

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：23303

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H01618

研究課題名（和文）ナノファイバー化技術応用食品と運動の併用による肥満抑制効果およびその機序の解明

研究課題名（英文）Foods developed by nanocellulose technologies and suppressive effects of their diets and exercise on obesity

研究代表者

長野 隆男（Nagano, Takao）

石川県立大学・生物資源環境学部・教授

研究者番号：20304660

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ナノファイバー化技術を用いて食品の微粒子化を行ない、その食品と運動による肥満抑制と腸内細菌叢改善の効果について、肥満モデル動物実験系を用いて検討した。ナノセルロース（NC）の肥満抑制作用と腸内細菌叢改善効果を示した。NC摂取は、マウスの自発運動量を増加させ、腸内細菌叢を改善して肥満を抑制した。おからを微粒子化すると、アミラーゼ活性阻害とヒト優勢腸内細菌の酪酸産生が増加した。微粒子化おからの肥満抑制効果を示した。その機序として、腸内細菌叢の改善による酪酸産生の増加、胆汁酸合成の増加を示した。微粒子化おからと運動の併用による腸内細菌叢改善作用と肥満抑制効果についても明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢化によって国民医療費は年々増加しており、医療費の抑制を目的とした生活習慣病予防は重要課題である。また、不溶性食物繊維を多く含むおからなどは、物性や食感などが問題となり食品としての利用は限られている。一方、近年、ナノセルロースが注目されてナノファイバー化技術が飛躍的に進歩した。本研究では、ナノファイバー化技術を用いて食品の微粒子化を行い、その微粒子化食品と運動による肥満抑制効果と腸内細菌叢に与える効果を検証し、それらのメカニズムを明らかにすることを目的とした。研究により、生活習慣病予防に役立つ知見、肥満抑制作用を高めた食品の開発に繋がる成果が得られたと考える。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated the effects of atomized food using nanofiber technology and exercise on obesity and gut microbiota using an experimental animal model system for obesity. The results showed that nanocellulose (NC) suppressed obesity and improved gut microbiota, and NC intake increased the amount of spontaneous activity in mice, improved gut microbiota, and suppressed obesity. Atomized okara inhibited amylase activity and increased butyrate production by human-predominant intestinal bacteria. Atomized okara inhibited obesity. The mechanism of the inhibition of obesity was an increase in butyrate production and bile acid biosynthesis due to the improvement of gut microbiota. The effects of the combination of atomized okara and exercise on improving gut microbiota composition and suppressing obesity were also clarified.

研究分野：食生活学

キーワード：ナノファイバー化技術 微粒子化 運動 肥満 腸内細菌叢 メタボローム 粘性 分散性

1. 研究開始当初の背景

(1) 高齢化によって国民医療費は年々増加しており、平成 30 年は 42.6 兆円であった(厚生労働省統計調査)。健康保険連合組合では、国民医療費は 2025 年には 57.8 兆円と大幅に増加すると推計している。従って、医療費の抑制を目的とした生活習慣病予防は重要課題である。

(2) 総摂取エネルギーに占める脂質の割合を「脂肪エネルギー比率」と言い、その目標量は成人で 20%以上 30%未満である(食事摂取基準(2015 年版))。ところが、脂肪エネルギー比率が 30%を超えている人の割合は、成人男性で約 30%、成人女性で約 40%と多い(平成 29 年国民健康・栄養調査)。一方、食物繊維の食事摂取基準は成人男性で 20g/日以上、成人女性で 18g/日以上とされるが(食事摂取基準(2015 年版))、その平均摂取量は 14.7g と必要量を摂取できていない(平成 28 年国民健康・栄養調査)。また、脂肪の摂り過ぎと食物繊維摂取不足によって、肥満、高脂血症、糖尿病など生活習慣病の発症リスクが大きく上昇することがよく知られている。

(3) 食物繊維は、水溶性と不溶性の2種類に分類され、水溶性食物繊維には粘性が高いものと低いものがある。疫学研究から、食物繊維の健康効果は粘性と相関があるとされる。すなわち、粘性が高い水溶性食物繊維であるサイリウム、βグルカン、グアーガムなどには血糖やコレステロール調節作用があり、肥満の抑制や 2 型糖尿病の発症リスクを低減する効果がある。しかしながら、インスリンや難消化性デキストリンなどの粘性が低い水溶性食物繊維とセルロースなどの不溶性食物繊維には、そのような効果は低い(McRorrie & McKeown, J. Acad. Nutr. Diet. 2017)。

(4) ここ 10 年で、腸内細菌叢と健康の関係が急速に明らかとなってきた。肥満や糖尿病の患者では、腸内細菌叢の多様性が低下して、エネルギー代謝に変調が見られる(Martens, Nature 2016)。この変調は、食物繊維の摂取により改善される。その理由として、腸内細菌が食物繊維を代謝して短鎖脂肪酸を多く産生することが考えられている。(Kasubuchi et al. Nutrients 2015)。

(5) セルロースは、植物の細胞壁を構成する成分であり、不溶性食物繊維の主要成分である。不溶性食物繊維を多く含むおから、米ぬか、ふすまなどは、物性や食感などが問題となり食品としての利用は限られている。一方、近年、ナノセルロース(NC)が注目されてナノファイバー化技術が飛躍的に進歩した。NC は、セルロースをナノレベルまで微粒子化したものであり、その特徴として比表面積が大きく、分散性と粘性が高いことが挙げられる(Watanabe et al. Biopolymers, 2011)。

(6) 近年、運動により腸内細菌叢に変化が見られ、その変化は健康に良い効果を及ぼしていると考えられている(Mailing et al. Am Coll. Spor Med 2019)。研究分担者である矢野の研究グループは、運動を负荷したマウスと運動を负荷していないマウスの盲腸便(腸内フローラ)を抗生剤処理したマウスに移植した。その結果、運動を负荷したマウスの盲腸便を移植したマウスは好んで運動をするが、運動を负荷していないマウスの盲腸便を移植したマウスは運動を好まないことを明らかにした(Oyanagi et al. JPFMS 2018)。

2. 研究の目的

本研究は、ナノファイバー化技術を用いて食品の微粒子化を行なう。肥満モデル動物実験系を用いてその微粒子化食品と運動による肥満抑制効果と腸内細菌叢に与える効果を検証し、それらのメカニズムを明らかにすることを目的とした。これらを通じ、生活習慣病予防に役立つ知見を得ること、肥満抑制作用を高めた食品の開発を目標として、以下の研究を行った。

(1) NC 摂取による肥満抑制と腸内細菌叢に与える効果: NC は水に分散して高粘性を示す特徴を有することから、「腸内細菌叢に利用され易く、肥満抑制効果がある」との仮説を立てた。そこで、高脂肪食肥満動物実験系を用いて NC 摂取による肥満抑制作用と腸内細菌叢に及ぼす効果について検討した。

(2) NC と運動の併用による肥満抑制と腸内細菌叢に与える効果: 高脂肪食肥満モデル動物実験系を用いて NC の効果について調べ、NC 摂取は腸内細菌叢を改善して肥満を抑制した。一方、運動にも腸内細菌叢を改善して肥満を抑制する効果が知られている。そこで、NC 摂取と運動の併用が肥満抑制と腸内細菌叢に与える効果について検討した。

(3) おからの微粒子化と健康効果: おからには、食物繊維が豊富に含まれているが、食品としての利用は限られている。そのため、おからの物性を改善する必要がある。そこで、ナノファイバー化技術としてウオータージェット(WJ)方式の装置を用いて、おからとセルロースの微粒子化を行った。さらに健康効果として、 α -アミラーゼの活性阻害とヒト優勢腸内細菌 32 種の短鎖脂肪酸産生に与える影響を検討した。

(4) 湿式グラインダー(WG)を用いたおからの微粒子化: ナノファイバー化技術として、WJとWGが挙げられる。WJは、最高 240MPa の水圧で試料を衝突させて微粒子化する装置である。しかしながら、試料が詰まりやすいことから食品への利用には難点がある。一方、WGはWJと比べて微粒子化能力は劣るが、石臼形式のため試料が詰まりにくい利点がある。そこで、WGを用いたおからの微粒子化について検討を行った。

(5) 微粒子化おからの摂取による腸内細菌叢改善作用と肥満抑制効果: ナノファイバー化技術を用いておからを微粒子化すると分散性が改善されて粘度が高くなる。この特性から、肥満予防食品の開発が期待できる。そこで、高脂肪食肥満モデル動物実験系を用いて、微粒子化おからの肥満抑制と腸内細菌叢改善の効果について検討を行った。

(6) 微粒子化おからと運動の併用による腸内細菌叢改善作用と肥満抑制効果: 高脂肪食肥満モデル動物実験系を用いて微粒子化おからの摂取効果について調べ、微粒子化おからの摂取は腸内細菌叢を改善して肥満を抑制することを明らかにした。運動にも、腸内細菌叢を改善して肥満を抑制する効果が知られている。そこで、微粒子化おからの摂取と運動の併用が肥満抑制と腸内細菌叢に与える影響について検討した。

3. 研究の方法

(1) マウスは、8 週齢雄 C57BL/6N を使用した。実験は、普通脂肪食摂取群(NFD 群, n = 8)、高脂肪食摂取群(NC0%群, n = 8)、0.1%NC と高脂肪食摂取群(NC0.1%群, n = 8)、0.2%NC と高脂肪食摂取群(NC0.2%群, n = 8)の 4 群で行った。NC は、マウスに給水瓶で自由摂取させ、実験期間は 7 週間とした。腸内細菌叢の解析は、実験終了日に採取した結腸便を試料として次世代シーケンサーを使用して 16S リソソーム RNA 遺伝子のアンプリコン解析により行った。

(2) マウスは、8 週齢雄 C57BL/6N を使用した。実験は、運動なし群(SE 群, n = 8)、運動群(EX 群, n = 8)、NC 摂取運動なし群(CSE 群, n = 8)、NC 摂取運動群(CEX 群, n = 8)の 4 群で行った。運動群にはマウス回転式運動量測定装置(夏目製作所)を使用した。飼料として、高脂肪食(脂肪エネルギー比率 60%)を用い、NC は 0.2%分散液をマウスに給水瓶で自由摂取させた。実験期間は、7週間とした。グルコース負荷試験(GTT)では、マウスにグルコースを経口投与した後、15分、30分、60分、90分、120分後に血液を採取し、血糖値を測定した。腸内細菌叢の解析は、結腸便を試料として次世代シーケンサーを使用して 16S リソソーム RNA 遺伝子のアンプリコン解析により行った。短鎖脂肪酸の定量は、盲腸便を試料としてガスクロマトグラフィー質量分析計(GC-MS)を用いて行った。

(3) コーンスターチ、 α -セルロース、微結晶セルロース(MCC; Avicel PH-101)、 α -アミラーゼは、シグマアルドリッチから購入した。GAM 培地(岐阜大学処方)は日水製薬から購入し、脱脂おからは不二製油から提供を受けた。SB 処理おからは、まずドライバースト(DB)装置(DB-100S, スギノマシン)で脱脂おからを粉砕し、その 9 wt%の分散液を SB 装置(Star Burst Mini, スギノマシン)に 1 回通した。次に、得られたスラリーを水で 4.5 wt% に希釈して、10 回処理した(圧力条件 200 MPa)。一方、SB 処理 MCC では、2 wt% MCC 分散液を SB 装置(Star Burst Minimo, スギノマシン)で 3 回処理した(圧力条件 245 MPa)。粒度径分布の測定には、レーザー回折粒度径分布測定装置(LA-960, ホリバ)を用い、粘度測定には MCR-702 レオメータ(アントンパール社)を使用した。 α -アミラーゼ活性阻害の測定は、澱粉を 1 wt%になるように 0.02% アジ化ナトリウムを含む 0.2 M 酢酸緩衝溶液(pH 6)に分散させた。次に、試料を 3 wt% になるように加えた。澱粉の加水分解は、 α -アミラーゼ(0.4 ユニット)を加えて、37°C でシーソ型シェーカー(Wave-SI, TAITEC)を 30 rpm で振とうさせて行った。酵素反応によって遊離したマルトースの定量は、400 MHz 核磁気共鳴分光光度計(NMR)(ECX-400, 日本電子)を用いて行った。32 種のヒト腸内優勢菌の培養と短鎖脂肪酸の定量では、試料を GAM 培地に 0.5%となるように加えて 24 時間の培養を行った。短鎖脂肪酸の定量は、NMR を用いた。まず、100 μ L の培養液と 100 μ L の 0.2 M リン酸重水緩衝液(pH 7.4)を混合し、3-kDa Vivaspin 500 (ザルトリウム)を用いて高分子画分を除き、50 μ L の溶出液を 1.7 mm NMR capillary tube (NE-262-1.7, New Era Enterprises)に

ロードし、それを Micro NMR sample tube (NE-H5/3, New Era Enterprises) にセットして ^1H NMR 測定を行った。なお、内部標準には 4,4-dimethyl-4-silapentane-1-sulfonic acid (DSS; フジフィルム和光純薬) を用いた。結果は、平均値 \pm SEM で示した。統計解析には、Origin 2019 (OriginLab) を使用して一次元配置分散分析を行い、その後に Tukey 検定でポストホックテストを行った。

(4) WG は、スーパーマスコロイダー (MKCA6-2, 増幸産業 (株)) を使用した。微粒子化は、2 wt% おからを蒸留水に分散させた後、WG 処理 (ギャップ: -0.15 mm, 回転数: 1540 rpm) を行った。粘度測定には、B 型粘度測定装置 (東洋計器 (株)) を使用した。粘度は、試料を 300 mL トールビーカーに入れ、ローターは No.1 もしくは No.3 を使用して回転数 0.5 s^{-1} で測定を行ない、1 試料に対して 3 回行った。分散性は、WG 処理したおからを 30 mL のバイアル瓶に詰め、デジタルカメラを使用して 24 時間後の画像を取得した。

(5) おからのタンパク質除去は、1 M 水酸化ナトリウム (NaOH) 溶液を加え、 60°C の恒温槽中で 30 分間攪拌を行い溶出させた。次に、遠心 (9876 G, 10 分) を行い、タンパク質を溶出させたおからを沈殿として得た。得られた沈殿画分は、遠心による水洗を 4 回行った後に中和した。タンパク質の含量は、ケルダール法により求めた。おからの WG 処理は、ギャップ -0.15 mm、回転数 1540 rpm で 5 回行った。C57B/6J マウス (雄、4 週齢) を 1 週間の予備飼育後、標準脂肪食対照群 (CFC; 脂肪エネルギー比率 10%、5% セルロース含有飼料; $n=10$)、繊維無摂取高脂肪食群 (NHF; 脂肪エネルギー比率 60%、繊維無添加飼料; $n=10$)、セルロース摂取高脂肪食群 (CHF; 脂肪エネルギー比率 60%、6.5% セルロース含有飼料; $n=10$)、微粒子化おから摂取高脂肪食群 (OHF; 脂肪エネルギー比率 60%、6.5% 微粒子化おから含有飼料; $n=10$) の計 4 群で実験を行った。飼育は 12 週間行い、飼料と水は自由摂取とした。短鎖脂肪酸の定量は、盲腸内容物を試料として GC-MS を用い、腸内細菌叢の解析は直腸便を試料として 16S リボソーム RNA 遺伝子のアンプリコン解析を行った。メタボローム解析では、血漿を試料として液体クロマトグラフィー質量分析計 (LC-MS/MS) を利用して行った。

(6) マウスは、4 週齢雄 C57BL/6J を使用した。実験は、運動なし群 (SE 群, $n=10$)、運動群 (EX 群, $n=10$)、微粒子化おから摂取運動なし群 (OSE 群, $n=10$)、微粒子化おから摂取運動群 (OEX 群, $n=10$) の 4 群で行った。運動群にはマウス回転式運動量測定装置 (夏目製作所) を使用した。飼料として、高脂肪食 (脂肪エネルギー比率 60%) を用い、微粒子化おからは飼料に加えた。実験期間は、12 週間とした。GTT では、マウスにグルコースを経口投与した後、15 分、30 分、60 分、90 分、120 分後に血液を採取し、血糖値を測定した。腸内細菌叢の解析は、結腸便を試料として次世代シーケンサーを使用して 16S リボソーム RNA 遺伝子のアンプリコン解析により行った。

4. 研究成果

(1) マウスの NC 摂取量を体重 60 kg の男性に換算すると、NC0.1% 群は 9.35 ± 0.42 g/日、NC0.2% 群は 19.80 ± 1.96 g/日と推定された。そのため、NC0.2% 群の NC 摂取量は、成人男性の食物繊維摂取基準 20 g/日に相当すると考えられた (日本人の栄養摂取基準 2015 年版)。次に、実験 7 週間後のマウスの体重を測定した結果、NFD 群は 29.66 ± 0.52 g、NC0% 群は 34.62 ± 0.73 g、NC0.1% 群は 33.93 ± 0.73 g、NC0.2% 群は 31.18 ± 0.81 g であった。NC0% 群と比較して NC0.1% 群では有意な体重増加の抑制は認められないが、NC0.2% 群では有意な体重増加の抑制が観察されることが示された。さらに、腸内細菌叢解析結果について主成分解析を行った結果、高脂肪食により腸内細菌叢の組成は変化すること、その変化は NC0.1% 群では抑制されないが、NC0.2% 群では抑制されることが示された。また、NC の摂取量が増えるに従い、肥満との関係が報告されている Streptococcaceae と Rikenellaceae の割合の減少と、肥満抑制効果が報告されている Lactobacillaceae の割合の増加が観察された。以上の結果から、NC の肥満抑制作用と腸内細菌叢の改善効果が明らかとなった。

(2) NC の摂取により、マウスの自発運動量が増加した。高脂肪食摂取によるマウスの体重増加、副睾丸と内臓脂肪の蓄積は、NC 摂取または運動で抑制された ($p < 0.01$)。一方、皮下脂肪の蓄積は、運動により抑制され、CEX 群では EX 群と CSE 群よりも抑制された ($p < 0.05$)。さらに、GTT の結果から、グルコース耐性は運動により改善され、CEX 群では EX 群と CSE 群よりも改善された ($p < 0.05$)。腸内細菌叢解析結果について主成分解析を行った結果、腸内細菌叢の組成は NC 摂取によって変化しないが、運動により変化することが示された。また、運動により、肥満との関係が報告されている Erysipelotrichaceae と Rikenellaceae の減少、酪酸産生菌である Ruminococcaceae の増加が観察された ($p < 0.05$)。さらに、酪酸産生菌である Eubacteriaceae は運動により増加し ($p < 0.05$)、CEX 群では EX 群と CSE 群よりも増加した。盲腸便の酢酸量において、運動による有意な増加が観察され ($p <$

0.01)、他の短鎖脂肪酸(プロピオン酸、酪酸、吉草酸)において違いは見られなかった。以上のことから、NC 摂取はマウスの自発運動量を増加させ、腸内細菌叢のバランスを改善することにより肥満を抑制することが示された。したがって、NC 摂取と運動の併用は、生活習慣病予防に有効であることが示唆された。

(3) SB 処理したおからと MCC の粒度径分布におけるメジアン径は 6.6 μm と 9.5 μm であり、高い粘性を示して水に分散した。 α -アミラーゼ活性は、SB 処理おからで $50 \pm 5\%$ 、MCC で $41 \pm 3\%$ 、セルロースで $20 \pm 1\%$ 阻害された。SB 処理おからには、対照区と比較して *Roseburia intestinalis* の酪酸産生が 1.6 倍と有意に増加した ($p = 0.028$)。この効果は、未処理おから、MCC、SB 処理 MCC では観察されなかった。以上の結果から、おからの微粒子化によるアミラーゼ活性阻害と *R. intestinalis* の酪酸産生を利用した肥満予防食品の開発が期待できる。

(4) WG 処理の回数を 1 回、3 回、5 回と変えて、おから (2 wt%) の微粒子化を行った。粒子径分布を測定したところ、中央値は未処理、1 回、3 回、5 回処理で、68.5 μm 、13.5 μm 、9.9 μm 、8.9 μm であった。粒子径分布の中央値は、処理回数が 3 回まで低下し、それ以上の処理回数における差はほとんど見られなかった。一方、おからスラリーの粘度は、未処理、1 回、3 回、5 回処理で 10 mPas、40 mPas、70 mPas、120 mPas であった。粘度は、WG の処理回数が増えるに従って高くなった。次に、WG 処理おからを 24 時間静置して分散性を調べた。その結果、未処理おからでは沈殿が見られたが、WG 処理回数が増えるに従っておからの沈殿は観察されなくなった。

(5) おからには、20%のタンパク質が含まれていることからアルカリ処理によりおからの低タンパク質化を行った。その結果、タンパク質量は 20.7%から 2.4%に低下した。おからのタンパク質量を下げることで、微粒子化すると粘度は約 2 倍になることが示された。次に、調製した微粒子化おからの肥満抑制効果とそのメカニズムについて検討を行った。その結果、微粒子化おから摂取群では、高脂肪食による体重と脂肪の蓄積が抑制され、耐糖能が改善することが示された。腸内細菌叢の解析を行った結果、酪酸産生菌である *Ruminococcus* と乳酸菌である *Lactobacillaceae* が増加し、肥満と関する *Rikenellaceae* と *Streptococcaceae* の減少が観察された。短鎖脂肪酸の測定を行ったところ、酪酸が優位に増加した ($p < 0.01$)。メタボローム解析から、微粒子化低タンパク質おから摂取群で 151 種類の代謝物の増加が見られ、1次胆汁酸の生合成が増加することが示された。以上のことから、アルカリ処理による低タンパク質化とナノファイバー化技術を用いて調製した微粒子化おからの肥満抑制効果が示された。そのメカニズムとして、腸内細菌叢の改善による酪酸産生の増加、胆汁酸の排出促進効果による胆汁酸生合成の増加が考えられた。

(6) 体重の抑制効果は、微粒子化おから摂取と運動の併用群は運動群と同等であった。脂肪の蓄積抑制と耐糖能の改善において、微粒子化おから摂取と運動の併用で相互作用が認められた。短鎖脂肪酸測定から、コントロール群と比べて、運動と微粒子化おから摂取で酢酸の増加が、微粒子化おから摂取、微粒子化おから摂取と運動の併用で酪酸の増加が認められた。しかしながら、微粒子化おから摂取と運動の相互作用は認められなかった。腸内細菌叢について調べたところ、微粒子化おから摂取と運動の併用で、*Duncanella* と *Schaedlerella* の増加と *Alistipes* と *Intestinimonas* の減少が観察された。メタボローム解析の結果、微粒子化おから摂取群ではコントロール群と比べて1次胆汁酸の合成が増加しており、運動群では1次胆汁酸の合成が低下し、微粒子化おから摂取と運動の併用では変わらなかった。従って、微粒子化おから摂取による1次胆汁酸の合成効果は運動により低下することが考えられた。以上、微粒子化おからと運動との併用効果について明らかにすることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Watanabe Chihiro, Kobiki Nanako, Aoki Takafumi, Kremenik Michael J., Nagano Takao, Yano Hiromi, Oyanagi Eri	4. 巻 9
2. 論文標題 Effects of voluntary exercise on plasma and urinary metabolites and gut microbiota in mice fed with high-fat-diet	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 205 ~ 215
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7600/jpfsm.9.205	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nagano Takao, Yano Hiromi	4. 巻 84
2. 論文標題 Effect of dietary cellulose nanofiber and exercise on obesity and gut microbiota in mice fed a high-fat-diet	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 613 ~ 620
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09168451.2019.1690975	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nagano Takao, Yano Hiromi	4. 巻 22
2. 論文標題 Dietary cellulose nanofiber modulates obesity and gut microbiota in high-fat-fed mice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre	6. 最初と最後の頁 100214 ~ 100214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bcdf.2020.100214	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nagano Takao, Hirano Rika, Kurihara Shin, Nishinari Katsuyoshi	4. 巻 84
2. 論文標題 Improved effects of okara atomized by a water jet system on α -amylase inhibition and butyrate production by <i>Roseburia intestinalis</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 1467 ~ 1474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09168451.2020.1741337	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nagano Takao, Arai Yuya, Yano Hiromi, Aoki Takafumi, Kurihara Shin, Hirano Rika, Nishinari Katsuyoshi	4. 巻 109
2. 論文標題 Improved physicochemical and functional properties of okara, a soybean residue, by nanocellulose technologies for food development - A review	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Food Hydrocolloids	6. 最初と最後の頁 105964 ~ 105964
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foodhyd.2020.105964	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arai Yuya, Nishinari Katsuyoshi, Nagano Takao	4. 巻 10
2. 論文標題 Developing soybean protein gel-based foods from okara using the wet-type grinder method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Foods	6. 最初と最後の頁 348 ~ 348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/foods10020348	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計8件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 長野隆男
2. 発表標題 ナノファイバー化技術を利用した食品開発
3. 学会等名 第33回食品ハイドロコロイドシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takao Nagano, Chihiro Watanabe, Kazuyoshi Nakamura, Eri Oyanagi and Hiromi Yano
2. 発表標題 Impact of wet grinder-treated okara on obesity and gut microbiota in high-fat diet-fed mice
3. 学会等名 6th International Symposium on Phytochemicals in Medicine and Food, Hangzhou, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村和詳、渡邊知央、荒井雄也、小柳えり、矢野博己、長野隆男
2. 発表標題 微粒子化おからの肥満抑制効果と短鎖脂肪酸産生に与える影響
3. 学会等名 2021年度日本食品科学工学会 中部支部大会(静岡)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takao Nagano, Anh Le Thi, Kazuyoshi Nakamura, Yuya Arai, Mitsuru Katase, Kazunobu Tsumura
2. 発表標題 Impact of dietary soyasaponins on contact hypersensitivity and gut microbiota in mice.
3. 学会等名 5th International Symposium on Phytochemicals in Medicine and Food, Nanchang, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長野 隆男、矢野 博己
2. 発表標題 ナノセルロース摂取と運動が肥満抑制と腸内フローラに与える効果
3. 学会等名 第74 回日本栄養・食糧学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長野 隆男、矢野 博己
2. 発表標題 ナノセルロース摂取が肥満と腸内フローラに与える影響
3. 学会等名 第72 回日本家政学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuya Arai, Katsuyoshi Nishinari, Takao Nagano
2. 発表標題 Applying nanotechnology to okara for developing soy protein gel-based foods
3. 学会等名 The 1st International Electronic Conference on Food Science and Functional Foods (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takao Nagano, Kazuyoshi Nakamura, Yuka Yokogawa, Suzuka Miura, Chihiro Watanabe, Eri Oyanagi, Hiromi Yano
2. 発表標題 Impact of dietary cellulose nanofibrils on obesity and gut microbiota in high-fat diet-fed mice
3. 学会等名 4th International Symposium on Phytochemicals in Medicine and Food (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中井 雄治 (Nakai Yuji) (10321788)	弘前大学・地域戦略研究所・教授 (11101)	
研究分担者	矢野 博己 (Yano Hiromi) (20248272)	川崎医療福祉大学・医療技術学部・教授 (35309)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------