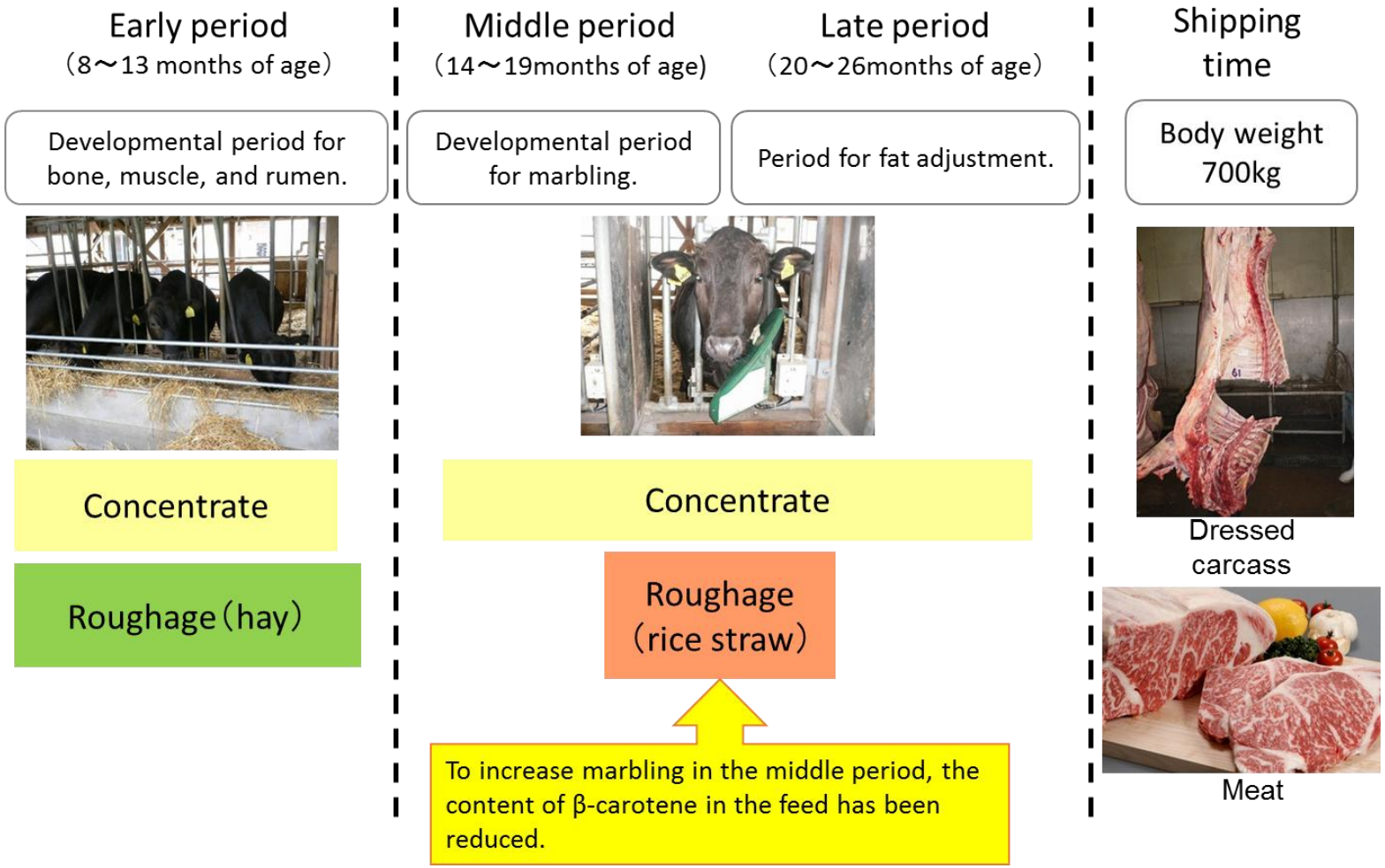

Figure 1.1 General feeding method for cattle fattening

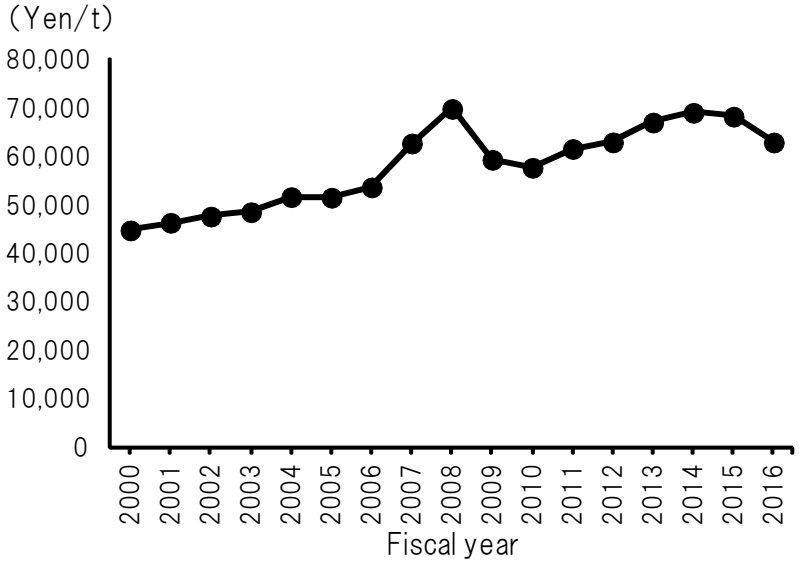

Figure 1.2 Variation in farmers' retail price of mixed feed

Statistical data on supply-demand relationships of livestock products
Agriculture & Livestock Industries Corporation (alic)
http://lin.alic.go.jp/alic/statis/dome/data2/nstatis.htm

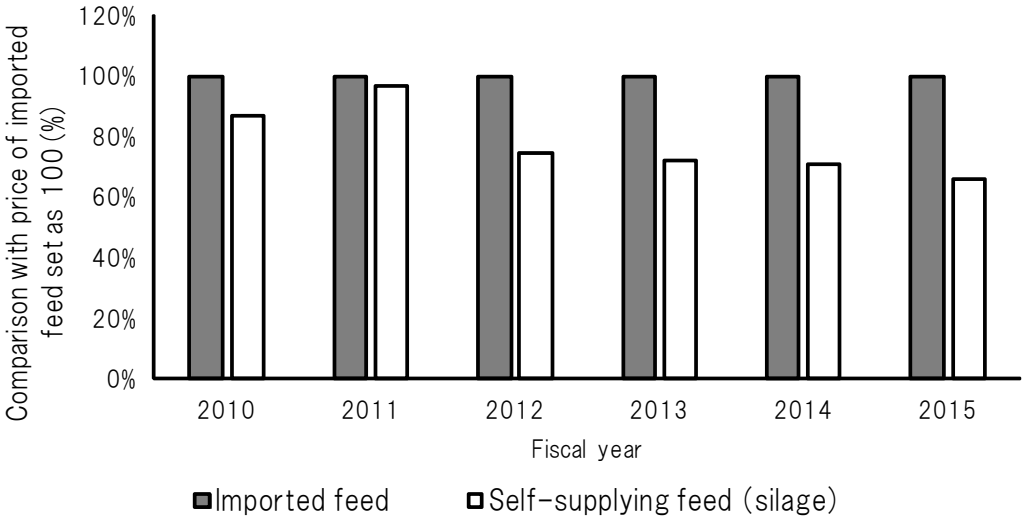

Figure 1.3 Comparison of production costs: self-produced and imported feed

Comparison with price of imported feed set as 100.
From "Shiryou wo meguru jousei [State of Affairs of Feed]" March 2017.

Animal Products Safety Division; Food Safety and Consumer Affairs Bureau; Feed Division; Livestock Industry Department; and Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries.

Table1.1 Production cost of castrated young fattened Japanese Black cattle per head and breakdown of costs

Unit: Yen (%)

Fiscal year	Production costs	Feeder livestock		Feed cost		Veterinary and medicine cost	
2008	966,785	561,339	(58)	335,141	(35)	8,224	(1)
2009	878,746	523,902	(60)	285,016	(32)	8,004	(1)
2010	782,412	433,948	(55)	275,273	(35)	8,148	(1)
2011	802,352	437,761	(55)	290,201	(36)	7,729	(1)
2012	825,976	455,240	(55)	298,818	(36)	8,200	(1)
2013	853,714	457,457	(54)	324,806	(38)	7,981	(1)
2014	907,454	507,188	(56)	328,177	(36)	8,033	(1)
2015	982,100	585,251	(60)	324,077	(33)	8,813	(1)
Average	874,942	495,261	(57)	307,689	(35)	8,142	(1)

Report of Statistical Survey on Farm Management and Economy (Production Cost of Livestock), Statistics Department, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. F.Y.2009～2015

Cumulative cost of production for castrated young fattened cattle per head.

第Ⅱ章　生稲わらサイレージの飼料特性と肥育後期牛への給与が産肉性に及ぼす影響

2.1 緒言

水田地帯において産出される稲わらは、肉用牛の粗飼料として不可欠である（後藤 2002）が、乾燥・収集作業が天候に影響されるため、飼料として利用されるのは国内生産量の 1 割にしかすぎない（永西 1998; 社団法人全国農林統計協会連合会 2008）。また、海外からも稲わらは輸入されているが、口蹄疫等の伝染病の発生状況により輸入が制限あるいは停止されることもあり供給状況は不安定である（農林水産省 2016）。そのため、国産稲わらの安定供給と利用拡大は喫緊の課題となっている（永西 2002; 吉田 2002）。

米の収穫時期は好天が続くことが多いため、圃場の条件が良いうちに稲わらを回収する手段として、収穫直後の稲わらをサイレージ調製する方法が報告されている（高橋ら 2005; 社団法人農産漁村文化協会 2009）。収穫直後の稲わらをサイレージ調製する生稲わらサイレージは、従来から給与されている乾燥稲わらの代替として利用可能と考えられるが、乾燥稲わらに比べて β-カロテン（プロビタミン A）が多く含まれる（金谷ら 2008）。黒毛和種の肥育では、16～21 ヵ月齢の肥育中期にビタミン A の給与量を制限することにより脂肪交雑を高める飼養方法が行われるため、従来から肥育中期の粗飼料として β-カロテン含量の低い乾燥稲わらが利用されてきた。脂肪交雑は肥育中期にもっとも発達し、同時期にビタミン A を制限すると脂肪交雑が高まることから（Oka ら 1998ab; 農林水産技術会議事務局 2000）、肥育中期における生稲わらサイレージの給与が脂肪交雑を抑制する可能性は否定できない。一方、予乾処理して β-カロテン含量を低減した黄熟期の稲発酵粗飼料を肥育全期間に給与しても、脂肪交雑に影響を与えないことが報告されている（髙平ら 2011）。平岡（2007）は、飼料

イネ中の β-カロテン含量を部位別乾物重量割合から算出したところ、葉部が各生育ステージを通じて最も高かったと報告している。したがって、茎葉部だけで構成される生稲わらサイレージの給与は、脂肪交雑の発達を抑制する可能性があるが、水田を活用した飼料資源の普及を進める上で、生稲わらの利用を図ることは重要である。一方で生稲わらサイレージには α-トコフェロールも多く含まれており（金谷ら 2008）、稲発酵粗飼料と同様、肉用肥育牛に給与すると筋肉中の α-トコフェロール含量が高まることから（清水ら 2005; 因野ら 2007）、牛肉の脂質酸化抑制効果が期待できる（Faustman ら 1989; 三津本 1996）。

しかしながら、生稲わらサイレージの給与時期や給与量等について検討した知見はない。そこで本研究では、脂肪交雑への影響が比較的少ない肥育後期牛（20～26 ヵ月齢）を用いて、粗飼料として生稲わらサイレージまたは乾燥稲わらを給与した場合の採食量、増体、血液性状および枝肉成績等を比較、検討した。

2.2 材料および方法

1. 供試牛と試験区分

供試牛は、富山県農林水産総合技術センター畜産研究所で生産および育成された。同一種雄牛を父とする平均月齢 20.3 ヵ月齢の黒毛和種去勢牛 10 頭を用いた。

試験の処理区は、粗飼料として乾燥稲わらを給与する対照区と、生稲わらサイレージを給与する FRSS 区の 2 区を設定し、各区に 5 頭ずつ配置した。

試験期間は、肥育後期に相当する 20～26 ヵ月齢の 6 ヵ月間とした。

2. 試験飼料

濃厚飼料は、市販の配合飼料（TDN 74%、CP 11%（原物中含量））とふすまを用いた。粗飼料は、国産の乾燥稲わら（平均切断長 8.1 ㎝）を対照区に、富山県内で生産・調製された生稲わらサイレージを FRSS 区に給与した。生稲わらサイレージは、自脱型コンバインでの刈り取り直後の切断稲わら（品種名「てんたかく」および「コシヒカリ」、平均切断長 8.5 ㎝）を予乾せずに自走ロールベーラー（SR1230; 株式会社タカキタ、三重）で乳酸菌製剤（畜草 1 号; 雪印種苗、北海道）を添加しながら回収し、サイレージ調製した。粗飼料と濃厚飼料の給与割合は、乾物比 2:8 となるように設定し、これら飼料の化学的成分組成については、供試飼料の配合割合に基づき、日本標準飼料成分表（農業技術研究機構 2001）により算出した（Table 2.1）。

3. 飼料給与方法および飼養管理

供試牛は、各区 2 頭ないし 3 頭の群飼とした。飼料は、濃厚飼料と粗飼料を個体識別給餌ドア（DF-100-B; オリオン機械株式会社、長野）により、分離給

与した。濃厚飼料は当場の慣行法に基づき 1 日 2 回（9:30 と 14:30）、粗飼料は 1 日 1 回（9:30）給与した。粗飼料の乾物給与割合が給与飼料全体の 2 割となる量を想定し、乾物重量で 2 kg/日相当、原物重量で稲わら 2.3 kg/日、生稲わらサイレージ 5 kg/日を給与した。栄養充足率は日本飼養標準肉用牛（農林水産省農林水産技術会議事務局 2000）により算出した。

残飼は毎日 9:00 に回収し、計量した。

飲水はウォーターカップによる自由摂取とし、尿石症予防剤入り鉱塩（固形カウストン; 日本全薬工業株式会社、福島）は自由摂取とした。

なお、供試牛の飼養管理等については、「産業動物の飼養及び保管に関する基準」（環境省 1987）に従って実施した。

4. 測定項目

(1) 飼料の成分分析

供試飼料と残飼のサンプルは、一般分析法（自給飼料品質評価研究会 1994）に基づき乾物含量を測定した。また、粗飼料中の β-カロテン含量および α-トコフェロール含量は、高速液体クロマトグラフィー（LC ワークステーション CLASS-VP、検出器 SPD-10AVvp; 株式会社島津製作所、京都）により測定した（北海道立根釧農業試験場、私信）。

生稲わらサイレージは、数週間毎に 1～2 個を開封した。分析用サンプルは、試験期間中に開封した約 30 個のうち 10 個の開封時に、ベール上部、中央部、下部のそれぞれ表層、中心部から採取して混合した。

(2) 体重および飼料摂取量

体重は、2 週間毎に飼料給与前の 9:00 に測定した。飼料摂取量は、給与量と残飼量から毎日算出した。なお、濃厚飼料と粗飼料の残食はそれぞれ別に計量して算出した。

また、飼料要求率は飼料摂取量を増体量で除して算出した。

(3) 血液の採取と成分分析

血液は、試験開始時から 4 週間毎にヘパリン入り真空採血管を用いて、頸静脈から採取した。採取時刻は飼料給与前の 9:00 に統一した。採取後の血液は直ちに遠心分離（3,000×*g*、30 分、4℃）により血漿を分離して、分析に供するまで－20℃で凍結保存した。

分析項目は、一般成分（AST、ALT、TP、Alb、A/G 比、BUN、Ca、IP、T-Cho、TG、Glu）、レチノール（ビタミン A）、β-カロテンおよび α-トコフェロールとした。血液一般成分については（社）富山市医師会健康管理センターに分析を依頼し、（社）日本臨床化学会常用基準準拠法に基づいて定量した値を用いた。レチノール、β-カロテンおよび α-トコフェロールについては、高速液体クロマトグラフィー（LC ワークステーション CLASS-VP、検出器 SPD-10AVvp; 株式会社島津製作所、京都）を用いて測定した（日本ビタミン学会 1983）。

(4) 枝肉の評価および胸最長筋の分析

枝肉の格付成績は、（株）富山食肉総合センターにおいて（公社）日本食肉格付協会の牛枝肉取引規格により格付されたものを用いた。格付け後、第 7 肋骨部（胸最長筋）を採取したのち、真空包装し、分析に供するまで－20℃

で凍結保存した。分析項目は、脂肪酸組成および α-トコフェロール含量とした。脂肪酸組成については、ミンチにしたサンプルをメチルエステル化後、ガスクロマトグラフィー（GC-14A; 島津製作所、京都）により測定した（Folch ら 1957）。α-トコフェロール含量は、高速液体クロマトグラフ（検出器 RF-535; 株式会社島津製作所、京都）により測定した（財団法人日本食品分析センター 2001）。

5. 統計処理

得られたデータについては、統計パッケージソフト（Stat View 5.0J; SAS Institute、Cary、NC、USA）を用いて統計処理を行った。DMI、DG、飼料要求率、脂肪酸組成、血液性状、および胸最長筋中の α-トコフェロール含量については、給与飼料と給与期間を因子とした分散分析を行い、有意差が認められた場合には Fisher の PLSD 法を用いて 5%水準で有意差の検定を行った。枝肉形質については Mann-Whitney の U 検定を用いて 5%水準で有意差の検定を行った。

2.3 結果

1. 給与粗飼料中の β−カロテンと α−トコフェロール含量

給与粗飼料の乾物中β-カロテンおよびα-トコフェロール含量をTable 2.2に示した。乾燥稲わらのβ-カロテン含量の平均値は2.7 mg/kg、生稲わらサイレージ中の同含量は70.8 mg/kgであった。また、α-トコフェロール含量の平均値は、乾燥稲わらが53.3 mg/kg、生稲わらサイレージが501.8 mg/kgであった。

2. 飼料摂取量、体重、日増体量および飼料要求率

Table 2.3に、肥育期間中の乾物摂取量、体重、日増体量および飼料要求率の各平均値を示した。濃厚飼料摂取量に差はなかったが、FRSS区の粗飼料乾物摂取量は、対照区より有意に高かった。このため、1日あたりの合計乾物摂取量はFRSS区が高まった（$P < 0.05$）。また、1日当たりの平均乾物摂取量を1ヵ月毎に比較すると、22～23ヵ月齢を除きFRSS区が高く推移した（$P < 0.05$）（Figure. 2.1）。

供試牛を出荷した26ヵ月齢時の体重、試験期間における日増体量および飼料要求率は区間に差が認められなかった。

3. 血液性状

血液の一般成分についてTable 2.4に、レチノール、β-カロテンおよびα-トコフェロール濃度についてFigure. 2.2に示した。

試験開始時の20ヵ月齢における血液一般成分では、対照区のASTが若干高い傾向であったが、すべての項目に差が認められなかった。Glu濃度は対照区が試験期間の進行に伴って有意に低下した。また、26ヵ月齢ではFRSS区のBUNおよびTG濃度が対照区に比べて増加した（$P < 0.05$）。

血漿中レチノール濃度は、FRSS 区が対照区に比べて高いレベルで推移した（$P < 0.05$）。なお、対照区では 21 ヵ月齢以降、血漿中レチノール濃度が臨床的正常範囲の下限値（50 IU/dL）以下を示した（西ら 2001）ため、ビタミン A 製剤（デュファゾール A100S; 共立製薬株式会社、東京）を 5 mL（ビタミン A として 50 万 IU）経口投与した。しかし、FRSS 区では血漿中レチノール濃度の下限値への低下やビタミン A 欠乏症の臨床症状は認められず、同製剤の経口投与は不要であった。血漿中 β-カロテン濃度についてもレチノール同様、FRSS 区が対照区に比べて高く推移し、21 および 23 ヵ月齢で有意に高まった。血漿中 α-トコフェロール濃度は、試験期間を通じて対照区ではほぼ一定のレベルで推移したのに対し、FRSS 区では徐々に上昇し、高いレベルで推移した（$P < 0.05$）。

4. 枝肉成績、胸最長筋中の脂肪酸組成および α−トコフェロール含量

枝肉成績については、各項目において試験区間に差が認められなかった（Table 2.5）。また、全ての牛で（社）日本食肉格付協会による B.F.S.の判定は 3 であった。

胸最長筋中の脂肪酸組成に有意な差はなかったが（Table 2.6）、FRSS 区においてリノレン酸がやや高い傾向にあった。また、α-トコフェロール含量は、FRSS 区で有意に高くなった（Figure. 2.3）。

2.4 考察

本研究において、生稲わらサイレージの粗飼料摂取量は、対照区より有意に高かった。

生稲わらサイレージの嗜好性は、肉用繁殖牛を用いた試験で高い傾向であることが報告されている（木部ら 1979）。肉用肥育牛においては既往の知見はないが、生稲わらサイレージは乾燥稲わらに比べて嗜好性が優れていることが推察された。対照区の平均粗飼料摂取量は 0.72 kg/日、摂取割合は 9.5%であったのに対し、FRSS 区はそれぞれ、1.57 kg/日、18.1%に高まった。一般的に肥育中後期の粗飼料摂取量は 1.0～1.2 kg/日であり（全国家畜畜産物衛生指導協会 1999）、粗飼料摂取割合は 15％以下のことが多い（農業・食品産業技術総合研究機構 2009）。本試験における対照区の粗飼料乾物摂取量は一般的な値よりも低いが、8 ヵ月齢から 29 ヵ月齢の肥育全期間に飼料中のビタミン A を無添加（立松ら 1996）、もしくは 18 ヵ月齢以降に体重 1 kgあたり 20～30 IU のビタミン A を添加（甫立ら 2004）した試験と摂取量および摂取割合が同等であった。このことから、本試験の FRSS 区の粗飼料乾物摂取量や摂取割合は、一般的に報告されている値よりも高い水準であったと考えられる。

乳牛を用いた試験では、粗飼料の切断長が短いほど乾物摂取量が増加するとの報告があるが（新出と岩水 2008）、今回給与した粗飼料の切断長は、両区とも平均で 8.1～8.5 cm の範囲にあり、粗飼料乾物摂取量の差はこの切断長に起因するものではないと考えられる。また、発酵飼料では飼料全体の水分含量が 50%以上の場合には、水分含量が 1%増加する度に乾物摂取量は減少すると報告されているが（Chase 1979; 道立畜試・根釧農試 NRC 乳牛飼養標準 2001 年版翻訳プロジェクトチーム 2002）、本研究で給与した FRSS 区の飼料中水分含量は 45%と低く、乾物摂取量の抑制に与える影響は少ないと考えられる。

興味深い結果として、FRSS 区は対照区に比べ試験期間を通して血漿中ビタミン A 濃度が高く推移したことから、生稲わらサイレージの給与によりビタミン A 欠乏症による乾物摂取量の低下を防止できると考えられる。以上のことから、ビタミン A 欠乏症に起因する飼料摂取量の低下が起こりやすい肥育後期において、日増体量に差は認められなかったが 20～26 ヵ月齢における平均乾物摂取量は FRSS 区が有意に高く推移したことから、生稲わらサイレージは、粗飼料摂取量を安定的に維持できる飼料として意義があり、乾物摂取量が抑制されやすい肥育後期の粗飼料として有効であると考えられる。

両区の枝肉成績は同様であり、血液一般成分についても一部の項目において処理区間に違いはあったものの、いずれも正常値の範囲内（久保と友田 1991; 全国家畜畜産物衛生指導協会 1999）であった。対照区の血漿中 Glu 濃度は試験期間の経過に伴って有意に低下したが、FRSS 区では 72～74 mg/dL の範囲で安定的に推移した。血漿中 Glu 濃度は、エネルギーの過不足やストレス、あるいは乾物摂取量により変動する（全国家畜畜産物衛生指導協会 1999）。FRSS 区の血漿中 Glu 濃度が高く推移したのは、試験期間を通して FRSS 区の粗飼料乾物摂取量が対照区よりも高く、かつ安定的に推移したことと関連があると考えられた。血漿中のレチノール濃度は対照区において正常範囲を下回る時期が認められたのに対し、FRSS 区の同濃度は正常範囲内で安定的に推移した。血漿レチノール濃度の低下は生体内のビタミン A 不足の指標となり（全国家畜畜産物衛生指導協会 1999）、牛の生体内でのビタミン A 不足は飼料摂取量や増体の低下を招来する（安田と村上 1986; 全国家畜畜産物衛生指導協会 1999）。西ら（2001）は、黒毛和種肥育牛の乾物摂取量は血漿中ビタミン A 濃度 50 IU/dL 以下から次第に低下し始め、30 IU/dL を下回ると急激に低下すると報告している。肥育牛の肉質評価は脂肪交雑を重視することから、ビタミン A 含量の少ない

濃厚飼料の多給とβ-カロテン含量の少ない稲わらを給与する飼養体系が一般的である。このため、肥育中期以降ではビタミン A 欠乏に陥りやすい（全国家畜畜産物衛生指導協会 1999）。刈り取り直後の稲わらには、プロビタミン A のひとつである β-カロテンが多く含まれており（金谷ら 2010）、本試験で給与した生稲わらサイレージは刈り取り直後の稲わらを予乾せずにサイレージ調製したため、β-カロテン含量の平均値が 70.8 mg/kg と乾燥稲わらの約 20 倍多く含まれていた。乾燥稲わらを給与した対照区では、21 ヵ月齢以降、血漿中レチノール濃度が正常範囲よりも低下したためにビタミン A 製剤を経口投与したのに対し、生稲わらサイレージは豊富な β-カロテンを含んでいるため、試験期間を通してビタミン A 欠乏は起こらなかった。さらに、本試験では 20～26 ヵ月齢の肥育後期に生稲わらサイレージの給与は脂肪交雑や枝肉成績の低下につながらなかった。したがって、本研究の結果は、肥育後期牛への生稲わらサイレージの給与により飼料摂取量の低下やビタミン A 欠乏症のリスクを回避できるとともに、脂肪交雑も乾燥稲わらを給与した対照区と遜色ないことを示す初めての知見である。

一般に、長期間の生草やサイレージの摂取により、体脂肪が黄色化するが（農業・食品産業技術総合研究機構 2009）、これは生草やトウモロコシ由来の高濃度β-カロテンの脂肪組織への蓄積であるとされている（安田ら 1970; 堤ら 1994; 中村ら 2010）。体脂肪の黄色化は枝肉評価の低下に直結するが、今回の6ヵ月間に渡る長期の給与試験でのB.F.S.は全頭が3であり、生稲わらサイレージ中の β-カロテンに起因する脂肪の黄色化は認められなかった。

血漿中の α-トコフェロール濃度は FRSS 区で有意に高く推移し、胸最長筋中の α-トコフェロール含量も FRSS 区で高くなった（$P < 0.05$）。α-トコフェロールは抗酸化能を有するビタミン E のひとつで、β、γ および δ を含めた 4 種類の

トコフェロールの中で最も生理活性が高い（日本ビタミン学会編 1983）。三津本ら（1995）は、と畜 4 週間前の黒毛和種去勢牛にビタミン E（酢酸 dl-α-トコフェロール）を経口投与したところ、1 週間後には血漿中 α-トコフェロール濃度が増加し、と畜前血漿や肝臓、腎臓脂肪および半腱様筋中の濃度も無投与牛に比べて増加したと述べている。このような飼料添加の他に、筋肉中の α-トコフェロール含量は、放牧（Yang ら 2002; 谷本ら 2004）や稲発酵粗飼料の給与（清水ら 2005; 因野ら 2007）によっても増加することが報告されている。また、食肉や脂肪中の α-トコフェロール含量が組織の酸化抑制に影響するとの報告も多数ある。Faustman ら（1989）は、牛肉中の α-トコフェロール含量が 0.3 mg/100g 含まれていれば牛肉中の色素と脂肪の酸化が遅れるため、牛肉の変色が抑制されることを認めている。また、三津本（1996）は、牛肉の脂質酸化を抑制するためには、筋肉中に 0.35 mg /100g の α-トコフェロール濃度の蓄積が必要であると述べている。

本試験で給与した生稲わらサイレージ中の α-トコフェロール含量は約 500 mg/kg であり、乾燥稲わらに比べて 10 倍程度高かった。刈り取り直後の稲わらには β-カロテンと同様に α-トコフェロールが多く含まれている（金谷ら 2008; 金谷ら 2010）。α-トコフェロール含量は、予乾を行っても β-カロテンほど減少はせず、サイレージ調製後においても貯蔵日数の経過に伴う減少は緩やかであると報告されている（金谷ら 2010）。本試験では、血漿中の α-トコフェロール濃度も、試験開始とともに対照区に比べて FRSS 区で有意に上昇したことから、胸最長筋中の α-トコフェロール含量の増加は生稲わらサイレージ給与の影響であると考えられた。また、FRSS 区の胸最長筋中の α-トコフェロール含量は 1.2 mg/100g であり、抗酸化を発現するとされる報告の含量を大きく上回った。五訂増補食品成分表（香川 2008）には、和牛肉リブロース赤身中の α-トコフェ

ロール含量は 0.5 mg/100g と記載されており、この値は、本試験における対照区の平均値 0.4 mg/100g とほぼ同等である。したがって、生稲わらサイレージを肉用肥育牛に給与することは、牛肉中の α-トコフェロールを高める手段として有効であり、牛肉の脂質酸化の抑制や肉色の保持効果が期待できる。

以上の結果から、生稲わらサイレージは、黒毛和種去勢牛の肥育後期に相当する 20～26 ヵ月齢における粗飼料として利用可能であると考えられた。さらに、ビタミン A 欠乏症および飼料摂取率低下のリスクを回避でき、牛肉中の抗酸化機能を高く維持できる可能性がある。

そこで、第Ⅲ章では、生稲わらサイレージの様々な給与方法の検討および国産飼料の利用率向上を図る目的で生稲わらサイレージと食用米副産物を混合した発酵 TMR の調製給与技術について検討した。

2.5 要約

黒毛和種去勢牛への生稲わらサイレージの給与効果について明らかにするため、肥育後期（20～26 ヵ月齢）の牛を用いて、乾燥稲わら給与（対照区）との比較給与試験を実施した。生稲わらサイレージの乾物摂取量は、乾燥稲わらよりも有意に高かった。生稲わらサイレージの給与により血漿中レチノール濃度の低下が抑えられ、α-トコフェロール濃度は増加した。以上のことから、生稲わらサイレージの給与は、採食量の低下等ビタミン A 欠乏症の発生リスクを低減できる可能性があり、かつ脂肪交雑に影響を与えないことから肥育後期の粗飼料として活用できると考えられた。さらに、牛肉中（胸最長筋）の α-トコフェロール含量を高めるため、牛肉の付加価値化につながる可能性が示唆された。

2.6 図表

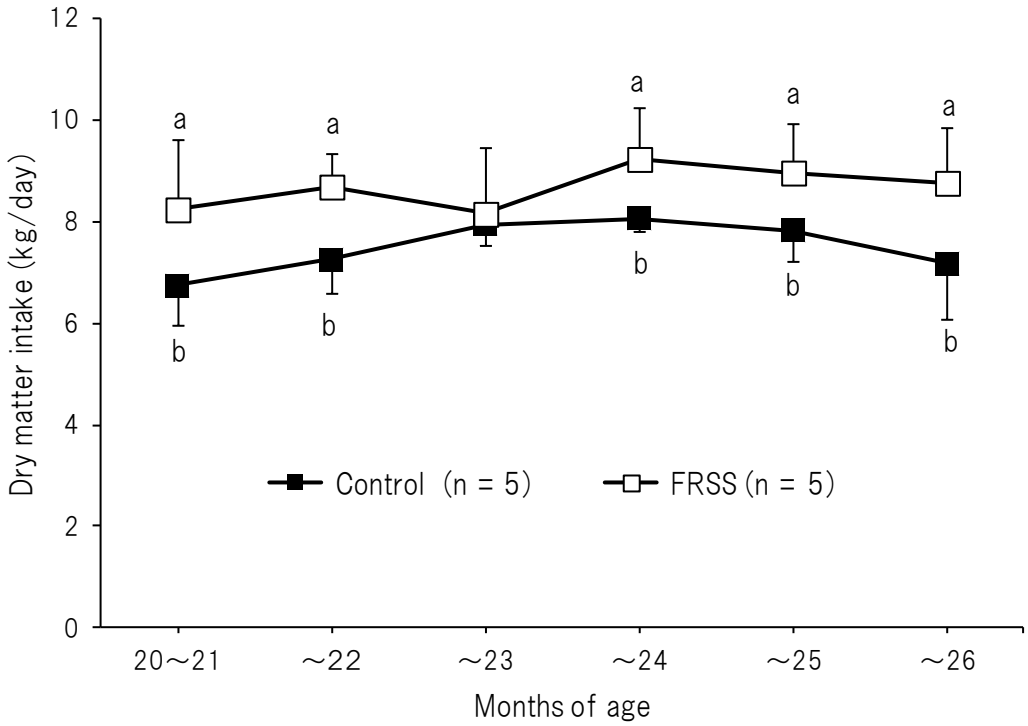

Figure. 2.1 Changes in dry matter intake in Japanese black steers during the fattening period

FRSS; fresh rice straw silage feeding group.
Symbols and error bars represent the mean and standard deviation.
The different letters (a, b) denote significant differences ($P < 0.05$).

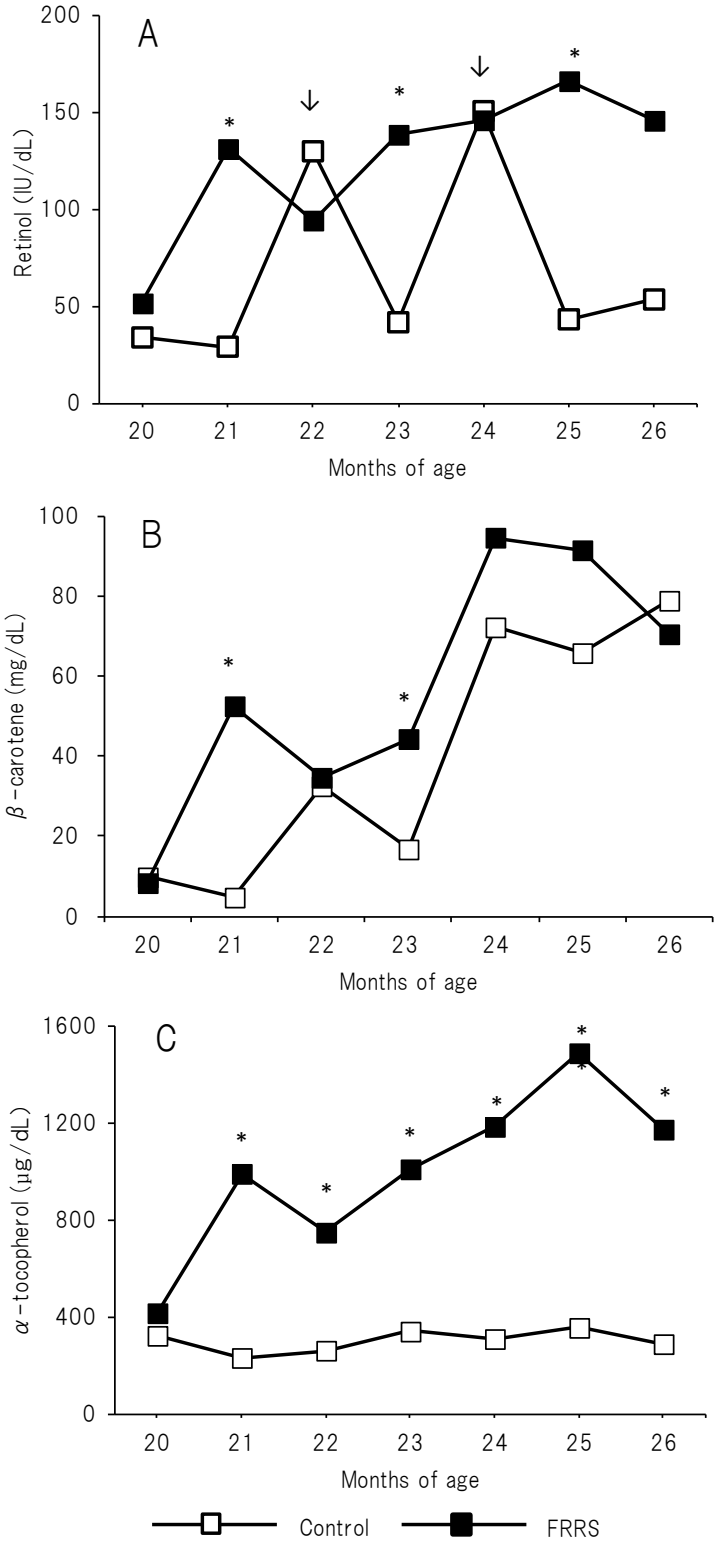

Figure. 2.2 Changes in plasma retinol (A), β-carotene (B) and α-tocopherol (C) concentration in Japanese black steers during the fattening period

FRSS; fresh rice straw silage feeding group.
The arrow indicates that the control group was given an oral preparation of vitamin A.
*, $P < 0.05$.

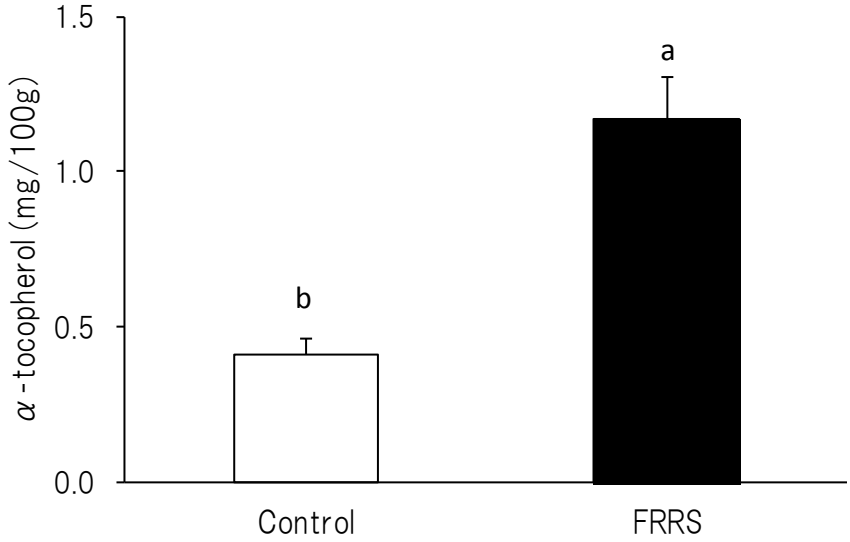

Figure. 2.3 Effects of feeding fresh rice straw silage on α-tocopherol concentration of the longissimus thoracis muscle in Japanese black steers

FRSS; fresh rice straw silage feeding group.
Mean ± standard deviation.
The different letters (a,b) denote significant differences ($P < 0.05$).

Table 2.1 Composition of feed ingredients and chemical composition of control and experimental diets

	Control	FRSS[1)]
Ingredients (% DM)		
Commercial concentrate[2)]	74.6	74.8
Wheat bran	5.2	5.2
Fresh rice straw silage	—	20.0
Dry rice straw	20.2	—
Chemical composition[3)]		
Dry matter (%)	87.9	55.0
Total digestible nutrients (% DM)	75.2	74.8
Crude protein (% DM)	10.9	10.9
Non fibrous carbohydrates (% DM)	42.9	42.4
Ether extracts (% DM)	3.2	3.3
Calcium (% DM)	0.4	0.4
Phosphorus (% DM)	0.5	0.5

[1)]FRSS; fresh rice straw silage.

[2)]TDN 74.0%, CP 11.0%

[3)]This data was calcurated using Standard Table of Feed Composition in Japan National Agricultural Research Organization (2001).

Table 2.2 β-carotene and α-tocopherol content of experimental diets

	n	β-carotene (mg/kg)	α-tocopherol (mg/kg)
Dry rice straw	4	2.7 ± 2.2	53.3 ± 34.5
Fresh rice straw silage	10	70.8 ± 63.5	501.8 ± 232.6

Mean ± standard deviation.

Table 2.3 Effects of feeding fresh rice straw silage on dry matter intake, growth performance, and feed conversion in Japanese black steers during the fattening period

	Control (n = 5)	FRSS (n = 5)
Dry matter intake (kg/day)		
Concentrate	6.82 ± 0.34	7.09 ± 0.60
Roughage	0.72 ± 0.17[b]	1.57 ± 0.38[a]
Total	7.54 ± 0.48[b]	8.66 ± 0.89[a]
Growth performance		
Initial weight (kg)	520 ± 21	543 ± 45
Final weight (kg)	638 ± 29	678 ± 65
Daily gain (kg/day)	0.64 ± 0.13	0.74 ± 0.14
Feed conversion	12.2 ± 2.4	11.8 ± 1.2

FRSS; fresh rice straw silage feeding group.

Mean ± standard deviation.

The different letters (a, b) denote significant differences ($P < 0.05$).

Table 2.4 Changes in blood components in Japanese black steers during the fattening period

Item	Unit	20months			23months			26months		
		Control	FRSS		Control	FRSS		Control	FRSS	
AST	U/L	74.4 ± 16.4	58.6 ± 8.3	†	63.8 ± 19.7	57.2 ± 6.7	NS	73.4 ± 25.9	56.0 ± 3.8	NS
ALT	U/L	18.2 ± 3.8	19.4 ± 2.7	NS	17.0 ± 2.4	19.2 ± 2.4	NS	18.0 ± 2.5	19.4 ± 2.1	NS
T P	mg/dL	6.8 ± 0.4	7.2 ± 0.2	NS	7.0 ± 0.3	7.1 ± 0.1	NS	7.0 ± 0.3	6.9 ± 0.1	NS
A l b	mg/dL	3.5 ± 0.2	3.7 ± 0.1	NS	3.5 ± 0.1	3.7 ± 0.1	*	3.4 ± 0.1	3.6 ± 0.2	†
A/G ratio		1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.1	NS	1.0 ± 0.1	1.0 ± 0.1	†	0.9 ± 0.0	1.1 ± 0.1	*
BUN	mg/dL	16.5 ± 0.8	16.7 ± 2.1	NS	17.9 ± 3.8	16.7 ± 2.4	NS	14.5 ± 2.0	17.6 ± 1.4	*
Ca	mg/dL	9.6 ± 0.6	9.8 ± 0.4	NS	9.6 ± 0.5	9.7 ± 0.3	NS	9.7 ± 0.3	9.4 ± 0.3	NS
I P	mg/dL	7.2 ± 0.7	7.3 ± 0.8	NS	7.3 ± 1.1	6.4 ± 0.3	NS	6.8 ± 0.5	7.1 ± 0.4	NS
T-Cho	mg/dL	149.8 ± 26.1	177.0 ± 27.1	NS	148.2 ± 28.4	156.2 ± 26.9	NS	138.8 ± 29.4	172.2 ± 33.6	NS
TG	mg/dL	25.8 ± 3.8	33.0 ± 10.3	NS	25.8 ± 6.2	31.4 ± 4.5	†	25.2 ± 4.3	35.8 ± 7.4	*
G l u	mg/dL	73.4 ± 3.2	73.6 ± 6.0	NS	69.6 ± 2.9	74.4 ± 4.2	NS	65.8 ± 2.7	71.8 ± 3.3	†

AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferage; TP, total protein; Alb, albumin; BUN, blood urea nitrogen; Ca, calcium; IP, inorganic phosphorus; T-Cho, total cholesterol; TG, triglyceride; Glu, glucose.

FRSS; fresh rice straw silage feeding group.

Mean ± standard deviation.

NS, not significant ; *, $P < 0.05$; †, $P < 0.1$.

Table 2.5 Effects of feeding fresh rice straw silage on carcass trait of Japanese black steers during the fattening period

	Control (n = 5)		FRSS (n = 5)	
Carcass weight (kg)	395.7 ± 18.3		412.5 ± 41.5	NS
Lib eye area (cm^2)	45.4 ± 4.3		46.4 ± 2.2	NS
Rib thickness (cm)	6.9 ± 0.9		7.4 ± 0.6	NS
Subcutaneous fat thickness (cm)	1.8 ± 0.2		1.8 ± 0.5	NS
Yield estimate	73.4 ± 1.1		73.6 ± 0.3	NS
Beef marbling standard score	5.2 ± 1.6		4.0 ± 0.7	NS
Beef color standard score	3.4 ± 0.5		4.0 ± 0.7	NS
Beef fat standard score	3.0		3.0	NS
Quality grade	4.0 ± 0.7		4.0 ± 0.7	NS

FRSS; fresh rice straw silage feeding group.

Mean ± standard deviation.

NS, not significant.

Carcass score graded by Japan Meat Grading Association.

Table 2.6 Effects of feeding fresh rice straw silage on fatty acid composition of the longissimus thoracis muscle in Japanese black steers

	Control (n = 5)	FRSS (n = 5)	
Fatty acid composition (%)			
C14:0	1.7 ± 0.2	1.9 ± 0.6	NS
C14:1	1.0 ± 0.2	1.3 ± 0.7	NS
C16:0	22.7 ± 1.3	23.3 ± 1.1	NS
C16:1	8.0 ± 0.6	7.7 ± 0.9	NS
C18:0	9.6 ± 1.2	9.8 ± 0.7	NS
C18:1	53.9 ± 1.1	52.0 ± 4.0	NS
C18:2	2.2 ± 0.3	3.0 ± 1.8	NS
C18:3	0.8 ± 0.2	1.0 ± 0.2	NS
MUFA	62.9 ± 1.6	61.0 ± 2.7	NS
PUFA	3.1 ± 0.5	4.0 ± 1.9	NS

FRSS; fresh rice straw silage feeding group.

C14:0, myristic asid; C14:1, myristoleic acid; C16:0, palmitic acid; C16:1, palmitoleic acid; C18:0, stearic acid; C18:1, oleic acid; C18:2, linoleic acid; C18:3, linolenic acid; MUFA, Monounsaturated fatty acids; PUFA, Polyunsaturated fatty acids.

Mean ± standard deviation.

NS, not significant.

第Ⅲ章　生稲わらサイレージおよび生米ぬかを混合した発酵 TMR の飼料特性と肥育後期牛への給与が産肉性に及ぼす影響

１節　生稲わらサイレージおよび生米ぬかを混合した発酵 TMR の特性と肥育牛の採食性

3.1.1 緒言

第Ⅱ章では、黒毛和種去勢牛への生稲わらサイレージの給与効果について明らかにするため、肥育後期（20～26 ヵ月齢）の牛を用いて、乾燥稲わらを給与する対照区との比較給与試験を実施した。その結果、生稲わらサイレージの給与は、ビタミン A 欠乏症の発生リスクを低減できる可能性があり、かつ脂肪交雑に影響を与えないことから肥育後期の粗飼料として活用できることを明らかにした。しかし、一般的にサイレージ開封後は、空気に触れることによって、酵母や糸状菌が増殖し、二次発酵（好気的変敗）が起こる（大山と柾木 1971）。したがって、生稲わらサイレージの開封後は速やかに給与することが望ましいが、飼養規模によっては開封後の生稲わらサイレージを使いきれず、好気的変敗が起こることが懸念される。これらのことから、生稲わらサイレージ開封後の品質を安定的に保つ方法を検討する必要がある。

水田副産物のひとつである玄米精白後の脱脂されていない生米ぬかは、脂肪やエネルギー含量が多く飼料価値が高いが、脂質酸化が急激に進むため、飼料原料としては脱脂米ぬかが一般的に利用されている。しかし、肉用肥育牛への米ぬか給与により、牛肉の風味と相関が高いオレイン酸等の不飽和脂肪酸割合の増加（Dryden と Marchello1970; 浅田ら 2007）や、米ぬかに多く含まれる α-トコフェロールによると畜後の肉に対する肉色保持の効果（三津本ら 1995; 篠田ら 2003）が報告されていることから、生米ぬかは飼料原料として有用であると考えられる。

粗飼料と濃厚飼料をあらかじめ混合し、適切な養分濃度を保証したうえで自由採食させる混合飼料（Total Mixed Ration; TMR）は、主として乳用牛の省力的飼料給与技術として発達した（古本 2002）。また、近年、地域で生産される自給飼料や農場副産物など高水分な材料を利用した発酵 TMR の利用が全国的に普及しつつある（荒木と塩谷 2007）。発酵 TMR は保存ができるため、大量一括調製が可能となり、飼料調製の労働力を分散でき、サイレージや食品残渣などの高水分な低・未利用資源が利用可能である。さらに、単品では嗜好性の悪い低品質飼料資源を活用しても発酵 TMR ならば家畜の嗜好性の改善が期待できるなどの利点がある（塩谷 2008）。

富山県は、耕地面積に占める水田の割合が 95.7%と高い（農林水産省 2015d）。したがって、稲わらや米ぬかなどの水田副産物は産出量が多く、飼料原料として比較的入手しやすい素材である。生米ぬかや生稲わらサイレージなどの水田副産物を肉用牛向け発酵 TMR の材料として利用することは、飼料自給率向上や飼料費低減の観点から有望と考えられる。しかし、これら水田副産物を発酵 TMR の材料として利用した場合の発酵過程における脂質の酸化や開封後の好気的変敗、および肉用肥育牛への採食性については明らかではない。

そこで、本節では、生米ぬかや生稲わらサイレージを混合した発酵 TMR の特性を明らかにするため、生米ぬかと生稲わらサイレージを混合した発酵 TMR を調製し、その発酵品質や開封後の貯蔵性について検討した。さらに、黒毛和種去勢牛に対する採食性について、生米ぬかの混合割合を変えた 2 種類の発酵 TMR と、市販配合飼料と乾燥稲わらを分離給与する慣行給与法を対照区として比較検討を行った。

3.1.2 材料および方法

1. 発酵 TMR の特性

(1) 試験飼料の調製

市販配合飼料（TDN 74%、CP 11%、（原物中含量））にふすま、大豆粕、もみがら、および生稲わらサイレージ等に生米ぬかを乾物中 0%、6.6%および12.8%を加え、飼料撹拌機（CS コンプリートフィーダー; 株式会社チュウチク、愛知）で 20 分間混合した 3 種類の TMR を調製した（Table 3.3.1）。調製後の TMR は、60 リットルのプラスチックドラムに入れ、7 週間貯蔵後に開封した。

(2) 分析項目および測定方法

脂質の酸化程度を示す過酸化物価（Peroxide Value: POV）およびカルボニル価（Carbonyl Value: CV）、発酵品質を示す有機酸含量について調査した。また、好気的安定性を調査するため、開封後の発酵 TMR を発泡スチロール製容器に入れ、開放状態で屋内に 7 日間放置し、経時的に品温を測定した。

POV および CV については、衛生試験法・注解（日本薬学会編 2000）に記載されている方法により、有機酸含量については、常法（自給飼料品質評価研究会編 1994）により分析をおこなった。

2. 生米ぬかや生稲わらサイレージを混合した発酵 TMR の採食性

(1) 供試牛と試験方法

富山県農林水産総合技術センター畜産研究所で飼養されている黒毛和種去勢牛 6 頭（平均月齢 21.2 ヵ月齢）を用いた。供試牛 2 頭を 1 群とし、試験期間を 1 期 14 日（馴致期間 11 日、本期間 3 日）とする Switch back design を用いた 3×3 ラテン方格法により実施した。

(2) 飼料構成、飼養管理および調査項目

市販配合飼料と乾燥稲わらを分離給与する慣行給与法である対照区、市販配合飼料や生稲わらサイレージ等に生米ぬかを乾物中 6.6%加えて調製した発酵 TMR を給与する生米ぬか 6.6%TMR 区（RB6.6%TMR 区）、および生米ぬかを 12.8%加えて調製した発酵 TMR を給与する生米ぬか 12.8%TMR 区（RB12.8%TMR 区）の 3 試験区を設定した。各区の飼料とも給与飼料中の TDN 含量および CP 含量がほぼ同一になるように調製した（Table 3.1.2）。

発酵 TMR は、材料を飼料撹拌機（CS コンプリートフィーダー; 株式会社チュウチク、愛知）で 20 分間混合し、内袋（ポリ塩化ビニール製: 厚さ 75 μm）入りのトランスバックに詰め込み、脱気を行った後に密封貯蔵した。供試牛は、各区 2 頭の群飼とした。飼料は、個体識別給餌ドア（DF-100-B; オリオン機械株式会社、長野）により、1 日 2 回（9:30 と 14:30）、乾物 10 kg を目安に飽食給与（発酵 TMR 給与区は 16 kg/日/頭、対照区は、配合飼料 8 kg/日/頭と乾燥稲わら 2 kg/日/頭）し、残飼は毎日 9:00 に回収、計量した。

飲水はウォーターカップによる自由摂取とし、鉱塩（固形カウストン; 日本全薬工業株式会社、福島）は自由摂取とした。

なお、供試牛の飼養管理等については、「産業動物の飼養及び保管に関する基準」（環境省 1987）に従って実施した。

調査項目は、乾物摂取量、血液性状（AST、T-Cho、BUN、Glu、Alb、TP、NEFA、A/G 比、Ca、IP）、胃液性状（アンモニア態窒素）とした。

血液は、試験開始前および各期 14 日目の飼料給与前の 9:00 に、頸静脈からヘパリン入り真空採血管に採取した。採取後の血液は遠心（3,000×*g*、30 分、4℃）して血漿を分離し、分析に供するまで－20℃で凍結保存した。

第一胃内容液については、ルーメンカテーテル（富士平工業株式会社、東京）

を用いて、試験開始前および各期 14 日目の採血後に採取した。採取後の胃液は直ちに二重ガーゼで濾過し、分析用サンプルとした。

血液成分については（社）富山市医師会健康管理センターに分析を依頼し、（社）日本臨床化学会常用基準準拠法に基づいて定量した値を用いた。第一胃内容液のアンモニア態窒素については、コンウェイの微量拡散法により定量分析した。

3. 統計処理

発酵 TMR の発酵品質の各データは、統計パッケージソフト（Stat View 5.0J; SAS Institute、Cary、NC、USA）を用いて、生米ぬかの混合割合と貯蔵期間を因子とする二元配置による分散分析を行い、5%水準で有意差の検定を行った。また、採食性調査における各データについては、Switch back design を用いた 3×3 ラテン方格法による分散分析（吉田 1975）を Microsoft Excel を用いて実施し、5%水準で有意差の検定を行った。

3.1.3 結果

1. 発酵 TMR の特性

発酵 TMR の貯蔵期間は、35 日から 55 日であった。pH は 4.1 から 4.2 と差がなかったが、有機酸含量については、生米ぬかの混合割合の増加に伴い、乳酸および酢酸含量が有意に増加した。また、脂質酸化の指標である POV は、開封直後が 8～9 meq/kg、開封後 7 日目が 5～13 meq/kg であり、著しい値の増加は認められなかった。CV についても、開封直後が 9～16 meq/kg、開封後 7 日目が 16～25 meq/kg であり、これについても著しい値の増加は認められなかった（Table 3.1.3）。

3 種類の発酵 TMR を開放状態で 7 日間放置し、品温を調査したところ、生米ぬかの混合割合が 0%の発酵 TMR は、開封後 4 日目から品温が上昇したが、生米ぬかを混合した 2 種類の発酵 TMR については、調査期間を通して品温の上昇は認められなかった（Figure. 3.1.1）。

2. 生米ぬかや生稲わらサイレージを混合した発酵 TMR の採食性

1 日あたりの乾物摂取量は、対照区よりも両発酵 TMR 給与区が高かった（$P < 0.05$）（Figure. 3.1.2）。第一胃内容液のアンモニア態窒素濃度は両発酵 TMR 給与区で高い傾向にあった（Table 3.1.4）。血液性状については、対照区に比べ、両発酵 TMR 区で IP 濃度が、有意差はないものの高い傾向にあった。BUN 濃度は、いずれの区も試験開始前の 14.3 mg/dL と比較し高い傾向にあったが、各区とも有意差はなかった。その他の項目については、有意差は認められず、いずれも正常範囲内であった（Table 3.1.5）。

3.1.4 考察

一般に発酵 TMR は、未発酵の TMR と比較し、好気的条件下において、品温が変化しにくいとの報告がある（平岡ら 2005）。今回調製した 3 種類の発酵 TMR について開封後の品温を測定したところ、生米ぬかの混合割合が 0%の発酵 TMR は開封後 4 日目まで、生米ぬかを混合した 2 種類の発酵 TMR については調査期間を通して品温の上昇は認められなかった。この結果は、平岡ら（2005）の報告同様、生米ぬかと生稲わらサイレージを混合した発酵 TMR は開封後の品温が安定していることを明らかにした。

POV は、油脂の初期の酸化変敗において毒性の強い過酸化物の増加とともに上昇し、初期の変質程度を把握するうえで有効な測定値である。また、CV は油脂の酸化度、品質管理、酸化に対する抵抗性評価の尺度となる値である（入江 2000）。飼料用として流通している動物性油脂の POV は 0.5～20 meq/kg の範囲にある（飼料分析基準研究会 1998）。家畜の飼料について CV の安全性の基準値はないが、入江ら（1982）は残飯養豚に用いられている厨芥の値の平均は 48.9 meq/kg であり、家畜に対する顕著な障害例は認められなかったと述べている。

発酵 TMR の材料に生米ぬかを混合することで脂質の酸化が懸念されたが、生米ぬかを 13%程度混合しても、POV や CV は、既報（入江ら 1982; 飼料分析基準研究会 1998）の値と同程度かそれ以下であったため、生米ぬかを発酵 TMR の材料としても、脂質の酸化については問題ないと考えられた。

また、発酵品質は pH が 4.1 から 4.2 と低く、乳酸および酢酸含量が高い良質なものであった。これらのことから、生米ぬかは発酵 TMR の材料として利用可能であると考えられた。しかしながら、生米ぬかを発酵 TMR に混合することによる、脂質酸化の抑制については不明な点が多く、その理由については今

後の検討課題であると考えられる。

生米ぬかと生稲わらサイレージを混合した発酵 TMR の採食性について調査した結果、市販配合飼料と乾燥稲わらを分離給与する対照区に比べ発酵 TMR 区の乾物摂取量が高かったことから、黒毛和種去勢牛における発酵 TMR の採食性は優れることが明らかとなった。血液性状は、対照区に比べ、両発酵 TMR 区で IP 濃度が高い傾向にあった。浅田ら（2007）は濃厚飼料給与量の 8%量の米ぬかを給与した場合、米ぬか給与区で血中 IP 濃度が高く推移すると報告しており、今回の試験でも同様な結果となった。この理由として、生米ぬか中には、他の濃厚飼料に比べてリンが多く含まれている（農業・食品産業技術総合研究機構 2010）ことが影響したと考えられた。

生米ぬかと生稲わらサイレージを発酵 TMR の材料として調製した発酵 TMR は、発酵品質も良好で、開封後の好気的変敗がなく、黒毛和種去勢牛の採食性が優れることから、生米ぬかと生稲わらサイレージは、発酵 TMR の材料として利用可能であることが明らかとなった。しかしながら、生米ぬかと生稲わらサイレージを混合した発酵 TMR を肥育期間に給与した影響について明らかではないため、この影響については第 2 節で検証する。

3.1.5 要約

米ぬかや生稲わらサイレージなどの水田地帯で入手しやすい水田副産物を活用した肉用肥育牛向け発酵 TMR の調製・給与技術を開発するため、生米ぬかと生稲わらサイレージを発酵 TMR の材料として調製し、発酵過程における脂質酸化や発酵品質、および好気的安定性と肥育後期黒毛和種去勢牛の採食性について調査を行った。

その結果、発酵 TMR に生米ぬかを乾物中 13%程度混合しても、脂質の酸化がなく、発酵品質も良好で、開封後の品温が変化しにくい良質な発酵 TMR が調製できることが明らかとなった。また、黒毛和種去勢牛の生米ぬかや生稲わらサイレージを混合した発酵 TMR の採食性は、市販配合飼料と乾燥稲わらを分離給与する慣行給与法より優れることが明らかになった。以上のことから生米ぬかと生稲わらサイレージは発酵 TMR の材料として利用可能であり、黒毛和種去勢牛向けの有望な飼料である可能性が示唆された。

3.1.6 図表

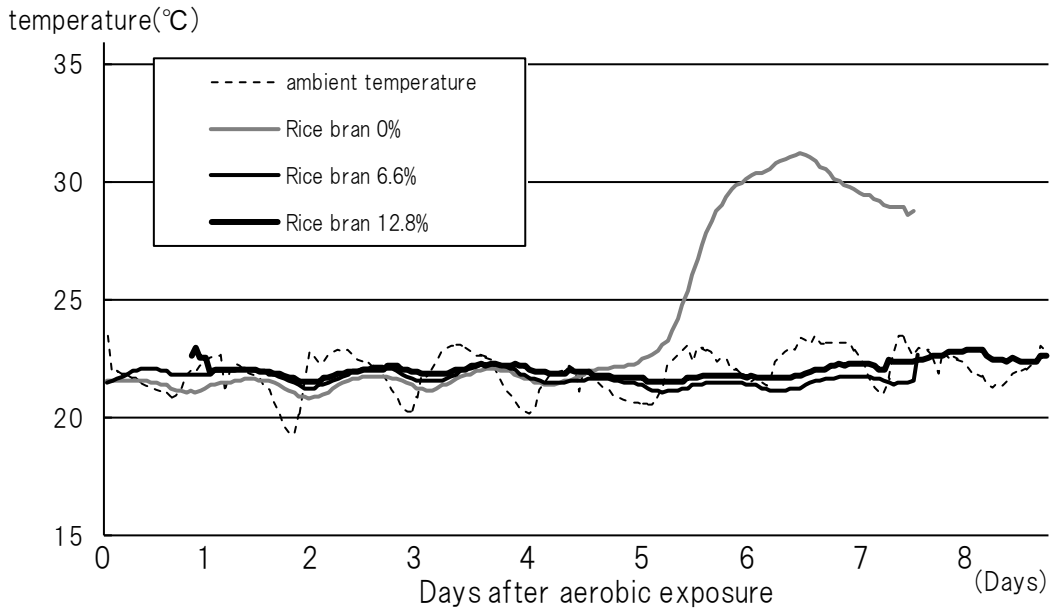

Figure. 3.1.1 Changes in temperature of fermented TMR after aerobic exposure

RB 0%TMR : The fermented TMR was compounding 0% rice bran.
RB 6.6%TMR : The fermented TMR was compounding 6.6% rice bran.
RB 12.8%TMR : The fermented TMR was compounding 12.8% rice bran.
These data are the average values of three iterations.
Rice bran 12.8% group was exposed to the aerolic condition from Day 2.

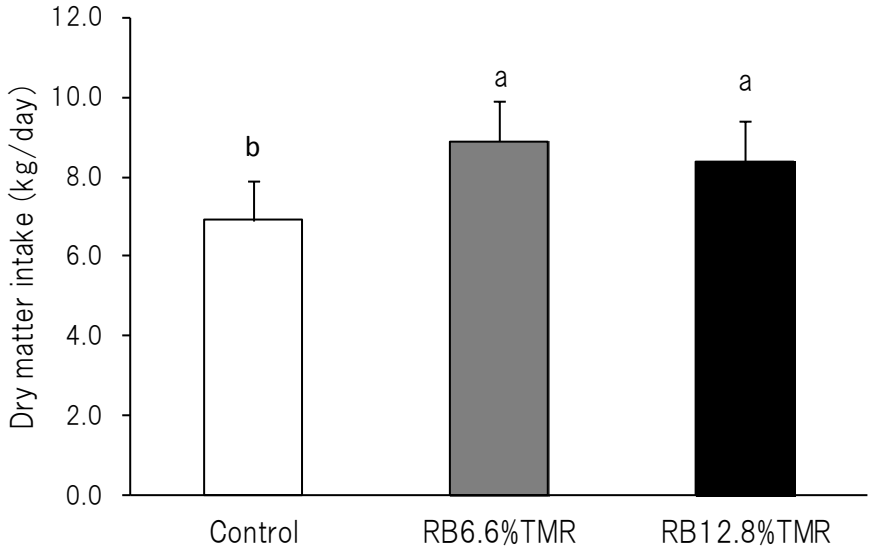

Figure. 3.1.2 Dry matter intake of fermented TMR in Japanese black steers (20 months old)

RB 6.6%TMR : The fermented TMR was compounding 6.6% rice bran.
RB 12.8%TMR : The fermented TMR was compounding 12.8% rice bran.
These data are obtained via comparison using 3 × 3 Latin square (switch back design, preliminary period 11th, examination period 3rd)
The different letters (a, b) denote significant differences ($P < 0.05$)

Table 3.1.1 Composition of feed ingredients and chemical composition of fermented TMR (An examination of fermentative characteristics of TMR)

	Compounding ratio of rice bran		
	0%	6.6%	12.8%
Ingredients (% DM)			
Rice bran	0.0	6.6	12.8
Commercial concentrate[1)]	63.4	55.8	51.0
Wheat bran	13.0	13.1	12.6
Soybean meal	2.8	2.8	2.7
Fresh rice straw silage[2)]	19.5	20.1	16.9
Rice husk	1.4	0.0	2.6
Calcium carbonate	0.0	1.5	1.4
Chemical composition (% DM)[3)]			
CP	13.3	13.2	14.3
EE	3.3	4.4	6.8
NDF	29.5	28.9	31.2
TDN	73.5	73.4	73.5

Each experimental TMR was mixed with water so that the moisture content was approximately 40%.

These TMRs were sealed in 60-L plastic drums and stored for 7 weeks.

CP, crude ptotein; EE, ether extrct; NDF, neutral detergent fiber; TDN, total digestible nutrients.

[1)]CP 12.8%, EE 2.3%, TDN 84.1%/DM.

[2)]The fresh rice straw silage was stored for 11months. (moisture 61.1%)

[3)]Crude protein, crude fat, NDF analysis value. TDN was calcurated using Standard Table of Feed Composition in Japan National Agricultural Research Organization (2001).

Table 3.1.2 Composition of feed ingredients and chemical composition of fermented TMR (An examination of feed intake in Japanese black steers)

	Control	RB 6.6%TMR	RB 12.8%TMR
Ingredients (% DM)			
Rice bran	0.0	6.6	12.8
Commercial concentrate[1)]	66.7	55.8	51.0
Wheat bran	13.3	13.1	12.6
Soybean meal	2.9	2.8	2.7
Fresh rice straw silage	17.1	20.1	16.9
Rice husk	0.0	0.0	2.6
Calcium carbonate	0.0	1.5	1.4
Chemical composition (% DM)[2)]			
TDN	75.7	73.4	73.5
CP	13.1	13.0	13.1
NFC	46.7	41.4	39.5
EE	2.5	3.8	4.9
Ca	0.3	0.9	0.8
P	0.4	0.6	0.7
Moisture (%)	12.1	40.0	38.2

TDN, total digestible nutrients; CP, crude ptotein; NFC, nonfibrous carbohydrate; EE, ether extrct; Ca, calcium; P, phosphate.

[1)]CP 12.8%, EE 2.3%, TDN 84.1%/DM

[2)]Compositions were calcurated by using Standard Table of Feed Composition (Japan National Agricultural Research Organization(2001)).

RB 6.6%TMR : The fermented TMR was compounding 6.6% rice bran.

RB 12.8%TMR : The fermented TMR was compounding 12.8% rice bran.

Table 3.1.3 Organic acid content and lipid oxidation of fermented TMR

		Compounding ratio of rice bran		
		0%	6.6%	12.8%
pH		4.1[b]	4.2[a]	4.2[a]
Organic acid content (%)	Lactic acid	2.1[c]	3.0[b]	3.6[a]
	Acetic acid	0.4[c]	0.7[b]	1.4[a]
	Propionic acid	0.0	0.0	0.0
	Butyric acid	0.0	0.0	0.0
Peroxide value (meq/kg)	After opening	9	8	8
	Seven days after	13	9	5
Carbonyl value (meq/kg)	After opening	16	12	9
	Seven days after	25	20	16
Moisututre (%)		38.5	38.3	38.9

Organic acid is expressed on a freshmatter basis.
This data was average value of 3 iterations.
The different letters (a, b, c) denote significant differences ($P < 0.05$).

Table 3.1.4 Effects of feeding fermented TMR on blood components in Japanese black steers

Item	Unit	Control	RB 6.6%TMR	RB 12.8%TMR	
AST	IU/L	82.8 ± 36.0	55.5 ± 11.0	58 ± 8.1	NS
T-Cho	mg/dL	192 ± 23.6	201 ± 23.3	213 ± 28.6	NS
BUN	mg/dL	16.9 ± 2.9	16.4 ± 2.2	18.1 ± 2.3	NS
Glu	mg/dL	71.2 ± 2.1	70.7 ± 3.4	70.3 ± 4.4	NS
Alb	mg/dL	3.6 ± 0.2	3.5 ± 0.1	3.5 ± 0.2	NS
TP	mg/dL	6.9 ± 0.3	6.8 ± 0.3	6.7 ± 0.2	NS
Ca	mg/dL	9.5 ± 0.3	9.7 ± 0.3	9.4 ± 0.2	NS
IP	mg/dL	7.7 ± 0.6	8.1 ± 0.7	8.4 ± 0.9	NS

AST, aspartate aminotransferas; T-Cho, total cholesterol; BUN, blood urea nitrogen; Glu, glucose; Alb, albumin; TP, total protein; Ca, calcium; IP, inorganic phosphorus.

RB 6.6%TMR : The fermented TMR was compounding 6.6% rice bran.

RB 12.8%TMR : The fermented TMR was compounding 12.8% rice bran.

Mean ± standard deviation.

NS, not significant.

Table 3.1.5 Effects of feeding fermented TMR on ammonia nitrogen concentrations in the rumen fluid of Japanese black steers

	n	ammmonia nitrogen (mg/dL)
Control	6	7.4 ± 2.3[b]
RB 6.6%TMR	6	12.0 ± 2.1[a]
RB 12.8%TMR	6	13.0 ± 4.5[a]

RB 6.6%TMR : The fermented TMR was compounding 6.6% rice bran.
RB 12.8%TMR : The fermented TMR was compounding 12.8% rice bran.
Mean ± standard deviation.
The different letters(a, b) denote significant differences ($P < 0.05$).

２節　肥育後期牛への生稲わらサイレージおよび生米ぬかを混合した発酵 TMR の給与が産肉性に及ぼす影響

3.2.1 緒言

第 1 節では、水田副産物である生稲わらサイレージと生米ぬかを発酵 TMR の材料として調製し、脂質酸化や有機酸含量および、肥育後期黒毛和種去勢牛の採食性について検討した。その結果、生米ぬかを混合していない発酵 TMR と比較して、発酵 TMR に生米ぬかを乾物中 13%程度混合しても脂質の酸化がなく、乳酸含量が有意に高く、好気的安定性に優れることや黒毛和種去勢牛の乾物摂取量は高いことが明らかとなった。しかしながら、この発酵 TMR を黒毛和種去勢牛の肥育期間に給与した影響については明らかではない。

そこで本節では、生稲わらサイレージや生米ぬかを混合した発酵 TMR の黒毛和種去勢牛への利用性を探るため、肥育後期（20～26 ヵ月齢）の牛を用い、生稲わらサイレージを混合し、生米ぬかの混合割合を変えた 2 種類の発酵 TMR の給与試験を実施し、採食量、増体、血液性状、および枝肉成績に及ぼす影響について比較検討した。

3.2.2 材料および方法

1. 供試牛と試験区分

富山県農林水産総合技術センター畜産研究所で飼養されている同一種雄牛を父とする平均月齢 20.2 ヵ月齢の黒毛和種去勢牛 10 頭を供試牛として用いた。

試験の処理区は、生米ぬかを乾物中 5%混合した発酵 TMR 区を給与する 5%区（RB-5%TMR 区）と、生米ぬかを乾物中 10%混合した 10%区（RB-10%TMR 区）の 2 区を設定し、各区に 5 頭ずつ配置した。

試験期間は、肥育後期に相当する 20～26 ヵ月齢の 6 ヵ月間とした。

2. 試験飼料

濃厚飼料は、市販の配合飼料（TDN 74%、CP 11%（原物中含量））、圧ペン大麦、ふすま、および生米ぬか（未脱脂、富山県産）を用いた。粗飼料は、富山県内で生産された生稲わらサイレージともみがらを用いた。生稲わらサイレージは、食用米品種「コシヒカリ」の刈り取り当日に、稲わらを予乾せずに自走式ロールベーラー（SR1230; 株式会社タカキタ、三重）で回収しサイレージ調製したものを用いた。もみがらは、富山県内 JA のカントリーエレベーターから排出されたものを用いた。

発酵 TMR の調製は、各飼料原料を飼料撹拌機（CS コンプリートフィーダー; 株式会社チュウチク、愛知）で 20 分間混合後、トランスバック（0.5 m^3）内の袋（ポリ塩化ビニール製：厚さ 75 μm）に約 250 kg を投入し、密封状態で、2 週間～12 週間屋内で貯蔵した（Figure. 3.2.1）。発酵 TMR 中の粗飼料の混合割合は乾物比 20%とし、TMR 中の TDN 含量および CP 含量の設計値を同一にするため、10%区の TMR には、もみがらを乾物比で 0.9%混合した。これら試験飼料の化学的成分組成については、供試飼料の配合割合に基づき、日本標準

飼料成分表（農業技術研究機構 2001）により算出した（Table 3.2.1）。また、発酵 TMR の水分は、45%になるように加水量を設定した。

3. 飼料給与方法および飼養管理

供試牛は、各区 2 頭ないし 3 頭の群飼とした。飼料は、個体識別給餌ドア（DF-100-B; オリオン機械株式会社、長野）により 1 日 2 回（9:30 と 14:30）現物重量で 20 kg 給与した。残飼は毎日 9:00 に回収、計量した。

飲水はウォーターカップによる自由摂取とし、尿石症予防剤入り鉱塩（固形カウストン; 日本全薬工業株式会社、福島）は自由摂取とした。

なお、供試牛の飼養管理等については、「産業動物の飼養及び保管に関する基準」（環境省 1987）に従って実施した。

4. 測定項目

(1) 体重および飼料摂取量

体重は、2 週間毎に飼料給与前の 9:00 に測定した。飼料摂取量は、給与量と残飼量から毎日算出した。また、飼料要求率は飼料摂取量を増体量で除して算出した。

(2) 血液の採取と成分分析

血液は、試験開始時から 4 週間毎に、飼料給与前の 9：00 に頸静脈からヘパリン入り真空採血管を用い採取した。採取後の血液は、遠心（3,000 ×g、30 分、4℃）後、血漿を分析に供するまで－20℃で凍結保存した。

分析項目は、レチノール、α-トコフェロール、一般成分（AST、ALT、TP、Alb、BUN、Ca、IP、T-Cho、TG、Glu）とした。レチノール、α-トコフェロー

ル含量については高速液体クロマトグラフィー（検出器 SPD-10AVvp; 株式会社島津製作所、京都）により分析を実施し（日本ビタミン学会編 1983）、一般成分については（社）富山市医師会健康管理センターにおいて、（社）日本臨床化学会常用基準準拠法に基づいて定量した値を用いた。

(3) 第一胃内容液

第一胃内容液は、経口カテーテルを用い、採血後に採取した。採取した第一胃内容液は 2 重ガーゼで濾過し、ガラス電極 pH メーター（F-52; 株式会社堀場製作所、京都）を用いて濾液の pH を測定した。

(4) 枝肉の評価および胸最長筋の分析

枝肉の格付成績は、（株）富山食肉総合センターにおいて（公社）日本食肉格付協会の牛枝肉取引規格により格付されたものを用いた。格付け後、胸最長筋（第 7 肋骨部）を採取したのち、真空包装し、分析に供するまで－20℃で凍結保存した。分析項目は、脂肪酸組成および α-トコフェロール含量とした。脂肪酸組成については、ミンチにしたサンプルをメチルエステル化後、ガスクロマトグラフィー（GC-14A; 株式会社島津製作所、京都）により測定した（Folch ら 1957）。α-トコフェロール含量は、高速液体クロマトグラフ（検出器 RF-535; 株式会社島津製作所、京都）により測定（財団法人日本食品分析センター 2001）した。

(5) 飼料の成分分析

給与した発酵 TMR と残飼のサンプルは、一般分析法（自給飼料品質評価研究会 1994）に基づき乾物含量を測定した。また、給与飼料中の β-カロテン含

量および α-トコフェロール含量は、高速液体クロマトグラフィー（LC ワークステーション CLASS-VP、検出器 SPD-10AVvp; 株式会社島津製作、京都）により測定した（北海道立根釧農業試験場、私信）。発酵 TMR の pH は、抽出液を用い、ガラス電極 pH メーター（F-52; 株式会社堀場製作所、京都）で測定した。

(6) 統計処理

得られたデータについては、統計パッケージソフト（Stat View 5.0J; SAS Institute、Cary、NC、USA）を用いて解析を実施した。給与飼料と給与期間を因子とした分散分析を行い、有意差が認められた場合の検定を Fisher の PLSD 法を用い 5%水準で有意差の検定を行った。なお、枝肉形質のうち、B.M.S、B.C.S.、および B.F.S.については Mann-Whitney の U 検定を用い 5%水準で有意差の検定を行った。

3.2.3 結果

１．飼料摂取量、体重、日増体量および飼料要求率

肥育期間中の体重、乾物摂取量、日増体量、および飼料要求率を Table 3.2.2 に示した。

両処理区における試験開始時および出荷時の体重に差はなかった。1 日当たりの乾物摂取量を 1 ヵ月毎に比較すると、20～24 ヵ月齢において RB-10%TMR 区が高く（$P < 0.05$）推移し（Figure. 3.2.2）、試験期間全体では、RB-10%TMR 区が RB-5%TMR 区よりも有意に高かった。

日増体量は、RB-10%TMR 区が RB-5%TMR 区を上回った（$P < 0.05$）が、両区の飼料要求率に差は認められなかった。

２．発酵 TMR の pH およびビタミン含量

発酵 TMR の pH は、RB-5%TMR が 4.4、RB-10%TMR が 4.3 であり、水分はいずれも 47%であった。

β-カロテンおよび α-トコフェロール含量は、RB-5%TMR がそれぞれ 3.8 mg/kg、48.7 mg/kg、そして RB-10%TMR では 2.9 mg/kg、41.1 mg/kg であった（Table 3.2.3）。

３．血液性状

血漿中の一般成分については Table 3.2.4 に、ビタミン濃度については Figure. 3.2.3 に示した。

一般成分濃度については、いずれの項目についても区間に差は認められなかった。両区ともに、試験開始時の 20 ヵ月齢に比べ、T-Cho 濃度、Glu 濃度、および TG 濃度が 23 ヵ月齢時と 26 ヵ月齢時に高く推移した。

血漿中のレチノールおよび α-トコフェロール濃度は、両区とも発酵 TMR 給

与後に上昇して推移したが、区間による差は認められなかった。

４．第一胃内容液性状

経口採取による第一胃内容液の pH の推移について Table 3.2.5 に示した。試験期間を通じていずれの区も pH7.0 前後で推移した。

５．枝肉成績、胸最長筋中の脂肪酸組成およびα−トコフェロール含量

両区における枝肉重量、胸最長筋面積、ばらの厚さ、皮下脂肪の厚さ、歩留基準値、B.M.S.、B.C.S.、および B.F.S.に差は認められなかった。格付けが A4 以上の頭数は、RB-5% TMR 区が 3 頭、RB-10%TMR 区が 5 頭であり、いわゆる上物とされる 4 等級以上の割合が RB-10%TMR 区で高い傾向にあった（Table 3.2.6）。

胸最長筋中の脂肪酸組成についても区間差はなかった（Table 3.2.7）。また、胸最長筋中の α-トコフェロール含量は、両区とも 1.3 mg/100g であり、同じレベルであった（Figure. 3.2.4）。

3.2.4 考察

第 3 章 1 節において、米ぬかや生稲わらサイレージは発酵 TMR の材料として利用可能であり、これらを混合した発酵 TMR の採食量は、市販配合飼料と乾燥稲わらを分離給与する慣行給与法より高まることが明らかになった。しかしながら、肥育期間に給与した影響については明らかではないため、本節では肥育後期（20～26 ヵ月齢）の牛を用いた給与試験を実施し、肥育成績や血液性状等との関係について検討した。

生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した発酵 TMR の乾物摂取量は、RB-5%TMR 区が 8.98 kg/日および RB-10%TMR 区が 10.31 kg/日であり、RB-10%TMR 区で有意に高まった。月毎の乾物摂取量は、RB-10%TMR 区において 20～24 ヵ月齢において高く推移したが､両区とも試験期間を通じて乾物摂取量の低下は認められなかった。

牛の生体内でビタミン A が不足すると、飼料摂取量や増体が低下するとされている（安田と村上 1986; 全国家畜畜産物衛生指導協会 1999）。西ら（2001）は、黒毛和種肥育牛の乾物摂取量は、血漿中ビタミン A 濃度が 50 IU/dL 以下から次第に低下し始め、30 IU/dL を下回ると急激に低下すると報告している。本研究において、血漿中レチノール濃度は、試験開始時には両区とも臨床的正常範囲の下限値である 50 IU/dL 程度（西ら 2001）であったが、21 ヵ月齢以降、試験期間を通して両区とも 100 IU/dL 以上で高く推移した。

本研究で給与した発酵 TMR 中には、刈り取り直後の稲わらを予乾せずにサイレージ調製した生稲わらサイレージを混合している。第Ⅱ章でも述べたが、生稲わらサイレージにはプロビタミン A である、β-カロテンが多く含まれている。このため、発酵 TMR 中に混合した生稲わらサイレージの β-カロテンを反映し、血漿中レチノール濃度が高く推移したと考えられた。

また、血漿中 Glu 濃度は、エネルギーの過不足やストレスにより変動し、乾物摂取量も変動要因のひとつである（全国家畜畜産物衛生指導協会 1999）。両区とも血漿中 Glu 濃度が臨床的正常値の範囲内で推移したのは、試験期間を通して乾物摂取量が安定的に充足したためと推察された。

血漿中 T-Cho 濃度は、試験開始時の 20 ヵ月齢時が 150 mg/dL 程度であったのに対し、両区とも試験の経過に伴い 200 mg/dL 前後で推移した。血漿中の T-Cho 濃度は、エネルギー摂取量を反映すると言われており（Kronfeld ら 1982）、本研究においても乾物摂取量の増加に比例し上昇した。また、血漿中の T-Cho 濃度は、飼料中の脂肪含量の増加により上昇するという報告があるが（Nestle 1978）、本研究においては、生米ぬかの混合割合による差は認められなかった。また、血中の T-Cho 濃度は肥育後期で 130 mg/dL 以上を維持すると肥育成績が向上するとの報告がある（渡辺ら 1999；全国家畜畜産物衛生指導協会 1999）。本試験においても格付け評価で 4 等級以上の頭数が、RB-5%TMR 区で 3 頭、RB-10%TMR 区で 5 頭となり、生産現場と遜色ない枝肉成績が得られた。

岩本と岡（2006）は、黒毛和種去勢牛の屠畜前 6 ヵ月間または 12 ヵ月間脱脂米ぬかを濃厚飼給与量の 5%添加給与しても無添加の場合と比較し、期間にかかわらず飼料摂取量や増体等に差はなかったと報告している。本研究において、生米ぬかの混合割合が多い RB-10%TMR 区が乾物摂取量と日増体量が RB-5%TMR 区よりも高くなった原因については不明であり、今後の検討課題であると考えられた。

AST は肝機能障害の指標として用いられており、肥育牛では 100 U/dL 以上が異常値とされている（全国家畜畜産物衛生指導協会 1999; 松田 2011）。本研究において、AST は試験開始時の 20 ヵ月齢において、RB-5%TMR 区が 100 U/dL、RB-10%TMR 区が 80 U/dL 程度であったが、試験開始後はいずれの区も 60 U/dL

程度で推移し、異常値を示す個体はいなかった。

第Ⅱ章でも述べたが、血漿中および筋肉中の α-トコフェロール含量は、飼料添加や給与飼料の影響によって増加することが報告されている（三津本ら 1995; Yang ら 2002; 谷本ら 2004; 清水ら 2005; 因野ら 2007）。本研究において、血漿中 α-トコフェロール濃度は、レチノール濃度の変化と同様、試験期間を通じて 1,200 μg/dL 以上で高く推移した。また、胸最長筋中の α-トコフェロール含量は、RB-5%TMR 区において 1.27 mg/100g および RB-10%TMR 区が 1.31 mg/100g であり、牛肉の脂質酸化の抑制や肉色の保持効果が期待できる 0.35 mg/100g 以上（三津本 1996）の含量が含まれていた。

生米ぬか中のビタミン E 含量（乾物中）は 66 mg/kg と、他の飼料原料と比較し多く含まれている（農業・食品産業技術総合研究機構 2010）。しかし、本研究の結果では、生米ぬかの混合割合の違いによる血漿中 α-トコフェロール濃度の差は認められなかった。本章において、血漿中 α-トコフェロール濃度が高く推移したのは、第Ⅱ章の結果同様、発酵 TMR 中に混合した生稲わらサイレージにより α-トコフェロールが供給されたためと考えられた。したがって、生稲わらサイレージや生米ぬかを混合した発酵 TMR を肉用肥育牛に給与することは、牛肉中の α-トコフェロールを高める手段として有効であり、牛肉の脂質酸化の抑制や肉色の保持効果が期待できると考えられた。

牛肉の肉質の評価は、牛枝肉取引規格に基づき格付員が実施している。しかし、第 7 回全国和牛能力共進会（2007 年開催）から、脂肪交雑などの肉質評価に加え、脂肪酸組成のような脂肪の質が審査基準のひとつとなっており、生産現場では、脂肪の質を向上させる飼養技術の開発が求められている。牛肉の食味性は脂肪酸組成の関与が大きいとされ、オレイン酸などの一価不飽和脂肪酸は風味や多汁性に関与していること（Dryden と Marchello 1970）や、飽和脂肪

酸含量が少なく、オレイン酸含量が多いと風味が良くなる（Westerling と Hedrick 1979）との報告がある。また、牛肉中の脂肪酸組成は、給与飼料に影響を受けることも知られている（Melton ら 1982; Marmer ら 1984; 常石ら 1989; 木村ら 1996; Mandell ら 1998）。浅田ら（2007）は、黒毛和種去勢牛の 11 ヵ月齢から 28 ヵ月齢に濃厚飼料の 8%の米ぬか添加により、オレイン酸等の不飽和脂肪酸割合が増加したと報告している。しかし、本研究において、胸最長筋中の脂肪酸組成に差はなかったことから、6 ヵ月間の給与期間では、米ぬかの混合割合の差による脂肪酸組成に対する影響はなかったと考えられた。

一般的に肥育牛は、濃厚飼料が多給されるため第一胃内のpHが急激に低下し、ルーメンアシドーシスが発生しやすい状況にある。肥育期において、粗飼料は栄養素としてよりも、粗剛性によるルーメン内の恒常性を保つために給与される（小松ら2016）。本試験では、経口採取による胃液を測定したpHではあるが、いずれの区も第一胃内溶液pHは、試験期間を通じて大きな変動はなかった。この理由として、TMRの給与形態にすることで、常に一定の粗濃比で飼料摂取ができたため、pHの急激な低下が起こりにくかったと推察された。

通常、農家で実施されている濃厚飼料と粗飼料の分離給与方式は、粗濃比を一定の割合で摂取させることは難しく、採食量が一定しないことが影響し、発育や枝肉成績のばらつきを生じやすい（金城ら 2006; 浅田ら 2008）。TMR は、一定の粗濃比で牛に摂取させることできる（高野 1985）ため、飼料摂取量を増大させ、安定した増体の確保による生産性の向上が可能となり、飼養管理の効率化を図ることができる給与技術であると考えられる。

以上の結果から、生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した発酵 TMR は、黒毛和種去勢牛の肥育後期に相当する 20～26 ヵ月齢における飼料として利用可能であると考えられた。さらに、ビタミン A 欠乏症に起因する飼料摂取量低

下のリスクを回避できるうえ、牛肉中の抗酸化機能を高く維持できるとともに、第一胃内の pH の急激な低下を防ぐことができる可能性が示唆された。

しかしながら、黒毛和種の肥育では、16～21 ヵ月齢の肥育中期にビタミン A の給与量を制限することにより脂肪交雑を高める飼養方法が一般的に行われている。生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した発酵 TMR を肥育中期からの長期間に渡って給与する場合、血漿中レチノール濃度が高く推移することが想定されるため、脂肪交雑が低下し、肉質が悪化することが懸念される。

そこで、第Ⅳ章では、生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した発酵 TMR を肥育中期向けに調製し、14 ヵ月齢から 26 ヵ月齢までの肥育中期から後期への 12 ヵ月間の長期に渡って給与した影響について検証する。

3.2.5 要約

水田副産物の飼料調製と黒毛和種去勢牛への利用性を探るため、生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した2種類の発酵TMR（RB-5%TMRとRB-10%TMR）を調製した。肥育後期に相当する20～26ヵ月齢の黒毛和種去勢牛への発酵TMR給与試験を実施し、給与期間における採食量、増体、血液性状および枝肉成績等に及ぼす影響について比較検討した。

発酵TMRの乾物摂取量は両区とも試験期間を通じて8 kg/日以上で安定的に推移したが、生米ぬかの混合割合が多いRB-10%TMR区が、RB-5%TMR区よりも乾物摂取量や日増体量が高かった。

また、発酵TMRを摂取した牛の血漿中レチノール濃度およびα-トコフェロール濃度は両区とも試験期間を通じて、それぞれ、100 IU/dLおよび1,200 μg/dL以上で高く推移したが、生米ぬかの混合割合による差は認められなかった。

胸最長筋中のα-トコフェロール含量は、牛肉の脂質酸化の抑制や肉色の保持効果が期待できる0.35 mg /100g以上で（三津本1996）、第Ⅱ章の生稲わらサイレージ給与時と同等の含量が含まれていた。

以上の結果から、生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した発酵TMRは、肥育後期の給与飼料として、利用が可能であることが明らかとなった。

3.2.6 図表

Figure. 3.2.1 Preparation of fermented TMR under anaerobic condition (left) and fermented TMR after opening (right).

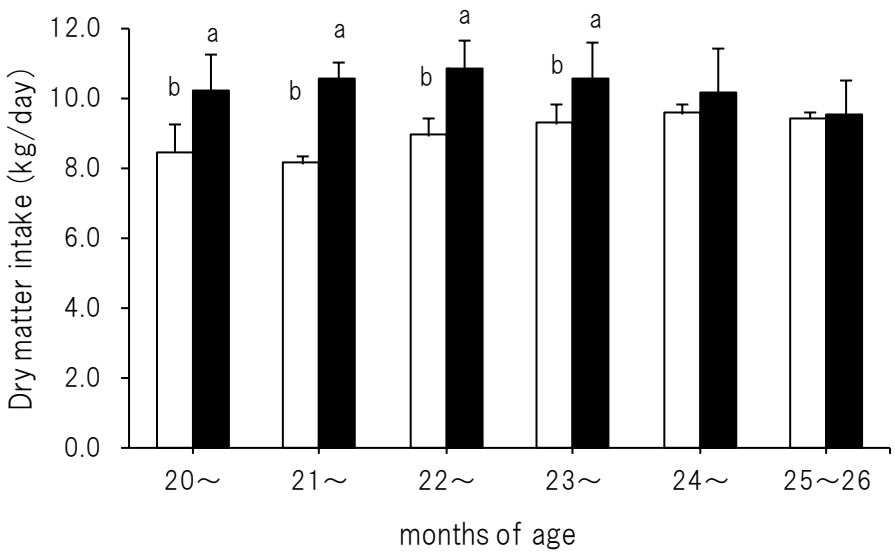

Figure. 3.2.2 Changes in dry matter intake in Japanese black steers during the fattening period

Rice bran 5%TMR; The fermented TMR is compounding 5% rice bran (□) and Rice bran 10%TMR; The fermented TMR is compounding 10% rice bran(■).
Each point represents mean ± standard deviation.
The different letters (a, b) denote significant differences ($P < 0.05$).

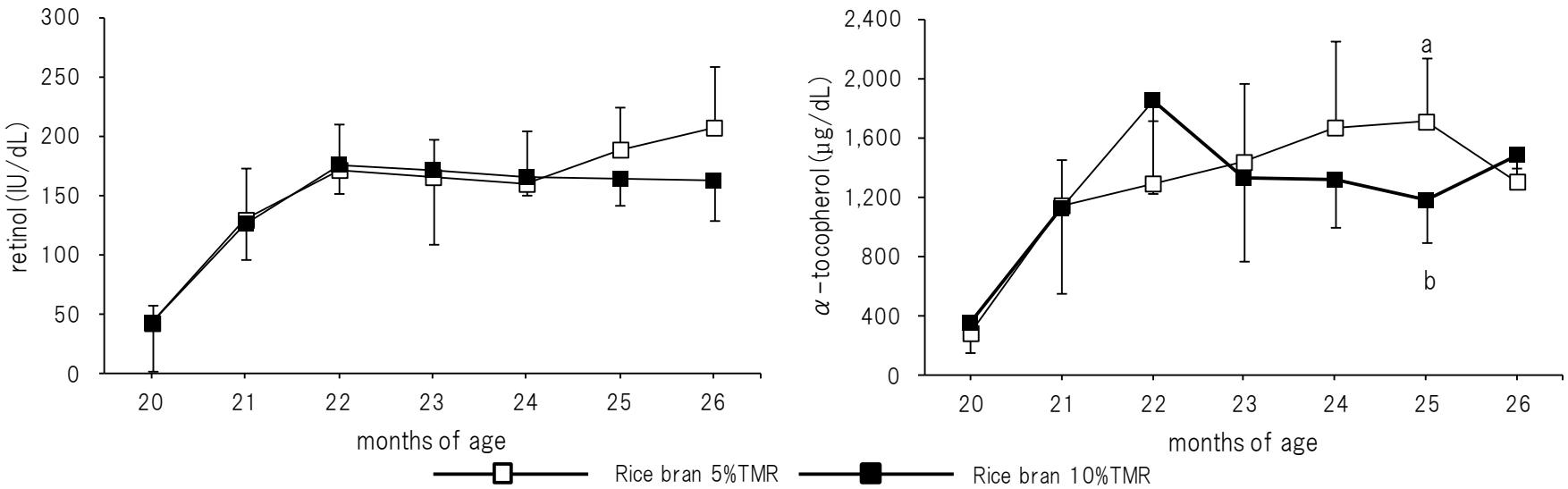

Figure. 3.2.3 Changes in plasma retinol (left) and α-tocopherol (right) content in Japanese black steers during the fattening period

Rice bran 5%TMR; The fermented TMR is compounding 5% rice bran.
Rice bran 10%TMR; The fermented TMR is compounding 10% rice bran.
Each point represents mean ± standard deviation. The different letters (a, b) denote significant differences ($P < 0.05$).

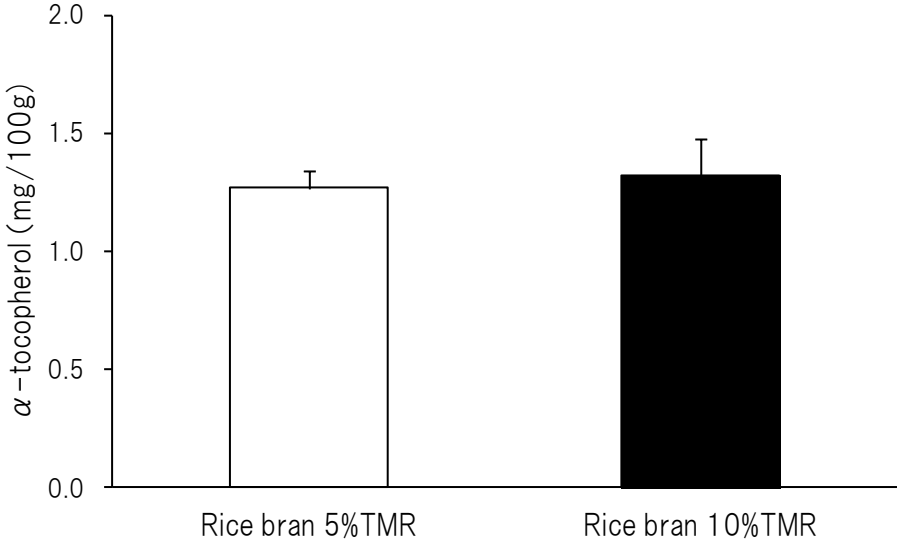

Figure. 3.2.4 Effects of feeding fermented TMR on α-tocopherol content of the longissimus thoracis muscle in Japanese black steers

Rice bran 5%TMR; The fermented TMR is compounding 5% rice bran.
Rice bran 10%TMR; The fermented TMR is compounding 10% rice bran.
Each point represents mean ± standard deviation.

Table 3.2.1 Composition of feed ingredients and chemical composition of fermented TMR

	Rice bran 5%TMR	Rice bran 10%TMR
Ingredients (% DM)		
Commercial concentrate[1)]	52.8	40.5
Wheat bran	3.5	1.7
Barlay	17.5	26.3
Rice bran	5.3	10.6
Fresh rice straw silage	20.0	19.1
Rice husk	0.0	0.9
Calcium carbonate	1.0	1.0
Chemical composition (% DM)[2)]		
TDN	74.9	75.2
CP	11.0	11.1
NFC	42.7	42.4
EE	4.0	4.8
Ca	0.7	0.6
P	0.5	0.6
Moisture (%)	45.0	45.0

TDN, total digestible nutrients; CP, crude ptotein; NFC, nonfibrous carbohydrate; EE, ether extrct; Ca, calcium; P, phosphate.

Rice bran 5%TMR; The fermented TMR is compounding 5% rice bran.

Rice bran 10%TMR; The fermented TMR is compounding 10% rice bran.

[1)]TDN 84.1%, CP 11.9%/DM

[2)]This data was calcurated using Standard Table of Feed Composition in Japan National Agricultural Research Organization (2001).

Table 3.2.2 Effects of feeding fermented TMR on feed intake, growth performance, and feed conversion in Japanese black steers during the fattening period

	Rice bran 5%TMR (n = 5)	Rice bran 10%TMR (n = 5)
Dry matter intake (kg/day)	8.98 ± 0.63[b]	10.31 ± 0.49[a]
Initial body weight (kg)	515 ± 37	519 ± 28
Final body weight (kg)	650 ± 48	673 ± 32
Daily gain (kg/day)	0.75 ± 0.08[b]	0.83 ± 0.06[a]
Feed conversion	12.1 ± 1.1	12.6 ± 1.6

Rice bran 5%TMR; The fermented TMR is compounding 5% rice bran.
Rice bran 10%TMR; The fermented TMR is compounding 10% rice bran.
Initial body weight; 20 months of age.
Final body weight; 26 months of age.
Mean ± standard deviation.
The different letters (a, b) denote significant differences ($P < 0.05$).

Table 3.2.3 Moisture, pH and vitamin content in the experimental diets

	Rice bran 5%TMR (n = 12)	Rice bran 10%TMR (n = 12)
Moisture (%)	47.1 ± 1.1	47.1 ± 1.3
pH	4.4 ± 0.3	4.3 ± 0.2
β-carotene (mg/kg)	3.8 ± 0.7	2.9 ± 1.0
α-tocopherol (mg/kg)	48.7 ± 10.4	41.1 ± 6.6

Rice bran 5%TMR; The fermented TMR is compounding 5% rice bran.
Rice bran 10%TMR; The fermented TMR is compounding 10% rice bran.
Mean ± standard deviation.

Table 3.2.4 Changes in blood components in Japanese black steers during the fattening period

Item	unit	20 months		23 months		26 months		*P* value		
		Rice bran 5%TMR (n = 5)	Rice bran 10%TMR (n = 5)	Rice bran 5%TMR (n = 5)	Rice bran 10%TMR (n = 5)	Rice bran 5%TMR (n = 5)	Rice bran 10%TMR (n = 5)	Diet	Months	Diet×Months
AST	U/L	108.6 ± 46.9	74.6 ± 23.9	52.2 ± 5.4	56.0 ± 6.1	55.4 ± 6.8	57.2 ± 4.4	0.250	0.001	0.118
ALT	U/L	19.4 ± 3.9	21.0 ± 3.1	20.4 ± 2.7	23.6 ± 4.6	21.8 ± 2.6	23.8 ± 3.6	0.086	0.249	0.866
TP	mg/dL	7.1 ± 0.3	7.2 ± 0.3	6.6 ± 0.1	6.8 ± 0.4	6.4 ± 0.2	6.5 ± 0.1	0.167	< 0.001	0.936
Alb	mg/dL	3.7 ± 0.1	3.6 ± 0.1	3.6 ± 0.1	3.7 ± 0.3	3.6 ± 0.1	3.7 ± 0.2	0.167	< 0.001	0.936
A/G		1.1 ± 0.1	1.0 ± 0.1	1.2 ± 0.0	1.2 ± 0.2	1.3 ± 0.1	1.3 ± 0.1	0.333	< 0.001	0.726
BUN	mg/dL	16.9 ± 3.4	17.4 ± 3.3	14.8 ± 1.8	14.3 ± 2.6	14.2 ± 1.6	13.5 ± 1.5	0.810	0.017	0.829
Ca	mg/dL	9.6 ± 0.2	9.9 ± 0.2	9.8 ± 0.3	9.6 ± 0.5	9.6 ± 0.2	9.5 ± 0.3	0.772	0.487	0.298
I P	mg/dL	6.9 ± 0.2	6.5 ± 1.2	6.8 ± 0.8	7.4 ± 1.1	6.9 ± 0.7	7.2 ± 0.7	0.619	0.568	0.364
T-Cho	mg/dL	146.4 ± 32.5	156.6 ± 27.9	212.4 ± 37.0	206.2 ± 43.8	215.6 ± 22.3	217.4 ± 18.6	0.868	< 0.001	0.845
TG	mg/dL	29.6 ± 5.7	25.4 ± 8.9	34.8 ± 9.9	39.0 ± 7.8	39.0 ± 3.7	37.8 ± 3.0	0.876	0.003	0.409
Glu	mg/dL	70.6 ± 2.9	71.0 ± 7.6	80.4 ± 3.0	78.6 ± 8.1	74.6 ± 1.5	78.0 ± 6.0	0.740	0.005	0.570

Rice bran 5%TMR; The fermented TMR is compounding 5% rice bran.

Rice bran 10%TMR; The fermented TMR is compounding 10% rice bran.

AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferage; TP, total protein; Alb, albumin; BUN, blood urea nitrogen; Ca, calcium; IP, inorganic phosphorus; T-Cho, total cholesterol; TG, triglyceride; Glu, glucose.

Mean ± standard deviation.

Table 3.2.5 Effects of feeding fermented TMR on pH in the rumen of Japanese black steers during the fattening period

	Rice bran 5%TMR (n = 5)			Rice bran 10%TMR (n = 5)			
20months	7.11	±	0.25	7.18	±	0.62	NS
23months	7.28	±	0.34	7.27	±	0.34	NS
26months	7.01	±	0.19	6.96	±	0.16	NS

Rice bran 5%TMR; The fermented TMR is compounding 5% rice bran.
Rice bran 10%TMR; The fermented TMR is compounding 10% rice bran.
Mean ± standard deviation.
NS, not significant.

Table 3.2.6 Effects of feeding fermented TMR on carcass traits of Japanese black steers during the fattening period

		Rice bran 5%TMR (n = 5)	Rice bran 10%TMR (n = 5)	
Carcass weight (kg)		411.9 ± 34.8	426.5 ± 23.7	NS
Lib eye area (cm^2)		50.8 ± 7.1	52.8 ± 5.8	NS
Rib thickness (cm)		7.5 ± 0.8	7.4 ± 0.3	NS
Subcutaneous fat thickness (cm)		2.4 ± 0.6	2.1 ± 0.2	NS
Yield estimate		73.7 ± 0.9	74.0 ± 0.9	NS
Beef marbling standard score(B.M.S.)		6.4 ± 2.3	7.0 ± 1.2	NS
Beef color standard score (B.C.S.)		3.4 ± 0.5	3.6 ± 0.5	NS
Beef fat standard score (B.F.S.)		3.0	3.0	NS
Quality grade		4.2 ± 0.8	4.4 ± 0.5	NS
Meat quality grage (n)	A5	2	2	
	A4	1	3	
	A3	2		

Rice bran 5%TMR; The fermented TMR is compounding 5% rice bran.
Rice bran 10%TMR; The fermented TMR is compounding 10% rice bran.
Mean ± standard deviation.
NS, not significant.
Carcass score graded by Japan Meat Grading Association.

Table 3.2.7 Effects of feeding fermented TMR on fatty acid composition of the longissimus thoracis muscle in Japanese black steers

	Rice bran 5%TMR (n = 5)		Rice bran 10%TMR (n = 5)		
Fatty acid composition (%)					
C14:0	1.8	± 0.2	1.8	± 0.4	NS
C14:1	1.0	± 0.1	1.0	± 0.2	NS
C16:0	23.4	± 0.8	22.4	± 1.7	NS
C16:1	7.5	± 0.6	7.7	± 0.4	NS
C18:0	9.9	± 0.7	9.8	± 0.7	NS
C18:1	53.7	± 1.1	54.7	± 2.3	NS
C18:2	1.9	± 0.2	1.9	± 0.1	NS
C18:3	0.8	± 0.2	0.9	± 0.2	NS
MUFA	62.3	± 1.1	63.3	± 2.5	NS
PUFA	2.7	± 0.4	2.8	± 0.3	NS

Rice bran 5%TMR; The fermented TMR is compounding 5% rice bran.

Rice bran 10%TMR; The fermented TMR is compounding 10% rice bran.

C14:0, myristic asid; C14:1, myristoleic acid; C16:0, palmitic acid; C16:1, palmitoleic acid; C18:0, stearic acid; C18:1, oleic acid; C18:2, linoleic acid; C18:3, linolenic acid; MUFA, Monounsaturated fatty acids; PUFA, Polyunsaturated fatty acids.

Mean ± standard deviation.

NS, not significant.

第Ⅳ章　肥育中後期牛への生稲わらサイレージおよび生米ぬかを混合した発酵 TMR の給与が産肉性に及ぼす影響

4.1 緒言

生稲わらサイレージには、乾燥稲わらと比べてβ-カロテンが多く含まれる（金谷ら 2008）。第Ⅱ章では、肥育後期の黒毛和種去勢牛への生稲わらサイレージの給与効果を検討し、第Ⅲ章では、生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した発酵 TMR を肥育後期の 6 ヵ月間黒毛和種去勢牛に給与した場合の影響について検討した。その結果、生稲わらサイレージの単体給与あるいは、発酵 TMR に混合して給与した場合のいずれにおいても、ビタミン A 欠乏症の発生リスクを低減できる可能性があり、かつ脂肪交雑に影響を与えないことから肥育後期の粗飼料として活用できることを明らかにした。しかしながら、脂肪交雑は肥育中期にもっとも発達し、同時期にビタミン A を制限すると脂肪交雑が高まることから（Oka ら 1998a; 農林水産技術会議事務局 2000）、肥育中期における生稲わらサイレージの給与が脂肪交雑を抑制する可能性は否定できない。また、玄米精白後の脱脂されていない生米ぬかは、TDN 含量が現物で 80.5%と高く（農業・食品産業技術総合研究機構 2010）、農業副産物であるため安価である。さらに、生米ぬかの給与により、牛肉の風味と相関が高いオレイン酸等の不飽和脂肪酸割合が増加するとの報告（Dryden と Marchello 1970; 浅田ら 2007）もある。しかし一方で、肥育期にリンやマグネシウム含量の高い米ぬかの多給は、尿石を助長する危険性が指摘されている（小林と石崎 2011）。

水田副産物である生稲わらサイレージや生米ぬかを肉用牛向けの発酵 TMR の素材として利用し、さらには、肥育牛へ長期間に給与することが可能となれば、飼料自給率向上や飼料費低減の観点から有望と考えられる。しかしながら、生稲わらサイレージのようなβ-カロテン含量の高い飼料や生米ぬかを混合した

発酵 TMR を、黒毛和種去勢牛の肥育中期に給与した場合の産肉性に及ぼす影響や尿石症の発生リスクについては検討されていない。

そこで本章では、生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した 2 種類の発酵 TMR を肥育中期に相当する 14 から 19 ヵ月齢の黒毛和種去勢牛に給与し、市販配合飼料と乾燥稲わらを分離給与する対照区との比較試験を実施し、産肉性と肉質に及ぼす影響について検討した。

4.2 材料および方法

1. 供試牛と試験区分

富山県農林水産総合技術センター畜産研究所で飼養されている同一種雄牛を父とする平均月齢 14.4 ヵ月齢の黒毛和種去勢牛 18 頭を供試牛として用いた。試験期間は 14 ヵ月齢から 26 ヵ月齢までの 12 ヵ月間とし、前半の 6 ヵ月間を肥育中期、後半の 6 ヵ月間を肥育後期とした。供試牛は試験終了後直ちに出荷し、（株）富山食肉総合センターにおいて屠畜された。

飼養試験の処理区は、14～26 ヵ月齢の試験期間を通じて市販の配合飼料と乾燥稲わらを分離給与する対照区、14～19 ヵ月齢の肥育中期に生稲わらサイレージを乾物中 10%混合した発酵 TMR（L-TMR）を給与し、20～26 ヵ月齢の肥育後期に生稲わらサイレージを乾物中 20%混合した発酵 TMR（H-TMR）を給与する L-TMR 区、および 14～26 ヵ月齢の試験期間を通じて H-TMR を給与する H-TMR 区の 3 処理区を設定し、各処理区には 6 頭ずつ配置した。両 TMR 中への生米ぬかの混合割合は乾物中 10%とした。

2. 試験飼料

給与飼料の割合割合と成分値を Table 4.1 に示した。

濃厚飼料は、市販の配合飼料（TDN 74%、CP 11%（原物中含量））、圧ペン大麦、ふすま、大豆粕、および生米ぬか（未脱脂、富山県産）を用いた。粗飼料は、富山県内で回収・調製した生稲わらサイレージともみがら、および国産の乾燥稲わらを用いた。生稲わらサイレージは、食用米品種「てんたかく」および「コシヒカリ」の刈り取り当日に、稲わらを予乾せずに自走式ロールベーラー（SR1230; 株式会社タカキタ、三重）で回収してサイレージ調製した。なお、粗飼料の平均切断長は、乾燥稲わら、生稲わらサイレージともに 8.5 cm であっ

た。もみがらは、富山県内 JA のカントリーエレベーターから排出されたものを用いた。

発酵 TMR の調製は、水分を 45%に加水調製し、各飼料原料を飼料撹拌機（CS コンプリートフィーダー; 株式会社チュウチク、愛知）で 20 分間混合後、トランスバック（0.5m^3）内の袋（ポリ塩化ビニール製：厚さ 75 μm）に約 250 kg を投入し、密封状態を保ちながら 2 週間から 14 週間屋内で貯蔵した。発酵 TMR の化学的成分組成については，各原料の配合割合に基づき，日本標準飼料成分表（農業・食品産業技術総合研究機構 2010）の値から算出した。

3. 飼料給与方法および飼養管理

供試牛は、各区 2 頭の群飼とした。飼料は、個体識別給餌ドア（DF-100-B; オリオン機械株式会社、長野）により 1 日 2 回（9:30 と 14:30）給与した。栄養充足率は日本飼養標準・肉用牛により算出した（農業・食品産業技術総合研究機構 2009）。

飲水はウォーターカップによる自由摂取とし、鉱塩（固形カウストン; 日本全薬工業株式会社、福島）は自由摂取とした。

なお、供試牛の飼養管理等については、「産業動物の飼養及び保管に関する基準」（環境省 1987）に従って実施した。

4. 測定項目

(1) 体重

体重は 2 週間毎の 9:00 に測定した。

(2) 飼料摂取量・飼料要求率

残飼量は濃厚飼料と粗飼料に分けて毎日秤量し、それぞれについて摂取量を

算出した。また、飼料要求率は飼料摂取量を増体量で除して算出した。

(3) 血液の採取と成分分析

血液は、試験開始時から 4 週間毎に、飼料給与前の 9:00 に、頸静脈からヘパリン入り真空採血管に採取した。採取後の血液は遠心（3,000×*g*、30 分、4℃）して血漿を分離し、分析に供するまで－20℃で凍結保存した。

レチノール（ビタミン A）と α-トコフェロール濃度は、高速液体クロマトグラフィー（LC ワークステーション CLASS-VP、検出器 SPD-10AVvp; 株式会社島津製作所、京都）により分析した（日本ビタミン学会編 1983）。一般成分（AST、ALT、GGT、TP、Alb、A/G 比、BUN、T-Cho、TG、Glu、Ca、IP）については（社）富山市医師会健康管理センターに分析を委託し、（社）日本臨床化学会常用基準準拠法に基づき定量した値を用いた。

(4) 枝肉の評価

枝肉の格付成績は、（株）富山食肉総合センターにおいて（公社）日本食肉格付協会の牛枝肉取引規格により格付されたものを用いた。また、屠畜検査により診断された疾病分類は、富山県食肉検査所の検査結果を用いた。

(5) 胸最長筋の分析

格付け後、胸最長筋（第 7 肋骨部）を採取したのち、真空包装し、分析に供するまで－20℃で凍結保存した。脂肪酸組成については、ミンチにしたサンプルをメチルエステル化後、ガスクロマトグラフィー（GC-14A; 株式会社島津製作所、京都）により測定した（Folch ら 1957）。α-トコフェロール含量は、高速液体クロマトグラフ（検出器 RF-535; 株式会社島津製作所、京都）により測定

（財団法人日本食品分析センター 2001）した。

(6) 粗飼料の成分分析

供試飼料と残飼のサンプルは、一般分析法（自給飼料利用研究会 2009）に基づき乾物含量を測定した。また、粗飼料中の β-カロテン含量および α-トコフェロール含量は、高速液体クロマトグラフィー（LC ワークステーション CLASS-VP、検出器 SPD-10AVvp; 株式会社島津製作所、京都）により測定した（北海道立根釧農業試験場、私信）。また、発酵 TMR の発酵品質を調べるため、pH、有機酸組成および揮発性塩基態窒素（VBN）含量を測定し、VBN と窒素の割合（VBN/TN）を求め、有機酸組成と VBN/TN から V-スコアを求めた（自給飼料利用研究会 2009）。

(7) 統計処理

得られたデータについては、統計パッケージソフト（Stat View 5.0J; SAS Institute、Cary、NC、USA）を用いて統計処理を実施した。体重、日増体量（DG）、乾物摂取量、飼料要求率、血液性状については、処理区と給与期間、およびそれぞれの交互作用を因子とした 2 元配置分散分析を、枝肉成績、胸最長筋中の脂肪酸組成、および α-トコフェロール含量については、処理区を要因とする 1 元配置分散分析を実施した。それぞれ有意差（$P < 0.05$）が認められた場合の検定を Fisher の PLSD 法を用いて 5%水準で有意差の検定を行った。なお、枝肉形質のうち B.M.S.、B.C.S.、および B.F.S.については Mann-Whitney の U 検定を用いて 5%水準で有意差の検定を行った。

4.3 結果

１．体重、飼料摂取量、日増体量および飼料要求率

試験期間における体重、乾物摂取量、DG、および飼料要求率を Table 4.2 に示した。

肥育中期における 1 日当たりの乾物摂取量および DG は、対照区に比べ両 TMR 区が有意に高まった（$P < 0.05$）。そのため、肥育後期の試験開始時体重は、対照区に比べ両 TMR 区で大きくなった（$P < 0.05$）。肥育後期の乾物摂取量および DG は区間に差は認められなかった。飼料要求率は、肥育中後期の両期間において、区間に差はなかった。また、月ごとにおける 1 日当たりの乾物摂取量の推移は、対照区に比べ H-TMR 区が 19 ヵ月齢まで、L-TMR 区が 18 ヵ月齢まで有意に高く推移した（Figure. 4.1）。肥育後期において、20～25 ヵ月齢までは各区差はなかったが、26 ヵ月齢では L-TMR 区が H-TMR 区よりも有意に低かった。

２．血液性状

血中の生化学値を Table 4.3 に示した。試験期間を通じて AST 活性値に処理区間の差はなかった。ALT 活性は 17 および 20 ヵ月齢で H-TMR 区が最も高かった（$P < 0.05$）が、他の月齢では区間に差はなかった。BUN 濃度は、対照区が 17 ヵ月齢以降両 TMR 区より高く（$P < 0.05$）推移し、23 ヵ月齢では H-TMR 区が、26 ヵ月齢では L-TMR 区で低かった（$P < 0.05$）。また、T-Cho 濃度は 17、23、および 26 ヵ月齢において対照区が両 TMR 区に比較し低かった（$P < 0.05$）。Ca 濃度は、20 ヵ月齢で対照区が、26 ヵ月齢で H-TMR 区が最も高かった（$P < 0.05$）。IP 濃度は、17 ヵ月齢で対照区が最も低かった（$P < 0.05$）が、他の月齢において各区差はなかった。

レチノール濃度は、対照区が 17 および 23 ヵ月齢で両 TMR 区よりも有意に低かったが、それ以外の月齢では各区差はなかった。また、対照区の 5 頭すべてにおいて、ビタミン A の欠乏症状のひとつである採食量の低下（全国家畜畜産物衛生指導協会 1999）が認められたため、当該製剤（デュファゾール A100S、; 共立製薬株式会社、東京）5 mL（ビタミン A として 50 万 IU）を 18 ヵ月齢と 20 ヵ月齢、および 25 ヵ月齢時に経口投与した。両 TMR 区の牛には採食量低下などのビタミン A 欠乏症状が発生しなかったため、同製剤の投与は不要であった。α-トコフェロール濃度は、20～26 ヵ月齢で L-TMR 区が最も高く推移し（$P < 0.05$）対照区の値が最も低かった。H-TMR 区は、23 および 26 ヵ月齢において、対照区より高く、L-TMR 区より低く推移した（$P < 0.05$）（Figure. 4.2）。

３．枝肉の評価

枝肉重量および皮下脂肪の厚さは、対照区に比べ両 TMR 区で有意に増加したが、他の測定項目に差はなかった。枝肉の格付けが A4 以上の頭数は、各区 6 頭のうち対照区が 5 頭、L-TMR 区が 5 頭、そして H-TMR 区が 3 頭であり、いわゆる上物とされる 4 等級以上の割合は、対照区および L-TMR 区で高い傾向にあった（Table 4.4）。

屠畜検査により診断された疾病分類において、泌尿器結石は、対照区では発生個体はいなかったが、L-TMR 区は 3 頭（50%）、H-TMR 区は 2 頭（33%）に発生が認められた（Table 4.5）。

４．胸最長筋中の脂肪酸組成およびα−トコフェロール含量

胸最長筋中の脂肪酸組成は、ミリストレイン酸（C14:1）、パルミトレイン酸 C16:1）、およびリノール酸（C18:2）の割合が、両 TMR 区に比べ対照区で高かった（$P < 0.05$）。オレイン酸（C18:1）の割合は、対照区が最も低かった（$P < 0.05$）（Table 4.6）。胸最長筋中の α-トコフェロール含量は、対照区（0.5 mg/100g）に比べて両 TMR は約 3 倍（1.7 mg/100g）に高まった（$P < 0.05$）（Figure. 4.3）。

５．粗飼料の成分

発酵 TMR 中の β-カロテンおよび α-トコフェロール含量は、L-TMR がそれぞれ 1.2 mg/kg、27.2 mg/kg、そして、H-TMR では 3.7 mg/kg、43.4 mg/kg であった。また、発酵品質は両 TMR とも V-スコアが 90 点以上を示し、いずれも発酵品質は良（80 点以上）の判定であった（Table 4.7）。

4.4 考察

黒毛和種の肥育では、16～21 ヵ月齢の肥育中期にビタミン A の給与量を制限することにより脂肪交雑を高める飼養方法が一般的に行われている。第Ⅱ章や第Ⅲ章でも述べたが、生稲わらサイレージにはプロビタミン A である、β-カロテンが多く含まれている。このため、生稲わらサイレージを混合した発酵 TMR を肥育中期からの長期間に渡って給与する場合、血漿中レチノール濃度が高く推移することが想定されるため、脂肪交雑が低下し、肉質が低下することが懸念される。そこで本章では、肥育中期（14～19 ヵ月）から後期（20～26 ヵ月齢）の牛を用い、肥育中期に給与することを想定した発酵 TMR の調製・給与試験を実施し、肥育成績や血液性状等との関係について検討した。

一般的に、発酵 TMR の嗜好性は乳牛において良好であることが知られている（塩谷ら 2007）。本研究における肥育中期の乾物摂取量は、両 TMR 区が対照区に比べ 15%程度増加したことから、肥育牛へ発酵 TMR を給与した神谷ら（2011）の報告と同様に嗜好性は高いと考えられた。しかし、肥育後期の乾物摂取量は、区間に差はなかった。一般に肥育牛では、肥育が進むにつれ体脂肪が蓄積し、体脂肪蓄積量が高まると乾物摂取量は低下する。また、肥育後期は肥育中期に比べ生理的に増体や乾物摂取量が落ち込む時期である（農業・食品産業技術総合研究機構 2009）。このため、いずれの区においても肥育後期では、肥育中期に比べ乾物摂取量が低下したと考えられた。

対照区の乾物摂取量は、血中レチノール濃度が低下した 20～21 ヵ月齢の間で最も落ち込んだ。血中レチノール濃度が 50 IU/dL 以下になると、採食量低下が認められる（西ら 2001）。対照区ではビタミン A 製剤の投与で採食量は回復したため、乾物摂取量の低下は、ビタミン A 欠乏症によるものであると考えられた。また、L-TMR 区については、26 ヵ月齢の乾物摂取量が低くなった。

この原因として、尿石症を発症した個体の乾物摂取量が出荷 1 ヵ月前に著しく低下した影響と考えられた。

肥育期間中の総エネルギー摂取量が低い条件下では脂肪蓄積量が少なくなる（Fortin ら 1980; Fortin ら 1981）。井口ら（1994）は、ビタミン A 制限を実施し、肥育期間中の DG を 0.7 kg/日程度に抑えた場合には、ビタミン A 制限をしなかった区と比べて皮下脂肪の厚さが薄くなることを認めている。また、肥育中期の TDN 給与量を調節することで枝肉の脂肪蓄積抑制が可能である（坂下ら 2004）との報告もある。本結果の枝肉成績において、対照区の皮下脂肪厚が両 TMR 区に比べ有意に薄くなったのは、対照区における肥育中期の乾物摂取量が両 TMR 区に比べ低く、結果としてエネルギー摂取量が少なかったためと推察される。また、血漿中 T-Cho 濃度はエネルギー摂取量を反映する（Kronfeld ら 1982; 全国家畜畜産物衛生指導協会 1999）。T-Cho 濃度が対照区に比べ発酵 TMR 区で高く推移したのは、肥育中期の乾物摂取量が安定的に高く推移したためと考えられた。

本研究では、両 TMR 区の肥育中期における血中レチノール濃度は、50 IU/dL 以上で推移したため、ビタミン A 欠乏に起因する乾物摂取量や増体の低下（安田と村上 1986; 全国家畜畜産物衛生指導協会 1999）は認められなかった。甫立（1999）は、枝肉評価において B.M.S.が 6 以上だった牛では、16 ヵ月齢において血中ビタミン A 濃度が 80 IU/dL 以下となっていたと報告している。また、渡辺ら（1999）は、枝肉評価において B.M.S.が 8 以上だった牛の大部分は、18 から 19 ヵ月齢での血中レチノール濃度は 50 IU/dL 以下であったと報告している。枝肉成績のうち B.M.S.の平均値は、対照区が 6.8、L-TMR 区が 7.3、そして H-TMR 区が 6.3 と区間に差は認められなかった。いずれの区においてもこの期間の血中レチノール濃度の平均値は 50 IU/dL 以上で推移しており、B.M.S.が 8

以上を得るためのビタミン A 制限ではなかったと考えられた。

本研究で給与した発酵 TMR 中の β-カロテン含量の平均値は、L-TMR が 1.2 mg/kg、H-TMR が 3.7 mg/kg で、ビタミン A に換算するとそれぞれ 480 IU/kg、1,480 IU/kg であった。これらは、対照区に給与した配合飼料中のビタミン A 添加量（320 IU/kg）よりも多かった。しかし、肥育中期に給与する生稲わらサイレージの混合割合を 10%あるいは 20%に調製しても、その混合割合の差による血中レチノール濃度への影響は認められず、結果として B.M.S.に影響を与えなかったと考えられた。

発酵 TMR の摂取により、対照区に比べ両 TMR 区の血中 α-トコフェロール含量は、試験期間を通じて高く推移し、胸最長筋中の α-トコフェロール含量は、両 TMR 区で対照区の 3 倍にまで高まっていた。この結果は、飼料添加や給与飼料の影響によって血中および筋肉中の α-トコフェロール含量は増加する（三津本ら 1995; Yang ら 2002; 谷本ら 2004; 清水ら 2005; 因野ら 2007; 髙平ら 2015）既存の報告と一致していた。

生米ぬかを乾物中 10%混合した L-TMR 区および H-TMR 区の胸最長筋中のオレイン酸割合は、対照区よりも高い傾向にあった。また、リノール酸割合は、対照区が両 TMR 区に比べ有意に高まった。牛肉の食味性は脂肪酸組成との関連性が大きく（Dryden と Marchello 1970; Westerling と Hedrick 1979）、給与飼料の影響を受ける（Melton ら 1982; Marmer ら 1984; 常石ら 1989; 木村ら 1996; Mandell ら 1998）。トウモロコシに含まれる脂肪酸の中で最も多いのはリノール酸であり、オレイン酸はほとんど含まれない（文部科学省 2017）。また、米ぬかにはオレイン酸が最も多く含まれる（文部科学省 2017）。今回の結果において、対照区でリノール酸割合が高く、発酵 TMR 区でオレイン酸割合が高い傾向にあったのは、 米ぬか給与の影響であると考えられた。

一方、肥育期にリンやマグネシウム含量の高い米ぬか（農業・食品産業技術総合研究機構 2010）の多給は、尿石症を助長する危険性が指摘されている（小林と石崎 2011）。尿石症の予防にはリン含量の高い飼料の多給を避け、カルシウムとリンの比率を 1:1～2:1 とすることが適当と示されている（農業・食品産業技術総合研究機構 2009）。しかしながら、飼料中のカルシウム：リン比を推奨値（農業・食品産業技術総合研究機構 2009）に設定していても尿石症が多発する事例が報告されている（渡辺ら 2013）。それによると、カルシウム給与量は約 50 g/日であり、肉用去勢牛の必要量を大幅に上回っていた。本研究における飼料中のカルシウム：リン比は対照区が 0.8、両 TMR 区が 1.0 であった。また、1 日当たりのカルシウムおよびリン摂取量は、対照区がそれぞれ 30.4 g および 38.0 g であったのに対し、生稲わら 10%TMR 区ではいずれも 49.0 g、生稲わら 20%TMR 区ではいずれも 50.4 g でカルシウムとリンの摂取量が同量だった。すなわち、すべての処理区で、カルシウムおよびリンの要求量（カルシウム:30 g/日、リン: 20～28 g/日）を大きく上回っていた。リン酸マグネシウム塩の結石はアルカリ条件下で形成され（小林 1992; 元井 1988）、尿の pH 上昇が形成を促進する（奥村ら 2006）。実際、肉牛用飼料への炭酸カルシウム添加により尿の pH が上昇する（石田 2009）。また、尿石症多発の事例において、カルシウム給与量を 30 g/日に減少することで発生が抑制される（渡辺ら 2013）。このときのカルシウム：リン比は 0.8 程度であったことから、カルシウムの要求量を満たしていれば､カルシウム:リン比率が低くても尿石症のリスクは低下する。本研究において、カルシウム：リン比を推奨値である 1.0 に設定したにも関わらず両 TMR 区において泌尿器結石が多発したのは、カルシウム給与量の過剰により尿 pH が上昇し、リン酸マグネシウム塩の結石形成が亢進されたためと推察される。供試牛の尿 pH や結石の成分分析は行っていないが、既往の報告

（渡辺ら 2013）と一致した傾向であった。屠畜検査により診断された疾病分類において、泌尿器結石の発生割合は、対照区では 0%であったのに対し、L-TMR 区は 50%、H-TMR 区は 33%であった。両 TMR 区の泌尿器結石の発生割合は、富山県で調査された発生割合（12%）（富山県食肉検査所 2015）よりも高かったため、この TMR の給与により泌尿器結石の発生頻度は高まる可能性があることが示唆された。

以上の結果から、生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した発酵 TMR を肥育中期から給与すると、配合飼料と乾燥稲わらを分離給与した対照区に比べ肥育中期の乾物摂取量が高まり、増体が向上することが明らかとなった。さらに血中レチノール濃度の低下が抑制され、ビタミン A 欠乏症の発生を回避出来た。加えて、枝肉評価においても対照区と遜色ないことが明らかになった。これらの効果は、発酵 TMR 中への生稲わらサイレージの混合割合を変えても同様であった。また、生米ぬかを発酵 TMR 中に乾物中 10%混合することにより、オレイン酸割合が高まることから、牛肉の脂肪質改善にも有効な給与飼料であると考えられた。しかしながら、長期間（12 ヵ月間）の生米ぬかを混合した発酵 TMR 給与により尿石症の発生リスクが高まったため、生米ぬかの混合割合を 10%以下に低減させることや、カルシウムの給与量を要求量よりも過剰にならないよう留意する必要があると考えられた。

4.5 要約

14 ヵ月齢からの肥育中期の黒毛和種去勢牛への生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した発酵 TMR の給与が､飼養成績に及ぼす影響について検討した。対照区（市販配合飼料と乾燥稲わらを分離給与）、L-TMR 区（肥育中期に生稲わらサイレージと生米ぬかを乾物中それぞれ 10%混合した発酵 TMR を給与）、および H-TMR 区（生稲わらサイレージを 20%と生米ぬかを 10%混合した発酵 TMR を給与）の 3 区に 6 頭ずつ配置し、26 ヵ月齢まで肥育した。肥育中期の乾物摂取量、日増体量および枝肉重量は両 TMR 区が対照区よりも優れ、牛肉中のオレイン酸割合は、H-TMR 区が対照区よりも高まったが、L-TMR 区の 3 頭および H-TMR 区の 2 頭に泌尿器結石の発生が認められた｡以上の結果から、生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した発酵 TMR の給与は、肥育中期における増体を高め、胸最長筋中のオレイン酸割合を増加させるが、尿石症の発生リスクが高まることが明らかになった。

4.6 図表

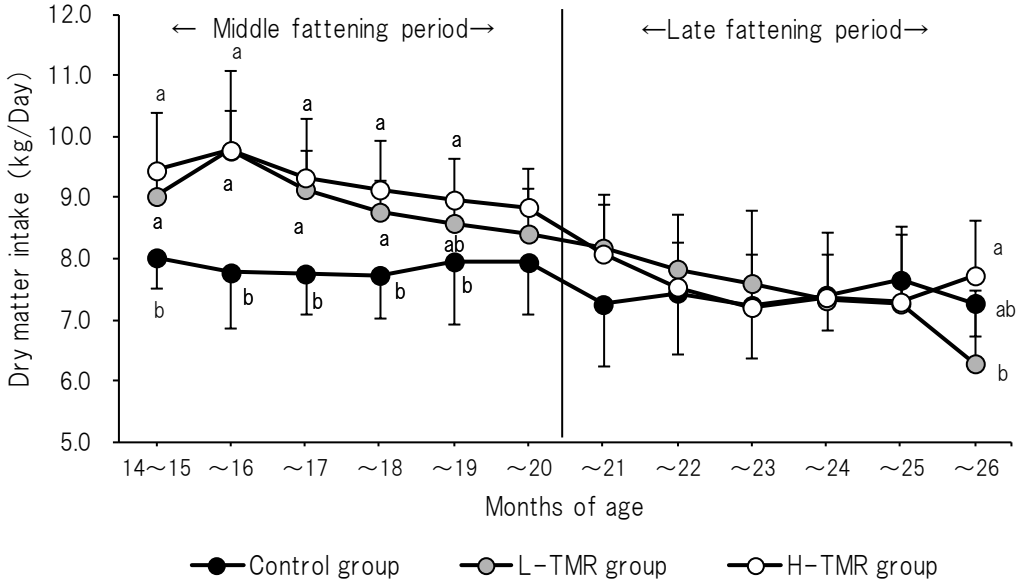

Figure 4.1 Changes in dry matter intake in Japanese black steers during the middle and late fattening period

Middle period, 14-19 months of age; Late period, 20-26 months of age.
L-TMR and H-TMR; See the footnote in Table 4.1.
Control group, Experimental diets of commercial concentrate and rice straw; L-TMR group, Experimental diets of L-TMR in the middle period and feeding H-TMR in the late period; H-TMR group; Experimental diets of H-TMR during the whole period.
Each point represents mean ± standard deviation.
The different letters (a, b) denote significant differences ($P < 0.05$).

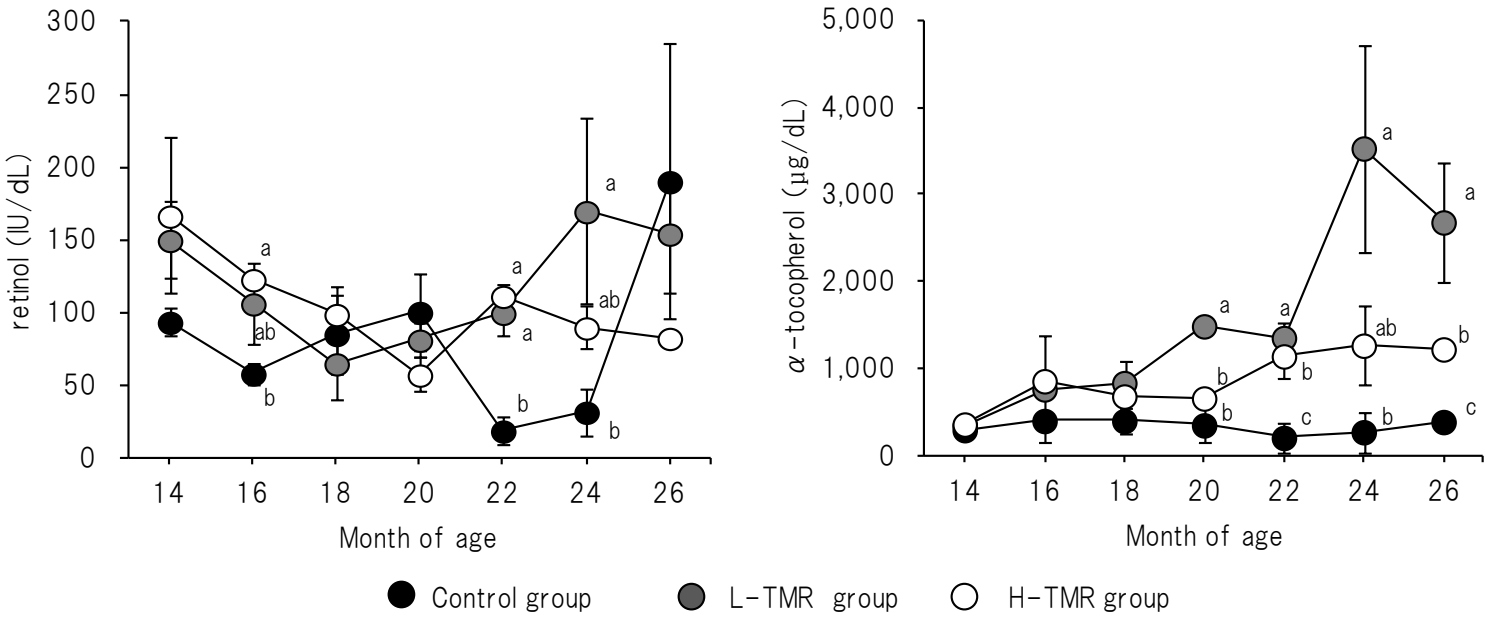

Figure. 4.2 Changes in plasma retinol (left) and α-tocopherol (right) content in Japanese black steers during the middle and late fattening period

L-TMR and H-TMR; See the footnote in Table 4.1.
Control group, Experimental diets of commercial concentrate and rice straw; L-TMR group, Experimental diets of L-TMR in the middle period and feeding H-TMR in the late period; H-TMR group; Experimental diets of H-TMR during the whole period.
Each point represents mean ± standard deviation.
The different letters (a, b, c) denote significant differences ($P < 0.05$).

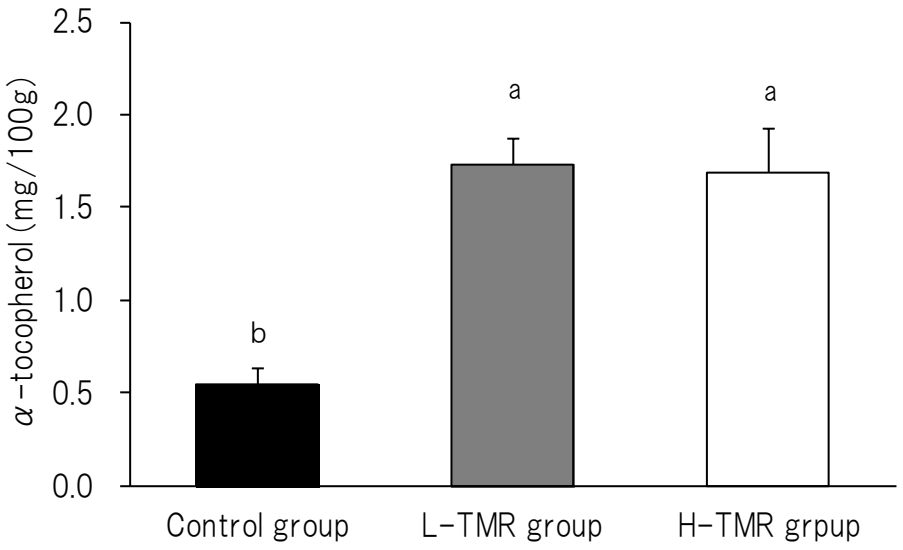

Figure. 4.3 Effects of feeding fermented TMR on α-tocopherol concentration of the longissimus thoracis muscle in Japanese black steers

L-TMR and H-TMR; See the footnote in Table 4.1.
Control group, Experimental diets of commercial concentrate and rice straw; L-TMR group, Experimental diets of L-TMR in the middle period and feeding H-TMR in the late period; H-TMR group; Experimental diets of H-TMR during the whole period.
Each point represents mean ± standard deviation
The different letters (a, b) denote significant differences ($P < 0.05$).

Table 4.1 Composition of feed ingredients and chemical composition of control and experimental diets

	Control	L-TMR	H-TMR
Ingredients (% DM)			
Commercial concentrate[1)]	79.0	40.4	40.4
Wheat bran	0.0	30.5	26.2
Barlay	0.0	0.0	2.6
Soybean meal	0.9	0.3	0.0
Rice bran	0.0	9.6	9.6
Rice straw	20.1	0.0	0.0
Fresh rice straw silage	0.0	10.1	20.2
Rice husk	0.0	8.1	0.0
Calcium carbonate	0.0	1.0	1.0
Chemical composition (% DM)[2)]			
TDN	75.7	74.1	75.2
CP	11.0	11.0	11.1
NFC	43.1	43.5	42.5
EE	3.2	4.4	4.6
Ca	0.4	0.6	0.6
P	0.5	0.6	0.6

Control; The commercial concentrate and rice straw ware separated feeding.

L-TMR; The fermented TMR is compounding 10.1% fresh rice straw silage.

H-TMR; The fermented TMR is compounding 20.2% fresh rice straw silage.

TDN, total digestible nutrients; CP, crude ptotein; NFC, nonfibrous carbohydrate; EE, ether extrct; Ca, calcium; P, phosphate.

[1)]TDN 84.1 %, CP 11.9%/DM

[2)]This data was calcurated using Standard Table of Feed Composition in Japan National Agricultural Research Organization (2009).

Table 4.2 Effects of feeding fermented TMR on growth performance, dairy gain, dry matter intake, and feed conversion in Japanese black steers during the middle and late fattening period

	Control group (n = 6)	L-TMR group (n = 6)	H-TMR group (n = 6)	Effect, *P* value		
				Trait	Feeding period	Trait×Feeding period
Growth performance (kg)						
14 months of age	357 ± 29	377 ± 18	382 ± 27			
20 months of age	518 ± 45[b]	588 ± 36[a]	589 ± 34[a]	< 0.001	< 0.001	0.435
26 months of age	626 ± 55[b]	688 ± 56[a]	693 ± 25[a]			
Dairy gain (kg/day)						
Middle period	0.87 ± 0.17[b]	1.16 ± 0.18[a]	1.14 ± 0.08[a]			
Late period	0.59 ± 0.08	0.55 ± 0.22	0.57 ± 0.10	0.010	< 0.001	0.055
Whole period	0.73 ± 0.11	0.86 ± 0.16	0.86 ± 0.07			
Dry matter intake (kg/day)						
Middle period	7.86 ± 0.47[b]	8.95 ± 0.45[a]	9.25 ± 0.83[a]			
Late period	7.34 ± 0.56	7.35 ± 0.82	7.54 ± 0.81	0.002	< 0.001	0.223
Whole period	7.60 ± 0.48[b]	8.16 ± 0.56[a]	8.40 ± 0.80[ab]			
Feed conversion						
Middle period	9.4 ± 2.8	7.8 ± 1.0	8.1 ± 0.8			
Late period	12.6 ± 1.8	15.0 ± 5.3	13.4 ± 2.4	0.856	< 0.001	0.355
Whole period	10.6 ± 2.1	9.6 ± 2.4	9.8 ± 0.9			

Middle period, 14-19 months of age; Late period, 20-26 months of age; Whole period, 14-26 months of age.
L-TMR and H-TMR; See the footnote in Table 4.1.
Control group; Experimental diets of commercial concentrate and rice straw.
L-TMR group; Experimental diets of L-TMR in the middle period and feeding H-TMR in the late period.
H-TMR group; Experimental diets of H-TMR during the whole period.
Mean ± standard deviation.
The different letters (a, b) denote significant differences ($P < 0.05$).

Table 4.3 Changes in blood components in Japanese black steers during the middle and late fattening period

Item	Unit	Group	14months	17months	20months	23months	26months	Effect, *P* value		
								Trait	months	Trait×montths
		Control	78.0 ± 44.0	102.2 ± 104.3	62.0 ± 8.3	58.0 ± 11.1	55.7 ± 5.4			
AST	U/L	L-TMR	89.5 ± 78.7	50.8 ± 10.9	62.3 ± 29.4	53.0 ± 4.3	48.7 ± 6.3	0.506	0.190	0.695
		H-TMR	73.3 ± 22.9	61.0 ± 14.5	61.8 ± 10.8	56.7 ± 20.7	55.3 ± 4.9			
		Control	23.5 ± 4.8	20.8 ± 1.7 [ab]	19.8 ± 1.7 [c]	20.0 ± 2.4	20.3 ± 3.1			
ALT	U/L	L-TMR	21.7 ± 3.8	19.3 ± 2.1 [b]	22.2 ± 1.2 [b]	22.0 ± 3.8	20.5 ± 3.0	0.009	0.269	0.246
		H-TMR	23.2 ± 1.5	23.2 ± 2.3 [a]	24.5 ± 2.3 [a]	21.0 ± 2.6	23.2 ± 3.5			
		Control	17.0 ± 3.0	31.8 ± 10.1	27.3 ± 5.1	26.0 ± 3.9	22.3 ± 3.1			
GGT	U/L	L-TMR	20.2 ± 6.6	28.3 ± 7.0	29.8 ± 9.9	22.8 ± 3.4	22.7 ± 4.0	0.281	0.009	0.996
		H-TMR	19.5 ± 3.3	30.8 ± 16.3	30.7 ± 20.1	21.7 ± 4.3	22.8 ± 3.4			
		Control	6.7 ± 0.3 [a]	7.0 ± 0.4 [a]	6.9 ± 0.2	6.8 ± 0.1	7.1 ± 0.2 [a]			
T P	mg/dL	L-TMR	6.2 ± 0.2 [b]	6.4 ± 0.4 [b]	6.7 ± 0.2	6.7 ± 0.4	6.8 ± 0.4 [b]	< 0.001	0.005	0.415
		H-TMR	6.7 ± 0.2 [a]	6.7 ± 0.2 [ab]	6.7 ± 0.4	6.7 ± 0.5	7.0 ± 0.3 [ab]			
		Control	3.7 ± 0.2 [a]	3.7 ± 0.2	3.7 ± 0.2	3.6 ± 0.2	3.7 ± 0.1			
A l b	mg/dL	L-TMR	3.4 ± 0.1 [b]	3.6 ± 0.2	3.7 ± 0.1	3.7 ± 0.2	3.7 ± 0.2	0.041	0.010	0.059
		H-TMR	3.6 ± 0.1 [a]	3.6 ± 0.1	3.7 ± 0.2	3.7 ± 0.2	3.8 ± 0.1			
		Control	1.2 ± 0.1	1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.1 [b]	1.1 ± 0.1 [b]			
A/G ratio		L-TMR	1.2 ± 0.1	1.2 ± 0.1	1.2 ± 0.1	1.2 ± 0.1 [a]	1.2 ± 0.1 [a]	< 0.001	0.900	0.092
		H-TMR	1.2 ± 0.1	1.2 ± 0.1	1.2 ± 0.1	1.2 ± 0.1 [a]	1.3 ± 0.1 [a]			
		Control	12.8 ± 3.5	19.5 ± 2.3 [a]	18.8 ± 2.9 [a]	17.6 ± 2.1 [a]	17.6 ± 1.8 [a]			
BUN	mg/dL	L-TMR	13.0 ± 1.1	16.3 ± 1.8 [b]	16.2 ± 1.7 [ab]	15.3 ± 2.7 [a]	13.8 ± 3.1 [b]	< 0.001	< 0.001	< 0.001
		H-TMR	15.4 ± 2.0	16.0 ± 2.8 [b]	14.0 ± 2.5 [b]	12.3 ± 2.2 [b]	15.1 ± 1.6 [ab]			
		Control	137.7 ± 23.7	157.5 ± 34.2 [b]	189.0 ± 41.6	158.2 ± 41.2 [b]	168.2 ± 30.0 [b]			
T-Cho	mg/dL	L-TMR	139.0 ± 21.7	243.5 ± 67.4 [a]	240.2 ± 30.0	222.0 ± 47.7 [a]	223.2 ± 16.5 [a]	< 0.001	< 0.001	0.159
		H-TMR	131.8 ± 18.1	237.8 ± 43.6 [a]	224.3 ± 54.3	200.8 ± 20.8 [ab]	237.7 ± 46.7 [a]			
		Control	24.3 ± 4.3 [b]	28.7 ± 7.3	35.3 ± 7.1 [a]	29.2 ± 4.2 [a]	34.2 ± 5.2 [a]			
TG	mg/dL	L-TMR	26.7 ± 2.7 [ab]	24.8 ± 7.8	24.8 ± 9.6 [b]	23.3 ± 7.8 [ab]	22.0 ± 4.9 [b]	< 0.001	0.194	0.057
		H-TMR	30.2 ± 4.2 [a]	33.3 ± 8.2	26.8 ± 7.0 [ab]	22.3 ± 2.5 [b]	29.0 ± 6.3 [a]			
		Control	78.3 ± 6.3 [b]	74.3 ± 3.9 [b]	78.0 ± 3.9	74.8 ± 5.1	74.3 ± 2.3			
G l u	mg/dL	L-TMR	78.7 ± 4.8 [b]	77.0 ± 7.6 [b]	76.8 ± 4.7	73.2 ± 4.7	75.2 ± 7.0	0.001	0.001	0.295
		H-TMR	85.7 ± 4.3 [a]	84.0 ± 3.5 [a]	79.3 ± 3.7	76.7 ± 3.4	75.0 ± 4.7			
		Control	10.1 ± 0.4	10.1 ± 0.4	10.1 ± 0.2 [a]	10.0 ± 0.2	9.9 ± 0.2 [ab]			
Ca	mg/dL	L-TMR	9.8 ± 0.3	9.6 ± 0.6	9.7 ± 0.1 [b]	9.6 ± 0.2	9.8 ± 0.3 [b]	< 0.001	0.380	0.284
		H-TMR	10.1 ± 0.4	9.8 ± 0.1	9.6 ± 0.4 [b]	9.9 ± 0.6	10.1 ± 0.3 [a]			
		Control	7.4 ± 1.0	7.0 ± 0.4 [a]	7.3 ± 0.6	7.1 ± 0.7	7.1 ± 0.5			
I P	mg/dL	L-TMR	8.2 ± 0.7	8.4 ± 0.9 [b]	7.9 ± 0.9	7.8 ± 0.6	7.2 ± 0.8	0.007	0.023	0.502
		H-TMR	8.2 ± 1.6	8.0 ± 0.7 [b]	7.5 ± 0.6	6.8 ± 0.6	7.0 ± 1.5			

L-TMR and H-TMR; See the footnote in Table 4.1.
Control group, Experimental diets of commercial concentrate and rice straw; L-TMR group, Experimental diets of L-TMR in the middle period and feeding H-TMR in the late period; H-TMR group; Experimental diets of H-TMR during the whole period.
AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferage; GGT, glutamyl transpeptitage; TP, total protein; Alb, albumin; BUN, blood urea nitrogen; T-Cho, total cholesterol; TG, triglyceride; Glu, glucose; Ca, calcium; IP, inorganic phosphorus.
Mean ± standard deviation. The different letters (a, b) denote significant differences ($P < 0.05$).

Table 4.4 Effects of feeding fermented TMR on carcass traits of Japanese black steers during the middle and late fattening period

		Control group (n = 6)	L-TMR group (n = 6)	H-TMR group (n = 6)
Carcass weight (kg)		390.0 ± 42.3 [b]	440.1 ± 47.8 [a]	438.7 ± 14.7 [a]
Lib eye area (cm^2)		52.0 ± 3.5	55.5 ± 8.8	53.3 ± 4.7
Rib thickness (cm)		7.4 ± 0.8	8.1 ± 1.0	7.5 ± 0.4
Subcutaneous fat thickness (cm)		2.0 ± 0.5 [b]	2.6 ± 0.5 [a]	2.8 ± 0.4 [a]
Yield estimate		74.5 ± 0.9	74.2 ± 1.2	73.5 ± 0.5
Beef marbling standard score		6.8 ± 1.8	7.3 ± 1.8	6.3 ± 2.3
Beef color standard score		3.5 ± 0.5	3.7 ± 0.5	3.5 ± 0.5
Beef fat standard score		3.0	3.0	3.0
Quality grade		4.5 ± 0.5	4.5 ± 0.8	4.2 ± 1.0
Meat quality grage (n)	A5	2	4	3
	A4	3	1	0
	A3	1	1	3

L-TMR and H-TMR; See the footnote in Table 4.1.

Control group; Experimental diets of commercial concentrate and rice straw.

L-TMR group; Experimental diets of L-TMR in the middle period and feeding H-TMR in the late period.

H-TMR group; Experimental diets of H-TMR during the whole period.

Mean ± standard deviation.

The different letters (a, b) denote significant differences ($P < 0.05$).

Carcass score graded by Japan Meat Grading Association.

Table 4.5 Incidence of disease condition diagnosed at slaughter test

		urolithiasia	cystitis	nephritis	fat necrosis	sawdust liver	gastritis
Control group	n	0	0	0	0	1	1
	(%)	(0)	(0)	(0)	(0)	(17)	(17)
L-TMR group	n	3	0	1	1	0	0
	(%)	(50)	(0)	(17)	(17)	(0)	(0)
H-TMR group	n	2	1	0	0	0	0
	(%)	(33)	(17)	(0)	(0)	(0)	(0)

L-TMR and H-TMR; See the footnote in Table 4.1.
Control group; Experimental diets of commercial concentrate and rice straw.
L-TMR group; Experimental diets of L-TMR in the middle period and feeding H-TMR in the late period.
H-TMR group; Experimental diets of H-TMR during the whole period.

Table 4.6 Effects of feeding fermented TMR on fatty acid composition of the the longissimus thoracis muscle in Japanese black steers

		Control group (n = 6)	L-TMR group (n = 6)	H-TMR group (n = 6)
myristic acid	(C14:0)	2.2 ± 0.1	2.2 ± 0.4	2.0 ± 0.3
myristoleic acid	(C14:1)	1.0 ± 0.1[a]	0.8 ± 0.1[b]	0.8 ± 0.2[b]
palmitic acid	(C16:0)	24.1 ± 2.4	24.1 ± 3.6	22.9 ± 1.3[a]
palmitoleic acid	(C16:1)	6.9 ± 0.4[a]	5.9 ± 0.6[b]	5.7 ± 0.5[b]
stearic acid	(C18:0)	10.1 ± 0.4	10.9 ± 0.7	10.5 ± 1.4
oleic acid	(C18:1)	51.7 ± 2.0[b]	54.0 ± 4.6[ab]	55.9 ± 2.4[a]
linoleic acid	(C18:2)	3.3 ± 2.2[a]	1.3 ± 0.2[b]	1.5 ± 0.1[b]
linoleic acid	(C18:3)	0.6 ± 0.4	0.8 ± 0.3	0.8 ± 0.2
saturate fatty acid (MUFA)		59.6 ± 2.1	60.7 ± 4.4	62.3 ± 2.1
polyunsaturated acid (PUFA)		4.0 ± 2.5	2.1 ± 0.4	2.3 ± 0.2

L-TMR and H-TMR; See the footnote in Table 4.1.

Control group; Experimental diets of commercial concentrate and rice straw.

L-TMR group; Experimental diets of L-TMR in the middle period and feeding H-TMR in the late period.

H-TMR group; Experimental diets of H-TMR during the whole period.

Mean ± standard deviation.

The different letters (a, b) denote significant differences ($P < 0.05$).

Table 4.7 Characteristics of fermented TMR for experimental diets

	L-TMR	H-TMR
moisture (%)	47.3	46.5
pH	4.1	3.9
Organic acid content (%)		
Lactec acid	2.59	3.41
Acetic acid	0.46	0.47
Propionic acid	0.03	0.03
Butyric acid	0.06	0.08
VBN/T-N (%)	3.4	3.6
V-SCORE	93	90

L-TMR and H-TMR; See the footnote in Table 4.1.

Organic acid content is expressed on a fresh matter basis.

VBN/T-N : the proportion of volatile basic nitrogen to total nitrogen.

第Ⅴ章　総括

脂肪交雑を重視するわが国の黒毛和種肥育牛の飼養方法は、濃厚飼料の多給が基本である。国内で流通する濃厚飼料のほとんどは輸入に依存しており、このうち 4 割をトウモロコシが占めている（農林水産省 2016）。近年、異常気象による不作や新興国における穀物需要拡大等の要因から、輸入トウモロコシは価格の変動が激しい。さらに、濃厚飼料の農家小売価格は、平成 20 年度以降、トン当たり 6 万円台と高値安定で推移している（農畜産業振興機構 2017）。わが国の黒毛和種肥育経営における 1 頭当たりの飼料費は 30 万円を超え、生産費の 30%以上を占める（農林水産省 2015c）。また、自給飼料の給与率が TDN ベースで 1.4%しかない（農林水産省 2017）。日本の黒毛和種肥育経営における飼料費は、米国の対日輸出向け肥育牛の飼料費と比べ 3.7 倍高いという報告がある（甲斐 1992）。

このため、近年の飼料価格の高騰ならびに変動は、購入飼料への依存度が高い黒毛和種肥育経営を圧迫する一つの要因となっている。したがって、自給飼料の活用による購入飼料依存度の低減は、肥育経営の安定化に寄与する極めて重要な課題である。また、農林水産省は、平成 22 年度の粗飼料自給率 77%を平成 32 年度には 100%とする目標を掲げており、その対策として水田をはじめとした生産資源を最大限活用することを提唱している（農林水産省 2010）。わが国における耕地面積のうち 54.4%は水田である（農林水産省 2015d）。また、都府県における TDN 1kg 当たりの自給飼料の生産コストは、輸入粗飼料の購入価格と比較し、3 割程度低減できることが示されていることから（農林水産省 2017）、水田を活用して生産できるイネ WCS、飼料用米、そして、水田副産物である稲わらや米ぬかなどの水田由来の自給飼料の活用は、黒毛和種肥育経営における購入飼料依存度並びに飼料費低減に貢献できる可能性がある。

水田地帯において産出される稲わらは、肉用牛の粗飼料として不可欠である（後藤 2002）。しかしながら、乾燥・収集作業が天候に影響されるため、飼料として利用されるのは国内生産量の 1 割にしかすぎない（永西 1998; 社団法人全国農林統計協会連合会 2008）。また、海外からも稲わらは輸入されているが、口蹄疫等の伝染病の発生状況により輸入が制限あるいは停止されることもあり供給状況は不安定である（農林水産省 2016）。そのため、国産稲わらの安定供給と利用拡大は喫緊の課題となっている（永西 2002; 吉田 2002）。国産稲わらの飼料への利用率が依然として低い状況に対して，収穫直後の稲わらをサイレージ調製することでこの問題を解消できることが示されている（高橋ら 2005; 社団法人農産漁村文化協会 2009）。米の収穫時期は好天が続くことが多いため、圃場の条件が良いうちに稲わらを回収・調製する生稲わらサイレージは、乾燥稲わらの代替として利用可能と考えられる。

また、水田副産物のひとつである玄米精白後の脱脂されていない生米ぬかは、脂肪やエネルギー含量が多く飼料価値が高い。生米ぬかは脂質酸化が急激に進むため、飼料原料として一般的に脱脂米ぬかが利用されている。しかし、肉用肥育牛への米ぬか給与の効果として、牛肉の風味と相関が高いオレイン酸等の不飽和脂肪酸割合の増加（浅田ら 2007）や、α-トコフェロール（三津本ら 1995；篠田ら 2003）によると畜後の肉に対する肉色保持効果が報告されている。さらには、近年は農場副産物や未利用資源などを利用した発酵 TMR の利用が全国的に普及しつつある（荒木と塩谷 2007）。発酵 TMR は高水分な材料を用いても保存ができるため、サイレージや農場副産物などの未利用資源が利用可能である。水田副産物である生稲わらサイレージや生米ぬかは、発酵 TMR の材料として有望であると考えられる。

以上の理由より、水田副産物である稲わらや生米ぬかは、水田由来の自給飼

料であるため、量的に確保しやすく、かつ購入飼料と比べ安価であることから、これらを活用することによって黒毛和種肥育経営における購入飼料依存度並びに飼料費の低減や、牛肉の高付加価値化につながる可能性がある。そこで本論文では、輸入飼料への依存度が高い黒毛和種肥育牛において、自給飼料の給与割合を高めた高品質な牛肉生産が可能な給与技術の開発を目的とし、生稲わらサイレージや生米ぬかなど、水田由来の自給飼料を活用した肉用肥育牛の実証的飼養試験によって検証した。

第Ⅱ章では、生稲わらサイレージの飼料特性や肥育後期に相当する 20～26ヵ月齢の黒毛和種去勢牛へ給与した場合の有効性について検討した。本研究で給与した生稲わらサイレージにおける乾物中のβ-カロテンおよびα-トコフェロール含量はそれぞれ 70.8 mg/kg および 501.8 mg/kg であり、対照区に給与した乾燥稲わら中の同含量（2.7 mg/kg、53.3 mg/kg）よりもかなり多かった。本章の飼養試験において、生稲わらサイレージの 1 日当たりの乾物摂取量は、対照区に給与した乾燥稲わらよりも有意に高いことから、生稲わらサイレージは、肥育牛に対する嗜好性が高いことが推察された。さらに、生稲わらサイレージの給与により血漿中レチノール濃度は低下することなく推移した。α-トコフェロールの血漿中濃度は増加し、胸最長筋中の同含量も高まった。また、B.M.S. 等の枝肉成績についても区間に差はなかった。以上の結果から、生稲わらサイレージの給与は、採食量の低下等ビタミン A 欠乏症の発生リスクの低減や、α-トコフェロールの蓄積により牛肉中の抗酸化機能を高く維持できる可能性があり、かつ脂肪交雑に影響を与えないことから肥育後期の粗飼料として活用できることが推察された。

第Ⅲ章 1 節では、水田副産物である生米ぬかを発酵 TMR の材料として利用した場合の発酵品質や開封後の貯蔵性、および肉用肥育牛への採食性について

検証した。さらに、2 節では、生稲わらサイレージを混合し、生米ぬかの混合割合を変えた 2 種類の発酵 TMR を調製し、肥育後期牛へ給与した場合の有効性について考察した。その結果、1 節では、発酵 TMR に生米ぬかを混合しても脂質の酸化がなく、pH が低く、乳酸割合も高く、開封後の品温が変化しにくい発酵 TMR が調製できることが明らかとなった。そして、生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した発酵 TMR に対する黒毛和種去勢牛の採食性は、市販配合飼料と乾燥稲わらを分離給与する慣行給与法より優れていることが解った。2 節では、生稲わらサイレージに生米ぬかを乾物中 5%または 10%混合した発酵 TMR を肥育後期の 6 ヵ月間給与した結果、試験期間における乾物摂取量と DG は、両区とも試験期間を通じて安定的に推移した。試験期間における DG と乾物摂取量は、生米ぬかの混合割合が多い 10%区が 5%区に比べ高まる結果となった。両区とも試験期間を通じて血漿中レチノール濃度は 100 IU /dL 以上で、α-トコフェロール濃度は 1,000 μg/dL 以上で推移した。胸最長筋中の α-トコフェロール含量は、牛肉の脂質酸化の抑制や肉色の保持効果が期待できる 0.35 mg /100g 以上（三津本 1996）蓄積されており、肥育後期に生稲わらサイレージを給与した第Ⅱ章と同様の結果となった。枝肉成績についても、B.M.S.は両区とも 6 以上で脂肪交雑の評価が低下することはなかった。以上の結果から、生稲わらサイレージと生米ぬかは発酵 TMR の材料として利用できることが明らかとなった。発酵 TMR は、脂質酸化等による変敗が懸念される生米ぬかを有効利用できる飼料調製方法であり、第Ⅱ章の結果同様、肥育後期の黒毛和種去勢牛向けの有望な飼料給与方法であることが示唆された。

第Ⅳ章では、第Ⅲ章で検証した生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した発酵 TMR について、より長期間給与した場合の影響について検討した。具体的には、肥育中後期に相当する 14～26 ヵ月齢の 12 か月間の給与試験を実施し、

採食量、増体、血液性状および枝肉成績等に及ぼす影響について考察した。第Ⅱ章および第Ⅲ章の結果から、生稲わらサイレージやこれを混合した発酵 TMR を給与すると、血漿中レチノール濃度が慣行給与法である対照区に比べ高く推移することが明らかとなった。血漿中レチノール濃度の上昇は、生稲わらサイレージに含まれる β-カロテン含量に由来する。したがって、肥育中期へ生稲わらサイレージを混合した発酵 TMR を給与すると、血漿中レチノール濃度が高く推移するとともに脂肪交雑の形成が阻害され、結果として枝肉の格付けが低下することが懸念される。そこで、飼養試験の処理区は、肥育中後期を通じて市販の配合飼料と乾燥稲わらを分離給与する対照区、肥育中期のビタミン A 制御を考慮し、生稲わらサイレージを乾物中 10%と生米ぬかを乾物中 10%混合した発酵 TMR を肥育中期に給与し、肥育後期には生稲わらサイレージを乾物中 20%と生米ぬかを乾物中 10%混合した発酵 TMR を給与する生稲わら 10%TMR 区、および肥育中後期を通じて生稲わらサイレージを乾物中 20%と生米ぬかを乾物中 10%混合した発酵 TMR を給与する生わら 20%TMR 区の 3 区を設定した。肥育中期の乾物摂取量および DG は、両 TMR 区が対照区よりも有意に高くなった。また、発酵 TMR を摂取した牛の血漿中レチノール濃度は両 TMR 区とも試験期間を通じて、それぞれ、100 IU/dL 以上で推移したが、B.M.S.は対照区と差はなかった。また、生米ぬかの混合により、胸最長筋中のオレイン酸割合は、対照区よりも高まった。しかし、生米ぬかを混合した発酵 TMR を給与した両 TMR 区において泌尿器結石が発生した個体数が多かったのに対し、対照区では発生個体はいなかった。したがって、生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した発酵 TMR は、肥育中期から給与しても枝肉の評価に影響しない飼料であるが、尿石症の発生リスクが高まることが明らかになった。

本研究の結果から、生稲わらサイレージは、乾燥稲わらの代替として利用可能であり、生米ぬかとともに発酵 TMR の原料として混合し、活用できることから、肥育期の肉用牛の飼料として活用できることが明らかとなった。また、これら飼料の給与により、血漿中レチノール濃度は高く推移した。黒毛和種肥育牛において、血中ビタミン A 濃度は脂肪交雑の亢進と高い相関があり、その影響時期は肥育中期の 14～20 ヵ月齢であることが報告されている（岡 1996）。しかし、本研究の結果では、肥育中期の 14 ヵ月齢からこれら飼料を給与しても、B.M.S.が低下する等、枝肉の評価を下げることがなかった。このため、生稲わらサイレージや生米ぬかの給与は、枝肉成績に影響しないことが明らかとなった。さらには、生稲わらサイレージの給与により、血漿中および筋肉中の α-トコフェロール含量が高まることから、牛肉中の抗酸化機能を高く維持できる可能性が示された。また、生米ぬかの給与により、風味や多汁性に関与する牛肉中のオレイン酸割合が高まる傾向が示唆された。以上のことから、水田由来の国産飼料飼料を給与した飼養管理技術により、牛肉の高付加価値化が図ることができる可能性が示された。

本研究において購入した飼料費（Table 5.1）から各試験区の 1 日当たりの飼料費を積算したところ、慣行給与法である対照区は 598 円、生稲わらサイレージ区は 578 円、L-TMR 区は 565 円、そして H-TMR 区は 578 円であった。生稲わらサイレージや生米ぬかを給与することによって削減できる 1 日あたりの飼料費について、各試験区の飼料費を対照区と比較したところ、生稲わらサイレージ区は 20 円、L-TMR 区は 34 円、そして H-TMR 区は 20 円削減できる試算となった（Table 5.2）。肥育牛では濃厚飼料の給与割合が多いため、生稲わらサイレージや生米ぬかを活用した場合の飼料費削減率は 3～6%程度と決して多くはないが、生産費の約 3 割を占める飼料費低減に寄与できるものと考えられた。

本研究の対照区に給与した乾燥稲わらは国産の購入品であるため、対照区については試算していないが、購入飼料の一部を生稲わらサイレージや生米ぬかに置き換えることによって、黒毛和種肥育牛における国産自給飼料の利用割合を20～30%にまで高めることができた（Table 5.3）。

一方、第Ⅳ章の結果では、屠畜検査により診断された疾病分類において、発酵 TMR 給与区における泌尿器結石の発生割合は、富山県で調査された発生割合（12%）（富山県食肉検査所 2015）よりも高かった。第Ⅲ章では、肥育後期の 6 ヵ月間に生米ぬかを乾物中 10%混合した発酵 TMR を給与した発酵 TMR を給与しても、泌尿器結石は発生しなかった。したがって、生米ぬかの多給によって牛肉の付加価値が高まる可能性もあるが、生米ぬかの給与期間が長期に及ぶと尿石症の発生頻度が高まり、治療費がかさみ生産費を高めてしまうリスクもあると考えられた。

枝肉評価とは別に嗜好性評価を目的として、第Ⅲ章の試験で得られた牛肉を用い、富山県農林水産総合技術センター畜産研究所において、一般消費者を対象とした試食アンケートを実施した（Figure. 5.1）。10 代～60 代までの 111 人（男性 62 名、女性 49 名）から得られた回答について集計した（Figure. 5.2; Question 1, 2）。アンケートの結果、枝肉評価と同様に嗜好性についても慣行肥育と遜色ない評価であった（Figure. 5.2; Question 3）。特に、県内の水田由来の飼料で育った牛肉の購入意向についての Question 4 に対し、33.4%の人が「少々価格が高くても購入したい」、61.5%が「価格が一定の範囲なら購入したい」と回答している。そして、牛肉を購入する際のポイントについては（Figure. 5.2; Question 5）、「価格も重視するがそれ以上に安全性、新鮮さおよび産地を重視する」との回答が 95%を占め、消費者の牛肉に対する地元志向や安全性に関する意識が高いことがうかがえた。霜降り肉に対する消費者の購買行動を調査した広岡ら（2012）

は、霜降り肉と赤肉が同価格と仮定した場合、地域や年齢層に関係なく、約 75%の消費者が霜降り肉を購買したいと考えていると報告している。これらの結果から、自給飼料を給与し、生産コストを下げて生産した牛肉は、牛肉の小売価格の低減に寄与できる可能性が示された。さらには、給与飼料の由来等の情報を消費者に提供することができるため、消費者ニーズに合致した牛肉生産に繋がる可能性があると考えられる。

本研究で得られた成果は、水田由来の国産飼料である生稲わらサイレージを肉用肥育牛に慣行的に給与されている乾燥稲わらと同様の形で給与、あるいは、生稲わらサイレージと生米ぬかを混合した発酵 TMR 体系で給与しても、発育や枝肉成績等に影響を与えず、かつ、血中のレチノールおよび α-トコフェロール濃度や牛肉中の α-トコフェロール含量を高めるという知見を示している。さらに、水田由来の飼料を活用することで、飼料自給率向上のみならず、国産飼料を活用した高品質で安価な牛肉生産に寄与するものと考える。

さらなる飼料自給率向上のため、本研究で給与した生稲わらサイレージや生米ぬかに併用して、水田由来の濃厚飼料である飼料用米を活用すれば、国産飼料の利用割合をさらに高めることができると考えられるが、これについては、今後の課題として検討や整理が必要である。

5. 図表

Figure 5.1 Current status of the beef-tasting survey

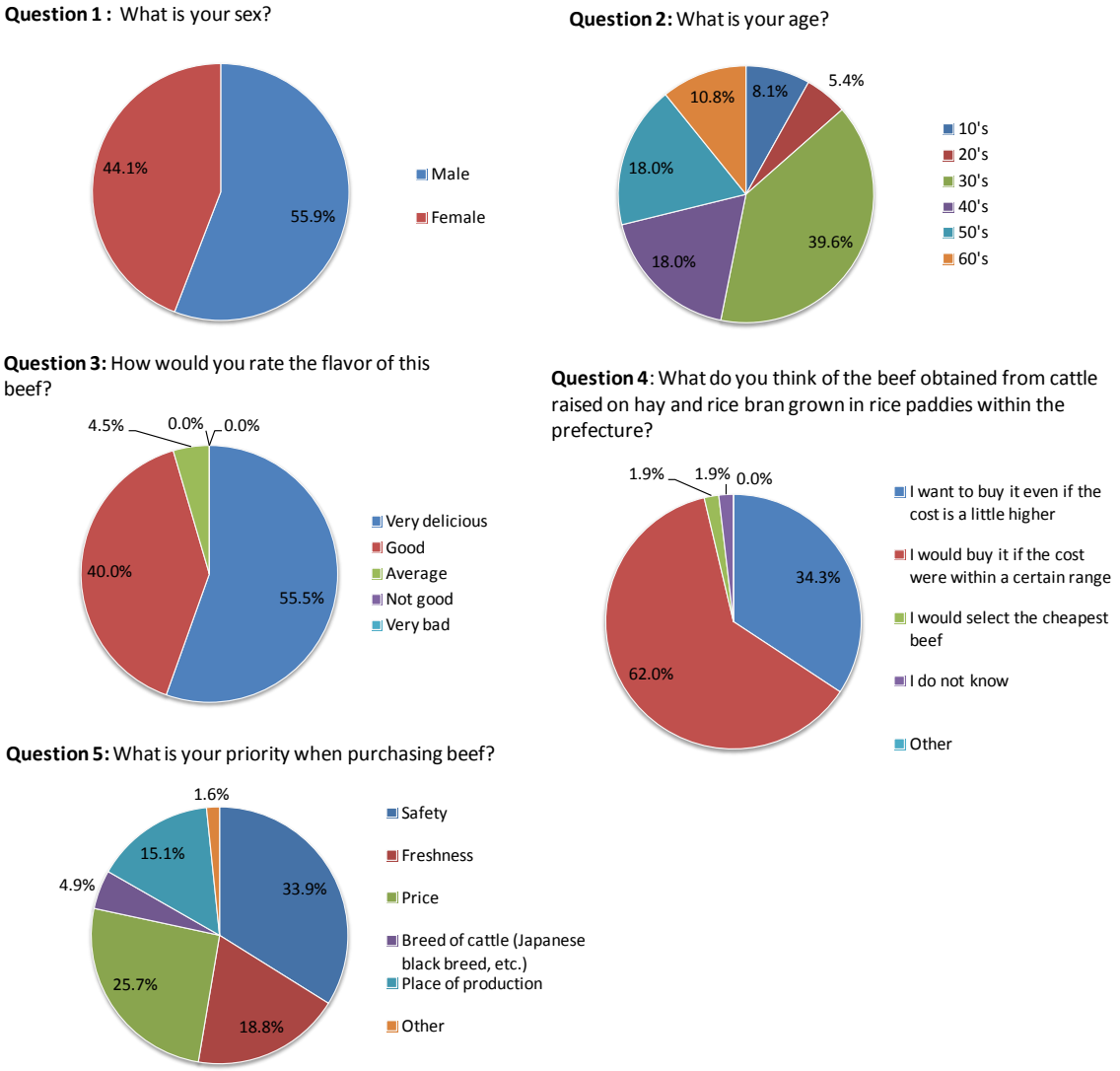

Figure 5.2 Results of the beef-tasting survey

Table 5.1 Price of purchased feed

Type of Feed	Price (yen/kg・DM)	Notes
Commercial concentrate	62	
Barlay	66	
Soybean meal	88	
Wheat bran	40	
Rice bran	42	Purchase from the agricultural cooperative
Rice straw	50	Domestic (purchased goods)
Fresh rice straw silage	47	Original product at 26 yen/kg (converted at 45% water content)
Calcium carbonate	100	

Table 5.2 Comparison of cost of feed per day

	Cost of feed per day (yen /day)	Difference compared with the control group (yen /day)	Rate of reduction of feed cost per day (% /day)
Control	598	—	—
FRSS group	578	20	3
L-TMR group	565	34	6
H-TMR group	578	20	3

Estimated with feeding weight of 10 kg/day.

Control; The commercial concentrate and rice straw ware separated feeding.

FRSS group; fresh rice straw silage feeding group.

L-TMR; The fermented TMR is compounding 10.1% fresh rice straw silage.

H-TMR; The fermented TMR is compounding 20.2% fresh rice straw silage.

L-TMR group; Experimental diets of L-TMR in the middle period and feeding H-TMR in the late period.

H-TMR group; Experimental diets of H-TMR during the whole period.

Table 5.3 Provision proportion of domestically produced feed

Treatment	Provision proportion of domestically produced feed
FRSS group	20.0%
L-TMR group	27.8%
H-TMR group	29.8%

FRSS group; fresh rice straw silage feeding group.

L-TMR; The fermented TMR is compounding 10.1% fresh rice straw silage.

H-TMR; The fermented TMR is compounding 20.2% fresh rice straw silage.

L-TMR group; Experimental diets of L-TMR in the middle period and feeding H-TMR in the late period.

H-TMR group; Experimental diets of H-TMR during the whole period.

Empirical study on the use of paddy field byproducts as feed for Japanese Black steers

Yasuko Takahira

Summary

In Japan, fattening feeds for Japanese Black steers primarily comprise imported commercial ingredients. Accordingly, financial management for this breed of cattle is strongly contingent on the prices of feed crops such as corn. In recent years, the prices have considerably fluctuated, but remained at high levels. Combined with the surging prices of feeder calves, the reduction and stabilization of feed cost is an exceptionally important challenge in the management and husbandry of fattening cattle. To decrease dependence on imported feeds, urgent measures must be taken to establish a fattening technique for increasing production and utilization of domestic feeds. Two domestic feed resources, fresh rice straw silage and fresh rice bran, are possibly effective for this purpose. Byproducts derived from paddy fields, which account for 54.4% of the cultivated area in Japan, are particularly abundant resources and, hence, could be effective self-supplied feed for farmers engaged in the fattening of Japanese Black steers. However, these are very empirical studies that have been able to demonstrate utilization of fresh rice straw silage, which is a fermented feed with a high water content, and non-defatted fresh rice bran for Japanese Black steer breeding.

The present study first evaluated properties of fresh rice straw silage and its efficacy during the late fattening period of Japanese Black steers. Results showed that that fresh rice straw silage contains more β-carotene and α-tocopherol than those in dried rice straw normally fed to fattening beef cattle. When fresh rice straw silage was fed during the late fattening period, plasma retinol

concentrations showed higher levels without any significant decline, and the risks associated with vitamin A deficiency, such as decreased feed intake, were mitigated. Additionally, evaluation of the meat quality did not indicate any impact on the fat marbling. Furthermore, the accumulation of α-tocopherol in muscles may contribute to maintain antioxidant activity in the meat following slaughter.

Subsequently, to establish a practical method for effective preparation of fresh rice straw silage, which is high in water content, and fresh rice bran, which is prone to lipid oxidization, and to clarify the appropriate timing for feeding them to fattening beef cattle, we prepared a total mixed ration (TMR) and fed it to Japanese Black steers during the late fattening period. Moreover, we examined the effectiveness of fermented TMR feeding on Japanese black steers during the late fattening period (20-26 months of age) or during the middle and late fattening periods (14-26 months of age) . As a result, when a fermented TMR was prepared from fresh rice straw silage and rice bran, the temperature of the fermented TMR did not rise after exposure to air, thus demonstrating excellent aerobic stability. Furthermore, the levels of peroxide and carbonyl, indicators of lipid oxidation, were also below the reference range. These results suggest that fermentation of TMR is an effective method to convert ingredients with a high water or fat content into practical feeds. In the present study, the dry matter intake and plasma retinol concentrations of cattle fed fermented TMR fluctuated at high levels. Nevertheless, feeding fermented TMR to the cattle from 14 months of age during the middle fattening period did not compromise any carcass traits, including meat marbling. Therefore, feeding fresh rice straw silage and rice bran did not bring negative impact on carcass quality. Meanwhile, feeding fresh rice bran tended to increase the content ratio of oleic acid, which is related to the flavor and succulence of meat.

On the other hand, while the incidence of urinary calculi was 0% among cattle fed fermented TMR for 6 months, the incidence reached a high of ≥30% among those fed fermented TMR for 12

months. This implies a risk of increased production costs from accumulating medical expenses due to the escalating incidence of urinary calculi associated with extended feeding of fresh rice bran.

The cumulative reduction in the daily feed cost when fresh rice straw silage and rice bran were fed was calculated to be 3%–6% compared with a control group that was given a conventional feed. This is regarded as a significant contribution to the reduction of the feed costs, which account for approximately 30% of the total production expenses. Furthermore, replacing part of the purchased feed ingredients with fresh rice straw silage and rice bran resulted in a 20%–30% increase in the utilization of domestically produced feed ingredients for the fattening of Japanese Black steers.

These studies showed that the practical method of forage production using domestically produced fresh rice straw silage and rice bran, both of which are derived from paddy fields. Furthermore, when fattening beef cattle were fed fresh rice straw silage in the same form as the conventional dried rice straw feed or in the form of a fermented TMR containing a mixture of fresh rice straw silage and rice bran, the growth and carcass traits were not affected. On the contrary, blood retinol and α-tocopherol concentrations increased, resulting in a higher content of α-tocopherol in the meat. The present study succeeded in maintaining meat quality without restricting vitamin A during the middle and late fattening periods and demonstrated the possibility of reducing breeding costs using domestic feed resources. These results are expected to pave the way for novel approaches in nutritional research for Japanese Black steers and provide useful information for practicing livestock farmers.

引用文献

秋友一郎，藤本和正，池尻明彦（2001）黒毛和種繁殖牛における飼料イネサイレージの採食性調査．山口県畜産試験場研究報告 17：99-107.

荒木和秋，塩谷　繁（2007）TMR センターの展開と将来展望 ．ln：社団法人日本草地畜産種子協会，グラス&シード，22，特集　進展を続ける TMR センター．社団法人日本草地畜産種子協会，東京，p1-20.

浅田　勉，黒沢　功，南雲　忠（2007）米ぬか添加が黒毛和種去勢牛の産肉性および枝肉脂肪の脂肪酸組成に及ぼす影響．群馬県畜産試験場試験研究報告書 14：9-20.

浅田　勉，角田成幸，黒沢　功（2008）TMR および分離給与が黒毛和種去勢牛の産肉性に及ぼす影響．群馬県畜産試験場試験研究報告書 15：9-20.

Chase LE（1979）Effect of high moisture feeds on feed intake, In dairy cattle. Proceeding of Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers：p52-56.

道後泰治，稲垣励治，野田昌伸，小山祐蔵（1988）和牛の低コスト肥育技術確立試験　第 1 報　肥育期間の検討．兵庫県立中央農業技術センター研究報告［畜産編］24 号：7-12.

道立畜試・根釧農試 NRC 乳牛飼養標準 2001 年版翻訳プロジェクトチーム（編）（2002）泌乳牛の DMI に影響する栄養素と飼養管理，NRC 乳牛飼養標準 2001 年・第 7 版．（株）デーリィ・ジャパン社，東京，p7.

Dryden FD and JA Marchello（1970）Influence of total lipid and fatty acid composition upon the palatability of three bovine muscles．Journal of Animal Science 31：36-41.

永西　修（1998）稲わらの飼料特性とその利用．栄養生理研究会報 42（1）：79-96.

永西　修(2002)稲わらの飼料としての再評価. 日本草地学会誌 48(4)： 371-378.

Faustman C, Caseens RG, Schaefer DM, Buege DR, Williams SN and Scheller KK（1989）Improvement of Pigment and Lipid Stability in Holstein Steer Beef by Dietary Supplementation with Vitamin E．Journal of Food Science 54：858-862.

Folch J, Lees M and Sloanestanley GH（1957）A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues．Journal of Biological Chemistry 226：497-509.

Fortin A, Reid JT, Maiga AM, Sim DW and Wellington GH（1981）Effect of energy intake level and influence of breed and sex on the physical composition of the carcass of cattle. Journal of　Animal Science 51：331-339.

Fortin A, Simpfendorfer S, Reid JT, Ayala HJ, Anrique R and Kertz AF（1980）Effect of level of energy intake and influence of breed and sex on the chemical composition of cattle. Journal of Animal Science 51（3）：604-614.

古本　史（2002）食品製造副産物を利用した TMR の調製と変敗防止．日本草地学会誌 48（1）：64-68.

古澤　剛，西村隆光，松崎伸生，竹下和久，三宅俊三，秋友一郎，西村　強，津田聡子，小澤　忍（2004）飼料イネサイレージ給与による黒毛和種去勢牛肥育に関する研究.山口県畜産試験場研究報告 19：41-52.

後藤正和（2002）肉用肥育における稲わら給与効果と水稲栽培技術．日本草地学会誌 48（4）：379-391.

橋端堅次郎, 森田　宏, 成瀬満佐子, 中丸輝彦, 森本　久, 三浦康宏, 丸山　新, 藤田　耕, 冨家武男, 針生程吉, 小堤恭平, 柾木茂彦, 甘利雅拡, 梶川　博, 阿部　亮（1995）種々の飼料給与条件が黒毛和種牛の飼料摂取量，第 1 胃内発酵，血液性状，増体成績，と畜解体成績および経済性に及ぼす影響.

畜試研究資料 8：1-77.

平岡啓司，小出　勇，吉村雄志，浦川修司，山田陽稔（2003）飼料イネ β－カロテンの低減化．畜産の研究 57(9)：28-30.

平岡啓司，山本泰也，小出　勇，田中善之，乾　清人，浦川修司（2005）ラップサイロに調製した稲発酵粗飼料主体 TMR の好気的変廃抑制効果．日本草地学会誌 51（別）：124 - 125.

平岡啓司（2007）イネホールクロップサイレージの発酵および飼料特性改善に関する研究．三重県畜産研究所特別研究報告 1：28-29.

広岡博之，松本道夫（1998）わが国の牛枝肉市場における価格決定に関する要因．農業経済研究．67：22-28.

広岡博之，大石風人，熊谷　元（2012）平成 23 年度畜産関係学術研究委託調査報告書 牛肉に対する女性の消費意識と付加価値情報の経済価値の算定に関する研究 [Cited 7 July 2017] Available from URL ：https://www.alic.go.jp/content/000101076.pdf

甫立京子（1999）肉牛の栄養学－最新の話題－. 獣医畜産新報 52（3）: 221-224.

甫立京子, 宮重俊一, 東山由美, 谷口稔明, 宮崎　茂, 宮本　亨, 甫立孝一（2004）黒毛和種去勢牛のビタミン A 欠乏時の栄養状態と筋肉水腫の関係．日本獣医師会雑誌 57：371-376.

井口明浩，小林正和，森長英男（1994）ビタミン A が交雑種（黒毛和種×ホルスタイン種）去勢牛の肥育及び肉質に与える影響について．千葉県畜産総合研究センター研究報告 18：23-32.

因野要一，石塚　譲，中西直人，押部明徳，三津本　充，松崎正敏，柴　伸弥，高平寧子，宮島恒晴，宮原雅明，入江正和（2007）飼料イネを給与した肥育牛の筋肉および脂肪中ビタミン A および E 含量. 近畿中国四国農業研究

センター研究報告 10：47-53.

入江正和，大本邦介，崎元道夫（1982）残飯養豚における軟脂改善（2）‐残飯中の油脂‐．大阪府農林技術センター研究報告 19：95-98.

入江正和（2000）Ⅳ脂質酸化物. 阿部　亮, 吉田宣夫, 今井明夫, 山本英雄　編. 未利用有機物資源の飼料利用ハンドブック．株式会社サイエンスフォーラム，東京，p211-213.

石田聡一（2009）給与飼料の DCAD と尿石症の関係．畜産の研究 63（11）：1079-1082.

岩本英治，岡　章生（2006）脱脂米糠添加が黒毛和種去勢牛の産肉性および枝肉脂肪の脂肪酸組成に及ぼす影響．兵庫県農業技術センター研究報告（畜産）42：7-10.

自給飼料品質評価研究会（1994）改訂粗飼料の品質評価ガイドブック．日本草地協会，東京.

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．日本草地種子協会，東京.

甲斐　諭（1992）日米の肥育牛生産技術と生産費構造－事例調査を中心として比較研究－．月報「畜産の情報」（国内編）1992 年 1 月. [Cited 21 September 2017] Available　from URL　: http://lin.alic.go.jp/alic/month/dome/1992/jan/kantou.htm

香川芳子（監修）（2008）文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告による五訂増補食品成分表 2009 本表編．女子栄養大学出版部，東京，p166-169.

金谷千津子（2007）飼料イネの β-カロテンおよび α-トコフェロール含量と肉用牛肥育に対応したサイレージ調製．日本草地学会誌 53：167-171.

金谷千津子，髙平寧子，中島麻希子，丸山富美子，紺　博昭（2008）生稲わらロールベールサイレージの発酵品質とβ-カロテンおよびα-トコフェロール含量．日本草地学会誌 54（別）：192-193.

金谷千津子，髙平寧子，吉野英治，清水雅代，廣瀬富雄，丸山富美子（2010）生稲わらの β-カロテン・α-トコフェロール含量と予乾やサイレージ調製による変化．日本草地学会誌 56（別）：67.

神谷　充，服部育男，上村昌志，佐藤健次（2011）肥育牛への飼料用米と食品残さの発酵 TMR 給与．日本暖地畜産学会報 54（2）：149-159.

環境省（1987）産業動物の飼養及び保管に関する基準．総理府告示第 22 号．昭和 62 年 10 月 9 日.[Cited 8 August 2017] Available from URL：https://www.env.go.jp/nature/dobutsu/aigo/2_data/sangyo.html

木部文夫，小形忠司，金井哲夫，小池清，剱持計夫（1979）稲わらの飼料利用に関する研究Ⅱ肉用牛における生稲わらサイレージのし好性および摂取量について．新潟県畜産試験場研究報告 3：45-49.

木村信熙，木村聖二，小迫孝実，井村　毅（1996）黒毛和種去勢牛の肥育後期における粗飼料給与水準が枝肉性状および枝肉脂肪の脂肪酸組成に及ぼす影響．日本畜産学会報 67（6）：554-560.

金城　靖，荷川取秀樹，与古田　稔，長利真幸，鈴木直人，花ヶ崎敬資（2006）県産和牛のブランド化に向けた肥育技術の確立（3）肥育前・中期における TMR 給与が肥育成績に及ぼす影響．沖縄畜産研究所報告 44：21-27.

小林正和，石崎重信（2011）肥育後期における生米ぬか及び脂肪酸カルシウムの給与が黒毛和種去勢牛の肉質に及ぼす影響（短報）．千葉県畜産総合研究センター研究報告 11：77-80.

小林正人（1992）肥育牛の尿結石の化学組成．家畜診療 352：29-34.

小松篤司, 深澤　充, 東山由美, 関矢博幸, 杉浦　玲, 大谷隆二, 押部明徳（2016）濃厚飼料を多給した黒毛和種去勢牛に対する圧砕稲わら給与がルーメン内 pH に与える影響および圧砕稲わらの市販透湿防水シートによる被覆保管が嗜好性に及ぼす影響．東北農業研究センター研究報告 118：79−85.

公益社団法人 日本食肉格付協会（2014）牛枝肉取引規格の概要．p1-16．公益社団法人 日本食肉格付協会．東京．[Cited 4 March 2016] Available from URL:http://www.jmga.or.jp/

Kronfeld DS, Donoghue S, Copp RL, Stearn FM and Engle RH（1982）Nutritional status of dairy cows indicated by analysis of blood. Journal of Dairy Science 65 : 1925-1933.

久保周一郎，友田　勇（監訳）（1991）獣医臨床生化学＜第 4 版＞．株式会社近代出版，東京，p884-887.

Mandell IB, Buchanan-Smith JG and Campbell CP（1998） Effect of forage vs grain feeding on carcass characteristics，fatty acid composition，and beef quality in Limousin-cross steers when time on feed is controlled．Journal of Animal Science 76（10） : 2619-2630.

Manner W, Maxwell RJ and Williams JE（1984） Effects of dietary regimen and tissue site on bovine fatty acid profiles. Journal of Animal Science.59（1）: 109-121.

松田敬一，渡辺昭夫，一條俊浩，八島　正，氏家賢一，川名晶子（2000）黒毛和種肥育牛における血中 Vitamin　A 濃度と瞳孔反射の関係．家畜診療．47：239-244.

松田敬一，渡辺昭夫，一條俊浩（2004）黒毛和種肥育牛の飼料中の中性デタージェント繊維含量および血清ビタミン A 値と枝肉成績の関連．日本獣医師会雑誌 57：227-230.

松田敬一（2011）黒毛和種肥育牛における代謝プロファイルテスト②．家畜診療．58：721-729.

Melton SL, Amiri M and Backus WR （1982） Flavor and chemical characteristics of ground beef from grass-,forage-grain-and grain-finished steers. Journal of Animal Science 55（1）：77-87.

三橋忠由，三津本　充，山下良弘，小沢　忍（1988）黒毛和種去勢牛の発育にともなう蓄積脂肪の融点と脂肪酸組成の変化．中国農業試験場研究報告 2：43-51.

三津本　充，小沢　忍，三橋忠由，河野幸雄，原田武典，藤田浩三，小出和之（1995）黒毛和種去勢牛への屠殺前 4 週間のビタミン E 投与による展示中の牛肉色と脂質の安定化．日本畜産学会報 66（11）：962-968.

三津本　充（1996）ビタミン E とビタミン C による牛肉品質の改善と保持．日本畜産学会報 67（12）：1110-1126.

文部科学省（2017）食品成分データベース．科学技術・学術政策局政策課資源室, 東京;［Cited 12 April 2017］. Available from URL：https://fooddb.mext.go.jp/

元井霞子（1988）牛病学．ln：清水高正（編），牛病学第二版．近代出版，東京，p494-497.

元井葭子（2000）生産獣医療における牛の生産病の実際．内藤善久，浜名克己，元井葭子編．文永堂出版，東京，p89-95.

向井文雄（2007）和牛の育種の現状と方向．農林水産省技術研究ジャーナル 30(10)：10-15.

宗形光蔵（1976）牛の尿石症．日本獣医師会雑誌 29：253-257.

村田富夫（1988）枝肉格付成績からみた和牛去勢枝肉販売単価に影響する諸要因．日本畜産学会報 59：269-277.

中村好徳，平野　清，中西雄二，神谷　充，常石英作，加藤直樹，林　義朗，山田明央（2010）放牧と自給飼料を組み合わせた新しい肉用牛生産方法“草地育成，肥育技術”の可能性と肉質の特徴．日本暖地学会報 53：41-49.

Nestle PJ, Poyser A, Hood RL, Mills SC, Willis MR, Cook LJ and Scott TW（1978）The effect of dictary fat supplements on cholesterol metabolism in ruminants. The Jounal of Lipid Reseach 19 : 899-909.

西　博巳, 坂下邦仁, 岡野良一, 米丸光政, 大園正陽, 堤　知子, 川畑健次（2001）バイオ双子を用いた低コスト肉用牛肥育試験第 1 報ビタミン A 制限による肥育技術の確立．鹿児島県畜産試験場研究報告 34：31-36.

西岡輝美，石塚　護，安松谷恵子，久米新一，入江正和（2008）市場における黒毛和牛の枝肉単価に及ぼす格付け項目および脂肪の理化学的特性の影響．日本畜産学会報 79（4）：515-525.

日本ビタミン学会編（1983）ビタミン学実験法 I 脂溶性ビタミン．東京科学同人，東京，p23-26.

日本薬学会編（2000）衛生試験法・注解．金原出版株式会社．東京：P197‐200.

肉用牛研究会　入江正和・木村信熙　監修（2015）肉用牛の科学．第 2 章わが国における肉用牛産業，p23-24.

農業技術研究機構編（2001）日本標準飼料成分表（2001 年版）．中央畜産会，東京.

農業・食品産業技術総合研究機構（2010）日本標準飼料成分表（2009 年版）．中央畜産会，東京.

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.

農林水産省（2010）食料・農業・農村基本計画．農林水産省．東京；[Cited 25

February 2014]. Available from URL：
http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/pdf/kihon_keikaku_22.pdf
農林水産省（2011）畜産物生産費統計農業経営統計調査．平成 23 年度肉用牛生産費生費（去勢若齢肥育牛）．農林水産省．東京；[Cited 25 February 2014]. Available from URL：
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi_tikusan/index.html
農林水産省(2015a)家畜改良増殖目標. 農林水産省. 東京;[Cited 26 March 2016]. Available from URL：
URL:http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l_hosin/pdf/h27_katiku_mokuhyo.pdf.
農林水産省（2015b）酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針．農林水産省．東京；[Cited 26 March 2016]. Available from URL：
URL:http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l_hosin/pdf/rakuniku_kihon_hoshin_h27.pdf
農林水産省（2015c）農林水産統計　農業経営統計調査　平成 26 年肉用牛生産費．平成 27 年 11 月 24 日公表．農林水産省．東京；[Cited 26 March 2016]. Available from URL：
http://www.maff.go.jp/j/tokei/sokuhou/seisanhi_nikuushi_14/
農林水産省（2015d）作物統計調査　面積調査　確報　平成 27 年耕地及び作付面積統計（併載　平成 23 年～26 年累年統計）2015 年 11 月 24 日公表．農林水産省大臣官房統計部，東京；[Cited 26 March 2016]. Available from URL：http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001141136
農林水産省（2016）飼料をめぐる情勢平成 28 年 1 月．農林水産省生産局畜産部，東京；[Cited 26 March 2016]. Available from URL：

http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/pdf/01_meguji_data.pdf

農林水産省（2017）飼料をめぐる情勢平成 29 年 3 月．農林水産省生産局畜産部，東京；［Cited 14 July 2017］． Available from URL：http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/attach/pdf/index-80.pdf

農林水産省農林水産技術会議事務局（2000）日本飼養標準. 肉用牛（2000 年版）. 中央畜産会，東京.

農畜産業振興機構（2009）畜産の情報 2009 年 10 月号．飼料用米生産の現状とコストダウンの可能性～平成 20 年度共同調査～．農畜産業振興機構．東京；［Cited 26 March 2016］． Available from URL：URL:http://lin.alic.go.jp/alic/month/domefore/2009/oct/spe-01.htm

農畜産業振興機構（2017）畜産物の需給関係の諸統計データ．配合飼料の価格動向　小売価格. 農畜産業振興機構. 東京；［Cited 14 July 2017］． Available from URL：http://lin.alic.go.jp/alic/statis/dome/data2/nstatis.htm

岡　章生，三木隆広，丸尾善之，山崎宗延，有吉哲志，藤井英通（1992） 黒毛和種肥育牛の肉質に対するビタミン A の影響. 臨床獣医 10: 2152-2158.

岡　章生（1996）黒毛和種肥育牛の肉質・増体に対するビタミン A の影響．動物遺伝研究会誌 24（2） : 31-36.

Oka A, Maruo Y, Miki T, Yamazaki T and Saito T（1998a）Influence of vitamin A on the quality of beef from the Tajima strain of Japanese black cattle. Meat Science 48 : 159-167.

Oka A, Dohgo T, Jeuen M and Saito T（1998b）Effects of Vitamin A on beef quality, weight gain, and serum concentrations of thyroid horm ones, insulin-like growth factor-I, and insulin in Japanese black steers. Journal of Animal Science 69 : 90-99.

奥村亮子，木戸口勝彰，村上満喜子，佐藤　敦，三浦　潔，瀬川俊夫，小野泰司(2006)牛尿石症の発生要因の解析ならびにビタミンA欠乏症との関連．岩手県獣医師会会報 32（1）：4-8.

大宅由里，山下大司，山崎勝義，佐藤健次（2005）肥育牛への給与に向けた飼料イネ乾燥利用体系におけるβ-カロテンの動態．日本草地学会九州支部会報 35（1）：7-15.

大山嘉信，柾木茂彦（1971）サイロ開封後のサイレージの変敗　第 1 報　予乾サイレージにおける温度と有機酸組成の変化ならびに薬剤添加の影響．日本草地学会誌 17（3）：176-183.

坂下邦仁，西　博巳，別府　茂，田原則雄（2004）黒毛和種去勢牛における肥育中期の可消化養分総量（TDN）摂取量が枝肉脂肪蓄積量に及ぼす影響．西日本畜産学会報 47：67-71.

清水信美，谷　浩，青木義和，尾賀邦雄，布藤雅之，因野要一，西岡輝美，三津本　充，中西直人，篠田　満，入江正和（2005）飼料イネの肉用牛への給与技術の開発（黒毛和種雌肥育牛への稲発酵粗飼料給与の影響）．滋賀県畜産技術センター研究報告 1：1-9.

清水高正，稲葉右二，小沼　操，金川弘司，藤永　徹，本好茂一（1988）牛病学＜第二版＞．株式会社近代出版．東京，p62-66.

新出昭吾，岩水　正（2008）飼料イネホールクロップサイレージの切断長の違いが子実排せつに及ぼす影響．広島県立総合技術研究所畜産技術センター研究報告 15：9-13.

篠田　満，櫛引史郎，新宮博行，上田靖子，村井　勝，嶝野英子（2003）稲発酵粗飼料と米ヌカの給与は肥育牛の血中ビタミンE濃度を高める．平成 14 年度東北農業研究成果情報 No.17：363‐364.

篠田　満，櫛引史郎，新宮博行，上田靖子，村井　勝，嶝野英子（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（2）：201-208.

塩谷　繁，細田謙次，松山裕城（2007）発酵 TMR の飼料特性と利用の展望．栄養生理研究会報 51（2）：1-5.

塩谷　繁（2008）自給飼料を活用した TMR センターの展望．日本草地学会誌 54（2）：178-181.

飼料分析基準研究会編（1998）飼料分析基準注解（第 3 版）．社団法人日本科学飼料協会．東京，p795-800.

社団法人農産漁村文化協会（編）（2009）最新農業技術畜産 Vol.2 飼料イネで自給力アップ．社団法人農産漁村文化協会，東京，p73-76.

社団法人全国農林統計協会連合会（2008）国産稲わら利用拡大調査事業報告書．社団法人全国農林統計協会連合会．東京，p1-130.

高橋明子，新井一博，茂木浩徳，須藤和久，近藤浩之（2005）稲わらの収集調製技術．群馬県畜産試験場研究報告 11：54-59.

髙平寧子，金谷千津子，吉野英治，紺　博昭，丸山富美子，粕谷健一郎（2011）β-カロテン含量を低減した稲発酵粗飼料の給与が黒毛和種去勢牛肥育全期間の肥育成績におよぼす影響．日本草地学会誌 56（4）：245-252.

髙平寧子，金谷千津子，中島麻希子，吉野英治，紺　博昭，広瀬富雄，丸山富美子（2015）生稲わらサイレージの給与が肥育後期黒毛和種去勢牛の飼養成績におよぼす影響．日本草地学会誌 61（3）：158-166.

高野信雄（1985）高泌乳牛飼養管理技術の理論と実践（3），畜産の研究 39：997-1001.

谷本保幸，千田雅之，小山信明（2004）遊休農林地に放牧した黒毛和種経産老

廃牛の肉質及び飼養方法の評価．近中四農研報 3：1-14.

立松松男，船ヶ山祐二，近藤政美，徳本　清，長友邦男，土屋博義（1996）ビタミン A が黒毛和種去勢牛の肥育に及ぼす影響(第 1 報). 宮崎畜試研報 9: 74-78.

富山市医師会健康管理センター臨床検査部（2012）検査案内 2012-2013．富山，p1-159.

富山県食肉検査所（2015）平成 27 年度富山県食肉検査所事業概要，富山；[Cited 16 August 2017]．Available from URL:http://www.pref.toyama.jp/branches/1283/ document/H27-ALL.pdf

常石英作，西村宏一，滝本勇治（1989）放牧後の濃厚飼料多給仕上げ肥育による牛脂肪の脂肪酸組成の変化．日本畜産学会報 60（4）：315-320.

堤　智子，太田　均，溝下和則，窪田　力，加治佐治，横山喜世志（1994）高品質牛肉の低コスト肥育技術に関する研究（1）後期濃厚飼料中の大麦とトウモロコシの構成割合及び形状が黒毛和種去勢牛の産肉性に及ぼす影響．鹿児島県畜産試験場研究報告 27：10-23.

渡辺大作，河野　詵，長谷川真一，板垣昌志，阿部　榮，阿部省吾，遠藤祥子，今野幹雄，齋藤博水（1999）黒毛和種牛における肥育成績と血清ビタミン A, E および総コレステロールの関連性. 栄養生理研究会報 43(2):119-128.

渡辺大作，安藤貴朗，浅井沙央理，大塚浩通，高岸聖彦，大橋修一，熊田昇二，芝　文彦，及川正明（2010）黒毛和種肥育牛の血漿γ-グルタミルトランスフェラーゼ（GGT）と月齢および血液成分との関連．産業動物臨床医学雑誌 1：177-183.

渡辺大作，辻村歩美，富岡美千子，福田恭秀，川島秀平，小森田真悟，遠藤健太郎，高岸聖彦（2013）尿石症が多発した黒毛和種牛肥育農家における発

生要因と飼料変更による予防対策の検証. 産業動物臨床医誌 4(4):143-153.

Westerling DB and HB Hedrick（1979）Fatty acid composition of bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics．Journal of Animal Science 48（6）：1343-1348.

Yang A, Lanari MC, Brewster M and Tume RK（2002）Lipid stability and meat colour of beef from pasture-and grain-fed cattle with or without vitamin E supplement．Meat Science 60：41-50.

山崎敏雄（1977）肥育度と月齢が肉牛の肉量及び肉質に及ぼす影響（第 1 報）．中国農業研究所研究報告 B23：53-85.

安田三郎，鹿島　学，川口末三，上村重雄（1970）給与飼料が和牛の肉質並びに脂肪色に及ぼす影響．鹿児島畜産試験場研究報告 5：1-13.

安田純夫，村上大蔵　（1986）　新版獣医内科学．文永堂出版株式会社，東京，p497-499.

吉田宣夫(2002)わら類のアルカリ処理と利用. 日本草地学会誌 48(4):392-397.

吉田　実（1975）畜産を中心とする実験計画法.4.3 ラテン方格法．養賢堂，東京，p101-116.

財団法人日本食品分析センター（2001）ビタミン E．分析実務者が書いた五訂日本食品標準成分表分析マニュアルの解説．中央法規出版社株式会社，東京，p145-149.

全国家畜畜産物衛生指導協会企画（1999）生産獣医医療システム肉牛編．農産漁村文化協会，東京.

謝　辞

本論文の作成に当たり、筑波大学大学院生命環境科学研究科先端農業技術科学専攻の櫛引史郎教授にご懇切なるご教示とご校閲を賜った。また、同大学大学院生命環境科学研究科先端農業技術科学専攻の三森眞琴教授、田島清准教授、同大学大学院生命環境科学研究科生物圏資源科学専攻の田島淳史教授に貴重なご意見をいただき心から感謝の意を表する。

本研究は、元富山県農林水産総合技術センター畜産研究所金谷千津子氏、丸山富美子氏、吉野英治氏、紺　博昭氏、廣瀬富雄氏、中島麻希子氏、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究部門櫛引史郎氏らとの共同研究であり、試験に携わった方々には、試験設計、データの解析、家畜の飼養管理、飼料の調製等について有益なご助言とご協力を戴いた。

その他、富山県農林水産総合技術センター畜産研究所酪農肉牛課課員および飼料環境課課員各位には、常に多大なご教示とご協力を戴いた。ここに記して、深く感謝の意を表します。

なお、本研究の一部は、農林水産省委託研究「粗飼料多給による日本型家畜飼養技術の開発」により実施したものである。