

地域資源を活用した発酵混合飼料の飼料特性ならびに
乳用牛への給与技術の確立に関する研究

西村 慶子

2014 年

目 次

	頁
第 1 章 緒 論 -----	1
第 2 章 発酵混合飼料の品質と発酵に伴う化学成分の変動	
緒 言 -----	10
第 1 節 カンショ焼酎粕ケーキの特性とサイレージへの 利用	
目 的 -----	11
材料と方法 -----	12
結果と考察 -----	15
第 2 節 発酵混合飼料における粗飼料源としてのトウモロ コシまたは飼料用イネの利用	
目 的 -----	22
材料と方法 -----	23
結果と考察 -----	25
第 3 節 発酵混合飼料における粗飼料源としての飼料用 ムギの利用	
目 的 -----	33
材料と方法 -----	34
結果と考察 -----	37
第 3 章 発酵混合飼料を給与した乳用牛の栄養代謝	
緒 言 -----	51
第 1 節 発酵混合飼料の給与が乳用牛の養分摂取量と第一 胃内環境に及ぼす影響	

目 的-----	52
材料と方法-----	53
結果と考察-----	59
第 2 節 発酵混合飼料の給与が乳用牛の窒素出納に及ぼす 影響	
目 的-----	86
材料と方法-----	87
結果と考察-----	90
第 4 章 発酵混合飼料を給与した乳牛の生産性	
緒 言-----	98
第 1 節 発酵混合飼料の給与が泌乳牛の行動，乳生産 または繁殖成績に及ぼす影響	
目 的-----	100
材料と方法-----	101
結果と考察-----	104
第 2 節 発酵混合飼料の給与が泌乳牛の乳中脂肪酸に及ぼ す影響	
目 的-----	118
材料と方法-----	119
結果と考察-----	121
第 5 章 発酵混合飼料の経済的評価	
緒 言-----	126
材料と方法-----	126
結果と考察-----	127
第 6 章 総合考察-----	134

要 約	-----	143
謝 辞	-----	152
引用文献	-----	154

第 1 章 緒 論

1. わが国の酪農の現状と飼料自給率

近年，わが国における乳用牛の泌乳能力の向上はめざましく，2011 年における搾乳牛 1 頭当たりの年間平均乳量は 9,225kg まで達している。1991 年における年間乳量は 7,781kg であったことから，この 20 年間で約 1,500kg 増加している。さらに，乳成分率のうち，乳脂肪率は 1991 年の 3.70% から 3.91%，乳蛋白質率は 3.10% から 3.23%，無脂固形分率は 8.62% から 8.72% へと，乳量と同様に向上している（家畜改良事業団 2011）。この泌乳能力向上は，遺伝的改良が順調に進められたことに加え，高泌乳に対応するため，輸入濃厚飼料の給与量を増加させた飼養管理法の確立等が大きな要因として挙げられる。都府県における搾乳牛 1 頭当たりの年間平均濃厚飼料給与量は，1991 年が 2,833kg であったのに対し，2011 年は 3,396kg まで増加した（家畜改良事業団 2011）。一方，乳用牛への粗飼料給与率は相対的に 37% にまで低下している（農林水産省 2013）。このような給与飼料の構造の変化は，乳用牛の能力向上に対応するための必然的方向であったのかもしれないが，逆に，「繁殖成績の悪化」，「消化器障害の多発」，「配合飼料価格の上昇」等，酪農経営を圧迫する種々の課題も浮上した（塩谷 2006；阿部 2009）。

輸入飼料に依存した酪農経営の要因の 1 つに，自給飼料率が低いことが挙げられる。わが国の飼料の需要量は 2011 年度において可消化養分総量（Total digestible nutrients：TDN）ベ

ースで 2,476 万トン，準国産飼料自給率は 26%と計算されている。純国内産飼料のうち，粗飼料の同年度の自給率は 77%，濃厚飼料の同年度の自給率は 12%となっている（農林水産省 2013）。このように，わが国は飼料の大部分を輸入に頼っており，近年の配合飼料の高騰は，トウモロコシの国際価格（シカゴ相場）が主産地の干ばつによる作柄の悪化により上昇したこと，海上運賃の高止まりや為替相場における円安の影響を大きく受けている（農林水産省 2013）。このような状況の中，農林水産省が 2010 年に策定した「食料・農業・農村基本計画」の中では，2020 年に純国産飼料自給率を 38%とし，粗飼料で 100%，濃厚飼料で 19%にする目標を設定している。粗飼料については乾草や飼料用イネホールクロップサイレージ等の利用推進，濃厚飼料については食品残さ等の未利用資源や飼料用米等の活用により穀物相場の変動に伴う畜産経営への影響を最小限に抑える飼料需給構造の構築が求められている。

2. わが国の飼料生産の動向と未・低利用資源の飼料利活用

わが国の飼料生産は，2012 年において作付面積が約 93 万 ha であり，2006 年秋以降の配合飼料の高騰およびその後の価格の高止まりといった状況を受けて，国産飼料増産の取り組みが推進された結果，2008 年以降はおおむね増加傾向で推移している。その中で，飼料用イネの作付面積は，2001 年度からの水田農業経営確立対策や 2011 年度からの経営所得安定対策の本格的実施等により急速に増加し，2012 年度は

25,672ha となっている。宮崎県においても、飼料用イネ作付面積は急速に増加し、2012年度は4,374haであり、全国の作付面積の約17%を占めており（農林水産省 2013）、県内の飼料作物作付面積の約15%を占めている（宮崎県 2013）。2010年に宮崎県で発生した口蹄疫の被害を受けた畜産農家が安心して経営を再開し、県全体の畜産農家が経営を維持・発展させるため、2013年3月に策定された「宮崎県畜産新生プラン」において、本県の粗飼料自給率を2015年までに100%にする目標が設定され、限られた作付面積から最大限の飼料生産を行う必要がある。

農林水産省では、2009年度を「水田フル活用元年」と位置づけ、米粉利用や飼料用米の取り組みを積極的に推進している。このような観点から、関東以西の二毛作可能地帯では、飼料用イネや飼料用米の後作として飼料用ムギ類が利用可能である（浦川 2010）。しかし、都府県の水田裏作における冬作飼料作物の栽培面積は1985年には6万haを超えていたが、2005年では約3万haまで減少し、全水田面積の1.4%にすぎない（佐藤 2012a）。一般に、水田裏作で栽培される飼料作物としてはイタリアンライグラスが圧倒的に多く、本草種は冬作飼料作物の中では耐湿性が強く、早晚性の異なる多数の品種が市販され、わが国の代表的な冬作飼料作物となっている。飼料用ムギ類はイタリアンライグラスよりも低温発芽性に優れることが知られているため、収穫が遅れることの多い飼料イネの後に作付する冬作飼料作物として、イタリアンライグラスよりも適していると考えられる。しかし、飼料用ム

ギ類の作付面積は減少の一途を辿っている（佐藤 2012b）。飼料用ムギ類のうち，エンバクは耐湿性や耐酸性に優れ，耐寒性に劣るものの，暖地で広く栽培利用することが可能で，栄養価が高い飼料である。また，オオムギは耐湿性や耐酸性には劣るが，出穂が早く，播種適期幅が長く，子実割合が高いことから，栄養価が高い飼料である（松本と石橋 2009）。ダイレクト収穫によって飼料用イネのロールベールサイレージが調製出来るように開発された飼料用イネ専用収穫機（浦川と吉村 2003a）を用いて，高品質な飼料用ムギ類のロールベールサイレージの調製に応用する研究が行われる（服部ら 2006；守谷ら 2008）と同時に，水田における飼料作物増産の必要性も提唱されている。

食品製造副産物の発生状況を見ると，2010年度では，食品産業から生じる約 2,086 万トンの食品製造副産物の約 1,400 万トン（68%）が再生利用され，そのうち，75%が飼料（ふすまや米ぬか等）として利用されている（農林水産省 2013）。再利用されない食品製造副産物は，栄養価が高いものの，成分に偏りがあり，保存性に欠けるものを多く含んでおり，飼料として十分に活用されず，焼却や埋却処分などに向けられている（梶川 1996）。しかし，一部は他の飼料と組み合わせでバランスのとれた混合飼料にすることにより代替飼料として有効に利用出来る（Clarkら 1987；Coppock 1987）ことから，飼料自給率向上を図るためには，利用可能な食品製造副産物の利用推進を図ることが必要である。食品製造副産物のうち，トウフ粕，ビール粕，茶殻，醤油粕，米ぬか等は未利

用飼料資源として、それらの利用法が検討されてきた（石渡ら 1993；加藤ら 1999；西野ら 2001；丹羽 2001；井出 2002；今井 2002；関ら 2000；蔡ら 2001；額爾敦ら 2004, 2005, 2007a）。この他、地域特有の資源としてカンショ屑、リンゴ・みかんジュース粕や焼酎粕をはじめ、多様な食品製造副産物の飼料化について研究が行われている（逢坂 2001；永西ら 2004；徐と豊川 2005；家木ら 2006；Okineら 2007；横山ら 2008；家木ら 2010；鈴木ら 2010a；Caoら 2011）。

現在の宮崎県内の未利用資源に目を向けると、宮崎県を含む南九州地域は焼酎の一大産地であることから、多量の焼酎粕が発生する。特に、近年の焼酎ブームによりその生産が増加し、宮崎県における 2010 年の焼酎製造量は 134,629kL となった（国税庁 2010）。焼酎は穀類、イモ等を原料として麴および酵母を用いて発酵させた後、蒸留して得られる蒸留酒である。焼酎粕は本格焼酎を蒸留した後に残るもろみで、その 95%が水分である。焼酎粕は腐敗し易く、大量に発生するため、安定的に処理することが難しく、その大半が廃棄コストの安い海洋投棄によって処理されてきた（甲斐 2007）。しかし、2007 年に施行された改正海洋汚染防止法（海洋汚染等及び海上火災の防止に関する法律）によって、焼酎粕の海洋投棄が原則禁止となり、焼酎粕の陸上処理が急務となった（国土交通省 2008）。陸上処理の方法としては、土壌還元、飼料化、肥料化、焼却処分がある。焼酎粕の乾物率は 5.5%であり、乾物中に粗タンパク質 23.6%、粗脂肪 9.1%、粗灰分 7.3%および可消化養分総量 65.9%を含んでいる（農業・食品産業技術

総合研究機構 2009)。そのため、家畜の飼料として有望であり、焼酎粕原液は一般に、焼酎生産地帯で古くから豚および乳用牛の飼料として用いられてきたが、畜産経営の大規模・集約化に伴い、酪農では配合飼料中心の経営へと変わり、利用度は減少した（林 2012）。しかし、近年の輸入穀類価格の上昇による配合飼料の高騰および価格高止まりを受け、畜産業では未利用資源の活用により飼料コストを軽減させる取り組みが活発となり、再び焼酎粕を家畜の飼料としての利用が注目され始めている。一方、焼酎には季節生産性があり、焼酎粕の排出期間が限定、家畜への年間平衡給与が難しい。また液状で排出されるため、変敗し易く、取り扱いの改善が課題であることが指摘されている（町田ら 1993）。これまで、焼酎粕については固液分離および加熱乾燥による飼料化が行われてきたが、従来の乾燥法では大規模な設備が必要なだけでなく、高水分であるため、乾燥コストおよび環境への負荷が大きいと考えられる。近年の焼酎粕処理においては、焼酎粕をスクリーンプレスによって分離後、遠心脱水処理によって固液分離した液体部分を加熱によって濃縮処理した焼酎粕濃縮液や、固体部分をケーキ状にする方法が採られている。焼酎粕を家畜の飼料として利用するために、焼酎粕原液をはじめ、濃縮液および脱水ケーキの保存方法が検討され、乳酸菌や酸の添加および他の飼料と混合して発酵させると、長期保存可能なことが報告されている（川村ら 1997；林ら 2003；大塚ら 2007；水谷ら 2011）。しかし、このように保存した焼酎粕を乳用牛へ給与した報告は少なく（林ら 2009）、

今後、乳用牛用飼料として焼酎粕を有効利用するためには、乳用牛の栄養代謝や乳生産への影響を把握することが重要である。

3. 混合飼料（TMR）と発酵 TMR

混合飼料（Total mixed ration：TMR）は選択採食出来ないように粗飼料を細断することにより濃厚飼料と混合し、家畜が要求する飼料成分が適正に配合された飼料である（日本草地学会 2008）。TMR は乳用牛に広く用いられており、その特徴として選択採食の防止、食品製造副産物など多くの飼料原料の利用、乾物摂取量の増加、第一胃発酵の安定等による乳牛の消化器の健全性維持等の効果がある（阿部 2009）。

近年、各地に設置された TMR センターでは自給粗飼料と食品製造副産物等を活用し、圧縮、梱包、ラッピング等により保存性を高めた発酵させた発酵 TMR の調製が行われている。発酵 TMR の調製の普及の要因として、細切された TMR を圧縮・形成・梱包する技術が格段に進歩したこと（塩谷ら 2007）が挙げられ、特に、細断型ロールベアラは、細切された粗飼料を高密度に梱包出来る（志藤と山名 2000）ことから、良好な乳酸発酵が期待できる。一方、トランスバック方式でも改良が進み、内袋に丈夫なビニール袋を用い、強い脱気を行う方法が取り組まれている。この様に、細断型ロールベールおよびトランスバック方式は、良質な発酵品質が得られることが報告されている（塩谷ら 2007）。また、発酵 TMR は非発酵のフレッシュ TMR と比べて乾物摂取量が高まることや発

酵による TMR 中の脂肪酸化が抑えられるため、フレッシュ TMR に比べて飼料中の栄養価の損失を抑えられることなどの特徴がある（塩谷 2008）。さらに、水分含量の高い飼料作物のサイレージや粕類を素材としたウエットタイプ TMR は、開封後の品質が安定せず、特に夏季の好气的変敗により、採食性の低下や廃棄部分が多いことも課題である。しかし、乳酸発酵の進んだ発酵 TMR は開封後の好气的安定性に優れ、高品質を維持出来る（Nishino ら 2004）。近年、トウフ粕、ビール粕、焼酎粕および緑茶殻等の食品製造副産物を原料とする発酵 TMR についても、発酵品質や牛への給与の面から検討されている（徐ら 2004；須藤ら 2007；額爾敦ら 2007b；Wang と Nishino 2008；横山ら 2009；服部ら 2010；神谷ら 2010；鈴木ら 2010b，田川ら 2011）が、自給粗飼料サイレージを主体とした発酵 TMR については検討されていない。また、発酵 TMR の化学成分の経時的変化についても追究されていない。発酵 TMR の原料として品質の安定した自給粗飼料サイレージを積極的に利用することは、飼料成分の変動が大きいサイレージの特徴を安らげることにもつながる。以上のことから、食品製造副産物や自給粗飼料サイレージを用いた発酵 TMR 調製に伴う化学成分の変動や牛に給与した場合の栄養代謝を把握することは、発酵 TMR の特徴評価と普及を行う上で、重要な情報となると考えられる。

4. 本研究の目的および内容

本研究では、地域に賦存する飼料資源のうち、焼酎脱水ケ

ーキの 1 つであるカンショ焼酎粕ケーキ（以下；SDC），飼料用イネおよび飼料用ムギ類を有効活用する観点から，発酵 TMR の発酵過程および飼料特性を把握するとともに，自給率の高い発酵 TMR の乳用牛への給与技術を確立することを目的とした。すなわち，第 2 章では，発酵 TMR の品質と発酵に伴う化学成分の変動を明らかにするため，まず，SDC の混合割合が異なる SDC と自給粗飼料を混合したサイレージを調製し，それらの発酵品質とタンパク質画分の推移を検討した。次に，異なる粗飼料源（トウモロコシサイレージまたは飼料用イネ）の SDC 混合発酵 TMR を調製し，それらの発酵品質とタンパク質と繊維画分の推移を比較検討した。さらに，発酵 TMR 原料としての飼料ムギ類の可能性を検討するため，飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR を調製し，発酵品質とタンパク質・繊維画分の経時的変化について発酵 TMR の飼料構成との関連から検討した。第 3 章では，上記の発酵 TMR を乳用牛に給与した場合の栄養代謝を明らかにするため，化学成分の消化性，第一胃内溶液性状および飼料中の窒素利用性について検討した。第 4 章では，上記の発酵 TMR を搾乳牛に給与した場合の生産性を明らかにするため，行動，乳生産または繁殖性を検討した。第 5 章では，第 3 および 4 章で用いた発酵 TMR の経済的評価を行い，第 6 章では，自給飼料を主体とする発酵 TMR を活用した乳用牛への給与システム構築の可能性について総合的に考察した。

第 2 章 発酵混合飼料の品質と発酵に伴う化学成分の変動

結 言

発酵 TMR は粗飼料と濃厚飼料を混合した TMR を発酵させた飼料である。近年、発酵 TMR に未利用資源である食品製造副産物を混合した多くの報告があり（徐ら 2004；須藤ら 2007；額爾敦ら 2007b；Wang と Nishino 2008；横山ら 2009；服部ら 2010；神谷ら 2010；鈴木ら 2010b；田川ら 2011），これらは高水分かつ低嗜好性飼料資源の活用において有効な調製法である（塩谷ら 2007）。また，水分含量が高く，化学成分の変動が大きい自給粗飼料であっても，TMR センターや大型飼料混合施設等における発酵 TMR の調製は大量に一括して行えることから，化学成分が均一となるとともに，開封後の好气的変敗が起こり難いため（Nishino ら 2004），自給粗飼料の有効利用を可能とする。

このように，国内に賦存する未利用資源を飼料として活用出来る発酵 TMR は，牛による良好な嗜好性をもたらすと考えられるが，発酵に伴う pH や有機酸組成の変動および化学成分の変動についての報告は少ない。

そこで本章では，南九州地域で代表的な食品製造副産物であるカンショ焼酎粕を脱水処理した SDC および水田の裏作物として利用されている飼料用ムギ類 WCS を発酵 TMR の原料として利用した場合の発酵品質と発酵に伴う化学成分の変動を明らかにした。

第 1 節 カンショ焼酎粕ケーキの特性とサイレージへの利用

目 的

近年の輸入飼料の高騰・価格高止まりによる飼料コストの増大やわが国の飼料自給率が低いことを受け、畜産経営基盤の安定・強化のためには、食品製造副産物や自給粗飼料を積極的に利用する国内産飼料の給与体系の構築が求められている。2011 年からエコフィールド認証制度が開始され、食品製造副産物の飼料利用をより一層促進する体制が整えられた。

これまで、食品製造副産物を利用した飼料としては、乾燥処理したビール粕やトウフ粕（関ら 2000）をはじめ、乾燥処理せずに生粕をサイレージ化したものが挙げられ、それらの調製法や給与法が検討されてきた（石渡ら 1993；Wang と Nishino 2008）。

焼酎製造の際に発生する蒸留廃液である焼酎粕は、近年の焼酎ブームに伴い、その発生量が増加している。焼酎粕の水分含量は約 95%と高いため、腐敗し易く、取扱い難い（町田ら 1993；甲斐 2007）が、良質な飼料原料と評価されている。従来、焼酎粕原液を長期間保存するためにギ酸や乳酸菌の添加等が検討されてきた（大塚ら 2007；水谷ら 2011）が、一部の利用に留まっていた。一方、2007 年に施行された改正海洋汚染防止法によって焼酎粕の海洋投棄が原則禁止となったことに伴い、多くの焼酎粕リサイクルプラントが建設された。これらのプラントにおける焼酎粕の処理においては、まず、連続遠心分離機やスクリーンプレスにより固液分離が行われ

(宮崎ら 2008 ; 林ら 2012) , 分離された上清は濃縮され、濃縮液として利用されている。一方、固形部 (ケーキ) は、乾燥利用されているものの、処理費用が高いため、飼料として直接利用することがコスト低減につながる (林 2012) とされている。

これまでカンショ焼酎粕から作製される SDC と牧草を混合したサイレージを調製することで、良好なサイレージが得られること (林ら 2003) やそば焼酎粕ケーキと濃縮液を等量混合した焼酎粕に稲わらを混合したサイレージを調製することで、酪酸の生成や揮発性塩基態窒素 (VBN) 含量が低くなること (川村ら 1997) が報告されているものの、SDC と複数の自給粗飼料を混合したサイレージの特性を明らかにした研究は少ない。

本節では、SDC の化学成分を明らかにするとともに、SDC と自給粗飼料を混合したサイレージを調製し、混合割合の発酵品質ならびに化学成分に及ぼす影響を検討した。

材料と方法

1. 混合サイレージ調製と処理区の設定

供試した SDC には、2009 年 12 月 15 日にカンショ焼酎粕由来の焼酎廃液をスクリーンプレス後、連続遠心脱水処理 (1800×g, デカンタ FD6 型 ; 巴工業株式会社, 東京) によりケーキ状としたものを用いた。また、粗飼料には、宮崎県畜産試験場内で生産したトウモロコシサイレージ (CS) , イタリアンライグラスサイレージ (IS) , 飼料用イネホールクロ

ップサイレージ (RWCS) および稲わら (RS) を用いた。SDC を含まない混合サイレージを NSDC とし, SDC を乾物ベースで約 10 および 20% 混合したサイレージをそれぞれ, 10SDC および 20SDC とした (表 2-1-1)。これらの埋蔵材料は小型ビニールバックを用いたパウチ法により, 各混合サイレージの調製を行った。すなわち, ポリエチレン/ナイロンの積層フィルム [飛竜 (厚さ 0.1mm, 25cm×39cm) ; 旭化成ポリプレックス株式会社, 東京] に混合サイレージを原物で 350g 充填し, 真空梱包機 (SQ-303; サランラップ販売株式会社, 東京) で脱気・密閉後, 畜舎内で 90 日間埋蔵した。

2. 試料の分析方法

各混合サイレージの発酵品質は, 埋蔵後, 0, 30, 60 および 90 日目に各試験区から 3 袋ずつを開封した。各サイレージの水抽出液を作成した後, 4 重ガーゼで濾過し, その濾過液の pH を pH メーター (HM-30P; 東亜ディーケーケー株式会社, 東京) で測定し, 有機酸組成を高速液体クロマトグラフ (HPLC) 有機酸測定システム (CTO-10AV; 株式会社島津製作所, 京都) による BTB ポストラベル法 [カラム: Shodex Rspak (KC-811; 昭和電工株式会社, 東京), カラム温度: 70°C, 移動相: 3m mol 過塩素酸溶液, 流量: 0.7mL/分 および 検出波長: 455nm], VBN 含量を水蒸気蒸留法で測定し, 有機酸組成および VBN 含量の値から V-SCORE を求めた (自給飼料利用研究会 2009)。

化学成分については, 粗タンパク質 (CP) 含量をケルダール法, 溶解性タンパク質 (CPs) を自給飼料利用研究会 (2009)

表2-1-1. カンショ焼酎粕ケーキ（SDC）混合サイレージの配合割合.

	NSDC ¹	10SDC	20SDC
配合割合（% DM ² ）			
CS ³	33.0	29.9	26.8
IS	23.0	20.8	18.7
RWCS	24.0	21.7	19.5
RS	20.0	18.1	16.3
SDC	-	9.5	18.7

¹NSDC, SDCを含まないサイレージ；10SDC, SDCを10%含むサイレージ；20SDC, SDCを20%含むサイレージ. ²乾物. ³CS, トウモロコシサイレージ；IS, イタリアンライグラスサイレージ；RWCS, 飼料用イネホールクロップサイレージ；RS, 稲わら；SDC, カンショ焼酎粕ケーキ.

の方法で測定した。

3. 統計解析

統計解析については、SDC 混合サイレージの発酵品質に対して SDC 混合割合 (%) および埋蔵期間 (日数) を因子とする繰り返しのある二元分散分析を行うとともに、これらの要因の組み合わせによる交互作用を検定した(吉田・阿部 1984)。

結果と考察

本試験で用いた粗飼料および SDC の化学成分を表 2-1-2 に示した。SDC の飼料成分は、農業・食品産業技術研究機構(2009)の日本標準飼料成分表に記載されている未処理のカンショ焼酎蒸留廃液の成分値(乾物率 0.6%, CP23.6%, 粗灰分 7.3%)よりもすべての成分値が高く、一方、服部ら(2010)が報告しているカンショ焼酎粕濃縮液の成分値(乾物率 37.5%, CP20.3%, 粗灰分 14.5%)と比べて乾物率と粗灰分が低く、CP 含量が高い特徴を有していた。この理由としては、同じ原料であっても、焼酎粕濃縮液は焼酎粕をスクリーンによって固液分離し、液体部分を加熱によって濃縮処理したものであるのに対し、SDC は焼酎粕をスクリーンプレスによって分離し、液体部分を遠心脱水処理によって固液分離した固体部分であり、処理方法の違いにより飼料成分が大きく異なることが考えられる。

SDC 混合サイレージの混合割合および埋蔵期間が pH, 有機酸組成, 総窒素に占める VBN の割合 (VBN/TN (%)) および V-SCORE に及ぼす影響を図 2-1-1 に示した。埋蔵後 60 日

表2-1-2. 粗飼料およびSDC¹の化学成分.

	CS ²	IS	RWCS	RS	SDC
DM ³ (%)	25.0	41.2	34.9	81.2	15.8
粗灰分 (% DM)	5.4	9.1	16.1	18.3	4.3
CP ⁴ (% DM)	8.3	8.7	8.6	4.0	26.2
CPs/CP ⁵ (%)	20.0	18.1	16.3	13.4	19.9

¹⁻³表2-1-1参照. ⁴粗タンパク質. ⁵粗タンパク質中の溶解性タンパク質の割合.

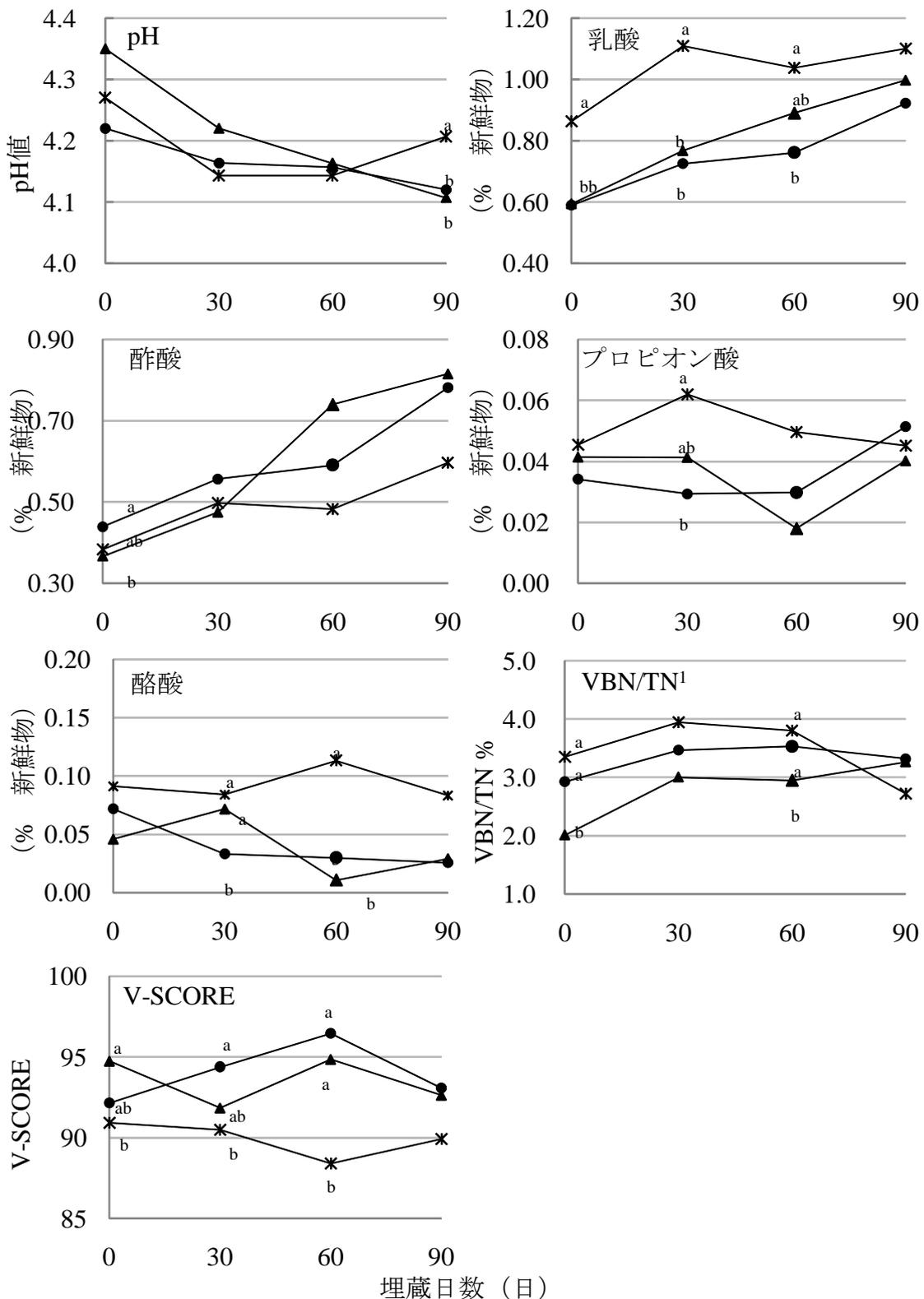


図2-1-1. SDC混合サイレージの混合割合および貯蔵期間がpH, 有機酸組成, VBN/TNおよびV-SCOREに及ぼす影響.

¹全窒素中に占める揮発性塩基態窒素の割合. *—*, NSDC; ▲—▲, 10SDC; ●—●, 20SDC. ^{a,b}P<0.05.

までの pH に変化は認められなかったが、90 日目に NSDC 区と比べて 10SDC および 20SDC 区で有意に低かった ($P < 0.05$)。新鮮物当たりの乳酸含量は埋蔵後 60 日目まで NSDC 区で他の区よりも有意に高い値 ($P < 0.05$) で推移した。また、酢酸の生成は埋蔵後 0 日目の 20SDC 区と比べて 10NSDC 区で有意に低かった ($P < 0.05$) が、埋蔵後 90 日目まで処理区間差は認められなかった。プロピオン酸の生成は埋蔵後 30 日目の 20SDC 区で最も低い値を示した。酪酸の生成は NSDC 区で全体的に高く推移した。VBN/TN は埋蔵後 0 日目の NSDC および 20SDC 区と比べて 10SDC 区で有意に低かった ($P < 0.05$) が、90 日目では差がみられなかった。V-SCORE は埋蔵後 60 日目の 20SDC 区で最も高かったものの、すべての区で 80 点以上であり、発酵品質は「良」であった。SDC と高水分牧草との混合サイレージの場合、発酵品質は良好となる (林ら 2003) が、水分含量を 50 - 70% に設定したそば焼酎粕濃縮液および SDC と稲ワラを混合したサイレージでは、水分含量が 50% のサイレージよりも 70% のサイレージで乳酸および酪酸含量が少ないこと (川村ら 1997) が報告されている。本試験においても SDC の混合により発酵品質は良好となるものの、水分含量は高まることから、乳酸および酪酸の生成が抑えられたものと考えられた。また、焼酎粕ケーキの貯蔵方法の一事例として、トレンチ型サイロで貯蔵した場合には、貯蔵後 30 日で乳酸含量が低く、酪酸含量が高い不良発酵となる (未発表) が、単味の自給粗飼料 (CS, IS, RWCS および RS) と SDC を混合したサイレージの酪酸含量は低いため、不良発酵が抑制される

ことが報告されている（西村ら 2011）。本試験で調製した混合サイレージについても、同様な結果が得られたことから、複数の粗飼料と SDC を混合しても SDC を保存することが出来る可能性が示唆された。さらに、SDC 混合サイレージの水分含量を高めると、乳酸発酵はやや抑えられる（乳酸生成量が少ない）ものの、酪酸発酵を強く抑えるため、発酵品質の向上につながることを示された。

SDC 混合サイレージのタンパク質含量に及ぼす SDC の混合割合ならびに埋蔵期間の影響を表 2-1-3 に示した。SDC 混合サイレージの水分含量および CP 含量は、SDC の混合割合の増加により増加した ($P < 0.05$) が、埋蔵期間による差は認められなかった。SDC と単味粗飼料を混合したサイレージの CP 含量は SDC 混合により高まる（西村ら 2011）ことから、本試験においても、同様の結果が得られた。一方、CPs/CP (%) は SDC 混合割合の増加に伴い低下した ($P < 0.05$) が、埋蔵期間による差は認められなかった。SDC に含まれる CPs/CP は供試した粗飼料よりも低かったため、SDC 混合割合の増加に伴い、サイレージの CPs/CP が低下したものと考えられた。一般に、牧草のサイレージ調製時には植物体や微生物の酵素によるタンパク質分解が起こり、CP の溶解性部分が増加することが知られている（松岡ら 2008）。しかし、本実験では埋蔵後 30、60 および 90 日目に CPs/CP の増加が認められず、混合サイレージの埋蔵期間中にはタンパク質の分解が生じ難いと考えられた。サイレージ中のタンパク質の分解には、pH の低下速度が大きく影響し、低下速度が遅いと分解は進行するも

表2-1-3. SDC¹混合サイレージのタンパク質画分に及ぼすSDCの混合割合ならびに埋蔵期間の影響.

		水分	CP ²	CPs/CP(%)
NSDC ³	0日目	66.1 ^c	7.5 ^c	46.6 ^{ab}
	30日目	67.2 ^c	8.3 ^{bc}	49.3 ^b
	60日目	67.9 ^{bc}	8.2 ^{bc}	44.9 ^{ab}
	90日目	65.6 ^c	8.1 ^{bc}	45.9 ^{ab}
10SDC	0日目	69.5 ^{abc}	9.6 ^{abc}	44.2 ^{ab}
	30日目	68.2 ^{bc}	9.8 ^{abc}	43.6 ^{ab}
	60日目	73.1 ^{ab}	10.3 ^{ab}	36.3 ^{ab}
	90日目	70.0 ^{ab}	9.7 ^{abc}	40.7 ^{ab}
20SDC	0日目	74.5 ^a	10.8 ^{ab}	33.6 ^b
	30日目	74.2 ^a	11.3 ^a	36.1 ^{ab}
	60日目	74.4 ^a	11.6 ^a	38.6 ^{ab}
	90日目	74.1 ^a	12.0 ^a	38.6 ^{ab}
SEM ⁴		0.6	0.3	1.3
処理区間 ⁵				
NSDC		66.7 ^c	8.0 ^c	46.6 ^a
10SDC		70.2 ^b	9.8 ^b	41.2 ^{ab}
20SDC		74.3 ^a	11.4 ^a	36.7 ^b
埋蔵日数 ⁵				
0日目		70.0	9.3	41.6
30日目		69.9	9.8	43.0
60日目		71.8	10.0	39.9
90日目		69.9	9.9	41.7
処理効果の有意水準				
F ⁶ ×D ⁷		NS	NS	NS

¹表2-1-1参照. ²表2-1-2参照. ³表2-1-1参照. ⁴標準誤差. ⁵処理区間はSDC混合割合の影響を示すために各貯蔵日数の平均値および埋蔵日数は埋蔵期間の影響を示すために各処理区間の平均値で比較した. ⁶飼料の効果. ⁷埋蔵日数の効果.
^{a-c}処理区間の同列異符号間に有意差あり (P<0.05). NS, 有意差なし.

のの、タンパク質分解は pH4.3 になると起こり難く、pH が 4 まで下がると減少すること (McDonald ら 1995) から、混合サイレージの pH が埋蔵直後でも 4.3 前後と低かったため、埋蔵期間中のタンパク質分解が生じ難かったと推察された。

以上から、SDC と自給粗飼料 (CS, IS, RWCS および RS) を混合することで発酵品質は V-SCORE で 90 点以上と良好となることが示された。また、SDC 混合割合の増加に伴い、サイレージ全体の CP 含量も高まったが、CPs/CP は SDC 混合割合の増加に伴い低下することが示された。さらに、埋蔵期間中に CPs/CP は変動しなかったことから、発酵によるタンパク質分解は抑えられたものと推察された。したがって、発酵品質や栄養価値の確保だけでなく、SDC 自体の保存性のためにも供試した自給粗飼料との混合は有効であると考えられた。

第 2 節 発酵混合飼料における粗飼料源としてのトウモロコシまたは飼料用イネの利用

目 的

自給粗飼料と濃厚飼料を混合し、発酵させた発酵 TMR の利用が酪農を中心に広がりつつあり（塩谷 2008）、その中で、自給飼料や食品製造副産物飼料等を活用した TMR センターでは、TMR を梱包してサイレージに調製し、保存性を高めた発酵 TMR 方式が増えている（塩谷ら 2007）。また、阿部（2009）は今後のわが国の TMR 方式の方向性として、輸入穀類への依存を減らし、自給サイレージや地域資源である農産副産物や食品製造副産物への依存度を高めるべきであると提唱している。発酵 TMR の原料としてビール粕やトウフ粕、緑茶殻を用いた場合、良好な発酵品質が得られることが報告されている（徐ら 2004；Wang と Nishino 2008；田川ら 2011）。また、焼酎粕についてもコメ、ムギおよびカンショ焼酎粕濃縮液を発酵 TMR の原料として用いた場合、良好な発酵品質が得られることが報告されている（横山ら 2009；鈴木ら 2010b）。このように、発酵 TMR の調製や評価に関する報告があるものの、牧草サイレージ調製時にみられるような発酵品質や化学成分の変化にどのような影響を及ぼすか、植物体および微生物の酵素によるタンパク質分解が発酵 TMR 調製過程にも起こるかどうかなどについては明らかにされていない。

前節では、自給粗飼料と SDC との混合サイレージの発酵品質が良好であることを明らかにした。しかし、併用する自給

粗飼料の違いが SDC を混合した発酵 TMR の品質や化学成分に及ぼす影響については不明である。

本節では，宮崎県で広く作付け・利用されているトウモロコシおよび飼料用イネを主たる粗飼料源とする SDC 混合発酵 TMR の発酵品質および化学成分の経時的な変化を検討した。

材料と方法

1. 処理区の設定と発酵 TMR の調製

供試した SDC には，2010 年 12 月 7 日にカンショ焼酎由来の焼酎廃液を前節と同様に処理を行い，ケーキ状としたものを用いた。また，粗飼料には，前節と同様，宮崎県畜産試験場内で生産した CS，IS および RWCS を用い，それらと SDC 以外の供試飼料には市販のものを使用した。処理区は IS および SDC をそれぞれ乾物当たり 20 および 4% 含む CS 主体 SDC 混合発酵 TMR（CS-TMR）と RWCS 主体 SDC 混合発酵 TMR（RWCS-TMR）とした（表 2-2-1）。2010 年 12 月 9 日に上記の自給飼料と各単味飼料を混合し，発酵 TMR の調製を前節と同様に行った。

2. 試料の分析方法

試料の採取は埋蔵後 0，30 および 90 日目に行い，分析は前節と同様に行った。さらに，化学成分として，CP および CPs 含量については前節と同様に測定し，耐熱性 α -アミラーゼ処理中性デタージェント繊維（aNDFom）含量については AOAC（2005）の方法で測定した。さらに，中性デタージェント不溶性タンパク質（NDIP）および酸性デタージェント不

表2-2-1. SDC¹混合発酵TMR²の配合割合.

配合割合	CS-TMR ³	RWCS-TMR
	-% DM ⁴ -	
CS ⁵	25.0	-
RWCS	-	25.0
IS	20.0	20.0
SDC	4.0	4.0
圧ペントウモロコシ	14.8	14.8
圧ペン大麦	12.0	12.0
大豆粕	8.9	8.9
ビートパルプ	15.0	15.0
炭酸カルシウム	0.3	0.3

¹表2-1-1参照. ²発酵混合飼料. ³CS-TMR, CS主体カンショ焼酎粕混合発酵TMR; RWCS-TMR, RWCS主体カンショ焼酎粕ケーキ混合発酵TMR. ^{4,5}表2-1-1参照.

溶性タンパク質（ADIP）の各含量を測定した（自給飼料利用研究会 2009）。また，窒素化合物を非タンパク態窒素（アンモニア，ペプチドおよびアミノ酸；以下，NPN），真のタンパク質および結合性タンパク質の3つに区分し（以下，それぞれA，BおよびC画分），B画分についてはさらに第一胃内で速やかに分解されるB₁画分，第一胃内で中程度の速さで分解されるB₂画分，植物細胞壁に含まれ，第一胃内でゆっくりと分解されるB₃画分に分けた。タンパク質の画分は自給飼料利用研究会（2009）の方法に準じて行い，CPに占めるNPNと一部の溶解性の純タンパク質から構成される緩衝液可溶性タンパク質の割合（ $CPs \times 100 / CP$ ）をA+B₁画分，CPに占める緩衝液不溶性タンパク質の割合（ $100 - CPs \times 100 / CP$ ）とNDIPの割合（ $NDIP \times 100 / CP$ ）の差をB₂画分，CPに占めるNDIPの割合（ $NDIP \times 100 / CP$ ）とADIPの割合（ $ADIP \times 100 / CP$ ）の差をB₃画分， $ADIP \times 100 / CP$ をC画分とした。酵素分析法により細胞壁有機物（OCW）および低消化性繊維（Ob）を測定し，OCWからObを差し引いた高消化性繊維（Oa）を求めた（自給飼料利用研究会 2009）。

結果と考察

SDC 混合発酵 TMR の飼料構成の違いならびに埋蔵期間が化学成分に及ぼす影響を表 2-2-2 に示した。調製時の水分および有機物含量はRWCS-TMR区よりもCS-TMR区で有意に高かった（ $P < 0.05$ ）が，CPおよびaNDFom含量に処理区間差は認められなかった。すべての化学成分に埋蔵期間の影響は認

表2-2-2. SDC¹混合発酵TMR²の飼料構成の違いならびに埋蔵期間が化学成分に及ぼす影響.

		水分 (%)	OM ³ (% DM ⁴)	CP ⁵ (% DM)	aNDFom ⁶ (% DM)
CS-TMR ⁷	0日目	59.8 ^a	93.1 ^a	13.8 ^{ab}	38.3
	30日目	58.7 ^{ab}	93.3 ^a	13.1 ^{ab}	37.2
	90日目	57.1 ^b	92.5 ^{ab}	13.1 ^b	37.1
RWCS-TMR	0日目	58.0 ^b	90.2 ^c	13.2 ^{ab}	38.9
	30日目	56.2 ^b	91.0 ^{bc}	13.9 ^a	38.5
	90日目	57.6 ^{ab}	90.4 ^c	13.4 ^{ab}	38.4
SEM ⁸		0.4	0.3	0.1	0.3
処理区間 ⁹					
CS-TMR		58.6 ^a	93.0 ^a	13.3	37.5
RWCS-TMR		57.3 ^b	90.5 ^b	13.5	38.6
埋蔵日数 ⁹					
0日目		58.9	91.7	13.5	38.6
30日目		57.5	92.1	13.5	37.8
90日目		57.4	91.5	13.2	37.7
処理効果の有意水準					
F ¹⁰ × D ¹¹		NS	NS	*	NS

¹表2-1-1参照. ²表2-2-1参照. ³有機物. ⁴表2-1-1参照. ⁵表2-1-2参照. ⁶耐熱性アミラーゼ処理中性デタージェント繊維. ⁷表2-2-1参照. ⁸標準誤差. ⁹処理区間は飼料構成の影響を示すために各埋蔵日数の平均値および埋蔵日数は埋蔵期間の影響を示すために各処理区間の平均値で比較した. ^{10,11}表2-1-3参照. ^{a-c}同枠内の同列異符号間に有意差あり (P<0.05). *, P<0.05; NS, 有意差なし.

められなかった。

SDC 混合発酵 TMR の飼料構成の違いならびに埋蔵期間が pH, 有機酸組成, VBN/TN ならびに V-SCORE に及ぼす影響を図 2-2-1 に示した。pH は埋蔵後 30 日目まで RWCS-TMR 区と比べて CS-TMR 区で有意に低く推移した ($P<0.05$) が, 90 日目においては RWCS-TMR 区で最も低かった ($P<0.05$)。新鮮物当たりの乳酸含量は, 埋蔵期間中 RWCS-TMR 区よりも CS-TMR 区で有意に高く推移した ($P<0.05$)。また, 酢酸含量, プロピオン酸含量, 酪酸含量および VBN/TN は RWCS-TMR 区と比べて CS-TMR 区で全体的に低く推移し ($P<0.05$), V-SCORE はすべての発酵 TMR で 80 点以上であったものの, 埋蔵期間中 RWCS-TMR 区と比べて CS-TMR 区で高く推移した ($P<0.05$)。鈴木ら (2010b) はカンショ濃縮液を添加した発酵 TMR において濃縮液の種類や混合割合が同じでも, TMR の粗濃比や飼料構成によっては発酵品質への効果が変わる可能性を指摘しており, 本試験でも SDC の混合割合が同じである CS-TMR および RWCS-TMR 区の発酵品質に違いが認められたことから, SDC 混合発酵 TMR の発酵品質は埋蔵期間の影響を受けるとともに, 粗飼料源の影響を受けることも明らかとなった。

SDC 混合発酵 TMR の飼料構成の違いならびに埋蔵期間がタンパク質画分に及ぼす影響を表 2-2-3 に示した。A+B₁ および C 画分は CS-TMR 区よりも RWCS-TMR 区で有意に高く ($P<0.05$), B₃ 画分は RWCS-TMR 区よりも CS-TMR 区で有意に高かった ($P<0.05$)。B₂ 画分には処理間差は認められな

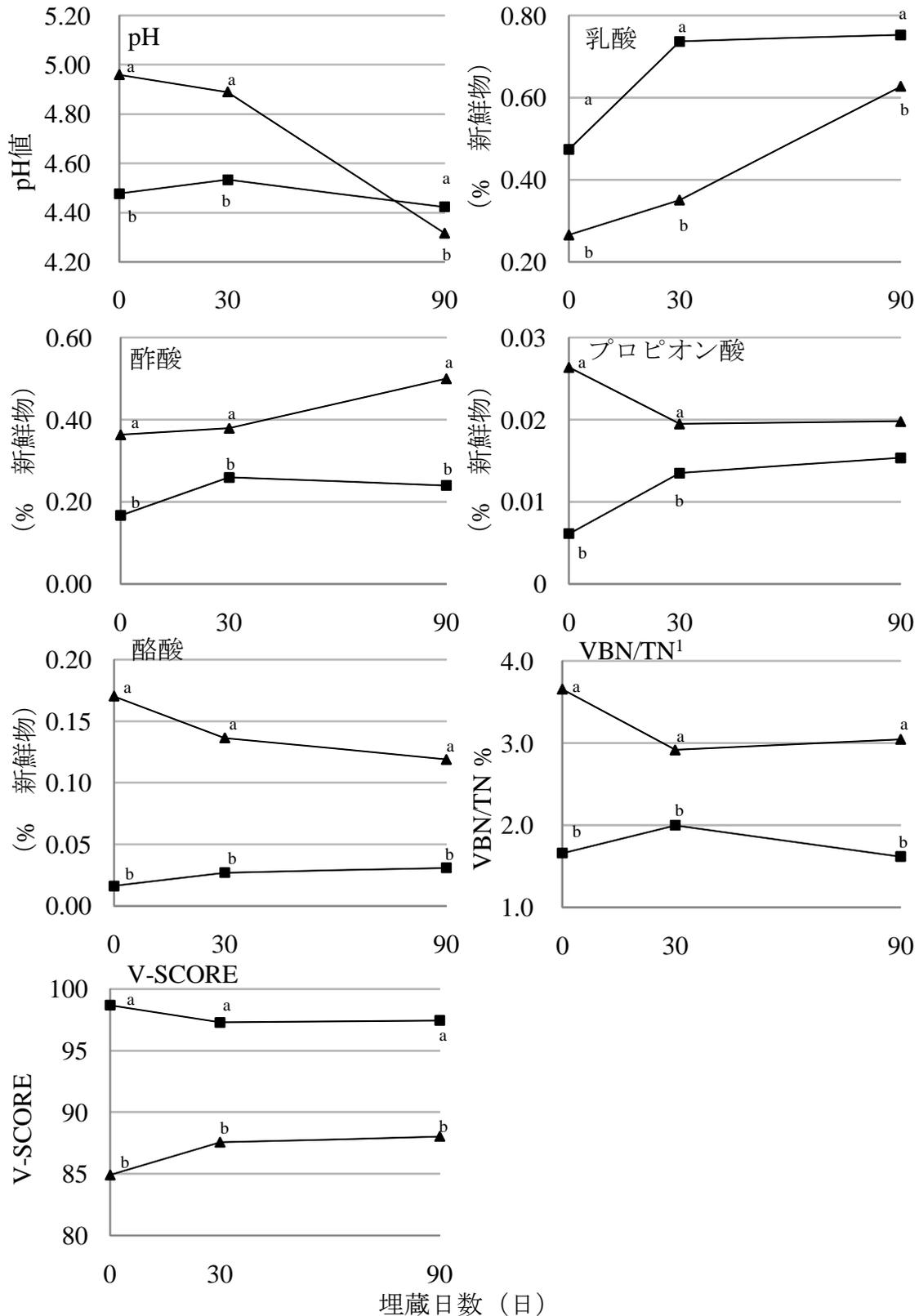


図2-2-1. SDC混合発酵TMRの飼料構成の違いならびに埋蔵期間がpH, 有機酸組成, VBN/TNおよびV-SCOREに及ぼす影響.

¹図2-1-1参照. ■—■, CS-TMR ; ▲—▲, RWCS-TMR. ^{a,b}P<0.05.

表2-2-3. SDC¹混合発酵TMR²の飼料構成の違いならびに埋蔵期間がタンパク質画分に及ぼす影響.

		A+B ₁ (% CP ³) ⁴	B ₂ (% CP)	B ₃ (% CP)	C (% CP)
CS-TMR ⁵	0日目	18.2	38.6	31.4	11.8 ^{ab}
	30日目	19.0	32.8	35.3	12.9 ^{ab}
	90日目	21.8	33.4	33.5	11.3 ^b
RWCS-TMR	0日目	23.7	35.2	27.5	13.5 ^a
	30日目	21.9	30.6	34.1	13.4 ^a
	90日目	24.7	35.2	27.5	12.6 ^{ab}
SEM ⁶		1.0	1.1	0.9	0.2
処理区間 ⁷					
	CS-TMR	19.7 ^b	34.9	33.4 ^a	12.0 ^b
	RWCS-TMR	23.5 ^a	33.7	29.7 ^b	13.2 ^a
埋蔵日数 ⁷					
	0日目	21.0	36.9	29.4 ^b	12.6
	30日目	20.5	31.7	34.7 ^a	13.1
	90日目	23.2	34.2	30.5 ^{ab}	11.9
処理効果の交互作用					
	F ⁸ ×D ⁹	NS	NS	NS	NS

¹表2-1-1参照. ²表2-2-1参照. ³表2-1-2参照. ⁴A+B₁, 溶解性タンパク質; B₂, 不溶解性タンパク質-中性デタージェント不溶性タンパク質; B₃, 中性デタージェント不溶性タンパク質-酸性デタージェント不溶性タンパク質; C, 酸性デタージェント不溶性タンパク質. ⁵表2-2-1参照. ⁶標準誤差. ⁷表2-2-2参照. ^{8,9}表2-1-3参照. ^{ab}同枠内の同列異符号間に有意差有り (P<0.05). *, P<0.05; NS, 有意差なし.

かった。また，埋蔵期間の影響は B₃ 画分以外の画分で認められなかった。A + B₁ 画分は NPN と CPs から成り，第一胃内で速やかに分解されるが，C 画分は結合性タンパク質から成り，第一胃内および下部消化管でも分解されない画分である。また，B₂ および B₃ 画分は難分解性タンパク質から成り，特に B₂ 画分は第一胃内で中程度の速さで分解されるものの，B₃ 画分は第一胃内でゆっくりと分解され，大部分は分解されない画分である (Sniffen ら 1992)。牧草の栄養価はサイレージ化によって生草と異なることが知られており，発酵の過程で起こる変化とは，糖が有機酸に分解され，タンパク質は非タンパク態窒素に分解されることであり，保存状態が良いサイレージでも，調製前の牧草のタンパク質の 50 - 60% が分解されると見積もられている (McDonald 1995)。本試験においては，SDC を混合した発酵 TMR の埋蔵期間中に牧草サイレージでみられるようなタンパク質の分解が認められなかったことから，発酵 TMR のタンパク質画分は埋蔵期間よりも飼料構成の影響を受けることが明らかとなった。

SDC 混合発酵 TMR の飼料構成の違いならびに埋蔵期間が繊維画分に及ぼす影響を表 2-2-4 に示した。すべての繊維画分に処理区間差は認められなかった。また，埋蔵期間の影響も認められなかった。OCW はセルロース，ヘミセルロース，リグニンおよび不溶性タンパク質を含み，Ob にはリグニンを含む難消化性炭水化物が含まれている (Abe 2007)。牧草サイレージの場合，埋蔵期間が長くなるとヘミセルロースおよびセルロースは微生物の活動によって減少し (Dewar ら

表2-2-4. SDC¹混合発酵TMR²の飼料構成ならびに埋蔵期間が繊維画分に及ぼす影響.

		Oa (% DM ³) ⁴	Ob (% DM)	OCW (% DM)	Ob/OWC (%)
CS-TMR ⁵	0日目	7.2	32.1	39.4	81.8
	30日目	5.3	32.9	38.1	86.3
	90日目	7.6	30.5	38.1	80.1
RWCS-TMR	0日目	9.3	32.0	41.8	76.5
	30日目	5.9	31.5	37.8	83.4
	90日目	7.3	32.7	40.3	81.2
SEM ⁶		0.5	0.4	0.5	1.2
処理区間 ⁷					
CS-TMR		6.7	31.8	38.6	82.7
RWCS-TMR		7.5	32.1	40.0	80.4
埋蔵日数 ⁷					
0日目		8.2	32.0	40.6	79.1
30日目		5.6	32.2	38.0	84.9
90日目		7.4	31.6	39.2	80.6
処理効果の交互作用					
F ⁸ ×D ⁹		NS	NS	NS	NS

¹表2-1-1参照. ²表2-2-1参照. ³表2-1-1参照. ⁴Oa, 高消化性繊維; Ob, 低消化性繊維; OCW, 細胞壁物質. ⁵表2-2-1参照. ⁶標準誤差. ⁷表2-2-2参照.

^{8,9}表2-1-3参照. NS, 有意差なし.

1963) , Yahaya ら (2001) はアルファルファおよびオーチャードグラスのサイレージにおいて、埋蔵後 21 日間のヘミセルロース損失量が最も多くなることを報告している。本試験でセルロースおよびヘミセルロースを含む OCW 含量に埋蔵期間の影響は認められなかったことから、SDC 混合発酵 TMR の場合、発酵による構造的炭水化物への影響は小さいことが示唆された。

以上から、SDC 混合発酵 TMR の主たる粗飼料源を CS とした場合、発酵品質は RWCS とした場合よりも優れていたものの、いずれも V-SCORE で 80 点以上と「良」であった。また、タンパク質画分は埋蔵期間よりも粗飼料源の影響を強く受けるが、繊維画分はこれらの影響を受けないことが示唆された。

第 3 節 発酵混合飼料における粗飼料源としての飼料用ムギの利用

目 的

近年，牧草をサイレージとして調製するだけでなく，粕類や糟糠類，その他の原料と合わせて成分を調製し，発酵品質や嗜好性を高めることを目的として発酵 TMR を調製し，家畜に給与する技術が検討されている（曹ら 2009; 鈴木ら 2010b, Miyaji ら 2012）。一方，自給粗飼料は高品質に収穫調製が可能であるものの，天候等の影響により，品質が劣化してしまう場合がある。しかし，発酵 TMR の原料として利用することで，嗜好性の改善が期待出来る（塩谷 2008）。

近年，水田を高度利用するために，飼料用イネ収穫後に飼料用ムギを作付する栽培体系が検討され，今後の自給粗飼料として注目されている。飼料用ムギ類の主要なものとしてエンバクやオオムギなどがあり，これらは青刈り，乾草あるいはサイレージに利用されてきた。現在，エンバクの乾草として輸入飼料のオーツヘイが広く流通しており，オオムギについては主に穀実が濃厚飼料として利用されている。飼料用ムギ類のサイレージ調製については，コムギ，ライムギおよびハダカムギ等のサイレージ調製方法に関する報告がある（Zhang ら 1997; 浦川ら 2003b; 守谷ら 2008; 水流ら 2009）ものの，エンバクやオオムギのサイレージ調製に関する報告は少ない（服部ら 2006）。また，エンバクやオオムギなどの飼料用ムギ類を混合した発酵 TMR に関する知見も少ないた

め、発酵品質や化学成分の変化を通じて、発酵 TMR としての評価を行うことは基礎的知見として重要である。

本章第 1 節では、地域に賦存する自給粗飼料と SDC との混合サイレージの発酵品質は良好であることを示した。また、第 2 節では、トウモロコシおよび飼料用イネを主たる粗飼料源とする SDC 混合発酵 TMR の発酵品質は、埋蔵期間および主たる粗飼料源の影響を受けるものの、良好であることやタンパク質画分は埋蔵期間よりも粗飼料の影響を強く受け、繊維画分はこれらに影響を受けないことを示した。エンバクやオオムギなどの飼料用ムギ類についても、それらの発酵 TMR の発酵品質および化学成分が主たる粗飼料源に左右されるものと予想されるが、この点は明らかにされていない。

そこで本節では、飼料用ムギ類サイレージを輸入乾草であるエンバク乾草（オーツヘイ）の代替飼料としての利用可能性と発酵 TMR の原料としての有効性を明確にすることを目的とし、オーツヘイを主体とする発酵 TMR とエンバクサイレージ（OS）またはオオムギサイレージ（BS）を主体とする発酵 TMR の発酵品質や化学成分を比較検討するとともに、埋蔵期間との関連についても追究した。

材料と方法

試験 1. エンバク乾草またはサイレージ主体発酵 TMR の発酵品質と化学成分

1. 処理区の設定と発酵 TMR の調製

OS は、宮崎県畜産試験場内で栽培された刈取直後のエンバ

クを材料とし，市販の乳酸菌を添加し，調製されたものを供試した。また，粗飼料には，前節と同様，同試験場内で生産した CS および IS を用いた。対照区は市販のエンバク乾草（オーツヘイ：OH）を乾物当たり 25% 含む OH 主体発酵 TMR（OH-TMR 区）とし，試験区は OS を乾物当たり 25% 含む OS 主体発酵 TMR（OS-TMR 区）とした（表 2-3-1）。2012 年 12 月 12 日に，上記の自給飼料と各単味飼料を混合し，前節と同様に発酵 TMR の調製を行った。

2. 試料の分析方法

試料の採取および分析は，前節と同様である。

3. 統計解析

統計解析については，飼料用ムギの種類および埋蔵期間（日数）を因子とする繰り返しのある二元配置分散分析を行うとともに，これらの要因の組み合わせによる交互作用を検定した（吉田・阿部 1984）。

試験 2. エンバク乾草またはオオムギサイレージ主体発酵 TMR の発酵品質と化学成分

1. 処理区の設定および発酵 TMR の調製

BS は，宮崎県畜産試験場内で栽培された刈取直後のオオムギを材料とし，市販の乳酸菌を添加し，調製されたものを供試した。対照区は試験 1 と同様に OH-TMR 区とし，試験区は BS を乾物当たり 25% 含む BS 主体発酵 TMR（BS-TMR 区）とした（表 2-3-1）。2013 年 4 月 18 日に上記の自給飼料と市販の各単味飼料を混合し，前節と同様に発酵 TMR の調製を行

表2-3-1. 飼料用ムギ類主体発酵TMR¹の配合割合.

配合割合	試験1		試験2	
	OH-TMR ²	OS-TMR	OH-TMR	BS-TMR
	-% DM ³ -			
OH ⁴	25.0	-	25.0	-
OS	-	25.0	-	-
BS	-	-	-	25.0
CS	9.0	9.0	9.0	9.0
IS	8.0	8.0	8.0	8.0
アルファルファ乾草	8.0	8.0	8.0	8.0
圧ペントウモロコシ	11.5	11.0	11.5	11.0
圧ペン大麦	13.7	13.7	13.7	13.7
大豆粕	9.5	10.0	9.5	10.0
ビートパルプ	12.0	12.0	12.0	12.0
飼料添加剤	3.3	3.3	3.3	3.3

¹表2-2-1参照. ²OH-TMR, OH主体発酵TMR; OS-TMR, OS主体発酵TMR; BS-TMR, BS主体発酵TMR. ³表2-1-1参照. ⁴OH, オーツヘイ; OS, エンバクサイレージ; BS, オオムギサイレージ; CS, IS, 表2-1-1参照.

なった。

2. 試料の分析方法

試料の採取および分析は，前節と同様である。

3. 統計解析

試験 1 と同様である。

結果と考察

エンバク主体発酵 TMR の化学成分に及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響（試験 1）を表 2-3-2 に示した。埋蔵後 0 日目（調製時）の水分含量は OH-TMR 区で 34.4%，OS-TMR 区で 45.0%であった。また，有機物（OM）含量は OS-TMR 区よりも OH-TMR 区で高かった（ $P<0.05$ ）が，aNDFom 含量は OH-TMR 区よりも OS-TMR 区で高かった。CP 含量に区間差は認められなかった。また，aNDFom 含量は埋蔵後 0 日目よりも 90 日目で高かった（ $P<0.05$ ）が，OM および CP 含量に対する埋蔵期間の影響は認められなかった。

オオムギサイレージまたはオーツヘイ主体発酵 TMR の化学成分に及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響（試験 2）を表 2-3-3 に示した。調製時の水分含量は OH-TMR 区で 31.2%，BS-TMR 区で 47.8%となった。また，OM，CP および aNDFom 含量は BS-TMR よりも OH-TMR で高かった（ $P<0.05$ ）。また，水分を除く化学成分には埋蔵期間の影響は認められなかった。エンバクサイレージまたはオーツヘイ主体発酵 TMR の pH，有機酸組成，VBN/TN ならびに V-SCORE に及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響（試験 1）を図 2-3-1 に示した。pH は

表2-3-2. エンバクサイレージまたはオーツヘイ主体発酵TMR¹の化学成分に及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響（試験1）.

		水分 (%)	OM ² (% DM ³)	CP ⁴ (% DM)	aNDFom ⁵ (% DM)
OH-TMR ⁶	0日目	34.4 ^c	93.6 ^a	13.8	42.5 ^{bc}
	30日目	31.4 ^c	93.6 ^a	13.8	42.2 ^c
	90日目	32.1 ^c	93.6 ^a	13.1	45.6 ^{ab}
OS-TMR	0日目	45.0 ^b	92.9 ^{ab}	13.8	41.4 ^a
	30日目	49.8 ^a	92.3 ^b	12.9	47.2 ^a
	90日目	46.6 ^{ab}	92.5 ^b	13.2	45.8 ^a
SEM ⁷		1.8	0.1	0.1	0.6
処理区間 ⁸					
	OH-TMR	32.7 ^b	93.6 ^a	13.6	43.4 ^b
	OS-TMR	47.1 ^a	92.6 ^b	13.3	44.9 ^a
埋蔵日数 ⁸					
	0日目	60.3	93.2	13.8	42.0 ^b
	30日目	59.4	92.9	13.4	44.8 ^{ab}
	90日目	60.7	93.0	13.2	45.7 ^a
処理効果の有意水準					
	F ⁹ ×D ¹⁰	*	NS	NS	*

¹表2-2-1参照. ²表2-2-2参照. ³表2-1-1参照. ⁴表2-1-2参照. ⁵表2-2-2参照. ⁶表2-3-1参照. ⁷標準誤差. ⁸処理区間は粗飼料源の違いの影響を示すために各埋蔵日数の平均値および埋蔵日数は埋蔵期間の影響を示すために各処理区間の平均値で比較した. ^{9,10}表2-1-3. ^{a-c}同枠内の同列異符号間に有意差あり (P<0.05). *, P<0.01 ; NS, 有意差なし.

表2-3-3. オオムギサイレージまたはオーツヘイ主体発酵TMR¹の化学成分に及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響（試験2）.

		水分 (%)	OM ² (% DM ³)	CP ⁴ (% DM)	aNDFom ⁵ (% DM)
OH-TMR ⁶	0日目	31.2 ^c	93.9 ^a	13.6 ^a	49.3 ^{ac}
	30日目	32.7 ^c	93.4 ^a	12.9 ^{ab}	48.9 ^{ab}
	90日目	33.9 ^c	93.4 ^{ab}	13.7 ^b	50.5 ^a
BS-TMR	0日目	47.8 ^b	92.8 ^{bc}	12.9 ^a	44.6 ^b
	30日目	49.1 ^a	92.4 ^c	12.4 ^a	44.7 ^{ab}
	90日目	48.8 ^b	92.8 ^c	13.1 ^{ab}	48.4 ^{ab}
SEM ⁷		2.0	0.1	0.2	0.6
処理区間 ⁸					
	OH-TMR	32.6 ^b	93.6 ^a	13.4 ^a	49.5 ^a
	BS-TMR	48.5 ^a	92.7 ^b	12.8 ^b	45.9 ^b
埋蔵日数 ⁸					
	0日目	39.5 ^b	93.3	13.2	46.9
	30日目	40.9 ^{ab}	93.0	12.6	46.8
	90日目	41.3 ^a	93.1	13.4	49.5
処理効果の有意水準					
	F ⁹ ×D ¹⁰	NS	NS	NS	NS

¹表2-2-1参照. ²表2-2-2参照. ³表2-1-1参照. ⁴表2-1-2参照. ⁵表2-2-2参照. ⁶表2-3-1参照. ⁷標準誤差. ⁸表2-3-2参照. ^{9,10}表2-1-3参照. ^{a-c}同枠内の同列異符号間に有意差あり (P<0.05). NS, 有意差なし.

埋蔵後 90 日目まで OH-TMR 区よりも OS-TMR 区で有意に低く推移した ($P<0.05$)。新鮮物当たりの乳酸含量は、埋蔵後 90 日目まで OH-TMR 区よりも OS-TMR 区で有意に高く推移した ($P<0.05$)。また、酢酸含量は、埋蔵後 90 日目まで OH-TMR 区が OS-TMR 区よりも有意に低く推移した ($P<0.05$) が、プロピオン酸および酪酸含量に処理区間差は認められなかった。VBN/TN は埋蔵後 90 日目まで OS-TMR 区よりも OH-TMR 区で有意に低く推移した ($P<0.05$)。V-SCORE はすべての発酵 TMR で 80 点以上であり、発酵品質は「良」であったものの、埋蔵後 90 日目では OS-TMR 区よりも OH-TMR 区で有意に高かった ($P<0.05$)。

オオムギサイレージまたはオーツヘイ主体発酵 TMR の pH、有機酸組成、VBN/TN ならびに V-SCORE に及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響 (試験 2) を図 2-3-2 に示した。pH は埋蔵後 90 日目まで OH-TMR 区よりも BS-TMR 区で有意に低く推移した ($P<0.05$)。新鮮物当たりの乳酸含量は、埋蔵後 90 日目まで OH-TMR 区よりも BS-TMR 区で有意に高く推移した ($P<0.05$)。また、酢酸および酪酸含量は、埋蔵後 90 日目まで BS-TMR 区よりも OH-TMR 区で有意に低く推移した ($P<0.05$) が、プロピオン酸含量は処理区間差が認められなかった。VBN/TN は埋蔵後 90 日目まで BS-TMR 区よりも OH-TMR 区で有意に低く推移した ($P<0.05$)。V-SCORE は、埋蔵後 90 日目まで BS-TMR 区よりも OH-TMR 区で有意に高かった ($P<0.05$) が、埋蔵後 90 日目における V-SCORE は両区とも 80 点以上であり、発酵品質は「良」であった。一般に、

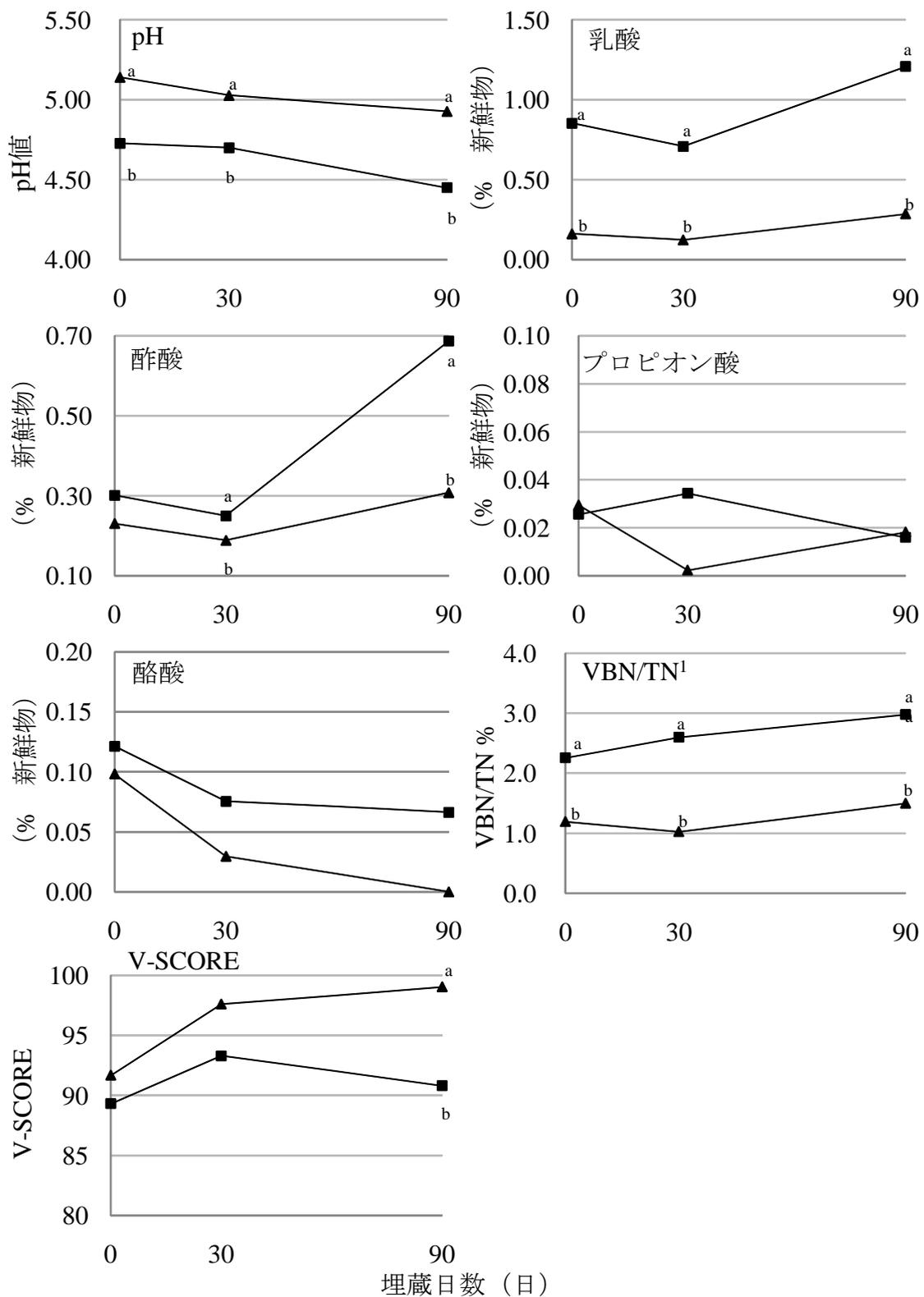


図2-3-1. エンバクサイレージまたはオーツヘイ主体発酵TMRのpH, 有機酸組成, VBN/TNならびにV-SCOREに及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響.

¹図2-1-1参照. ▲—▲, OH-TMR ; ■—■, OS-TMR. ^{a,b}P<0.05.

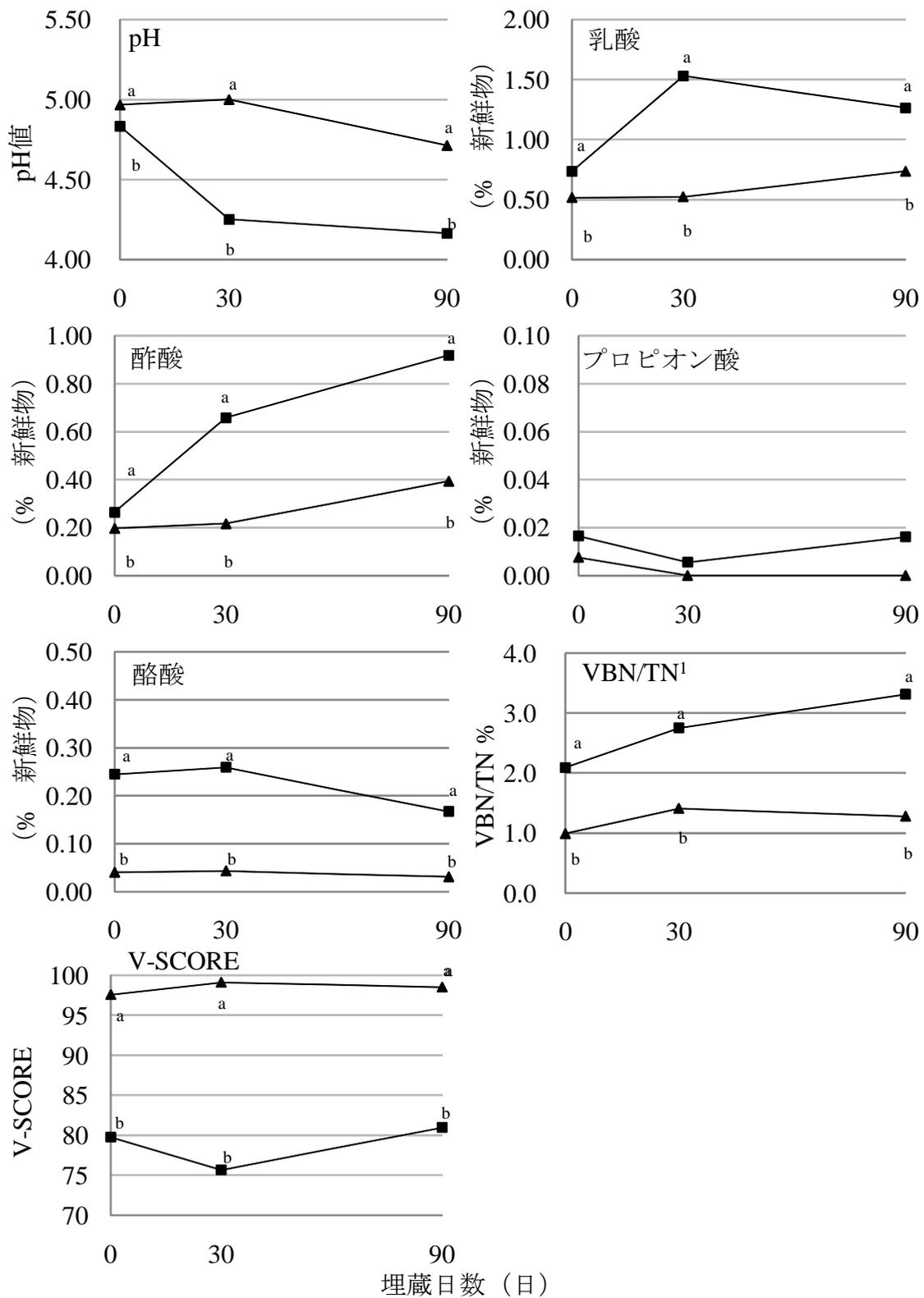


図2-3-2. オオムギサイレージまたはオーツヘイ主体発酵TMRのpH, 有機酸組成, VBN/TNならびにV-SCOREに及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響.

¹図2-1-1参照. ▲—▲, OH-TMR ; ■—■, BS-TMR. ^{ab}P<0.05.

牧草等のサイレージ調製では水分含量を低くすると微生物の生育が弱まり，酪酸発酵および乳酸発酵が抑制されることが知られており（安宅 1986），水分含量が異なる飼料用米添加発酵 TMR においても，高水分よりも低水分の場合に乳酸および酪酸含量が低く推移し，牧草等のサイレージの場合と同様の現象が認められている（西村ら印刷中）。本試験においても，OS-TMR および BS-TMR 区よりも OH-TMR 区の水分含量が低かったことから，OH-TMR 区では乳酸および酪酸発酵が抑制され，OS-TMR および BS-TMR 区よりも乳酸および酪酸含量が低く推移したものと考えられる。また，すべての発酵 TMR に酪酸の生成が認められたことについては，調製時から酪酸が存在していることから，発酵 TMR の埋蔵期間中に新たに酪酸が生成されたというよりも，飼料用ムギ類サイレージ自体の酪酸含量が発酵 TMR の発酵品質に影響を及ぼしたものと考えられた。このように，飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR の発酵品質は，主たる粗飼料サイレージの発酵品質の影響を受けることが明らかとなった。

エンバクサイレージまたはオーツヘイ主体発酵 TMR のタンパク質画分に及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響（試験 1）ならびにオオムギサイレージまたはオーツヘイ主体発酵 TMR のタンパク質画分に及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響（試験 2）をそれぞれ表 2-3-4 および表 2-3-5 に示した。エンバク主体発酵 TMR の A+B₁ および C 画分は OH-TMR 区と比べて OS-TMR 区で有意に高く（ $P<0.05$ ），B₂ および B₃ 画分が有意に低かった（ $P<0.05$ ）。また，オオムギサイレー

表2-3-4. エンバクサイレージまたはオーツヘイ主体発酵TMR¹のタンパク質画分に及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響（試験1）.

		A+B ₁ (% CP ²) ³	B ₂ (% CP)	B ₃ (% CP)	C (% CP)
OH-TMR ⁴	0日目	16.8 ^c	55.0 ^a	17.8 ^{bc}	10.4 ^{ab}
	30日目	17.7 ^c	49.5 ^{ab}	23.3 ^a	9.2 ^{ab}
	90日目	22.1 ^{bc}	47.0 ^{ac}	22.0 ^{ab}	8.9 ^b
OS-TMR	0日目	29.2 ^{ab}	40.6 ^{bcd}	17.7 ^{bc}	12.0 ^a
	30日目	34.2 ^a	38.4 ^{bd}	15.4 ^c	11.9 ^a
	90日目	36.2 ^a	34.9 ^d	18.4 ^{bc}	10.6 ^{ab}
SEM ⁵		2.0	1.8	0.8	0.3
処理区間 ⁶					
	OH-TMR	18.9 ^b	50.5 ^a	21.0 ^a	9.5 ^b
	OS-TMR	33.2 ^a	37.9 ^b	17.2 ^b	11.5 ^a
埋蔵日数 ⁶					
	0日目	23.0	47.8	17.7	11.2
	30日目	26.0	43.9	19.4	10.6
	90日目	29.2	41.0	20.2	9.7
処理効果の交互作用					
	F ⁷ ×D ⁸	NS	NS	*	NS

¹表2-2-1参照. ²表2-1-2参照. ³表2-2-3参照. ⁴表2-3-1参照. ⁵標準誤差. ⁶表2-3-2参照. ^{7,8}表2-1-3参照. ^{a-d}同枠内の同列異符号間に有意差あり (P<0.05). *, P<0.05; NS, 有意差なし.

表2-3-5. オオムギサイレージまたはオーツヘイ主体発酵TMR¹のタンパク質画分に及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響（試験2）。

		A+B ₁ (% CP ²) ³	B ₂ (% CP)	B ₃ (% CP)	C (% CP)
OH-TMR ⁴	0日目	19.4 ^c	52.8 ^a	14.2 ^c	13.6 ^b
	30日目	25.7 ^b	44.3 ^{bc}	17.4 ^b	12.7 ^b
	90日目	26.6 ^b	38.0 ^d	22.0 ^a	13.5 ^b
BS-TMR	0日目	26.1 ^b	48.3 ^{ab}	13.3 ^c	12.3 ^b
	30日目	31.7 ^a	41.7 ^{cd}	12.7 ^c	14.0 ^{ab}
	90日目	32.0 ^a	37.2 ^d	14.8 ^{bc}	15.9 ^a
SEM ⁵		1.0	1.4	0.8	0.3
処理区間 ⁶					
	OH-TMR	23.9 ^b	45.0 ^a	17.8 ^a	13.3 ^b
	BS-TMR	30.0 ^a	42.4 ^b	13.6 ^b	14.0 ^a
埋蔵日数 ⁶					
	0日目	22.7 ^b	50.6 ^a	13.7 ^b	13.0 ^b
	30日目	28.7 ^a	43.0 ^b	15.0 ^{ab}	13.3 ^{ab}
	90日目	29.3 ^a	37.6 ^c	18.4 ^a	14.7 ^a
処理効果の交互作用					
	F ⁷ ×D ⁸	NS	NS	*	*

¹表2-2-1参照. ²表2-1-2参照. ³表2-2-3参照. ⁴表2-3-1参照. ⁵標準誤差. ⁶表2-3-3参照. ^{7,8}表2-1-3参照. ^{a-d}同枠内の同列異符号間に有意差あり (P<0.05). *, P<0.01; NS, 有意差なし.

ジまたはオーツヘイ主体発酵 TMR でも、A+B₁ および C 画分は OH-TMR 区と比べて BS-TMR 区で有意に高く (P<0.05) , B₂ および B₃ 画分は有意に低かった (P<0.05) 。牧草のサイレージでは、埋蔵期間中に植物体中およびサイレージ発酵に関与した微生物のタンパク質分解酵素により不溶性タンパク質やタンパク態窒素が分解され、その産物である NPN が増加するために、B₂ および B₃ 画分割合の減少と A+B₁ 画分の増加が起こる (松岡ら 2008) 。一方、乾草では調製中に材料草中の可溶性純タンパク質が太陽の熱と紫外線による変性で不溶化し、NDIN 含量が増加すること、ならびにメイラード反応による産物が ADIN 内に含まれること (Van Soest 1982) から、A+B₁ 画分割合が減少し、B₃ および C 画分割合が増加する。本試験における OS-TMR および BS-TMR 区と OH-TMR 区のタンパク質画分の割合が異なっていたことは、混合する粗飼料源の違いが影響を及ぼしているものと考えられる。一方、OS-TMR 区のタンパク質画分に埋蔵期間差は認められなかったが、BS-TMR 区では、調製時と比べて埋蔵後 90 日目で A+B₁ および C 画分が有意に高く (P<0.05) , B₂ 画分が低かった (P<0.05) 。BS-TMR 区のタンパク質画分に対しては、原料草の影響とともに、埋蔵期間も影響を及ぼすことが示唆された。このことから、飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR のタンパク質画分は、埋蔵期間よりも原料草の影響を強く受け、埋蔵に伴う顕著なタンパク質の変動は起こらないことが明らかとなった。

エンバクサイレージまたはオーツヘイ主体発酵 TMR の織

維画分に及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響（試験 1）ならびにオオムギサイレージまたはオーツヘイ主体発酵 TMR の繊維画分に及ぼす粗飼料源の違いと貯蔵期間の影響（試験 2）をそれぞれ表 2-3-6 および表 2-3-7 に示した。エンバク主体発酵 TMR は、すべての繊維画分で処理区間に差が認められなかったが、オオムギサイレージおよびオーツヘイ主体発酵 TMR のすべての繊維画分で OH-TMR 区よりも BS-TMR 区で有意に高い値を示した（ $P < 0.05$ ）。一方、OS-TMR 区の繊維画分については、貯蔵期間による差は認められなかったが、BS-TMR 区の Ob 画分で貯蔵後 30 日目に有意差が認められた（ $P < 0.05$ ）が、貯蔵後 90 日目に差は認められなかった。オーチャードグラスサイレージの貯蔵に伴うセルロースおよびヘミセルロースの損失は、低・中水分よりも高水分条件下で高まることが報告（Yahaya ら 2002）されており、これは、高水分含量がクロストリジウムやその他の微生物の好む条件である結果、ヘミセルロースおよびセルロースを過剰に利用した（Morgan ら 1980）ためと考えられている。しかし、本試験の飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR では、OCW 含量に貯蔵期間の差は認められなかったことから、発酵によるセルロースおよびヘミセルロースの損失は水分含量の影響を受けないことが示され、貯蔵期間による損失も起こり難いことが示唆された。

以上から、OH-TMR 区の発酵品質は OS-TMR や BS-TMR 区と比較して優れることが判明した。また、OS-TMR 区のタンパク質画分は埋蔵期間よりも混合する粗飼料源の違いの影響

表2-3-6. エンバクサイレージまたはオーツヘイ主体発酵TMR¹の繊維画分に及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響（試験1）.

		Oa	Ob	OCW	Ob/OWC
		(% DM ²) ³	(% DM)	(% DM)	(%)
OH-TMR ⁴	0日目	10.4	31.7	42.1	75.3
	30日目	6.9	33.1	40.0	82.6
	90日目	10.3	32.7	43.1	76.0
OS-TMR	0日目	10.8	30.9	38.9	79.4
	30日目	8.0	32.3	40.3	80.2
	90日目	10.8	35.1	42.8	82.3
SEM ⁵		0.5	0.5	0.5	1.0
処理区間 ⁶					
	OH-TMR	9.2	32.5	41.7	78.0
	OS-TMR	9.9	32.8	40.7	80.6
埋蔵日数 ⁶					
	0日目	10.6	31.3	40.5	77.4
	30日目	7.5	32.7	40.2	81.4
	90日目	10.6	33.9	42.9	79.2
処理効果の交互作用					
	F ⁷ ×D ⁸	NS	NS	NS	NS

¹表2-2-1参照. ²表2-1-1参照. ³表2-2-4参照. ⁴表2-3-1参照. ⁵標準誤差. ⁶表2-3-2参照. ^{7,8}表2-1-3参照. NS, 有意差なし.

表2-3-7. オオムギサイレージまたはオーツヘイ主体発酵TMR¹の繊維画分に及ぼす粗飼料源の違いと埋蔵期間の影響（試験2）.

		Oa (% DM ²) ³	Ob (% DM)	OCW (% DM)	Ob/OWC (%)
OH-TMR ⁴	0日目	5.5 ^{ab}	33.8 ^c	39.3 ^b	86.0
	30日目	5.0 ^b	38.4 ^{ac}	43.4 ^{ab}	88.5
	90日目	9.0 ^{ab}	35.6 ^{bc}	44.6 ^a	79.7
BS-TMR	0日目	10.8 ^a	37.6 ^{ac}	44.6 ^a	84.2
	30日目	11.1 ^a	43.5 ^a	47.6 ^a	91.5
	90日目	10.8 ^a	41.3 ^{ab}	47.5 ^a	86.8
SEM ⁵		0.7	0.9	0.8	1.3
処理区間 ⁶					
	OH-TMR	6.5 ^b	35.9 ^b	42.4 ^b	84.7
	BS-TMR	10.9 ^a	40.8 ^a	46.6 ^a	87.5
埋蔵日数 ⁶					
	0日目	8.2	35.7 ^b	42.0	85.1
	30日目	8.1	40.9 ^a	45.5	90.0
	90日目	9.9	38.4 ^{ab}	46.1	83.2
処理効果の交互作用					
	F ⁷ ×D ⁸	NS	NS	NS	NS

¹表2-2-1参照. ²表2-1-1参照. ³表2-2-4参照. ⁴表2-3-1参照. ⁵標準誤差. ⁶表2-3-3参照. ^{7,8}表2-1-3参照. ^{a-c}同枠内の同列異符号間に有意差あり (P<0.05). NS, 有意差なし.

を強く受けたが、**BS-TMR** 区のそれは原料草と埋蔵期間の両方の影響を受けることが示唆された。さらに **OS-TMR** 区の繊維画分は、混合する粗飼料源と埋蔵期間の影響を受けなかったが、**BS-TMR** 区のそれは埋蔵期間よりも混合する粗飼料源の影響を強く受けることが示唆された。

第 3 章 発酵混合飼料を給与した乳用牛の栄養代謝

結 言

牛をはじめとする反芻家畜では，飼料中のタンパク質と炭水化物を第一胃内の微生物が分解・利用して微生物体タンパク質に合成し，それが下部消化管の小腸で吸収される（NRC 2001）。微生物体タンパク質を効率よく合成するためには，飼料中のタンパク質および炭水化物の第一胃内での同調的供給を行う必要がある（Herrera-Saldana ら 1990; Bach ら 2005）。一般に，牧草サイレージでは，発酵に伴い，糖類は有機酸，タンパク質は非タンパク態窒素に分解されるため，サイレージ調製後の栄養価が変動する。前章では，SDC，CS，RWCS または飼料用ムギ類サイレージ（OS または BS）を混合した発酵 TMR の発酵品質は粗飼料源および貯蔵期間の影響を受けるが，化学成分は CS-TMR および RWCS-TMR で粗飼料源，OH-TMR および BS-TMR で粗飼料源と貯蔵期間の両方の影響をそれぞれ受けることを示した。しかし，それらを乳用牛に給与した場合の栄養代謝に及ぼす影響については詳細な報告が少ない。

そこで本章では，上記の発酵 TMR を給与した乳用牛の消化性，第一胃内溶液性状および窒素利用性について検討した。

第 1 節 発酵混合飼料の給与が乳用牛の養分摂取と第一胃内環境に及ぼす影響

目 的

全飼料の 60 - 70%を占める炭水化物は，乳用牛に給与する飼料の主要なエネルギー源であり，乳用牛が摂取すると第一胃内微生物の分解により揮発性脂肪酸（VFA）を産生する。炭水化物は大きく非構造型炭水化物と構造型炭水化物に分類され，前者は植物細胞の内部に存在し，糖類，デンプン，有機酸およびフラクタンのような貯蔵性炭水化物が含まれ，細胞壁を構成する構造型炭水化物よりも消化性が高く，VFAとともに乳用牛の主要なエネルギー源として重要である（NRC 2001）。

近年，自給粗飼料や食品製造副産物と濃厚飼料を混合し，発酵させた発酵 TMR の牛への給与が検討されている（鈴木ら 2010b，Ishida ら 2012，Miyaji ら 2012）。発酵 TMR では，発酵によって糖分が有機酸，タンパク質が非タンパク態窒素に分解されるため，化学成分の変化が考えられることから，これらを乳用牛に給与した場合，養分摂取，消化性，第一胃内環境などに何らかの影響を及ぼすことが予想される。しかし，この点について検討した研究は少ない。そこで本節では，乾乳牛に SDC 混合サイレージを含む TMR または粗飼料源の異なる SDC 混合発酵 TMR を給与した場合と泌乳牛に飼料用ムギ類サイレージ（OS または BS）を混合した発酵 TMR を給与した場合の養分摂取量および第一胃内溶液性状について検

討した。

材料と方法

試験 1. SDC 混合サイレージを含む TMR 中の SDC 混合割合が養分摂取と第一胃内溶液性状に与える影響

1. 混合サイレージの調製および処理区の設定

混合サイレージの配合割合は、前章第 1 節と同様である。各混合サイレージの調製には、2009 年 12 月 16 日にバーチカルミキサー（BM1000E；TRIOLIET, Oldanweed, Holland），細断型ロールペーラ（MR-810；株式会社タカキタ，名張市，三重県）およびラッピングマシン（MCW1000；スター農機株式会社，千歳市，北海道）を用い，各混合サイレージを畜舎外に保管した。混合サイレージの発酵品質については，ロールでサイレージ調製したものから，貯蔵後 30，60 および 90 日目に各処理区 1 ロールから採取し，ドリルに装着した採取筒を用いて採取した 12 ヶ所のサンプルを代表サンプルとして分析した。

処理区については，前章第 1 節の各混合サイレージに市販の単味濃厚飼料を混合調製した 3 種類の TMR（それぞれ，0% 混合区，10% 混合区および 20% 混合区）を試験区とし，別途，それらに加えて発酵させずに SDC を含まない混合サイレージである NSDC と同上の濃厚飼料を混合した TMR を対照区とした（表 3-1-1）。

2. 消化試験

供試牛には，ホルスタイン種非妊娠乾乳牛 4 頭（平均体重±

表3-1-1. SDC¹混合サイレージを含むTMR²の配合割合（試験1）.

	対照区	0%混合区 ³	10%混合区	20%混合区
配合割合		-% DM ⁴ -		
NSDC ⁵	-	40.1	-	-
10SDC	-	-	44.3	-
20SDC	-	-	-	48.1
CS	13.3	-	-	-
IS	9.2	-	-	-
RWCS	9.6	-	-	-
RS	8.0	-	-	-
配合飼料 ⁶	42.8	42.8	38.0	34.5
圧ペントウモロコシ	11.8	11.8	13.0	13.8
大豆粕	5.3	5.3	4.7	3.6

¹表2-1-1参照. ²混合飼料. ³0%混合区, NSDCを含むTMR; 10%混合区, 10SDCを含むTMR; 20%混合区, 20SDCを含むTMR. ^{4,5}表2-1-1参照.

⁶CP17.0% DM, TDN 72.0% DM (高千穂72; 全酪連, 東京).

標準誤差：591±12kg) を用い、個別のタイストールに繋留し、予備期 17 日間および本期 4 日間の計 21 日間を 1 期とする 4×3 ユーデン方格法により配置し、全糞採取法による窒素出納試験を実施した。飼料の給与量は体重比 1% 量（乾物量）とし、10:00 および 17:00 に半量ずつ給与し、飲水と鉱塩は自由摂取とした。試料採取を TMR 調製毎に行い、飼料の窒素成分の測定に供した。本期 4 日間は全糞を採取し、採取した毎日の糞の一定量（2 kg）を冷蔵保存（4℃）し、本期終了後に試験牛毎に各試験日の糞量の一定割合を混合し、分析サンプルとした。第一胃内溶液の採取は、本期終了日の 10:00 に経口カテーターにより約 500mL 採取し、4 重ガーゼで濾過後、pH メーター（MH-30P；東亜ディーケーケー株式会社，東京）により pH を測定し、一部を VFA 濃度およびアンモニア態窒素濃度の測定まで -30℃ で凍結保存した。

3. 飼料摂取量

供試牛には、ホルスタイン種泌乳牛 6 頭（試験開始時の平均分娩後日数±標準誤差：150±20 日，平均体重±標準誤差：645±43kg，2 および 3 産）を用い、産次数，分娩後日数および産乳能力がほぼ等しくなるように 2 頭ずつ 3 群を用いた。ドアフィーダーを設置したフリーストール牛舎内で、予備期 16 日間および本期 5 日間の計 21 日間を 1 期とする 3×3 ラテン方格法により供試牛を各区に配置し、試験を実施した。飼料の給与量は前日摂取量の 110% とし、13:00 および 17:00 に半量ずつ給与し、飲水と鉱塩は自由摂取とした。飼料摂取量については、本期 3 日間に給与量と残食量を秤量し、乾物率

を測定した後，乾物摂取量を算出した。

4. 試料の分析方法

供試飼料ならびに糞中の乾物（DM），粗脂肪（EE），粗灰分（CA）含量については，常法により測定し，CPは第2章第1節，aNDFomは第2章第2節と同様に測定し，非繊維性炭水化物（NFC）含量については，DM含量からCP，EE，CAおよびaNDFom含量を減じて算出した。第一胃内溶液性状については，遠心分離（1500×g，20分）した上清を用いて，VFA組成を高速液体クロマトグラフ（島津製作所株式会社）によるBTBポストラベル法，アンモニア態窒素濃度を水蒸気蒸留法で測定した。

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 J-5.0；SAS Institute Inc, Cary, NC）を用いて，試験1では乾乳牛にTMRを給与した場合の給与飼料を因子とする一元配置分散分析を行い，Tukey-Kramer法により処理区間の差を多重比較検定した。

試験 2. SDC 混合発酵 TMR の飼料構成の違いが養分摂取と第一胃内溶液性状に与える影響

1. 発酵 TMR の調製および処理区の設定

各発酵 TMR の調製は試験 1 と同様の方法で 2010 年 12 月 8 日に行い，処理区の設定は前章第 2 節と同様である。発酵 TMR の発酵品質については，貯蔵後 120，140，160，180 および 200 日目の各処理区の 1 ロールから試験 1 と同様に代表サン

プルを採取し，後の分析に供した。

2. 消化試験

供試牛には，ホルスタイン種非妊娠乾乳牛 4 頭（平均体重 ±標準誤差：615±14kg）を用い，個別のタイストールに繋留し，予備期 10 日間および本期 4 日間の計 14 日間を 1 期とするクロスオーバー法により CS-TMR 区と RWCS-TMR 区に配置し，全糞採取法による消化試験を実施した。飼料の給与量測定，飼料採取および全糞採取は試験 1 と同様に行った。

3. 飼料摂取量

供試牛には，ホルスタイン種泌乳牛 4 頭（試験開始時の平均分娩後日数 175±25 日，平均体重 658±13kg，2 および 3 産）を用い，産次数，分娩後日数および産乳能力がほぼ等しくなるように 2 頭ずつ 2 群に配置した。ドアフィーダーを設置したフリーストール牛舎内で，予備期 16 日間および本期 5 日間の計 21 日間を 1 期とするクロスオーバー法により供試牛を両区に割り当てて試験を実施した。本期 5 日間の飼料給与量および摂取量の測定は，試験 1 と同様である。

4. 試料の分析方法

試料の測定項目および分析方法は，試験 1 と同様である。

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 J-5.0；SAS Institute Inc, Cary, NC）を用いて，分散分析による F 検定を行った後，区間差を検討した。

試験 3. OH-TMR または BS-TMR が養分摂取と第一胃内溶液性状 に与える影響

1. 発酵 TMR の調製および処理区の設定

各発酵 TMR の調製は試験 1 と同様の方法で 2011 年 11 月 28 日に行い，処理区の設定は前章第 3 節と同様である。発酵 TMR の発酵品質については，貯蔵後 60，70，80 および 90 日目の各処理区の 1 ロールから，試験 1 と同様に代表サンプルを採取し，後の分析に供した。

2. 消化試験

供試牛には，ホルスタイン種泌乳牛 4 頭（平均体重±標準誤差：604±45kg）を用い，個別のタイストールに繋留し，予備期 11 日間および本期 3 日間の計 14 日間を 1 期とするクロスオーバー法により OH-TMR 区と OS-TMR 区に配置し，全糞採取による消化試験を実施した。飼料給与量，飼料採取，全糞採取および摂取量の測定は試験 1 と同様である。第一胃内溶液は，本期終了日の 13:00 に経口カテーテルにより採取し，試験 1 と同様に保存した。

3. 試料の分析方法

試料の測定項目および分析方法は，試験 1 と同様である。

4. 統計処理

統計解析は試験 2 と同様である。

試験 4. OH-TMR または BS-TMR が養分摂取と第一胃内溶液性状 に与える影響

1. 発酵 TMR の調製および処理区の設定

各発酵 TMR の調製は試験 1 と同様の方法で 2013 年 3 月 18 日に行った。発酵 TMR の発酵品質については、貯蔵後 30, 40, 50 および 60 日目の各処理区の 1 ロールから、試験 1 と同様に代表サンプルを採取し、後の分析に供した。処理区の設定は前章第 3 節と同様である。

2. 消化試験

供試牛には、ホルスタイン種泌乳牛 4 頭 ($683 \pm 22\text{kg}$) を用い、個別のタイストールに繋留し、予備期 11 日間および本期 3 日間の計 14 日間を 1 期とするクロスオーバー法により OH-TMR 区と BS-TMR 区に配置し、全糞採取による消化試験を実施した。飼料給与量、飼料採取、全糞採取および摂取量の測定は試験 1 と同様である。

3. 試料の分析方法

試料の測定項目および分析方法は、試験 1 と同様である。

4. 統計処理

統計解析は試験 2 と同様である。

結果と考察

SDC 混合サイレージの発酵品質（試験 1）を表 3-1-2 に示した。混合サイレージの pH は調製時と比べて開封時（再発酵後）で低く、乳酸含量および酢酸含量は開封時で高かった。酪酸が認められた結果、V-SCORE は NSDC, 10SDC および 20SDC の順に 67（可）、81（良）および 73 点（可）と判定（自給飼料利用研究会 2009）された。また、開封時の pH、乳酸含量および VBN/TN 含量に処理間差は認められなかった。

表3-1-2. SDC¹混合サイレージの発酵品質（試験1）.

	発酵前			発酵後			SEM ³
	NSDC ²	10SDC	20SDC	NSDC	10SDC	20SDC	
DM ⁴ (%)	34.2	32.7	27.9	37.3 ^a	32.0 ^a	28.3 ^b	1.5
pH	4.37	4.30	4.29	4.18	4.18	4.00	0.10
有機酸組成 (% FM ⁵)							
乳酸	0.93	0.95	0.84	1.46	1.35	1.68	0.10
酢酸	0.52	0.46	0.56	0.73	0.77	0.93	0.10
プロピオン酸	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.04	0.00
酪酸	0.16	0.05	0.04	0.11 ^A	0.05 ^B	0.09 ^{AB}	0.00
VBN/TN ⁶ (%)	11.7	8.2	8.1	12.5	10.1	10.9	0.5
V-SCORE	68	87	88	67	81	73	3

^{1,2}表2-1-1参照. ³標準誤差. ⁴表2-1-1参照. ⁵新鮮物中. ⁶図2-1-1参照. ^{a,b}処理区間の同列異符号間に有意差あり (P<0.05). ^{A,B}処理区間の同行異符号間に有意差あり (P<0.1).

サイレージ調製においては、DM 含量が低い場合、可溶性炭水化物含量の違いによって乳酸発酵型か酪酸発酵型になることや梱包密度が低いほど酪酸含量も低くなる場合があることが示されている（大山と柁木 1968）。本試験において、NSDC、10SDC および 20SDC の順に、DM 含量は 37.3、32.0 および 28.3% と有意に低くなり（ $P<0.05$ ）、乾物当たりの梱包密度は、NSDC、10SDC および 20SDC の順に、205.2、254.7 および 257.6 kg/m³ と NSDC と比べて 10SDC および 20SDC で有意に高い値を示した（ $P<0.05$ ）ことから、SDC の混合による DM 含量や梱包密度の違いが酪酸含量に影響を及ぼしたものと考えられた。

SDC 混合サイレージを含む TMR の化学成分（試験 1）を表 3-1-3、SDC 混合サイレージを含む TMR 中の SDC 混合割合が乾乳牛の消化性に及ぼす影響（試験 1）を表 3-1-4 にそれぞれ示した。DM、OM、CP、EE、aNDFom および NFC の消化率に有意な処理区間差は認められなかった。また、DM 中 TDN 含量には区間差は認められなかった。再発酵させずに NSDC と濃厚飼料を混合した TMR である対照区と 0%混合区の TDN 含量が同程度であったことは、粗飼料源として CS、IS および RWCS を用いたため、NSDC が再発酵しても、栄養価に影響を及ぼすほどの基質損失が少なかったことに由来するものと考えられた。一方、0%混合区、10%混合区および 20%混合区の TDN 含量に区間差が認められなかった。これは SDC および置き換えた濃厚飼料の TDN 含量がほぼ同等であったためと考えられる。

表3-1-3. SDC¹混合サイレージを含むTMR²の化学成分（試験1）.

	対照区	0%混合区 ³	10%混合区	20%混合区
DM ⁴ (%)	49.9	47.7	44.0	37.5
CP (% DM)	13.9	13.6	14.0	14.1
EE (% DM)	3.3	3.3	3.5	3.8
aNDFom (% DM)	43.3	41.8	41.6	42.9
NFC (% DM)	30.3	32.0	32.2	30.5

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表3-1-1参照. ⁴DM, 表2-1-1参照; CP, 表2-1-2参照; EE, 粗脂肪; aNDFom, 表2-2-2参照; NFC, 非繊維性炭水化物.

表3-1-4. SDC¹混合サイレージを含むTMR²中のSDC混合割合が乾乳牛の消化性に及ぼす影響（試験1）。

	対照区	0%混合区 ³	10%混合区	20%混合区	SEM ⁴
消化率（%） ⁵					
DM	66.6	60.1	65.5	59.5	2.0
OM	73.5	70.3	73.2	71.8	0.9
CP	63.3	61.6	64.7	59.7	1.7
EE	76.4	72.9	76.3	75.8	1.4
aNDFom	64.9	58.6	63.1	61.4	1.1
NFC	89.9	89.0	89.6	91.4	1.4
TDN ⁶ （% DM）	70.1	66.8	70.3	69.1	0.9

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表3-1-1参照. ⁴標準誤差. ⁵DM, 表2-1-1参照; OM, 表2-2-2参照; CP, 表2-1-2参照; EE, 表3-1-3参照; aNDFom, 表2-2-2参照; NFC, 表3-1-3参照. ⁶可消化養分総量.

SDC 混合サイレージを含む TMR 中の SDC 混合割合が乾乳牛の第一胃内溶液性状に及ぼす影響（試験 1）を表 3-1-5 に示した。対照区と 0% 混合区との間で第一胃内溶液の pH および VFA 組成に差がなかったことから，再発酵させた混合サイレージを給与することによる第一胃内発酵への影響はないものと考えられた。次に，鈴木ら（2010b）はカンショ焼酎粕濃縮液を添加した発酵 TMR と無添加の発酵 TMR との間で第一胃内発酵に差は認められないと報告しており，本試験の SDC 混合サイレージを含む TMR についても SDC の混合の有無および SDC 混合割合の違いが第一胃内発酵に及ぼす影響はないことが示された。また，第一胃内溶液のアンモニア態窒素濃度についても区間差は認められなかった。第一胃内で分解し易い CP（CPs）含量が低い飼料の場合に第一胃内アンモニア態窒素濃度は低下することが報告されている（Aldrich ら 1993）。本試験における給与飼料の乾物当たり CPs 含量は，対照区，0% 混合区，10% 混合区および 20% 混合区の順に，3.6，4.0，3.4 および 3.7% と同水準であったことから，混合サイレージの再発酵や SDC 混合割合は，第一胃内溶液のアンモニア態窒素濃度に影響しなかったものと考えられた。

SDC 混合サイレージを含む TMR 中の SDC 混合割合が泌乳牛の養分摂取量に及ぼす影響（試験 1）を表 3-1-6 に示した。乾物摂取量および TDN 摂取量は 0% 混合区と比べて 10% 混合区および 20% 混合区で有意に高い値を示した（ $P < 0.05$ ）。低品質サイレージを給与された反芻家畜の乾物摂取量は，高品質サイレージを給与された場合よりも低いことが知られてい

表3-1-5. SDC¹混合サイレージを含むTMR²中のSDC混合割合が乾乳牛の第一胃内溶液性状に及ぼす影響（試験1）.

	対照区	0% 混合区 ³	10% 混合区	20% 混合区	SEM ⁴
pH	6.67	6.57	6.71	6.57	0.1
総VFA ⁵ (mmol/dL)	9.0	10.7	10.0	10.4	0.5
VFA 組成 (mol%)					
酢酸	68.3	67.3	70.1	66.7	0.8
プロピオン酸	15.5	14.5	14.1	16.7	0.6
酪酸	12.7	13.8	12.3	12.8	0.4
アンモニア態窒素 (mg/dL)	9.2	10.7	13.3	10.5	0.9

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表3-1-1参照. ⁴標準誤差. ⁵揮発性脂肪酸.

表3-1-6. SDC¹混合サイレージを含むTMR²中のSDC混合割合が泌乳牛の養分摂取量に及ぼす影響（試験1）.

	0%混合区 ³	10%混合区	20%混合区	SEM ⁴
養分摂取量 (kg/日) ⁵				
DM	22.1 ^b	25.2 ^a	24.9 ^a	0.6
CP	3.0	3.5	3.4	0.2
aNDFom	9.0 ^b	9.7 ^{ab}	10.5 ^a	1.5
TDN	14.7 ^b	17.7 ^a	17.2 ^a	0.5

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表3-1-1参照. ⁴標準誤差. ⁵DM, 表2-1-1参照 ; CP, 表2-1-2参照 ; aNDFom, 表2-2-2参照 ; TDN, 表3-1-4. ^{a,b}同列異符号間に有意差あり (P<0.05) .

る (McDonald 1995 ; 増子 2009) 。本試験の SDC 混合サイレージにおいて，不良発酵を示す酪酸含量が NSDC よりも 10SDC で低い (表 2-1-3) ことが SDC 混合サイレージを含む TMR の乾物摂取量に影響を及ぼしたものと推察された。また，0%混合区と 20%混合区において，乾物摂取量に差が認められた理由については，嗜好試験を行っていないため，詳細は不明であるものの，SDC 混合サイレージを含む TMR をよく採食することが目視観察されたことから，SDC 自体の嗜好性の良さが 20%混合区にも反映したものと考えられた。このように，SDC の混合割合の増加に伴い乾物，aNDFom および TDN 摂取量が多くなることが示された。

SDC 混合発酵 TMR の発酵品質 (試験 2) を表 3-1-7 に示した。pH，乳酸含量，酢酸含量および VBN/TN に区間差は認められなかったが，プロピオン酸および酪酸含量は RWCS-TMR 区よりも CS-TMR 区で有意に低い値を示し (それぞれ $P<0.05$ および $P<0.01$)，有機酸の組成に違いが認められた。これは，RWCS-TMR 区の酪酸含量が調製時 (0.10%) と開封後 (0.11%) でほぼ同じであったことから，発酵 TMR の貯蔵期間中，新たに酪酸が生成されたというよりもむしろ，飼料用イネホールクロップサイレージ自体の酪酸含量が高いこと (堀口ら 1992，名久井ら 1988，吉田ら 1987) が発酵品質に影響を及ぼしたものと考えられた。そのため，両区間で V-SCORE に有意差が認められたものの，両区とも 80 点以上と発酵品質は「良」と判定された (自給飼料利用研究会 2009)。また，鈴木ら (2010b) はカンショ濃縮液を添加した発酵 TMR において濃縮液の種

表3-1-7. SDC¹混合発酵TMR²の発酵品質（試験2）.

	発酵前		発酵後		SEM ⁴
	CS-TMR ³	RWCS-TMR	CS-TMR	RWCS-TMR	
pH	4.53	5.29	3.79	4.01	0.07
有機酸組成（% FM ⁵ ）					
乳酸	0.543	0.187	2.184	1.657	0.185
酢酸	0.160	0.252	1.092	1.204	0.092
プロピオン酸	0.012	0.017	0.013 ^a	0.023 ^b	0.002
酪酸	0.015	0.099	0.017 ^A	0.113 ^B	0.016
VBN/TN ⁶ （%）	0.8	1.9	2.6	3.2	0.2
V-SCORE	99	92	92 ^B	83 ^A	2

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表2-2-1参照. ⁴標準誤差. ⁴表3-1-2参照. ⁶図2-1-1参照. ^{a,b}処理区間の同列異符号間に有意差あり（P<0.05）. ^{A,B}処理区間の同列異符号間に有意差あり（P<0.01）.

類や混合割合が同じでも、TMRの粗濃比や飼料構成によっては発酵品質への効果が変わる可能性を指摘しており、本試験でもSDCの混合割合が同じであるCS-TMRおよびRWCS-TMR区の発酵品質に違いが認められた。このように、SDC混合発酵TMRの発酵品質は、主たる粗飼料サイレージの発酵品質および発酵特性の影響を受けることが明らかとなった。

SDC混合発酵TMRの化学成分（試験2）を表3-1-8、SDC混合発酵TMRの飼料構成の違いが乾乳牛の消化性に及ぼす影響（試験2）を表3-1-9にそれぞれ示した。乾乳牛には維持養分要求量を満たすように給与したため、残食の発生はなかった。DM、OM、CP、aNDF_{om}およびNFC消化率に有意な区間差は認められなかったが、EE消化率はRWCS-TMR区よりもCS-TMR区で有意に高かった（ $P<0.05$ ）。その結果、TDN含量はRWCS-TMR区よりもCS-TMR区で有意に高くなった（ $P<0.05$ ）。

SDC混合発酵TMRの飼料構成の違いが乾乳牛の第一胃内溶液性状に及ぼす影響（試験2）を表3-1-10に示した。第一胃内溶液のpH、総VFA濃度およびVFA組成に区間差は認められなかった。カンショ焼酎粕濃縮液を添加した発酵TMRと無添加の発酵TMRとの間で第一胃内発酵環境に差は認められないことから、これらを乳用牛に給与しても第一胃内発酵環境には影響を与えないことが示されている（鈴木ら 2010b）。本試験のSDC混合発酵TMRについても第一胃内発酵環境は同程度であり、主たる粗飼料源が異なる場合でも、SDCの給与は第一胃内発酵環境に及ぼす影響がないことが明らかと

表3-1-8. SDC¹混合発酵TMR²の化学成分（試験2）.

	CS-TMR ³	RWCS-TMR
DM ⁴ (%)	38.9 ^a	43.4 ^b
CP (% DM)	14.0	13.7
EE (% DM)	3.6	3.2
aNDFom (% DM)	43.2	43.2
NFC (% DM)	32.2	29.7

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表2-2-1参照. ⁴DM, 表2-1-1参照; CP, 表2-1-2参照; EE, 表3-1-3参照; aNDFom, 表2-2-2参照; NFC, 表3-1-3参照. ^{a,b}同行異符号間に有意差あり (P<0.05).

表3-1-9. SDC¹混合発酵TMR²の飼料構成の違いが乾乳牛の消化性に及ぼす影響（試験2）.

	CS-TMR ³	RWCS-TMR	SEM ⁴
消化率（%） ⁵			
DM	66.0	65.4	2.5
OM	76.0	74.4	0.8
CP	66.2	66.0	1.4
EE	79.3 ^a	70.9 ^b	1.9
aNDFom	69.7	68.4	0.9
NFC	90.0	88.1	0.9
TDN ⁶ （% DM）	74.4 ^a	69.6 ^b	1.1

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表2-2-1参照. ⁴標準誤差. ⁵DM, 表2-1-1参照; OM, 表2-2-2参照; CP, 表2-1-2参照; EE, 表3-1-3参照; aNDFom, 表2-2-2参照; NFC, 表3-1-3参照. ⁶表3-1-4参照. ^{a,b}同行異符号間に有意差あり (P<0.05).

表3-1-10. SDC¹混合発酵TMR²の飼料構成の違いが乾乳牛の第一胃内溶液性状に及ぼす影響（試験2）.

	CS-TMR ³	RWCS-TMR	SEM ⁴
pH	6.72	6.79	0.03
総VFA ⁵ (mmol/dL)	7.1	7.8	0.4
VFA 組成 (mol%)			
酢酸	67.3	67.9	0.7
プロピオン酸	18.0	16.4	0.6
酪酸	10.9	11.4	0.3
アンモニア態窒素 (mg/dL)	7.4	7.3	0.7

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表2-2-1参照. ⁴標準誤差. ⁵表3-1-5参照.

なった。

SDC 混合発酵 TMR の飼料構成の違いが泌乳牛の養分摂取量に及ぼす影響（試験 2）を表 3-1-11 に示した。乾物摂取量，TDN 摂取量および CP 摂取量に区間差は認められなかった。反芻家畜の乾物摂取量は発酵品質を受けるとされている（Rook と Gill 1990 ; Nadeau ら 2000）。しかし，本試験においては，CS-TMR 区と RWCS-TMR 区との間で発酵品質に差がみられたにもかかわらず，乾物摂取量に区間差は認められなかった。これについては，両区とも V-SCORE が 80 点以上と高かったため，高品質のサイレージや発酵 TMR の場合には飼料間で乾物摂取量に差が生じ難いことが関与しているのかもしれない。また，発酵 TMR の TDN 含量が RWCS-TMR 区よりも CS-TMR 区で有意に高かったにもかかわらず，TDN 摂取量に区間差は認められなかった。これは RWCS-TMR 区と比べ CS-TMR 区で乾物摂取量が 0.8kg/日とわずかに少なかったためと推察された。

OH-TMR および OS-TMR の発酵品質を表 3-1-12（試験 3）に示した。pH，乳酸含量，酢酸含量，プロピオン酸含量および VBN/TN の割合に処理区間差は認められなかったが，酪酸含量は OS-TMR 区よりも OH-TMR 区で低かった（ $P < 0.01$ ）。V-SCORE は OS-TMR 区よりも OH-TMR 区で高かった（ $P < 0.05$ ）。また，OH-TMR および BS-TMR の発酵品質を表 3-1-13（試験 4）に示した。pH，乳酸含量，酢酸含量，プロピオン酸含量および VBN/TN の割合に処理区間差は認められなかった。しかし，酪酸含量は BS-TMR 区よりも OH-TMR 区で低く

表3-1-11. SDC¹混合発酵TMR²の飼料構成の違いが泌乳牛の養分摂取量に及ぼす影響（試験2）。

	CS-TMR ³	RWCS-TMR	SEM ⁴
養分摂取量 (kg/日) ⁵			
DM	23.5	24.3	0.8
CP	3.4	3.4	0.1
aNDFom	9.1	9.5	0.3
TDN	17.5	16.9	0.6

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表2-2-1参照. ⁴標準誤差. ⁵DM, 表2-1-1参照; CP, 表2-1-2参照; aNDFom, 表2-2-2参照; TDN, 表3-1-4.

表3-1-12. OH-TMRまたはOS-TMR¹の発酵品質（試験3）.

	発酵前		発酵後		SEM ²
	OH-TMR ¹	OS-TMR	OH-TMR	OS-TMR	
pH	5.42	4.89	4.38	4.33	0.07
有機酸組成 (% FM ³)					
乳酸	0.424	0.907	1.250	1.479	0.095
酢酸	0.270	0.351	0.945	0.751	0.062
プロピオン酸	0.015	0.026	0.029	0.030	0.002
酪酸	0.171	0.327	0.110 ^B	0.216 ^A	0.021
VBN/TN ⁴ (%)	1.6	2.7	2.5	3.8	0.3
V-SCORE	86	72	85 ^a	78 ^b	2

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ³表3-1-2参照. ⁴図2-1-1参照. ^{a,b}処理区間の同行異符号間に有意差あり (P<0.05). ^{A,B}処理区間の同行異符号間に有意差あり (P<0.01).

表3-1-13. OH-TMRまたはBS-TMR¹の発酵品質（試験4）.

	発酵前		発酵後		SEM ²
	OH-TMR ¹	BS-TMR	OH-TMR	BS-TMR	
pH	5.44	5.10	4.23	4.17	0.04
有機酸組成（% FM ³ ）					
乳酸	0.294	0.537	2.324	2.418	0.093
酢酸	0.179	0.203	1.063	0.961	0.040
プロピオン酸	0.033	0.020	0.028	0.030	0.005
酪酸	0.150	0.344	0.202 ^B	0.403 ^A	0.043
VBN/TN ⁴ （%）	2.0	2.3	3.6	4.3	0.2
V-SCORE	68	60	77 ^A	62 ^B	3

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ³表3-1-2参照. ⁴図2-1-1参照. ^{A,B}処理区間の同行異符号間に有意差あり（P<0.01）.

($P < 0.01$), V-SCORE は BS-TMR 区よりも OH-TMR 区で高かった ($P < 0.05$)。酪酸含量が OS-TMR および BS-TMR 区よりも OH-TMR 区で低かったことについては, 調製時 (埋蔵後 0 日目) から酪酸が存在しており, 発酵 TMR の埋蔵期間中に新たに酪酸が生成されたというよりも, OS または BS 自体の酪酸含量が発酵 TMR の発酵品質に影響を及ぼしたものと考えられた。

OH-TMR, OS-TMR および BS-TMR の化学成分を表 3-1-14, これらの給与が泌乳牛の消化性に及ぼす影響を表 3-1-15 (試験 3) と表 3-1-16 (試験 4) に示した。OH-TMR 区と比べて OS-TMR および BS-TMR 区では CP および EE 消化率が高かった ($P < 0.05$) が, DM, OM, aNDFom および NFC 消化率に処理間差は認められなかった。その結果, TDN 含量にも処理間差は認められなかった。

OH-TMR または OS-TMR が泌乳牛の第一胃内溶液性状に及ぼす影響 (試験 3) を表 3-1-17, OH-TMR または BS-TMR が泌乳牛の第一胃内溶液性状に及ぼす影響 (試験 4) を表 3-1-18 に示した。OH-TMR 区と OS-TMR または BS-TMR 区との間で第一胃内 pH および VFA 組成に有意差は認められず, 飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR は, オーツヘイ主体発酵 TMR と同様な第一胃内発酵環境にあることが示された。

OH-TMR または OS-TMR が泌乳牛の養分摂取量に及ぼす影響を (試験 3) 表 3-1-19, OH-TMR または BS-TMR が泌乳牛の養分摂取量に及ぼす影響 (試験 4) を表 3-1-20 に示した。DM, CP および aNDFom 摂取量に処理間差は認められず, TDN

表3-1-14. OH-TMR, OS-TMRまたはBS-TMR¹の化学成分.

	試験3		試験4	
	OH-TMR ¹	OS-TMR	OH-TMR	BS-TMR
DM ² (%)	53.7 ^a	40.7 ^b	53.8 ^a	45.0 ^b
CP (% DM)	14.6 ^b	15.7 ^a	14.8	14.9
EE (% DM)	2.2 ^a	2.8 ^b	2.1	2.2
aNDFom (% DM)	40.4	41.4	44.4	44.5
NFC (% DM)	35.9 ^a	31.2 ^b	31.8	29.8

¹表2-3-1参照. ²DM, 表2-1-1参照 ; CP, 表2-1-2参照 ; EE, 表3-1-3参照 ; aNDFom, 表2-2-2参照 ; NFC, 表3-1-3参照. ^{a,b}同試験区同行異符号間に有意差あり (P<0.05) .

表3-1-15. OH-TMRまたはOS-TMR¹が泌乳牛の消化性に及ぼす影響（試験3）.

	OH-TMR1	OS-TMR	SEM ²
消化率（%） ³			
DM	64.0	64.4	0.9
OM	67.1	68.2	0.8
CP	62.0 ^b	66.5 ^a	1.2
EE	69.5 ^b	77.6 ^a	1.8
aNDFom	47.9	51.4	1.8
NFC	90.5	90.1	0.4
TDN ⁴ （% DM）	69.7	70.2	0.7

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ³DM, 表2-1-1参照; OM, 表2-2-2参照; CP, 表2-1-2参照; EE, 表3-1-3参照; aNDFom, 表2-2-2参照; NFC, 表3-1-3参照. ⁴表3-1-4参照. ^{a,b}同行異符号間に有意差あり (P<0.05).

表3-1-16. OH-TMRまたはBS-TMR¹が泌乳牛の消化性に及ぼす影響（試験4）.

	OH-TMR	BS-TMR	SEM ²
消化率（%） ³			
DM	69.6	68.0	0.6
OM	71.7	71.2	0.6
CP	65.3 ^b	70.4 ^a	1.1
EE	66.5 ^b	73.1 ^a	1.6
aNDFom	61.5	59.7	1.0
NFC	89.2	88.7	0.4
TDN ⁴ （% DM）	73.4	71.9	0.6

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ³DM, 表2-1-1参照; OM, 表2-2-2参照; CP, 表2-1-2参照; EE, 表3-1-3参照; aNDFom, 表2-2-2参照; NFC, 表3-1-3参照. ⁴表3-1-4参照. ^{a,b}同行異符号間に有意差あり (P<0.05).

表3-1-17. OH-TMRまたはOS-TMR¹が泌乳牛の第一胃内容液性状に及ぼす影響（試験3）.

	OH-TMR	OS-TMR	SEM ²
pH	6.95	7.11	0.08
総VFA ³ (mmol/dL)	96.3	94.7	5.4
VFA 組成 (mol%)			
酢酸	71.2	70.1	0.6
プロピオン酸	16.1	17.8	0.6
酪酸	12.4	11.8	0.3

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ³表3-1-5参照.

表3-1-18. OH-TMRまたはBS-TMR¹が泌乳牛の第一胃内溶液性状に及ぼす影響（試験4）.

	OH-TMR	BS-TMR	SEM ²
pH	6.50	6.66	0.07
総VFA ³ (mmol/dL)	119.9	106.5	4.8
VFA 組成 (mol%)			
酢酸	69.2	70.1	0.4
プロピオン酸	16.8	16.3	0.3
酪酸	14.0	13.6	0.2

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ³表3-1-5参照.

表3-1-19. OH-TMRまたはOS-TMR¹が泌乳牛の養分摂取量に及ぼす影響（試験3）.

	OH-TMR	OS-TMR	SEM ²
養分摂取量 (kg/日) ³			
DM	22.2	21.6	0.9
CP	3.2	3.4	0.1
aNDFom	9.0	9.0	0.0
TDN	15.5	15.2	0.6

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ³DM, 表2-1-1参照; CP, 表2-1-2参照; aNDFom, 表2-2-2参照; TDN, 表3-1-4参照.

表3-1-20. OH-TMRまたはBS-TMR¹が泌乳牛の養分摂取量に及ぼす影響（試験4）.

	OH-TMR	BS-TMR	SEM ²
養分摂取量 (kg/日) ³			
DM	24.1	24.3	0.6
CP	3.6	3.6	0.1
aNDFom	10.7	10.9	0.4
TDN	17.7	17.5	0.3

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ³DM, 表2-1-1参照 ; CP, 表2-1-2参照 ; aNDFom, 表2-2-2参照 ; TDN, 表3-1-4参照.

摂取量にも差は認められなかった。牧草サイレージの場合、反芻家畜の乾物摂取量は発酵品質に影響され（Rook と Gill 1990；Nadeau ら 2000）、低品質サイレージを給与された反芻家畜の乾物摂取量は、高品質サイレージを給与された場合よりも低い（McDonald 1995；増子 2009）ことが報告されている。しかし、OS-TMR または BS-TMR 区よりも OH-TMR 区で V-SCORE が有意に高く（表 3-1-12 および表 3-1-13）優れていたにもかかわらず、摂取量が同程度であったことは、発酵 TMR の発酵品質は採食量に影響を及ぼさないことが示唆され、発酵 TMR での発酵品質と採食量との関係については、牧草サイレージで報告されている現象と異なる可能性が推察された。また、乾物摂取量を左右する要因として、Ob 含量の影響が考えられ（甘利ら 1998, 2001）、乾草中の Ob が 1% 増加すると乾物摂取量は 0.16 - 0.18kg 減少することが報告されている（Abe 2007）。本試験における Ob 含量は、OH-TMR 区よりも BS-TMR 区で多く含まれていた（表 2-3-7）が、乾物摂取量は同程度であった。このことから、発酵 TMR 中の Ob 含量は乾物摂取量に影響を及ぼさない可能性が示された。

以上から、SDC 混合サイレージを乾乳牛に給与した場合、異なる SDC 混合の消化性および第一胃内溶液性状は同程度であったが、泌乳牛に給与した場合には、養分摂取量が増加することが示された。また、SDC 混合発酵 TMR および OH-TMR、OS-TMR および BS-TMR においては、主たる粗飼料源の違いにより部分的に消化率が変化するものの、第一胃内溶液性状と養分摂取量には影響を及ぼさないことが示された。

第 2 節 発酵混合飼料の給与が乳用牛の窒素出納に及ぼす影響

目 的

反芻家畜に給与される飼料タンパク質はその分解特性によって第一胃内分解率が異なる (Sinffen ら 1992)。一般に、牧草がサイレージ調製される過程において、その発酵期間に起こる窒素成分の変化によって、反芻動物による窒素利用効率に影響を与えることが知られている (McDonald 1995, Nguyen 2004)。サイレージ調製により増加する非タンパク態窒素 (NPN) は速分解性であり (Sniffen ら 1992)、第一胃内微生物の要求量を上回ると第一胃内のアンモニア態窒素の過剰生産が起こり、第一胃からのタンパク質の流出および微生物態窒素合成量の低下 (Vagnoni と Broderick 1997) や尿素として尿中に排泄され (Bach ら 2005)、窒素の損失につながる。このことから、乳牛において第一胃内でのタンパク質分解を抑えることや第一胃内微生物による窒素利用を増やすことが窒素損失を減少させる効果的な方法である (Tamminga 1996)。

近年、自給粗飼料と濃厚飼料を混合し、発酵させた発酵 TMR の利用が広がりつつあり (塩谷 2008)、前節では、発酵 TMR の乳用牛への給与は、飼料構成の違いにより消化性が変化することを示した。同様に、飼料中の窒素利用性についても影響を受ける可能性が考えられる。そこで本節では、SDC の混合サイレージまたは発酵 TMR を乾乳牛に給与した場合

および飼料用ムギ類サイレージを混合した発酵 TMR を泌乳牛に給与した場合の窒素利用性について検討した。

材料と方法

試験 1. SDC 混合サイレージを含む TMR 中の SDC 混合割合が窒素利用性に与える影響

1. 混合サイレージの調製および処理区の設定

発酵 TMR の調製および処理区の設定は、前節と同様である。

2. 窒素出納試験

供試牛，試験方法，全糞採取および試料採取は前節と同様である。尿採取については，スポット尿を 10:00～12:00, 13:00～16:00, 17:00～21:00 および翌日 5:00～9:00 の間に排泄した尿から 1 日 4 回 100 mL ずつ採取し，混合したものを 1 日分の尿サンプルとした。

3. 試料の分析方法

供試飼料，糞中および尿中の窒素含量については，ケルダール法により測定した（自給飼料利用研究会 2009）。動物体内のタンパク質代謝産物であり，プリン誘導体の 1 つであるアラントインは第一胃内微生物窒素合成量と密接な関係があることから（津田ら 2004），尿中のアラントイン濃度を Young と Conway（1942）の方法で分析した。1 日の排泄量と尿中のアラントイン濃度から尿中アラントイン排泄量を算出するとともに，可消化有機物摂取量当たりの微生物態窒素合成量（以下，MNS/DOMI）を Purnomoadi ら（2002）の方法により推定した。また，尿中窒素量およびアラントイン排泄量について

は、山本（2002）が牛のスポット尿を用いて、 $[(24.2\text{mg} \times \text{体重 (kg)}) / \text{クレアチニン濃度 (mg/100mL)}] \times \text{窒素 (\%)}]$ あるいはアラントイン濃度 (mg/100mL) の式により尿中成分量の推定が可能であるとしていることを参考にして算出した。なお、クレアチニン濃度はクレアチニン HA テスト（和光純薬工業株式会社，大阪市）で分析した。

4. 統計処理

統計処理は前節と同様である。

試験 2. SDC 混合発酵 TMR の飼料構成の違いが窒素利用性に与える影響

1. 発酵 TMR の調製および処理区の設定

発酵 TMR の調製および処理区の設定は、前節と同様である。

2. 窒素出納試験

供試牛，試験方法，全糞採取および試料採取は前節と同様である。尿採取は、本期 4 日間において全量採取し、一定量（500mL）を冷蔵保存（4℃）し、本期終了後、供試牛ごとに各試験日の尿の一定割合を混合し、分析サンプルとした。

3. 試料の分析方法

供試飼料，糞中および尿中の窒素含量，尿中のアラントイン濃度および MNS/DOMI は、試験 1 と同様に分析した。

4. 統計処理

統計処理は前節と同様である。

試験 3. OH-TMR または OS-TMR が窒素利用性に与える影響

1. 発酵 TMR の調製および処理区の設定

発酵 TMR の調製および処理区の設定は，前節と同様である。

2. 窒素出納試験

供試牛，試験方法，全糞採取および試料採取は前節と同様である。尿採取については，本期 3 日間において全量採取し，試験 2 と同様の方法で分析サンプルとした。乳採取については，搾乳を 1 日 2 回 8:30 および 16:00 に行い，乳量をミルクキングパーラー内に設置したミルクメーターで毎日計量し，本期 3 日間において牛乳の一定量（100mL）を冷蔵保存（4℃）した。採取した毎日の牛乳の一定量を冷蔵保存（4℃）し，本期終了後に試験牛毎に各試験日の牛乳の一定割合を混合し，分析サンプルとした。

3. 試料の分析方法

供試飼料，糞中および尿中の窒素含量，尿中のアラントイン濃度および MNS/DOMI は，試験 1 と同様に分析した。

4. 統計処理

統計処理は前節と同様である。

試験 4. OH-TMR または BS-TMR が窒素利用性に与える影響

1. 発酵 TMR の調製および処理区の設定

発酵 TMR の調製および処理区の設定は，前節と同様である。

2. 窒素出納試験

供試牛，試験方法，全糞採取および試料採取は前節と同様である。尿および乳採取は，試験 3 と同様である。

3. 試料の分析方法

供試飼料，糞中，尿中および乳中の窒素含量，尿中のアラントイン濃度および MNS/DOMI は，試験 1 と同様に分析した。

4. 統計処理

統計処理は前節と同様である。

結果と考察

SDC 混合サイレージを含む TMR の SDC 混合割合が乾乳牛の窒素利用性に及ぼす影響（試験 1）を表 3-2-1 に示した。糞中，尿中および蓄積窒素の分配率に有意な区間差は認められなかった。また，尿中アラントイン量および微生物態窒素合成量についても区間差は認められなかった。このことから，SDC を 20% まで混合し，混合サイレージを再発酵しても第一胃内の窒素代謝に影響を及ぼさないことが示され，カンショ焼酎粕濃縮液を乾物ベースで 20% 混合した発酵 TMR 給与が第一胃内での窒素分解性に影響を及ぼさないとする鈴木ら（2010b）の結果と同様であった。

SDC 混合発酵 TMR の飼料構成の違いが乾乳牛の窒素利用性に及ぼす影響（試験 2）を表 3-2-2 に示した。糞中，尿中および蓄積窒素の分配率に有意な区間差は認められなかった。また，尿中アラントイン量および MNS/DOMI についても区間差は認められなかった。泌乳牛において，タンパク質の分解速度が炭水化物の発酵速度を上回った場合，大量の窒素がアンモニア態窒素となって失われるが，その反対に，炭水化物の発酵速度がタンパク質の分解速度を上回った場合には，微

表3-2-1. SDC¹混合サイレージを含むTMR²中のSDC混合割合が乾乳牛の窒素利用性に及ぼす影響（試験1）.

	対照区	0%混合区 ³	10%混合区	20%混合区	SEM ⁴
摂取窒素に対する割合（%）					
糞中窒素	36.7	39.1	35.3	40.3	1.6
尿中窒素	43.4	40.0	47.2	35.8	2.1
蓄積窒素	19.9	20.9	17.5	23.9	2.5
尿中アラントイン排泄量（g/day）					
	26.4	25.2	32.3	25.7	1.6
微生物態窒素合成量（g/DOMI ⁵ kg/day）					
	37.3	35.4	47.0	37.5	2.8

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表3-1-1参照. ⁴標準誤差. ⁵可消化有機物摂取量.

表3-2-2. SDC¹混合発酵TMR²の飼料構成の違いが乾乳牛の窒素利用性に及ぼす影響（試験2）.

	CS-TMR ³	RWCS-TMR	SEM ⁴
摂取窒素に対する割合（%）			
糞中窒素	33.8	34.0	1.4
尿中窒素	61.7	63.5	1.4
蓄積窒素	4.5	2.5	1.3
尿中アラントイン排泄量（g/day）			
	47.0	48.1	5.2
微生物態窒素合成量（g/DOMI ⁵ kg/day）			
	56.5	61.5	7.8

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表2-2-1参照. ⁴標準誤差. ⁵表3-2-1参照.

生物体タンパク質合成量は減少すること（Nocek と Russell 1988）や給与飼料への易発酵性炭水化物（デンプン）およびタンパク質添加によって発酵・分解を同調させることは第一胃内微生物態窒素合成を大きく促進するため（Herrera-Saldana ら 1990），微生物体タンパク質合成には，養分の供給量とその利用を同調させることが重要であると Bach ら（2005）は指摘している。しかし，牧草サイレージ主体の飼料では，炭水化物の発酵とタンパク質の分解の非同調性，すなわち前者よりも後者が速いことにより微生物態窒素合成効率が低くなる（Siddons ら 1985）が，CS 主体の飼料では，そのサイレージ中に含まれる易発酵性炭水化物のデンプンによって微生物体タンパク質合成効率が高まると報告されている（Givens と Rulquin 2004）。本試験においては CS-TMR 区と RWCS-TMR 区との間で第一胃内の MNS/DOMI に差が認められなかったが，これは飼料用イネには易発酵性炭水化物（デンプン）が多く含まれており，トウモロコシと同様に炭水化物および窒素が利用されたこと（炭水化物の発酵とタンパク質の分解の同調）によるものと推察された。また，SDC 混合発酵 TMR において主たる粗飼料源が異なる場合でも，CPs 含量は CS-TMR 区で 8.8%，RWCS-TMR 区で 8.4% と同水準であり，第一胃内アンモニア態窒素濃度に区間差が認められないこと，さらに尿中窒素含量，微生物体タンパク質合成量の指標であるアラントイン排泄量にも区間差は認められないことから，発酵 TMR の第一胃内でのタンパク質の溶解性，家畜での窒素の利用性や第一胃内での微生物体タンパク質合成量の

面でも違いがないことが明らかになった。

OH-TMR, OS-TMR または BS-TMR の給与が泌乳牛の窒素利用性に及ぼす影響を表 3-2-3 (試験 3), 表 3-2-4 (試験 4) に示した。試験 3 において, 糞中窒素割合は OH-TMR 区よりも OS-TMR 区で低く ($P<0.05$), 尿中窒素割合は OS-TMR 区よりも OH-TMR 区で低かった ($P<0.05$)。乳中窒素割合および蓄積窒素割合に区間差は認められなかった。また, 試験 4 において, 糞中窒素割合は OH-TMR 区よりも BS-TMR 区で低く ($P<0.05$), 尿中窒素割合は BS-TMR 区よりも OH-TMR 区で低かった ($P<0.05$)。乳中窒素割合は BS-TMR 区よりも OH-TMR 区で高かった ($P<0.05$) が, 蓄積窒素割合に区間差は認められなかった。また, 尿中アラントイン量および MNS/DOMI に処理区間差は認められなかった。飼料中のタンパク質は第一胃での分解性の違いにより分解性と非分解性に分けられ, 分解性のタンパク質の中には, 非タンパク態窒素 (NPN) と真のタンパク質で構成されている。NPN はアンモニア, ペプチドおよびアミノ酸が含まれルーメン内微生物の成長に使われ, 真のタンパク質は, ペプチドとアミノ酸に分解され, さらに脱アミノ化によってアンモニアを生成, または微生物態タンパク質に取り込まれる。第一胃内でのタンパク質の分解率の違いは, 窒素の乳中への移行量と尿中への排泄量に影響しており (中井ら 1999), 飼料中の分解性タンパク質が第一胃内微生物の要求量を上回ると, アンモニア態窒素に分解されたのち, 尿素として尿から排出される (Castillo ら 2001; Hristov ら 2004)。本試験で用いた OH-TMR, OS-TMR および BS-TMR

表3-2-3. OH-TMRまたはOS-TMR¹の給与が泌乳牛の窒素利用率に及ぼす影響（試験3）.

	OH-TMR ¹	OS-TMR	SEM ²
摂取窒素に対する割合（%）			
糞中窒素	38.0 ^a	33.5 ^b	1.2
尿中窒素	25.2 ^b	31.6 ^a	1.52
乳中窒素	32.6	29.0	1.0
蓄積窒素	4.2	5.9	1.3
尿中アラントイン排泄量（g/day）			
	35.9	33.9	2.0
微生物態窒素合成量（g/DOMI ³ kg/day）			
	13.8	13.1	1.2

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ³表3-2-1参照. ^{a,b}同行異符号間に有意差あり（P<0.05）

表3-2-4. OH-TMRまたはBS-TMR¹の給与が泌乳牛の窒素利用性に及ぼす影響（試験4）.

	OH-TMR ²	BS-TMR	SEM ³
摂取窒素に対する割合（%）			
糞中窒素	35.1 ^a	29.6 ^b	1.2
尿中窒素	28.3 ^b	34.2 ^a	1.5
乳中窒素	30.5 ^a	27.1 ^b	1.0
蓄積窒素	6.1	9.1	1.3
尿中アラントイン排泄量（g/day）			
	35.9	43.5	3.6
微生物態窒素合成量（g/DOMI ⁴ kg/day）			
	13.7	14.6	1.3

¹表2-2-2参照. ²表2-3-1参照. ³標準誤差. ⁴表3-2-1参照. ^{a,b}同行異符号間に有意差あり（P<0.05）

のタンパク質画分のうち、溶解性タンパク質である A+B₁ 画分は、OS-TMR および BS-TMR 区よりも OH-TMR 区で低く、BS-TMR 区は発酵によって増加することを第 2 章で示した。このように、OH-TMR、OS-TMR および BS-TMR 中のタンパク質画分の違いが尿中の窒素排泄量へ影響を及ぼしたものと考えられる。しかし、MNI/DOMI に区間差が認められなかったことから、OS-TMR および BS-TMR は OH-TMR と同程度の微生物態タンパク質合成が可能であることが明らかとなった。第一胃内のアンモニア態窒素がショ糖やデンプン等の炭水化物の給与によって高まることが報告されている（大谷ら 2001；Sannes ら 2002）ことから、今後、OS-TMR あるいは BS-TMR への炭水化物源の添加により、さらに飼料中のタンパク質利用を高めた発酵 TMR の飼料構成を検討する必要がある。

以上から、乾乳牛への SDC の給与においては、混合割合を 20%まで高めた混合サイレージでも窒素利用性に影響は認められず、主たる粗飼料源が異なった場合でも、窒素利用性は同程度となることが示された。しかし、泌乳牛への OS-TMR および BS-TMR の給与では、OH-TMR と比べて糞中への窒素排泄量が少なく、尿中への窒素排泄量が多くなることから、原料草の違いが窒素利用性に影響を及ぼすことが示唆された。

第 4 章 発酵混合飼料を給与した乳用牛の生産性

結 言

TMR は濃厚飼料や粗飼料，ミネラル，ビタミン等をバランスよく混合して給与するため，分離給与に比べ摂取利用バランスや第一胃内発酵の安定化により乾物摂取量を高めることが期待され（NRC 2001），現在の乳牛飼養において牛の能力を引き出すのに良い方法である。これらを発酵させた発酵 TMR の利点は発酵による栄養損失が少なく，良好な発酵品質により良質な貯蔵性が得られ，嗜好性の向上，開封後の変敗と脂質酸化の抑制などが期待出来，特に夏季の飼料として利用価値が高いと言われている（塩谷ら 2007）。第 2 章において，SDC 混合サイレージ，粗飼料源の異なる SDC 混合発酵 TMR および飼料用ムギサイレージ主体発酵 TMR の発酵品質は粗飼料源や貯蔵期間に影響されるが，化学成分の変動に対しては粗飼料源の影響がより大きいことを示唆し，第 3 章では，これらの飼料を乾乳牛または泌乳牛に給与した場合，消化性および窒素利用性は粗飼料源の影響を受けるものの，第一胃内溶液性状には顕著な変化が認められないことを明らかにし，乳牛用飼料として利用できる可能性を示唆した。しかし，発酵 TMR を泌乳牛に給与した報告が少なく（鈴木ら 2010b；Miyaji ら 2012），咀嚼行動や乳生産に及ぼす影響についても未解明な部分が多い。さらに，乳成分のうち機能性成分として注目されている共役リノール酸（Conjugated linoleic acid：CLA）をはじめとする乳中脂肪酸の組成への

影響についての報告はない。

そこで本章では、上記の発酵 TMR を泌乳牛に給与した場合の採食・反芻行動，乳生産，繁殖成績および乳中脂肪酸組成について検討した。

第 1 節 発酵混合飼料の給与が泌乳牛の行動，乳生産または繁殖成績に及ぼす影響

目 的

酪農を中心に自給粗飼料や食品製造副産物と濃厚飼料を混合した発酵 TMR の利用が広がりつつあり（塩谷 2008），食品製造副産物として，緑茶残渣を発酵 TMR に混合した場合，乾乳牛における嗜好性が高まること（額爾敦ら 2007b）が報告されている。このように発酵 TMR の調製によっては嗜好性が改善する場合もあるため，その摂取量も増大することが予想される。しかし，飼料の摂取量と消化率は密接に関連しており，飼料の形状や飼料の繊維の粗剛性によっては摂取量の増加が第一胃内の通過速度を速め，第一胃内滞留時間を短縮するため，第一胃内微生物による分解作用が弱められ，粗飼料の物理性指標の 1 つである粗飼料価指数（Roughage value index : RVI）や飼料消化率の低下をもたらす場合がある（Grofum と Williams 1973；Sudweeks ら 1981；Rode と Satter 1988；農業・食品産業技術総合研究機構 2006）。第 3 章においては，SDC を混合したサイレージまたは発酵 TMR および飼料用ムギ類サイレージを主体とする発酵 TMR を乳用牛に給与した場合，栄養代謝，第一胃内溶液性状ならびに窒素利用性に大きな影響を及ぼさないことが明らかとなった。しかし，発酵 TMR を泌乳牛へ給与した報告は少なく（鈴木ら 2010b；Miyaji ら 2012），未解明な部分が多いことから，本節ではこれらの発酵 TMR を泌乳牛に給与した場合の採食・反芻行動，

乳生産または繁殖成績を検討した。

材料と方法

試験 1. SDC 混合サイレージを含む TMR 中の SDC 混合割合が乳生産ならびに繁殖成績に与える影響

1. 混合サイレージの調製および処理区の設定

各混合サイレージの調製は，前章第 1 節と同様であり，処理区の設定は，第 2 章第 1 節と同様であり，

2. 泌乳試験

供試牛および試験方法は，前章第 1 節と同様である。乳採取は，前章第 2 節と同様である。また，乳生産に対する飼料効率は乳量を乾物摂取量で除して算出した。

3. 試料の分析方法

乳成分含量（乳脂率，乳タンパク質率，乳糖率および無脂固形分率）をコンビフォス（Foss Electric, Hillerød, Denmark）で分析した。

4. 繁殖成績

供試牛の発情兆候は，歩数計型発情発見装置（牛歩，株式会社コムテック，宮崎市）による顕著な歩数増加，乗駕，外陰部の腫脹および粘液漏出とし，これらのうち，1 つ以上確認出来た日を発情日とした。繁殖成績として発情回帰日数，人工授精回数，受胎状況，妊娠期間および子牛の生時体重および性別を調査した。

5. 統計処理

乳量および乳成分の統計解析は，前章第 1 節と同様である。

試験 2. SDC 混合発酵 TMR の飼料構成の違いが乳生産ならびに繁殖成績に与える影響

1. 発酵 TMR の調製および処理区の設定

各発酵 TMR の調製は前章第 1 節と同様であり，処理区の設定は第 2 章第 2 節と同様である。

2. 泌乳試験

供試牛および試験方法は前章第 1 節と同様である。乳採取は前章第 2 節と同様であり，飼料効率の算出は試験 1 と同様である。

3. 試料の分析方法

乳成分含量の分析は試験 1 と同様である。

4. 繁殖成績

繁殖成績は試験 1 と同様である。

5. 統計処理

乳量および乳成分の統計解析は，前章第 1 節と同様である。

試験 3. OH-TMR または OS-TMR が採食・反芻行動，乳生産ならびに繁殖成績に与える影響

1. 発酵 TMR の調製および処理区の設定

各発酵 TMR の調製は前章第 1 節と同様であり，処理区の設定は第 2 章第 3 節と同様である。

2. 泌乳試験

各試験の供試牛および試験方法は，前章第 1 節と同様である。乳採取は前章第 2 節と同様であり，飼料効率の算出は試験 1 と同様である。

3. 行動観察

咀嚼行動の観察は 24 時間連続ビデオ録画により実施した。1 日の咀嚼時間を乾物摂取量で除して乾物 1kg 当たりの咀嚼時間を求め、粗飼料の物理性指標の 1 つであり、乳脂率との関連が深いとされる RVI を算出した (Sudweeks ら 1981)。

4. 試料の分析方法

乳成分含量の分析は試験 1 と同様である。

5. 繁殖成績

繁殖成績は試験 1 と同様である。

6. 統計処理

乳量、乳成分および RVI の統計解析は、前章第 1 節と同様である。

試験 4. OH-TMR または BS-TMR が採食・反芻行動、乳生産ならびに繁殖成績に与える影響

1. 発酵 TMR の調製および処理区の設定

各発酵 TMR の調製は前章第 1 節と同様であり、処理区の設定は第 2 章第 3 節と同様である。

2. 泌乳試験

各試験の供試牛および試験方法は、前章第 1 節と同様である。乳採取は前章第 2 節と同様であり、飼料効率の算出は試験 1 と同様である。

3. 行動観察

行動観察は試験 3 と同様である。

4. 試料の分析方法

乳成分含量の分析は試験 1 と同様である。

5. 繁殖成績

繁殖成績は試験 1 と同様である。

6. 統計処理

乳量，乳成分および RVI の統計解析は，前章第 1 節と同様である。

結果と考察

SDC 混合サイレージを含む TMR 中の SDC 混合割合が泌乳牛の乳生産と飼料効率に及ぼす影響（試験 1）を表 4-1-1 に示した。乳量および乳成分に区間差は認められなかった。また，飼料効率にも区間差は認められなかった。

SDC 混合サイレージを含む TMR 中の SDC 混合割合が泌乳牛の繁殖成績に及ぼす影響（試験 1）を表 4-1-2 に示した。泌乳試験前に 1 頭妊娠していたが，SDC 混合サイレージを含む TMR の給与によって流産等の異常は認められなかった。また，5 頭についても発情が認められるとともに，21 日前後の発情周期を示し，給与飼料以外，同一条件下で飼養されている他の乳用牛の平均発情周期日数と同等であった。さらに，試験中に 2 頭の泌乳牛に対して人工授精を行った結果，妊娠が確認された。SDC 混合サイレージを含む TMR を約 2 ヶ月間給与しても，妊娠が認められた 3 頭の妊娠期間および子牛の生時体重は，他の乳用牛のそれらの平均値とほぼ近い数値を示した。このことから，SDC 混合サイレージを含む TMR を泌乳牛に給与した場合，乳生産および飼料効率は 0% 混合区と比べて

表4-1-1. SDC¹混合サイレージを含むTMR²中のSDC混合割合が泌乳牛の乳生産と飼料効率に及ぼす影響（試験1）。

	0%混合区 ³	10%混合区	20%混合区	SEM ⁴
乳量（kg/日）	34.4	36.6	33.9	0.9
4%FCM ⁵ 乳量	39.4	40.0	38.1	2.2
乳成分（%）				
脂肪	4.99	4.65	4.79	0.23
タンパク質	3.33	3.35	3.33	0.04
乳糖	4.33	4.39	4.39	0.04
無脂固形分	8.65	8.74	8.71	0.07
飼料効率	1.45	1.57	1.40	0.05

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表3-1-1参照. ⁴標準誤差. ⁵4%脂肪補正乳量.

表4-1-2. SDC¹混合サイレージを含むTMR²中のSDC混合割合が泌乳牛の繁殖成績に及ぼす影響（試験1）。

牛No. ³	試験前	試験中	試験後	発情回帰 日数 (日)	人工授精 回数 (回)	妊娠期間 (日)	子牛の生時 体重 (kg) と性別
A	◎	◎	◎	21	1	278	45・雌
B	○	AI	◎	22	2	272	35・雌
C	○	AI	◎	23	2	278	39・雄
D	○	○	○	22	—	—	—
E	○	○	○	18	—	—	—
F	○	○	○	21	—	—	—
参考値 ⁴				22	1.5	276	38

¹表2-1-1参照. ²表3-1-1参照. ³牛D, E, F, 廃用のため人工授精の実施なし. ⁴参考値は給与飼料以外, 同一条件下で飼養されている他の乳用牛の発情周期日数, 妊娠期間および子牛 (雄・雌) の生時体重の平均値. ○, 発情あり; AI, 人工授精; ◎, 妊娠中.

10 および 20%混合区と同程度であり，発情回帰日数や妊娠期間等の繁殖成績も他の乳用牛の平均値と同等の成績を示したことから，SDC の混合割合を 20%まで高めても乳生産や繁殖成績に及ぼす影響はほとんどないことが示唆された。

SDC 混合発酵 TMR の飼料構成の違いが泌乳牛の乳生産と飼料効率に及ぼす影響を表 4-1-3（試験 2）に示した。乳量および乳成分に区間差は認められず，飼料効率も同程度となった。

SDC 混合発酵 TMR の飼料構成の違いが泌乳牛の繁殖成績に及ぼす影響（試験 2）を表 4-1-4 に示した。SDC 混合発酵 TMR を約 1 ヶ月間泌乳牛に給与した結果，すべての牛で発情が認められ，発情周期日数は 21－24 日であり，他の乳用牛の平均発情周期日数と同程度の日数となった。試験中に 1 頭の泌乳牛に人工授精を行った結果，妊娠が確認され，その後，流産等の異常は認められなかった。さらに，試験終了後に 1 頭の泌乳牛に人工授精を行い，妊娠が確認されたことから，SDC 混合発酵 TMR の給与は発情および妊娠の成立に影響を及ぼさないことが示された。このことから，SDC 混合発酵 TMR の粗飼料源が CS または RWCS の場合，乳生産および飼料効率は同程度となり，発情周期等繁殖成績も他の乳用牛の平均値に近かったことから，SDC 混合発酵 TMR は粗飼料源が異なる場合でも乳生産や繁殖性に影響を及ぼさないことが示された。

OH-TMR または OS-TMR の給与が泌乳牛の採食ならびに反芻行動に及ぼす影響（試験 3）を表 4-1-5，OH-TMR または

表4-1-3. SDC¹混合発酵TMR²の飼料構成の違いが泌乳牛の乳生産と飼料効率に及ぼす影響（試験2）.

	CS-TMR ³	RWCS-TMR	SEM ⁴
乳量 (kg/日)	31.8	32.0	0.9
4%FCM ⁵ 乳量	38.5	37.6	2.5
乳成分 (%)			
脂肪	5.39	5.15	0.31
タンパク質	3.37	3.34	0.03
乳糖	4.32	4.36	0.05
無脂固形分	8.69	8.69	0.06
飼料効率	1.31	1.30	0.04

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表2-2-1参照. ⁴標準誤差. ⁵表4-1-1参照.

表4-1-4. SDC¹混合発酵TMR²の飼料構成の違いが泌乳牛の繁殖成績に及ぼす影響（試験2）。

牛No. ³	試験前	試験中	試験後	発情回帰 日数 (日)	人工授精 回数 (回)	妊娠期間 (日)	子牛の生時 体重 (kg) と性別
G	○	AI	◎	22	1	276	38・雄
H	○	○	AI	24	2	282	48・雄
I	○	○	○	21	—	—	—
J	○	○	○	22	—	—	—
参考値 ⁴				22	1.5	276	38

¹表2-1-1参照. ²表2-2-1参照. ³牛No. I, J, 廃用のため人工授精の実施なし. ⁴表4-1-2参照. ○, 発情あり; AI, 人工授精; ◎, 妊娠中.

表4-1-5. OH-TMRまたはOS-TMR¹の給与が泌乳牛の採食ならびに反芻行動に及ぼす影響（試験3）.

	OH-TMR ¹	OS-TMR	SEM ²
1日当たりの咀嚼時間（分/日）			
採食	200	228	20
反芻	384	426	27
合計	647	657	17
RVI ³ （分/kg DM）	26.5	31.1	2.0

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ³粗飼料価指数.

BS-TMR の給与が泌乳牛の採食ならびに反芻行動に及ぼす影響を表 4-1-6 (試験 4) に示した。1 日当たりの採食, 反芻および咀嚼時間に処理間区差は認められなかった。しかし, RVI は OH-TMR 区よりも OS-TMR 区で高い傾向 ($P<0.1$) が認められ, BS-TMR 区で高かった ($P<0.01$)。乳用牛の 1 日の咀嚼時間の上限は 13-15 時間であることが認められており (押尾ら 1996), RVI が高い飼料ではこれが乾物摂取量の制限要因になると考えられる。しかし, 本試験で乾物摂取量が同程度であった (表 3-1-15) にもかかわらず, RVI が OH-TMR 区よりも BS-TMR 区で高かったことは, BS-TMR 区の 1 日の咀嚼時間は 13 時間と OH-TMR 区よりもやや長かったことならびに乾物摂取量と正の相関が認められている Oa 含量 (Abe 2007) が OH-TMR 区よりも BS-TMR 区で高かったこと (表 2-3-7) に起因するものと推察された。

OH-TMR または OS-TMR の給与が泌乳牛の乳生産ならびに飼料効率に及ぼす影響を表 4-1-7 (試験 3), OH-TMR または BS-TMR の給与が泌乳牛の乳生産ならびに飼料効率に及ぼす影響を表 4-1-8 (試験 4) に示した。乳量および乳成分に処理区間差は認められなかった。乳脂率を 3.5% に維持するための給与飼料の RVI は 31 分/kg 以上とされており (Sudweeks ら 1981), 本試験において, 飼料用ムギ類サイレージを主体とする発酵 TMR の RVI 値はそれを満たしていた。飼料効率は, OH-TMR 区と OS-TMR または BS-TMR 区で同程度となった。

OH-TMR または OS-TMR を泌乳牛に給与した場合の繁殖成績に及ぼす影響を表 4-1-9 (試験 3), OH-TMR または BS-TMR

表4-1-6. OH-TMRまたはBS-TMR¹の給与が泌乳牛の採食ならびに反芻行動に及ぼす影響（試験4）.

	OH-TMR ¹	BS-TMR	SEM ²
1日当たりの咀嚼時間（分/日）			
採食	208	260	25
反芻	487	398	42
合計	680	794	37
RVI ³ （分/kg DM）	27.8 ^b	32.9 ^a	1.1

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ³表4-1-5参照. ^{ab}P<0.01.

表4-1-7. OH-TMRまたはOS-TMR¹の給与が泌乳牛の乳生産ならびに飼料効率に及ぼす影響（試験3）.

	OH-TMR ¹	OS-TMR	SEM ²
乳量（kg/日）	27.3	27.4	1.3
4%FCM ³ 乳量	29.5	30.5	1.4
乳成分（%）			
脂肪	4.58	4.77	0.18
タンパク質	3.78	3.62	0.13
乳糖	4.54	4.54	0.05
無脂固形分	9.31	9.17	0.13
飼料効率	1.23	1.27	0.05

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ³表4-1-1参照.

表4-1-8. OH-TMRまたはBS-TMR¹の給与が泌乳牛の乳生産ならびに飼料効率に及ぼす影響（試験4）.

	OH-TMR ¹	BS-TMR	SEM ²
乳量 (kg/日)	32.3	30.9	1.3
4%FCM ³ 乳量	35.2	33.8	1.5
乳成分 (%)			
脂肪	4.61	4.63	0.18
タンパク質	3.39	3.23	0.13
乳糖	4.29	4.35	0.05
無脂固形分	8.68	8.55	0.13
飼料効率	1.34	1.27	0.05

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ³表4-1-1参照.

表4-1-9. OH-TMRまたはOS-TMR¹を泌乳牛に給与した場合の繁殖成績に及ぼす影響（試験3）。

牛No. ²	試験前	試験中	試験後	発情回帰 日数 (日)	人工授精 回数 (回)	妊娠期間 (日)	子牛の生時 体重 (kg) と性別
K	◎	◎	◎	22	1	274	28・雄
L	◎	◎	◎	20	1	276	44・雄
M	○	○	○	20	—	—	—
N	○	○	○	22	—	—	—
参考値 ³				22	1.5	276	38

¹表2-3-1参照. ²牛No. M, N : 廃用のため人工授精の実施なし. ³表4-1-2参照.
○, 発情あり ; AI, 人工授精 ; ◎, 妊娠中.

を泌乳牛に給与した場合の繁殖成績を表 4-1-10 (試験 4) に示した。OS-TMR および OH-TMR 区の飼料を約 1 ヶ月間給与した泌乳牛 4 頭のうち、試験開始時点で 2 頭が妊娠していたが、流産等の発生は認められず、妊娠期間および子牛の生時体重も他の乳用牛の平均値と近い値となった。残りの 2 頭についても発情が認められ、発情回帰日数は 20-22 日であり、他の乳用牛の平均発情回帰日数と同程度の日数となった。一方、BS-TMR および OH-TMR 区の飼料を約 1 ヶ月間給与した泌乳牛 4 頭でも発情が確認され、発情回帰日数も他の乳用牛の平均値と近い日数を示した。このように、OS-TMR および BS-TMR を泌乳牛に給与した場合、OH-TMR と同等な乳生産を示し、発情回帰日数や妊娠期間も他の乳用牛の平均値と同程度であったことから、飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR は乳生産と繁殖性に影響を及ぼさないことが示唆された。

以上から、泌乳牛への SDC 給与においては、混合割合が異なる混合サイレージおよび発酵 TMR の粗飼料源が異なる場合でも、乳生産および飼料効率に影響は認められなかった。一方、OS-TMR あるいは BS-TMR を泌乳牛に給与した場合、OH-TMR と比べて RVI が高まるものの、乳生産および飼料効率は同程度となることが示された。さらに、これらの発酵 TMR を給与した場合、繁殖成績も他の乳用牛と同様であったことから、発酵 TMR の主たる粗飼料源の違いは、泌乳牛の乳生産や繁殖成績に影響を及ぼさないことが示唆された。

表4-1-10. OH-TMRまたはBS-TMR¹を泌乳牛に給与した場合の繁殖成績に及ぼす影響（試験4）.

牛No. ²	試験前	試験中	試験後	発情回帰日数（日）
O	○	○	○	22
P	○	○	○	22
Q	○	○	○	20
R	○	○	○	22
参考値 ³				22

¹表2-3-1参照. ²廃用のため人工授精の実施なし. ³表4-1-2参照. ○, 発情あり.

第 2 節 発酵混合飼料の給与が泌乳牛の乳中脂肪酸に及ぼす影響

目 的

反芻家畜の飼料中には高いレベルで不飽和脂肪酸，特にリノール酸と α -リノレン酸を含有しているが，第一胃内部生物によって水素添加を受けるために乳製品や牛肉のような反芻家畜に由来する畜産物には，他の家畜の畜産物と比べて飽和脂肪酸を多く含有し，不飽和脂肪酸含量は低い。一般に，飽和脂肪酸の摂取量が多くなると血中の低密度ポリタンパク質レベルが高くなり，高コレステロール血症や肥満，それに伴う慢性心臓疾患などの生活習慣病のリスクが問題となる。しかし，近年，リノール酸の 1 つである CLA が抗ガン作用，血中コレステロール低下や体脂肪蓄積抑制効果などのさまざまな生理活性作用を持っていることが報告されている。CLA はリノール酸の位置・幾何異性体の総称で，主にリノール酸を基質とした生物水素添加反応の中間代謝脂肪酸として生成されると考えられており（山内ら 2003），食品の中でもとくに反芻家畜由来の食品に多く含まれていることが明らかにされている（Chin ら 1992；Oshea ら 1998）。反芻家畜由来食品の CLA の大部分は cis 9,trans 11 CLA で占められ，これは飼料中のリノール酸や α -リノレン酸のような多価不飽和脂肪酸がルーメン内のセルロース分解菌によって水素添加される際の中間代謝産物である。

牛乳中の CLA 含量は，給与飼料，季節，品種，泌乳回数，

個体，第一胃内微生物叢の変化などの要因によって変動することが知られている（Kelly ら 1998）が，放牧飼養（Kay ら 2004；梅村 2008）や油脂の給与（Kelly ら 1998）により高まることが報告されている。このように，CLA の生成は給与する飼料の影響を大きく受け，第一胃内における CLA の生成では粗飼料の給与が大きいことが報告されている（山内ら 2003）。前節では，SDC 混合サイレージおよび粗飼料源が異なる SDC 混合発酵 TMR や飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR（OS-TMR または BS-TMR）の泌乳牛への給与は，乳生産に影響を及ぼさないことを示した。

そこで本節では，これらの発酵 TMR を泌乳牛に給与した場合の乳中脂肪酸組成について検討した。

材料と方法

試験 1. SDC 混合発酵 TMR の飼料構成の違いが乳中脂肪酸組成に与える影響

1. 発酵 TMR の調製および処理区の設定

各発酵 TMR の調製は前章第 1 節と同様であり，処理区の設定は第 2 章第 2 節と同様である。

2. 泌乳試験

供試牛および試験方法は，前章第 1 節と同様である。乳採取は前章第 2 節と同様である。

3. 試料の分析方法

脂肪酸組成分析は，財団法人日本食品分析センターに依頼した（分析試験成績書；11029842001-11029842004，

11035944001-11035944004)。

4. 統計処理

統計解析は，前章第1節と同様である。

試験 2. OH-TMR または OS-TMR が乳中脂肪酸組成に与える影響

1. 発酵 TMR の調製および処理区の設定

各発酵 TMR の調製は前章第1節と同様であり，処理区の設定は第2章第3節と同様である。

2. 泌乳試験

各試験の供試牛および試験方法は，前章第1節と同様である。乳採取は前章第2節と同様である。

3. 試料の分析方法

乳中脂肪酸組成の測定はレーゼ・ゴッドリーブ法により乳中から脂質を抽出し，塩酸-メタノール法により脂肪酸をメチル化した後，ガスクロマトグラフ（GC-2014；株式会社島津製作所，京都）を用い，SpelcoWax10TM カラム（60m×0.32mm）で分析した。

4. 統計処理

乳中脂肪酸組成の統計解析は前章第1節と同様である。

試験 3. OH-TMR または BS-TMR が乳中脂肪酸組成に与える影響

1. 発酵 TMR の調製および処理区の設定

各発酵 TMR の調製は前章第1節と同様であり，処理区の設定は第2章第3節と同様である。

2. 泌乳試験

各試験の供試牛および試験方法は、前章第1節と同様である。乳採取は前章第2節と同様である。

3. 試料の分析方法

乳中脂肪酸組成の分析は試験2と同様である。

4. 統計処理

乳中脂肪酸組成の統計解析は前章第1節と同様である。

結果と考察

SDC 混合発酵 TMR の飼料構成の違いが泌乳牛の乳中脂肪酸組成に及ぼす影響を表 4-2-1 に示した。C8:0, C10:0, C12:0, C17:0 および C18:0 含量は RWCS-TMR 区よりも CS-TMR 区で有意に高かった ($P<0.05$)。脂肪酸組成のうち、C10:0 - C14:0 は飼料中の粗飼料に由来する脂肪酸が多いことから、SDC 混合発酵 TMR の飼料構成 (粗飼料源) の違いが影響したものと考えられた。

OH-TMR または OS-TMR の給与が泌乳牛の乳中脂肪酸含量に及ぼす影響を表 4-2-2 (試験 2), OH-TMR または BS-TMR の給与が泌乳牛の乳中脂肪酸含量に及ぼす影響を表 4-2-3 (試験 3) に示した。C10:0 および C12:0 含量は OS-TMR 区よりも OH-TMR 区で高く ($P<0.05$)、飼料構成 (粗飼料源) の違いの影響を受けたものと考えられる。また、C18:1 n-9 および C18:1 n-7 含量は OH-TMR 区よりも BS-TMR 区で高かった ($P<0.05$)。CLA 含量は OH-TMR 区よりも OS-TMR 区で 2.5mg, BS-TMR 区で 3.1mg 多く、OH-TMR 区と BS-TMR 区の間には有意差が認められた ($P<0.05$)。反芻家畜においては、第一

表4-2-1. SDC¹混合発酵TMR²の飼料構成の違いが泌乳牛の乳中脂肪酸組成に及ぼす影響（試験2）。

	CS-TMR ³	RWCS-TMR	SEM ⁴
	- % -		
4:0	3.45	3.35	0.12
6:0	2.52	2.41	0.05
8:0	1.49 ^a	1.41 ^b	0.04
10:0	3.53 ^a	3.38 ^b	0.01
10:1	0.41	0.41	0.02
12:0	4.15 ^a	4.02 ^b	0.16
14:0	12.99	13.04	0.33
14:1 n-5	1.26	1.36	0.08
15:0	1.83	1.95	0.08
16:0	41.34	42.02	1.01
16:1 n-7	1.85	1.97	0.12
17:0	1.19 ^a	1.18 ^b	0.03
17:1	0.26	0.26	0.02
18:0	7.11 ^a	6.94 ^b	0.26
18:1 n-9	14.41	14.37	0.61
18:2 n-6	1.86	1.67	0.05
18:3 n-3	0.34	0.28	0.02
飽和脂肪酸	68.61	69.14	0.54
不飽和脂肪酸	19.97	19.90	0.66

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表2-2-1参照. ⁴標準誤差. ^{a,b}同列異符号間に有意差あり (P<0.05) .

表4-2-2. OH-TMRまたはOS-TMR¹の給与が泌乳牛の乳中脂肪酸含量に及ぼす影響（試験2）.

	OH-TMR ¹	OS-TMR	SEM ²
	- mg/100g -		
6:0	72.7	68.2	1.9
8:0	55.4	49.2	1.8
10:0	153.6 ^a	125.7 ^b	6.8
11:0	4.6	3.4	0.5
12:0	195.1 ^a	159.3 ^b	9.2
13:0	6.4	5.3	0.7
14:0	550.5	500.8	14.6
14:1 n-5	49.7	47.1	1.8
15:0	60.1	57.4	5.0
16:0	1,458.6	1,402.7	46.7
16:1 n-7	57.5	60.2	3.8
17:0	22.8	21.8	1.6
18:0	297.0	306.6	13.7
18:1 n-9	548.1	608.6	18.6
18:1 n-7	22.4	24.9	1.3
18:2 n-6	73.1	67.2	2.4
18:3 n-3	12.1	12.4	0.4
c-9,t-11 CLA	8.8	11.3	0.8
20:0	4.7	4.5	0.3
20:3 n-6	2.5	2.1	0.2
飽和脂肪酸	2,599.7	2,461.6	75.7
不飽和脂肪酸	774.3	834.0	22.1

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ^{a,b}同列異符号間に有意差あり (P<0.05) .

表4-2-3. OH-TMRまたはBS-TMR¹の給与が泌乳牛の乳中脂肪酸含量に及ぼす影響（試験3）.

	OH-TMR ¹	BS-TMR	SEM ²
	- mg/100g -		
6:0	64.2	65.4	0.9
8:0	48.4	46.2	1.1
10:0	135.6	121.8	5.0
11:0	4.4	2.9	0.4
12:0	184.1	158.6	8.7
13:0	6.6	4.4	0.5
14:0	498.8	504.9	17.0
14:1 n-5	55.6	52.7	4.2
15:0	63.0	57.2	1.9
16:0	1,568.8	1611.7	19.2
16:1 n-7	70.1	69.2	3.4
17:0	25.3	24.5	0.7
18:0	267.7	269.2	8.7
18:1 n-9	469.4 ^b	507.9 ^a	16.8
18:1 n-7	22.5 ^b	27.7 ^a	2.0
18:2 n-6	58.1	58.3	1.5
18:3 n-3	9.6	8.9	0.3
c-9,t-11 CLA	6.8 ^b	9.9 ^a	0.8
20:0	4.2	4.5	0.2
20:3 n-6	2.2	2.3	0.2
飽和脂肪酸	2,640.5	2,632.7	18.8
不飽和脂肪酸	682.6	664.3	20.9

¹表2-3-1参照. ²標準誤差. ^{a,b}同列異符号間に有意差あり (P<0.05) .

胃内微生物によるリノール酸から CLA への異性化反応が、第一胃内の遊離リノール酸と接触した直後から速やかに進行し（河原ら 2007, 田中 2002）, その後の CLA の飽和化反応には数時間から数十時間を要する（河原ら 2007）。そのため、第一胃内で生成した CLA の第一胃内滞留時間が短いほど CLA は飽和化されずに下部消化管へ移行し、動物体内に吸収される CLA 量が増加するものと推察される。一方、油脂の分解性の違い、すなわち油脂が第一胃内で徐々に分解されると、微生物による異性化と飽和化が比較的速やかに起こるものの、急速な脂質分解は遊離リノール酸レベルを高め、飽和化を阻害することから、下部消化管での CLA 吸収量が増加するとの報告もある（田中 2002）。本試験において BS-TMR 区を給与した場合の乳中 CLA 含量が OH-TMR 区の場合と比べて高かったことについては、第 3 章第 1 節の表 3-1-11 で示したように、BS-TMR 区の粗脂肪消化率が OH-TMR 区のそれよりも高かったことも要因の 1 つと推察された。しかし、本試験では第一胃内での CLA 生成量、CLA の第一胃内滞留時間あるいは脂肪の分解速度を調べていないことから、CLA 含量の処理区間差については、今後さらに検討する必要がある。

以上から、SDC 混合発酵 TMR の粗飼料源が異なる場合、主に短鎖脂肪酸が RWCS-TMR 区よりも CS-TMR 区で高かったことや OH-TMR, OS-TMR または BS-TMR を給与した場合、CLA 含量が OH-TMR 区よりも OS-TMR あるいは BS-TMR 区で高まったことから、粗飼料源の違いが乳中脂肪酸組成に影響を及ぼす可能性が示唆された。

第 5 章 発酵混合飼料の経済的評価

緒 言

農林水産省（2012）によれば，酪農経営における飼料自家生産の割合は 2010 年現在，TDN ベースで 34%と横ばいで推移している。このように，飼料自給率が低いわが国にとって，近年の輸入飼料の高騰・価格高止まりによる飼料コストの上昇は，畜産経営の悪化をもたらしている。畜産経営基盤の安定・強化のためには，食品製造副産物や自給粗飼料を積極的に利用した国内産飼料の給与体系の構築が求められている。

前章までに SDC，CS，RWCS または飼料用ムギ類サイレージを混合した発酵 TMR の発酵品質は良好であり，それらの発酵 TMR を乳用牛に給与した場合，養分摂取，第一胃内環境，窒素出納および乳生産への大きな影響は認められないことを明らかにした。しかしながら，前章までに供試した給与飼料の生産コスト（飼料費）や乳生産効率など経済的な面からの検討はなされていない。

そこで本章では，前章までの各試験に供した各種発酵 TMR について，泌乳牛に給与した場合の経済性を評価した。

材料と方法

前章までの各泌乳試験の本期 3 日間の飼料摂取量から飼料コストを算出し，乳代に占める飼料費割合を表す乳飼比（%）を算出した。飼料費のうち，自給粗飼料費については農業経営統計調査（統計センター 2013）に示されている価格を用い，

購入乾草および濃厚飼料は同試験場で 2009 - 2013 年に購入した価格から算出した。なお、自給粗飼料は水分含量により給与量の変動するため、風乾物当たりの飼料費とした。乳代は 2009 - 2013 年に同試験場から販売した乳単価を用いて算出し、粗収益は乳代から飼料費を差し引いて求めた（表 5-1）。

統計処理は第 3 章第 1 節と同様である。

結果と考察

SDC 混合サイレージを泌乳牛に給与した場合の飼料費，粗収益ならびに乳飼比に及ぼす SDC 混合割合の影響を表 5-2 に示した。1 日 1 頭当たりの飼料費は，10%混合区において乾物摂取量が高まった（表 3-1-6）結果，10%混合区，0%混合区および 20%混合区の順に低下した。しかし，乳量は 0%混合区，20%混合区および 10%混合区の順に高かったこと（表 4-1-1）により，その粗収益は 10%混合区，20%混合区および 0%混合区の順であった。乳飼比は 20%混合区，10%混合区および 0%混合区の順に大きかったものの，有意差は認められなかったことから，SDC を 20%まで混合しても粗収益や乳飼比に影響を及ぼさないことが明らかとなった。

SDC 混合発酵 TMR を泌乳牛に給与した場合の飼料費，粗収益ならびに乳飼比に及ぼす飼料構成の違いの影響を表 5-3 に示した。1 日 1 頭当たりの飼料費は，CS-TMR 区よりも RWCS-TMR 区で高かったものの，乳代も高かったことから，粗収益は同程度となった。しかし，乳飼比は CS-TMR 区よりも RWCS-TMR 区で高い傾向を示した（ $P<0.1$ ）。これは原料

表5-1. 飼料費算出時の飼料単価.

単価			
CS ¹	6.6-7.5	円/kg	2010年 - 2011年農業経営統計調査 畜産物生産費
IS	7.7	円/kg	
RWCS	26.4	円/kg	〃
RS	21.5	円/kg	〃
OS, BS	29.0	円/kg	〃
SDC	1.0	円/kg	2009年 - 2010年 購入額
配合飼料	52.4	円/kg	2009年 購入額
オーツヘイ	54.6	円/kg	2009 - 2013年 購入額
ルーサン乾草	59.8	円/kg	〃
圧ペントウモロコシ	43.1-49.4	円/kg	〃
圧ペンオオムギ	41.9-48.3	円/kg	〃
大豆粕	60.0-80.9	円/kg	〃
ビートパルプ	57.9-62.0	円/kg	〃
炭酸カルシウム	14.5	円/kg	〃
リン酸カルシウム	155.9	円/kg	〃
アミノ酸製剤	107.6	円/kg	〃
ビタミン製剤	294.0	円/kg	〃
生乳単価	86.2-92.4	円/kg	2010年2月 - 2013年5月 生乳販売単価

¹CS, IS, RWCS, RS, SDC, 表2-1-1; OS, BS, 表2-3-1参照.

表5-2. SDC¹混合サイレージを泌乳牛に給与した場合の飼料費，粗収益
ならびに乳飼比に及ぼすSDC混合割合の影響.

	0%混合区 ²	10%混合区	20%混合区	SEM ³
飼料費 (円・頭/日)	779	814	734	18
乳代 (円・頭/日)	3,047	3,286	3,018	92
粗収益 (円・頭/日)	2,284	2,464	2,398	85
乳飼比 (%)	24.5	25.1	25.2	0.7

¹表2-1-1参照. ²表3-1-1参照. ³標準誤差.

表5-3. SDC¹混合発酵TMR²を泌乳牛に給与した場合の飼料費，粗収益ならびに乳飼比に及ぼす飼料構成の違いの影響.

	CS-TMR ³	RWCS-TMR	SEM ⁴
飼料費 (円・頭/日)	701	845	37
乳代 (円・頭/日)	2,839	2,894	91
粗収益 (円・頭/日)	2,138	2,049	83
乳飼比 (%)	24.8	29.3	1.3

¹表2-1-1参照. ^{2,3}表2-2-1参照. ⁴標準誤差.

である RWCS の飼料費が CS のそれよりも高かったことに起因するものと考えられた。したがって、SDC 混合発酵 TMR の主たる粗飼料源が異なる場合、粗収益は同程度となるものの、乳飼比は粗飼料源の価格に左右されることが明らかとなった。

OH-TMR または OS-TMR を泌乳牛へ給与した場合の飼料費、粗収益および乳飼比を表 5-4、OH-TMR または BS-TMR の場合を表 5-5 に示した。1 日 1 頭当たりの飼料費は、OH-TMR 区よりも OS-TMR 区で低かったものの、有意な区間差は認められず、乳代もほぼ同程度であった。また、粗収益は OH-TMR 区よりも OS-TMR 区で高まり、乳飼比は低下したものの、有意差は認められなかった。一方、BS-TMR 区の飼料費および乳代は OH-TMR 区のそれらと比べて低かったものの、粗収益ならびに乳飼比はほぼ同程度であった。これらのことから、混合する粗飼料源が異なる場合でも、粗収益と乳飼比に大きな影響を及ぼさないことが明らかとなった。

以上から、発酵 TMR の飼料費および粗収益は大きな影響を受けず、発酵 TMR への SDC の混合は乳飼比を抑えることが示された。

表5-4. OH-TMRまたはOS-TMR¹を泌乳牛へ給与した場合の飼料費，粗収益ならびに乳飼比に及ぼす影響.

	OH-TMR ²	OS-TMR	SEM ³
飼料費（円・頭/日）	1,071	908	51
乳代（円・頭/日）	2,520	2,529	121
粗収益（円・頭/日）	1,449	1,621	102
乳飼比（%）	45.5	38.4	2.1

¹表2-2-1参照. ²表2-3-1参照. ³標準誤差.

表5-5. OH-TMRまたはBS-TMR¹を泌乳牛へ給与した場合の飼料費，粗収益および乳飼比に及ぼす影響.

	OH-TMR ²	BS-TMR	SEM ³
飼料費 (円・頭/日)	1,164	1,020	37
乳代 (円・頭/日)	2,980	2,854	133
粗収益 (円・頭/日)	1,816	1,834	118
乳飼比 (%)	39.8	36.2	1.4

¹表2-2-1参照. ²表2-3-1参照. ³標準誤差.

第 6 章 総合考察

1. 本研究の位置づけと成果

宮崎県における酪農家戸数は年々減少しているものの、1戸当たりの乳用牛の飼養頭数は増加しており、経営の規模拡大が進んでいる。自給飼料生産を行っている酪農家は、毎日の搾乳、飼料給与および繁殖管理を行いながら、飼料作物や牧草を栽培し、サイレージ調製を行っている。このような過重な労働を軽減し、効率的な酪農経営を進めるために、自給粗飼料の栽培・調製等を請け負う組織としてコントラクター組織が設立されている。さらに近年では、飼料調製を一括して行う TMR センターの設立も増えつつある。酪農における TMR センターの役割としては、酪農家の労働軽減が主なものであるが、それ以上に食品製造副産物を活用した飼料費の低減および共同運営による低コスト飼料確保などが挙げられる。TMR センターの中には、コントラクターにより栽培・調製した自給粗飼料を利用し、飼料の生産から供給まで一括して行う事例もある。

宮崎県においても、酪農家が経営を維持・発展させるためにコントラクター組織の育成および利用促進を進めるとともに、TMR センターの設立についても気運が高まっている。最近では、TMR の流通効率を高めるために圧縮・梱包・ラッピングにより再発酵させた発酵 TMR の活用が検討されている。宮崎県は 2013 年に策定した「宮崎県畜産新生プラン」の中で、自給粗飼料の増産および利用による粗飼料自給率 100%と食

品製造副産物の利活用による飼料コストの低減を目標に掲げている。これらの目標を達成するために、発酵 TMR の利用は極めて重要でかつ有用な取り組みであり、酪農経営における飼料自給率の向上や国内飼料生産基盤に立脚した酪農経営を構築する上でも期待が大きい。そこで本研究では、地域に賦存する飼料資源を有効活用するため、発酵 TMR の発酵過程および飼料特性を把握するとともに、自給率の高い発酵 TMR の乳用牛への給与技術を確立することを目的とした。

宮崎県における飼料資源のうち、食品製造副産物では焼酎粕の排出量が大部分を占めている。また、粗飼料では飼料イネの後作物である飼料ムギが注目されている。本研究では、これらの飼料資源を発酵 TMR の主原料として調製し、乳用牛への利用可能性を検討した。得られた一連の成果を表 6 に示した。発酵品質は SDC の混合や主たる粗飼料源が異なる場合でも良好となり、特に CS あるいは OH を主体とした発酵 TMR で良好であった。また、化学成分のうち、タンパク質含量は SDC の混合によって高まり、栄養価の向上が認められ、主たる粗飼料源が異なる場合には、同等の栄養価を示した。これらの発酵 TMR を乳用牛に給与した場合、消化性、第一胃内溶液性状および窒素利用性は同程度であり、SDC の混合や主たる粗飼料源の違いが栄養代謝に及ぼす影響はほとんどなかった。飼料用ムギ類サイレージ主体の発酵 TMR を泌乳牛に給与した場合、OS-TMR および BS-TMR で十分な咀嚼時間が確保され、乳生産、飼料効率および繁殖成績には、SDC の混合や主たる粗飼料源の違いの影響は認められなかった。また、

表6 本研究から得られた成果

	第2章		第3章				第4章				第5章			
	発酵品質 ¹	化学成分	摂取量	消化性	第一胃内溶液性状	窒素利用性	RVI ²	乳生産 ³	飼料効率	繁殖成績	乳中脂肪酸組成	飼料費	粗収益	乳飼比 ⁴
試験1：SDC混合サイレージのSDC混合割合の比較														
NSDC	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	○	○	◎
10SDC	◎	◎	◎	○	○	○	-	◎	○	○	-	○	○	◎
20SDC	◎	◎	◎	○	○	○	-	○	○	○	-	○	○	◎
試験2：CSまたはRWCSを主体とするSDC混合発酵TMRの比較														
CS-TMR	◎	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	◎
RWCS-TMR	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○
試験3：エンバクサイレージ主体発酵TMRの特性														
OH-TMR	◎	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	△
OS-TMR	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△
試験4：オオムギサイレージ主体発酵TMRの特性														
OH-TMR	◎	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	△
BS-TMR	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	○	◎	○	○	△

◎, 良好; ○, 普通; △, やや不良, - : 未調査. ¹特に良好な発酵品質を示したものを◎とした. ²31分/kg DM以上を示したものを○とし, 有意差があったものを◎とした. ³乳量が2kg/日以上多いもの(宮崎県畜産新生プランの中の2015年目標数量)を◎とした. ⁴25%以下, 26-29%および30%以上の順に◎, ○および△とした.

OH-TMR と比べて OS-TMR あるいは BS-TMR で乳中の CLA 含量が高まる傾向が認められ、機能性成分の向上につながるものと考えられた。上記の発酵 TMR の経済性について考察すると、乳飼比は試験 2 において RWCS-TMR よりも CS-TMR で低い傾向を示した（表 5 - 3）以外、SDC の混合や主たる粗飼料源が異なる場合でも、乳飼比に大差はみられなかった。試験 1 および 2 における乳飼比は 30% 以下であったが、試験 3 および 4 の場合、その値を上回っていた（表 5 - 2~5）。一般に、酪農経営の収益性の観点から、乳飼比は 30% 以下が望ましいとされていること（亀岡 1998）から、飼料用ムギ類乾草またはサイレージ主体の発酵 TMR よりも SDC 混合サイレージや SDC 混合発酵 TMR の収益性が高いものと推察された。したがって、飼料用ムギ類乾草またはサイレージ主体発酵 TMR の飼料費低減については追究の余地がある。

2. 焼酎粕を混合した発酵 TMR の展望

本研究で用いた SDC は、カンショ焼酎由来の焼酎廃液から分離されたものである。従来、焼酎粕は家畜用飼料として良好な資源であり、豚や乳用牛で利用されてきたが、畜産業の大規模化・集約化により次第に利用されなくなった。2007 年の改正海洋汚染防止法の施行に伴い、焼酎粕を海洋投棄することが出来なくなったため、その処理方法が検討され、再び家畜用飼料としての利用が始まった。近年、焼酎粕リサイクルプラントにおいて、焼酎廃液は濃縮液や脱水ケーキに処理された後、家畜用飼料に利用されるが、これらは単体での取

り扱いが難しいため、発酵 TMR の原料としての利用が検討されている。特に、濃縮液については、乳用牛だけでなく、肥育牛でも発酵 TMR に利用出来ることが報告されている（横山ら 2009；鈴木ら 2010b；神谷ら 2010）。近年、焼酎粕については、農業分野では施肥効果（土屋ら 2008；廣瀬 2010）および土壌病害虫抑止効果（黒木ら 2011；今村ら 2011）、水産分野では養魚飼料への応用（越塩 2007）に関する研究が行われており、畜産分野以外での利用も検討されている。今後は農業や水産分野での技術開発により焼酎粕の需要が高まる可能性も考えられる。

畜産分野において焼酎粕は国内産タンパク質飼料資源の 1 つであり、大豆粕をはじめとする輸入穀類の代替飼料として利用する必要がある。大豆粕の価格は、2012 年 7 月以降、高止まりの状態が続いており、依然として不安定な価格動向を示している（農林水産省 2013）。このような状況の中、鈴木ら（2010b）は大豆粕の代替飼料としてカンショ焼酎粕濃縮液を利用できることを報告している。本研究で用いた SDC は、焼酎粕をスクリープレスによって分離し、液体部分を遠心脱水処理によって固液分離した固体部分であり、焼酎粕濃縮液や乾燥焼酎粕と比べて加工処理経費が少なく、比較的安価で入手出来、濃厚飼料の代替飼料として利用可能である。濃厚飼料価格の動向に左右されない国内産飼料として SDC は今後とも長期にわたって利用出来る原料と考えられる。

SDC を乳用牛飼料として、さらに有効活用するためには、発酵 TMR の原料として利用することで最大の効果が上げら

れると考えられる。カンショ焼酎は秋から冬にかけて最も多く製造されるため、SDCも同時期に多く排出され、この時期に利用出来る自給粗飼料にはCSおよびRWCSが挙げられる。本研究において、SDCを混合した発酵TMRの主たる粗飼料源をCSまたはRWCSにした場合、発酵TMRの発酵品質は良好となることおよび泌乳牛への給与は乳生産が同程度になることを示した。しかし、乳飼比を比較した場合、CSよりもRWCSで高まる傾向が認められ（表5-3）、これはRWCSの飼料単価がCSよりも高かったことに起因するものと考えられるが、飼料費や粗収益は同程度であった。このように、SDC混合発酵TMRの主たる粗飼料源をCSあるいはRWCSとした場合でも、乳用牛用飼料として利用出来、自給率の高い国内産飼料の供給につながるものである。

3. 発酵TMRへの飼料用ムギ類の利用と展望

農林水産省は、2009年度を「水田フル活用元年」と位置づけ、2011年度からの経営所得安定対策を実施し、その結果、水田における飼料用イネの作付面積は全国的に増加した。また、2018年度のコメの減反政策廃止に伴い、飼料用イネ作付面積はさらに拡大することが予想される。飼料用イネの裏作物としての飼料用ムギ類の作付は、限られた水田面積から最大限の飼料を得るために重要であり、近年、これらを効率的に収穫調製する方法として、飼料用イネで利用されているダイレクト収穫機を飼料用ムギ類へ応用することが検討されている。しかし、刈取直後の飼料用ムギ類を埋蔵した場合、高

水分であるため、酪酸発酵をもたらす危険性が危惧される。そこで、開封後の変敗が起こり難いとされる発酵 TMR の原料として利用すれば、効率的かつ高品質な飼料を牛へ給与出来るものと考えられる。さらに、輸入乾草である OH の代替飼料として飼料用ムギ類を利用することは、飼料価格に変動されない国内産飼料主体の酪農経営が可能となる。そこで、本研究において飼料用ムギ類の発酵 TMR 利用の可能性について検討したところ、OS-TMR あるいは BS-TMR は発酵品質において OH-TMR にやや劣るものの、乳生産および乳飼比は同程度であり、OH の代替飼料として十分利用出来ることを示した。

このように、水田の作付体系の中に飼料用ムギ類を組み込むことは、国産飼料の割合が高い乳用牛向けの発酵 TMR を通年給与することが可能となる。この新たな作付体系は、輸入飼料に依存しない国内産飼料の供給が可能となり、飼料価格の変動による酪農経営の不安定化から脱却する 1 つの手段であると考えられる。

4. 宮崎県の畜産分野における発酵 TMR の活用

宮崎県の畜産は、農業生産額の 53% を占め、畜産の農業産出額の約 30% を肉用牛が占めている（宮崎県 2013）。本研究により、これまで十分な利活用がなされていなかった地域資源は発酵 TMR の原料として利用出来、これらの発酵 TMR は乳用牛飼料として利用可能なことを明らかにした。神谷ら（2010）は肥育牛に食品製造副産物を含む発酵 TMR を給与出

来ることを示しており，本研究で検討した乳用牛用の発酵 TMR は肉用牛にも応用可能であると考えられる。

このように，発酵 TMR は食品製造副産物や自給粗飼料を有効に活用できる飼料であり，阿部（2009）は，わが国のこれからの TMR は，自給粗飼料や地域資源である農産副産物，食品製造副産物を穀類・配合飼料とともに混合し，輸入穀類への依存率を低減させるという方向性を提示している。2010年に宮崎県で発生した口蹄疫のウイルスは pH6.0 以下の酸性条件で死滅すること（白井 2002）から，飼料資源の発酵処理は飼料の安全性確保や防疫の観点からも大いに意義のあることである。今後の発酵 TMR については，配合飼料および輸入乾草を焼酎粕や自給粗飼料サイレージに置き換えることで，安全かつ透明性の高い国産自給飼料を畜産農家へ供給することができ，輸入飼料の価格変動に左右されない牛用飼料としての活用が期待される。また，より安全な飼料を家畜に与えることは，畜産物の安全性確保につながり，安心・安全な畜産物を消費者に提供することが可能となる。

以上，本研究の結果から，SDC，RWCS，OS あるいは BS などの地域にある飼料資源を活用した発酵 TMR の発酵品質は良好であること，発酵に伴う化学成分は主たる粗飼料源の違いにより変動すること，乳用牛に給与した場合には，消化性と乳生産に大きな影響を及ぼさないことが明らかとなった。これらのことから，地域資源を活用した発酵 TMR が乳用牛の飼料として有用であることが提示された。

なお，今後は，国内で生産可能な穀類である飼料用米，宮

埼玉県へ導入され始めた飼料用サトウキビ等の新規飼料作物を発酵 TMR の原料として評価するとともに、乳用牛用飼料としての有用性を検討し、さらなる地域飼料資源を活用した国内産飼料の供給展開を図る必要がある。また、発酵 TMR を牛用飼料としての利活用を図るため、乳用牛の育成や各泌乳ステージに対応した発酵 TMR 給与技術を検討することや発酵 TMR 給与が肉用牛への栄養代謝、繁殖性ならびに産肉性に及ぼす影響を追究することなども課題として挙げられる。これらの課題を順次解決することにより、地域資源を活用した自給飼料給与主体の畜産経営の構築することが出来るものと考えられる。

要 約

近年，粗飼料と濃厚飼料を混合し，発酵させた混合飼料（発酵 TMR）の利用が酪農を中心に広がっており，その中で，飼料自給率向上を図るため，食品製造副産物を添加した発酵 TMR の調製が検討されている。宮崎県および鹿児島県を含む南九州には，食品製造副産物の 1 つである焼酎粕やトウモロコシ，飼料用イネ，飼料用ムギなど様々な自給粗飼料とそれらのサイレージが地域の飼料資源として存在している。しかしながら，それらを原料とした発酵 TMR の発酵品質や発酵に伴う化学成分の変動，乳用牛に給与した場合の栄養代謝と生産性に及ぼす影響については詳細に検討されていない。

本研究では，地域飼料資源を主体とする乳用牛のための発酵 TMR の給与技術を確立することを目的とし，カンショ焼酎粕ケーキ（SDC），トウモロコシサイレージ（CS），飼料用イネホールクロップサイレージ（RWCS）または飼料用ムギサイレージを利用した発酵 TMR を調製し，発酵品質および発酵に伴う化学成分の変動を検討した。また，それらの発酵 TMR を乳用牛に給与した場合の栄養代謝や乳生産に及ぼす影響を明らかにするとともに，当該飼料の経済的評価を行った。

1. 発酵 TMR の品質と発酵に伴う化学成分の変動

CS，イタリアンライグラスサイレージ，RWCS および稲わらを混合した自給粗飼料に対し，乾物ベースで 10 および 20%

を SDC で置き換えた混合サイレージを調製したところ、発酵品質は V-SCORE で 90 点以上となった。SDC 混合割合の増加に伴い、サイレージ全体の粗タンパク質 (CP) 含量も高まった。したがって、発酵品質や栄養価値の面だけでなく、SDC 自体の保存性のためにも上記粗飼料との混合が有効であると考えられた。

SDC を乾物ベースで 10% 混合したサイレージを含み (TMR 中に 4% 含有)、主たる粗飼料源を CS または RWCS として発酵 TMR を調製した (それぞれ、CS-TMR および RWCS-TMR 区)。その結果、発酵 TMR の V-SCORE は RWCS-TMR 区よりも CS-TMR 区で有意に高かった ($P < 0.05$) が、いずれも 80 点以上であった。また、タンパク質画分は埋蔵期間よりも粗飼料源の違いにより変動するが、繊維画分はこれらの影響を受けないことを示した。

エンバク乾草 (OH)、エンバクサイレージ (OS) およびオオムギサイレージ (BS) を主体とする発酵 TMR (それぞれ、OH-TMR、OS-TMR および BS-TMR 区) を調製した。その結果、OH-TMR 区の V-SCORE は OS-TMR 区および BS-TMR 区のそれらと比べて有意に高く ($P < 0.05$)、OH-TMR 区の発酵品質が優れることが判明した。また、OS-TMR 区のタンパク質は埋蔵期間よりも混合する粗飼料源の違いによる影響を強く受けたが、BS-TMR 区のそれは原料草と埋蔵期間の両方の影響を受けることが示唆された。さらに、OS-TMR 区の繊維画分は混合する粗飼料源と埋蔵期間の影響を受けなかったが、BS-TMR 区のそれは埋蔵期間よりも原料草の影響を強く受け

ることが示唆された。

2. 発酵 TMR を給与した乳用牛の栄養代謝

SDC 混合サイレージを乾乳牛に給与した場合，SDC の混合割合は消化性ならびに第一胃内溶液性状に影響を及ぼさなかったが，泌乳牛に給与した場合，SDC の混合によって乾物および TDN 摂取量は増加した。また，SDC を混合した発酵 TMR を乾乳牛に給与した場合，粗脂肪の消化率と TDN 含量を除き，消化性ならびに第一胃内溶液性状に飼料間差はなく，泌乳牛の養分摂取量にも差はみられなかった。さらに，飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR を泌乳牛に給与した場合，CP の消化率を除き，消化性，第一胃内溶液性状および養分摂取量にも差が認められなかった。このことから，SDC の混合は消化性ならびに第一胃内溶液性状に及ぼす影響はみられないものの，養分摂取量が多くなることおよび SDC 混合発酵 TMR および飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR において，粗飼料源の違いは部分的に消化性を変化させるが，第一胃内環境および養分摂取量に影響を及ぼさないことが示された。

SDC 混合サイレージを乾乳牛に給与した場合，SDC の混合割合は窒素利用性に影響を及ぼさなかった。また，SDC 混合発酵 TMR を乾乳牛に給与しても，窒素利用性への影響はみられなかった。しかし，飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR を乳用牛に給与した場合，OH-TMR，OS-TMR または BS-TMR 区の間で糞中，尿中あるいは乳中窒素割合に有意差が認められたが，蓄積窒素割合，尿中アラントイン排泄量および微生物

物態窒素合成量に飼料間差は認められなかった。これらのことから、発酵 TMR を乳用牛に給与した場合、窒素利用性は粗飼料源の違いにより部分的に変化することが示された。

3. 発酵 TMR を給与した乳用牛の生産性

SDC 混合サイレージを含む TMR および SDC 混合発酵 TMR の粗飼料源を CS または RWCS とした場合、泌乳牛の乳量、乳成分および乳生産に対する飼料効率に影響を及ぼさなかった。また、飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR を泌乳牛に給与したところ、粗飼料価指数 (Roughage value index : RVI) は OH-TMR 区よりも OS-TMR および BS-TMR 区で高い傾向を示した (それぞれ, $P < 0.1$ および $P < 0.01$) が、乳量、乳成分および飼料効率は同程度となった。さらに、これらの発酵 TMR を給与した泌乳牛の発情回帰日数、人工授精回数および妊娠期間等の繁殖成績は慣行飼料を給与した他の乳用牛の場合とほぼ同様であった。したがって、SDC 混合の混合割合および SDC 混合発酵 TMR の飼料構成ならびに飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR の主たる粗飼料源の違いは、泌乳牛の乳生産および繁殖性に影響を与えないことが示唆された。

粗飼料源が異なる SDC 混合発酵 TMR を泌乳牛に給与した場合の乳中脂肪酸組成については、CS-TMR 区よりも RWCS-TMR 区で短鎖脂肪酸が多かった ($P < 0.05$)。また、飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR を泌乳牛に給与した場合の CLA 含量は、OH-TMR 区よりも OS-TMR 区または BS-TMR 区で高い傾向が認められた (それぞれ $P < 0.1$ および $P < 0.05$)。

このことから、乳中脂肪酸組成は主たるの粗飼料源の違いによって影響を受け、機能性成分が向上する可能性が示唆された。

4. 発酵 TMR の経済的評価

SDC 混合サイレージを含む TMR を泌乳牛に給与した場合、SDC の混合割合によって飼料費や乳飼比に違いは認められなかった。SDC 混合発酵 TMR の粗飼料源を CS または RWCS とした場合、CS-TMR および RWCS-TMR 区の飼料費は同程度であったが、乳飼比は後者よりも前者で低い傾向を示した ($P < 0.1$)。飼料用ムギ類サイレージ主体発酵 TMR の場合、OH-TMR、OS-TMR または BS-TMR 区の間で飼料費および乳飼比に区間差は認められなかった。このことから、発酵 TMR の乳飼比は、用いる粗飼料源の飼料単価の違いによって変化するものの、SDC の混合によって抑え得ることが示された。

以上から、SDC、RWCS、OS および BS などの地域飼料資源を用いた発酵 TMR の発酵品質は良好であり、発酵に伴う化学成分は、主たる粗飼料源の違いによって変動することが明らかとなった。これらの発酵 TMR のうち、SDC 混合サイレージを含む TMR や主たる粗飼料源を CS または RWCS とした SDC 混合発酵 TMR および OS あるいは BS を主体とする発酵 TMR を乳用牛へ給与した場合、消化性および乳生産への影響は認められなかったことから、乳用牛の飼料として有用であることが示唆された。

Abstract

Recently, fermented total mixed ration (fermented TMR) has been used extensively in dairy farming. In particular, preparation of the TMR using food by-products and its feeding regimen has been investigated by many workers in order to increase the feed self-support ratio. There are a variety of feed regional resources, i.e. shochu distillery by-product cake and self-sufficient roughage such as corn, rice crop, oat, barley and their silages in Southern Kyushu including Miyazaki and Kagoshima. However, little information is available on the fermentation quality and chemical composition of the fermented TMRs using the above feedstuff, and their feeding value for dairy cows.

The aims of this study were to clarify the fermentation quality of the fermented TMRs containing SDC, rice whole crop silage (RWCS) or oat/barley silages and changes in chemical composition during fermentation, and to examine the effects of feeding the diets on the nutrient metabolism and milk production of dairy cows.

1. Fermentation quality of fermented TMR and change in chemical composition during fermentation

The fermentation qualities of mixed silage comprising roughages, i.e. corn silage (CS), Italian ryegrass silage, RWCS and rice straw with 10 and 20% SDC replaced roughage in a DM basis were more than 90 points in V-SCORE, indicating good quality. The protein content of the mixed silages was increased after preparation. Therefore, fermentation quality, nutriment value or preserve of SDC showed that the mixed with above roughage was effective. The CS- and RWCS-based fermented TMRs with SDC (CS-TMR and RWCS-TMR, respectively) had good quality (over 80 points), though the former's V-SCORE was significantly higher than the latter's one ($P < 0.05$). The protein

fraction in the fermented TMR varied depending on roughages, but no variation was found in fiber fraction.

Of the fermented TMRs including oat hay, oat silage or barley silage (OH-TMR, OS-TMR and BS-TMR, respectively), the OH-TMR revealed significantly higher V-SCORE than the others ($P < 0.05$), indicating the best fermentation quality of the former. The protein fraction in the OS-TMR was strongly affected by roughage type (hay or silage) rather than storage period, however the BS-TMR's one was affected by both. Although both roughage and storage period caused no variation in the fiber fraction of the OS-TMR, roughage rather than storage period exerted greater influence on the BS-TMR.

2. Effect of fermented TMR on nutrient metabolism of dairy cows

Feeding the TMR including SDC mixed silages to dry cows had no influence on digestibility and rumen fermentation. The DM and TDN intake of lactating cows elevated with increasing SDC. When CS-TMR and RWCS-TMR was fed to dry cows, the TDN content of the former was significantly higher than that of the latter ($P < 0.05$). In addition, digestibility other than crude fat and rumen fermentation were not different between the diets and nutrient intake of lactating cows fed the diets was also not affected. Feeding OH-TMR, OS-TMR or BS-TMR to lactating cows had no influence on digestibility other than crude protein, rumen fermentation and TDN intake.

Feeding the TMR including SDC mixed silage or CS-TMR and RWCS-TMR to dry cows had no effect on nitrogen utilization. When OH-TMR, OS-TMR or BS-TMR were fed to lactating cows, the ratio of nitrogen in feces, urine or milk to nitrogen intake was significantly different between the diets ($P < 0.05$). However, there were no differences in nitrogen retention, urinary allantoin excretion and microbial nitrogen

synthesis. Therefore, it was shown that nitrogen utilization in dairy cows fed the above TMRs was affected by different roughages to some extent.

3. Effect of fermented TMR on milk production of dairy cows

Milk production, milk composition and feed efficiency of lactating cows fed TMR including SDC mixed silages or CS-TMR and RWCS-TMR were not influenced by dietary treatments. The roughage value index as expressed by minutes of chewing (both eating and ruminating) per kg of dietary dry matter, which was reflected in the chewing activity of ruminants, tended to be higher for lactating cows fed OS-TMR or BS-TMR than OH-TMR ($P < 0.1$ and $P < 0.01$, respectively) when feeding the fermented TMRs to the animals. However, milk production, milk composition and feed efficiency were not different among dietary treatments. In addition, feeding the above TMRs to lactating cows had no influence on their reproduction performance. Thus, it was suggested that the above TMRs had no influence on milk production and reproduction performance.

Lactating cows fed fermented TMR with SDC varying roughages had significantly higher short-chain fatty acids content in milk for RWCS-TMR than CS-TMR. Conjugated linoleic acid content in milk of lactating cows fed OS-TMR or BS-TMR tended to be higher than that of the animals fed OH-TMR ($P < 0.1$ and $P < 0.05$, respectively). Thus, it was indicated that fatty acids composition in milk of lactating cows fed the fermented TMR was influenced by different roughages, which might lead an increase in bioactive substances.

4. Evaluation of fermented TMR from an economical viewpoint

Feeding the TMR including SDC mixed silage to lactating cows had no influence on feed cost and on feed cost milk receipt ratio. When CS- and RWCS-based fermented

TMR with SDC were fed to lactation cows, the feed cost was not different between dietary treatments. However, feed cost milk receipt ratio tended to be lower in the CS-based fermented TMR than RWCS-based diet ($P < 0.1$). Feeding OH-TMR, OS-TMR or BS-TMR to lactating cows did not affect feed cost and feed cost milk receipt ratio. Therefore, it was shown that the above TMR to lactating cows had no influence on feed cost and gross profit, though it might increase feed cost milk receipt ratio depending on roughage costs. It was also suggested that SDC supplementation could depress feed cost milk receipt ratio.

In conclusion, ensiling regional feed resources such as SDC, RWCS, OS or BS showed good fermentation quality and it was clarified that chemical composition during fermentation varied depending on main roughages. The above TMRs had no influence on digestion and milk production of dairy cows, indicating that the diets were useful for the animals.

謝 辞

本研究の遂行ならびに本論文を取りまとめるに当たり，終始多大なるご指導を賜りました鹿児島大学農学部生物生産学科教授の中西良孝博士に深甚なる万謝の意を表します。また，本論文の取りまとめに際して，懇切丁寧なご指導を賜りました鹿児島大学農学部生物生産学科准教授の大久津昌治博士ならびに琉球大学農学部亜熱帯地域農学科教授の川本康博博士，に甚大なる謝意を表します。本論文のご校閲をいただいた佐賀大学農学部附属アグリ創生教育研究センター教授の尾野喜孝博士，鹿児島大学農学部生物生産学科准教授の高山耕二博士に謝意を表します。

本研究の実施に際し，甚大なご支援ご協力をいただいた宮崎県畜産試験場家畜バイテク部長の中原高士氏（当時，酪農飼料部長）に深く感謝いたします。

本研究を進めるに当たり，有益なご助言をいただいた独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所家畜生理栄養研究領域上席研究員の永西修博士，宮崎県畜産試験場管理課研究企画主幹の大木場格氏，脂肪酸組成分析を行うにあたり，ご指導いただいた宮崎大学農学部応用生物科学科准教授の河原聡博士に感謝の意を表します。

本研究の遂行に当たって，いかなる状況においても飼養試験に関する飼料調製および家畜管理について多大なご努力とご協力をいただいた宮崎県畜産試験場酪農飼料部主査の恒吉吉和氏，鶴田清秀氏，中園締二氏，川野耕次氏，同技術員段

規昭氏，同試験場家畜バイテク部主任主事の成田米光氏（当時，酪農飼料部），同試験場酪農飼料部非常勤職員の松本洋也氏，有村祐二氏，椎村勝正氏，宮田信浩氏，尾野江秋三氏，別府純朗氏，中鶴幸蔵氏，金丸大氏，新竹勇太氏，同部日々雇用職員の松山哲也氏，同試験場肉用牛部非常勤職員の片野坂孝寛氏（当時，酪農飼料部），同試験場家畜バイテク部非常勤職員の谷山智昭氏（当時，酪農飼料部），元非常勤職員の池島一郎氏，出水康政氏に深く感謝の意を表します。また，膨大な実験試料の分析に惜しみないご尽力をいただいた同部日々雇用職員の西村千草氏，元日々雇用職員の山菅キヨ子氏，山下和子氏に深く感謝いたします。

引用文献

- Abe A, Horii S, Kameoka K. 1979. Application of enzymatic analysis with glucoamylase, pronase and cellulase to various feeds for cattle. *Journal of Animal Science* 48, 1483-1490.
- Abe A. 2007. Estimation of nutritive value and dry matter intake of forage. *Animal Science Journal* 78, 211-217.
- 阿部 亮. 2009. 飼料構造論(5)-酪農と TMR センター-. 畜産の研究 63, 1157-1161.
- Aldrich JM, Muller LD, Varga GA. 1993. Nonstructural carbohydrate and protein effects on rumen fermentation, nutrient flow, and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 76, 1091-1105.
- 甘利雅弘, 梅田剛利, 上田宏一郎, 柁木茂彦, 寺田文典, 阿部 亮. 2000. 乳牛におけるイタリアンライグラスロールベールラップサイレージの自由摂取量と飼料成分, 第一胃内滞留時間, 消化率, 消化速度との関係. *Grassland Science* 46, 254-260.
- 甘利雅弘, 森 登, 新宮博行, 柁木茂彦, 阿部 亮. 1998. 乳牛におけるチモシー乾草の自由採食量と飼料組成, 第一胃滞留時間, 消化率, 消化速度との関係. *Grassland Science* 44, 248-254.
- Association of official analytical chemists (AOAC). 2005. AOAC official method 2002.04. Official methods of analysis of AOAC international, 18th edn. AOAC International, Maryland.
- 安宅一夫 (1986) サイレージ添加物. サイレージバイブル (高野信雄・安宅一夫監修). 酪農学園出版部, 北海道, p47-51.

Bach A, Calsamiglia S, Stern MD. 2005. Nitrogen metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science* 88, E9-E21.

額爾敦巴雅爾，西田武弘，細田謙次，塩谷 繁． 2004．ウシにおける緑茶飲料製造残渣サイレージの栄養価ならびに窒素出納に及ぼすエチレングルコース添加の影響．日本畜産学会報 75， 559-566．

額爾敦巴雅爾，西田武弘，松山裕城，細田謙次、塩谷 繁． 2005．緑茶飲料残渣サイレージの給与水準の違いが採食量および乳生産に及ぼす影響．日本畜産学会報 76， 295-301．

額爾敦巴雅爾，西田武弘，松山裕城，細田謙次，塩谷 繁，野中和久，山田明央． 2007a．緑茶飲料残渣サイレージ混合 TMR の泌乳牛における嗜好性に及ぼす主体粗飼料の影響．日本草地学会誌 52， 232-236．

額爾敦巴雅爾，西田武弘，松山裕城，細田謙次，塩谷 繁，徐 春城，野中和久，山田明央． 2007b．緑茶飲料食品残渣含有発酵 TMR の発酵品質および乾乳牛における嗜好性．日本草地学会誌 53， 31-33．

Cao Y, Cai Y, Takahashi T, Yoshida N, Tohno M, Uegaki R, Nonaka K, Terada F. 2011. Effect of lactic acid bacteria inoculant and beet pulp addition on fermentation characteristics and in vitro ruminal digestion of vegetable residue silage. *Journal of Dairy Science* 94, 3902-3912.

Castillo AR, Kebreab E, Beever DE, Barbi JH, Sutton JD, Kirby HC, France J. 2001. The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets, *Journal of Animal Science* 79, 247-253.

- Chin SF, Liu W, Storkson M, Ha YL Pariza MW. 1992. Dietary sources of conjugated dienoic acid isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens. *Journal of Food Composition and Analysis* 5, 185-197.
- Clark JH, Murphy MR, Crooker BA. 1987. Supplying the protein needs of dairy cattle from by-product feeds. *Journal of Dairy Science* 70, 1092-1109.
- Coppock CE. 1987. Supplying the energy and fiber needs of dairy cows from alternate feed sources. *Journal of Dairy Science* 70, 1110-1119.
- Dewar WA, McDonald P, Whittenbury. 1963. The hydrolysis of grass hemicellulose during ensilage. *Journal of the Science of food and Agriculture* 14, 411-417.
- 永西 修, 吉岡 勉, 中島一喜, 佐伯真魚, 川島知之. 2004. カボチャならびにニンジンジュース粕の反芻家畜用飼料としての特性. *日本草地学会誌* 50, 360-365.
- Givens DI, Rulquin H. 2004. Utilisation by ruminants of nitrogen compounds in silage-based diets. *Animal Feed Science and Technology* 114, 1-18.
- Grovum WL, Williams VJ. 1973. Rate of passage of digesta in sheep. 4. Passage of marker through the alimentary tract and biological relevance of rate-constants derived from the changes in concentration of marker in feces. *British Journal of Nutrition* 30, 313-329.
- 服部育男, 佐藤健次, 小林良次, 只野克紀, 上村慶次, 小原信孝, 伊藤尚勝. 2006. フレール型ロールベアラで収穫したイネ科飼料作物サイレージの発酵品質. *日本草地学会誌* 52, 161-165.
- 服部育男, 鈴木知之, 神谷 充, 佐藤健次, 加藤直樹. 2010. 焼酎粕濃縮液の混合が発酵 TMR の発酵品質と乾物回収率に及ぼす影響. *日本草地学会誌* 55, 297-301.

- 林 国興，大谷敬亨，上野倫睦，濱元 優，大塚 彰，吉永美和，中川一朗．2003．乳牛飼料ならびにサイレージ添加物としての固液分離甘藷焼酎粕の利用．西日本畜産学会会報 46，35-37．
- 林 国興，前田真希，北原和弥，田子山徹，大塚 彰．2009．焼酎粕上清濃縮液給与によるブロイラーの生産性および肉質の改善．日本畜産学会報 80，35-39．
- 林 国興．2012．焼酎粕の飼料利用．日本暖地畜産学会報 55，101-107．
- Herrera-Saldana R, Gomez-Alarcon R, Torabi M, Huber JT. 1990. Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein synthesis. *Journal of Dairy Science* 73, 142-148.
- 廣瀬 大介．2010．焼酎もろみ粕より製造した有機質肥料がオムギの収量と品質に及ぼす影響．日本作物学会紀事 79，130-136．
- 堀口健一，高橋敏能，萱場猛夫，笹原健夫．1992．V字葉型水稻と他の飼料作物のホールクロップサイレージにおける栄養価の比較．日本草地学会誌 38，242-245．
- Hristov AN, Etter RP, Ripp JK, Grande KL. 2004. Effect of dietary crude protein level and degradability on ruminal fermentation and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *Journal of Animal Science* 82, 3219-3229.
- Hungete RE. 1996. *The Rumen and its Microbes*. Academic Press. New York and London, 281-330.
- 井出忠彦．2002．乳牛の TMR におけるトウフ粕の給与．*Grassland Science* 48，73-77．

- 家木 一，永西 修，中島一喜，村上恭彦，佐伯真魚，川島知之． 2006． ケールジュース粕の第一胃内分解特性と栄養価． 日本畜産学会報 77， 215-224．
- 家木 一，小池正充，藤岡一彦． 2010． モウソウチク (*Phyllostachys pubescens*)とトウフ粕および醤油粕混合ペレットの飼料特性と乳牛への給与． 日本草地学会誌 56， 34-38．
- 今井明夫． 2002． トウフ粕を利用した牛の肥育技術． 日本草地学会誌 48， 78-82．
- 今村幸久，黒木 尚，野崎克弘，白木己歳，上米良壽誕． 2011． 焼酎加工液を用いた土壤病虫害抑止法の開発 抑止効果の要因解明への取り組み - 1． 九州病虫害研究会報 57， 32-37．
- Ishida K, Yani S, Kitagawa M, Oishi K, Hiraoka H, Kumagai H. 2012. Effects of adding food by-products mainly including noodle waste to total mixed ration silage on fermentation quality, feed intake, digestibility, nitrogen utilization and ruminal fermentation in wethers. *Animal Science Journal* 83, 735-742.
- 石渡浩江，宮下泰人，田仲 修． 1993． 粕発酵飼料の給与が乳牛に及ぼす影響，2． 乳牛における発酵飼料の適正給与法に関する試験． 神奈川畜産試験場研究報告 83， 1-5．
- 自給飼料利用研究会（編）． 2009． 三訂版粗飼料の品質評価ガイドブック． 日本草地畜産種子協会，東京， p64-78
- 家畜改良事業団． 2011． 乳用牛群能力検定成績のまとめ-平成23年度-． 乳用牛群検定全国協議会
- 甲斐 諭． 2007． エコフィールドによる地域食品産業の活性化

- と低コスト畜産経営の確立．畜産の情報国内編 217，
18-31.
- 梶川 博．1996．わが国における副産物飼料の利用と特性．
畜産の研究 50，599-605.
- 亀岡暄一（編）．1998．新編 飼料ハンドブック．日本科学
飼料協会，東京，p234.
- 神谷 充，服部育男，常石栄作，上村昌志，日高明生，永濱
誠一，中村好徳，佐藤健次．2010．黒毛和種肥育牛の仕
上げ期における玄米と食品残さの発酵 TMR 給与が飼養
成績、血漿成分、枝肉成績及び肉質に及ぼす影響．日本
畜産学会 81，481-488.
- 加藤泰之，坂井三千治，上田淳一，長瀬正和．1999．食品製
造副産物の給与が泌乳初期の乳生産に及ぼす影響．愛知
県農業総合試験場 31，233-238.
- 河原 聡，目 和典，新見光弘，川村 修，六車三治男．2007．
In vitro でのルーメン微生物による共役リノール酸合成．
宮崎大学農学部研究報告 53 ， 101-106.
- 川村 修，小野寺良次，長谷川信美，片山英美，兼俵由次郎，
新美光弘，稲澤 昭，奥田道緒，横山三千男，増田慶信，
郡 義博．1997．サイレージ調製による焼酎粕の飼料的
利用－そば焼酎粕と稲わらを材料としたサイレージにつ
いて－．宮崎大学農学部研究報告 44，93-97.
- Kay JK, Macle TR, Auld MJ, Thomson NA, Bauman DE. 2004. Endogenous
synthesis of cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid in dairy cow fed fresh pasture.
Journal of Dairy Science 87, 369-378.

- Kelly ML, Berry J, Dwyer DA, Griinari JM, Chouinard PY, Van Amburgh ME, Bauman DE. 1998. Dietary fatty acid sources affect conjugated linoleic acid concentrations in milk from lactating dairy cows. *Journal of Nutrition* 128, 881-885
- 国土交通省. 2008. 海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法令（条文）. 東京. [cited 16 November 2013]. Available from URL : http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/ocean_policy/sosei_ocean_tk_000004.html
- 国税庁. 2010. 統計情報. 東京. [cited 12 October 2012]. Available from URL : http://www.nta.go.jp/kohyo/tokei/kokuzaicho/sake2010/pdf/08_suryo.pdf
- 越塩俊介. 2007. 焼酎粕の養魚飼料への応用. 鹿児島大学水産学部紀要特別号, 61-65.
- 黒木 尚, 今村幸久, 野崎克弘, 白木己歳, 上米良壽誕. 2011. 焼酎加工液を用いた土壌病害虫抑止法の開発 サツマイモネコブセンチュウに対する抑止効果. 九州病害中研究会報 57, 26-31.
- 町田 豊, 加治屋 達, 岡村友幸, 恒吉利彦, 黒江秀雄, 池田利徳, 樋渡隆. 1993. 地域未利用飼料資源の飼料化確立試験. 鹿児島県畜産試験場研究報告 25, 102-105.
- 増子孝義, 岡元英樹, 王 鵬, 相馬幸作. 2009. 高品質牧草サイレージ調製の取組み. 日本草地学会誌 55, 56-68.
- 松本順子, 石橋 晃. 2009. 飼料学 (60) -ムギ類-. 畜産の研究 63, 1013-1019.
- 松岡 栄, Nguyen HV, 石井 篤, 河合正人. 2008. 牧草サイレージおよび乾草調製による窒素画分割合と第一胃内窒素分解率の変化がめん羊の窒素出納に及ぼす影響. 日

本草地学会誌 54, 24-30.

McDonald P, Henderson AR, Heron SJE. 1995. サイレージの生化学 (内田仙二・大島光昭監修). デーリィ・ジャパン, 東京. P74, 82

Miyaji M, Matsuyama H, Hosoda K, Nonaka K. 2012. Effect of replacing corn with brown rice grain in a total mixed ration silage on milk production, ruminal fermentation and nitrogen balance in lactation dairy cows. *Animal Science Journal* 83, 585-593.

宮崎陽子, 濱本 修, 西岡俊一郎. 2008. 省エネ・高付加価値型焼酎粕飼料化システムの構築. 三井造船技報 193, 30-35.

宮崎県. 2013. 宮崎の畜産. 宮崎県農政水産部畜産課, 宮崎.
水谷政美, 高山清子, 山本英樹, 越智 洋, 加藤 聡, 黒木邦彦. 2011. 焼酎粕の乳酸発酵による飼料化. 日本醸造協会誌 6, 785-790.

Morgan CA, Eswards RA, McDonald P. 1980. Intake and metabolism studies with fresh and wilted silages. *Journal of Agriculture Science Cambridge* 94, 287-298.

守谷直子, 石川哲也, 蔡 義民, 吉田宣夫. 2008. 飼料イネ専用収穫機で調製したコムギホールクロップサイレージの発酵品質. 日本草地学会誌 54, 144-147.

Nadeau EM, Russell JR, Buxton DR. 2000. Intake, digestibility, and composition of orchardgrass and alfalfa silages treated with cellulase, inoculant, and formic acid fed to lambs. *Journal of Animal Science* 78, 2980-2989.

中井文徳, 平嶋善典, 上田宏一郎, アグン プルノモアディ, 樋口浩二, 永西 修, 寺田文典. 1999. 飼料タンパク質

- の分解率の違いが泌乳牛の窒素およびエネルギー出納に及ぼす影響．日本畜産学会報 70, J390-J396.
- 名久井 忠，柁木茂彦，栗飯原 友子，箭原信男，高井慎二．
1988．稲ホールクロップサイレージの調製と飼料価値の評価．東北農業試験場研究報告 78, 161-174.
- Nation Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th Revised Edition. National Academy Press, Washington DC, p1-381.
- Nguyen HV, Kawai M, Takahashi J, Matsuoka S. 2004. Change in nitrogen fraction and rumen degradability of orchardgrass and alfalfa during the ensiling process and the subsequent effects on nitrogen utilisation by sheep. Asian-Australasian Journal of Animal science 17, 1524-1528.
- 日本草地学会（編）．2008．草地学用語辞典．全国農村教育協会．東京． p25.
- 西村慶子，東 政則，中原高士，永西 修．2011．異なる粗飼料に焼酎粕ケーキを添加した焼酎粕粗飼料混合サイレージの飼料成分と発酵品質．日本草地学会誌 57, 86-90.
- 西村慶子，中原高士，永西 修，中西良孝．（印刷中）．水分含量の異なる牧草サイレージと飼料用米の配合が発酵 TMR の発酵品質ならびにタンパク質画分に及ぼす影響．日本草地学会誌
- 西野直樹，原田宏明，坂口 英．2001．高水分粕類のサイレージ化と利用（その1）3．ビール粕と発泡酒粕から調製したサイレージの発酵特性．日本草地学会誌 47, 318-322.
- Nishino N, Wada H, Yoshida M, Shiota H. 2004. Microbial counts, fermentation products, and aerobic stability of whole crop corn and a total mixed ration ensiled

- with and without inoculation of *Lactobacillus casei* or *Lactobacillus buchneri*.
Journal of Dairy Science 87, 2563-2570.
- 丹羽美次．2001．高水分粕類のサイレージ化と利用（その 1）
4．トウフ粕のサイレージ化とその利用．日本草地学会誌
47， 323-326．
- Nocek JE, Russell JB. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of
ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk
production. *Journal of Dairy Science* 71, 2070-2107.
- 農林水産省生産局畜産部畜産振興課消費・安全局畜水産安全管理課．2013．飼料をめぐる情勢．平成 25 年 6 月．
（独）農業・食品産業技術総合研究機構（編）．2006．日本
飼養標準・乳牛（2006 年度版）．中央畜産会，東京，p1-205．
（独）農業・食品産業技術総合研究機構（編）．2009．日本
標準飼料成分表（2009 年版）．中央畜産会，東京，p90-91．
- 小原嘉昭．1997．第 2 章 代謝の生理 第 1 節 栄養素の代
謝 2．窒素化合物．新乳牛の科学（津田恒之監修・柴田
章夫編），農文協，東京．P132-143．
- Okine A, Yimamu A, Hanada M, Izumita M, Zunong M, Okamoto M. 2007. Ensiling
characteristics of daikon(*Raphanus sativus*) by-product and its potential as an
animal feed resource. *Animal Feed Science Technology* 136, 248-264.
- 逢坂憲政．2001．高水分粕類のサイレージ化と利用（その 1）
5．リンゴジュース粕のサイレージ化と利用．日本草地学
会誌 47， 327-331．
- 大谷文博，田鎖直澄，上野孝志．2001．飼料への易発酵性炭
水化物の添加が乳牛の糞尿窒素排泄量に及ぼす影響．日

本畜産学会報 72, J239-J246.

大塚 舞, 大森英之, 田島 清, 川島知之. 2007. ギ酸添加による甘シヨ焼酎粕の保存性改善. 日本畜産学会報 78, 349-354.

大山嘉信, 柁木茂彦. 1968. サイレージ発酵に影響する諸要因に関する研究. III. 材料の水分含量, 詰込み密度およびサイロ内の気体の置換の影響. 日本畜産学会報 39, 168-174.

Oshea M, Lawless C, Stanton C, Devery R. 1998. Conjugated linoleic acid in bovine milk fat: a food-based approach to cancer chemoprevention. Trends in Food Science and Technology 9, 192-196.

押尾秀一, 安藤 貞, 石田元彦. 1996. 咀嚼行動に基づく粗飼料の物理的特性評価法の開発. 草地飼料作物研究所成果最新情報第 11 号, 67-68.

Purnomoadi A, Higuchi K, Nomachi T, Fukumoto Y, Nonaka I, Enishi O, Terada F. 2002. Changes in microbial nitrogen synthesis in the rumen of lactating Holstein cows by exposure to hot condition. Bulletin of National Institute of Livestock and Grassland Science 1, 33-40.

Rode LM, Satter LD. 1988. Effect of amount and length of alfalfa hay in diets containing barley or corn on site of digestion and rumen microbial protein synthesis in dairy cows. Canadian Journal Animal Science 68, 445-454.

Rook AJ, Gill M. 1990. Prediction of the voluntary intake of grass silages by beef cattle 1. Linear regression analyses. Animal Production 50, 425-438.

蔡 義民, 増田信義, 藤田泰仁, 河本英憲, 安藤 貞. 2001. 緑茶飲料残さの飼料調製. 日本畜産学会報 72, J536-J541.

Sannes RA, Messman MA, Vagnoni DB. 2002. From of rumen-degradable carbohydrate and nitrogen on microbial protein synthesis and protein efficiency of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 85, 900-908.

佐藤節郎．2012a．我が国の水田における飼料作物生産の動向と展望．*日本草地学会誌* 58, 30-31.

佐藤節郎．2012b．我が国の飼料イネ・飼料麦の二毛作体系の普及に向けた技術的な展望．*日本草地学会誌* 58, 43-47.

関 誠，木村容子，砂長伸司，室井章一，古賀照章，石崎重信，斉藤公一，清水景子，加藤泰之，内田哲二，寺田文典．2000．製造副産物等を利用した TMR の給与が泌乳初期乳生産に及ぼす影響．*栄養生理研究会報* 44, 141-154.

塩谷 繁．2006．今の乳牛の栄養代謝機能と求められる栄養管理．*臨床獣医* 24, 19-23.

塩谷 繁．2007．発酵 TMR の飼料特性と利用の展望．*栄養生理研究会報* 51, 1-5.

塩谷 繁．2008．自給飼料を活用した TMR センターの展望．*日本草誌学会誌* 54, 178-181.

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, 1-5.

白井淳資．2002．口蹄疫ウイルスに対する市販消毒薬の効果．*日本産業動物獣医学会* 55, 575-579.

志藤博克，山名伸樹．2000．トウモロコシ収穫用カッターイングロールベアラの開発．*農業機械学会誌* 62, 157-159.

Siddons RC, Nolan JV, Beever DE, Macrae JC. 1985. Nitrogen digestion and metabolism in sheep consuming diets containing contrasting forms and levels of

N. British Journal of Nutrition 54, 175-187.

Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. Journal of Animal Science 70, 3562-3577.

曹 陽，堀口健一，高橋敏能．2009．食品残渣と乳酸菌の利用が飼料イネ TMR サイレージの発酵品質改善ならびに *in vitro* による乾物消化率およびメタンと揮発性脂肪酸性背に及ぼす影響．日本草地学会誌 55，1-8．

Sudweeks EM, Ely LO, Mertens DR, Sisk LD. 1981. Assessing minimum amounts and form of roughage in ruminant diets: Roughage value index system. Journal of Animal Science 53, 1406-1411.

須藤 立，堀口健一，高橋敏能，豊川好司．2007．緑茶飲料残さの配合割合と水分含量が TMR サイレージの発酵品質と *in situ* 消化率に及ぼす影響．日本草地学会誌 53，127-132．

鈴木知之，神谷裕子，田中正仁，服部育男，佐藤健次．2010a．大豆粕の米焼酎粕濃縮液への置き換えが乳牛の乳生産成績に及ぼす影響．日本畜産学会報 81，443-448．

鈴木知之，神谷裕子，田中正仁，服部育男，野中最子，佐藤健次．2010b．カンショ焼酎粕濃縮液を添加した発酵 TMR の発酵品質と乳牛における乳生産成績への影響．日本畜産学会報 81，449-456．

田川伸一，堀口健一，吉田宣夫，高橋敏能．2011．リードカナリーグラス (*Phalaris arundinacea L.*) 発酵 TMR の発酵品質に及ぼすミカンジュース粕，トウフ粕，トウモロコシジ

- スチラーズグレインソリュブルおよび酵素の利用の影響.
日本草地学会誌 57, 7-12.
- Tamminga S. 1996. A review in environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. *Journal of Animal Science* 74, 3112-3124.
- 田中桂一. 2002. ルーメン内共役リノール酸 (CLA) 生成と乳製品および牛肉中 CLA 含量. *畜産の研究* 56, 1195-1201.
- (独) 統計センター. 2013. 農業経営統計調査. (独) 統計センター. 東京. [cited 4 November 2013]. Available from URL http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&listID=000001108729&requestSender=dsearch
- 土屋一成, 住吉 正, 古畑昌巳. 2008. サツマイモ焼酎蒸留粕濃縮液の施用が水稻「ヒノヒカリ」の生育・収量・品質に及ぼす影響. *日本作物学会九州支部会報* 74, 1-5.
- 津田恒之, 小原嘉昭, 加藤和雄. 2004. 第二次改訂増補 家畜生理学. 229-230. 養賢堂, 東京.
- 榎村恭子. 2008. 放牧飼養で生産される牛乳中の共役リノール酸濃度. *畜産技術* (5), p2-4.
- 水流正裕, 百瀬義男, 高井智之, 中山利明, 渡辺晴彦. 2009. フレール型収穫機で収穫・調製したイタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) およびライムギ (*Sacale cereale* L.) のロールベールサイレージ品質. *日本草地学会誌* 54, 295-299.
- 浦川修司, 吉村雄志. 2003a. 飼料イネ用カッティングロールベラの開発. *日本草地学会誌* 49, 43-48.
- 浦川修司, 吉村雄志, 山本泰也, 小出 勇. 2003b. 飼料イネ

用ロールベアラのライムギ (*Secale cereale* L.) , オオムギ (*Hordeum vulgare* L.) , ライコムギ (*Triticum so. X Secale sp.*) への適応性. 日本草地学会誌 49, 510-512.

浦川修司. 2010. 穀類等高栄養自給飼料生産の展開と展望. 日本草地学会誌 55, 360-364.

Vagnoni DB, Broderick GA. 1997. Effects of supplementation of energy or ruminally undegraded protein to lactation cows fed alfalfa hay or silage. *Journal of Dairy Science* 80, 1703-1712.

Van Soest PJ. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press, New York, p230-248.

Wang F, Nishino N. 2008. Ensiling of soybean curd residue and wet brewers grains with or without other feeds as a total mixed ration. *Journal of Dairy Science* 91, 2380-2387.

徐 春城, 蔡 義民・喜田環樹・松尾守展・河本英憲・村井勝. 2004. 緑茶残さ TMR サイレージの調製, 発酵品質および栄養価. *Grassland science* 50, 40-46.

徐 春城, 豊川好司. 2005. 青森県に産出されるりんごジュース粕およびトウフ粕の飼料特性とその利用. 日本草地学会誌 51, 220-225.

Yahaya MS, Kimura A, Harai J, Nguyen HV, Kawai M, Takahashi J, Matsuoka S. 2001. Evaluation of structural carbohydrates losses and digestibility in alfalfa and orchardgrass during ensiling 1. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 14, 1701-1704.

Yahaya MS, Kawai M, Takahashi J, Matsuoka S. 2002. The effects of different moisture content and ensiling time on silo degradation of structural carbohydrate

- of carbohydrate of orchardgrass. Asian-Australian Journal of Animal Science 15, 213-217.
- 山本泰也. 2002. 牛の尿量および尿中諸成分排泄量を推定するインデックスとしてのクレアチニンの有効性について. 三重県農業技術研究所農業技術短報, 54: 8.
- 山内 清, 河原 聡, 竹之山慎一. 2003. 共役リノール酸に関する研究動向. ミルクサイエンス 52, 17-31.
- 横山 学, 椿 満生, 浅岡壮平, 梅田剛利, 古賀康弘. 2008. 乾燥カンショを含む TMR の給与が泌乳牛の乾物摂取量, 第一胃内性状および泌乳成績に及ぼす影響. 日本草地学会誌 54, 148-152.
- 横山 学, 馬場武士, 太田 剛, 平井一樹. 2009. 麦焼酎粕濃縮液を混合した TMR サイレージの発酵品質および乾乳牛の嗜好性. 福岡県農業総合試験場研究報告 28, 1-7.
- 吉田 実, 阿部猛夫. 1984. 畜産における統計的方法 (第二版). 中央畜産会, 東京, p87-94
- 吉田宣夫, 富田道則, 武政安一, 高橋哲二. 1987. 飼料用稲のホールクロップ利用技術に関する研究. 1. 飼料用稲の調製方法と貯蔵性の関係. 日本草地学会誌 33, 109-115.
- Young EG, Conway CF. 1942. On the estimation of allantoin by the Rimini-sc-hryver reaction. Journal of Biological Chemistry 142, 839-853.
- Zhang JG, Kumai S, Fukumi R, Hattori I, Kono T. 1997. Effects of additives of lactic acid bacteria and cellulases on the fermentation quality and chemical composition of naked barley (*Hordeum vulgare* L. emand Lam) straw silage. Grassland Science 43, 88-94.