

博士論文

家畜生産への海藻資源の利活用に関する
基礎的研究

2021年

石川県立大学大学院
生物資源環境学研究所
自然人間共生科学専攻
山中 麻帆

目 次

序論	1
第 1 章 赤身牛肉への海藻類添加による食味改善	
1-1. 緒言	6
1-2. 材料および方法	8
1-3. 結果および考察	11
第 2 章 捕獲されたニホンジカ肉への海藻類および甘味料添加による食味改善	
2-1. 緒言	18
2-2. 材料および方法	20
2-3. 結果および考察	24
第 3 章 赤身肉への海藻類添加による理化学性状の変化	
3-1. 緒言	37
3-2. 材料および方法	38
3-3. 結果および考察	41
第 4 章 ウシへの海藻給与による腸管免疫能の変化	
4-1. 緒言	49
4-2. 材料および方法	51
4-3. 結果および考察	54
総括	61
謝辞	66
参考文献	68
関連論文目録	85

序 論

四方を海に囲まれた日本では、古来より多種多様な海藻が利用されてきた(久田 1998; 濱田 2009). 日本の周辺海域は、島嶼環境に恵まれ暖流と寒流が交錯する養分に富んだ地域であることから他の地域に比べ格好の藻場となり多数の海藻が生息しやすい環境にある(柴田ら 2013). そのため、海藻の種類や養殖などの生産技術や加工技術が発達し海藻利用が進んできたと言われている(柴田ら 2012). 日本における海藻利用の歴史は縄文時代にまで遡り、藻塩造りの材料としてホンダワラなどの海藻が用いられていた(村上 1991). 石川県においても海藻は古くから利用されており、能登地方では土器製塩を行っていた遺跡が内陸部を除くほぼ全域に分布している(石川県埋蔵文化センター 2010). 大和朝廷時代や奈良時代には神事や神饌の供物などとしても海藻が用いられてきた(村田 2002). 平安時代には、佃煮やみそ汁の具などの現在でも我々が食する海藻料理の基礎ができたと言われている(村田 2002). また、海藻は食用以外にも広く用いられ、江戸時代には海藻を煮溶かして漆喰の材料や織物の洗い張りの際の糊付けなどにも利用されてきた(渡邊 1998; 濱田 2009). このように海藻は、古来より日本人の衣食住に深く関わる身近な資源である.

近年では、海藻に含まれる栄養成分や機能性が明らかにな

るとともに，化粧品や医薬分野など利用の幅が拡大している（小田と上野 2014）．海藻に含まれる主な成分は炭水化物で，そのほとんどが海藻特有の多糖類で構成されている（伊藤ら 2010；柴田ら 2013）．この海藻多糖類の一つであるアルギン酸の保水性や増粘性を活用して化粧品や医薬品が生産されている．また，アルギン酸の耐熱性や金属イオンとの結合特性などを活かして，捺染用糊料，溶接棒，飼肥料など工業分野などでも活用されている（横山 2019）．さらに，海藻多糖類の免疫賦活作用や高血圧症の抑制，血中脂蛋白質清澄作用などが報告され，その活用が大いに期待されている（小田と上野 2014；奥田 1995）．このように海藻は，その特徴を活かして様々な分野において有用資源として幅広く活用されてきている．

海藻資源の利活用は世界的にも増加している一方で，一部の海藻は，貨物船の船体を安定させるために取り込む海水であるバラスト水への遊走子の混入などにより世界各地で増殖し，外来種として生態系に悪影響を及ぼしており，ワカメの場合，IUCN（国際自然保護連合）によって「世界の侵略的外来種ワースト 100」に指定され環境問題になっている（菅野と金子 2014）．また，海藻は，製造過程で多くが残渣として廃棄されており，その利活用が課題となっている（細川 2007）．したがって，環境問題および未利用・低利用資源の利活用の観点から，海藻のより幅広い活用が強く望まれる．

海藻に含まれるグルタミン酸は、食肉に多く含まれるイノシン酸と組み合わせることで、うま味の相乗効果が生じることが報告されており（千国ら 2013）、それらを活かした食肉添加剤の開発が進められている。さらに、海藻には保水性や咀嚼時に放散される香り（フレーバーリリース）の抑制効果など、食肉の食味改善が期待される成分を多く含んでいる（Siriら 1992；Draget 2009；荒井 2017）。今後、食肉の味のみでなく、硬さや香りなどの食味全体としての改善に、このような海藻の持つ効果を活用することで、海藻資源の利用の幅の拡大が期待される。

近年、家畜飼養において動物福祉と訳されるアニマルウェルフェアに配慮した飼養管理システムの導入が世界的に盛んに行われている。日本においては農林水産省（2020）がアニマルウェルフェアを「家畜を健康に飼育することは家畜の健康増進を通して生産性の向上に繋がる」と解釈し、広く畜産現場への導入を進めている。そのようなことを背景に、海藻の持つ免疫賦活作用を活かした豚の飼養生産の試みが行われ、褐藻を豚に給与することで免疫能が向上することが報告されている（水間ら 2013）。このような免疫増強による健康な豚飼養管理技術を活用したブランド豚の作出が行われるなど、家畜飼養への海藻の利活用が精力的に進められている。また、海藻に含まれるカロテンなどの抗酸化作用を期待して、採卵鶏への海藻給与による卵質改善なども報告されている（永野

ら 2014). このように家畜の飼養管理においても海藻の機能性を活用する動きがあるが、我が国の主要家畜の一つである牛への活用は、複胃を有することなどの消化機構の特異性が理由となり進んでいないのが現状である。地域の未利用・低利用資源の家畜用飼料としての活用は、飼料自給率の向上につながり、結果として窒素循環の不均衡による環境負荷を低減できることから、環境問題にも貢献できると考えられる。

このように、食肉処理から家畜の飼養管理まで幅広く家畜生産に海藻を活用することは、未利用・低利用の海藻資源の利活用としてのみならず、環境保全や畜肉の消費拡大や家畜の飼養管理におけるアニマルウェルフェアへの配慮ならびに飼料自給率向上による生産基盤の強化に繋がり、持続可能な家畜生産に大きく貢献できると考える。

これらのことを背景に本研究では、海藻資源を食肉処理から家畜飼養管理まで多面的に利活用するための基礎的知見を提供することを目的とし、一連の研究を行った。第1章では、脂肪交雑が少なく硬いと評価される牛肉の赤身部位の利活用に関連して、海藻類を添加した場合の食味改善効果を検討した。第2章では、農畜産業や森林生態系に深刻な獣害被害をもたらしているシカ害対策に関連して、捕獲されたニホンジカの食肉への海藻類添加による食味改善効果について検討した。第3章では、海藻および海藻抽出物を添加したシカ肉の理化学的変化から赤身肉の食味改善の作用機序について検討

した。第4章では、和牛飼養への海藻の給与飼料としての活用に関連して、海藻摂取によるウシの腸管免疫の賦活化について検討した。総括では、本研究で得られた知見を基に、海藻資源の家畜生産への利活用に関して総合的に論じた。

第 1 章

赤身牛肉への海藻類添加による食味改善

1-1. 緒言

わが国における牛肉消費量は、平成 13(2001)年に国内で、平成 15(2003)年に米国で発生した BSE の影響を受け減少したが、その後現在まで漸増している状況にある(農林水産省 2010; 森田 と 小林 2016)。その一方で、比較的安価な輸入牛肉の需要が強まったこともあり、近年国内で消費される牛肉の約半数を輸入牛肉が占めている(農林水産省 2010)。また、近年の健康志向から霜降り牛肉よりもヘルシーとされる赤身牛肉を好む傾向が強くなり、国産牛肉でも赤身中心の牛肉の需要が高まっている(佐々木ら 2006)。一般的に赤身牛肉は、アミノ酸含量が豊富なことから味わいは楽しめるものの、筋肉質なため口当たりが硬いとされ(西海 2017)、焼肉やステーキなど、肉を直接楽しむよりもカレーやシチューなど煮込み料理などで食される場合が多い。また、近年では、輸入牛肉や赤身牛肉に下処理を施しステーキなどでも軟らかく食される工夫が民間的に広く行われている。その中でも糖類による漬け込みやコンブ粉末などを振りかけることで、比較的硬い牛肉を軟らかくし、口当たりを改善する方法が民間的に広く知られている。牛肉を加熱した際のアミノ酸と糖のメイラード反応による牛肉独特の香りの増強反応などが報告

されているが（板倉ら 2010）、海藻類の添加に関連した報告など、牛肉の美味しさの増強に関連した報告は少ない。

海藻類は、アオサや海ブドウなどの緑藻、モズク、ワカメおよびコンブなどの褐藻、ノリやテングサなどの紅藻に大別される。日本は海に囲まれ、古代より海から多くの恵みを受けてきており、魚や貝などに加え海藻類が貴重な食料として重宝されてきた。国内で消費される海藻はノリ、ワカメおよびコンブの順で多い（佐藤 2002）。また、海藻類にはアミノ酸や粘性多糖類などの機能性成分が含まれており（高木ら 1967；三好ら 2013；前田ら 2014）、旨味増強や保水効果などが確認されている（柏柳 2006；山中と小川 1998）。特にコンブはグルタミン酸を多く含み（東口ら 2005）、牛肉の美味しさ増強などを目的にコンブ粉末を添加することが民間的に行われている。紅藻類に含まれる多糖類であるカラギーナンは肉の保水力や硬さを改善することが報告されており（林 2009）、褐藻類であるワカメはフコイダンやアルギン酸などの多糖類を多く含有している点で（福島ら 2005）、牛肉への海藻資源の活用を通して、硬さ改善が見込まれる。コンブやワカメを牛肉に添加することで、食味を改善する方法は民間的に行われる場合はあるが、科学的に食味改善効果について検討した報告は少なく、今後、脂肪交雑が少ない輸入牛肉や硬いと評価される場合が多い赤身部位などの食味改善を考える上で、このような民間的手法について消費者目線に立って検

証することは重要な課題の一つである。

消費者の食味を検討する手法の一つに官能評価試験がある。一般的に官能評価試験は、食味について訓練されたパネルを用いる分析型官能評価と一般消費者を用いる消費者型官能評価に大別される [鈴木ら 2008 ; (財) 日本食肉消費総合センター・(独) 家畜改良センター 2005]。分析型官能評価は、食肉が持つ特徴を明らかにすることを目的として行うのに対し、消費者型官能評価は、嗜好型官能評価とも呼ばれ、どういった人達はその食肉を嗜好するかを明らかにすることを目的として行う場合が多い。従って、訓練を受けたパネルと一般消費者を用いた食味試験の結果は比較できず、その試験の目的によって区別する必要がある。このようなことから、民間的に行われている牛肉への海藻類添加による食味改善を評価しようとする場合、一般の消費者を対象に食味試験を実施し検討する必要がある。

本試験では、食味試験に関して予備知識ならびに特に訓練を受けていない男性および女性を含めた一般消費者を対象に、一般的な市販赤身牛肉にワカメおよびコンブ粉末を添加し調製した牛肉を供試牛肉として、食味試験を実施した。

1-2. 材料および方法

1) 供試牛肉と調理

供試肉には、市販牛肉（29 ヲ月齡交雑種，雄）のうち，脂肪

交雑が極めて少ない赤身肉である内モモ部位（半膜様筋および大腿薄筋）から，目視で脂肪組織が含まれない部位を選択的に用い，1 cm 角でカットした．供試牛肉は，食味試験前日まで冷凍保存し，前日朝から1日間5°C下で解凍処理した．解凍後，市販のコンブ粉末（昆布加工品；奥井海生堂，福井）およびワカメ粉末（乾わかめ；日本生活協同組合連合会，東京）を湿重量の4%添加した牛肉を調製し，24時間5°C下で添加した（無処理肉，コンブ添加肉およびワカメ添加肉）．食味試験当日，3種類の供試牛肉（各約500 g）は流水下で表面を洗うことで，海藻類自体の食味評価への影響を可能な限り避けた．その後，供試牛肉は市販ホットプレートを用いて調理しパネルに提供した．食肉の調理は，（財）日本食肉消費総合センターおよび（独）家畜改良センターが提供する「食の官能評価ガイドライン」に準じてホットプレート表面温度約220°Cで，両面それぞれ約60秒ずつ焼いた〔（財）日本食肉消費総合センター・（独）家畜改良センター 2005〕．また，3種類の肉が同時に調理されるようにし，平山ら（2013）の方法に準じ供試牛肉を約1 cm 角（約7 g）でカットし，味付けをせずにパネルに提供した．

2) 食味試験

パネルには，食味などに関する訓練を受けた経験のない年齢19～23歳の学生パネル男女計54名（男性：33名，女性：21名）を抽出した．今回の調査で行ったパネルの嗜好性につ

いて、鶏肉を好むパネルは25名で最も多く次いで牛肉17名、豚肉6名の順で、それ以外が6名であった。パネルには、供試牛肉の説明およびアンケート内容について説明し、供試牛肉（無処理肉、コンブ添加肉およびワカメ添加肉）を、それぞれ1カットずつ食味させた。食味試験中、それぞれの肉の官能評価が終了した時点で次の肉の官能評価を行う前に、市販の水で口腔内を洗浄させ前肉の風味が口腔内に残留しないようにした。各牛肉の官能評価後1分以内にアンケートの記入を行った。また、全パネル同時に官能評価を実施したが、周囲のパネルの影響を排除するため、両隣のパネルの肉ラベルが同一にならないようにし、アンケート結果を参考にできないように工夫した。アンケートでは肉の食感（硬さ、多汁性およびあぶらっこさの3項目）、食味（味および香りの2項目）および総合評価の計6項目について、それぞれ「悪い」、「少し悪い」、「普通」、「少し良い」、「良い」の5段階で評価させた。得られた結果について、それぞれの項目において悪い：-2点、少し悪い：-1点、普通：0点、少し良い：1点、良い：2点として集計した。

3) データ解析

データの統計処理は、硬さ、味、多汁性、香り、あぶらっこさおよび総合評価のそれぞれの項目について、供試牛肉の種類、パネルの性別および年代を要因として統計解析を行った。

分析には、統計分析システム SAS/STAT (SAS institute 2011) の混合モデルプロセッサである MIXED を用いた。混合モデル分析で仮定した線形モデルは、下記の線形モデルである。

$$Y_{ijklm} = S_i + F_j + T_k + u_l + b \times A_l + e_{ijklm},$$

ただし、 Y_{ijklm} ：硬さ，味，多汁性，香り，あぶらっこさおよび総合評価のスコア値， S_i ： i 番目の性に共通な効果（2 分類：男性，女性）， F_j ： j 番目の嗜好性に共通な効果（5 分類：鶏肉好き，豚肉好き，牛肉好き，すべての肉種，その他）， T_k ： k 番目の処理効果（3 分類：無処理，コンブ添加処理，ワカメ添加処理）， u_l ：サブクラス内の 1 番目の個人に共通な変量効果， b ：1 次偏回帰係数， A_l ：各個人の年齢の共変量（19～23 歳）， e_{ijklm} ：変量残差である。

線形モデル中の母数効果に対する有意性検定（タイプ III）を行った後，各母数効果の最小 2 乗平均値（LSM）について多重比較検定を行った。多重比較検定には Tukey-Kramer による補正法を用い，有意確率を算出した。各変量効果の分散推定値は，ニュートン-ラフソンアルゴリズムによる REML 法により推定した。

1-3. 結果および考察

今回の食味試験の統計結果を表 1 に示した。年齢の違いによって多汁性および総合評価の項目で有意な差が認められた。性の違いはあぶらっこさの項目で有意な差が認められた。肉

の好みの違いによって味の項目で有意な差が認められた。添加剤の違いによって全ての評価項目で有意な差が認められた。

表 2 に今回の食味試験におけるパネルの個人差の大きさについて示した。あぶらっこさおよび香りの項目で個人差が大きくなる傾向がみられ、多汁性、硬さ、味および総合評価の順に個人差が小さくなる傾向がみられた。あぶらっこさの感じ方は、一般的に男女間で大きく異なることが指摘されていることから（中井ら 1987；板倉ら 2010）、今回の個人差の大きさは男女間での差が個人差として示された可能性がある。一方、香りはその種類も多く快・不快の感じ方が、他の味や硬さなどに比べ個人差がもっとも大きいとされている（樋口ら 2002；山口 2012）。今回の調査では総合評価の項目で個人差がもっとも小さくなっており、味や硬さなどの評価項目が協働することで個人差が小さくなったものと考えられる。

表 3 にパネルの年齢と評価の関係について示した。多汁性および総合評価の項目で有意な負の相関関係が認められた。すなわち、今回の調査から、加齢する毎に供試牛肉の多汁性および総合評価が低下することが示唆された。一般に人は成長に伴い食味経験は豊富になるが、食味の正答率は 20 および 60 歳代よりも 30 および 40 歳代が高くなるとの報告もある [(一社) 全国肉用牛振興基金協会 2007)]。そのことは、20 歳代では食味経験が不十分である可能性を示している。今回の調査ではパネルの全員が 20 歳代であり、そのことがこのよ

うな結果に繋がった可能性もあり，今後，パネルの年齢幅を
 広げるなど詳細に検討する必要がある。

今回の調査では，いずれの供試牛肉においてもあぶらっこ
 きの項目で男性は女性に比べ有意に好ましいと評価した
 ($P<0.05$)。一般に食肉のあぶらっこきは，女性は健康志向な
 どから敬遠する場合が多く（田中ら 2010），それらが反映し
 た結果と考えられた。また，評価項目の個人差があぶらっこ
 きの項目がもっとも高くなっていたことも，男女差を反映し
 た結果と考えられた。

表1. 各評価項目における主効果

	DF	硬さ	味	多汁性	香り	あぶらっこき	総合
年齢	1	0.77	3.50	4.56*	0.82	0.24	4.59*
性別	1	0.14	0.61	0.89	0.63	5.31*	0.08
好み	4	1.68	2.62*	2.16	2.34	1.12	2.44
添加剤	2	4.73*	5.75**	7.18**	3.85*	4.71**	7.48***

有意性: * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$

表2. 各評価項目に対するパネルの個体差

	硬さ	味	多汁性	香り	あぶらっこさ	総合
パネル	0.19	0.16	0.18	0.28	0.33	0.10
残差	0.94	0.83	0.76	0.67	0.72	0.80
合計	1.14	0.99	0.95	0.95	1.05	0.90
割合 (%)	17.16	15.87	19.32	29.18	31.27	11.05

割合: パネル/合計

表3. パネルの年齢と評価の関係

	偏回帰係数±SE	P 値
硬さ	—	n.s.
味	—	n.s.
多汁性	-0.25±0.12	0.04
香り	—	n.s.
あぶらっこさ	—	n.s.
総合	-0.23±0.11	0.03

SE: 標準誤差

n.s.: 有意性なし

図 1 にコンブおよびワカメで添加処理した供試牛肉に対する各評価を示した。あぶらっこさの項目以外の硬さ，味，多汁性，香りおよび総合評価の項目において，ワカメ粉末を添加した肉がコンブ粉末を添加した肉に比べ有意に高く評価された。逆にコンブ粉末を添加した肉は無処理の肉に比べいずれの評価項目においても高くなる傾向はみられたものの有意な差は認められなかった。ワカメはコンブに比べ粘性多糖類であるアルギン酸含量が多いことが知られている（山中と小川 1998）。紅藻類に含まれる多糖類であるカラギーナンは肉の保水力や硬さを改善することが報告されており（林 2009），ワカメに含まれるアルギン酸が肉の硬さ改善に影響した可能性がある。その一方でコンブはヨウ素（コンブ：約 1200ppm，ワカメ：約 70ppm）や粘性物質の粘度がワカメに比べ高いことが報告されている（安達ら 1978；山中と小川 1998）。さらに味に関して，コンブはワカメに比べグルタミン酸などうま味に関連するアミノ酸が多く含まれている（香川 2008）。今回の調査では，コンブ粉末を添加した場合，無処理肉に比べ食味が改善される傾向が見られたものの，ワカメ粉末を添加した場合の評価よりも低く評価されており，コンブとワカメの食味へ与える影響に大きな違いが認められた。一般にグルタミン酸を多く含有するコンブが味の改善のための添加用に用いられているが，今回の調査ではグルタミン酸含量が低いとされるワカメを添加した場合の味の評価が有意に高くなり，

民間的に用いられる肉の食味改善法について、海藻類の種類によって異なる影響があることが示された。

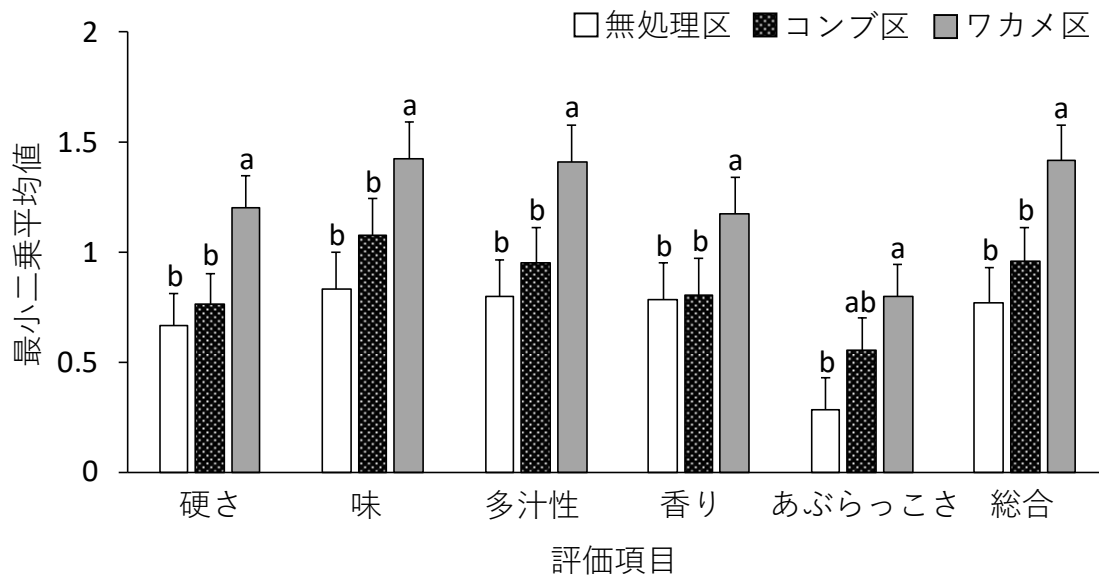


図1. 各評価項目における添加剤の影響.
最小二乗平均値±標準誤差(n=54). a, b: 異符号間に有意差あり($P < 0.05$).

本試験では、あぶらっこさの項目において、ワカメおよびコンブ粉末のいずれを添加した場合でも男性が女性より有意に好ましいと評価した。いずれの評価項目においてもワカメ粉末を添加した肉が無処理の肉に比べ有意に高く評価された。さらに、あぶらっこさの項目以外の硬さ、味、多汁性、香りおよび総合評価の項目において、ワカメ粉末を添加した肉がコンブ粉末を添加した肉に比べ有意に高く評価された。逆にコンブ粉末を添加した肉は無処理の肉に比べいずれの評価項目においても高くなる傾向がみられたものの有意な差は認められなかった。今回の試験において、ワカメ粉末を添加することがコンブ粉末を添加するよりも食味改善効果が明瞭であったことが興味深く、今後、詳細に検討する必要がある。また、近年鳥獣害対策で問題となっている捕獲駆除した野生動物の利用（香嶋ら 2005；吉村ら 2011；船津ら 2015）に関連して、このような食味改善作用を脂肪交雑が少なく硬いと評価されるシカ肉（吉村ら 2013）などの食味改善へ活用することも期待されることから、牛肉以外での利用についても検討する必要がある。

第 2 章

捕獲されたニホンジカの肉への海藻類および甘味料添加による食味改善

2-1. 緒言

近年の獣害被害のうち，ニホンジカ（以下，シカ）による被害は，農作物や造林木のみならず，森林植生の衰退等生物多様性に与える影響が顕著であることなどから，その対策が急がれている状況にある（坂田ら 2001）．わが国においては，農林業や生態系への被害を軽減するとともに個体群の安定的な維持を図るため，個体数管理，被害防除，生息地管理を大きな柱とする対策が進められている（農林水産省 2009）．この中で個体数管理に関して，全国的に罟や猟銃による捕獲活動が行われているが，捕獲殺処分されたシカのほとんどが廃棄されているのが現状である（佐々木と金子 2014）．また，この捕獲駆除事業は，そのほとんどが国や県などの補助で行われているのが現状で，今後，補助に頼らず持続的な管理を行っていくためにも捕獲されたシカ個体の肉や角，皮などを資源として活用することが強く望まれている（辻井と末成 2004；杉本 2010；佐々木と金子 2014）．

シカ肉はヨーロッパを中心として高級食材として扱われ，かつ一般市民による利用も進んでいるが，日本ではあまり利用されていない（松浦ら 2015）．シカ肉は他の畜肉と比べ高

タンパクで低脂肪であり，生活習慣病を防ぐ食材としての価値は高いが（石田ら 2001；山下ら 2012；吉村ら 2014），その一方で獣肉臭が強く肉が硬い傾向にあることと（松下ら 2016），日本人には馴染みがないことなどから一般消費者が敬遠する傾向にある（佐々木と金子 2014；吉村ら 2014）．そのため，わが国におけるシカ肉消費を拡大させるためには，シカ肉の摂食機会の推進啓発に加え，獣肉臭や肉の硬さなどを改善するなど，シカ肉をより日本人の嗜好に合わせる必要があると考えられる．

一方，日本においてシカはヤギやダチョウなどと同様に特用家畜として位置づけられている．特用家畜とは一般的に畜産に利用されている家畜（乳用牛，肉用牛，豚）以外を指し（白井ら 1995），このうち養鹿は特用家畜を利用した特用畜産の一端を担っている．また，近年では，肉質向上を狙って捕獲したシカを短期間肥育する場合がある（増子 2007）．このようなことから，シカ肉の食味改善は，獣害対策のみならず，畜産業の裾野拡大にも貢献できると考えられる．

一般的に肉を軟らかくする方法として糖添加が有用とされ，牛肉の乾燥肉にグルコースやスクロースを添加した調査では，乾燥肉のせん断力が減少し，乾燥肉が軟らかくなることが報告されている（松浦ら 1990）．このことから，シカ肉への糖添加によって軟らかさなどを改善できる可能性があり，糖そのものか，もしくは糖を豊富に含む食材の添加が有効だと考

えられる。糖を豊富に含む食材の一つに海藻があるが、海藻には糖以外にうま味成分であるグルタミン酸も多く含まれる（文部科学省 2015）、うま味増大の効果も期待できる。そのことから、民間的に畜肉へコンブやワカメ粉末を添加して食味を改善させる場合もある。このようなことから、ワカメやコンブなどの海藻類をシカ肉に添加することで、食味を大幅に改善できる可能性がある。また、第 1 章では、市販牛肉の赤身部分肉へ海藻類を添加することで食味が改善されることが示唆されている。このようなことを背景に本試験では、銃猟捕獲されたシカ肉に砂糖、トレハロース、ワカメ粉末およびコンブ粉末を添加した場合の食味官能評価への影響について調査し、シカ肉の食味改善に対する有効性について検討した。

2-2. 材料および方法

1) 食味官能評価試験

2016 年 2 月の猟期中に銃猟により捕獲された推定 4 歳齢の雄シカ 1 頭のモモ部位を用いた。また、モモ部位のうち筋肉部位の違いなどにより肉質が異なることを考慮し、それらの部位が均一になるよう各処理区に配分した。供試肉の添加処理および食味試験については第 1 章の方法に準じて行った。供試したシカ肉は、試験開始まで -20℃下で保存し、添加処理直前に 5℃下で解凍した。解凍した肉のスジや脂肪部分は目

視で可能な限り除去した。その後、1.5 cm 角に切り出し、トレハロース添加（トレハ区）、砂糖添加（砂糖区）、ワカメ粉末添加（ワカメ区）、コンブ粉末添加（コンブ区）および無処理（無処理区）の5つの処理区を設けた。なお、いずれの肉もペーパータオルで表面に付着する水気を除去した。その後、それぞれの添加剤と肉が十分に混和するように揉み込んだ後、5℃下で6時間以上静置した。各添加剤の添加量は、トレハロース、ワカメ粉末およびコンブ粉末は試料肉湿重量の2.5%、砂糖は試料肉湿重量の3.8%をそれぞれ供試肉に添加した。なお、今回供試した市販のワカメ粉末（乾わかめ；日本生活協同組合連合会，東京）およびコンブ粉末（昆布加工品；奥井海生堂，福井）は食塩等無添加のものを用いた。貯蔵中の水分損失を示すドリップロスは、添加後6時間または24時間静置した場合について既報（手塚ら 2016）に準じて処理区ごとに計測・算出した。

第1章の方法に準じて食味試験当日、供試肉の添加剤を流水で除去した後、味付けをせずに処理区ごとに5～6切れを1つのアルミホイルに包み、約220℃に加熱した市販ホットプレートで8分間加熱調理した。なお、調理条件は、厚生労働省（2014）が作成した「野生鳥獣肉の衛生管理に関する指針」に沿って、シカ肉の中心温度が75℃で1分間以上加熱されるよう、予備実験を行い決定した。なお、食味試験は2回実施した。パネルには、今後の消費の中心となるべき若い世代である19～22歳の

男女累計98名（男性：60名，女性：38名）を抽出した。なお，パネルは食味などに関する訓練を受けた経験のない者とした。パネルにそれぞれの方法で処理したシカ肉をそれぞれ1カットずつ食味させ，各供試肉を食味するごとにアンケートを記入させた。なお，アンケート記入時に隣人の影響を受けないよう，隣人が同時に同一の供試肉を食味することがないように工夫した。食味試験中，それぞれの肉の官能評価が終了した時点で次の肉の官能評価を行う前に市販の水で口腔内を洗浄させ，前肉の影響が出ないようにした。各供試肉の食味後1分以内にアンケートの記入を行った。アンケートでは，パネルに関する項目として，年齢，性，シカ肉の嗜好性，好みの肉の4つの質問項目を設けた。また，シカ肉の美味しさに関する項目として，食味〔味および香り（口中香）の2項目〕，食感（あぶらっこさ，軟らかさ・弾力，多汁性の3項目）および総合の計6項目について，それぞれ「苦手」，「少し苦手」，「普通」，「少し好き」，「好き」の5段階で評価させた。得られた結果について，それぞれの項目において苦手：-2点，少し苦手：-1点，普通：0点，少し好き：1点，好き：2点として集計した。

2) データ解析

分析には，統計分析システム SAS/STAT（SAS institute 2011）の混合モデルプロセッサである MIXED を用いた。混合モデル分析で仮定した線形モデルは，下記の線形モデルである。

$$Y_{ijklmnop} = S_i + F_j + D_k + T_l + H_m + O_n + u_o + b_1 \times A_{ijklmnop} + b_2$$

$$\times A_{ijklmnop}^2 + e_{ijklmnop},$$

ただし、 $Y_{ijklmnop}$ ：味，軟らかさ・弾力，多汁性，香り，あぶらっこさおよび総合のスコア値， S_i ： i 番目の性に共通な効果（2分類：男性，女性）， F_j ： j 番目の好みの肉に共通な効果（4分類：鶏肉好き，豚肉好き，牛肉好き，その他）， D_k ： k 番目のシカ肉の嗜好性に共通な効果（4分類：好き，普通，苦手，未経験）， T_l ： l 番目の処理効果（5分類：無処理，砂糖添加処理，トレハロース添加処理，コンブ添加処理，ワカメ添加処理）， H_m ： m 番目の処理時間の効果（2分類：6時間添加，24時間添加）， O_n ： n 番目の試食の順序効果（5分類：1～5番目）， u_o ：サブクラス内の o 番目の個人に共通な変数効果， b_1 ， b_2 ：1次および2次の偏回帰係数， $A_{ijklmnop}$ ：各個人の年齢の共変量（19～22歳）， $e_{ijklmnop}$ ：変数残差である．なお，1次回帰，2次回帰係数については予備的に有意性検定を行い，2次回帰係数に有意性がみられた測定値について線形モデルに含めた．今回の試験では，複数の要因による官能評価への影響を補正するため，各母数効果間差を調整した最小2乗平均値を用いて有意性検定を行った．線形モデル中の母数効果に対する有意性検定（タイプIII）を行った後，各母数効果の最小2乗平均値について多重比較検定を行った．多重比較検定および各変数効果の分散推定値の推定には第1章と同様な方法を用いた．また変数効果にパネルの効果を含めた上で，各母数効果間の交互作用の有意性について検定を行った．

2-3. 結果および考察

表 1 に食味官能評価試験のパネルについて示した。パネルは男性 60 名，女性 38 名の累計 98 名であった。好みの肉については鶏肉と回答した人が 47 人と最も多く，次いで牛肉，豚肉の順で回答が多かった。シカ肉の食味経験がない人は全体の 3 分の 1 程度で，食味経験のある人の中では半分以上がシカ肉を苦手と回答した。

表 2 に各評価値における母数効果および交互作用の解析結果を示した。供試肉の味，軟らかさ・弾力，多汁性，香り，あぶらっこさおよび総合の 6 項目すべての評価において，シカ肉への添加剤の違いによる有意な差が認められた ($P<0.05$)。また，味，軟らかさ・弾力，多汁性および総合の 4 項目の評価において試食順序による有意な差が認められた ($P<0.05$)。さらに，味の項目においては，年齢の違いによる有意な差が認められ ($P<0.05$)，パネルの性とシカ肉の嗜好性間で交互作用が認められた ($P<0.05$)。

表 3 に各評価値に対するパネルの個人差について示した。多汁性，香りおよびあぶらっこさの評価に対するパネルの個人差が大きく，味，軟らかさ・弾力および総合の評価に対する個人差は小さくなる傾向にあった。

表1 食味官能評価試験における人数構成

		人数
性別	男性	60
	女性	38
好みの肉	牛肉	21
	豚肉	12
	鶏肉	47
	その他	18
シカ肉への嗜好性	好き	18
	普通	7
	苦手	38
	未経験	35

累計：98人

表2 各評価値における母数効果および交互作用のF値と有意性

変動因	自由度	味	軟らかさ・弾力	多汁性	香り	あぶらっこさ	総合
性別	1	2.48	0.55	0.04	2.24	0.20	3.55
好みの肉	3	2.16	0.42	1.43	0.68	1.70	0.95
シカ肉への嗜好性	3	0.66	1.08	0.44	1.63	0.25	0.43
添加剤	4	5.04***	6.60***	7.91***	2.50*	5.71***	5.63***
添加時間	1	0.07	0.11	2.07	0.30	0.17	0.08
試食順序	4	3.05*	2.91*	3.95**	1.63	0.59	3.93**
年齢 (1次偏帰)	1	4.84*	0.36	0.05	0.64	0.51	1.75
(2次偏帰)	1	4.89*	0.33	0.04	0.64	0.54	1.86
交互作用							
試食順序×シカ肉への嗜好性	12	2.13*	1.11	1.97*	1.58	1.06	2.21*
性別×シカ肉への嗜好性	3	3.58*	0.25	0.49	0.47	0.06	0.50

添加剤：トレハロース，砂糖，ワカメ粉末，コンブ粉末，無処理

* : $P < 0.05$, ** : $P < 0.01$, *** : $P < 0.001$

表 3 各評価値に対するパネルの個人差

分散成分	味	軟らかさ・弾力	多汁性	香り	あぶらっこさ	総合
パネル	0.157	0.191	0.373	0.188	0.333	0.158
残差	1.091	1.224	0.792	0.820	0.752	1.001
全体	1.248	1.415	1.165	1.008	1.085	1.159
割合 (%)	12.580	13.498	32.017	18.651	30.691	13.632

分散割合：パネル／全体

図 1 に，シカ肉への添加剤の違いがそれぞれの評価に与える影響について示した．味の評価において，ワカメ区が他のすべての処理区に比べ有意に高く評価された ($P<0.05$)．軟らかさ・弾力の評価において，砂糖区がトレハ区および無処理区に比べ有意に高く評価された ($P<0.05$)．またワカメ区がトレハ区および無処理区に比べ有意に高く評価された ($P<0.01$)．またコンブ区が無処理区に比べ有意に高く評価された ($P<0.01$)．多汁性の評価において，砂糖区，コンブ区およびワカメ区が無処理区およびトレハ区に比べ有意に高く評価された ($P<0.05$)．香りの評価において，トレハ区，砂糖区，ワカメ区およびコンブ区の 4 処理区が無処理区に比べ有意に高く評価された ($P<0.05$)．あぶらっこさの評価において，ワカメ区がトレハ区および無処理区に比べ有意に高く評価された ($P<0.01$)．また，砂糖区およびコンブ区が無処理区に比べ有意に高く評価された ($P<0.01$)．総合評価において，トレハ区，砂糖区，ワカメ区およびコンブ区の 4 処理区が無処理区に比べ有意に高く評価された ($P<0.05$)．また，ワカメ区がトレハ区に比べ有意に高く評価された ($P<0.05$)．すべての評価項目において，ワカメ区は無処理区よりも高く評価された．

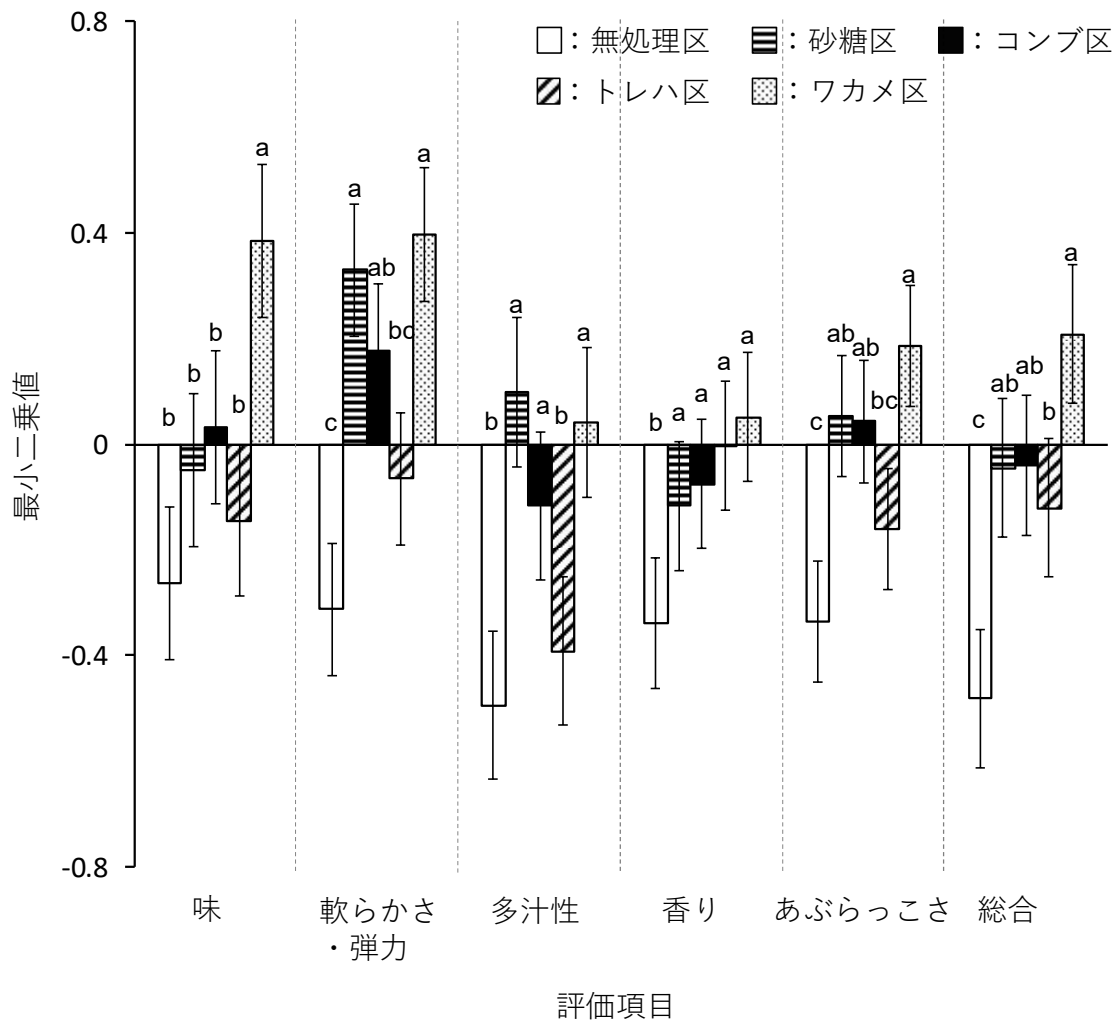


図1. 各評価に対する添加剤の影響.
 最小二乗平均値±標準誤差(n=98). a, b, c: 異符号間に有意差あり($P < 0.05$).

表 4 に，供試肉の味の評価値におけるパネルの性とシカ肉の嗜好性の交互作用について示した．味の評価において，男性はシカ肉の嗜好性について普通，苦手，未経験および好きと回答した人の順に評価が高く，普通，苦手および未経験と回答した男性は，苦手と回答した女性に比べ有意に高く評価した ($P<0.01$, $P<0.01$, $P<0.05$)．女性はシカ肉の嗜好性について好き，普通，未経験および苦手と回答した人の順に評価が高く，このうち好きと回答した人は，苦手と回答した人に比べ有意に高く評価した ($P<0.01$)．

表 5 に，処理区ごとのドリップロスについて示した．いずれの添加剤においても 6 時間処理区に比べ 24 時間処理区はドリップロスが増加した．また，砂糖区で最もドリップロスが多く，海藻類を添加したワカメ区およびコンブ区ではドリップロスが少なかった．

表 4 味の評価値におけるパネルの性とシカ肉への嗜好性の交互作用

性別×シカ肉への嗜好性		最小二乗値±標準誤差
男性	×好き	-0.18 ± 0.22 ^{ab}
	×普通	0.51 ± 0.33 ^a
	×苦手	0.17 ± 0.17 ^a
	×未経験	-0.08 ± 0.16 ^a
女性	×好き	0.50 ± 0.32 ^a
	×普通	-0.13 ± 0.60 ^{ab}
	×苦手	-0.64 ± 0.18 ^b
	×未経験	-0.21 ± 0.21 ^{ab}

^{a, b} : 異符号間に有意差あり ($P < 0.05$) .

表 5 各処理区におけるドリップロス (%)

添加時間	トレハ区	砂糖区	ワカメ区	コンブ区	無処理区
6時間	0	1	0	-0.8	-0.8
24時間	3	3.9	1.5	1.6	3

今回の食味試験において、味の評価がワカメ区およびコンブ区は無処理区に比べ有意に高く評価された。これは海藻に含まれるうま味成分であるグルタミン酸および肉中に含まれるイノシン酸の相乗効果によるものと考えられた。一般的にグルタミン酸はワカメに約 90mg/100g、コンブには約 46 倍にあたる 4100mg/100g が含まれていることが知られており（桐村 2007）、その点からワカメ区よりもコンブ区で評価が高くなることが予想されたが、第 1 章と同様に今回の試験においてもワカメ粉末を添加した肉がコンブ粉末を添加した場合に比べ有意に高く評価された。今回の調査では海藻類を添加した肉は甘味料を添加した肉や無処理の肉に比べドリップロスが少ないという結果が得られた（表 5）。一般に肉のドリップ中には呈味成分であるアミノ酸、ペプチド、ヌクレオチド、糖、有機酸、ミネラルなどが多く含まれており（岡本と鈴木 2001）、ドリップロスが多くなると、食品の量的な損失ばかりでなく風味や食味などの質的な損失も大きくなる。今回の試験ではドリップロスに関するデータ数が少なく有意性の検定はできなかったが、海藻類を添加した場合のドリップロスが少なかったことが、肉の味の評価が高かった一要因であると考えられた。

シカ肉の軟らかさ・弾力およびあぶらっこさの評価において、砂糖区、ワカメ区およびコンブ区は無処理区に比べ有意に高く評価された。海藻の主要な成分は多糖類であり、ワカ

メヤコンブなどの褐藻類はアルギン酸（ワカメ：25 g/100 g, コンブ：7 g/100 g）やフコイダン（ワカメおよびコンブ：1.5 g/100 g）などの多糖類を多くもつ（山中と小川 1998；酒井ら 2003；小田と上野 2014；柴田ら 2016）。アルギン酸は D-マンヌロン酸と L-グルロン酸からなる粘性多糖類であり，フコイダンは L-フコースと呼ばれる単糖を主な構成成分とする多糖類の総称で，このほかに D-グルクロン酸，D-ガラクトース，D-マンノースなどを構成糖として含む硫酸化多糖である（宮島 2009；照屋 2009）。また，牛肉の軟らかさについて，牛肉に砂糖を添加することで軟らかさが改善されたと報告されている（本田と和田 1957）。また，紅藻中のカラギーナンは肉の保水力や硬さを改善することが報告されており（林 2009），褐藻類に含まれるこれらの多糖類も砂糖などと同様に肉を軟らかくする効果があると考えられる。そのことから，海藻類を添加することで，シカ肉の軟らかさや弾力が改善されたものと考えられた。今回の調査では，砂糖添加による食味改善は海藻類と同様に認められたが，トレハロース添加による効果は観察できなかった。今後，添加量や添加時間なども含め詳細に検討する必要がある。

多汁性の評価においては，ワカメ区が無処理区に比べ有意に高く評価された。海藻類に含まれるアルギン酸は，化学的な構造上多くの水酸基をもつため親水性が高く，多糖類の中でも含水能力が高いことが知られている（福岡ら 1991；福岡

ら 1992；青木 2007)。このことから、今回の調査では、海藻類に含まれるアルギン酸がシカ肉の含水率を高め、多汁性の改善につながったと考えられた。

香りにおける評価も、ワカメ区およびコンブ区は無処理区に比べ有意に高かった。ワカメとコンブはどちらも香気成分をもち、ワカメの主な香気成分であるキュベノールは、ワカメを口に含んだときに海藻らしさを感じさせる主成分である（梶原 1998）。コンブもキュベノールをもつがワカメの10分の1程度の含有量で、コンブの主な香気成分は陸上植物などのグリーンノート（緑の香り）として知られるヘキサナール（3），（2E）-ヘキセノール，（3E）-ヘキセノールなどとされている（梶原 1998）。これらの香気成分は人においては美味しさを向上させる効果，もしくは安らぎを与える効果などが知られている（畑中 2007；山口 2011）。一方で，青臭さの主成分とされるヘキサナールは，シカ肉の不快臭の原因物質であるとの報告もあり（渡辺ら 1998），これらの海藻類がもつ香気成分とシカ肉がもつ香気成分の組み合わせによってシカ肉特有の獣肉臭が緩和もしくは改善され，香りの評価が高くなった可能性が考えられた。さらに，粘性多糖類が主原料であるろみ剤を食品に添加することで香気フレーバーリリースを抑制することが報告されており（荒井ら 2015），海藻類に含まれるアルギン酸などの粘性多糖類がシカ肉の獣肉臭を抑制した可能性も考えられた。

味の評価において、パネルの性とシカ肉の嗜好性間で交互作用が認められ、男性はシカ肉の嗜好性について普通と答えた人の評価が最も高く、苦手、未経験、好きと回答した人の順に評価が高かった。一方、女性はシカ肉の嗜好性について好き、普通、未経験、苦手と回答した人の順に高く評価した。女性はシカ肉が好きの人ほど味を高く評価したが、男性にはその傾向はなく好きと回答した人は最も低い評価であり、女性は男性に比べ嗜好性が忠実に評価に影響する傾向があったことから、今後詳細に検討する必要がある。

今回の調査では、シカ肉を海藻類および甘味料で処理した場合の食味官能評価に与える影響について検討した。海藻類であるワカメ粉末およびコンブ粉末でシカ肉を処理することで、シカ肉の味、軟らかさ・弾力、香り、あぶらっこさおよび総合の評価が無処理および甘味料添加に比べ改善され、特にワカメ粉末で処理した肉が高く評価される傾向にあった。このことから、シカ肉への海藻類の添加処理は第1章の牛肉赤身部分肉に対する処理と同様に食味の改善において有効であると考えられる。今後、添加時間や割合などについて詳細に検討すると同時に、パネルの性の違いによる評価の違いについても詳細に検討する必要がある。今回の食味試験では、各処理肉の試食順序による影響が出ないようにパネルへの提供をランダムに行ったが、試食順序による影響に有意性が認められ（表3）、味、軟らかさ・弾力、多汁性および総合の項目

において 5 番中 4 番目に試食した肉を高く評価する傾向にあった。さらに軟らかさ・弾力および多汁性の評価では，4 番目まで試食順が進むにつれ高くなり 5 番目で低下する傾向にあった。今後，同様な試験を行う場合，パネルへの肉の提示数を減らすもしくは提示数を開示しないなど，パネルの心理状態に配慮するなどの工夫が必要であろう。

第 3 章

赤身肉への海藻類添加による理化学性状の変化

3-1. 緒言

第 2 章では，狩猟捕獲されたシカ肉へ海藻で添加処理することで食味評価が改善されることを報告した．また，同章では海藻の中でもコンブよりもワカメでその食味改善効果が高いことが示唆され，ワカメの成分がシカ肉の食味改善に効果的に作用した可能性があると考えた．一般にワカメやコンブなどの褐藻類にはアルギン酸やフコイダンなどの粘性多糖類が多く含まれており（山中と小川 1998），コンブよりもワカメに多く含有されているアルギン酸は，水分の保持能力が高く，食肉の食感やジューシーさを向上させることができる（Chen ら 2006; Draget 2009; Thakur ら 2017）．このことから第 2 章では，シカ肉にワカメを添加することで食味が改善された要因の一つとして，アルギン酸の作用を考察した．

一般的に食肉の食味は，食肉の物理性状や化学性状と関連しており，食肉の物理性は柔らかさやジューシーさの指標として剪断力価，加熱損失，加圧保水性などから評価される場合が多い（鈴木ら 2001；畜産技術協会 2003；橋元ら 2014）．また，食肉の味や風味の指標として，アミノ酸や脂肪酸などの化学組成が用いられている（渡辺ら 1989；畜産技術協会 2003）．

このようなことから本研究では，シカ肉にワカメを添加することで食味が改善される要因について検討する目的で，捕獲されたニホンジカ肉にワカメおよびアルギン酸を添加した場合の剪断力価や加熱損失などの物理性状およびアミノ酸組成などの化学性状に与える影響について調査した。

3-2. 材料および方法

1) 供試シカ肉の調整

供試シカ肉には，第2章と同様に銃猟捕獲（2019年6月）されたニホンジカ（雄3頭，推定3歳齢）のモモ部位を用いた。捕獲されたシカは，滋賀県（2018）の「野生鳥獣肉衛生管理ガイドライン」に準じて速やかに放血され，ジビエ処理施設に搬入された。なお，供試したモモ部位のうち，筋肉部位の違いにより肉質が異なることを考慮し，部位が均一になるよう各処理区に配分した。供試肉の添加処理については第2章の方法に準じて行った。供試シカ肉は，試験開始まで冷凍保存し，添加処理直前に5℃下で解凍した。解凍した肉のスジや脂肪部分は目視で可能な限り除去した。その後，切り出した供試肉をワカメ添加（ワカメ区），アルギン酸ナトリウム添加（アルギン酸区）および無添加（無処理区）の3つの処理区に配分した。添加処理後，5℃下で24時間静置した後，流水で添加剤を除去した。表面に付着した水気をペーパータオルで拭き取り，それぞれの分析に供した。各添加剤の添加量

は、ワカメ粉末が供試肉湿重量の 2.5%、アルギン酸ナトリウムが供試肉湿重量の 0.25%とし、それぞれ供試肉に添加した。なお、アルギン酸ナトリウムの添加量は、ワカメ中の水溶性アルギン酸含量を基に算出した。

2) 供試シカ肉の理化学性状

測定項目はドリップロス、加圧保水性、加熱損失、剪断力価、遊離アミノ酸およびイミダゾールジペプチド含量とした。ドリップロスは、既報(手塚ら 2016)に準じて計測・算出した。加圧保水性、加熱損失および剪断力価の測定は、牛肉の品質評価のための理化学分析マニュアル(畜産技術協会 2003)に基づき実施した。遊離アミノ酸およびイミダゾールジペプチド含量は、衛生試験法・注解(日本薬学会 2010)の前処理を一部改変して行い測定した。なお、その詳細を以下に記した。

ドリップロス：貯蔵前と貯蔵後の重量差を貯蔵前の重量で除し、100 を乗じた値からドリップロス (%) を求めた。

加圧保水性：供試肉を濾紙とアクリル板で挟み、 35 kg/cm^2 で 1 分間加圧し、伸展した肉片面積、肉汁面積および肉の水分含量から次式により算出した。なお、肉片面積および肉汁面積の計測には、画像解析ソフト ImageJ(米国立衛生研究所, Bethesda, USA) を用いた。

加圧保水性 (%) = $[1 - \{(\text{肉汁面積} - \text{肉片面積}) \times 9.47 / \text{肉の水分含量 (mg)}\}] \times 100$

加熱損失：供試肉をビニール袋で密封し、70℃のウォーター

バスで 1 時間加熱した後，流水中で冷却し，加熱前後の肉の重量から加熱損失（%）を算出した．

剪断力価：加熱損失測定に用いた供試肉を剪断力価測定用に用いた．カミソリ刃プランジャーを装着したレオメーター（CR-500DX；株式会社サン科学，東京）を用い，供試肉が剪断される最大荷重値を剪断力価として測定した．

遊離アミノ酸およびイミダゾールジペプチド：供試肉 3 g を 0.02 N HCl 溶液 30 ml で希釈し，室温で 2 時間振とうした．その後，4℃下で遠心分離（10,000 rpm，5 分）し，上清をろ紙でろ過した．また，沈殿に 0.02 N HCl 溶液 10 ml を加え，再度遠心分離およびろ過を行った．その後 0.02 N HCl 溶液で 50 ml に定容し，0.45 μm シリンジフィルターでろ過したものを分析に用いた．アミノ酸自動分析計 L-8900（株式会社日立製作所，東京）を使用し，陽イオンカラムにて分離，ポストカラム-ニンヒドリン標識法にて，18 種のアミノ酸（アスパラギン酸，トレオニン，セリン，グルタミン酸，グリシン，アラニン，バリン，システイン，メチオニン，イソロイシン，ロイシン，チロシン，フェニルアラニン，トリプトファン，リシン，ヒスチジン，アルギニン，プロリン）および 2 種のイミダゾールジペプチド（アンセリン，カルノシン）を検出・定量した．

3) データ解析

統計解析は SPSS ver. 25 (IBM Corporation, Armonk, USA) を使用し, 各処理区間の比較に Friedman 検定を用い, Bonferroni の多重比較法を用いて行った.

3-3. 結果および考察

図 1 に各処理区における供試シカ肉のドリップロスを示した. ドリップロスは処理区間で有意な差はみられなかった.

図 2 に各処理区における供試シカ肉の加圧保水性について示した. シカ肉の加圧保水性は, ワカメ区およびアルギン酸区は無処理区に比べ高くなる傾向がみられ, アルギン酸区が無処理区に比べ有意に保水性が高くなった ($P<0.05$).

図 3 に各処理区における供試シカ肉の加熱損失について示した. シカ肉を加熱した場合の損失率はいずれの区においても有意な差は認められなかった.

図 4 に各処理区における供試シカ肉の剪断力価について示した. シカ肉の剪断力価は, アルギン酸区およびワカメ区は無処理区に比べ低くなる傾向がみられ, ワカメ区が無処理区に比べ有意にせん断力が低くなった ($P<0.05$).

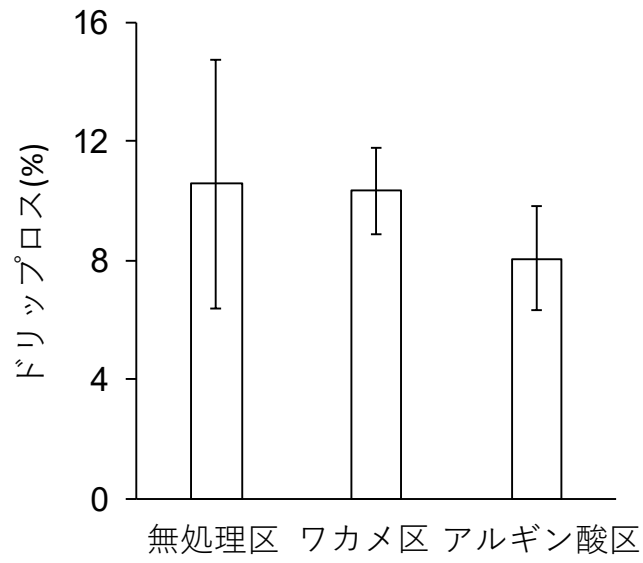


図1. 各処理区のドリップロス.
最小二乗平均値±標準誤差(n=3).

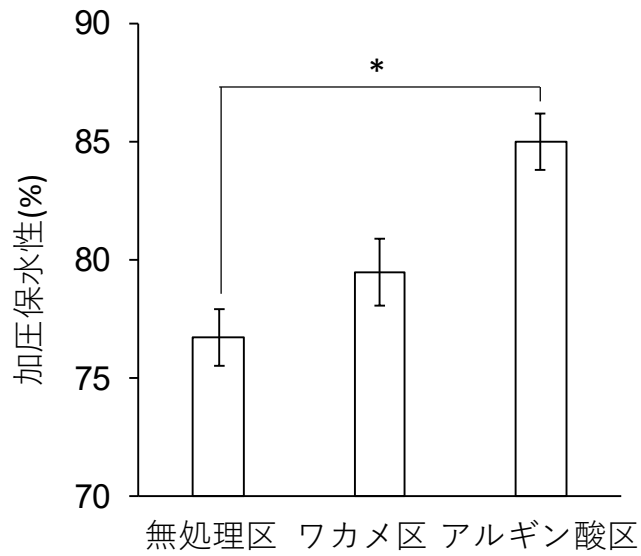


図2. 各処理区の加圧保水性.
最小二乗平均値±標準誤差(n=3).
*: $P < 0.05$.

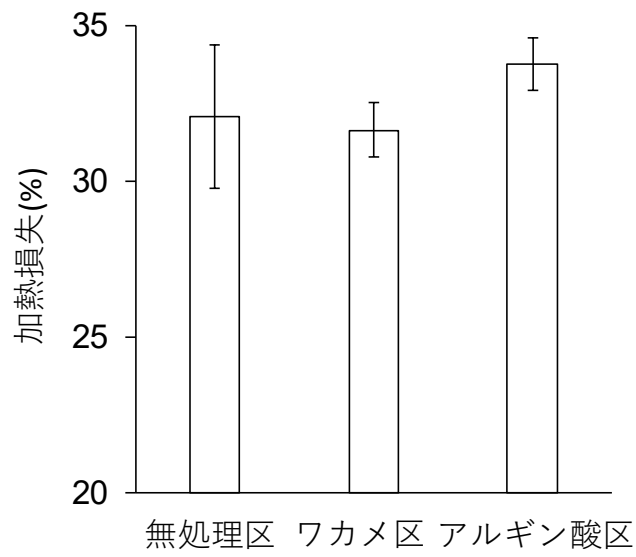


図3. 各処理区の加熱損失.
最小二乗平均値±標準誤差(n=3).

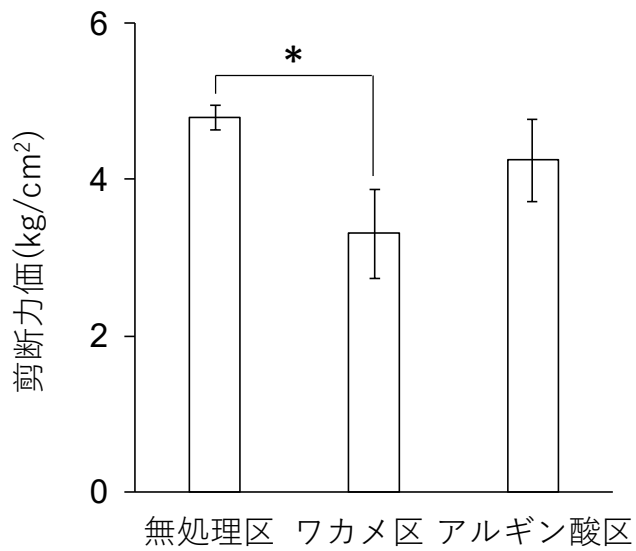


図4. 各処理区の剪断力価.
最小二乗平均値±標準誤差(n=3).
*: $P < 0.05$.

表 1 に各処理区における供試シカ肉の遊離アミノ酸およびイミダゾールジペプチド含量について示した。遊離アミノ酸およびイミダゾールジペプチド含量は、いずれの区においても有意な差は認められなかった。

食肉からのドリップは、一般的に呈味成分であるアミノ酸、ペプチド、ヌクレオチド、糖、有機酸、ミネラルなどが多く含まれており、ドリップロスが多くなると、食品の量的な損失ばかりでなく風味や食味などの質的な損失も大きくなると言われている（岡本と鈴木 2001）。本試験では、ドリップロスに各処理区間で有意な差は認められなかったものの、アルギン酸を添加した場合にドリップロスが減少する傾向がみられたことから、それらの呈味成分の流出が抑制された可能性がある。しかし、今回の試験では、ドリップロスに無処理区と差がなかったことから、食味評価との関連について今後、詳細に検討する必要がある。

表 1 各処理区の遊離アミノ酸およびイミダゾールジペプチド含量

(mg/ 100 g)	無処理区	ワカメ区	アルギン酸区
遊離アミノ酸			
アスパラギン酸	2.3 ± 0.3	1.9 ± 0.1	2.2 ± 0.3
トレオニン	4.4 ± 0.4	4.0 ± 0.6	4.2 ± 0.4
セリン	5.0 ± 0.6	4.8 ± 1.1	4.9 ± 0.6
グルタミン酸	6.0 ± 0.8	5.3 ± 0.3	5.8 ± 0.1
グリシン	5.5 ± 0.2	4.7 ± 0.4	4.8 ± 0.4
アラニン	29.5 ± 0.7	23.5 ± 2.5	25.9 ± 2.6
バリン	9.5 ± 1.5	7.5 ± 1.1	8.5 ± 0.7
システイン	5.7 ± 1.6	5.8 ± 1.1	4.6 ± 0.6
メチオニン	7.3 ± 1.2	6.5 ± 1.0	6.6 ± 0.8
イソロイシン	3.3 ± 0.7	8.1 ± 1.5	9.1 ± 0.7
ロイシン	23.1 ± 3.9	19.5 ± 3.1	20.8 ± 1.7
チロシン	10.7 ± 2.3	9.1 ± 2.3	9.5 ± 1.3
フェニルアラニン	6.8 ± 0.9	7.1 ± 1.2	6.7 ± 0.8
トリプトファン	1.5 ± 0.2	1.3 ± 0.3	1.6 ± 0.9
リシン	3.8 ± 0.4	3.3 ± 0.4	4.1 ± 0.2
ヒスチジン	1.9 ± 0.4	1.7 ± 0.3	1.9 ± 0.3
アルギニン	6.2 ± 0.5	5.3 ± 0.3	5.6 ± 0.5
プロリン	N.D	N.D	N.D
合計	132.3 ± 14.3	119.6 ± 16.3	127.0 ± 8.0
イミダゾールジペプチド			
アンセリン	73.0 ± 37.9	27.5 ± 27.5	N.D
カルノシン	190.8 ± 47.1	174.0 ± 33.3	169.3 ± 29.0

N.D:検出限界以下.
 平均値±標準誤差 (n=3).

食肉の多汁性やジューシーさの指標として肉の加圧保水性および加熱損失が広く用いられている（日高ら 2006；丸居ら 2012；鎌田ら 2019）。今回の試験では，加圧保水性がアルギン酸を添加することで無添加に比べ有意に上昇した。一般的に加圧保水性が上昇すると，食肉を噛み込んだ際に口腔内に広がる肉汁が広がりやすくなるとされ（河野ら 1975），その点から食肉のジューシーさが改善されると言われている（畜産技術協会 2003；丸居ら 2012）。アルギン酸は，化学的な構造上多くの水酸基をもつため親水性が高く，多糖類の中でも含水能力が高いことが知られている（上田ら 1988；飛岡と田先 1992）。このことから，今回の試験では，アルギン酸がシカ肉の保水性を高めたことから，結果として食味評価の多汁性の改善につながるものと考えられた。一方，今回の試験では，ワカメを添加した場合は有意な保水性の上昇は認められなかった。アルギン酸は海藻の細胞間に存在する物質であり（Nesic 2017），ワカメ藻体中でのアルギン酸の存在形態や溶出の量や速度などが，ワカメ添加とアルギン酸単体での添加効果の違いに影響した可能性がある。

食肉の柔らかさを評価する指標に肉の剪断力価が一般的に用いられている（松浦ら 1990；畜産技術協会 2003；中村ら 2010；大小田ら 2019）。剪断力価は，肉を切断する際の最大荷重を示しており（畜産技術協会 2003），剪断力価の低下は肉が軟らかく切断しやすく食味改善されたと評価される。今

回の試験では，ワカメを添加することで無添加に比べ有意に剪断力価が有意に低下した．第2章ではシカ肉にワカメを添加することで食味評価の軟らかさの項目も有意に改善されることが明らかとなり，今回の試験においてワカメを添加することで剪断力価が低下することは，それらを支持するものと考えられる．食肉の軟らかさについて，糖を添加することで改善されることが報告されている（本田と和田 1957）．ワカメには粘稠な多糖類であるアルギン酸が豊富に含まれており（山中と小川 1998），それらが食肉の軟らかさに影響した可能性がある．一方，今回の調査ではアルギン酸単体を添加した場合，剪断力価が低下する傾向はみられたものの，有意な低下は認められなかった．ワカメにはアルギン酸以外にもフコイダンやラミナランなどの粘性多糖類も含まれている（Trincone 2019）．したがって，これらの粘性多糖類含量が剪断力価に影響した可能性がある．

食肉の味を評価する指標に肉に含まれる遊離アミノ酸量や組成が用いられている（三枝ら 1987；三上ら 1995；KwonとChoi 2018）．今回の調査では，いずれの処理区においても遊離アミノ酸量および組成に有意な差は認められなかった．第2章ではシカ肉へワカメ添加することで，食味評価の味の項目においても改善がみられた．一般的にうま味に関連するアミノ酸としてグルタミン酸が知られているが，うま味は味に関連するペプチドや塩化ナトリウムなど様々な成分と融和する

ことで味覚として認識しやすくなることが報告されている（石井ら 1995；山口と鈴木 2008）。また，第 2 章で味の評価にパネルの性差やシカ肉の食味経験などが影響している可能性が示唆された。このようなことから，今回の試験では，いずれの添加によってもアミノ酸量や組成には影響しないが，他の成分との融和などによって味の改善につながった可能性がある。アンセリンは，アルギン酸区では検出されなかった。また，無処理区（3 サンプル中 1 サンプル）およびワカメ区（3 サンプル中 2 サンプル）においてもアンセリンが検出されなかった。そのことから，供試肉の洗浄処理でアンセリンが流出し，その結果検出されなかった可能性がある。しかし，添加前の未洗浄の供試肉においても，3 サンプル中 2 サンプルで検出されなかったことから，肉中におけるアンセリンの局在性など他の要因の影響を受けている可能性があり，今後，詳細に検討する必要がある。

今回の試験では，捕獲されたニホンジカ肉にワカメおよびアルギン酸を添加することで，その理化学性状に与える影響を検討した。シカ肉にアルギン酸を添加することで加圧保水性が改善し，ワカメ添加では，剪断力価が改善することが示唆され，これらが結果としてシカ肉の食味評価の改善につながったものと考察された。その一方で，ワカメ添加とアルギン酸添加で，その作用が異なったことから，それらの作用機序について詳細に検討する必要がある。

第 4 章

ウシへの海藻給与による腸管免疫能の変化

4-1. 緒言

肉用牛の飼養現場において、感染性の下痢や肺炎などの予防や治療のために抗菌剤の投与が一般的に行われている（山田 2014）。しかし、最近では抗菌剤に対する薬剤耐性菌の出現や抗菌剤による食の安全性が懸念されていることから、これらに対する消費者の関心が一段と高まっている（石崎 2010）。このような背景から、抗生物質に依存しない天然素材などを活用した飼養管理手法の確立が強く望まれており（伊藤ら 2014；田崎ら 2015）、臨床現場では動物自身の免疫力を向上させ、発症リスクを低減させる取り組みが積極的に行われるようになってきた（松田ら 2013）。

ウシの免疫成分には、免疫グロブリン G (IgG), M (IgM), A (IgA) などがあるが、特に IgA は腸内の抗原の捕捉や腸管壁からの抗原の侵入防止など、ウシの腸管免疫の主要な機能を担っている（Harris ら 2006；Stelwagen ら 2009）。腸管免疫は外部から侵入する細菌やウイルスなどの異物に対して働き、腸管免疫賦活化は宿主のそれらに対する抵抗力を高めることから、感染性の下痢症予防において極めて重要である（安部 2008；林 2008）。

単胃動物であるブタでは、海藻中の難消化性多糖類を腸内

微生物が分解することで腸管免疫が賦活化される可能性が示唆されている（水間ら 2013）。この海藻中の難消化性多糖類を分解できる細菌は、ブタのみならずウシにも認められていることから（Atherly と Ziemer 2014）、海藻摂取による腸管免疫の賦活化はウシなどの反芻動物でも利活用できる可能性がある。このような作用機序でウシの自己免疫を高めることは、抗菌剤の使用低減を通して安心・安全な家畜飼養管理技術への応用が期待できる。

単胃動物の腸管免疫賦活化には、難消化性多糖類を基質とした腸内微生物による揮発性脂肪酸（VFA: Volatile Fatty Acid）産生の関与が報告されている（Reilly ら 2008； Kim 2016）。また、健康状態の指標として一般的に広く用いられている糞便スコアや糞中水分含量などの糞便性状は、ウシの下痢症との関連が報告されている（佐藤ら 2003；Palacios ら 2006；安松谷 2013）。したがって、ウシの海藻摂取による腸管免疫への影響について詳細に検討する場合、腸内での微生物代謝を反映する糞中 VFA 濃度および糞便性状も併せて検討する必要がある。

このようなことを背景に本研究では、腸管免疫の指標として利用されている糞中 IgA 濃度に加え、糞中 VFA 濃度および糞便性状に与えるウシへの海藻給与の影響を検討した。

4-2. 材料および方法

1) 供試牛および飼養方法

供試動物には，石川県の同一農場内で繋留飼育される黒毛和種経産牛 4 頭（平均 74 ± 27 ヲ月齡）を用い，2019 年 11～12 月に試験を実施した．なお，供試牛は全て妊娠牛で試験終了時において分娩 3 ヲ月前までとなる牛群を選定した．試験は，海藻飼料を給与する区（海藻区）および給与しない区（対照区）に供試牛を 2 頭ずつ配置し，給与Ⅰ期（10 日間），休止期（13 日間），給与Ⅱ期（10 日間）の 3 期からなる 2×2 のクロスオーバー法で実施した．海藻区には，アスコフィラム・ノドサム（褐藻類，*Ascophyllum nodosum*）を原料とした市販の海藻飼料（アルギット；神協産業，山口）を給与した．なお，海藻飼料の給与量は製造者の推奨量に準拠し，給与Ⅰ期およびⅡ期のいずれも朝の給餌時に 1 頭あたり 150 g の海藻飼料を給与した．なお，供試牛への基礎飼料として 1 頭あたりスーダングラス 3 kg，ヘイキューブ 1 kg，野菜くず 7 kg および大豆粕または配合飼料 0.4 kg を 1 日 2 回（朝：8 時，夕：17 時）に分けて給与し，飲水はウォーターカップから自由に摂取させた．いずれの供試牛も，給与量の全量を摂取した．

2) 調査項目および調査方法

測定項目は糞便スコア，糞 pH 値，糞中水分含量，糞中 IgA および VFA 濃度とし，給与Ⅰ，Ⅱ期の 1 日目および 10 日目に直腸糞約 150g を夕方の給餌前（15～16 時）に採取した．糞便

スコアは Palacios らの報告 (2006) に従い, 硬便=0, 正常便=1, 軟便=2, 下痢便=3 とし, 糞採取時に目視で複数名により判別記録した. 採取した糞は氷冷下で実験室に持ち帰り, 各項目測定用に分取し, それぞれ夾雑物を除去するため前処理を行った. 糞 pH 値の測定は, 佐藤らの報告 (2003) に準じて分取した糞を速やかに前処理し, 硝子電極法により行った. すなわち, 採取直後の新鮮糞を 5.0 g 秤量し, 20 ml の蒸留水を加えて混和した. 混和した試料を三重ガーゼで濾過し, 濾液を別の容器に分取した. pH 計 (D-23: 堀場製作所, 京都) を用い, 分取した試料の pH 値を測定し, これを糞 pH 値とした. 糞中水分含量は常圧乾燥法 (河合ら 2002) により測定した. -VFA 測定用糞サンプルは既法 (佐藤ら 2003) に準じて前処理を行った. すなわち, 糞 pH 値の測定に用いたろ液の一部を 4°C 下で遠心分離 (2,000 rpm, 10 分) した. 上清を 1.5 ml マイクロチューブに分注して測定まで -20°C 下で保存した. 解凍した上清を 0.45 μ m シリンジフィルターでろ過したものを VFA 測定に用いた. 糞中 VFA 濃度の測定は, 高速液体クロマトグラフィー (送液ポンプ LC-20AD, カラムオーブン CTO-20AC, 脱気装置 DGU-20A₃, オートサンプラー SIL-20AC, システムコントローラ CBM-20A および LC solution, 電気伝導度検出器 CDD-10Avp; いずれも島津製作所製) を用いて既法 (梅津ら 1998) に準じて行った. なお, カラムには Shim-pack SPR-H を用いて流速 0.80 ml/min, 温度 40°C とし, 移動相には

4 mM の *p*-トルエンスルホン酸水溶液を用いて分析した。IgA 測定用糞サンプルは既法 (Cooke ら 2019) に準じて前処理を行った。すなわち、糞を 0.20 g 秤量し 2.0 ml のリン酸緩衝液 (PBS) で希釈・混合後、4°C 下で遠心分離 (3,000 rpm, 15 分) した。上清 1 ml を分取し、プロテアーゼ阻害剤 (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) を 10 μ l 加え攪拌し、測定まで -20°C 下で保存した。糞中 IgA 濃度の測定は Cooke ら (2019) に準じ、ウシ IgA 測定キット (Bovine IgA ELISA Quantitation Set, Bethyl Laboratories Inc., Montgomery, USA) を用いて ELISA 法で実施した。吸光度は、マイクロプレートリーダー (Spectra max plus 384; Molecular Devices, Sunnyvale, USA) を用いて 450 nm で測定した。

3) データ解析

得られた結果については、統計解析ソフト SPSS Statistics 25 (IBM Corporation, Armonk, USA) を用い、各測定項目における区間差の有意性を、正規分布するデータは Student-t、非正規分布データは Mann-Whitney U 検定で判定した。また、糞中 IgA と VFA 濃度の関連性の有無は、正規分布するデータは Pearson、非正規分布データは Spearman の相関係数から判定した。なお、 $P < 0.05$ の場合を有意差ありとし、 $0.05 \leq P < 0.1$ を傾向ありとした。

4-3. 結果および考察

糞便スコア，糞 pH 値，糞中水分含量および糞中 IgA 濃度について表 1 に示した．いずれの区においても，糞便スコアは正常値である 1 を示し，糞中水分含量も 82% 程度と正常範囲内であり，Hanajima ら（2006）の報告と一致していた．また，糞 pH 値についても，両区で 7.5 前後と中性付近で推移しており，正常範囲からの逸脱はないと考えられた（中村ら 1997）．さらに，日々の観察所見においても，飼料摂取量に差はなく，食欲や活力などに変化は認められなかったことから，供試牛の健康状態は試験期間を通して一定に保たれていたものと推察された．

一方，海藻区の糞中 IgA 濃度は，給与開始時で約 5 $\mu\text{g/g DM}$ ，終了時で約 17 $\mu\text{g/g DM}$ となり，給与終了時に高くなる傾向がみられた（ $P < 0.10$ ）．さらに，給与 I および II 期の 1 日目と 10 日目の糞中 IgA 濃度の変化量は，対照区において約 -5 $\mu\text{g/g DM}$ であったのに対し，海藻区では約 12 $\mu\text{g/g DM}$ であり，両区間に有意差が認められた（図 1， $P < 0.05$ ）．

表1. 給与期における開始時および終了時の糞便スコア, 糞中水分含量, 糞pH値および糞中IgA濃度

		海藻区	対照区
糞便スコア	開始時	1.0±0.0	1.0±0.0
	終了時	1.0±0.0	1.0±0.0
糞中水分含量(%)	開始時	82.1±0.4	82.5±0.7
	終了時	81.3±1.3	83.2±1.6
糞pH値	開始時	7.4±0.1	7.5±0.1
	終了時	7.8±0.1	7.8±0.1
糞中IgA濃度(μg/g DM)	開始時	5.0±2.7	9.2±4.2
	終了時	16.8±4.4 [†]	3.9±1.6

平均値±標準誤差 (n=4) . [†]:P<0.10

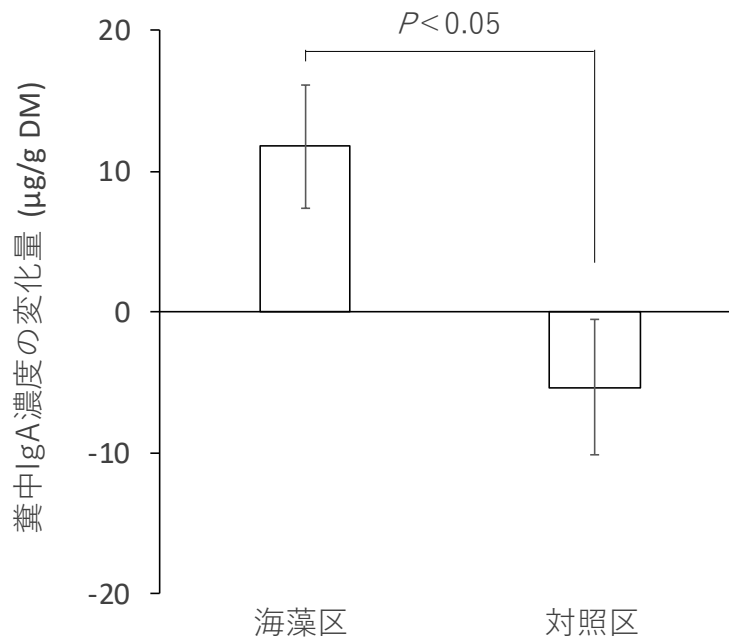


図1. 給与期における開始時と終了時の糞中IgA濃度の変化量. 平均値±標準誤差(n=4).

糞中 VFA 濃度および酢酸/プロピオン酸 (A/P) 比について表 2 に示した。給与 1 日目および 10 日目のいずれにおいても海藻区と対照区の間で糞中 VFA 濃度および A/P 比に有意差はみられなかった。また、図 2 に示したように、糞中 IgA 濃度はいずれの VFA 濃度との間にも相関が認められなかった。ブタに海藻抽出物を摂取させた場合、それに含まれる難消化性多糖類が腸管に流入し、腸内微生物がそれらを資化することで VFA が産生されることが報告されている (Reilly ら 2008)。本研究では、海藻給与により糞中 VFA 濃度に有意な変化がみられなかったことから、腸内微生物が海藻由来の難消化性多糖類を資化した可能性は低いと推察された。

表2. 給与期における開始時および終了時の糞中VFA濃度およびA/P比

		海藻区	対照区
酢酸 ($\mu\text{mol/g DM}$)	開始時	72.7 \pm 5.5	66.6 \pm 8.4
	終了時	72.1 \pm 3.3	72.1 \pm 11.2
プロピオン酸 ($\mu\text{mol/g DM}$)	開始時	7.2 \pm 1.6	6.2 \pm 1.4
	終了時	4.6 \pm 0.5	5.9 \pm 1.1
<i>n</i> -酪酸 ($\mu\text{mol/g DM}$)	開始時	0.6 \pm 0.4	1.0 \pm 1.0
	終了時	0.1 \pm 0.1	0.9 \pm 0.7
イソ酪酸 ($\mu\text{mol/g DM}$)	開始時	62.9 \pm 13.0	60.7 \pm 6.0
	終了時	49.6 \pm 12.8	61.6 \pm 14.0
総VFA ($\mu\text{mol/g DM}$)	開始時	143 \pm 12	134 \pm 16
	終了時	116 \pm 13	141 \pm 24
A/P 比	開始時	10.9 \pm 1.3	11.4 \pm 1.1
	終了時	14.0 \pm 1.1	12.6 \pm 1.4

平均値 \pm 標準誤差 (n=4). A/P 比: 酢酸/プロピオン酸比.

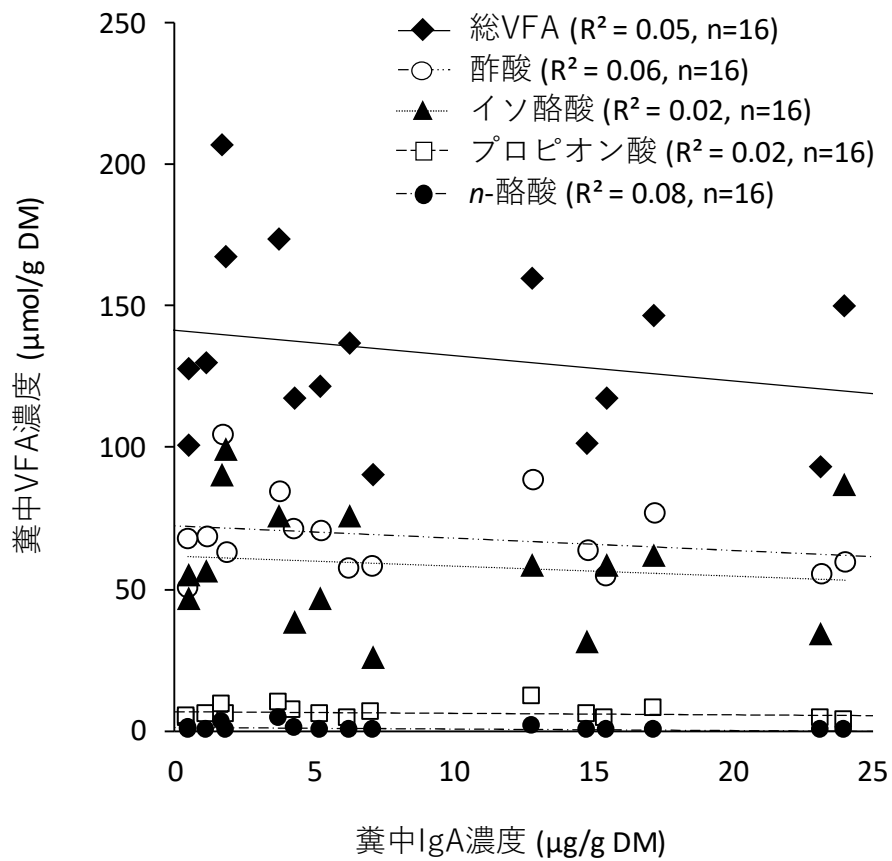


図2. 糞中IgA濃度と糞中VFA濃度の関連性.
 平均値±標準誤差.

難消化性多糖類による腸管 IgA 産生の促進について、マウス腸管細胞を用いた *in vitro* 試験から大きく 2 つの作用経路が報告されている (Kim 2016; Kim ら 2016)。まず、難消化性多糖類が腸内微生物により代謝され、産生された VFA が腸管粘膜に作用することで腸管 IgA の産生が促進される間接的な経路がある。さらに、難消化性多糖類が腸管粘膜内に直接取り込まれ、B 細胞や T 細胞が活性化することにより IgA 産生が促進される直接的な経路がある。本研究では、海藻給与により糞中 VFA 濃度に有意な変化はみられなかったことから、糞中 IgA の増加は、間接的な経路による可能性は低く、摂取した海藻飼料に含まれる難消化性多糖類が腸管 IgA 産生に直接作用した可能性が高いと考えられた。

その一方で、本研究からは海藻飼料に含まれる難消化性多糖類が反芻胃での消化を逃れ、腸管に流入したのかは不明である。また、褐藻にも多く含まれるカロテノイドの抗酸化作用で腸管免疫が賦活化することも報告されており (Rühl 2007)、本研究における海藻給与による糞中 IgA の増加は、難消化性多糖類以外のフコキサンチンなどのカロテノイドが間接的に関与した可能性も考えられる。そのようなことから、海藻給与による腸管免疫の賦活化には、単一の成分ではなく複数の成分が関与している可能性がある。したがって、ウシへの海藻給与による腸管免疫賦活化について、本研究のみからその作用機序を十分に説明することは難しく、海藻成分の

反芻胃内における動態なども含め詳細に検討する必要がある。

本研究において、ウシの腸管免疫賦活活性に与える海藻給与の影響について調査した結果、糞中 IgA 濃度の変化量が海藻飼料を給与した場合に有意に大きく ($P < 0.05$)、正の変化を示したことから、市販海藻飼料の給与によって腸管免疫が活性化することが示唆された。その一方で、糞 pH 値や糞中 VFA 濃度に変化がみられなかったことから、腸内微生物叢の変化以外の機序による免疫賦活作用が糞中 IgA 濃度に関連している可能性がある。

総 括

海藻資源の利活用は世界的に増加している一方で、過剰な分布拡大が問題視され、しばしば外来種として生態系に悪影響を及ぼすとして駆除の対象なる場合がある。また、海藻利用に伴う製造過程で、端材や残渣が多量に廃棄されており、その利活用も課題の一つとなっている。このように海洋環境の保全、廃棄資源の削減および利活用の観点から、海藻資源の積極的な利活用が強く望まれている現状にある。

このようなことを背景に本論文では、海藻資源を食肉の加工現場から家畜の飼養現場まで多面的な利活用に関して一連の検討を行った。すなわち、食肉加工においては、シカ肉および牛赤身肉の食味改善への海藻資源の利用について検討し、さらにその作用機序についても検討した。家畜の飼養管理においては、ウシの自己免疫向上への海藻資源の活用について検討を行った。これら一連の研究から以下の知見を得た。

1) 一般的に筋肉質で口当たりが硬いとされる赤身肉への海藻類の添加による食味改善効果について、ワカメおよびコンブ粉末を添加した市販赤身牛肉を用いて一般消費者を対象に食味官能評価試験を通して検討した。その結果、供試した赤身肉の硬さ、味、多汁性、香り、あぶらっこさおよび総合のいずれの評価項目においてもワカメ粉末を添加した肉が無処理の肉に比べ有意に高く評価された。また、硬さ、味、多汁性、

香りおよび総合評価の項目において、ワカメ粉末を添加した肉がコンブ粉末を添加した肉に比べ有意に高く評価された。コンブ粉末を添加した肉は無処理の肉に比べいずれの評価項目においても高くなる傾向はみられたものの有意な差は認められなかった。このことから、ワカメやコンブを赤身肉に添加することで、硬さや味などを含めた総合評価として食味が改善されることが示された一方で、ワカメとコンブで食味改善効果に違いがあることが示唆された。

2) 農林業や森林生態系の保護・保全としてのニホンジカの食肉利用に関連して、銃猟捕獲されたシカ肉にワカメ粉末およびコンブ粉末を添加した場合の食味官能評価への影響について調査し、シカ肉の食味改善に対する有効性を検討した。その結果、供試したシカ肉の味、軟らかさ・弾力、多汁性、香り、あぶらっこさおよび総合のいずれの評価項目においてもワカメ粉末を添加したシカ肉が無処理に比べ有意に高く評価された。また、味以外の評価項目において、コンブ粉末を添加したシカ肉が無処理に比べ有意に高く評価された。このことから、シカ肉への海藻類（特にワカメ粉末）の添加は牛肉赤身部分肉と同様に食味の改善において有効であると考えられた。

3) 赤身肉にワカメを添加した場合の食味改善の機序について検討することを目的とし、捕獲されたニホンジカ肉にワカメおよびその抽出成分であるアルギン酸を添加した場合の食味

に関連する剪断力価や加熱損失およびアミノ酸組成などの理化学性状の変化を検討した。その結果、食肉の多汁性やジューシーさに関連する加圧保水性はアルギン酸を添加することで無添加に比べ有意に上昇したが、一方でワカメ粉末を添加した場合は有意な保水性の上昇は認められなかった。また、食肉の柔らかさに関連する剪断力価はワカメを添加することで無添加に比べ有意に低下した一方で、アルギン酸を添加した場合、剪断力価の低下に有意な差は認められなかった。食肉の味に関連するアミノ酸組成は、いずれの添加でも有意な差は見られなかった。以上のことから、シカ肉にワカメ粉末を添加した場合、アミノ酸などの化学的組成には影響しないものの、加圧保水性や剪断力価などの物理性が変化することで、結果として食味が改善する可能性が示された。その一方で、ワカメ粉末添加とアルギン酸添加で、その作用が異なったことから、ワカメの主成分であるアルギン酸以外の成分も食味改善に寄与している可能性が示された。

4)天然素材を活用した肉用牛の飼養管理手法の確立に関連し、ウシに市販海藻飼料を給与した場合の糞中 IgA, VFA 濃度および糞便性状を調査し、腸管免疫賦活活性に与える影響を検討した。海藻を摂取したウシの糞中 IgA 濃度は、給与開始時よりも終了時に高くなる傾向がみられた。さらに、糞中 IgA 濃度の変化量が海藻飼料を給与した場合に有意に大きく、正の変化を示した。一方、糞中 VFA 濃度および A/P 比は給与 1

日目および 10 日目のいずれにおいても海藻区と対照区の間で有意差はみられなかった。また、糞中 IgA 濃度はいずれの VFA 濃度との間にも相関が認められなかった。以上のことから、海藻をウシに給与することで腸管免疫が賦活化することを明らかにした。また、その作用として腸内微生物が海藻由来の難消化性多糖類を資化した可能性は低いと考えられた。その一方で、難消化性多糖類が腸管粘膜内に直接取り込まれ、B 細胞や T 細胞が活性化することにより IgA 産生が促進された可能性や、難消化性多糖類以外のフコキサンチンなどのカロテノイドが糞中 IgA の増加に関与した可能性が考えられた。

これらの知見から、脂肪交雑が少なく硬いと評される赤身牛肉や獣臭さの強いシカ肉への海藻添加による食味改善、さらに、ウシの腸管免疫賦活化などにおいて海藻資源の有用性が示された。これらの知見は、今後の海藻資源の畜産分野での利活用を検討する上での基礎となると考えられる。

石川県をはじめとした北陸沿岸は、豊富な海藻資源を有することが知られており、北陸を中心とした地域では古くから多種多様な海藻が食利用されてきた。本研究で得られた知見を活用して、これらの食利用の過程で生じる端材などを食肉の食味改善に応用することで、新たな産業創出に繋がると考えられる。また、北陸沿岸では海藻の漂着も多くみられ、環境や景観保全の点から問題となっており、その活用が強く望まれている状況にある。今後、本研究で得られた知見を基礎

として、これらの海藻資源を家畜の飼養現場での活用について検討することで、地域の環境・景観保全と共に畜産ブランドの強化など、地域の産業振興に大きく貢献できると考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり，研究に取り組む姿勢と実験の進め方，更に論文作成に至るまで，終始懇切丁寧なご指導を賜りました石川県立大学生物資源環境学部 平山琢二教授に対して，心より感謝の意を表します．

本論文の審査過程において，数々のご助言とご指導を賜りました石川県立大学生物資源環境学部 橋谷田豊教授，河井重幸教授，浅野桂吾助教ならびに新潟食料農業大学副学長 中井裕教授に深く感謝申し上げます．

本研究における統計解析に関してご指導とご協力を賜りました琉球大学農学部及川卓郎教授，海藻飼料の生理作用に関する知見などについて本実験遂行の折々に適切なご指導とご教示をいただきました東北大学農学部 加藤和雄客員教授ならびに鈴木啓一客員教授，反芻家畜の免疫機構に関するご指導とご教示をいただきました酪農学園大学獣医学群 林英明准教授に深く感謝し，御礼申し上げます．また，本研究に関連する分析方法と分析機器の操作をご指導いただきました石川県工業試験場化学食品部 辻篤史氏，京都大学大学院農学研究科 片山礼子准教授，石川県立大学生物資源環境学部 馬場保徳講師に深く感謝申し上げます．

本研究で用いた赤身牛肉をご提供いただきました株式会社きたうち，シカ肉をご提供いただきました滋賀県猟友会，食

味試験にパネルとしてご協力いただきました滋賀県立大学の皆様，供試牛をご提供いただきました杉本信夫獣医師，海藻飼料をご提供いただきました神協産業株式会社，予備試験で用いた供試牛をご提供いただきました石川県農林総合研究センター能登畜産センター，神戸高見牛牧場株式会社，倉田畜産，JA全農兵庫神戸ファームに厚く御礼申し上げます。また，本研究の試験場所の選定にあたり貴重な情報とご助言をいただきました石川県農林総合研究センター畜産試験場 石田美保氏に感謝申し上げます。最後に，研究について多大なるご協力とご支援を頂きました滋賀県立大学環境科学部応用動物管理学研究室の皆様，石川県立大学生物資源環境学部動物管理学研究室の皆様，供試された全ての動物に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 安部良. 2008. 粘膜免疫 —腸管免疫に焦点を当てて—. 日本
家畜臨床感染症研究会誌 3 (2), 61-65.
- 安達修一・松江睦子・川井英雄・細貝祐太郎・二宮隆博・岡
田太郎. 1978. 海藻中のヒ素, セレン, フッ素およびヨ
ウ素含有量について. 食品衛生学雑誌, 19(5): 491-495.
- 青木央. 2007. 7. 昆布の健康機能成分:アルギン酸とフコイ
ダン (<総説特集>伝統食品の科学-ルーツ, おいしさ, 機
能-7). 日本味と匂学会誌, 14 (2), 145-152.
- 荒井恵美子. 2017. とろみ調整剤添加食品の香気フレーバー
リリースに関する研究. 博士論文, 東京家政大学, 東京.
- 荒井恵美子, 佐藤吉朗, 長尾慶子. 2015. とろみ調整剤添加
食品の香気フレーバーリリース. 日本調理科学会誌,
48(4), 255-264.
- Atherly T, Ziemer CJ. 2014. Bacteroides isolated from four
mammalian hosts lack host-specific 16S rRNA gene
phylogeny and carbon and nitrogen utilization patterns.
MicrobiologyOpen 3 (2), 225-238.
- Chen CG, Gerelt B, Jiang ST, Nishiumi T, Suzuki A. 2006.
Effects of high pressure on pH, water-binding capacity
and textural properties of pork muscle gels containing
various levels of sodium alginate. Asian-Australasian

Journal of Animal Sciences, 19 (11), 1658-1664.

千国幸一，佐々木啓介，本山三知代，中島郁世，尾嶋孝一，
大江美香，室谷進．2013．ブタ肉中のイノシン酸含量に
およぼす筋肉型の影響．日本養豚学会誌，50(1)，8-14．

畜産技術協会．2003．牛肉の品質評価のための理化学分析マ
ニュアル Ver. 2. pp. 3-21. 畜産技術協会．東京．

Cooke AS, Watt KA, Morgan ER, Dungait JAJ. 2019. The
latest FAD-Faecal antibody detection in cattle. Protocol
and results from three UK beef farms naturally infected
with gastrointestinal nematodes. Parasitology 146 (1),
89-96.

Draget KI. 2009. Alginates. In: Phillips GO, Williams PA
(eds), Handbook of hydrocolloids, second edition, p807-
828. Woodhead Publishing. UK.

福岡聰，上嶋洋，小林良生．1991．アルギン酸と光感応性ポ
リビニルアルコールとの混合紡糸繊維からなる繊維紙と
その強度特性．紙パ技協誌，45 (11)，1255-1260．

福岡聰，小比賀秀樹，上嶋洋，小林良生，天満啓之．1992．
アルギン酸ナトリウム繊維の製造とその抗生物質包括担
体への応用．繊維学会誌，48 (1)，42-46．

福島正子・佐藤理栄・竹山恵美子・松本孝．2005．食物繊維
のアルミニウム結合能に及ぼす pH の影響．日本家政学
会誌，56(1)：23-29．

- 船津保浩・宮内千枝・川上誠・石下真人．2015．醤油醸造技術を用いて調製したエゾシカ醬の品質特性．日本畜産学会報，86(1)：53-61．
- 濱田仁．2009．日本人の海藻利用．海藻資源．21，40-57．
- Hanajima D, Kuroda K, Fukumoto Y, Haga K. 2006. Effect of addition of organic waste on reduction of *Escherichia coli* during cattle feces composting under high-moisture condition. *Bioresource Technology* 97(14), 1626-1630.
- Harris NL, Spoerri I, Schopfer JF, Nembrini C, Merky P, Massacand J, Urban JF Jr, Lamarre A, Burki K, Odermatt B, Zinkernagel RM, Macpherson AJ. 2006. Mechanisms of neonatal mucosal antibody protection. *The Journal of Immunology* 177 (9), 6256-6262.
- 橋元大介，辻村和也，深川聡，大串正明，中西良孝．2014．食肉流通業者による黒毛和種牛肉の官能評価と理化学的特性との関係．日本暖地畜産学会報，57(1)，1-8．
- 畑中顯和．2007．“みどりの香り”の研究—その神秘性にせまる．*におい，かおり環境学会誌*，38(6)，415-427．
- 林智人．2008．粘膜免疫の基礎—全身性免疫と粘膜性免疫—．*日本家畜臨床感染症研究会誌* 3(3)，105-109．
- 林良純．2009．カラギナンの特性と利用法．*繊維学会誌*，65(11)：412-421．
- 日高智，太田忍，三浦俊治，小田有二．2006．乳酸生成糸状

- 菌 (*Amylomyces rouxii*) 添加ポテトパルプサイレージと食品残渣からの乾燥調製飼料給与が肥育豚の産肉性に及ぼす影響. 北海道畜産学会報, 48, 59-63.
- 東口みづか・佐々木弘子・松本仲子・菅原龍幸. 2005. 精進出し汁の呈味特性と調理適性. 日本食生活学会誌, 15(4): 253-260.
- 樋口貴広・庄司健・畑山俊輝. 2002. 香りを記述する感覚形容語の心理学的検討. 感情心理学研究, 8(2):45-59.
- 平山琢二・北内毅・眞榮田知美・藤原望・平川守彦・及川卓郎. 2013. 長期肥育和牛肉の食感および食味に関する官能評価について. 日本暖地畜産学会報, 56(1): 67-71.
- 本田順美, 和田せつ. 1957. 食肉の基礎的研究 (第一報) 牛肉のやわらかさについて. 家政学雑誌, 8 (2), 81-83.
- 細川雅史. 2007. 水産脂溶性成分の機能性評価と高度利用に関する研究. オレオサイエンス, 7(12), 525-532.
- 石田光晴, 小田島恵美, 池田昭七, 武田武雄. 2001. 鹿肉と牛肉中のコレステロール含量および脂肪酸組成の比較. 日本食品科学工学会誌, 48 (1), 20-26.
- 石井克枝, 西村敏英, 沖谷明紘, 田村由紀子, 畑江敬子, 島田淳子. 1995. 加熱牛肉の呈味形成におけるペプチドの役割. 日本家政学会誌, 46 (4), 307-312.
- 石崎 宏. 2010. 育成期の子牛の免疫抵抗性を低下させる要因. 日本家畜臨床感染症研究会誌 5 (2), 47-54.

- 板倉弘重・柴田 博・高田明和・松川 正．2010．牛肉の魅力．
（財）日本食肉消費総合センター．8-65．
- 伊藤 謙，赤峰知奈美，河田 和，志村洋一郎，稲元民夫，喜
多一美．2014．飼料中へのプロポリス残渣の添加が横斑
プリマスロックの盲腸内細菌叢へ及ぼす影響．日本家禽
学会誌 51（1），J1-5．
- 伊藤聖子，成田真由美，加藤陽治．2010．ツルアラメの調理
加工に関する研究．弘前大学教育学部紀要，104，105-110．
- 香川芳子監修．2008．「五訂増補日本食品標準成分表 2009 資
料編」．pp. 134-135．女子栄養大学出版部．東京．
- 梶原忠彦．1998．海藻の香り成分（食品をめぐる話題）．化学
と教育，46（9），542-545．
- 鎌田丈弘，米内美晴，村元隆行．2019．黒毛和種牛肉におけ
る脂肪酸組成とテクスチャーおよび肉色との関係．日本
畜産学会報，90（1），31-36．
- 菅野憲一，金子哲大．2014．海藻の有効利用を考える化学実
験．環境教育，24(2)，2_71-76．
- 香嶋章子・徳田正樹・小松伸夫・神崎悠梨．2005．シカ肉を
利用した加工品の開発．大分県農水産物加工総合指導セ
ンター研究報告，1-5
- 柏柳誠．2006．味覚の生理学．口腔・咽頭科，18(2)：207-215．
- 河合正人，市川雅賢，大谷昌之，池滝孝，松岡栄．2002．ア
ルフアルファおよびコーンサイレージ給与割合の違いが

- 泌乳牛の窒素利用と乳生産に及ぼす影響. 北海道畜産学会 44, 1-6.
- Kim CH. 2016. B cell-helping functions of gut microbial metabolites. *Microbial Cell* 3(10), 529.
- Kim M, Qie Y, Park J, Kim CH. 2016. Gut microbial metabolites fuel host antibody responses. *Cell Host & Microbe* 20 (2), 202-214.
- 桐村ます美, 2007. 海藻（ホンダワラ）の食用利用に関する一考察. 京都短期大学紀要, 35 (1), 41-50.
- 公益財団法人 石川県埋蔵文化センター. 2010. 石川県埋蔵文化財情報. 23. 橋本確文堂. 石川.
- 河野友美, 沢野勉, 杉田浩一. 1975. 調理科学事典. pp. 521. 医歯薬出版. 東京.
- 厚生労働省. 2014. 野生鳥獣肉の衛生管理に関する指針（ガイドライン）. pp. 12. 厚生労働省. 東京.
- 久田孝. 1998. 海藻および海藻多糖類の腸内菌への影響に関する研究. 博士論文, 石川県農業短期大学, 石川.
- Kwon HN, Choi CB. 2018. Comparison of Free Amino Acids, Anserine, and Carnosine Contents of Beef according to the Country of Origin and Marbling Score. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 47(3), 357-362.
- 前田陽一・柴田潔・長谷川和清・荒井千明. 2014. 日本産海

藻に含まれる多糖類の溶血阻害作用．日本歯科大学紀要，
43：35-39.

丸居篤，水野谷航，中野豊，城内文吾，友永省三，清水邦義，
堀江ちひろ．2012．イノシシ肉ソーセージの理化学的特性
および食味評価．日本暖地畜産学会報，55（2），177-
180.

増子孝義．2007．日本の養鹿-全日本養鹿協会の活動から（8）．
畜産の研究，61（8），881-886.

松田敬一，坂井靖，大塚浩通，村松由記子，原英郎，八木勇
三，原高明．2013．ホルスタイン子牛に対するクマイザ
サ抽出物（SanSTAGE）の免疫活性作用および疾病予防
効果．家畜感染症学会誌 2（1），17-24.

松下純子，坂井真奈美，鍛冶博之，水ノ上智邦，松村豊大．
2016．「有害鳥獣」の食肉普及についての研究-持続可能
な地産地消の制度構築-シカ肉の調理方法が食味および
嗜好に及ぼす影響．徳島文理大学研究紀要，92，111-121.

松浦基，根岸晴夫，吉川純夫．1990．乾燥肉のテクスチャー
に及ぼす糖類の影響．日本食品工業学会誌，37（5），363-
368.

松浦友紀子，伊吾田宏正，岡本匡代，伊吾田順平．2015．野
外で内臓摘出したエゾシカ枝肉の衛生状況．哺乳類科学，
55（1），11-20.

Nesic AR, Seslija SI. 2017. The influence of nanofillers on

physical-chemical properties of polysaccharide-based film intended for food packaging. In: Grumezescu AM (ed.), Food Packaging, first edition, p637-697. Academic Press. USA.

三上正幸，長尾真理，関川三男，三浦弘之，1995. 異なる筋肉部位から調製した牛肉ホモジネート保存中におけるペプチド量および遊離アミノ酸量の変化. 日本畜産学会報，66 (7)，630-638.

宮島千尋．2009. アルギン酸類の概要と応用．繊維学会誌，65 (12)，444-448.

三好雅之・阿部直・笠木健・平松喜美子・池田匡．2013. モズク由来高分子フコイダンの腸蠕動に及ぼす影響．米子医学雑誌，64(3)：69-77.

水間 恵，岡村俊宏，鈴木英作，須田義人，平山琢二，小川智子，鈴木啓一．2013. 海藻・海苔の飼料添加給与がブタの免疫能に及ぼす効果．日本畜産学会報 84(1)，51-57.

文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会編．2015. 日本食品標準成分表 2015年版(七訂)アミノ酸成分表編．全国官報販売協同組合．東京．

森田幸雄．2018. ジビエの食肉への利活用と衛生管理．日本食品微生物学会雑誌，35 (3)，105-111.

森田幸雄・小林光士．2016. わが国の食肉・食鳥肉の衛生状況．日本獣医師会雑誌，69(11)，695-701.

- 村上正祥．1991．「藻塩焼き」の科学（1）．日本海水学会誌，45(1)，48-52．
- 村田昌一．2002．我が国の海藻類の生産と利用．Techno innovation，12(1)，26-29．
- 永野由祐，中田真一，上田浩三，松下浩一，高橋和昭．2014．未利用海藻ノコギリモク給与が鶏卵品質に及ぼす影響．日本畜産学会報，85(2)，139-143．
- 中井博康・池田敏雄・安藤四郎・小堤恭平・田村久子・荒牧秀俊．1987．市場牛肉質性状の実態調査．畜産試験場年報，25，151-162．
- 中村良一，笹原二郎，酒井保，村上大蔵，吐山豊秋．1997．新編獣医ハンドブック．第2版．pp. 1061．養賢堂，東京．
- 中村好徳，平野清，中西雄二，神谷充，常石英作，加藤直樹，山田明央．2010．放牧と自給飼料を組み合わせた新しい肉用牛生産方法“草地育成・肥育技術”の可能性と肉質の特徴．日本暖地畜産学会報，53（1），41-49．
- （財）日本食肉消費総合センター・（独）家畜改良センター編．2005．食肉の官能評価ガイドライン．64-73．
- 日本薬学会．2010．衛生試験法・注解 2.1.2.2.(1)②遊離アミノ酸．pp. 194-197．金原出版．東京．
- 西海理之．2017．圧力で肉が軟化？—食肉の高圧物性変換技術の開発—．高圧力の科学と技術，27(1)，49-59．

- 農林水産省生産局．2009．野生鳥獣被害防止マニュアル－イノシシ，シカ，サル，カラス（捕獲編）－．農林水産省生産局農業生産支援課鳥獣被害対策室．東京．
- 農林水産省．2010．平成22年版食料・農業・農村白書．佐伯印刷．東京．
- 農林水産省農村振興局．2019．鳥獣被害の現状と対策 [homepage on the Internet]．農村振興局農村政策部農村環境課鳥獣対策室．東京． [cited 23 November 2020]．
<https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/>
- 農林水産省．2020．アニマルウェルフェアについて [homepage on the Internet]．農林水産省，東京； [cited 4 November 2020] ． Available from URL :
https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/animal_welfare.html
- 小田達也，上野幹憲．2014．海藻類由来多糖体の多彩な生物活性．化学と生物，52（4），202-204．
- 大小田勉，井之上弘樹，高橋宏敬，喜田克憲，多田司，井尻大地，大塚彰．2019．官能評価と理化学検査数値から見るかごしま黒豚の肉質特性．日本暖地畜産学会報，62(1)，17-24．
- 岡本明，鈴木敦士．2001．超高压解凍が豚骨格筋に及ぼす影響．日本食品科学工学会誌，48（12），891-898．
- 奥田弘枝．1995．海藻の調理．日本調理科学会誌，28(1)，50-

58.

Palacios AR, Stämpfli HR, Duffield T, Peregrine AS, Trotz-Williams LA, Arroyo LG, Weese JS. 2006. *Clostridium difficile* PCR ribotypes in calves, Canada. *Emerging Infectious Diseases* 12 (11), 1730-1736.

Reilly P, O'doherty JV, Pierce KM, Callan JJ, O'sullivan JT, Sweeney T. 2008. The effects of seaweed extract inclusion on gut morphology, selected intestinal microbiota, nutrient digestibility, volatile fatty acid concentrations and the immune status of the weaned pig. *Animal* 2 (10), 1465-1473.

Rühl R. 2007. Effects of dietary retinoids and carotenoids on immune development : Symposium on 'Nutrition influences on developmental immunology'. *Proceedings of the Nutrition Society* 66 (3), 458-469.

三枝弘育, 平野直彦, 尾沢進二, 合田之久, 島田直吉, 齊藤季彦. 1987. 軍鶏交雑鶏とブロイラーの浅胸筋及び大腿筋における遊離アミノ酸含量の差異. *日本畜産学会報*, 58 (8), 707-710.

酒井武, 佐川裕章, 加藤郁之進. 2003. 機能性食品としてのフコイダン: その構造と生物活性. *藻類*, 51(1), 19-25.

坂田宏志, 濱崎伸一郎, 岸本真弓, 三橋弘宗, 三橋亜紀, 横山真弓, 三谷雅純. 2001. 兵庫県におけるニホンジカの

- 生息密度指標と捕獲圧，農業被害の関連．人と自然，12，63-72.
- 佐々木啓介・三津本充・合崎英男．2006．牛肉購入時における消費者の着目点の分類．日本畜産学会報，77(1)，67-76.
- 佐々木卓菜，金子与止男．2014．シカ肉利活用の課題と展望．総合政策，16(1)，73-87.
- SAS Institute Inc. 2011. Base/STAT SAS® 9.3 User's Guide, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- 佐藤博，黒澤隆，及川伸．2003．乳用子牛の糞中アンモニア，尿素および有機酸濃度と下痢との関係．日本獣医師会雑誌 56(8)，517-521.
- 佐藤純一．2002．海藻加工品．堀輝三・大野正夫・堀口健雄編．日本藻類学会，140-142.
- 柴田潔，長谷川和清，荒井千明．2012．日本産海藻の羊赤血球に対する溶血作用と保護作用．日本歯科大学紀要．一般教育系，41，37-42.
- 柴田潔，長谷川和清，荒井千明．2013．日本産海藻の赤血球に対する溶血作用と保護作用．日本歯科大学紀要．一般教育系，42，17-22.
- 柴田潔，長谷川和清，荒井千明．2016．日本産海藻に含まれる多糖類の赤血球保護作用．日本歯科大学紀要．一般教育系，45，29-32.

滋賀県．2019．滋賀県野生鳥獣肉衛生管理ガイドライン第2版 [homepage on the Internet]. 滋賀; [cited 23 November 2020]. Available from URL : <https://www.pref.shiga.lg.jp/ippan/kurashi/syokunoanz/en/16484.html>

清水友里，馬場萌子，若林素子．2017．大学生のシカ肉に対する嗜好調査．日本食生活学会誌，28（3），195-201．

白井淳資，番場久雄，小茂田匡央，小畑晴美，佐藤優，後藤新平，高田光章．1995．特用家禽の疾病と衛生対策（1）．鶏病研究会報，31，206-216．

Siri S, Tobioka H, Tasaki I. 1992. Effect of Dietary Fiber on Utilization of Energy and Protein in Chickens. Japanese poultry science, 29 (1): 23-29.

Stelwagen K, Carpenter E, Haigh B, Hodgkinson A, Wheeler TT. 2009. Immune component of bovine colostrum and milk. Journal of Animal Science 87 (Suppl. 1), 3-9.

杉本太．2010．有害捕獲したニホンジカの皮の資源有効活用について．環境技術，39（8），471-474．

鈴木一好・染井英夫・田島敏夫．2008．稲発酵飼料を給与した牛肉の官能評価．千葉県畜産総合研究センター研究報告，8，61-66．

鈴木啓一，清水ゆう子，阿部博行，斗内桂子，鈴木惇．2001．豚肉質の品種間，性間および胸最長筋部位間の比較．日

- 本畜産学会報, 72 (8), 215-223.
- 高木光造・大石圭一・奥村彩子. 1967. 数種海藻の遊離アミノ酸組成について. 日本水産学会誌, 33(7), 669-673.
- 田中幸久・岡野淳・関根一則・野村蘭・湯浅麻奈美・米久保明得・清水精一. 2010. 日本人の脂肪摂取と肥満. オレオサイエンス, 10(10), 383-392.
- 田崎駿平, 平川守彦, 及川卓郎, 平山琢二. 2015. 黒毛和種子牛への甘草給与が血中 GH および IGF-1 濃度に与える影響. 日本暖地畜産学会報 58 (2), 233-238.
- 照屋武志. 2009. オキナワモズク (*Cladosiphon okamuranus* TOKIDA) 由来アセチルフコイダンの構造特性と生理活性に関する研究. 博士論文. 鹿児島大学. 鹿児島.
- 手塚咲, 片山寛則, 渡邊学, 村元隆行. 2016. 異なる品種のイワテヤマナシ果汁に浸漬させた日本短角種牛肉の理化学特性. 日本畜産学会報, 87 (2), 149-155
- Thakur VK, Thakur MK, Kessler MR. 2017. Handbook of Composites from Renewable Materials, Polymeric Composites. Vol.6, p323-324. Wiley-Scrivener. New York.
- 飛岡久弥, 田先威和夫. 1992. 鶏におけるエネルギーおよび蛋白質の利用性に対する食物繊維の影響. 日本家禽学会誌, 29 (1), 23-29.
- Trincone A. 2019. Enzymatic Technologies for Marine

Polysaccharides, first edition. p26-28. CRC Press. Boca Raton.

辻井弘忠，末成美奈子．2004．エゾジカ幼角抽出エキスの *in vitro* におけるガン細胞増殖抑制効果．信州大学農学部 AFC 報告，2，83-86．

上田信行，山崎義光，関谷正志，河盛隆造，鎌田武信，七里元亮．1988．ブドウ糖センサ長寿命化の試みー抗血栓性膜を被覆した微小針型ブドウ糖センサの開発．人工臓器，17（1），196-199．

梅津一孝，牛雨，干場秀雄，高畑英彦．1998．高濃度乳牛糞尿固液分離スラリーの中温メタン発酵における担体の効果．農業施設 29（2），57-67．

渡辺彰，佐藤博，松本光人，甫立孝一．1998．貯蔵中に発生する鹿肉の不快感と脂質酸化．日本畜産学会報，69(5)，489-492．

渡辺彰，滝本勇治，西村宏一，常石英作．1989．肥育牛の各種筋肉間における熟成後の遊離アミノ酸およびタウリン含量の差異．日本畜産学会報，60（3），303-305．

渡邊敬三．1998．左官材料 [その 3](仕上材料の変遷 (5))．Finex，10(56)，33-37．

山田 裕．2014．子牛の下痢治療における抗菌剤の使用法を考える．家畜感染症学会誌 3（4），123-127．

山口静子．2012．官能評価とは何か，そのあるべき姿．化学

- と生物, 50(7), 518-524.
- 山口静子, 鈴木康司. 2008. うま味の概念形成と識別認知プロセス. 日本味と匂学会誌, 15(3), 485-488.
- 山口進. 2011. 「アラキドン酸」による食品の美味しさ向上効果. 日本調理科学会誌, 44(5), 317-322.
- 山中なつみ・小川宣子. 1998. メカブより溶出する粘性物質の理化学的特性. 日本調理科学会誌, 31(1), 2-6.
- 山下麻美, 加藤陽二, 吉村美紀. 2012. LC-MS/MSを用いたシカ肉に含まれる遊離およびアシルカルニチン含有量の測定. 日本食品科学工学会誌, 59(12), 637-642.
- 安松谷恵子, 笠井浩司, 山中健吾, 坂瀬充洋, 西野治, 赤池勝, 久米新一. 2013. 出生後の黒毛和種新生子牛への免疫グロブリン G と免疫グロブリン A の移行. 日本畜産学会報 84(3), 389-393.
- 横山貴史. 2019. チリ共和国におけるアルギン酸原料海藻類生産とその動向. E-journal GEO, 14(1), 116-129.
- 吉村美紀・加藤陽二・新田陽子・横山真弓. 2013. 兵庫県丹波地域におけるニホンジカ肉の栄養特性. 日本栄養・食糧学会誌, 66(2), 95-99.
- 吉村美紀・大矢春・藤村庄・渡辺敏郎・横山真弓. 2011. 天然シカ肉加工品の物性および嗜好性に及ぼす多穀麴添加の影響. 日本食品科学工学会誌, 58(11), 517-524.
- 吉村美紀, 山下麻美, 加藤陽二. 2014. 真空調理時の加熱温

度がシカ肉中のカルニチン含量および物性に及ぼす影響.

日本食品科学工学会誌, 61 (10), 480-485.

(一社) 全国肉用牛振興基金協会. 2007. びーふキャトル <
協会だより> 全共会場で牛肉食味試験 [homepage on
the Internet]. 10, 20-21 ; [cited 28 May 2017]. Available
from URL : [http://www . nbafa . or .
jp/library/beefcattle_10. html](http://www.nbafa.or.jp/library/beefcattle_10.html)

関連論文目録

- 1) 山中麻帆, 平山琢二, 盧尚建, 林英明, 加藤和雄, 鈴木啓一, 及川卓郎. 2017. 牛肉への海藻類添加が食味官能評価に与える影響. 日本暖地畜産学会報, 60(2), 129-133.
- 2) 山中麻帆, 平山琢二, 盧尚建, 林英明, 加藤和雄, 鈴木啓一, 及川卓郎. 2018. 捕獲ニホンジカ肉への甘味料および海藻類の添加が食味官能評価に与える影響. 日本暖地畜産学会報, 61(2), 83-89.
- 3) Yamanaka M, Hayashi H, Nakagawa T, Asano K, Nagamine I, Hirayama T. Influence of wakame and sodium alginate on physico-chemical properties of Sika deer meat. Warm Regional Society of Animal Science. 63(2): 69-75. 2020.
- 4) 山中麻帆・浅野桂吾・林英明・河井重幸・平山琢二. 市販海藻飼料の添加給与が黒毛和種繁殖牛の糞中 IgA および VFA 濃度ならびに糞便性状に与える影響. 日本畜産学会報. 91(4): 375-379. 2020.