

飼料用米，稲わらおよびビール粕を利用した国産飼料原料による ワカメ発酵混合飼料の調製方法の開発

田川伸一^{1,*}・大竹秀男²・金藤克也³・松山裕城⁴・堀口健一⁴

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

² 宮城大学食産業学群，宮城県仙台市太白区旗立 2 丁目 2 番 1 号 〒 982-0215

³ 一般社団法人さとうみファーム，宮城県本吉郡南三陸町歌津町向 22 〒 988-0452

⁴ 山形大学農学部，山形県鶴岡市若葉町 1-23 〒 997-8555

2019 年 6 月 13 日受付，2020 年 11 月 10 日受理

要 約

ワカメ発酵混合飼料 (TMR) の発酵品質および化学組成に及ぼす国産飼料原料の混合割合と乳酸菌の添加の影響を調査し，国産の飼料原料を用いた場合も輸入の飼料原料を使った場合と同等の飼料価値があるかを検討した。試験区として，ワカメの割合を原物で 50%，稲わら 20% に固定し，配合飼料を 30% 加えた区 (配合飼料区)，飼料用米 30% (米 30 区)，飼料用米 20%，ビール粕 10% (米 20 区)，飼料用米 10%，ビール粕 20% (米 10 区)，ビール粕 30% (米 0 区) の 5 処理区と，対照区としてワカメの割合を原物で 50%，チモシー乾草を 20%，配合飼料を 30% 加えた区を設けた。また，これらに乳酸菌添加および無添加の区を設けた。ワカメ発酵 TMR は，パウチ法により調製し，室温で貯蔵した。ワカメ発酵 TMR の水分含量は 50.2 から 53.2% の範囲であった。pH は，乳酸菌無添加区の米 30 区で 4.5 と高かったものの，それ以外のは 4.0 から 4.1 であったのに対し，乳酸菌添加区では 3.8 から 4.0 で，乳酸菌の添加効果が認められた。これらの結果から，国産飼料の利用を考慮した場合，米 20 区は対照区と同等の良質なワカメ発酵 TMR が調製でき，さらに乳酸菌を添加することにより発酵品質の向上が図れることが明らかとなった。

キーワード：化学組成，国産飼料，飼料用米，発酵品質，ワカメ発酵 TMR

東北畜産学会報 70 (2): 28 ~ 36 2021

緒 言

褐藻綱 (*Phaeophyceae*) コンブ目 (*Laminariales*) チガイソ科 (*Alariaceae*) のワカメ (*Undaria pinnatifida*) は，岩手，宮城が全国 1 位，2 位の生産量を誇る (総務省統計局，2018)。これらのワカメは塩蔵ワカメとしての利用とめかぶとしての利用とに分けられるが，収穫されたワカメの約 60% は破棄されている (藤井と伊永，2000)。ワカメは塩分が多いため家畜の飼料としての利用事例は少ない

が，塩分の多い飼料で生産されているプレ・サレヤソルトブッシュラムのようなブランド羊肉がある (Pearce ら，2010)。東日本大震災から約 1 年後，その復興および地域の産業活性化の一助となるよう，プレ・サレヤソルトブッシュラムのようなブランド羊肉生産を目指して，科学技術振興機構復興促進センターによる復興促進プログラム (マッチング促進) の可能性試験「被災地環境を生かしたブランド羊肉の創製」が立ち上げられた。ワカメの収穫期は 3 月から 5 月に集中するため，1 年を通じて供給するための保存方法について検討を開始した。ワカメは腐りやすいので，乾燥とサイレージでの利用を模索し，コスト面からサイレージ利用が有望と考

* 連絡者：田川伸一 (たがわ しんいち)
E-mail: shinichi.tagawa@gmail.com

え、ワカメとそれ以外の飼料の混合割合について検討してきた（田川ら，2018）。また，塩分が多いことから，供給量とヒツジへの影響についても検討してきた。サイレージの結果については，第1報として田川ら（2018）がワカメ，チモシー乾草，配合飼料および稲わらを混合してワカメサイレージを調製し，水分50%程度の良質な発酵品質のサイレージが調製されることを報告した。

農業白書（農林水産省，2018）は，輸入飼料に過度に依存した畜産から国産飼料生産基盤に立脚した畜産に転換すると述べている。しかし，田川ら（2018）の実験で用いたチモシー乾草および配合飼料の原料の大部分は輸入飼料であった。近年，飼料用米の作付面積は拡大し，2016年には91,169 haであった（農林水産省，2017）。東北地方の青森県（3位），宮城県（4位）および福島県（5位）は飼料用米の作付面積の上位5県に挙げられており（農林水産省，2017），東北地方が飼料用米の生産が盛んであるといえる。ゆえに，東北地方でワカメサイレージの原料として飼料用米を用いること，また，その原料としてビール粕等の食品製造残さを用いることも飼料自給率の向上には重要である。

しかし，輸入チモシー乾草を稲わらに，そして配合飼料を飼料用米に置き換えた場合には，材料が異なるためその化学組成が発酵品質に影響することが考えられるため，国産の稲わら，飼料用米およびビール粕を供して，発酵混合飼料（Total mixed ration, TMR）を調製し，化学組成と発酵品質を調査する必要がある。そして，その発酵品質に及ぼす乳酸菌製剤の影響を調査することは重要である。また，これまでワカメと同じコンブ目のアイヌワカメ（*Alaria esculenta*）の反芻家畜による *in vitro* および *in situ* 消失率が報告された（Tayyabら，2016；Molina-Alcaideら，2017）。しかし，ワカメのヒツジによる消化性に関する報告は少なく，ワカメ発酵 TMR のヒツジによる消化性を調査することも重要である。本試験ではワカメ発酵 TMR をヒツジに供した試験を行うことができなかったため，モデル動物として黒毛和種雌牛を用いて試験を行った。

そこで，本報告では，前報（田川ら，2018）を参考に

チモシー乾草の代替として稲わらを，配合飼料の代替として飼料用米とビール粕を用い，また，乳酸菌製剤を添加してワカメ発酵 TMR を調製して，発酵品質および化学組成を調査し，国産の飼料原料を用いた場合も，輸入の飼料原料を使った場合と同等の飼料価値があるかを検討した。さらに，この *in situ* 乾物消失率（*in situ* dry matter degradability, ISDMD）を調査した。

材料および方法

1. ワカメ発酵 TMR の調製

ワカメ発酵 TMR 調製には，2017年4月18日の朝に宮城県南三陸町寄木漁港で水揚げされ，めかぶを取った残りの茎ワカメ（以下ワカメと称す）を即日約1 cm に細切したワカメ，約1 cm に細切した稲わら（品種つや姫，宮城県産），ロール粉碎された飼料用米（品種まなむすめ，宮城県産），ビール粕（アニマルフィード株，千葉），チモシー乾草（カナダ産），配合飼料（商品名：ばく麦無添加，清水港飼料株，宮城県）および乳酸菌製剤（商品名：畜草1号プラス，雪印種苗株，北海道）を供試した。なお，配合飼料の原料は，トウモロコシ，大麦およびマイロを合わせて66%，ふすま，およびコーングルテンフィードを合わせて26%，大豆油かす7%，炭酸カルシウムと食塩を合わせて1%であった。

ワカメ発酵 TMR の原料の混合割合を表1に示した。すなわち，試験区として，現物でワカメ50%，稲わら20%を一定にして，配合飼料を30%加えた区（配合飼料区），飼料用米を30%加えた区（米30区），飼料用米を20%とビール粕を10%加えた区（米20区），飼料用米を10%とビール粕を20%加えた区（米10区），およびビール粕のみ30%を加えた区（米0区）の5処理区を設けた。また，対照区として，ワカメ50%，チモシー乾草20%，配合飼料を30%加えた区を設けた。さらに，これらの処理区に，乳酸菌を添加する区と添加しない区の2処理区を設けた（乳酸菌添加区，乳酸菌無添加区）。

ワカメ発酵 TMR は，各原料を全体で420 g になるよ

表1. ワカメ発酵 TMR の原料の混合割合

(原物%)	対照区	配合飼料区	米30区	米20区	米10区	米0区
ワカメ	50	50	50	50	50	50
稲わら		20	20	20	20	20
チモシー乾草	20					
飼料用米			30	20	10	
ビール粕				10	20	30
配合飼料	30	30				

TMR：混合飼料。

うに計量してよく混ぜ、パウチ法（田中と大桃，1995）により調製し、室温で保存し、2か月後に開封した。乳酸菌は、1%の乳酸菌製剤の水溶液を作り、乳酸菌添加区の各区に対し1 mlを添加した。乳酸菌無添加区には何も添加しなかった。なお、ワカメ発酵TMRは6反復で調製し、3サンプルは分析に供し、3サンプルはルーメン内培養試験に用いた。

2. ルーメン内培養試験

ルーメン内培養試験は、山形大学動物実験規程に基づき、ルーメンフィステルを装着した黒毛和種雌牛1頭（個体識別番号1040966127，月齢152か月齢，体重588 kg）を用いて実施した。供試牛には、山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター（鶴岡市）産のリードカナリーグラス乾草と市販配合飼料（商品名：和牛繁殖用，清水港飼料㈱，石巻市）を8：2で給与した。試験は2018年2月19日から3月4日が馴致期，3月5日から6日が本試験期とした。調査は、粗飼料の品質評価ガイドブック（自給飼料利用研究会，2009）に準じて行った。すなわち，培養試験に用いた試料は，調製したワカメ発酵TMRを75℃の通風乾燥機で一昼夜乾燥して，2 mmのスクリーンを通過する程度に粉碎した。なお，サンプルの乾燥温度は，粗飼料の品質評価ガイドブック（自給飼料利用研究会，2009）で60℃以下になっているがワカメの水分が高かったことから乾燥を確実にするため75℃とした。また，粉碎時のスクリーンはマッシュの形状の濃厚飼料やロール粉碎された飼料用米が含まれていたため2 mmのスクリーンを選択した。この試料約5 gを詰め込んだナイロンバック（100 × 200 mm，280 メッシュ，目開き 53 μm，三紳工業㈱，横浜市）を供試牛のルーメン内に投入し，6および12時間の培養後に取り出して残存乾物量を定量した。培養後の試料が入ったナイロンバックは，ルーメン内から取り出した後，速やかに氷水に浸して微生物の活動を停止させ，家庭用洗濯機を用いて注水洗浄を行った。その後，60℃の通風乾燥機内で48時間乾燥した。なお，培養時間毎にナイロンバックの投入数を2袋とし，供試牛が1頭であったため，培養試験は2回反復した（4反復）。したがって，反復の回数数が2回であったことから *in situ* 法で得られたデータから飼料の分解特性を算出するモデルには当てはめず，得られた消失率を参考値として扱うこととした。

3. 化学分析

ワカメ発酵TMRの原料とワカメ発酵TMRのサンプルは，一般成分（粗たん白質（Crude protein, CP），粗脂肪および粗灰分）， α -アミラーゼ処理中性デタージェント繊維（Neutral detergent fiber, aNDFom），酸性デタージェント繊維（Acid detergent fiber, ADFom），酸性デタージェントリグニン（Acid detergent lignin, ADL），およびミネラル（カルシウム，リン，マグネシウム，ナトリウム，鉄，マンガン，銅，および亜鉛）を分析した。ワカメ発酵TMRの原料は，前述の分析項目の他に，水分，細胞内容物（Organic cellular content, OCC），細胞壁物質（Organic cell wall, OCW），およびミネラルのカリウムを分析した。また，ワカメ発酵TMRの発酵品質は，水分，pH，乳酸，酢酸，プロピオン酸，酪酸，およびアンモニア態窒素（Volatile basic nitrogen, VBN）を分析した。これらの分析は，粗飼料の品質評価ガイドブック（自給飼料利用研究会，2009）に準じて行った。なお，aNDFom，およびADFomは，飼料分析基準（農林水産消費安全技術センター，2008）に準じて分析した。分析結果より，非繊維性炭水化物（Non-fiberous carbohydrate, NFC）とテタニー比を計算し，全窒素（Total nitrogen, TN）中のVBNの割合（VBN/TN），およびVスコアを計算した。分析は十勝農業協同組合連合会 農産化学研究所（帯広市）に依頼して行った。

4. 統計処理

統計処理は，SAS University edition（SAS Institute Japan，東京）のGLMプロシジャを用いて，乳酸菌添加と原料混合割合を要因とする二元配置の分散分析を行った。すなわち，乳酸菌添加，原料混合割合およびそれらの交互作用の有意差検定を行った。神園ら（2020）を参考に，交互作用に有意差（ $P < 0.05$ ）が認められた場合は，全ての組み合わせに対してTukey法による多重比較を行った。また，交互作用に有意差がなく，混合割合に有意差があった場合は，混合割合のみの多重比較を行った。

なお，ルーメン内培養試験のデータは試験の反復2回で，1回のナイロンバック試験で投入するナイロンバックは2バックであったので，傾向を掴む参考データとして取り扱った。ルーメン内培養試験において欠損値がであった場合は平均値代入法によりデータを補填した。

結果および考察

1. ワカメ発酵 TMR 調製に供した原料の化学組成

ワカメ発酵 TMR の調製に用いた原料の化学組成を表 2 に示した。ワカメの水分含量は 89.2% であった。これに対し、チモシー乾草、稲わら、配合飼料、飼料用米およびビール粕はワカメに比べて水分含量は低く、ワカメ以外の原料は近い値を示した。乾物中の CP 含量は、ビール粕の 28.2% が最も高く、次いで配合飼料の 15.1%、チモシー乾草の 8.6%、飼料用米の 8.1%、ワカメの 5.3%、稲わらの 4.0% の順であった。このワカメの CP 含量は、田川ら (2018) の 11.1% と比較して低かった。粗脂肪含量は、ビール粕の 9.6% が最も高く、配合飼料、飼料用米、稲わら、チモシー乾草およびワカメはビール粕の半分以下であった。粗灰分含量はワカメの 51.3% が最も高く、粗灰分の内、ワカメに含まれるナトリウム含量 (乾物中 3.47%) とカリウム含量 (7.49%) は他の原料に比べて極端に高い値を示したのに対し、亜鉛含量 (9.33 ppm) は低い値を示した。ワカメに含まれるナトリウム含量は 3.47% で田川ら (2018) のワカメの 5.29% と比べて低かった。ビール粕の銅含量は他の原料に比べて著しく高く、24.28 ppm であった。NFC 含量は、飼料用米の 85.9% が最も高く、次いで配合飼料の 56.9% で、ワカ

メ、チモシー乾草、稲わらおよびビール粕は飼料用米の半分以下であった。OCW と aNDF 含量の差はペクチン、β グルカンおよびガラクトタンを示す (農業・食品産業技術総合研究機構, 2017) ことから、各原料の OCW と aNDFom 含量の差についてみると、ワカメは 5.6%、稲わらは 5.1% であったのに対し、ビール粕は 3.8%、飼料用米は 3.7%、チモシー乾草は 1.1%、配合飼料は 1.2% と少なかった。すなわち、ワカメと稲わらは、ペクチン、β グルカンおよびガラクトタンの量が多いことが示された。

2. ワカメ発酵 TMR の発酵品質に及ぼす原料の混合割合と乳酸菌製剤の添加の影響

ワカメ発酵 TMR の発酵品質に及ぼす原料の混合割合と乳酸菌の添加の影響を表 3 に示した。ワカメ発酵 TMR の水分含量は 50.2 から 53.2% の範囲内であり、水分含量としては適水分域にあった。pH は、対照区と米 20 区はほぼ同じであった。そして、乳酸含量は乳酸菌添加によって有意に高くなり、逆に酢酸含量は低くなった。本試験の結果は籾米を用いた飼料用米サイレージの発酵品質を調査した本谷ら (2015) と同様に乳酸菌添加によって発酵品質が改善された。しかし、名取と細谷 (2011) の報告では、トウモロコシサイレージを用いた乳酸含量は、乳酸菌添加の効果は認められず、今回の結

表 2. ワカメ発酵 TMR の調製に供した原料の化学成分

項目		ワカメ	ビール粕	飼料用米	チモシー乾草	配合飼料	稲わら
水分	原物中%	89.2	8.4	13.4	13.9	13.7	11.7
粗たん白質	乾物中%	5.3	28.2	8.1	8.6	15.1	4.0
粗脂肪	乾物中%	0.5	9.6	2.1	1.4	3.2	1.5
粗灰分	乾物中%	51.3	4.9	1.4	6.5	3.7	15.8
NFC	乾物中%	31.7	7.8	85.9	18.9	56.9	15.4
aNDFom	乾物中%	14.1	62.1	3.4	66.0	23.5	65.3
ADFom	乾物中%	12.4	22.2	2.0	41.1	7.4	38.7
ADL	乾物中%	2.8	2.8	0.7	5.3	1.3	3.2
デンプン	乾物中%	0.0	-	68.3	-	34.7	-
OCC	乾物中%	28.9	29.2	91.4	26.4	71.6	13.8
OCW	乾物中%	19.7	65.9	7.1	67.1	24.7	70.4
カルシウム	乾物中%	1.17	0.40	0.05	0.47	0.26	0.33
リン	乾物中%	0.23	0.79	0.35	0.20	0.54	0.10
マグネシウム	乾物中%	0.51	0.29	0.14	0.20	0.21	0.09
カリウム	乾物中%	7.49	0.13	0.26	1.87	0.83	1.41
ナトリウム	乾物中%	3.47	0.03	0.03	0.03	0.07	0.09
鉄	乾物中 ppm	180.79	304.90	77.14	102.17	153.78	121.90
マンガン	乾物中 ppm	24.74	49.79	24.09	25.26	34.84	343.69
銅	乾物中 ppm	2.20	24.28	4.00	3.99	6.02	1.55
亜鉛	乾物中 ppm	9.33	111.87	22.25	16.68	33.02	25.87
テタニー比		1.90	0.07	0.46	1.20	0.69	1.50

TMR, 混合飼料; NFC, 非繊維性炭水化物; aNDFom, α アミラーゼ処理中性デタージェント繊維; ADFom, 酸性デタージェント繊維; ADL, 酸性デタージェントリグニン; OCC, 細胞内容物; OCW, 細胞壁物質.

果と異なる結果であった。これは、名取と細谷 (2011) の全ての発酵 TMR で水分が 44.0% 以下と少なかったことから、発酵が制限されていたためと考えられた。乳酸含量は pH に大きく影響するが、pH が対照区とほぼ同じであった米 20 区では、乳酸含量は対照区より有意に低い値であった。これは、原料中の乳酸発酵の基質となる水溶性炭水化物の割合によるものと推察されるが、本試験では原料ごとの水溶性炭水化物量を定量しなかったため明らかにはできなかった。プロピオン酸はすべての処理区で検出されなかった。また、酪酸については、米 30% 区の乳酸菌無添加区で 0.3% の産生が認められたが、その他の処理区ではすべて未検出であった。VBN/TN は米 0 区では 0.7% で乳酸菌添加の効果はみられなかった。飼料用米を混合した米 30 区、20 区および 10 区の VBN/TN を比較すると、米 30 区以外は 2.0% 以下であった。そして、米 30 区では乳酸菌を添加した場合、米 20 区と同程度の結果が得られた。米 0 区以外では NFC やデンプンが多い原料を使っていたことから、デンプンが多い原料を使った発酵 TMR では乳酸菌を添加することが推奨されることが示された。

乳酸菌無添加区の米 30 区だけが乳酸含量が少なく、pH も高く、酪酸も 0.3% 生成された。これは保存期間中に 6 サンプルともガスが発生してビニールバックが膨れたことから、何らかの原因で異常発酵したのと考えられた。この影響は VBN/TN にも表れており、乳酸菌無添加区の米 30 区の値は 5.2% と試験区の中では極めて高

く、混合割合に有意差が認められた。乳酸菌無添加区の米 30 区の発酵品質は V スコアにも表れ、87.3 と他の処理区に対し有意に低く、乳酸菌無添加区の米 30 区以外はすべて 99 以上であった。すなわち、乳酸菌無添加の場合は発酵が不安定であったことから、ワカメ発酵 TMR において飼料用米を 30% 混合することは実際の発酵 TMR 調製には向かないと考えられた。

これらの結果から、国産飼料の飼料用米の利用を考慮した場合、ワカメ 50%、稲わら 20%、飼料用米 20%、ビール粕 10% の割合で混合すると、対照区より若干乳酸含量が低いものの、対照区と同等の良質な発酵品質の発酵 TMR が調製でき、さらに乳酸菌を添加することにより発酵品質の向上が図れることが示唆された。

3. ワカメ発酵 TMR の化学組成、ミネラルおよび ISDMD に及ぼす原料の混合割合と乳酸菌製剤の添加の影響

ワカメ発酵 TMR の化学組成に及ぼす原料の混合割合と乳酸菌の添加の影響を表 4 に示した。CP 含量は対照区と米 20 区に近い値を示した。粗脂肪含量についてみると、ビール粕の割合の増加に伴って高くなった。対照区と同程度の発酵品質だった米 20 区の粗脂肪含量は対照区より有意に高かった。NFC 含量は飼料用米の混合割合が多いほど高い値であった。これらは原料に影響されたものと考えられた。原料の分析結果を基に NFC

表 3. ワカメ発酵 TMR の発酵品質に及ぼす原料の混合割合と乳酸菌の添加の影響

	原料の混合割合	P 値(二元配置による分散分析)	原料の混合割合				P 値(二元配置による分散分析)					
			対照区	配合飼料区	米 30 区	米 20 区	米 10 区	米 0 区	SEM	乳酸菌	混合割合	乳酸菌 × 混合割合
水分	原物中%	無	52.5 ^{abc}	53.2 ^a	53.1 ^{ab}	51.4 ^{cdef}	50.4 ^{ef}	50.7 ^{ef}	0.18	0.01	< 0.01	< 0.01
		有	52.7 ^{abc}	52.2 ^{abcd}	51.0 ^{def}	51.7 ^{bode}	51.0 ^{def}	50.2 ^f				
		平均	52.6	52.7	52.1	51.6	50.7	50.4				
pH		無	4.0 ^{bc}	4.1 ^b	4.5 ^a	4.0 ^{bc}	4.1 ^b	4.0 ^{bc}	0.03	< 0.01	< 0.01	< 0.01
		有	3.9 ^{cd}	3.8 ^d	3.8 ^d	3.8 ^d	3.9 ^{cd}	4.0 ^{bc}				
		平均	4.0	4.0	4.1	3.9	4.0	4.0				
乳酸	乾物中%	無	5.0 ^{bc}	4.4 ^{cd}	2.1 ^g	3.7 ^{ef}	3.6 ^f	4.2 ^{def}	0.16	< 0.01	< 0.01	< 0.01
		有	5.9 ^a	5.6 ^{ab}	4.0 ^{def}	4.3 ^{def}	4.4 ^{cde}	4.4 ^{cde}				
		平均	5.5	5.0	3.0	4.0	4.0	4.3				
酢酸	乾物中%	無	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.02	< 0.01	0.02	0.45
		有	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2				
		平均	0.3 ^{AB}	0.3 ^A	0.2 ^B	0.3 ^{AB}	0.3 ^{AB}	0.3 ^A				
VBN/TN	全窒素中%	無	2.9 ^c	4.1 ^b	5.2 ^a	2.0 ^d	1.2 ^{ef}	0.7 ^f	0.24	< 0.01	< 0.01	< 0.01
		有	1.7 ^{de}	2.0 ^d	0.9 ^f	1.1 ^{ef}	0.9 ^f	0.7 ^f				
		平均	2.3	3.1	3.1	1.5	1.1	0.7				
V スコア		無	99.7 ^a	99.3 ^a	87.3 ^b	100.0 ^a	100.0 ^a	99.0 ^a	0.70	0.01	< 0.01	< 0.01
		有	100.0 ^a	100.0 ^a	100.0 ^a	100.0 ^a	100.0 ^a	100.0 ^a				
		平均	99.8	99.7	93.7	100.0	100.0	99.5				

TMR, 混合飼料; SEM, 標準誤差; P, 確率; VBN, 揮発性塩基態窒素; TN, 全窒素。
小文字の肩文字の異符号間に全ての組み合わせ内で有意差あり (P < 0.05)。
大文字の肩文字の異符号間に混合割合内で有意差あり (P < 0.05)。

含量を推定すると、対照区では40.6%，配合飼料区は39.1%，米30区は54.5%，米20区は40.4%，米10区は26.6%，米0区は13.0%となり、本実験結果よりすべて高い値となった。すなわち、これらの差は発酵 TMR の調製による発酵により消費された NFC の量を示すと考えられた。aNDFom 含量，ADFom 含量およびデンプン含量は、発酵品質が同程度であった対照区と米20区に近い値であった。

ワカメ発酵 TMR のミネラルおよびテタニー比に及ぼす原料の混合割合と乳酸菌の添加の影響を表5に示した。リンはヒツジに最も不足しやすい無機物の1つである（農林水産省農林水産技術会議事務局，1996）。ワカメ発酵 TMR のリン含量は、対照区より米20区は高い値であった。また、ナトリウム含量は0.39から0.48の間であった。そして、これらのミネラル含量から計算されたテタニー比は、0.93から1.81の間であった。これらの値は田川ら（2018）と比べて同程度であった。銅含量は、対照区より米20区は高い値であった。銅の要求量および銅含量の中毒発生限界は、7から11 ppm および25 ppm といわれている（農林水産省農林水産技術会議

事務局，1996）。今回の結果で銅の要求量を満たしている区は、米20区と米10区で、満たしていない区は米30区、対照区および配合飼料区、要求量を超えているが中毒限界値以下の区は米0区で、いずれもヒツジの許容範囲内と考えられた。

ワカメ発酵 TMR の黒毛和種雌牛による ISDMD を表6に示した。本試験では供した牛が1頭であり、そして都合により試験を2回しか繰り返せなかったため、本試験結果を参考値として扱った。培養6時間の ISDMD は、乳酸菌無添加区では、対照区の56.8%に近い値は配合飼料区の54.7%，次いで米20区の59.8%であったが、乳酸菌添加区では、対照区の56.6%に近い値は米20区の53.8%であった。培養12時間の ISDMD は、乳酸菌無添加区では、対照区の60.6%に近い値は配合飼料区の60.2%で、次いで米20区の57.8%で、培養6時間と同じ傾向であった。しかし、乳酸菌添加区では、対照区の64.0%に近い値は、米30区の67.8%，次いで配合飼料区の58.5%，米20区の58.4%であった。乳酸菌添加が消化性に及ぼす影響について、McAllisterら（1995）は、大麦サイレージのヒツジによる消化率は乳酸菌添加によ

表4. ワカメ発酵 TMR の化学成分に及ぼす原料の混合割合と乳酸菌の添加の影響

	乳酸菌製剤の添加	原料の混合割合						SEM	P 値(二元配置による分散分析)			
		対照区	配合飼料区	米30区	米20区	米10区	米0区		乳酸菌	混合割合	乳酸菌 × 混合割合	
粗たん白質 乾物中%	無	11.6	10.4	6.9	11.3	14.7	18.2	0.61	0.31	< 0.01	0.54	
	有	12.0	10.0	7.0	12.2	14.5	18.8					
	平均	11.8 ^C	10.2 ^D	7.0 ^E	11.7 ^C	14.6 ^B	18.5 ^A					
粗脂肪 乾物中%	無	2.4 ^f	2.7 ^{ef}	2.7 ^{ef}	4.4 ^d	5.7 ^{bc}	6.8 ^a	0.25	0.41	< 0.01	< 0.01	
	有	3.3 ^e	2.9 ^{ef}	2.7 ^{ef}	4.2 ^d	5.1 ^c	6.2 ^{ab}					
	平均	2.9	2.8	2.7	4.3	5.4	6.5					
粗灰分 乾物中%	無	9.2 ^c	13.1 ^a	12.3 ^{ab}	12.4 ^a	12.4 ^a	12.5 ^a	0.22	0.53	< 0.01	0.03	
	有	9.3 ^c	12.7 ^a	11.4 ^b	12.7 ^a	12.6 ^a	12.8 ^a					
	平均	9.2	12.9	11.9	12.6	12.5	12.6					
NFC 乾物中%	無	38.7	36.3	46.5	33.8	23.0	12.7	1.87	0.16	< 0.01	0.17	
	有	36.7	34.7	47.5	29.4	24.2	12.6					
	平均	37.7 ^B	35.5 ^B	47.0 ^A	31.6 ^C	23.6 ^D	12.6 ^E					
aNDFom 乾物中%	無	40.6	40.0	33.1	42.2	50.6	57.6	1.35	0.15	< 0.01	0.48	
	有	41.2	41.8	33.3	45.6	49.9	57.9					
	平均	40.9 ^C	40.9 ^C	33.2 ^D	43.9 ^C	50.2 ^B	57.8 ^A					
ADFom 乾物中%	無	23.6 ^{ode}	23.0 ^{de}	21.1 ^e	24.6 ^{cd}	27.4 ^{ab}	29.5 ^a	0.43	0.13	< 0.01	0.02	
	有	21.9 ^{de}	23.7 ^{ode}	22.9 ^{de}	23.7 ^{ode}	26.2 ^{bc}	27.7 ^{ab}					
	平均	22.8	23.3	22.0	24.2	26.8	28.6					
ADL 乾物中%	無	2.9 ^{abcd}	2.9 ^{abcd}	2.4 ^{cd}	2.4 ^{cd}	2.9 ^{abc}	3.7 ^a	0.08	0.55	< 0.01	0.02	
	有	2.7 ^{bcd}	2.8 ^{bcd}	2.1 ^d	3.0 ^{abc}	3.5 ^{ab}	3.7 ^{ab}					
	平均	2.8	2.8	2.2	2.7	3.2	3.7					
デンプン 乾物中%	無	12.1 ^{def}	13.9 ^{ode}	25.5 ^{ab}	19.6 ^{bcd}	6.4 ^{efg}	0.1 ^g	1.68	0.03	< 0.01	< 0.01	
	有	19.9 ^{bcd}	21.5 ^{bc}	31.7 ^a	13.2 ^{cde}	4.0 ^{fg}	0.0 ^g					
	平均	16.0	17.7	28.6	16.4	5.2	0.0					

TMR, 混合飼料； SEM, 標準誤差； P, 確率； NFC, 非繊維性炭水化物； aNDFom, α アミラーゼ処理中性デタージェント繊維； ADFom, 酸性デタージェント繊維； ADL, 酸性デタージェントリグニン。
 小文字の肩文字の異符号間に全ての組み合わせ内で有意差あり (P < 0.05)。
 大文字の肩文字の異符号間に混合割合内で有意差あり (P < 0.05)。

て差はみられなかったことを報告しており、本試験とは異なった。今後、ワカメ発酵TMRの消化性に及ぼす乳酸菌の影響について検討する必要がある。また、本試験ではワカメ発酵TMRの乾燥温度を60℃から75℃に上げたためCPなどの成分が変化したことが懸念された。今後、乾燥条件による影響を調べる必要がある。本試験では参考値ではあるがISDMDからみた場合は、国産飼料の稲わら、飼料用米、ビール粕を利用したワカメ発酵TMRの場合でも、米20区では対照区や配合飼料区と同程度であったことが示された。

結 論

稲わら、飼料用米、ビール粕の国産飼料原料を使ったワカメ発酵TMRは、乳酸菌の添加によって良好な発酵品質を得られることが示された。化学組成や発酵品質の結果より、ワカメ50%、稲わら20%、飼料用米20%、ビール粕10%を混ぜて調製したワカメ発酵TMRは対照区と同等の飼料価値の良質なサイレージが調製されることが示唆された。

表 5. ワカメ発酵 TMR のミネラルおよびテタニー比に及ぼす原料の混合割合と乳酸菌の添加の影響

	乳酸菌製剤の添加	原料の混合割合						P 値 (二元配置による分散分析)			
		対照区	配合飼料区	米 30 区	米 20 区	米 10 区	米 0 区	SEM	乳酸菌	混合割合	乳酸菌 × 混合割合
カルシウム 乾物中 ppm	無	0.38	0.39	0.30	0.35	0.41	0.45	0.01	< 0.01	< 0.01	0.30
	有	0.38	0.45	0.35	0.41	0.43	0.46				
	平均	0.38 ^B	0.42 ^{AB}	0.33 ^C	0.38 ^B	0.42 ^{AB}	0.46 ^A				
リン 乾物中 ppm	無	0.39	0.37	0.26	0.34	0.42	0.48	0.01	0.09	< 0.01	0.17
	有	0.37	0.35	0.27	0.35	0.41	0.48				
	平均	0.38 ^C	0.36 ^D	0.26 ^E	0.35 ^D	0.42 ^B	0.48 ^A				
マグネシウム 乾物中 ppm	無	0.23	0.21	0.17	0.20	0.22	0.24	0.00	0.61	< 0.01	0.73
	有	0.23	0.21	0.18	0.20	0.22	0.24				
	平均	0.23 ^{AB}	0.21 ^{CD}	0.18 ^E	0.20 ^D	0.22 ^{BC}	0.24 ^A				
カリウム 乾物中 ppm	無	2.05 ^a	2.14 ^a	2.06 ^a	2.06 ^a	2.14 ^a	1.55 ^b	0.04	0.12	< 0.01	< 0.01
	有	1.78 ^{ab}	1.95 ^{ab}	1.75 ^{ab}	1.87 ^{ab}	2.16 ^a	2.00 ^a				
	平均	1.92	2.05	1.91	1.97	2.15	1.78				
ナトリウム 乾物中 ppm	無	0.47 ^{ab}	0.54 ^a	0.43 ^b	0.43 ^b	0.41 ^b	0.43 ^b	0.01	0.47	< 0.01	0.01
	有	0.47 ^{ab}	0.48 ^{ab}	0.48 ^{ab}	0.48 ^{ab}	0.45 ^{ab}	0.39 ^b				
	平均	0.47	0.51	0.46	0.46	0.43	0.41				
鉄 乾物中 ppm	無	137.55 ^{cd}	132.27 ^{cd}	93.24 ^g	123.54 ^{de}	156.89 ^b	176.86 ^a	4.43	0.01	< 0.01	0.03
	有	135.78 ^{cd}	113.46 ^{ef}	95.54 ^{fg}	122.93 ^{de}	141.68 ^{bc}	175.55 ^a				
	平均	136.67	122.87	94.39	123.24	149.29	176.21				
マンガン 乾物中 ppm	無	26.17 ^c	166.37 ^a	172.42 ^a	144.35 ^b	162.63 ^{ab}	166.57 ^a	8.87	< 0.01	< 0.01	0.01
	有	32.22 ^c	170.36 ^a	183.10 ^a	180.20 ^a	168.79 ^a	167.78 ^a				
	平均	29.20	168.37	177.76	162.28	165.71	167.18				
銅 乾物中 ppm	無	5.13 ^a	4.21 ^f	2.77 ^g	7.01 ^d	10.81 ^c	14.49 ^a	0.68	0.50	< 0.01	< 0.01
	有	5.32 ^a	3.89 ^f	2.81 ^g	7.16 ^d	11.06 ^c	13.92 ^b				
	平均	5.23	4.05	2.79	7.09	10.94	14.21				
亜鉛 乾物中 ppm	無	24.59	22.88	22.92	35.91	49.42	77.97	3.25	0.54	< 0.01	0.50
	有	26.41	28.75	23.58	36.03	47.63	75.94				
	平均	25.50 ^D	25.81 ^D	23.25 ^D	35.97 ^C	42.53 ^B	76.96 ^A				
テタニー比 乾物中 ppm	無	1.37 ^{bcd}	1.46 ^{bc}	1.81 ^a	1.56 ^{ab}	1.44 ^{bcd}	0.93 ^e	0.04	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	有	1.19 ^d	1.26 ^{cd}	1.39 ^{bcd}	1.28 ^{cd}	1.40 ^{bcd}	1.19 ^d				
	平均	1.28	1.36	1.60	1.42	1.42	1.06				

TMR、混合飼料；SEM、標準誤差；P、確率。

小文字の肩文字の異符号間に全ての組み合わせ内で有意差あり (P < 0.05)。

大文字の肩文字の異符号間に混合割合内で有意差あり (P < 0.05)。

表 6. ワカメ発酵 TMR の黒毛和種雌牛による *in situ* 乾物消失率

	乳酸菌製剤の添加	原料の混合割合					
		対照区	配合飼料区	米30区	米20区	米10区	米0区
培養6時間後 乾物消失率 乾物中%	無	56.8	54.7	71.0	59.8	46.6	33.0
	有	56.6	51.2	66.0	53.8	43.8	31.5
培養12時間後 乾物消失率 乾物中%	無	60.6	60.2	72.4	57.8	51.0	43.9
	有	64.0	58.5	67.8	58.4	50.0	43.8

TMR、混合飼料。

謝 辞

本研究は科学技術振興機構社会技術研究開発センター「持続可能な多世代共生社会のデザイン」研究開発領域において実施した。ここに記して謝意を申し上げる。

引用文献

- 藤井紳一郎, 伊永隆史. ワカメ加工業における物質フロー解析とゼロエミッション化技術. 環境科学会誌 13:586-592. 2000.
- 自給飼料利用研究会. 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, p6-21, p79-89. 2009.
- 神園巴美, 嶺野英子, 内野 宙, 河本英憲, 出口 新, 魚住 順. ダイズの生育ステージ別での化学成分含量およびホールクロップサイレージ発酵品質の変化. 日草誌, 65: 236-241. 2020.
- McAllister TA, Selinger LB, McMahon LR, Bae HD, Lysyk TJ, Oosting SL, Cheng KJ. Intake, digestibility, and aerobic stability of barley silage inoculated with mixtures of *Lactobacillus plantarum* and *Enterococcus faecium*. *Can. J. Anim. Sci.*, 75: 425-432. 1995.
- Molina-Alcaide E, Carro MD, Roleda MY, Weisbjerg MR, Lind V, Novoa-Garrido M. *In vitro* ruminal fermentation and methane production of different seaweed species. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 228: 1-12. 2017.
- 本谷綾香, 足立憲隆, 江波戸宗大, 上垣隆一. 副資材を利用した飼料用米サイレージの発酵品質. 日畜会報, 86: 441-448. 2015.
- 名取美貴, 細谷 肇. トウモロコシサイレージを用いた発酵TMRの小規模サイレージ発酵試験法 (パウチ法) による品質解析. 千葉畜セ研報 11: 73-76. 2011.
- 農業・食品産業技術総合研究機構. 日本飼養標準乳牛 (2017年版). 中央畜産会. 東京. 2017.
- 農林水産省. 飼料をめぐる情勢. 生産局畜産部飼料課 消費・安全局畜水産安全管理課. 平成29年7月. 2017. http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/attach/pdf/index-139.pdf. [2017年9月17日参照]
- 農林水産省. 平成29年度食料・農業・農村白書全文. 平成30年度 食料・農業・農村施策. 第196回国会 (常会) 提出. 2018. http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h29/zenbun.html [2018年11月10日参照]
- 農林水産省農林水産技術会議事務局編. 日本飼養標準めん羊 (1996年版). 中央畜産会, 東京. 1996.
- 農林水産消費安全技術センター. 飼料分析基準 (平成20年4月1日・19消安第14729号 農林水産省消費・安全局長通知) 2008. [http://www.famic.go.jp/ffis/feed/bunseki/bunsekikijun/01_01\(general\)-04\(inorganic\).pdf#page=5](http://www.famic.go.jp/ffis/feed/bunseki/bunsekikijun/01_01(general)-04(inorganic).pdf#page=5) [2017年10月31日参照]
- Pearce KL, Norman HC, Hopkins DL. The role of saltbush-based pasture systems for the production of high quality sheep and goat meat. *Small Rumin. Res.*, 91: 29-38. 2010.
- 総務省統計局. e-Stat統計で見る日本. 海面漁業生産統計調査. 平成29年漁業・養殖業生産統計. 養殖魚種別収獲量 (種苗養殖を除く). 2018. https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500216&tstat=000001015174&cycle=7&year=20170&month=0&tclass1=000001015175&tclass2=000001124915&stat_infid=000031791473 [2019年2月23日参照]
- 田川伸一, 大竹秀男, 金藤克也. ワカメサイレージの調製方法の開発. 東畜会報, 67: 37-45. 2018.
- 田中 治, 大桃定洋. プラスチックフィルムを用いた小規模サイレージ発酵試験法 (パウチ法) の開発. 日草誌, 41: 55-59. 1995.
- Tayyab U, Novoa-Garrido M, Roleda MY, Lind V, Weisbjerg MR. Ruminal and intestinal protein degradability of various seaweed species measured *in situ* in dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 213: 44-54. 2016.

Development of wakame (*Undaria pinnatifid*) total mixed ration silage using domestic feedstuff consisted of brown rice, rice straw and brewer's grain

Shin-ichi TAGAWA ^{1,a}, Hideo OHTAKE ², Katuya KANETO ³,
Hiroki MATSUYAMA ⁴ and Ken-ichi HORIGUCHI ⁴

¹ Shimizuko Shiryo Co., Ltd., ² Miyagi University, ³ Satoumi Farm and ⁴ Yamagata University

¹ 11 Mikawa, Ishinomaki, Miyagi, 986-0846, Japan,

² 2-2-1 Hatatate, Taihaku, Sendai, Miyagi, 982-0215, Japan

³ 22 Utatsumachimukai, Minamisanriku, Motoyoshi, Miyagi, 988-0452, Japan

⁴ 1-23 Wakaba, Tsuruoka, Yamagata, 997-8555, Japan

^a Present Address: Faculty of bioscience and bioindustry, Tokushima university, 2-1 Minamijosanjimacho, Tokushima, 770-0814, Japan

Corresponding: Shin-ichi TAGAWA (2-1 Minamijosanjimacho, Tokushima, 770-0814, Japan, Tel&Fax: +81-88-635-8406

E-mail: shinichi.tagawa@tokushima-u.ac.jp)

This study evaluated the effects of component mixing ratios on the fermentation quality and chemical composition of wakame (*Undaria pinnatifid*) total mixed ratio (TMR) silage as a domestic feed material in Japan. We also investigated the effects of added lactic acid bacteria (LAB) on the fermentation quality and chemical composition. We established six mixtures. The control contained 50% wakame, 30% compound feed, and 20% timothy hay. The five experimental mixtures each contained 50% wakame, 20% rice straw, and a compound feed or mixture (R0, 30% brewer's grain; R10, 10% brown rice, 20% brewer's grain; R20, 20% brown rice, 10% brewer's grain; R30, 30% brown rice). All TMR silage treatments were prepared using the pouch method. Each treatment was performed in triplicate; silage was stored for 60 days at room temperature. The TMR silage moisture content ranged from 50.2 to 53.2%. The pH was greater in TMR silage treatments without LAB than in those with LAB. The fermentation quality of R20 wakame TMR silage (50% wakame, 20% rice straw, 20% brown rice, and 10% brewer's grain) was as high as that of the control. The addition of LAB improved the wakame TMR silage fermentation quality.

Key word: Chemical composition, Fermentation quality, Rice grain, Rice straw, Seaweed stakes (wakame) TMR silage.