

ビート，チコリから抽出された
機能性素材の食品への添加効果

平成 28 年度

岩手大学大学院連合農学研究科

博士課程 生物資源科学専攻

葛西 大介

目次

第1章 序説	1
第1節 十勝地域の農業（研究の背景）	
第2節 てん菜（ビート）の可能性	
第3節 チコリの可能性	
第4節 研究の目的	
第5節 論文構成	
第2章 味覚センサーによるビートベタインの味質特性の評価	6
第1節 緒言	
第2節 実験方法	
1 味質評価測定系	
2 ベタインの味質評価	
3 各呈味物質に対するベタインの影響	
第3節 実験結果	
1 ベタインの味質評価	
2 各呈味物質に対するベタインの影響	
第4節 考察	
1. ベタインが有する味質	
2. 各呈味物質に対するベタインの影響	
第3章 ビートベタインの利用特性に基づく用途開発	29
第1節 緒言	
第2節 実験方法	
1. 試験サンプルの調製	

2. 味覚センサー評価
- 3 官能評価
- 4 解析方法および統計処理

第3節 実験結果

1. 梅漬けへの利用
2. タレ，つゆへの利用
3. 緑茶飲料への利用
4. その他の飲料への利用

第4節 考察

第4章 ビートベタイン添加食パン生地の製パン性の改善 46

第1節 緒言

第2節 実験方法

- 1 食パンの調製
- 2 製パン性評価
- 3 生地，パンの評価

第3節 実験結果

- 1 ベタイン添加量の違いによる製パン性への影響
- 2 ベタイン添加時期の違いによる製パン性への影響

第4節 考察

- 1 ベタイン添加による製パン性の低下
- 2 ベタイン添加時期の変更による製パン性の改善

第5章 チコリイヌリンの利用特性の評価 63

第1節 緒言

第2節 実験方法

1. 市販イヌリンととちイヌリン
2. 利用特性の評価

第3節 実験結果

1. pH 安定性, 加熱安定性
2. メイラード反応性
3. 溶解度
4. クリーム状ゲル形成能
5. 脂肪代替性
6. 保湿性

第4節 考察

第6章 チュロイヌリンの利用特性に基づく用途開発 79

第1節 緒言

第2節 実験方法

1. クリームチーズへの利用
2. 生パスタへの利用
3. バタークッキーへの利用
4. ヨーグルトへの利用
5. ソーセージへの利用

第3節 実験結果

1. クリームチーズへの利用
2. 生パスタへの利用
3. バタークッキーへの利用
4. ヨーグルトへの利用
5. ソーセージへの利用

第4節 考察

1. クリームチーズへの利用
2. 生パスタへの利用
3. バタークッキーへの利用
4. ヨーグルトへの利用
5. ソーセージへの利用

第7章 チコリイヌリン・ホエイ混合物による健常成人に対する

排便状態および腸内細菌叢への影響 106

第1節 緒言

第2節 実験方法

- 1 試験食品
- 2 被験者と試験計画
- 3 試験期間中の制限食品と試験開始後の被験者除外基準
- 4 身体計測，採血および糞便試料の採取
- 5 被験者日誌と排便アンケート調査
- 6 腸内細菌叢の分析
- 7 統計解析

第3節 実験結果

- 1 有効被験者数
- 2 有害事象
- 3 身体計測および血液生化学成分
- 4 排便状況および糞便性状
- 5 腸内細菌叢

第4節 考察

第8章 総括	123
第1節 研究の概要	
第2節 ビートから抽出された機能性素材の食品への添加効果	
第3節 チコリから抽出された機能性素材の食品への添加効果	
第4節 今後の展望	
参考文献	131
謝辞	147

第1章 序説

第1節 十勝地域の農業（研究の背景）

北海道十勝地域は恵まれた土地資源を活かし、大規模で機械化された生産性の高い農業が展開されている。その耕地面積は平成26年では25万4,900 haであり、全道平均の1.6倍、都府県平均の24.8倍の広さであり、農畜産物に係る農協取扱高は平成26年で2,798億円にもなっている。中でも、十勝地域の代表的な輪作体系を支える小麦、馬鈴薯、てん菜、豆類の畑作4品の収穫量は小麦で21万t、馬鈴薯で79.7万t、てん菜で157.9万t、豆類で8.1万tであり、十勝地域はそれぞれ全国の約25%、30%、45%、25%を生産する農業大国といえる¹⁾。近年、環太平洋戦略的経済連携協定(TPP)等の経済グローバル化やアジア諸国の経済発展、農業生産工程管理(GAP)等の奨励やグローバルGAPへの取組の方向性、農業者数の減少など、十勝地域を取り巻く環境は厳しさを増しており、競争に耐えうる「強い農業」への転換が急務とされている。特にてん菜生産においては、TPPへの参加により砂糖の関税が撤廃された場合、てん菜の生産額で492億円、関連産業で908億円、地域経済で1031億円が減少し、その損失合計額は2431億円と試算され、19,000人の雇用に影響すると推計されている²⁾。さらに、てん菜は十勝地域の輪作を支える重要品目と位置付けられており、てん菜の生産減少は十勝地域の農業の根幹を崩壊させる危険性を含み、他の作物生産への影響は計り知れない。一方で、十勝で生産される農畜産物を原料とした十勝の食品加工業の売上高(食料品製造出荷額)は平成25年の工業統計で2,892億円に留まり、全国の約1.2%にしかない。この食料品製造出荷額を平成25年の農協取扱高2,658億円で除算した原材料と加工の比率(付加価値率)は1.09であり、北海道全体の1.80、九州全体の1.70と比較して非常に低い値を示している。仮に十勝地域の付加価値率を九州並みに引き上げることができれば、食料品製造出荷額は1,600億円以上増加すると試算されており、食品加工業の活性化は十勝地域が抱える課題の一つとなっている。

このような背景のもと、今後の十勝地域の農業を維持し、且つ、競争力ある農業へ

の転換や食品加工の高度化に対する努力が続けられているが、作物の生産性の向上、新たな作物栽培の検討、および十勝地域の作物を原料とした加工品の開発や付加価値化率の向上がこれからの十勝地域の生き残りを懸けた大きな課題となっている。

第2節 てん菜（ビート）の可能性

てん菜（ビート）は砂糖の原料作物として栽培され、ビート糖製造に全量が使用されているが、その副産物は余すことなく製品化され、糖蜜、ビートパルプ、グルタミン酸ソーダ、調味液、ラフィノース、ビートベタイン、ビートファイバーなどが製造されている^{3,4)}。このため、ビートの付加価値を高める新たな製品開発は難しく、いかに現行の製品を用いて付加価値の高い2次加工品を開発するかが焦点といえる。一方で、製糖廃液には未だ多くの有用成分が含まれており、特に遊離アミノ酸やビートベタインが多いことがわかっている(企業調べ,非公表)。これらの有用成分については、既に筆者らが企業との共同研究により回収技術を確認しており、実用化されればさらに生産量を増加することが可能である。このため、筆者らはこれらの中から、汎用性の高い食品素材として、ビートベタインの可能性に着目し、潜在的な供給能力を有するビートベタインの価値を向上する研究について検討した。

ベタインは、広義にはアミノ酸のN-トリアルキル誘導体の総称であり、アミノ酸と同様に分子内縮合を起こし、水溶液中では両性イオンを生ずる。狭義にはトリメチルグリシンを指し、別名グリシンベタインとも呼ばれる化合物で、グリシンのアミノ基に3つのメチル基が結合している特徴を有している⁵⁾。ビートベタインは1866年C.Scheiblerにより、ビートから初めて分離された。トリメチルグリシンとも呼ばれ、ベタインの名前はビートの学名 *Beta vulgaris* に由来する^{5,6)}。

ビートベタインは、植物ではヒユ科（旧アカザ科）のビートやほうれん草、イネ科の大麦や小麦等の耐塩性植物中に比較的多く含まれ⁷⁻⁹⁾、特にフダンソウ属 (*Beta* 属) に多い。また、タバコの葉やタケノコ、キノコ、種々の果実や種子にも認められ、クコの主成分がベタインであるという報告もある¹⁰⁾。動物ではエビ、カニ、イカ、タコ、

アサリなどの海産物の頭足類，甲殻類，貝類といった水産節足動物や軟体動物に比較的多く含まれている^{5,11)}。

ビートベタインの用途は，世界的に見ると欧米を中心に鶏，豚などの単胃動物用飼料に添加され，国内においては摂餌促進効果を期待した養魚用飼料のほか，最近では牛などの反芻動物用の飼料としても期待されている¹²⁻²⁰⁾。また，その高い保湿性から化粧品分野の保湿剤として多く用いられている²¹⁾。食品用途では一般に調味料として水産練り製品分野で最も使用されている²²⁾。しかし，国内では他の食品素材に比べて一部の食品にしか利用が進んでおらず，需要を喚起することができれば，高い付加価値を生む可能性を秘めている。

第3節 チコリの可能性

チコリは古くから欧州で生産されている地中海沿岸地方原産の作物である²³⁾。一般に新芽が生鮮野菜としてスーパーなどに出荷されるが，チコリ根は主に焙煎してチコリコーヒーとして利用される。特にチコリ根は10～30%のイヌリンを含み，欧州では砂糖とともに生産が盛んである。イヌリンの原料作物としてのチコリは冷涼な気候に適した作物であり，国内では岐阜県や長野県，埼玉県で主に栽培されているが，北海道でも一部地域で栽培されており，北海道は冷涼な気候を好むチコリ栽培に最も適した地域の一つであると考えられる。

イヌリンは，難消化性の水溶性低分子多糖類であり，チコリ，キクイモ，ゴボウ，タンポポなどのキク科植物の根や，タマネギ，ニンニク，ニラなどのネギ科植物に含まれている²⁴⁻²⁶⁾。その構造はフラクトオリゴ糖にさらにフラクトースが直鎖状，あるいは分岐鎖状に結合したもので，その重合度は直鎖状のもので8～25程度，分岐鎖状のもので150以上と様々な鎖長のものが存在している。

現在，市販されているイヌリンは酵素合成されたイヌリンとチコリやキクイモの根から抽出された天然イヌリン，および直鎖から分岐した構造を有するアガベ（リュウゼツラン）由来の分岐鎖イヌリンに大きく分けられる²⁷⁻³⁰⁾。中でもチコリ根由来イヌ

リンは古くから欧州で産業化されており、世界のイヌリン市場のほとんどを占めている³¹⁾。一方で、国内のイヌリン生産は酵素合成イヌリンが数年前まで行われていたが、タイに生産を完全に移転した。このため、産業化された国産のイヌリンはなく、全て輸入品であり、我が国の消費者の国産志向に対する需要は多いと考えられる。

このような情勢の中、北海道はチコリ栽培に適した産地であり、しかも、チコリ根からのイヌリン製造はビートからのビート糖製造方法^{32,33)}と基本的には同じ工程で製造が可能であることから、チコリを北海道で生産すれば、ビート糖製造工場が集積している十勝地域では、その製造設備を用いたチコリイヌリンの製造が可能で地産加工が可能な地域優位性を有していると考えられる。

第4節 研究の目的

本研究では、十勝地域の農業をめぐる厳しい環境の中、農業基盤の維持に資する十勝地域の作物を原料とした加工品の開発や付加価値化率の向上、あるいは新たな作物栽培の検討による新産業創出を目的に、ビートおよびチコリから抽出された機能性素材の食品への添加効果について検討を行った。

ビートではビート糖副産物である糖蜜から抽出されたベタインに着目し、ベタインのさらなる活用を提案することでベタインの需要を喚起し、2次加工品の付加価値化を図るため、ベタインを利用した食品開発を検討し、食品への添加効果について研究を行った。

チコリでは、十勝地域でのチコリ栽培とイヌリン加工による新たな産業創造の可能性を見出し、今後の産業化後に必要となる十勝産チコリ根から抽出されたイヌリン(とちイヌリン)の需要を創出するため、イヌリンを利用した食品開発を検討し、食品への添加効果について研究を行った。

第5節 論文構成

本論文は以下の8章で構成し、論を展開した。

第1章「序説」では、本研究を行うに至った背景を、十勝地域の農業を取り巻く環境、てん菜（ビート）の可能性、チコリの可能性から説明し、研究の目的と論文構成について記述した。

第2章「味覚センサーによるビートベタインの味質特性の評価」では、ベタイン自体が持つ味質について、味覚センサーを用いることにより改めて評価し、官能評価では検討が難しいベタインが有する味質の特徴や呈味物質に対する味質特性を検討した。

第3章「ビートベタインの利用特性に基づく用途開発」では、既知の研究や本研究で明らかとなった利用特性に基づき、ベタインの食品への添加効果を検討し、ベタインを利用した食品開発の可能性を検討した。

第4章「ベタイン添加食パン生地の製パン性の改善」では、ベタインの添加による製パン性の低下を評価するとともに、パン生地へのベタイン添加タイミングが製パン性に及ぼす影響を検討した。

第5章「チコリイヌリンの利用特性の評価」では、十勝産チコリ根から抽出されたとかちイヌリンの利用特性について、既存のイヌリン素材との比較を実施し、食品素材としてのとかちイヌリンの評価を行った。

第6章「チコリイヌリンの利用特性に基づく用途開発」では、既知の研究や本研究で明らかとなったとかちイヌリンの利用特性に基づき、とかちイヌリンの食品への添加効果を検討し、とかちイヌリンを利用した食品開発の可能性を検討した。

第7章「ホエイ・イヌリン混合物が便秘傾向を有する健常成人男女の排便状態および腸内細菌叢に及ぼす影響」では、新たに開発した中間食品素材であるホエイ・イヌリン混合物について、ヒトの便通や腸内細菌叢に及ぼす影響をヒト試験を実施して検討し、腸内環境改善効果を有するか検討した。

第8章「総括」では、本論文の内容を総括して考察を加えた。

第2章 味覚センサーによるビートベタインの味質特性の評価

第1節 緒言

食品用のベタインの製造は、砂糖大根を使ったビート糖製造プロセスにおいて分離された糖蜜から精製されている³⁾。

ベタインの呈味性は太田ら⁴⁾がその特性について報告⁴⁾しており、10%溶液でショ糖5.5%溶液に相当する甘味と1%溶液でグルタミン酸ナトリウム (MSG) 0.04%に相当するうま味を有しているとされる。また、食塩のしおから味に対して影響しない、ショ糖、アラニン、グリシンの甘味に対してベタインの甘味に相当する分だけ甘味を強くする、酒石酸の酸味に対して酸味を低下させる、MSG およびイノシン酸ナトリウムのうま味に対してベタインのうま味に相当する分だけうま味を強くすると報告されている⁴⁾。

一方で、機器分析の進歩により各種食品の呈味成分を再合成し、そこから各成分を除いてその呈味に対する寄与率を調べるオミッシンテストが行われるようになり、ベタインについても水産無脊椎動物の呈味成分として直接的、あるいは間接的に影響を与えることが明らかになりつつある³⁴⁻³⁷⁾。このことがカニ風味かまぼこなどの呈味増強剤としてベタインが利用されている理由である。

近年、食品の呈味性を評価する新たなアプローチとしてマルチチャネル味覚センシングシステムが開発され、食品の味の定量化について、特に水溶液に近い系において良好な結果が報告されている³⁸⁻⁴²⁾。このような味覚センサーによる評価は、飲料等の味質を比較評価するだけでなく、水溶性呈味成分の持つ呈味性を改めて確認する方法として優れており、ベタインにおいてもこれまでの官能評価による呈味性を補完し、その特性を理解する大きな一助となると考えられる。

本研究では、これまで官能評価で確認されているベタインの呈味性について、味覚センサーを用いて定量的に評価し、ベタインが有する味質を改めて検討することで、ベタインの味質特性を確認し、調味料あるいは呈味増強剤としてのベタインの用途適

性を理解する一助とした。

第 2 節 実験方法

1. 味質評価測定系

(1) 味覚センサー

ベタインの味質を評価する味覚センサーは、味認識装置 (TS-5000Z, (株) インテリジェントセンサーテクノロジー (Insent) 製, 神奈川, 日本) を用いた。この装置は本体, センサー部, 制御・データ処理部に分けられ, センサー部は味覚センサープローブ, セラミックス型参照電極, および温度センサーで構成される。味覚センサープローブはポリ塩化ビニルの中空棒に KCl 溶液と銀・塩化銅線を入れ, 中空棒の断面孔に人工脂質膜を貼り付けている。一般的な食品の評価には 5 本の異なる人工脂質膜を貼り付けた味覚センサープローブと人工脂質膜の属性に対応した異なる 2 本の参照電極をサンプル溶液に浸漬し, 各センサープローブと参照電極との間に生じた電位差を計測し, A/D 変換してデータ処理部の CPU に取り込み, 数学的処理による解析を経て, 食品の味を「見える化」する装置である (図 2-1)。

(2) 味覚センサープローブ

ベタインの味質測定に使用した味覚センサープローブは一般的な食品の評価に用いられる基本的な 5 種類の味覚センサープローブと甘味測定用センサープローブを用いた。すなわち, 旨味 (先味) と旨味コク (後味), 塩味 (先味), 酸味 (先味), 苦味雑味 (先味) と苦味 (後味), 渋味刺激 (先味) と渋味 (後味), 甘味に応答する人工脂質膜を貼り付けた味覚センサープローブを用いた (表 2-1)。味覚センサーにおける「先味」は食品を口に含んだ瞬間の味を, 「後味」は食品を飲み込んだ後に残る持続性のある味を意味し, 「旨味コク」とは後に残る持続性のある旨味を意味する。

(3) 測定準備

味覚センサープローブおよび参照電極は測定する前日から内部液 (3.33 M KCl + 飽和 AgCl, Insent) を充填し, 味覚センサー用プローブは測定用基準液 (30 mM KCl

+ 0.3 mM 酒石酸, Inset), 参照電極はプリコン液 (3.33 M KC, Inset) に浸漬し, プリコンディショニングを行って使用した。本体は測定液の温度を一定にするため, 恒温循環槽に循環水を入れ, 25°Cにて安定化させた。本体に各味覚センサープローブ, 参照電極, 温度センサーを取り付け, 味覚センサー洗浄液 (マイナス膜およびブレンド膜用: 100 mM HCl + 30 vol % EtOH, プラス膜用: 10 mM KOH + 100 mM KCl + 30 vol % EtOH), 測定用基準液, 保存用基準液, 安定用基準液, change of membrane potential caused by adsorption (CPA) 測定用基準液 (全て Inset) をセットし, 予め, センサーチェックを行い, センサー出力値に異常のないことを確認した。その後, 各試験溶液をセットした。

(4) 測定方法

図 2-2 に測定手順の概要を示す。測定は, センサー部を洗浄液で 1 回洗浄した後, 基準液で 2 回のすすぎを行い, 安定用基準液に浸漬して基準液の電位 (V_r) を測定し, この基準となる電位が安定 (前回との電位差が全てのチャンネルで $\pm 0.5\text{mV}$ 以内) するまで測定を繰り返した。電位が安定した後, 試験溶液で人工脂質膜を軽く洗浄してから試験溶液に 30 秒間浸漬し, 電位 (V_s) を測定した。その後, CPA 測定用基準液ですすぎを 2 回行ってから, CPA 測定用基準液に浸漬し, すすぎの後に残る電位 (V_{CPA}) を測定した。このローテーションを 1 試験溶液につき 4 回繰り返して測定を行った。測定で得られた応答電位のうち, 試験溶液の応答電位 (V_s) と基準液の電位 (V_r) との電位差 ($V_s - V_r$) が相対値 (試験溶液の先味) に相当し, CPA 測定用基準液の応答電位 (V_{CPA}) と基準液の電位 (V_r) との電位差 ($V_{CPA} - V_r$) が CPA 値 (試験溶液の後味) に相当する。

(5) 解析方法

4 回の測定値のうち, 最初の 1 回を除外し, その後の 3 回の測定値について解析を行った。基準液の測定値との電位差である相対値 ($V - V_0$) と CPA 値 ($V_{CPA} - V_0$) を補間加算出力値とし, 「食品の味評価のための味覚センサ活用マニュアル (第 3 版) ⁴³⁾ に基づき, 酸味-13 mV 以上, 塩味-6 mV 以上, その他の味質項目 0 mV 以上である味

質を「味がある」と判定した。但し、「味がある」とは、「ヒトが味として認識できる」という意味であり、味質として「まったくない」という意味ではない。従って、ヒトが認識できない場合でも「味を有する」可能性があるため、ベタインの味質評価においては、全ての味質について検討した。

2. ベタインの味質評価

ベタインはニッテンベタイン（純度 99%，日本甜菜製糖（株），東京，日本）を使用した。

（1）ベタイン単独の味質評価

蒸留水にベタインを溶解した時の味質を評価するため、ベタインの添加により、出力値が濃度依存的に増加する味質項目を調査した。但し、味覚センサーは参照電極との電位差を測定するため、導電率の低い溶液は測定が困難であり、Insent 社では試験溶液の導電率は 1~10 mS/cm であることを推奨している⁴⁴⁾。ベタイン単独の味質評価においてベタイン溶液は導電率が低い (0.15 mS/cm) ため、味覚センサーでの測定に不向きである。そこで、安定した測定を行うため、ベタイン溶液の導電率が Insent 社から報告実績のある範囲 (0.4~30 mS/cm) の最低限の導電率となるよう 0.0016% (w/v) NaCl (和光純薬，大阪，日本) 溶液 (導電率 0.5 mS/cm) を調製し、これを溶媒としてベタインを終濃度 0, 0.2, 0.5, 1.0% (w/v) となるように溶解し、味覚センサーに供した。

（2）ベタインの旨味強度

ベタインの旨味の強度を L-グルタミン酸ナトリウム (MSG) の旨味の強度と比較するため、0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0% (w/v) のベタイン溶液 (溶媒は 0.0016% (w/v) NaCl 溶液) と 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1% (w/v) の MSG (和光純薬) 溶液 (溶媒は蒸留水) を調製し、味覚センサーに供した。

（3）ベタインの甘味強度

ベタインの甘味の強度をショ糖の甘味の強度と比較するため、0.1, 0.2, 0.5, 1.0,

2.0, 5.0, 10.0, 15.0% (w/v)のベタイン溶液およびショ糖（和光純薬）溶液を調製し、味覚センサーに供した。

（４）ベタインの苦味評価

ベタインには若干の苦味があることが報告されており⁴⁾、実際にベタイン粉末を味わってみると後に残る苦味を感じるが、しおから等の高塩分食品に使用した例ではベタインの苦味は感じられない。そこで、食塩存在下でのベタインの苦味を評価するため、異なる食塩濃度の水溶液にベタインを添加し、苦味雑味（先味）および苦味（後味）の出力値の変化を調査した。すなわち、0.0016, 0.05, 0.1% (w/v)の濃度としたNaCl溶液を調製し、各NaCl溶液を溶媒としてベタインを終濃度0, 0.2, 0.5, 1.0% (w/v)となるよう溶解し、味覚センサーに供して苦味雑味（先味）、苦味（後味）の変化を調査した。

また、ベタインの苦味が他の苦味物質と共存した場合に、相加効果や相乗効果を示すのか確認するため、呈味を有する遊離アミノ酸⁴⁵⁾のうち苦味を呈するL-フェニルアラニン（和光純薬）、L-アルギニン（SIGMA, 東京, 日本）、DL-ノルロイシン（和光純薬）、L-バリン（和光純薬）、L-ヒスチジン（和光純薬）、L-イソロイシン（和光純薬）を各0.1% (w/v)濃度に調製し、これにベタインを終濃度0, 0.2, 0.5, 1.0% (w/v)となるよう添加し、味覚センサーに供した。

（５）ベタインの塩味評価

高濃度ベタイン溶液での塩味を評価するため、Insent社のユーザーズガイドにしたがい、1 mM KCl（和光純薬）溶液を作成し、これを溶媒として1, 5, 10, 50, 100, 500, 1000 mM ベタイン溶液を調製し、味覚センサーに供した。

3. 各呈味物質に対するベタインの影響

（１）食塩に対する影響

食品中の食塩に対するベタインの影響を評価するため、0.1, 0.25, 0.5% (w/v)の濃度としたNaCl溶液を調製し、これにベタインを終濃度0~0.125% (w/v)まで変化さ

せて添加し、味覚センサーに供した。

(2) 有機酸に対する影響

食品中の有機酸に対するベタインの影響を評価するため、各 0.1% (w/v)濃度の酢酸 (和光純薬)、DL-乳酸 (キシダ化学, 大阪, 日本)、クエン酸 (和光純薬)、DL-リンゴ酸 (キシダ化学)、DL-酒石酸 (和光純薬)、コハク酸 (キシダ化学) 溶液を調製し、これにベタインを終濃度 0, 0.2, 0.5, 1.0% (w/v)となるよう添加し、味覚センサーに供した。

(3) 甘味系遊離アミノ酸に対する影響

食品中の遊離アミノ酸に対するベタインの影響を評価するため、呈味を有する遊離アミノ酸⁴⁵⁾のうち甘味を呈するグリシン (和光純薬)、L-アラニン (和光純薬)、L-プロリン (和光純薬) および食品の呈味に関与するとされているタウリン (和光純薬) を各 0.1% (w/v)濃度に調製し、これにベタインを終濃度 0, 0.2, 0.5, 1.0% (w/v)となるよう添加し、味覚センサーに供した。

(4) 核酸に対する影響

食品中の核酸に対するベタインの影響を評価するため、呈味を有する核酸⁴⁵⁾のうちグアニル酸(5'-GMP) (和光純薬)、イノシン酸(5'-IMP) (和光純薬) を各 0.1% (w/v)濃度に調製し、これにベタインを終濃度 0, 0.2, 0.5, 1.0% (w/v)となるよう添加し、味覚センサーに供した。

(5) 各種渋味物質に対する影響

食品中の渋味成分に対するベタインの影響を評価するため、各 0.1% (w/v)濃度のタンニン酸 (和光純薬)、クロロゲン酸 (和光純薬)、エピガロカテキンガレート(EGCG, 和光純薬)および 0.2% (w/v)濃度の緑茶由来カテキン (和光純薬) を調製し、これにベタインを終濃度 0, 0.2, 0.5, 1.0% (w/v)となるよう添加し、味覚センサーに供した。

第3節 実験結果

1. ベタインの味質評価

(1) ベタイン単独の味質評価

0~1.0% (w/v)のベタインを溶解した 0.0016% NaCl 溶液における各味質の出力値を図 2-3 に示した。ベタインの添加により、濃度依存的に出力値が増加した味質項目は旨味（先味）、苦味雑味（先味）、塩味、甘味の 4 項目であった。このうち、「味がある」と判定される出力値（酸味-13 mV、塩味-6 mV、その他 0 mV）以上を示した味質は、旨味（先味）、苦味雑味（先味）、甘味の 3 項目であった。このことから、ヒトが「味がある」と認識できるベタインの味は旨味（先味）、苦味雑味（先味）、甘味であることが確認された。

(2) ベタインの塩味評価

1 mM KCl 溶液を溶媒とした 1~1000 mM ベタイン溶液の出力値を図 2-4 に示した。ベタイン溶液の塩味の出力値は濃度依存的に増加した。1~50 mM のベタイン溶液は出力値-6 mV 以下であり、ヒトの官能評価では認識できないと判定された。「味がある」と判定される出力値(-6 mV)以上を示したベタイン溶液は 100 mM~1000 mM の濃度であった。

(3) ベタインの旨味強度

0.1~1.0% (w/v)のベタイン溶液と 0.02~0.1% (w/v)の MSG 溶液の旨味（先味）の出力値を図 2-5 に示した。ベタインの出力値と MSG の出力値を比較すると、ベタイン 1%の時の出力値と同じ出力値となる MSG の濃度は各々の出力値の近似式から計算すると、0.04%となった。つまり、ベタイン 1%の旨味強度は MSG0.04%の旨味強度と同じであることが示唆された。

(4) ベタインの甘味強度

0.1~15.0% (w/v)のベタイン溶液およびショ糖用液の甘味の出力値を図 2-6 に示した。ベタインの出力値はショ糖の出力値の約 1.5~3.0 倍の強度であった。

(5) ベタインの苦味評価

濃度の異なる NaCl 溶液における 0~1.0% (w/v)ベタインの苦味雑味 (先味) (a)と苦味 (後味) (b)の出力値を図 2-7 に示した。このうち、濃度依存的な増加を示し、かつ、「味がある」と判定される出力値(0 mV)以上を示したのは苦味雑味 (先味) だけであった。苦味雑味 (先味) は各食塩濃度のいずれにおいてもベタイン濃度が高くなるにつれて出力値は増加しているが、同じベタイン濃度では低い食塩濃度に比べて高い食塩濃度の方が、出力値は低かった。また、ベタイン 0%と 1%での出力の増加幅は低い食塩濃度に比べて高い食塩濃度の方が小さかった (図 2-7a)。

さらに、苦味を呈する各 0.1% (w/v)濃度の遊離アミノ酸における 0~1.0% (w/v)ベタインの苦味雑味 (先味) の出力値(a)と、比較を容易にするために各アミノ酸存在下におけるベタイン 0%の時の出力値を「0」とした場合の相対出力差(b)を図 2-8 に示した。いずれの物質においても、苦味雑味 (先味) の出力値は「味がある」と判定される出力値(0 mV)以上を示した。また、苦味雑味 (先味) の出力値は全てにおいてベタイン単独の時よりも出力値が小さくなった (図 2-8a)。さらに、出力の増加幅についても全てにおいて、ベタイン単独よりも増加幅が小さかった。(図 2-8b)。尚、苦味を呈する遊離アミノ酸の苦味 (後味) については、いずれの出力値も「味がある」と判定される出力値(0 mV)以下を示したため、データは示さない。

2. 各呈味物質に対するベタインの影響

(1) 食塩に対する影響

濃度の異なる NaCl 溶液における 0~0.125% (w/v)ベタインの塩味の出力値(a)と、比較を容易にするために各 NaCl 濃度におけるベタイン 0%の時の出力値を「0」とした場合の相対出力差(b)を図 2-9 に示した。いずれの食塩濃度においても、塩味の出力値は「味がある」と判定される出力値(-6 mV)以上を示し、ベタイン濃度が高くなるにつれて濃度依存的に減少した (図 2-9a)。また、一定の出力値減少のためには食塩濃度が高いほど、高いベタイン濃度が必要であることが確認された (図 2-9b)。

(2) 有機酸に対する影響

0.1% (w/v)濃度の各有機酸における 0~1.0% (w/v)ベタインの酸味の出力値(a)と、比較を容易にするために各有機酸存在下におけるベタイン 0%の時の出力値を「0」とした場合の相対出力差(b)を図 2-10 に示した。いずれの有機酸濃度においても、酸味の出力値は「味がある」と判定される出力値(-13 mV)以上を示し、ベタイン濃度が高くなるにつれて濃度依存的に減少した(図 2-10a)。また、相対出力差を見ると、その減少幅は乳酸、クエン酸、酒石酸、リンゴ酸、コハク酸、酢酸の順で大きかった(図 2-10b)。

(3) 遊離アミノ酸に対する影響

各 0.1% (w/v)濃度のグリシン,アラニン,プロリンおよびタウリンにおける 0~1.0% (w/v)ベタインの旨味(先味)の出力値(a)と、比較を容易にするために各アミノ酸およびタウリン存在下におけるベタイン 0%の時の出力値を「0」とした場合の相対出力差(b)を図 2-11 に示した。いずれの物質においても、旨味(先味)の出力値は「味がある」と判定される出力値(0 mV)以上を示し、ベタイン単独の時と同等以上の出力値を示した。また、ベタイン濃度が高くなるにつれて濃度依存的に増加した(図 2-11a)。さらに、相対出力差を見ると、ベタイン単独の増加幅と比較してタウリンは出力の増加幅が大きく、グリシンはベタイン 1%の時に増加幅がベタイン単独を上回った。プロリン,アラニンはベタイン単独よりも増加幅が小さかった。(図 2-11b)。

(4) 核酸に対する影響

各 0.1% (w/v)濃度の 5'-GMP, 5'-IMP における 0~1.0% (w/v)ベタインの旨味の出力値(a)と、比較を容易にするために各核酸存在下におけるベタイン 0%の時の出力値を「0」とした場合の相対出力差(b)を図 2-12 に示した。いずれの物質においても、旨味の出力値は「味がある」と判定される出力値(0 mV)以上を示し、ベタイン単独の時と比べて大きな出力値を示した。また、ベタイン濃度が高くなるにつれて濃度依存的に増加した(図 2-12a)。しかし、相対出力差を見ると、ベタイン単独の増加幅と比較していずれの核酸も出力の増加幅は著しく小さかった(図 2-12b)。

(5) 各種渋味物質に対する影響

各 0.1% (w/v)濃度のタンニン酸, クロロゲン酸, EGCG と 0.2% (w/v)濃度の緑茶由来カテキンにおける 0~1.0% (w/v)ベタインの渋味刺激 (先味) の出力値(a)と, 比較を容易にするために各渋味物質存在下におけるベタイン 0%の時の出力値を「0」とした場合の相対出力差(b)を図 2-13 に示した。いずれの渋味物質においても, 渋味刺激 (先味) の出力値は「味がある」と判定される出力値 (0 mV) 以上を示した (図 2-13a)。また, 相対出力差を見ると, 緑茶由来カテキンと EGCG はベタイン濃度が高くなるにつれて出力値の減少が見られた (図 2-13b)。

尚, 各種渋味物質の渋味 (後味) については, 渋味刺激 (先味) と同様, いずれの出力値も「味がある」と判定される出力値 (0 mV) 以上を示し, 出力レベルは異なるものの, その変化は渋味刺激 (先味) と同じであったため, データは示さない。

第 4 節 考察

1. ベタインが有する味質

ベタインの味質については太田らの報告⁴⁾や佐藤らの報告⁴⁶⁾において, 甘味や旨味およびわずかな苦味があること知られている。これらは訓練されたパネラーによる官能評価によって確認されたものである。本試験では, 既に知られているベタインの味質について, 味覚センサーを用いて改めて定量的に確認することを試みた。味覚センサーにより味質測定を行った場合, ベタインの有する味質は濃度依存的に出力値が増加するはずである。本試験の結果, 0~1.0%ベタイン溶液において, ベタインの添加により, 濃度依存的に味覚センサーの出力値が増加した味質項目は旨味 (先味), 苦味雑味 (先味), 塩味, 甘味の 4 項目であった。但し, 塩味については, 「味がある」と判定される出力値 (-6 mV) 以下であったことから, ヒトの官能評価では認識できないと考えられた。しかし, 塩味は, 「味がない」わけではなく, 1.0%ベタイン溶液で閾値以下であったと考えるべきであり, より高濃度では塩味を有する可能性があると考えられた。

そこで、ベタインが弱い塩味を有するかを確認することとし、より高濃度のベタイン溶液を測定して塩味の出力値を確認した。この結果、1~50 mM までは「味がある」と判定される出力値(-6 mV)を下回ったが、100 mM 以上のベタイン溶液では「味がある」と判定される出力値(-6 mV)を上回った。100mM という濃度はベタインの分子量(MW 117.146)から計算すると約 1.2%に相当し、これ以上の濃度のベタインについてはヒトにおいても塩味を認識できると考えられた。したがって、ベタインの味質はこれまでの報告に示された旨味、苦味、甘味の他に弱い塩味を有することが示唆された。

ベタインが有する旨味については、ヒトによる官能試験において、1%溶液で MSG 0.04%に相当するうま味を有しているとされる⁴⁾。今回、図 2-5 で示したベタインの近似式と MSG の近似式から、ベタイン 1%の時の出力値と同じ出力値となる MSG の濃度を計算すると、0.04%となり、報告と同じ結果となった。したがって、ベタインの旨味の強度はこれまでの報告を裏付けるものであり、ベタインが有する旨味は味覚センサーによっても客観的に測定が可能であることが示唆された。

ベタインが有する甘味については、ヒトによる官能試験において、10%溶液で砂糖 5.5%溶液に相当すると報告されている⁴⁾。今回、ベタインとショ糖の甘味の出力を比較すると、ベタインの出力がショ糖と比較して 1.5~3.0 倍の出力を示し、報告とは異なる結果となった。この理由は、甘味センサープローブ(GL1)が糖や糖アルコールといった非イオン性の甘味物質を測定するために設計されており⁴⁷⁾、ベタインのような両性イオンを生じるアミノ酸系の物質を測定する目的で作られていないためであると考えられる。ベタインの甘味出力がショ糖の出力変化と同様に、濃度依存的な変化を示すことから、甘味を測定することは可能であり、ベタインに甘味があることは確認できるが、その強度は一概に比較できなかった。今後、さらなるデータ取得により、ベタインの出力値と官能評価による強度の関係性が明らかになれば、出力値の補正により客観的な測定が可能になるかもしれない。

また、ベタインには若干の苦味があることがヒトによる官能評価において報告⁴⁾さ

れており、本試験においても苦味雑味（先味）の出力値が濃度依存的に増加することから、ベタインには苦味があることが確認できる。しかし、実際にベタイン粉末を味わってみると後に残る苦味を感じるが、しおから等の高塩分食品に使用した例ではベタインの苦味は感じられない。これは濃い食塩溶液で「塩辛い」と表現される味の強さがベタインの持つ苦味の強さよりもずっと強いために、官能評価では気にならない可能性が考えられた。このため、本試験では、濃度の異なる NaCl 溶液とベタイン濃度との関係を調査した。この結果、同じベタイン濃度では低い食塩濃度に比べて高い食塩濃度の方が、出力値は低く出力され、ベタイン濃度が高くなるにつれて増加する出力値の増加幅は高い食塩濃度の方が小さくなった。このことから、ベタインの持つ苦味は高濃度の食塩存在下では食塩によりマスキングされ、感じにくくなっていることが示唆された。この結果は、太田らが、ヒトによる官能試験において、ベタインの味質は食塩のしおから味に対して影響しないと報告している⁴⁾ことと一致し、その現象を説明するデータとなり得ると考えられた。苦味系の遊離アミノ酸溶液の苦味雑味（先味）の出力値は、ベタイン単独と比較して全ての遊離アミノ酸で低い出力を示し、相対出力差を見てもベタイン単独と比べて増加幅が小さくなった。特に、苦味雑味（先味）の出力値はベタイン単独の出力値よりも 1 mV 以上低くなっており、ヒトが官能評価により判別可能な差となっていた。苦味雑味（先味）の出力値と相対出力差の結果は、苦味系遊離アミノ酸と共存することで、ベタインの苦味が発現しにくい状態となっていると推察された。このことは、食塩や遊離アミノ酸糖の他の呈味成分によりベタインの苦味が抑制される可能性を示唆した。

2. 各呈味物質に対するベタインの影響

ベタインの用途においては、既にヒトによる官能評価において、塩なれ効果や酸味の抑制などが報告されている⁴⁶⁾。本試験においても各種の呈味物質との組合せを検討し、ベタインが他の物質の呈味性にどのような影響を与えるのか検討を行った。

食塩溶液の塩味の出力値はベタインの添加濃度が高くなるにつれて濃度依存的に

減少した。したがって、ベタインの食塩に対する塩なれ効果は味覚センサーによっても確認されたと考えている。しかし、その出力の低下は0.5%NaCl溶液に終濃度0.125%のベタイン添加の場合でも-0.53 mVに留まった。味覚センサーでの出力差は0.5 mV以上の違いでようやくヒトが認識できる差異であると言われており、通常の食品では0.5%以上の塩分を有する食品も多い。このことは、ベタインに塩なれ効果を期待するためには比較的多量の添加をする必要があることを示唆し、今後、高塩分食品での確認が必要と考える。

有機酸溶液の酸味の出力値も、食塩溶液と同様、ベタインの添加濃度が高くなるにつれて濃度依存的に減少した。したがって、ベタインの酸味抑制効果は味覚センサーによっても確認されたと考えている。太田らは、ヒトによる官能試験において、ベタインは酒石酸に対して酸味を低下させると報告している⁴⁾が、本試験では酒石酸以外の有機酸に対しても酸味を低下させることを確認した。ベタインによる酸味出力値の減少は有機酸の種類により異なり、同じ重量%濃度では乳酸、クエン酸、酒石酸、リンゴ酸、コハク酸、酢酸の順で大きかった。しかし、本試験で調製した有機酸溶液は重量%によるものであり、モル濃度での調製を行っていないため、各有機酸に対するベタインの酸味低減度の違いは、今後、モル濃度で調製した有機酸溶液についても調査を行って確認する必要がある。

甘味系の遊離アミノ酸溶液の旨味（先味）の出力値は、ベタイン単独と同等かそれ以上の出力を示した。この理由は、タウリンやグリシンにも旨味（先味）の出力があるためだが、特にタウリンやグリシンではベタイン単独よりも旨味（先味）の出力が増加した。この結果は相対出力差を見た時に、タウリンやグリシンの出力増加幅がベタイン単独に比べて大きいことから説明できる。このことは、ベタインがタウリンやグリシンと共存することで、旨味の相乗作用が得られることを示唆した。太田らはヒトにおける官能試験において、アラニン、グリシンの甘味に対してベタインの甘味に相当する分だけ甘味を強くすると報告している⁴⁾が、旨味に関しては言及していない。本試験で、タウリンやグリシンとベタインに旨味の相乗効果が示唆されているが、こ

これらの成分がエビ、カニ、イカ、タコ、貝類などに多く含まれている^{33-37,45)}ことは興味深い。今後、オMISSIONテストの手法を用いて味覚センサーでの測定を実施できれば、これらの成分間の呈味の間関係をより明らかにできると考えられた。核酸の溶液の旨味(先味)の出力値は、ベタイン単独よりも高い出力を示した。この理由は、5'-GMPや5'-IMPの旨味(先味)出力がベタイン単独よりも高いことに起因するが、相対出力差を見ると、5'-GMPや5'-IMP存在下での旨味(先味)出力はベタイン単独に比べて小さいことが明らかとなった。このことは、ベタインを5'-GMPや5'-IMPと共存させても、旨味の相加効果が得られないことを示唆した。

各種渋味物質の渋味刺激(先味)の出力値は、ベタイン単独と同等かそれ以上の出力を示した。この理由は、供試した各渋味物質自体に渋味刺激(先味)の出力があるためだが、特にタンニン酸や緑茶由来カテキン、EGCGでは出力が高かった。相対出力差を見ると、緑茶由来カテキンとEGCGではベタイン単独よりも渋味刺激(先味)の出力減少が大きく、1%ベタインでは0%ベタインと比べて約1 mVの出力低下が見られ、ヒトが官能評価により判別可能な差となっていた。このことから、ベタインは緑茶由来カテキンやEGCGに由来する渋味を低減する可能性が示唆された。ベタイン単独でもベタイン濃度が高くなるにつれて若干の出力減少が見られるが、これは溶媒とした0.0016% NaClに起因する渋味刺激(先味)の出力をベタインが低減したものと推察している。

以上の結果から、ベタインには、従来報告されていた甘味、旨味、わずかな苦味⁴⁾以外にも、高濃度では塩味を有することが新たに示唆された。このうち、苦味については、食塩や苦味系の遊離アミノ酸といった他の呈味成分と共存した場合、ベタイン自体の苦味は抑制される可能性が示唆された。また、ベタインが他の呈味物質に与える影響は、従来報告されている塩なれ効果や酸味抑制効果⁴⁶⁾の他に、タウリンやグリシンとの共存による旨味の相乗作用や、緑茶由来カテキン、EGCGに対する渋味低減効果があることが示唆された。これらのベタインの作用メカニズムはベタインによる味覚受容体に対する味物質の結合阻害や同時結合によるシグナル増加のほか、ベタイ

ンの水溶液中での解離状態による導電率変化や異なる味質のバランスによる脳内での知覚への影響などが考えられる。今回、味質評価に用いた味覚センサーはセンサーの半透膜を選択的に通過した味物質の導電率を測定する原理であるため、ベタインの添加が試験溶液の導電率に影響を与えたことは明らかであり、官能評価とも一致した結果が得られたことから、導電率の変化した要因を検討することにより作用メカニズムの解明に近づくものと考えている。

今後は、これらの知見をもとに、ヒトによる官能評価での確認が必要であるとともに、味覚センサーによるオMISSIONテストや食品自体でのベタイン添加の影響について調査する必要がある。これにより、ベタインの新たな利用可能性が期待される。

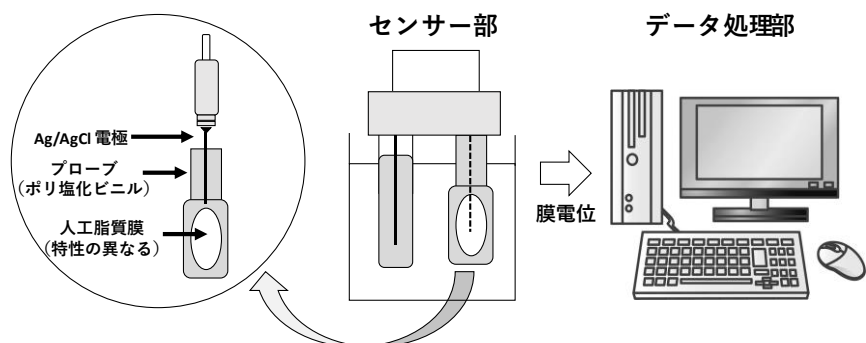


図 2-1 味覚センサーの概要

表 2-1 センサープローブの種類

属性	センサープローブ	味質項目
ブレンド膜	AAE	旨味 (先味), 旨味コク (後味)
	CT0	塩味
	CA0	酸味
プラス膜	C00	苦味雑味 (先味), 苦味 (後味)
	AE1	渋味刺激 (先味), 渋味 (後味)
プラス膜	GL1	甘味

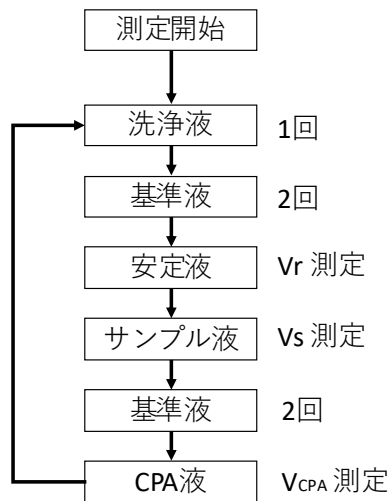


図 2-2 測定手順の概要

測定は、センサー部を洗浄液で1回洗浄した後、基準液で2回のすすぎを行い、安定用基準液に浸漬して基準液の電位 (V_r) を測定し、この基準となる電位が安定するまで測定を繰り返した。電位が安定した後、試験溶液で人工脂質膜を軽く洗浄してから試験溶液に30秒間浸漬し、電位 (V_s) を測定した。その後、CPA測定用基準液ですすぎを2回行ってから、CPA測定用基準液に浸漬し、すすぎの後に残る電位 (V_{CPA}) を測定した。このローテーションを1試験溶液につき4回繰り返して測定を行った。

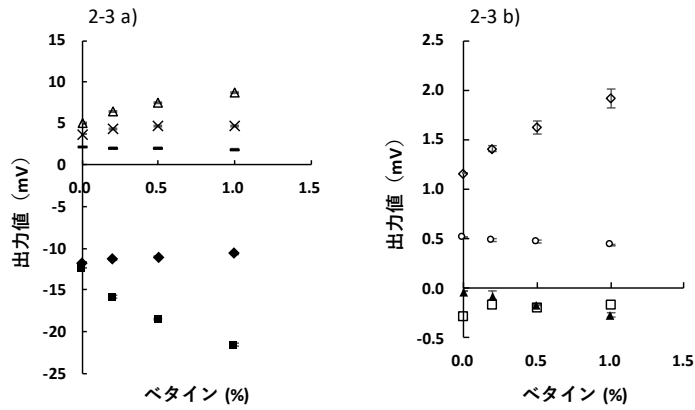


図 2-3 ベタイン水溶液の味質

2-3 a)はベタインの酸味, 苦味雑味 (先味), 渋味刺激 (先味), 旨味 (先味), 塩味の出力値変化, 2-3 b)はベタインの苦味 (後味), 渋味 (後味), 旨味コク (後味), 甘味の出力値変化を示す。
 ■は酸味, ✕は苦味雑味 (先味), ‐は渋味刺激 (先味), △は旨味 (先味), ◆は塩味, □は苦味 (後味), ○は渋味 (後味), ▲は旨味コク (後味), ◇は甘味の平均出力の変化を示す。
 ベタインは0.0016% NaCl水溶液に溶解した。エラーバーは標準偏差を示す。
 味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z (インテリジェントセンサーテクノロジー) を用いた。

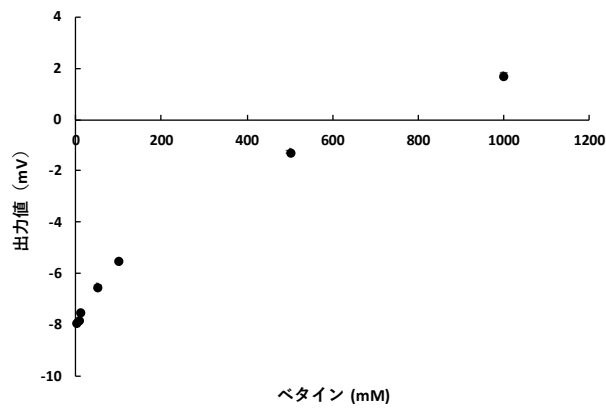


図 2-4 高濃度ベタイン水溶液の塩味評価

ベタインは0.0016% NaCl水溶液に溶解した。出力値は平均値。エラーバーは標準偏差を示す。
 味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z (インテリジェントセンサーテクノロジー) を用いた。

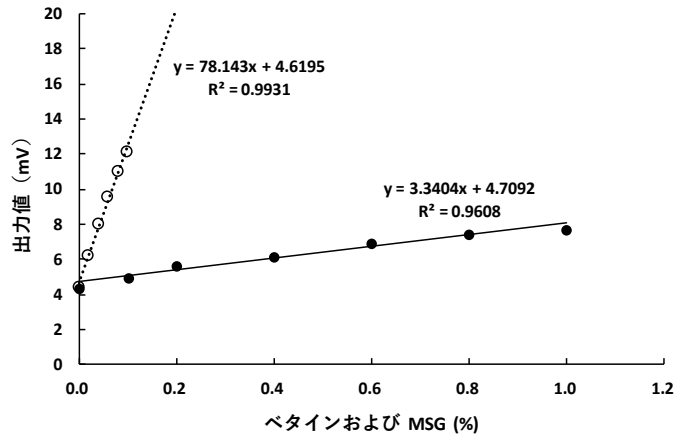


図 2-5 ベタインとMSGの旨味強度の比較

●はベタインの旨味の平均出力値の変化，○はMSGの旨味の平均出力値の変化を示す。
 ベタインは0.0016% NaCl水溶液に溶解し，MSGは蒸留水に溶解した。
 ベタイン1%の旨味強度はMSG0.04%の旨味強度に値する。
 味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z（インテリジェントセンサーテクノロジー）を用いた。

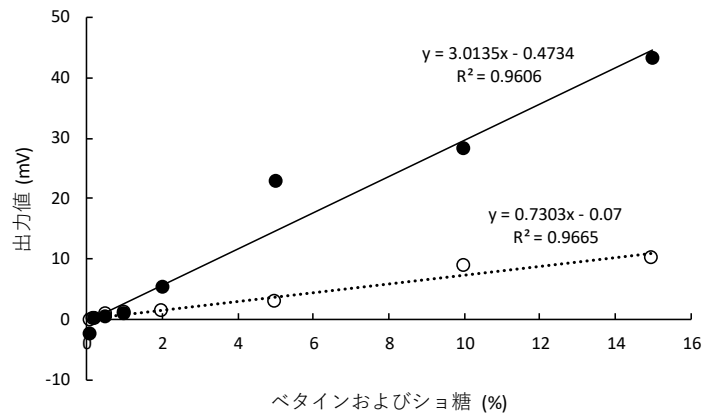


図 2-6 ベタインの甘味強度

●はベタインの甘味の出力値の変化，○はショ糖の甘味の出力値の変化を示す。
 ベタイン，MSGはそれぞれ蒸留水に溶解した。
 味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z（インテリジェントセンサーテクノロジー）を用いた。

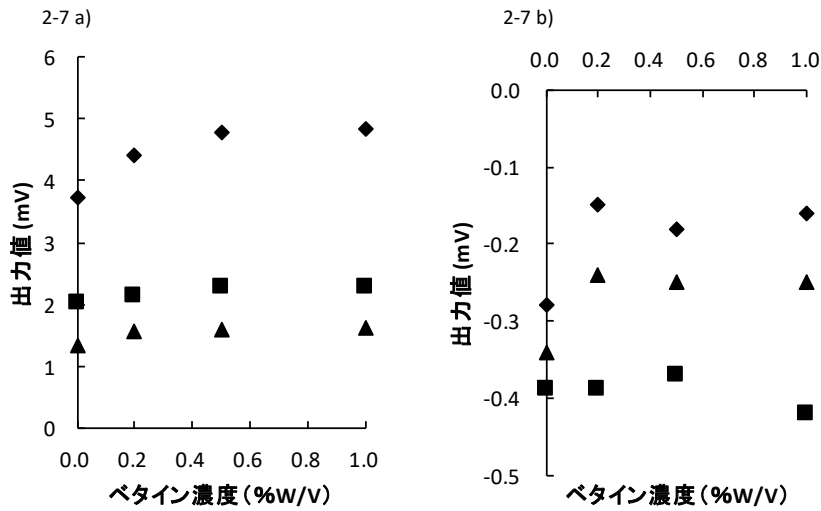


図 2-7 食塩溶液におけるベタインの苦味評価

2-7a は苦味雑味 (先味) の出力値変化, 2-7b は苦味 (後味) の出力値変化を示す。
 ◆は0.0016% NaCl 溶液, ■は0.05% NaCl 溶液, ▲は0.1% NaCl 溶液中の旨味の平均出力値変化を示す。
 味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z (インテリジェントセンサーテクノロジー) を用いた。

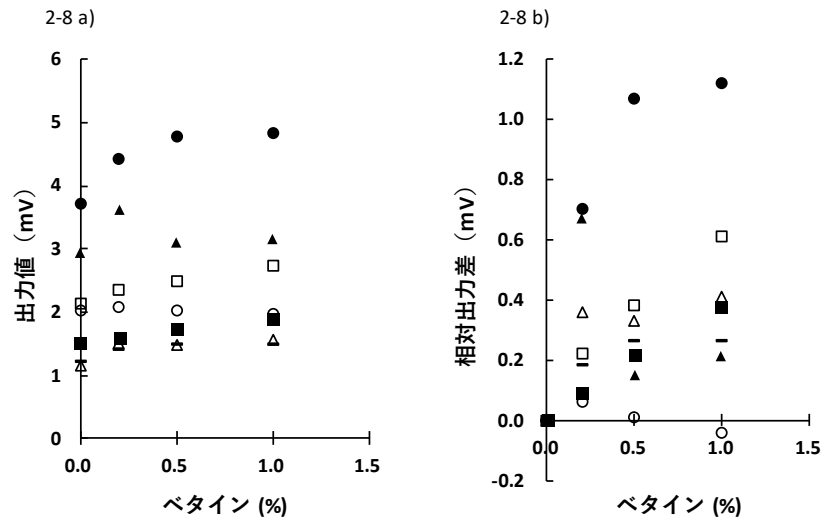


図 2-8 苦味系遊離アミノ酸溶液におけるベタイン添加の苦味雑味 (先味) に対する影響

2-8a は苦味雑味 (先味) の出力値変化, 2-8b はベタイン0%を「0」とした時の苦味雑味 (先味) 相対出力差の変化を示す。■は0.1% ノルロイシン溶液, □は0.1% イソロイシン溶液, ▲は0.1% アルギニン溶液, △は0.1% フェニルアラニン溶液, —は0.1% バリン溶液, ○は0.1% ヒスチジン溶液, ●は0.0016% NaCl 溶液 (ベタインのみ) 中のベタインの平均出力値変化を示す。
 味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z (インテリジェントセンサーテクノロジー) を用いた。

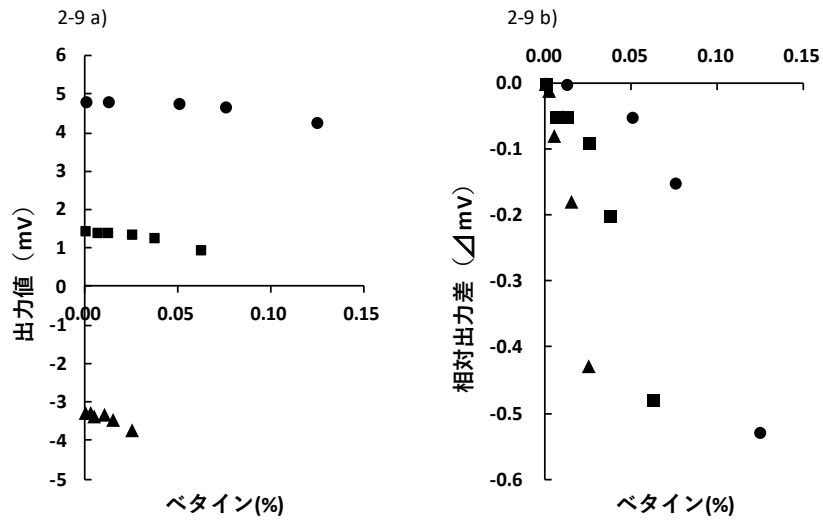


図 2-9 食塩溶液におけるベタイン添加の塩味に対する影響

2-9 a は塩味の出力値変化, 2-9 b はベタイン0%を「0」とした時の塩味の相対出力差の変化を示す。
 ▲は0.1% NaCl 溶液, ■は0.25% NaCl 溶液, ●は0.5% NaCl 溶液中のベタインの平均出力値変化を示す。
 味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z (インテリジェントセンサーテクノロジー) を用いた。

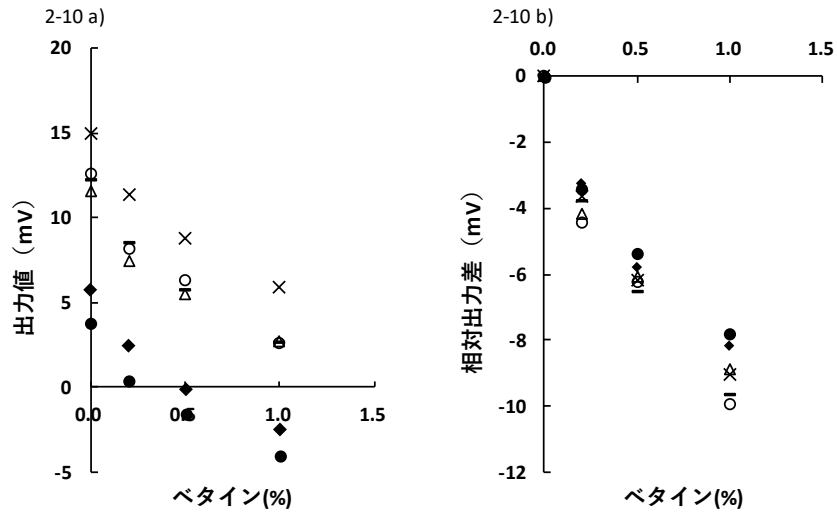


図 2-10 有機酸溶液におけるベタイン添加の酸味に対する影響

2-10 a は酸味の出力値変化, 2-10 b はベタイン0%を「0」とした時の酸味の相対出力差の変化を示す。
 ●は0.1% 酒石酸溶液, ◆は0.1% コハク酸溶液, △は0.1% リンゴ酸溶液, —は0.1% クエン酸溶液,
 ○は0.1% 乳酸溶液, ✕は0.1% 酒石酸溶液中のベタインの平均出力値変化を示す。
 味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z (インテリジェントセンサーテクノロジー) を用いた。

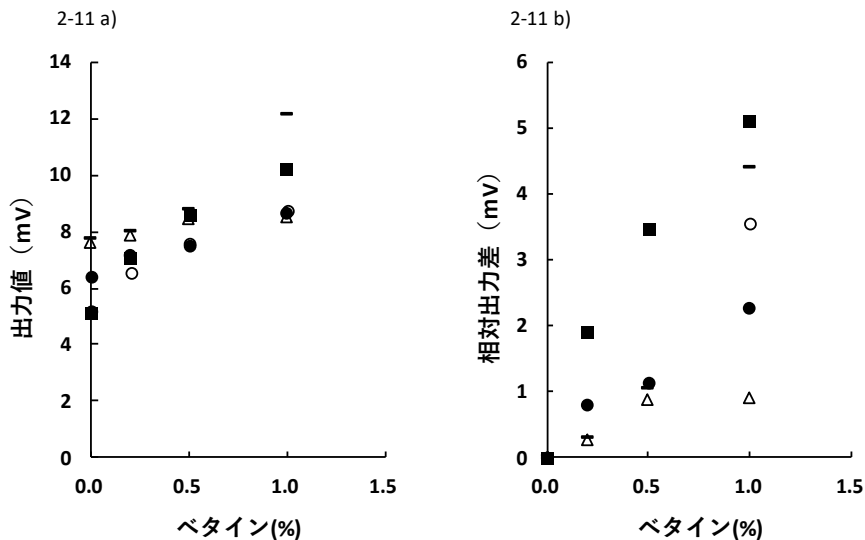


図 2-11 甘味系遊離アミノ酸およびタウリンにおけるベタイン添加の旨味（先味）に対する影響

2-11 a) は旨味（先味）の出力値変化，2-11 b) はベタイン0%を「0」とした時の旨味（先味）の相対出力差の変化を示す。■は0.1%グリニン酸溶液，△は0.1%アラニン溶液，●は0.1%プロリン溶液，●は0.1%タウリン溶液，○は0.0016% NaCl 溶液（ベタインのみ）中のベタインの平均出力値変化を示す。味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z（インテリジェントセンサーテクノロジー）を用いた。

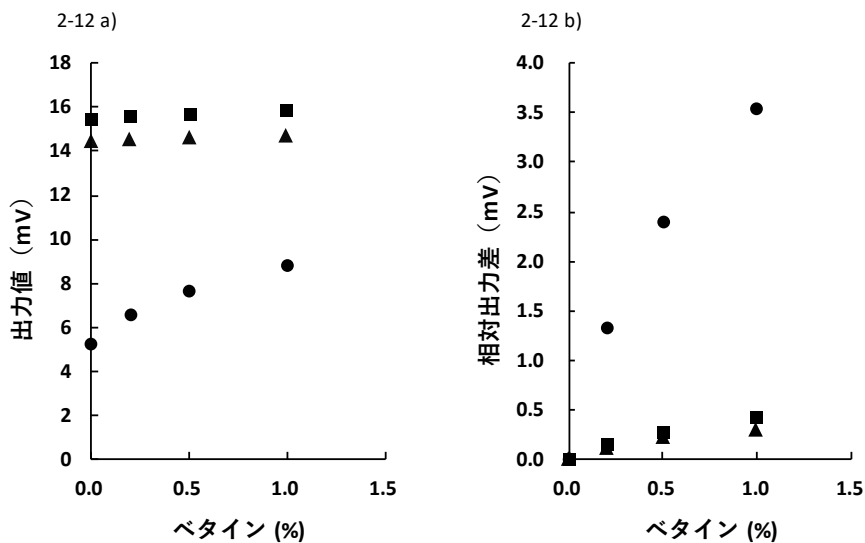


図 2-12 核酸溶液におけるベタイン添加の旨味に対する影響

2-12 a) は旨味（先味）の出力値変化，2-12 b) はベタイン0%を「0」とした時の旨味（先味）の相対出力差の変化を示す。■は0.1%5'-GMP 溶液，▲は0.1%5'-IMP 溶液，●は0.0016% NaCl 溶液（ベタインのみ）中のベタインの平均出力値変化を示す。味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z（インテリジェントセンサーテクノロジー）を用いた。

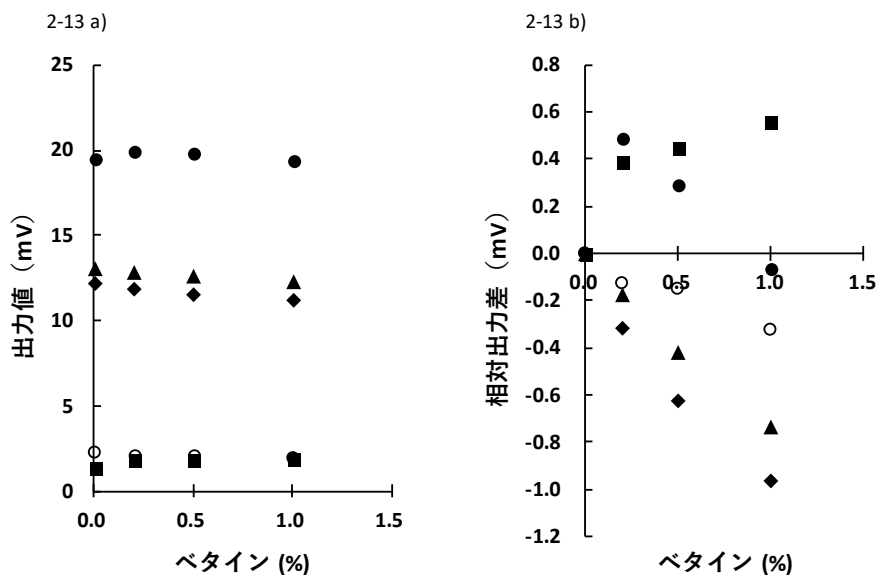


図 2-13 各種渋味物質の渋味刺激（先味）に対する影響

2-13 a は渋味刺激（先味）の平均出力値変化、2-13 b はベタイン0%を「0」とした時の渋味刺激（先味）の相対出力差の変化を示す。●は0.1%タンニン酸溶液、■は0.1%クロロゲン酸溶液、◆は0.1% EGCG 溶液、▲は0.2%緑茶由来カテキン溶液、○は0.0016% NaCl 溶液（ベタインのみ）中のベタインの平均出力値変化を示す。
味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z（インテリジェントセンサーテクノロジー）を用いた。

第3章 ビートベタインの利用特性に基づく用途開発

第1節 緒言

ベタインは、世界的には産業動物や魚類の飼料として最も多く研究され⁴⁸⁻⁵³⁾、利用されてきた⁵⁴⁾。近年では、ベタインの保湿性を利用して、化粧品等の保湿剤としても利用が進められている⁵⁴⁻⁵⁶⁾。加工食品分野での利用は、調味料用途で使用される既存添加物であり、その呈味については既に報告がなされている^{3,4,37,45,46,57-59)}。

ベタインの食品加工特性は主に酸味刺激や塩辛さ（塩カド）を緩和する⁵⁾、アルコール刺激を緩和する⁶⁰⁾など、全体的にまろやかな風味を得ることに効果的であることが知られている。また、高い保湿作用やグリシンと同等の水分活性低下作用により、水分保持や保存性向上効果があることも知られている^{3,22,57)}。以上の特性から、ベタインは塩分の高い水産加工品のほか、加工食品全般において酸味料や pH 調整剤と併用して利用されている^{46,57,58)}が、国内ではそれ以外での活用が進んでいるとはいえないのが現状である。その理由として、ベタインの有する味質が甘味、旨味だけでなく苦味も有する⁴⁾ため、味の薄い加工食品では、ベタインに由来する苦味を呈し、加工食品の風味を阻害することが一因であると考えられる。

筆者らは、このような食品用ベタインの活用を進めるため、ベタインの機能性に関する研究⁵⁸⁾や味質および呈味特性についての研究を行ってきた。その結果、ベタインはこれまで報告されていないわずかな塩味を有することや、他の呈味物質との共存下では、ベタインの有する苦味はベタイン単独の時よりも抑制される可能性が示唆された。また、他の呈味物質に対する影響を調査した結果、タウリンやグリシンとの共存により、旨味の相乗効果が期待できることや、緑茶由来カテキンや EGCG に対する渋味抑制効果を有する可能性が示唆された。そこで本試験では、これらのベタインが有する味質の特徴や呈味物質に対する味質特性並びにこれまでに報告されている利用用途に基づき、実際に食品への利用可能性を検討し、ベタインを利用した食品開発について検討を行った。

第2節 実験方法

1. 試験サンプルの調製

ベタインはニッテンベタイン（純度 99%，日本甜菜製糖）を使用した。

（1）梅漬けへの利用

梅漬けは南高梅の市販品を用い，梅漬けの重量に対してベタインをそれぞれ 0%と 6.0% (w/w) 添加し，一晚冷蔵庫で味をなじませた。

（2）タレ，つゆへの利用

大和煮のタレは企業から提供を受け，大和煮のタレの重量に対してベタインを各 0%，0.5%，1.0%，2.0%，3.0%，5.0% (w/w) 添加し，よく混和した。めんつゆは市販品（ヤマキ，愛媛，日本）を用い，めんつゆの容量に対してベタインを各 0%，1.0%，2.0%，3.0%，5.0%，10.0% (w/v) 添加し，よく混和した。

（3）緑茶飲料への利用

緑茶飲料は市販品の中からカテキンを強化した商品としてカテキン緑茶（伊藤園，東京，日本）およびヘルシア緑茶（花王，東京，日本）の 2 種類を用い，これらの緑茶飲料の容量に対してベタインを各 0，0.2，0.5，1.0% (w/v) 添加し，よく混和した。

（4）その他の飲料への利用

その他の飲料として，グレープフルーツジュースと栄養ドリンクを試験した。グレープフルーツジュースは CGC グレープフルーツジュース 1 L（シジシージャパン，東京，日本）を用い，グレープフルーツジュースの容量に対してベタインを各 0，1.0，3.0，5.0，10.0% (w/v) 添加し，よく混和した。栄養ドリンクはエスカップ（エスエス製薬，東京，日本）を用い，栄養ドリンクの容量に対してベタインをそれぞれ 0%と 1.0% (w/v) 添加した。

2. 味覚センサー評価

試験サンプルの味の評価は，味覚センサー（味認識装置）（TS-5000Z，Insent）を用いた。味覚センサープローブは一般的な食品の評価に用いられる基本的な 5 種類の

味覚センサープローブを用いて、旨味（先味）と旨味コク（後味）、塩味（先味）、酸味（先味）、苦味雑味（先味）と苦味（後味）、渋味刺激（先味）と渋味（後味）の基準液との電位差を測定した。試験液は Insent 社が推奨している導電率 1~10 mS/cm を目安に、各試験サンプルを必要に応じて希釈抽出した。梅漬けは 50 倍、大和煮のタレは 40 倍、めんつゆは 100 倍希釈、グレープフルーツジュースは 4 倍希釈したろ液を供した。緑茶飲料と栄養ドリンクは希釈せずにそのまま供した。

3. 官能評価

梅漬けの官能評価は 5 名のパネル（30~50 代）により、ベタイン 0%と 6%添加のものについて実施した。評価項目は、梅漬けの酸味、うま味、塩味について、1~5 点の段階評価（1 点：弱い、5 点：強い）とし、平均値を求めた。大和煮のタレは 3 名のパネル（30~50 代）により実施し、ベタインを 2.0, 3.0, 5.0% (w/w) 添加した場合の官能で感じる塩分が、予め加水して段階的に塩分を調製（3.45~3.00%まで 0.05% 刻み）した大和煮のタレと比較して、どの段階に相当するかを回答させた。めんつゆは 4 名のパネル（30~50 代）により実施し、ベタインを 0, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 10.0% (w/v) 添加した場合の官能で感じる塩分が、予め加水して段階的に塩分を調製（7.2~4.0%まで 0.2%あるいは 0.3%刻み）しためんつゆと比較して、どの段階に相当するかを回答させた。緑茶飲料は官能評価を行わなかった。グレープフルーツジュースは 13 名のパネル（20~50 代）により、ベタイン 0%と 5%添加のものについて実施した。評価項目は、酸味、甘味、旨味、独特の苦味（渋味）の他にまろやかさ、喉への刺激について、1~5 点の段階評価（1 点：弱い、5 点：強い）とし、平均値を求めた。栄養ドリンクは 15 名のパネル（20~50 代）により、ベタイン 0%と 1%のものについて実施した。評価項目は、味の評価ではなく、匂いの少なさ、飲みやすさ、効きそうな味か、好みかの 4 項目について、ベタイン 0%と 1%添加のどちらが該当するか回答させた。また、ベタインを添加した方が飲みやすいとしたパネルを対照に、その理由についても、酸味、旨味、甘味、苦味、渋味、味の濃さ、えぐみ、刺激、薬っぽさ、の

どごしの 10 項目の中から要因を複数回答させた。

4. 解析方法および統計処理

味覚センサーの測定結果は 4 回の測定値のうち、最初の 1 回を除外し、その後の 3 回の測定値について解析を行った⁴³⁾。基準液の測定値との電位差である相対値 ($V_s - V_r$) と CPA 値 ($V_{CPA} - V_r$) を補間加算出力値とした。本来は「味がある」と判定される基準 (酸味-13 mV 以上, 塩味-6 mV 以上, その他の味質項目 0 mV 以上) に基づき、「味がある」と判定された味質項目で食品の味を解析すべきであるが、試験サンプルのうち、塩分濃度が高いサンプルについては、高倍率の希釈液とする必要があったため、希釈前の食品で「味がある」味覚項目であっても、希釈により「味がない」と判定される可能性も否定できないため、全ての味質項目について解析した。

官能評価における各試料間の有意差検定は EXCEL 2010 アドインソフトによる Student の t 検定により有意水準 95%で行った。また、グラフ中の縦のバーで標準偏差を示した。

第 3 節 実験結果

1. 梅漬けへの利用

味覚センサーによる味質比較の結果を図 3-1 に示した。全ての味質項目のうち、旨味 (先味)、塩味、酸味、苦味雑味 (先味)、苦味 (後味) の 5 項目に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。すなわち、ベタインの添加により旨味 (先味) がわずかに増加し、塩味と酸味は減少し、苦味雑味 (先味) と苦味 (後味) は著しく増加した。但し、この時の旨味 (先味) の出力値は「味がある」と判定される 0 mV 以下であった。また、官能評価の結果を図 3-2 に示した。官能評価では、酸味と塩味が有意 ($p < 0.05$) に弱くなり、うま味が有意 ($p < 0.05$) に強くなった。

2. タレ、つゆへの利用

大和煮のタレの味覚センサーによる味質測定の結果について、ベタイン 0%の時との相対出力差(mV)を図 3-3 に示した。全ての味質項目のうち、旨味（先味）、塩味、酸味の 3 項目に有意差($p<0.05$)が認められた。すなわち、ベタインの添加量が多くなるにつれて旨味（先味）は増加し、塩味および酸味は減少した。但し、この時の酸味の出力量は「味がある」と判定される 0 mV 以下であった。また、3 名のパネルが各濃度のベタイン添加タレを官能評価して、予め加水して塩分濃度を調製した「ベタインを添加しないタレ」のどの塩分濃度に相当すると感じたかを官能塩分として図 3-4 に示した。この結果、5%ベタインでは、本来 3.45%の塩分である大和煮のタレが 3.3%の塩分のタレに相当する塩分と感じている結果となり、0%ベタインと 5%ベタインの間に有意差($p<0.05$)が認められた。

めんつゆの味覚センサーによる味質測定の結果について、ベタイン 0%の時との相対出力差(mV)を図 3-5 に示した。全ての味質項目のうち、旨味（先味）、酸味の 2 項目に有意差($p<0.05$)が認められた。すなわち、ベタインの添加量が多くなるにつれて旨味（先味）は増加し、酸味は減少した。但し、この時の酸味の出力量は「味がある」と判定される 0 mV 以下であった。また、4 名のパネルが各濃度のベタイン添加タレを官能評価して、予め加水して塩分濃度を調製した「ベタインを添加しないタレ」のどの塩分濃度に相当すると感じたかを官能塩分として図 3-6 に示した。この結果、5%ベタインでは、本来 7.2%の塩分であるめんつゆが 5.1%の塩分のめんつゆに相当する塩分と感じている結果となり、0%ベタインと 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5%ベタインの間に有意差($p<0.05$)が認められた。

3. 緑茶飲料への利用

2 種類の緑茶飲料（カテキン緑茶、ヘルシア緑茶）の味覚センサーによる味質測定の結果について、ベタイン 0%の時との相対出力差(mV)を図 3-7 に示した。カテキン緑茶は全ての味質項目のうち、旨味コク（後味）、渋味刺激（先味）、渋味（後味）の

3項目に有意差($p<0.05$)が認められ、ベタインの添加量が多くなるにつれてこれらの味質は減少した(図3-7a)。ヘルシア緑茶は全ての味質項目のうち、旨味(先味)、旨味コク(後味)、渋味刺激(先味)、渋味(後味)の4項目に有意差($p<0.05$)が認められ、ベタインの添加量が多くなるにつれてこれらの味質はカテキン緑茶と同様に減少した(図3-7b)。但し、カテキン緑茶、ヘルシア緑茶ともに、この時の酸味、苦味雑味(先味)、苦味(後味)の出力値は「味がある」と判定される0 mV以下であった。

4. その他の飲料への利用

グレープフルーツジュースの味覚センサーによる味質測定の結果について、ベタイン0%の時との相対出力差(mV)を図3-8に示した。全ての味質項目のうち、旨味(先味)、塩味、酸味、苦味雑味(先味)、旨味コク(後味)の5項目に有意差($p<0.05$)が認められた。すなわち、ベタインの添加量が多くなるにつれて旨味(先味)は増加し、塩味、苦味雑味(先味)、旨味コク(後味)はわずかに増加し、酸味は著しく減少した。但し、この時の苦味雑味(先味)の出力値は「味がある」と判定される0 mV以下であった。また、官能評価の結果を図3-9に示した。官能評価では、酸味と喉への刺激が有意($p<0.01$, $p<0.05$)に弱くなり、甘味とまろやかさが有意($p<0.05$, $p<0.05$)に強くなった。旨味と独特の苦味(渋味)には有意差がなかった。

栄養ドリンクの味覚センサーによる味質比較の結果を図3-10に示した。全ての味質項目のうち、旨味(先味)、塩味、酸味、渋味刺激(先味)、渋味(後味)の5項目に有意差($p<0.05$)が認められた。すなわち、ベタインの添加により旨味(先味)と塩味が増加し、酸味が著しく減少するとともに、渋味刺激(先味)と渋味(後味)も減少した。但し、この時の旨味(先味)の出力値は「味がある」と判定される0 mV以下であった。また、官能評価の結果を図3-11に示した。官能評価では、ベタインの添加により飲みやすさと好みかの得点が有意($p<0.05$)に増加した(図3-11a)。このうち、ベタイン添加の方が飲みやすいとしたパネルにその理由を選択肢の中から複数回答させた結果、酸味、甘味、渋味を挙げた者が4名ずつ、苦味、えぐみ、刺激、薬っぽさ、

のどごしを挙げた者が1名ずつとなり、旨味、濃さを挙げた者が0名となった（図3-11b）。

第4節 考察

ベタインには甘味、旨味、苦味があることが報告されており⁵⁾、筆者らのこれまでの研究ではわずかな塩味も有している可能性が示唆されている。このようなベタインの味質は、食品へ利用する時にベタイン由来の味質として添加した食品に付加される。その一方で、ベタインは他の呈味物質の味質にも影響を与えることが知られ、塩なれ（塩分濃度よりも官能塩分が低く感じる）効果や酸味の抑制、アルコール刺激の緩和などが報告されている^{4,60)}。ベタインによるこれらの味質に対する緩和効果がなぜ起こるかは明らかではないが、福井らは本みりんやスクロースが塩味や酸味を弱める効果について、甘味物質の共存により、資料溶液自体の味が異なって認識される効果や、ヒトの舌の味覚受容細胞が甘味を先行して強く感じることで塩味や酸味の刺激が弱くなるマスキング効果が考えられるとしている⁶¹⁾。ベタインにもショ糖の約半分の甘味があるとされている⁴⁾ことから、ベタインの甘さも塩味や酸味を抑制する効果の要因の一つかもしれない。さらに、筆者らのこれまでの研究ではベタインはタウリンやグリシンとの旨味の相乗作用やカテキン類に対する渋味の低減効果を示す可能性が示唆されている。このことは、ベタインが食品の味質に対して甘味、旨味、塩味、酸味、渋味など、様々な味質に幅広く影響を与える食品素材であることを示唆する。見方を変えると、この性質が添加した食品の本来の味質を損ないかねず、一部の調味料用途以外での活用が進まない要因の一つかもしれない。

本試験では、実際にベタインを添加した加工食品を試作し、加工食品の味質に与える影響を評価することで、どのような加工食品に利用可能かを探り、ベタインを活用した新たな食品開発の一助となるよう検討を行った。

1. 梅漬けにベタインを添加すると、官能評価の結果、塩味と酸味が有意($p<0.05$)に減少し、旨味が有意($p<0.05$)に増加した。これらの結果は味覚センサー評価においても有意な差として出力されており、味覚センサー評価が官能評価結果を裏付けていると考えられた。塩味や酸味の緩和は既知の報告だけでなく、筆者らの研究でも確認していたが、実際の食品への利用においても、これまでの研究と同様に効果があることが明らかとなった。また、今回、味覚センサー評価においては、旨味（先味）の出力値は「味がある」と判定される 0 mV 以下であったが、梅漬けの塩分が高いため、50 倍抽出液を用いたことから、梅漬け中の旨味（先味）に応答する成分が薄くなりすぎて「味がない」と判定されたと考えられる。さらに、ベタインの添加により苦味雑味（先味）と苦味（後味）の出力値が著しく有意($p<0.05$)に増加した。官能評価では苦味の増加は想定していなかったため、評価項目に入れておらず信頼できるデータはないが、官能評価パネラーからは特段に苦味についての言及はなかったため、官能評価では気にならない程度であると考えられた。この理由として、梅漬けは塩分が高く、味が濃いことから苦味がマスキングされている可能性が考えられた。特に高塩分であることについては、塩化ナトリウムが有する鹹味は金属的な苦味やえぐみとして感じると言われており⁶²⁾、ベタインの苦味はこれらと似た味質であることが考えられる。このため、別々の成分の異なる性質に応答する味覚センサーがベタインの塩味と苦味を別々に測定するのとは異なり、ヒトの官能評価では同じ味質として混同され、気にならなかった可能性がある。このことは、ベタインが塩辛に利用されていることから、ベタインの苦味をマスキングするとともに塩味を緩和していることが推察され、高塩分食品とは相性が良いことが推察された。

2. 大和煮のタレやめんつゆにベタインを添加すると、官能評価の結果、ベタインの添加量が多くなるにつれて、官能評価で感じる塩分が実際の塩分量よりも低く感じることを示唆された。これはいわゆる塩なれ効果であると考えられるが、味覚センサー評価では、塩味の出力は大和煮のタレでは減少し、めんつゆではほとんど変化がなかった。この増減幅はヒトが官能評価で認識することが難しい 0.5 mV 以下の変化であ

るが、試験サンプルの塩分が高いため、大和煮のタレは 40 倍、めんつゆは 100 倍抽出液を用いたことから、試験サンプル中の塩味に応答する成分が薄くなりすぎて増減幅が小さくなったものと考えられる。また、大和煮のタレ、めんつゆとも味覚センサー評価ではベタインの添加量が多くなるにつれて旨味（先味）の出力値が増加した。この増減幅も塩味と同様にヒトが官能評価で認識することが難しい 0.5 mV 以下の変化であり、試験サンプル中の旨味（先味）に応答する成分が薄くなりすぎている可能性が考えられる。より濃い抽出液を測定することは導電率が高くなるため、味覚センサープローブを傷めることになるが、塩味、旨味（先味）の変化については、今後、確認する必要がある。さらに、今回の官能評価では、塩味についてのみ実施しており、味覚センサー評価で有意差が認められた旨味(先味)については実施していないため、これらの試験サンプルの旨味に対する官能評価も実施する必要がある。

3. 緑茶飲料にベタインを添加すると、ベタインの添加量が多くなるにつれて、味覚センサーの渋味刺激（先味）、渋味（後味）の出力が減少した。渋味の緩和は、筆者らのこれまでの研究においても、緑茶由来カテキンや EGCG 存在下ではベタインの添加による渋味刺激（先味）や渋味（後味）の減少が示唆されており、今回は、実際にこれらの物質を含む緑茶飲料への利用においても、これまでの研究と同様にベタインの渋味緩和効果の可能性が示唆された。現在、一定の市場を確保しているカテキンを強化した緑茶飲料⁶³⁾は、カテキンが有する苦味や渋味により商品化するには添加量に限度があると言われている。本試験で得られた結果は、緑茶中のカテキン含量を増加した際に、その苦味や渋味を緩和し、より高濃度のカテキンを添加した緑茶飲料の開発の一助となるかも知れない。一方で、味覚センサー評価では旨味（先味）や旨味コク（後味）の出力減少も認められた。このことは、ベタインが渋味の緩和だけでなく緑茶中の含有成分であるテアニンやグルタミン酸に由来する旨味^{64,65)}も低下させる可能性を示唆した。したがって、今回は官能評価を実施していないが、緑茶飲料に対するベタインの利用については、渋味だけでなく、旨味についても官能評価において確認をする必要がある。

4. グレープフルーツジュースにベタインを添加すると、官能評価の結果、ベタインの添加により酸味が有意($p<0.01$)に減少し、喉への刺激が有意($p<0.05$)に弱くなった。また、甘味とまろやかさが有意($p<0.05$, $p<0.05$)に強くなった。酸味の緩和は既知の報告^{4,46)}や筆者らの研究結果とも一致しており、実際の食品への利用においても、同様に効果があることが明らかとなった。味覚センサー評価においても、ベタインの添加量が多くなるにつれて、酸味の著しい出力減少が認められており、味覚センサー評価が官能評価結果を裏付けていると考えられた。さらに、味覚センサー評価では、ベタインの添加量が多くなるにつれて、旨味(先味)の著しい出力増加が認められており、このことが酸味の減少と相まって官能評価による喉への刺激の緩和やまろやかさの増加につながっている可能性もある。甘味については、味覚センサー評価を実施していないが、ベタインの添加量が多くなるにつれて味覚センサーの甘味出力も増加することを確認していることから、ベタインの甘味が付加されたものと考えており、このことも官能評価による喉への刺激やまろやかさに影響を与えていると考えられる。山田らは乳酸溶液に鰹だしを添加すると、官能評価および味覚センサー評価において相関のある酸味抑制効果を報告している⁶⁶⁾。鰹だしの呈味成分は主にアミノ酸、核酸、有機酸などであるが、アミノ酸をはじめ、多くのペプチドに酸味を抑制する作用が報告されている⁶⁷⁻⁷⁰⁾。ベタインもアミノ酸の一種であることから、同様の作用により酸味を抑制していると考えられる。一方で、グレープフルーツジュースが有する独特の苦味(渋味)については、これまで示唆されていたような渋味の緩和効果は官能評価、味覚センサー評価のいずれにおいても認められなかった。この結果から、ベタインの渋味緩和効果は添加される食品の性質により影響が異なると考えられた。

栄養ドリンクにベタインを添加した場合は、官能評価の結果、ベタインの添加により飲みやすさや好みかの得点が有意($p<0.05$)に増加した。味覚センサー評価においては、ベタインを添加すると、酸味の著しい出力減少が有意($p<0.05$)に認められ、他には旨味(先味)や塩味の有意($p<0.05$)な増加や渋味刺激(先味)と渋味(後味)の有意($p<0.05$)な減少が認められた。但し、この時の旨味(先味)の出力値は「味がある」

と判定される 0 mV 以下であり、試験サンプルは希釈せずに試験に供していることから、旨味（先味）についてはヒトが感じる味質とはいえないと考えられた。したがって、ベタインの添加による飲みやすさや好みかの得点の増加は酸味の減少や渋味の減少が主な要因であると推察された。実際に官能評価の飲みやすさの項目において、ベタインを添加したジュースの得点を高く評価したパネラーに理由（複数回答）を質問した結果、酸味、甘味、渋味と回答した者が最も多かった。この意味は酸味が少ない、甘味が強い、渋味が弱いと解釈することが妥当だと考えている。酸味の緩和は既知の報告^{4,46)}や筆者らの研究結果とも一致していた。甘味については、味覚センサー評価を実施していないが、ベタインの添加量が多くなるにつれて味覚センサーの甘味出力も増加することを確認していることから、ベタインの甘味が付加されたものと考えており、このことも官能評価による飲みやすさや好みかの得点に影響を与えていると考えられる。渋味の緩和は筆者らの研究結果とも一致しており、カテキン類だけではなく栄養ドリンク中に存在する他の渋味成分についてもベタインが影響している可能性が考えられた。これらのことから、ベタインは実際の食品への利用においても、同様に酸味緩和効果があり、栄養ドリンクに対しては渋味緩和効果も期待できることが明らかとなった。

以上の結果から、ベタインを実際の食品に利用すると、高塩分の試験食品の全てにおいて、塩なれ効果が期待できることが明らかとなり、酸味を有する試験食品の全てにおいて、酸味を緩和することが明らかとなった。また、渋味を有する試験食品においては、渋味を緩和する場合と緩和しない場合があることが確認され、添加される食品の性質により影響が異なると考えられた。さらに、ベタインが有する苦味については、今回、官能評価を実施した食品においては、問題とならなかったが、これらは比較的味の濃い食品であるため、味の薄い食品においては影響が出る可能性がある。今後、官能評価を重視したさらなる試験により確認していく必要がある。

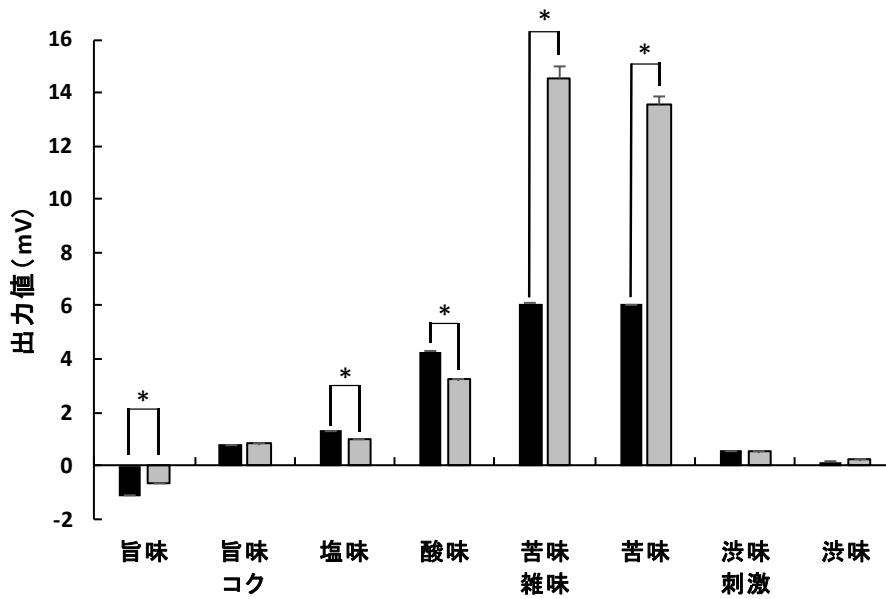


図 3-1 ベタインを添加した梅漬け（50倍抽出液）の味覚センサー評価

■は対照、□はベタイン6%を添加した梅漬けの各味質の平均出力値を示す。エラーバーは標準偏差を示す。
 *は対照（ベタイン0%）と比較して、味覚センサー解析処理により有意差 ($p < 0.05$)があることを示す。
 味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z（インテリジェントセンサーテクノロジー）を用いた。

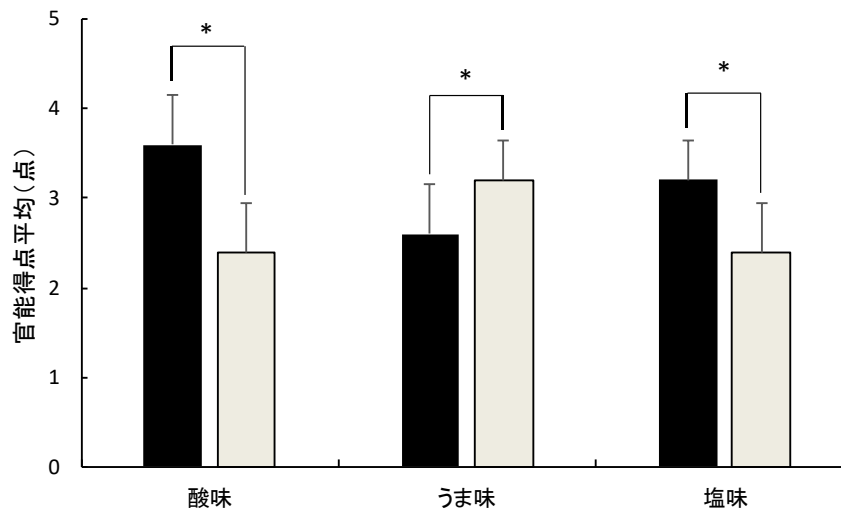


図 3-2 ベタインを添加した梅漬けの官能評価

■は対照、□はベタイン6%を添加した梅漬けの各味質の官能評価得点の平均値(n=5)を示す。
 *は対照（ベタイン0%）と比較して、Studentのt検定により有意差 ($p < 0.05$)があることを示す。
 エラーバーは標準偏差を示す。

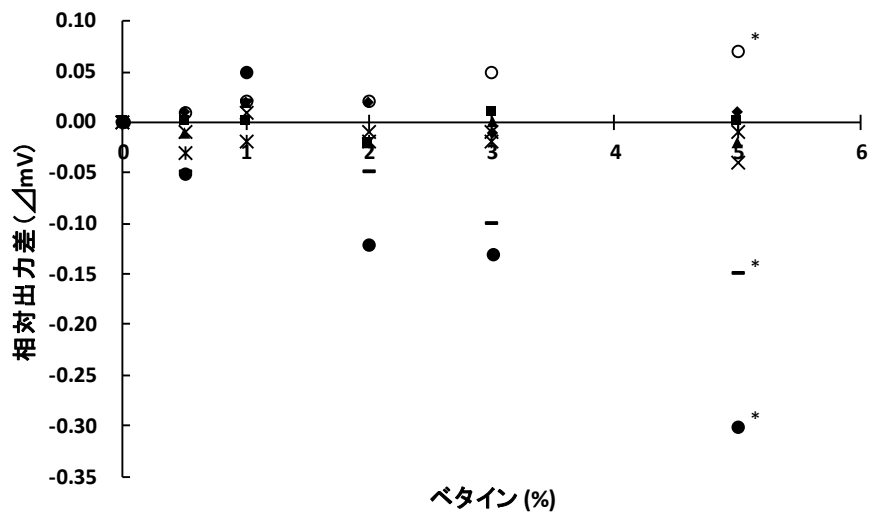


図 3-3 ベタインを添加した大和煮のタレ（40倍抽出液）の味覚センサー評価

○は酸味, ▲は苦味雑味 (先味), ✱は渋味刺激 (先味), ○は旨味 (先味), ●は塩味, ■は苦味 (後味), ✱は渋味 (後味), ◆は旨味コク (後味) の平均出力値変化を示す。
 *は対照 (ベタイン0%) と比較して, 味覚センサー解析処理により有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。
 味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z (インテリジェントセンサーテクノロジー) を用いた。

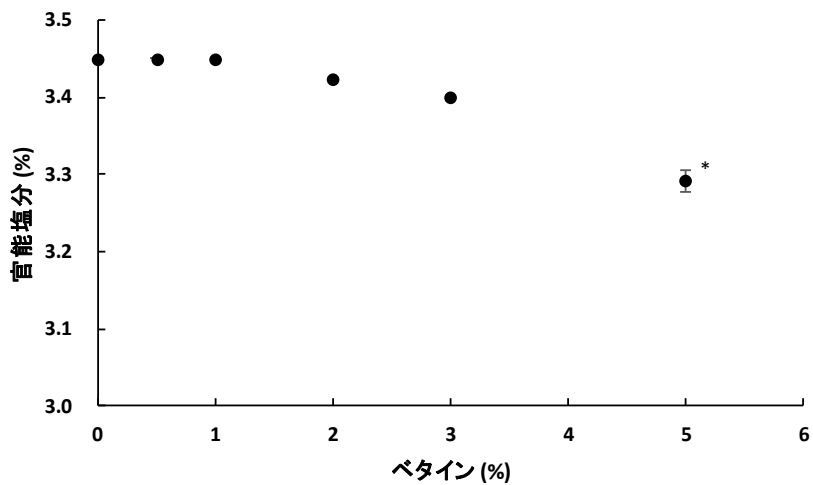


図 3-4 ベタインを添加した大和煮のタレ（原液）の官能評価

ベタインを添加した大和煮のタレの官能塩分が, 加水して塩分濃度を変化させた対照のタレと比較して, どの塩分濃度に相当するかを平均値で示す。パネル数(n=3)。
 *は対照 (ベタイン0%) と比較して, Studentのt検定により有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。
 エラーバーは標準偏差を示す。

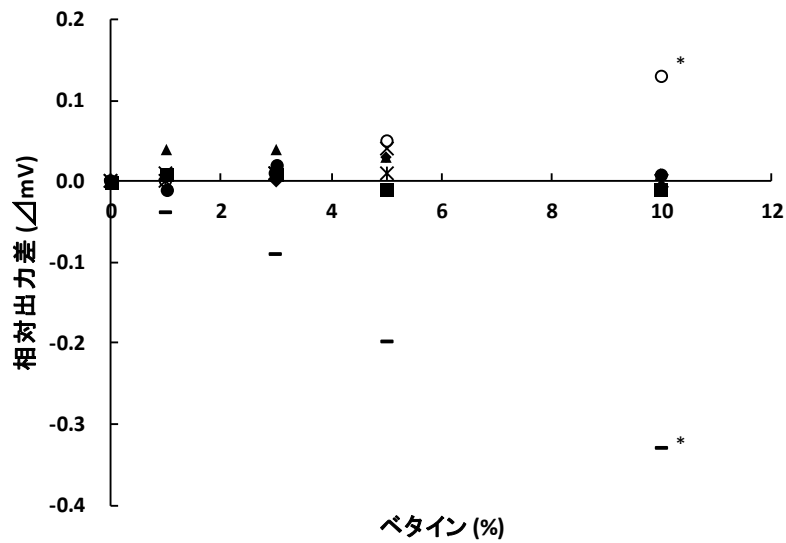


図 3-5 ベタインを添加しためんつゆ（100倍希釈液）の味覚センサー評価

—は酸味, ▲は苦味雑味（先味）, *は渋味刺激（先味）, ○は旨味（先味）, ●は塩味, ■は苦味（後味）, ※は渋味（後味）, ◆は旨味ココロ（後味）の平均出力値変化を示す。
*は対照（ベタイン0%）と比較して、味覚センサー解析処理により有意差（ $p < 0.05$ ）があることを示す。
味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z（インテリジェントセンサーテクノロジー）を用いた。

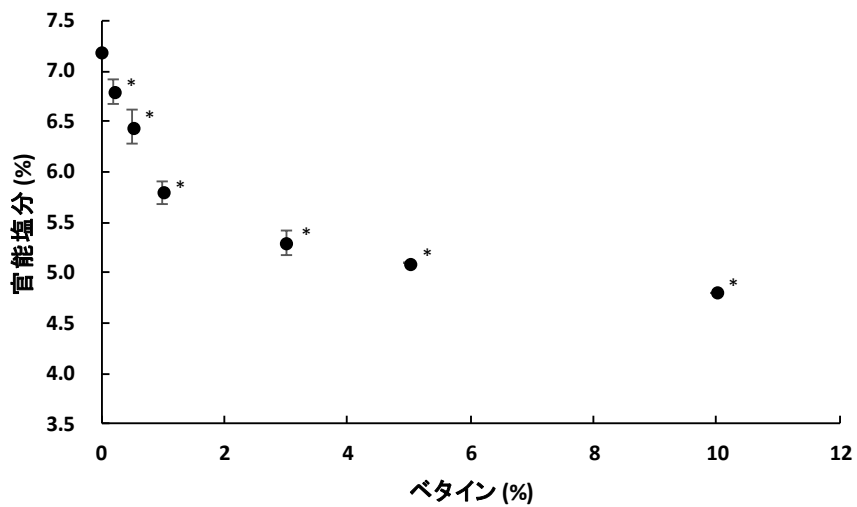


図 3-6 ベタインを添加しためんつゆ（原液）の官能評価

ベタインを添加しためんつゆの官能塩分が、加水して塩分濃度を変化させた対照のつゆと比較して、どの塩分濃度に相当するかを平均値で示す。パネル数(n=4)。
*は対照（ベタイン0%）と比較して、Studentのt検定により有意差（ $p < 0.05$ ）があることを示す。
エラーバーは標準偏差を示す。

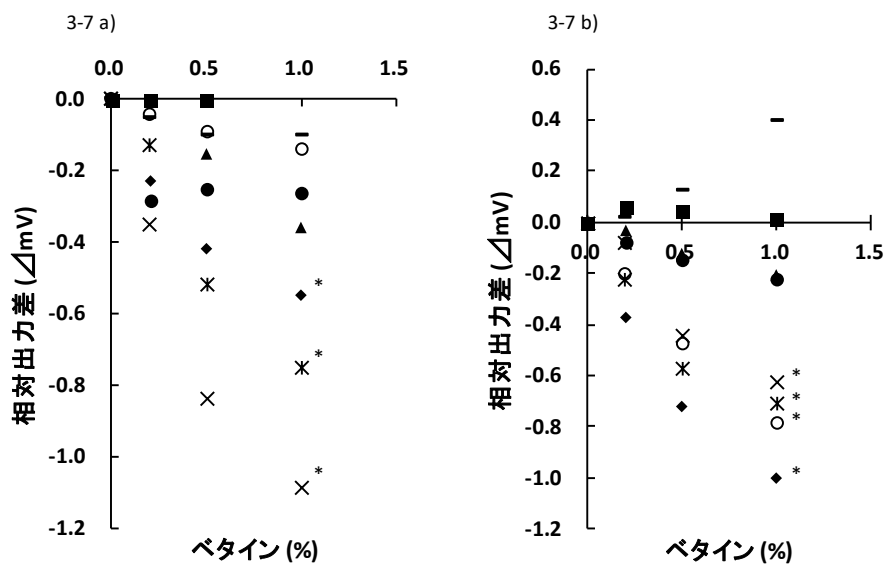


図 3-7 ベタインを添加した緑茶飲料（原液）の味覚センサー評価

3-7 a) はカテキン緑茶、3-7 b) はヘルシア緑茶を評価した。
 - は酸味、▲は苦味雑味（先味）、✱は渋味刺激（先味）、○は旨味（先味）、●は塩味、
 ■は苦味（後味）、※は渋味（後味）、◆は旨味コク（後味）の平均出力値変化を示す。
 *は対照（ベタイン0%）と比較して、味覚センサー解析処理により有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。
 味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z（インテリジェントセンサーテクノロジー）を用いた。

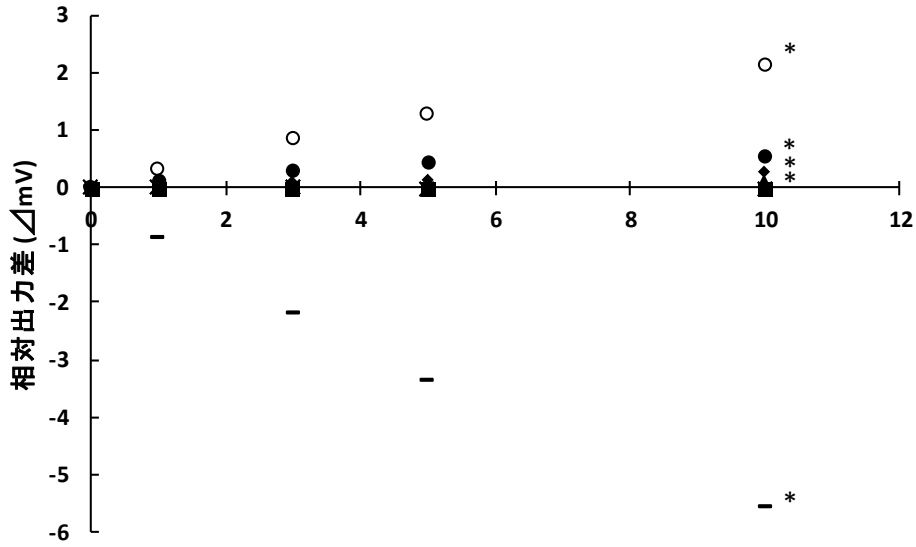


図3-8 ベタインを添加したグレープフルーツジュース (4倍希釈液) の味覚センサー評価

—は酸味, ▲は苦味雑味 (先味), *は渋味刺激 (先味), ○は旨味 (先味), ●は塩味, ■は苦味 (後味), ※は渋味 (後味), ◆は旨味ココロ (後味) の平均出力値変化を示す。
*は対照 (ベタイン0%) と比較して, 味覚センサー解析処理により有意差 (p<0.05) があることを示す。
味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z (インテリジェントセンサーテクノロジー) を用いた。

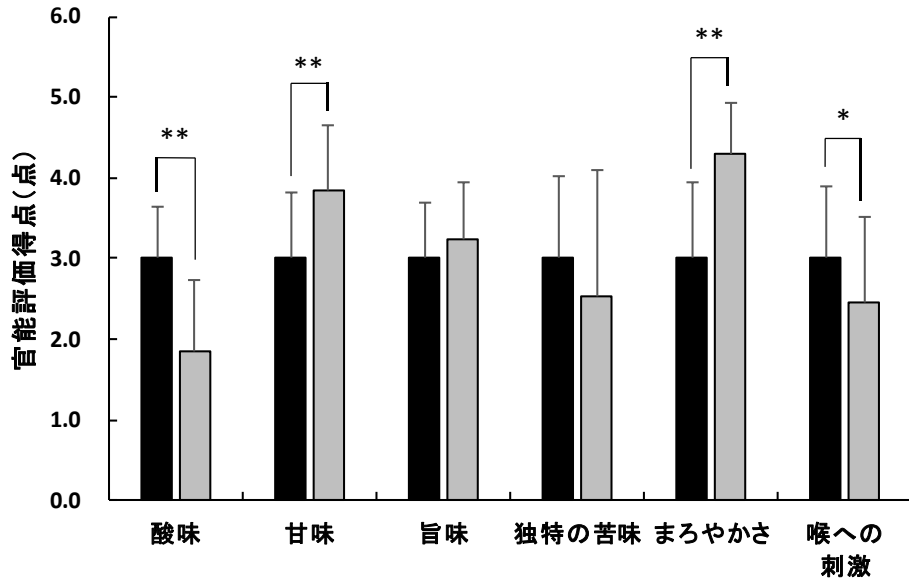


図3-9 ベタインを添加したグレープフルーツジュースの官能評価

■は対照, □はベタイン5%を添加したグレープフルーツジュースの各味質および印象の官能評価得点の平均値(n=13)を示す。エラーバーは標準偏差を示す。
*,**は対照 (ベタイン0%) と比較して, Studentのt検定により有意差 (p<0.05, p<0.01) あり。
味覚センサーは味認識装置 TS-5000Z (インテリジェントセンサーテクノロジー) を用いた。

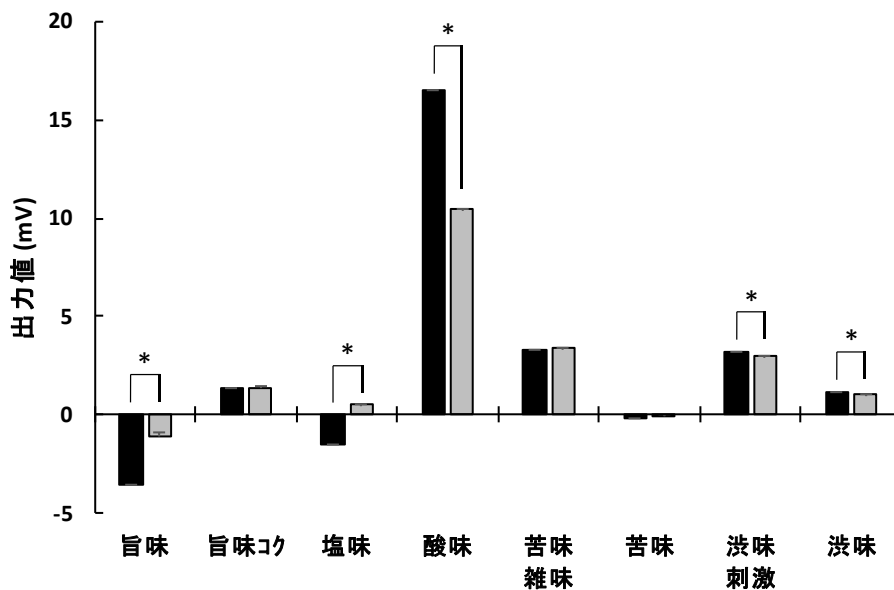


図3-10 ベタインを添加した栄養ドリンクの味覚センサー評価

■は対照, □はベタイン1%を添加した栄養ドリンクの各味質の平均出力値を示す。
 *は対照 (ベタイン0%)と比較して, Studentのt検定により有意差(p<0.05)があることを示す。
 味覚センサーは味認識装置TS-5000Z (インテリジェントセンサーテクノロジー)を用いた。

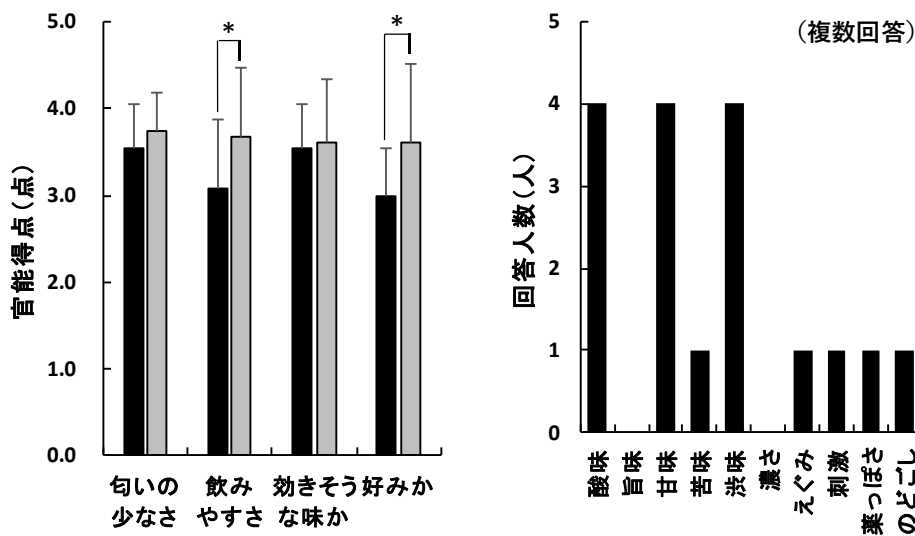


図3-11 ベタインを添加した栄養ドリンクの官能評価

3-11aは官能評価得点の平均値(n=15)を示す。3-11bはベタイン添加の方が飲みやすいと答えた理由を複数回答させた累計人数を示す。
 ■は対照, □はベタイン1%を添加した栄養ドリンクの各味質の平均出力値を示す。
 エラーバーは標準偏差を示す。
 *は対照 (ベタイン0%)と比較して, Studentのt検定により有意差(p<0.05)があることを示す。

第4章 ベタイン添加食パン生地の製パン性の改善

第1節 緒言

ベタインは肝臓中のメチオニンサイクルにおいてメチル基供与体として重要な働きをしており⁷¹⁾、その生理機能の研究も多く報告され、肝機能改善や血圧低下、ロコモティブシンドローム改善などの効果が期待されている⁷²⁻⁷⁵⁾。このため、サプリメント等による製品も販売されているが、打錠やカプセル化に吸湿性の強いベタインを多く配合することは一般的に難しく、欧州食品安全機関（EFSA）が示す1日有効摂取量1.5 g以上を配合しようとする、粒が大きくなったり、摂取する粒数が多くなるといった問題がある。従って、ベタインの機能性を付与した日常的な加工食品の開発が期待される。食品にベタインの機能性を付与するには、Kawakamiらの研究⁷³⁾によって、NASHモデルマウスに対して50 mg/体重 kg/回のベタインを1日2回の経口投与で3週間投与することにより、肝機能の改善が認められていることから、体重60 kgのヒトでの摂取量を計算して、1食あたり3 gのベタインを配合することが望ましいと考えられる。

このような背景から、筆者らは日常的に十分量を摂食でき、且つ、様々な調理方法が可能な加工食品の検討を行ってきたが、機能性付与のために、1食あたり必要摂取量のベタインを配合すると、ベタインが有する味質の特性上、逆に食品の風味や物性を損ねることが多い。食パンの例では、1食あたり100 gの食パン（4枚スライスパン約1枚分）を摂食とした場合、3 gのベタインを配合するには、パン生地の小麦粉に対して5.4%を添加する必要がある。しかし、パン生地にベタインを1.5 g以上高配合すると、風味への影響は少ない反面、製パン性が劣り柔らかな食パンができないことを経験しており、製パン性の改善が重要な課題となっていた。

そこで本試験では、通常どおりベタインを加えた食パンを製造して、ベタインの添加による製パン性の低下を評価するとともに、それを改良する手段として生地ミキシング時のベタインの添加時期を遅らせたパン生地の製パン性を、種々の方法で評価し、

ベタイン添加食パンの製パン性を改善できる否かを検討した。

第2節 実験方法

1. 食パンの調製

食パンの製法は小麦粉 1 kg 仕込みのストレート法⁷⁶⁾で行い、角型食パンと山型食パンを調製した。製パン材料の配合は長澤らの報告⁷⁷⁾を参考に決定し、小麦粉 100 g に対して、砂糖 5 g, 食塩 2 g, ショートニング 5 g, イースト 2 g, L-アスコルビン酸 0.01 g, ベタイン 0~5.4 g, 蒸留水 64~66.5 ml とした。その際、原料の小麦粉は強力粉（カメリヤ, 水分 14.0%, タンパク質 12.0%, 灰分 0.4%, 日清製粉（株）, 東京, 日本）, 砂糖はグラニュー糖（日本甜菜製糖）, 食塩は精製塩（塩事業センター, 東京, 日本）, ショートニングはスノーライト（カネカ, 大阪, 日本）, イーストはレギュラーイースト（日本甜菜製糖）, L-アスコルビン酸（以後, ASA と略記する）は特級試薬（和光純薬）, ベタインはニッテンベタイン（純度 99%, 日本甜菜製糖）を使用した。

上記配合の材料を 25Q の縦型ミキサー（マイティ-25/15H ミキサー, 愛工舎, 戸田, 日本）を用いて捏ね上げ時の温度を 30℃にして最適ミキシングし、得られた生地を分割して角型食パン（230 g×4 つ）と山型食パン（100 g×3 つ）の製パン試験に供した。残りの生地から 20 g ずつを分割し、20 分のベンチタイム（30℃, RH80%）後に生地のガス発生量⁷⁸⁾, 生地ガス保持性試験⁷⁹⁾に供した。

製パン工程は表 4-1 に示すように、1 次発酵および 2 次発酵を経た後、分割・成形した生地を 20 分のベンチタイム（30℃, RH80%）を経て、モルダー（ツインモルダー, MMR230-2, 愛工舎）に供して、角型食パンと山型食パンに成型した。これを型に入れ、ホイロにて 38℃, RH85%の条件で、一定時間の最終発酵を行い、200℃で焼成した。焼成時間は角型食パンを 35 分間、山型食パンを 16 分間とした。

2. 製パン性評価

(1) ベタイン添加量の影響

まず、ベタイン添加による製パン性の低下を確認するため、パン生地的小麦粉に対してベタインを 0, 1, 2.5, 5%となるよう添加し、製パン工程のホイロ時間を型上 2cm まで生地が膨張するよう最終発酵を行い、山型食パンを調製してパン生地のホイロ時間、ガス発生量と焼成した山型食パンの比容積、物性（クラム硬さ）の測定を行った。

(2) ベタイン添加時期の影響

次に、ベタイン添加時期の違いが製パン性に与える影響を評価するため、添加時期を変えた山型食パンおよび角型食パンを調製して、パン生地のガス発生量、ガス保持性および焼成した食パンの比容積、物性（クラム硬さ、クラスト硬さ）、組織構造の SEM 画像観察、官能評価を行った。

ベタインを添加しない試験区をネガティブコントロールとし、ベタインを添加する試験区は、通常の前原料と同様にミキシング前に添加した試験区（以降、ポジティブコントロールとする）と、表 4-1 に示すミキシング後半に添加した試験区（以降、改良区とする）の 2 種とした。

ベタインの添加量は、全体量の 3%となるよう、パン生地的小麦粉に対して 5.4%を添加した。製パン工程のホイロ時間は一律 55 分とし、最終発酵時間が同じ場合のベタイン添加時期による製パン性を評価した。

3. 生地、パンの評価

(1) ホイロ時間の測定

パン生地の発酵性の指標として、ホイロでの発酵時に生地が型上 2cm まで膨張する時間を計測した。

(2) 生地のガス発生量の測定

パン生地のトータルガス発生量を、パン生地 20 g (n=3) を用いてファーモグラフ (AF-1100-20, ATTO, 東京, 日本) にて 10 分ごとに測定し、平均値を測定データ

とした⁷⁸⁾。

(3) 生地ของガス保持性の測定

パン生地の減圧下での最大膨張量を測定し、生地のガス保持性を評価した。パン生地 20 g (n=3) を 500 ml メスシリンダーに詰め、真空デシケーター中で減圧しながら生地を膨張させた時の生地の高さを 1 分毎に測定し、最大高さの平均値を測定データとした⁷⁹⁾。

(4) パンの比容積

比容積は、焼成し 1 時間常温で冷却した山型食パン (n=3) を用いて菜種置換法⁸⁰⁾ で体積を測定し、体積を重量で除して算出し、平均値を測定データとした。

(5) 物性の測定

ポリエチレン袋中で 20℃, RH70% で焼成 1 日保存した山型食パンのクラム(内相)、角型食パンのクラムおよびクラスト (外相) について、テクスチャーアナライザー (Stable Micro System TA-XT2, 英弘精機, 東京, 日本) を用いて物性を測定した。山型食パン、角型食パンとも、クラム (n=5) の硬さは厚さ 20 mm にスライスしたパンを用い、直径 20 mm の円筒型プランジャーにより圧縮率 40%, 圧縮速度 1.0 mm/s で実施し、最大圧縮応力を求めた。角型食パンのクラスト (n=5) の硬さは、側面から 10 mm の厚さを切り出して、直径 2 mm の円筒型プランジャーと直径 10 mm の穴あきテーブルにより、圧縮率 150%, 圧縮速度 0.5 mm/s で実施し、最大突刺応力 (硬さ) を求めた。

(6) 組織観察(走査型電子顕微鏡による微細構造の観察)

物性測定の場合と同様に保存した焼成 1 日後の角型食パンを用いて、厚さ 10 mm にスライスした試料を凍結乾燥後、試料の表面をファインコーター (JFC-1600, JEOL, 昭島, 日本) でプラチナ蒸着し、走査型電子顕微鏡 (JSM-6060LV, JEOL) にて観察した。観察倍率はクラムで 750 倍、クラストで 40 倍とした。

(7) 官能評価

官能評価は物性と関係する食感について、物性測定の場合と同様に保存した焼成 1

日後の角型食パンを用い、クラムとクラストに分けて盲検による評点法で行った。クラムは周辺のクラスト部分 10 mm を除いて厚さ 20 mm にスライスした試料について、硬さ、噛み切り易さ、口どけを評価項目として評価した。クラストは物性測定に用いたサンプルと同条件で切り出した試料について、硬さ、噛み切り易さ、口どけを評価項目として評価した。評価は 12 名のパネラー（30 代～50 代，男女比 1:1）で各試験区のパンについて 1～5 点で評価した。硬さは 1 点：柔らかい，5 点：硬いとし，噛み切り易さは 1 点：噛み切りにくい，5 点：噛み切り易い，口どけは 1 点：悪い，5 点：良い，という評点とした。

（8）統計処理

各試料間の有意差検定は，ベタインの添加濃度あるいはベタインの添加時期を要因とした一元配置の分散分析を SAS の ANOVA プロシジャ⁸¹⁾を用いて実施し，危険率 5%で Tukey の多重比較検定を行った。データ間の相関性評価について EXCEL2007 により単相関の寄与率 (R^2) を求めた。また，グラフ中の縦のバーで標準偏差を示した。

第 3 節 実験結果

1. ベタイン添加量の違いによる製パン性への影響

（1）生地ของホイロ時間とガス発生量

生地のホイロ時間(a)とガス発生量(b)を図 4-1 に示した。パン生地にベタインを添加すると，添加量が多くなるに従いホイロ時間が長くなり，特に，2.5%および 5%添加パンではネガティブコントロールの 0%と比べて有意($p<0.05$)に長くなり，生地の膨張に時間がかかることが確認された（図 4-1a）。ガス発生量は発酵 150 分で比較するとホイロ時間と同様にベタインの添加量に依存して 2.5%および 5%添加パンでは有意に ($p<0.05$) 低下し，特に 5%添加パンでは著しく低下した（図 4-1b）。

（2）山型食パンの比容積と物性

山型食パンの比容積(a)と物性(b)を図 4-2 に示した。ホイロ時間の延長により最終発

酵での生地膨張が一定であるにも関わらず、ベタインを高配合した 5%添加パンの比容積はネガティブコントロールの 0%と比べて有意に($p<0.05$)低下し (図 4-2a), クラムの硬さはベタインの 2.5%添加まで変化しなかったが, やや硬くなり, 特に 5%添加になると, ネガティブコントロールの 0%と比べて有意に($p<0.05$)硬いことが確認された (図 4-2b)。また, 5%添加パンではベタインの添加量だけ水分を減らしたにも関わらず, 生地がべたつき, 正常な生地の形成ができなかった。

2. ベタイン添加時期の違いによる製パン性への影響

(1) 生地のガス発生量とガス保持性

食パン生地のトータルガス発生量(a)とガス保持性(b)を図 4-3 に示した。改良区のガス発生量 (図 4-3a) はネガティブコントロールを 100%とした時の割合で示すと, 発酵時間 30 分で 79%, 120 分で 91%, 150 分で 93%と有意に($p<0.05$)低くなったが, 同じ発酵時間 150 分におけるポジティブコントロールの 76%に比べると, 改良区のガス発生量は有意に($p<0.05$)高い値を示した。ガス保持性 (図 4-3b) においても, ガス発生量と同様に改良区は, 最大膨張時でネガティブコントロールの 88%であったが ($p<0.05$), ポジティブコントロールのガス保持性はさらに低く, ネガティブコントロールの 63%であった($p<0.05$)。

(2) 山型食パンの比容積と物性

上記のパン生地を焼成した山型食パンの写真を図 4-4 に示し, その比容積(a)と保存 1 日後のクラムの硬さ(b)を図 4-5 に示した。改良区の比容積は, ネガティブコントロールに対して比容積 (図 4-5a) が 83%であり, ポジティブコントロールの 71%よりも有意に($p<0.05$)増加した。この比容積の結果は, 図 4-4 の写真から見てとれる容積の変化と一致する。クラムの硬さはベタイン添加によりいずれもネガティブコントロールのクラムの硬さに比べて増加したが (図 4-5b), ネガティブコントロールに比べてポジティブコントロールのクラムの硬さは 226%であったのに対して, 改良区では 173%に低下した($p<0.05$)。これらのデータにおいて比容積とクラムの硬さの間には,

負の高い相関関係が認められた($R^2=0.9997$)。

(3) 角型食パンの走査型電子顕微鏡 (SEM) による組織観察

焼成 1 日後の角型食パンのクラムおよびクラストの組織構造を観察した SEM 画像を図 4-6 に示す。クラムの組織構造 (図 4-6a~c) において矢印の箇所と比較すると、ネガティブコントロールではでんぷん粒がグルテンネットワークに十分取り込まれ、薄く均一な組織となっている (図 4-6a) のに対し、ポジティブコントロールではでんぷん粒が十分に取り込まれず、グルテンネットワークの層表面に突出していた (図 4-6b)。一方、改良区ではでんぷん粒の生地への取り込みがやや改善され、ネットワークに埋め込まれていないでんぷん粒はほとんど観察されなかった (図 4-6c)。

食パンのクラスト構造にはドライクラストとサブクラストの 2 種の異なる構造があることが知られており⁸²⁾、ドライクラストは均質で厚めの層 (約 100–200 μm) を形成し、サブクラストはグルテンネットワークが積層した高密度な構造を形成する。本試験で試作した食パンのクラスト構造 (図 4-6d~f) を比較すると、ネガティブコントロールでは焼成時の膨化により型に押し付けられたネットワークは組織を維持したまま潰れて層状に積層し、密度の高い緻密なサブクラスト層を形成してドライクラストと明確に判別できた (図 4-6d)。これに対し、ポジティブコントロールでは積層したネットワーク組織が粗く、密度の低いサブクラスト層を形成しており、ドライクラストとサブクラストの領域が不明瞭であった (図 4-6e)。一方、改良区ではネガティブコントロールほどの緻密な組織にはなっておらず、ポジティブコントロールと比べて密度の高いサブクラスト構造に改善されたことが観てとれた (図 4-6f)。

(4) 角型食パンの物性

次に、比容積の影響をできるだけ排除して、食パンの体積がほぼ一定である焼成 1 日後の角型食パンのクラム(a)とクラスト(b)の硬さを測定した(図 4-7)。比容積がほぼ一定の角型食パンにおいても、クラムの硬さは、ポジティブコントロールはネガティブコントロールに比べて 217%と増加した($p<0.05$)。改良区のクラムの硬さはポジティブコントロールの 60%にまで低下し($p<0.05$)、ネガティブコントロールに対して

130%とやや高い値を示したが有意差は認められなかった（図 4-7a）。一方、クラストの硬さはクラムの硬さとは逆の傾向を示し、ポジティブコントロールではネガティブコントロールの 53%に低下し($p<0.05$)、柔らかくなった。改良区のクラストの硬さはネガティブコントロールの 71%に低下したが($p<0.05$)、ポジティブコントロールに比べて 133%増加し、ネガティブコントロールのクラストの硬さに近づいた（図 4-7b）。

（5）角型食パンの官能評価

焼成1日後の角型食パンのクラム(a)とクラスト(b)の官能評価の結果を図 4-8 に示す。ポジティブコントロールでは、評価項目の中で、クラムの硬さが有意に($p<0.05$)増加し、クラムの口どけが有意に($p<0.05$)低下した（図 4-8a）。また、クラストの噛み切り易さが有意に($p<0.05$)増加し、噛み切り易くなった（図 4-8b）。一方、改良区はネガティブコントロールに官能評価得点が近づく結果となっており、ネガティブコントロールに比べて全ての評価項目で有意差は認められなかった。また、官能評価得点とパン物性の間に高い相関が認められ、相関寄与率は物性測定におけるクラムの硬さと官能評価におけるクラムの硬さで $R^2=0.9803$ 、物性測定におけるクラストの硬さと官能評価におけるクラストの硬さで $R^2=0.9978$ であった。

第4節 考察

1. ベタイン添加による製パン性の低下

パン生地にベタインを添加すると、添加量が多くなるにつれて、ホイロ時間の延長やガス発生量の低下が確認され、特に機能性付与が期待できる 5%添加パンでは比容積が有意に($p<0.05$)低下し、クラムも有意に($p<0.05$)硬くなった。この際、生地のだつきも見受けられたことから、ベタインの添加は、生地の発酵性やグルテンネットワークの形成に大きな影響を及ぼし、製パン性を低下させることが示唆された。

パン生地のガス発生量の低下した理由は明確ではないが、予備試験としてベタインを 3%添加した YM 液体培地 (0.3%酵母エキス, 0.3%麦芽エキス, 0.5%ペプトン, 1.0%グルコース, pH5.4) でイーストを培養 (25°C, 6 時間) した結果、ベタイン無添加

の培地と比較して菌数に有意差はなかったことから、ベタインの添加によるイーストの増殖への影響はないと考えられる。ガス発生量低下の要因としては、ベタインの添加がイーストの代謝に影響を及ぼし、ガス発生量が抑制されているか、あるいはベタインの添加によりパン生地のべたつきが発生したことからガスが生地に溶存しやすくなり、ファーモグラフにおける見かけ上のガス発生量が減少した可能性が推察されるが、詳細については今後の検討としたい。

食パンの焼成工程では、生地が十分にグルテンネットワークを形成した後、生地の膨化によりネットワーク間の空隙が拡がり、密度の低い組織構造となるため、ふんわりとした柔らかいクラムが形成される。一方、クラストにおいては、特に角型食パンの場合、膨化の際にネットワークを維持したまま型に押し付けられ、密度の高い組織となり、型壁面の高熱により焼き色が付いてクラムよりも硬い構造が形成される。

従って、膨化が十分でないと、クラムは密度の高い組織構造となり、クラストは膨化の圧力が少なくなるため、ネットワーク層が潰れずに密度の低い層ができ上がると考えられる。このような例として、乾燥オカラを添加したパンで同様な結果が報告されており、その主な要因はオカラに含まれる繊維や大豆タンパク質がグルテンネットワークの形成を阻害し、その結果として膨化が抑制されることにあると考えられている⁸³⁾。

本研究の結果でもベタインの添加がこのようなグルテンネットワークの形成に影響を与えて、膨化が不十分となることで製パン性が低下すると推察された。パンの膨化性はパン生地のタンパク質含量⁸⁴⁾、グルテン性状⁸⁵⁾、でんぷんの糊化特性⁸⁴⁾などに影響されるとされ、ベタインの添加により、これらの性質に何らかの変化が起こる可能性が推察される。例えば、添加したベタインがパン生地中の水分を取り込み、でんぷんの糊化に利用される水分が減少してでんぷん糊の粘性が低下した結果、水蒸気が散逸しやすくなり膨化性が低下するなどの可能性であるが、詳細については不明であり、今後の検討としたい。

2. ベタイン添加時期の変更による製パン性の改善

ベタインの添加を遅らせること（改良区）で、製パン性への影響を小さくすることができるかを確認するため、パン生地的小麦粉に対して5.4%を添加した食パンを、ホイロ時間を一定にして調製し、ベタイン添加時期の違いが製パン性に与える影響を詳細に評価した。

この結果、ベタインの添加時期はガス発生量やガス保持性に大きく影響し、改良区では、ポジティブコントロールに比べてガス発生量やガス保持性が有意に($p<0.05$)増加し、製パン性が大幅に改善された。

長澤らは、国産もち小麦を含む小麦パンの製パン性においてガス発生量やガス保持性の低下を報告しており、特にガス保持性の低下が比容積の低下に影響していると推察している⁷⁷⁾。実際に、ベタインを添加したパン生地を用いて山型食パンを焼成すると、ポジティブコントロールおよび改良区の比容積はネガティブコントロールに対して有意に($p<0.05$)低下したが、改良区はポジティブコントロールに比べて有意に($p<0.05$)増加しており、改善がみられた。この時のガス発生量と比容積およびガス保持性と比容積の間に高い相関関係($R^2=0.9092$ および $R^2=0.9218$)が認められた。また、クラムの硬さも、ネガティブコントロールに対して有意に($p<0.05$)増加したが、改良区はポジティブコントロールに比べて有意に($p<0.05$)増加しており、大幅な改善がみられた。この時の比容積とクラムの硬さの間には高い相関関係($R^2=0.9997$)が認められた。従って、ガス発生量やガス保持性の低下が食パンの比容積の低下に大きく影響し、これによるクラム密度の増大がクラムの硬さに影響してパンのクラムを硬くしていると考えられた。

このことから、改良区は、ガス発生量やガス保持性が改善されたことで、比容積やクラムの硬さも改善されたと考えられる。

一方で、ガス保持性の低下は、グルテンネットワークの形成が不十分なことにより、組織の網目構造に炭酸ガスを閉じ込めておくことができなくなっているためと考えられる。ベタインをミキシング後半に添加することでガス保持性が改善されたことは、

パン生地の状態が変化したことを示唆しており、グルテンネットワークの形成状況を確認するため、比容積がほぼ一定な角型食パンを調製して組織を観察した。

角型食パンの組織観察の結果から、ポジティブコントロールは、パン生地におけるグルテンネットワークの形成が不十分で、焼成時の膨化の際に発生したガスを包み込めずにガス抜けする構造となったことが示唆され、ガス保持性の低下の要因となったと考えられた。また、これにより、食パンの十分な膨化が起こらず、クラストにおいては型に押し付けられる圧力が低下したと考えられる。このような例として、クラストの厚さの違うパンでも同様の結果が報告されており、パン組織の圧縮度合の違いにより、組織構造や食感が異なることが報告されている⁸³⁾。従って、ポジティブコントロールでは、クラムにおいては空隙が少なく、密度の高い構造となり、クラストにおいてはクラスト層が潰れにくくなって層状に積層せず、密度の低いサブクラスト構造となったと考えられるが、改良区ではベタインをミキシング後半に添加することで、ベタインの添加前にグルテンネットワークの形成が進み、組織構造にも良好な影響を与えることが示唆され、組織構造が改善されることが確認された。

組織構造の違いは、角型食パンの物性にも影響を及ぼし、ポジティブコントロールは、ネガティブコントロールに比べてクラムが有意に($p<0.05$)硬く、クラストが有意に($p<0.05$)柔らかい物性となったが、改良区はポジティブコントロールに比べてクラムが有意に($p<0.05$)柔らかく、クラストがやや硬くなり、物性が大幅に改善されてネガティブコントロールに近づいた。官能評価においても、物性の測定結果と同様の評価結果が示され、角型食パンのクラムの硬さと官能評価によるクラムの硬さの間に正の相関関係($R^2=0.9803$)が、クラストの硬さと官能評価によるクラストの硬さに負の相関関係($R^2=0.9978$)が認められた。従って、組織構造の違いがクラムおよびクラストの物性の違いや官能評価における食感にも影響を与えていることが示唆され、ベタインをミキシング後半に添加することで、食パンの組織や物性を改善し、官能評価ではネガティブコントロールと有意差のない食感を得られることが確認された。

以上の結果から、ベタインをミキシング後半に添加することによって、食パン生地

の製パン性は改善され、ベタインを添加しないネガティブコントロールに物性を近づけ、官能評価においても、ネガティブコントロールとほぼ変わらない食感とすることができた。

また、データは示さないが、ガス発生量の試験において、発酵時間を180分まで延長してもガス発生は続くため、発酵時間の延長により発酵性についても改善が可能であると考えられる。実際にベタイン添加量の違いによる山型食パンの評価において、製パン工程のホイロによる最終発酵の時間を延長したことにより、ベタイン2.5%添加まではネガティブコントロールと同等の比容積を示すことから、発酵時間の増加によっても食パンの比容積を改善できることが示唆され、ベタインをミキシング後半に添加する方法と併用してホイロ時間を延長することで、さらなる改善が期待できる。

従って、ベタインを食パンに添加する場合、添加する時期を遅らせることにより、予めグルテンネットワークを形成させることで、比容積や食感において大幅な改善が可能で、ホイロ時間の延長と併用することにより、ベタインの機能性を付与した付加価値の高い食パンの開発が可能であると考えられる。

一方で、食パン製造工程におけるベタインの変化について、筆者らは日清スーパーカメリヤドライイーストを用いて予め予備試験としてベタインの資化試験を実施しており、1%ベタイン水溶液にドライイーストを6%添加して25℃で3日間培養した結果、ベタイン残存率は93%であった。さらに、1%ベタイン水溶液に10%砂糖を溶解した際に、ベタイン残存率は100%であった。このことから、砂糖を含む食パン生地中ではベタインは発酵により資化されず、そのまま残存すると考えられた。また、ベタインは熱安定性が高く、200℃以下では分解されないことが知られており⁴⁶⁾、遊離のアミノ基を持たないため、他のアミノ酸に見られる糖とのメイラード反応が起きないことが知られている⁴⁶⁾。従って、食パンに添加されたベタインは製造工程において変化せず、期待する機能性に影響を及ぼさないと考えられる。

今後はベタインを添加した食パンが実際に機能性を有しているのか、動物試験およびヒト試験による肝機能改善効果、血圧低下効果等について検討を行っていきたい。

表 4-1 パン生地製の製パン工程

工程	条件
ミキシング	ショートニング添加前 低速 4 min, 中速 1 min, ショートニング添加後 低速 5 min, 中速 2.5 min
1次発酵	30°C, RH 75%, 60 min
パンチ	折り畳み (4つ折り)
2次発酵	30°C, RH 75%, 30 min
分割・整形	角型食パン 230 g, 山型食パン 100 g 手で丸めて整形
ベンチタイム	30°C, 20 min
成型・型詰め	1次シートのクリアランス : 角型食パン 0.80 cm, 山型食パン 0.79 cm 2次シートのクリアランス : 角型食パン 0.40 cm, 山型食パン 0.47 cm
ホイロ	38°C, RH 85%, 50 min
焼成	角型食パン 200°C, 16 min, 山型食パン 200°C, 35 min

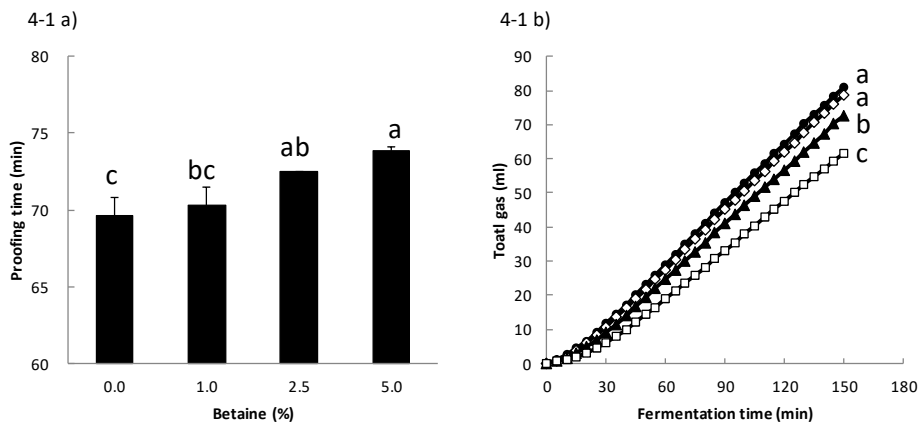


図 4-1 ベタイン添加パン生地のホイロ時間とガス発生量

4-1 a はパン生地のホイロ時間, 4-1 b はパン生地のガス発生量の平均値(n=3)を示す。エラーバーは標準偏差を示す。●は対照 (ベタイン0%), ◇はベタイン1%添加, ▲はベタイン2.5%添加, □はベタイン5%添加したものの変化(n=3)を示す。a, b, cの異なる記号はTukeyの多重比較検定により有意差 (p<0.05)があることを示す。

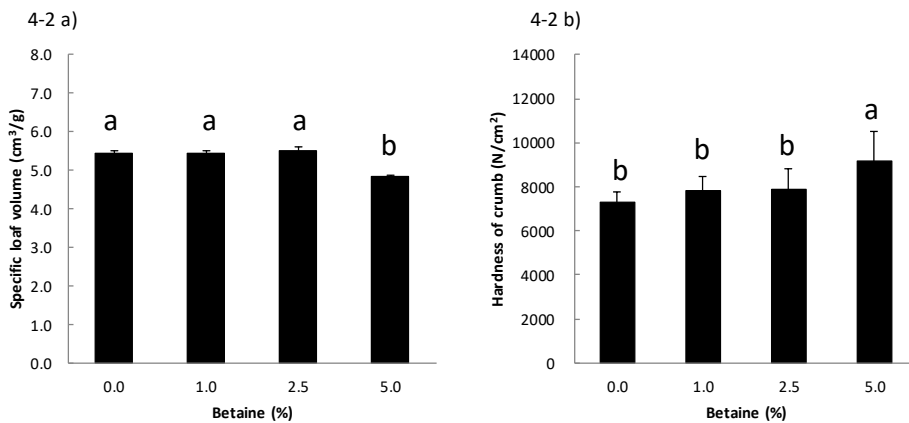


図 4-2 ベタインを添加した山型食パンの比容積とクラムの硬さ

4-2 a は山型食パンの比容積の平均値(n=3), 4-2 b は山型食パンのクラムの硬さ(n=5)を示す。エラーバーは標準偏差を示す。a, bの異なる記号はTukeyの多重比較検定により有意差 (p<0.05)があることを示す。

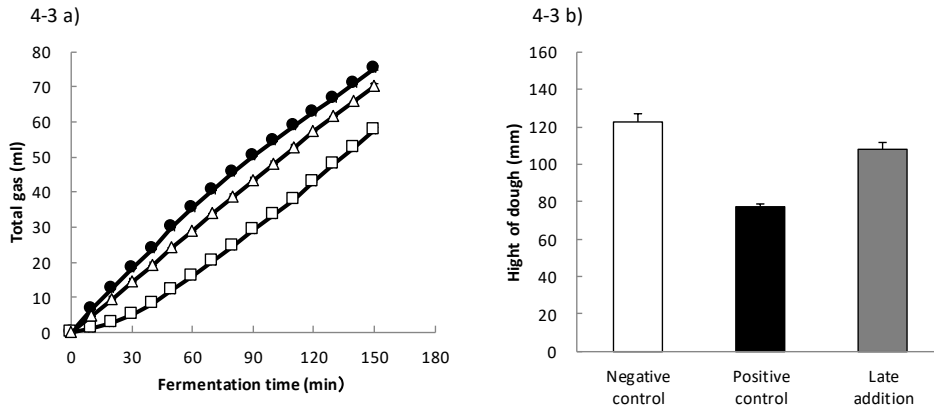


図 4-3 ベタイン添加タイミングの違いによるパン生地のガス発生量とガス保持性

4-3 a はパン生地のガス発生量, 4-3 b はパン生地のガス保持性の平均値(n=3)を示す。エラーバーは標準偏差を示す。●はネガティブコントロール, □はポジティブコントロール, △はベタイン添加を遅らせた試験区の変化を示す。a, b, cの異なる記号はTukeyの多重比較検定により有意差(p<0.05)があることを示す。

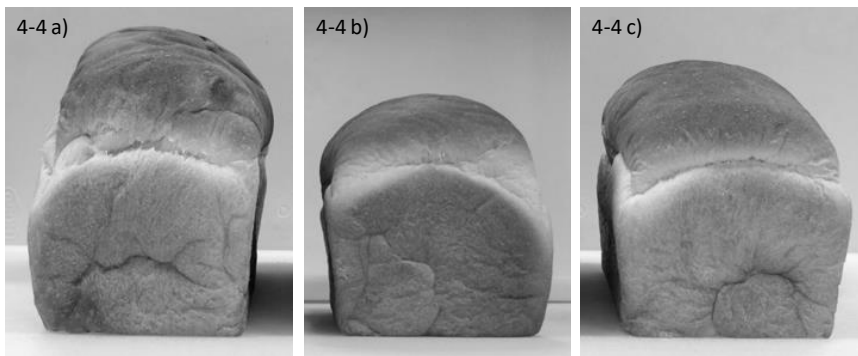


図 4-4 山型食パンの比較写真

4-4 a はネガティブコントロール, 4-4 b はポジティブコントロール, 4-4 c はベタイン添加を遅らせた試験区の変化を示す。

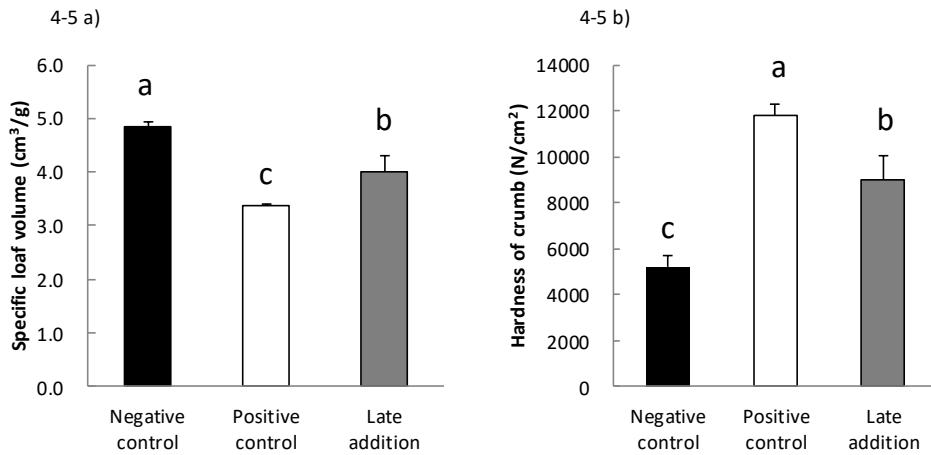


図 4-5 ベタイン添加タイミングの違いによる山型食パンの比容積とクラムの硬さ

4-5 a) は山型食パンの比容積(n=3)、4-5 b) は山型食パンのクラムの硬さ(n=5)の平均値を示す。エラーバーは標準偏差を示す。
 ■はネガティブコントロール、□はポジティブコントロール、▣はベタイン添加を遅らせた試験区を示す。
 a, b, cの異なる記号はTukeyの多重比較検定により有意差 (p<0.05)があることを示す。

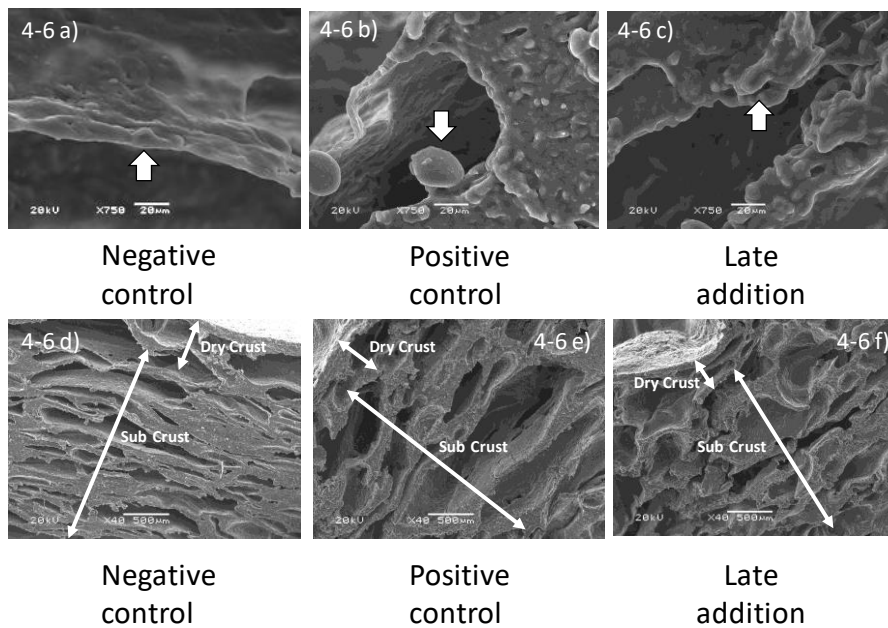


図 4-6 ベタイン添加タイミングの違いによる角型食パンの走査型電子顕微鏡(SEM)画像

上段の4-6 a, b, cはそれぞれネガティブコントロール、ポジティブコントロール、ベタイン添加を遅らせた試験区の角型食パンのクラムの750倍画像 (scale barは20μm)、下段の4-6 d, e, fはそれぞれ角型食パンのクラストの40倍画像 (scale barは500μm)を示す。

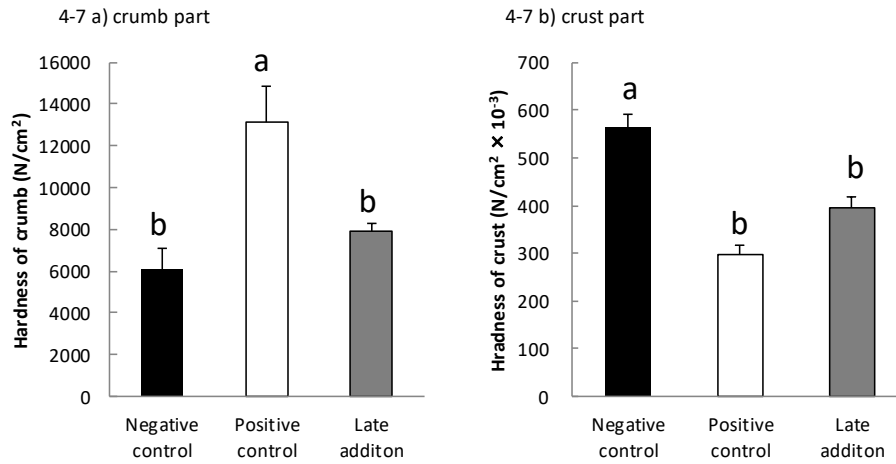


図 4-7 ベタインの添加タイミングの違いによる角型食パンの硬さ

4-7 a は角型食パンのクラムの硬さ (n=5)、4-7 b は角型食パンのクラストの硬さ (n=5) の平均値を示す。エラーバーは標準偏差。a, b, cの異なる記号はTukeyの多重比較検定により有意差 (p<0.05)あり。

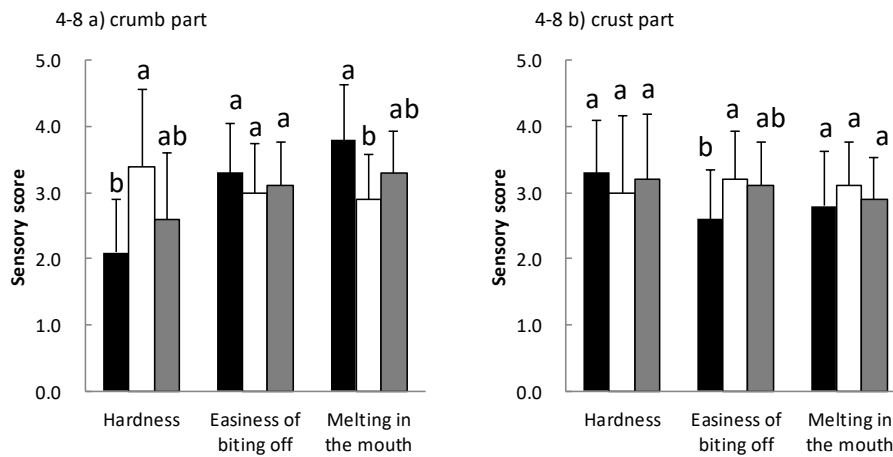


図 4-8 ベタイン添加タイミングの違いによる角型食パンの官能評価得点

4-8 a は角型食パンのクラムの官能評価 (n=12)、4-8 b は角型食パンのクラストの官能評価 (n=12) の平均値を示す。エラーバーは標準偏差。
 ■ はネガティブコントロール、□ はポジティブコントロール、■ はベタイン添加を遅らせた試験区の得点を示す。
 a, bの異なる記号はTukeyの多重比較検定により有意差 (p<0.05)あり。

第5章 十勝産チコリイヌリンの利用特性の評価

第1節 緒言

イヌリンの加工特性は広く知られており、水によく溶け、他の増粘多糖類とは異なり、高濃度でも大きな粘度変化を示さない⁸⁶⁾。また、還元性がないため、メイラード反応による褐変を起こしにくく、ショ糖と同程度である⁸⁶⁾。味質は低分子ではわずかな甘味を有し、高分子では無味・無臭の白色粉末とされる⁸⁶⁾。pH安定性、加熱安定性は中性付近ではショ糖と変わらないが、pH 3では80℃以上の加熱により約10%が分解される⁸⁶⁾。氷点降下はショ糖や異性化糖に比べて分子量が大きいため氷点は低下しにくく、凍りやすく溶けにくい特性を有する⁸⁶⁾。さらに、水分活性はショ糖と変わらず、40%濃度の時に0.97、60%濃度の時に0.96との試験報告がある⁸⁷⁾。カラメル化反応においてもショ糖と同程度であり、140℃以上でカラメル化する⁸⁷⁾。イヌリンの吸湿性は高く、RH 80%、25℃に24時間放置した場合、ショ糖は吸湿性を示さないのに対し、イヌリンは26%の重量増加を示すが、フラクトースが40%の重量増加を示すことと比較すると、イヌリンの吸湿性はフラクトースより低かったと報告されている⁸⁷⁾。

本試験では、十勝地域でのチコリ生産とチコリ根からのイヌリン生産による新たな産業創出を目的に、十勝産チコリ根から抽出されたとかちイヌリンの利用特性について検討を行い、とかちイヌリンが既存のイヌリン素材と同様の特性を有するか、確認することとした。

第2節 実験方法

1. 市販イヌリンととかちイヌリン

利用特性の評価にはフラクトファイバー®フジ FF (DP 16) (フジ日本精糖, 東京, 日本), オラフティ HP(DP 23) (DKSH ジャパン, 東京, 日本) およびとかちイヌリン (DP 15) を使用した。

とちちイヌリンは日本甜菜製糖（株）総合研究所から提供された。製造はビート糖製造工程に準じてパイロットプラントにて試作された（図 5-1）。すなわち、収穫されたチコリ根を洗浄後、短冊状に裁断し、60℃の温水で抽出した。抽出液は炭酸洗浄とイオン交換樹脂を用いた脱塩により不純物を除去し、濃縮後にスプレードライ法にて噴霧乾燥し、粉末化された。提供されたとちちイヌリンの純度は90%以上（イヌリン91%，単糖類・二糖類8.0%，その他0.9%）であり、その平均重合度(DP)は15であった（図 5-2）。

2. 利用特性の評価

(1) pH 安定性，加熱安定性

フラクトファイバー®フジ FF（以下、フジ FF），オラフティ HP およびとちちイヌリンの2%(w/v)水溶液を pH 3, 5, 7, 9 のリン酸バッファーで調整し、20, 50, 60, 80, 100, 121℃で15分間加熱した後の残存率を測定(n=1)した。測定は50 μM NaOH（和光純薬）を溶離液とした HPLC（LC-20 A series, 島津製作所, 京都, 日本）を用いた。HPLC のカラムは Shodex sugar KS-802（昭和電工, 東京, 日本）, 検出器は示差屈折系（RID）（RID-10 A, 島津製作所）を用いた。移動相はアセトニトリル/蒸留水/リン酸（70 : 30 : 0.2）を 1.0 ml/min, カラム温度は 50℃で分析を行い、未処理のイヌリンピークを 100%とした時の各処理区の残存率を相対比で示した。

(2) メイラード反応性

フジ FF, オラフティ HP およびとちちイヌリンのアミノ酸共存下での加熱による着色性について、pH や加熱条件における色の変化(n=1)を測定し、他の糖類として D-グルコース（和光純薬）, ショ糖（和光純薬）, D-トレハロース二水和物（和光純薬）と比較した。すなわち、2%(w/v)の各糖類液 5 ml に 2%(w/v)グリシン（和光純薬）2 ml と pH 3~9 の 0.1 M リン酸バッファー3 ml を加え、それぞれ 100℃, 90 分間および 121℃, 15 分間加熱して 420 nm の吸光度を分光光度計（UV-2700, 島津製作所）で測定した。

(3) 溶解度

フジ FF については 30 g, オラフティ HP およびとちイヌリンについては 15 g をねじ口ボトルに精秤し, 100 g の脱イオン水を加えて 4, 10, 25, 40, 50, 60, 70°C の各温度に調整した恒温槽でインキュベートし, 時々攪拌しながら 15 時間保持した (n=1)。これを 0.45 μm DISMIC フィルター (ADVANTEC, 東京, 日本) で微結晶を除去し, 減圧加熱乾燥法 (乾燥助剤法) で水分量を分析して 100 g の脱イオン水に溶解する固形物重量を分析した。

(4) クリーム状ゲル形成能

フジ FF, オラフティ HP およびとちイヌリンを 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50%(w/v) となるよう蒸留水に加温溶解 (90°C) して放冷し, ゲルの形成状態 (n=1) を目視で確認した。

(5) 脂肪代替性

フジ FF, オラフティ HP およびとちイヌリンを 30, 35, 40, 45, 50%(w/v) となるよう蒸留水に加温溶解 (90°C) して放冷し, このうち均一なゲルを形成した試験区の硬さ (n=1) を測定した。ゲルの硬さはテクスチャーアナライザー (Stable Micro Systems TA-XT 2i Plus, 英弘精機) を使用して測定した。プローブはレオメーター (CR-200D, サン科学, 東京, 日本) 用プローブ No. 11 を専用アタッチメントで接続して用い, 10 g の負荷を 2.0 mm/sec の速度で押圧してゲルが崩壊する時点の荷重を測定した。比較対照として, ラード (純製ラード, 雪印メグミルク, 東京, 日本), 無塩バター (よつ葉バター食塩不使用, よつ葉乳業, 札幌, 日本), ショートニング (雪印メグミルク) を同じ容器に入れ, テクスチャーアナライザーを用いて同じ条件で硬さを測定した (図 5-3)。

(6) 保湿性

保湿性はホームベーカリー (National SD-BM 101, パナソニック, 門真, 日本) を使用して通常の食パンモードで食パンを試作し, パン生地にフラクトファイバー® フジ FF, オラフティ HP およびとちイヌリンを各 1%(w/w) 添加した試験区と, 対

照としてイヌリン未添加区を調製して比較した。食パン生地の配合は強力粉 250 g に対して無塩バター10 g, 砂糖 17 g, スキムミルク 6 g, 食塩 5 g, 水 180 ml, ドライイースト 2.8 g とした。無塩バターはよつ葉バター食塩不使用（よつ葉乳業），砂糖はグラニュー糖（日本甜菜製糖），スキムミルクは北海道スキムミルク（雪印メグミルク），食塩は精製塩（塩事業センター），ドライイーストは日清スーパーカメリヤ（日清フーズ，東京，日本）を用いた。各試験区の食パンを焼成後，1～5 日間室温保存し，毎日の水分含有量を常圧加熱乾燥法で恒量となる水分量(n=1)を分析した。

第 3 節 実験結果

1. pH 安定性，加熱安定性

3 種類のイヌリンの 2%(w/v)水溶液について，各 pH における 20～121℃で 15 分間加熱した後の残存率を図 5-4 に示した。全てのイヌリンにおいて，pH 5～9 では試験した 20～121℃の加熱でも 80%以上の残存率であった。特に，とちちイヌリンは pH 7～9 において 121℃加熱でもほぼ残存しており，フジ FF およびオラフティ HP に比べて高い安定性を示した。一方，pH 3 溶液の場合，100℃以上の加熱では全てのイヌリンにおいてほとんどが残存しなかったが，80℃で加熱した場合には，フジ FF は残存率が約 85%であったのに対してオラフティ HP は 92%，とちちイヌリンは 87%の残存率であった。

2. メイラード反応性

3 種類のイヌリンの 2%(w/v)水溶液について，各 pH における 100℃，90 分間(a)および 121℃，15 分間(b)加熱した後の吸光度（420 nm）と着色画像を図 5-5 および図 5-6 に示した。100℃で 90 分間加熱した場合，グルコースは pH 7～9 の領域で濃い着色が見られた（図 5-5a, 図 5-6a）。また，各イヌリンはショ糖やトレハロースと比べて若干着色していたが，いずれも目視ではほとんど判別がつかない程度であった（図 5-6a）。一方，121℃で 15 分間加熱した場合，グルコースはさらに濃い着色が見られ，各イヌリンは 100℃，15 分間加熱と同様にショ糖やトレハロースと比べて若干着色し

ていたが、吸光値で 0.2 以下と低い着色度であった（図 5-5b）。但し、フジ FF とと
ちイヌリンはオラフティ HP と比べてやや高い吸光度を示し、特にフジ FF は目視に
おいてもやや着色していることが判別できた（図 5-5b, 5-6b）。

3. 溶解度

3 種類のイヌリンについて、100 g の脱イオン水に溶解する固形物重量を図 5-7 に示
した。フジ FF は水への溶解性が容易で、25℃では 20 g、70℃では 27.5 g まで溶解し
た。オラフティ HP は 3 種のイヌリンの中で最も水に溶けにくく、70℃でも約 9 g し
か溶けなかった。とちイヌリンはオラフティ HP と同等の溶解度を示し、70℃で 10
g が限度であることが明らかとなった。

4. クリーム状ゲル形成能

3 種類のイヌリンについて、各イヌリンを 20～50%加温溶解（90℃）して放冷した
時に形成したゲルの観察画像を図 5-8 に示した。いずれのイヌリンも 25%以下の濃度
では固化せず、フジ FF は 30～50%、オラフティ HP は 30～35%、とちイヌリンは
30～40%で流動しないゲルを形成した。さらにオラフティ HP は 40%以上、とちイ
ヌリンは 45%以上では十分に溶解せずに不均一なゲルとなった。

5. 脂肪代替性

3 種類のイヌリンの 30～50%ゲルとラード、バター、ショートニングの硬さを図 5-9
に示した。このうち均一なゲルを形成したイヌリン試験区はフジ FF で 35～50%、オ
ラフティ HP で 30～35%、とちイヌリンで 35～40%であった。ラード、バター、
ショートニングとの硬さを比較した結果、ラードと同等の硬さとなったイヌリン試験
区はフジ FF 35%、バターと同等の硬さとなったのはフジ FF 40%、ショートニング
と同等の硬さとなったのはフジ FF 45%、50%、とちイヌリン 35%であった。オラ
フティ HP はショートニング以上の硬さであった。

6. 保湿性

3 種類のイヌリンを各 1%添加した食パンと未添加の食パンについて、室温保存中の
乾燥による水分の経日変化を図 5-10 に示した。未添加の対照区に対して、全てのイ

ヌリン添加区で水分含有量が高くなっていた。3種類のイヌリンの比較では、オラフティ HP ととかちイヌリンが同等の水分含有量となり、フジ FF はこれらに比べて低い水分含有量となった。

第4節 考察

とかちイヌリンの pH 安定性および加熱安定性を調査した結果、pH 7~9 において 121℃加熱でもほとんどが残存しており、フジ FF およびオラフティ HP に比べて高い安定性を示した。また、pH 5 においてもとかちイヌリンの 121℃加熱では他のイヌリンと同様に 80%以上の残存率を示し、100℃加熱では他のイヌリンに比べて高い残存率を示した。さらに、pH 3 においてはとかちイヌリンの 100℃以上の加熱では他のイヌリンと同様に残存しなかったが、80℃加熱では 87%の残存率を示し、オラフティ HP より残存率が低かったが、フジ FF よりも高かった。この結果は、試作されたとかちイヌリンがフジ FF およびオラフティ HP と比較して同等以上の高い pH 安定性と加熱安定性を有することを示唆した。試験に供した3種類のイヌリンがいずれの pH においても高い加熱温度で残存率が低下する理由は、イヌリンが加熱分解されて低分子化し、グルコースやフルクトース、あるいはフラクトオリゴ糖に変化したためと考えられた。pH 3, 80℃加熱におけるフジ FF の残存率がオラフティ HP よりも低い理由はフジ FF の平均重合度 (DP 16) がオラフティ HP の平均重合度 (DP 23) よりも低いことにより、低分子化しやすいことにあると考えられる。しかし、この時のとかちイヌリンの残存率はフジ FF と同等の平均重合度 (DP 15) であるにも関わらず、フジ FF の残存率よりも高かった。これは、含まれるイヌリン鎖長の分布の違いが影響しており、とかちイヌリンのイヌリン鎖長の分布がフジ FF よりも幅広い分布を示すことから、とかちイヌリン中の高重合鎖長のものが pH 安定性、加熱安定性に影響を与えていると考えられた。

糖類にはアミノ酸共存下の加熱でメイラード反応による着色を生じるものがあり、食品に添加した場合、最終製品の色調に影響することが知られており、特にグルコー

スとグリシンとの加熱反応による着色がよく知られている⁸⁸⁾。純度の高いイヌリンはメイラード反応が起きにくいとされている²⁷⁾が、フジ **FF** およびオラフティ **HP** においてはイヌリン純度は 90%以上とされているため、不純物として数%の単糖類や二糖類が含まれている。このため、イヌリン製品であっても、含まれる糖類の種類や量によってはメイラード反応による着色により、最終製品の色調に影響を及ぼす可能性がある。そこで、とちイヌリンのメイラード反応性をフジ **FF** およびオラフティ **HP** やグルコース、ショ糖、トレハロースと比較した結果、100℃、90 分間の加熱ではグルコースは pH 7~9 において明らかなメイラード反応を示して着色したのに対し、とちイヌリンやフジ **FF** およびオラフティ **HP**、ショ糖、トレハロースはほとんど反応せず、目視による着色は認められなかった。121℃、15 分間の加熱ではグルコースは同様に pH 6~9 において、明らかなメイラード反応を示し、ショ糖やトレハロースも同様にほとんど反応しなかったのに対し、とちイヌリンやフジ **FF** およびオラフティ **HP** は吸光度が増加した。この結果は、とちイヌリンやフジ **FF** およびオラフティ **HP** に含まれる単糖類や加熱によってイヌリンが低分子化されて生じた単糖類にグリシンとのメイラード反応が起きたことを示唆した。また、とちイヌリンをフジ **FF** およびオラフティ **HP** と比較すると、いずれの加熱条件においても、とちイヌリンはフジ **FF** と同等の反応性であると考えられ、オラフティ **HP** よりもメイラード反応性が高いことが示唆された。このことは、とちイヌリンやフジ **FF** の平均重合度 (DP 15 および DP 16) がオラフティ **HP** (DP 23) よりも低いことに起因し、加熱による低分子化により単糖類が多く生じていると考えられた。しかし、目視による着色度はフジ **FF** でわずかに判別できる程度で、とちイヌリンやオラフティ **HP** は目視では着色が認められず、最終製品の色調に影響を及ぼす可能性は低いと考えられた。

イヌリンの溶解度は重合度が低いほど溶解しやすいことが知られている⁸⁹⁾。4~70℃の脱イオン水に対するとちイヌリンの溶解度をフジ **FF** およびオラフティ **HP** と比較すると、とちイヌリンはフジ **FF** の約 1/3 の溶解度で、オラフティ **HP** より

もやや高い溶解度であった。とかちイヌリンとフジ **FF** の平均重合度がほぼ同一であるにも関わらず、溶解度に大きな違いが生じた理由は、イヌリン鎖長の分布の違いにあると考えられ、とかちイヌリンが高重合から低重合まで幅広い鎖長のイヌリンを含有しているのに対し、酵素合成されたフジ **FF** はイヌリン鎖長が比較的揃っているためと推察される。一般に、イヌリンにおけるメイラード反応性と溶解性は関連があり、メイラード反応性が高いと溶解度も高くなると考えられるが、高重合のイヌリン鎖長を有するととかちイヌリンはメイラード反応性が低重合イヌリンであるフジ **FF** と同等であるにも関わらず、高重合イヌリンであるオラフティ **HP** に近い溶解度を示したと考えられる。オラフティ **HP** はデザート類への用途が明示されている⁹⁰⁾ことから、とかちイヌリンはオラフティ **HP** と同様の用途での利用が可能と考えられた。

イヌリンは高濃度に溶解すると、冷却時に微細結晶を生じ、クリーム状のゲルを形成することが知られている⁹¹⁻⁹³⁾。とかちイヌリンのゲル形成能をフジ **FF** およびオラフティ **HP** と比較した結果、フジ **FF** は 30~50%の広い濃度範囲でゲル形成が認められたのに対し、オラフティ **HP** は 30~35%、とかちイヌリンは 30~40%で均一なゲル形成が認められた。いずれのイヌリンにおいても 30%から流動しないゲルを形成したが、ゲルの形成能も重合度の違いが影響すると考えられ、溶解度の高いフジ **FF** は幅広い濃度でゲル形成するのに対し、溶解度の低いとかちイヌリンやオラフティ **HP** はゲルを形成する濃度幅が狭くなった。また、とかちイヌリンはオラフティ **HP** よりもゲルを形成する濃度幅が広く、この傾向は溶解度と同様の傾向を示したことから、含まれるイヌリン鎖長の分布が影響していると考えられた。

イヌリンがクリーム状ゲルを形成することから、その物性は低温下ではラードなどの固形油脂と似た物性を呈する⁹³⁾。これを利用して、欧州では食品に使用する固形油脂をイヌリンと置き換え、脂肪分を低減するとともに食物繊維を付与した健康訴求型の食品開発が進められている。とかちイヌリンもフジ **FF** およびオラフティ **HP** と同様にクリーム状ゲルの形成能が確認されたことから、とかちイヌリンのゲルの物性をフジ **FF** およびオラフティ **HP** とともに、ラードやバター、ショートニングといった

固形油脂の物性と比較した。その結果、とちちイヌリンは 35%ゲルでショートニングと同等の硬さを示した。このことから、とちちイヌリンは少なくともショートニングとの代替が可能で、菓子類やパン類などのベーカリー製品の脂肪代替に利用できることが示唆された。ラードやバター hardness には 35%以下のゲルにより可能と考えられるが、30%ゲルの測定をしておらず、25%ゲル以下では流動するため、ラードやバターの硬さと同等にできるかは不明であった。また、フジ FF およびオラフティ HP との比較では、フジ FF が濃度が高くなっても緩やかに硬さが増加するのに対し、とちちイヌリンは 35%と 40%では急激に硬さが増加し、この性質はオラフティ HP と同様の傾向を示した。さらに、とちちイヌリンのゲルの硬さはオラフティ HP よりもやや低く、この傾向も溶解度やゲル形成能と同様の傾向を示したことから、とちちイヌリンのゲルの硬さにおいても、含まれるイヌリン鎖長の分布の幅広さが影響していると考えられた。

とちちイヌリンの保湿性は、イヌリンを添加した食パンを焼成して室温保存し、乾燥による水分の減少をフジ FF およびオラフティ HP と比較することにより調査した。イヌリンの保湿性は既に報告されており⁸⁷⁾、本試験においても、全てのイヌリンで未添加区に比べて水分減少が少なく、保湿性を有することが確認された。フジ FF およびオラフティ HP との比較では、とちちイヌリンはオラフティ HP と同等の保湿性であり、フジ FF よりも高い保湿性を有することが示唆された。このことは、溶解度やゲル形成能、形成ゲルの硬さと同様の傾向を示し、含まれるイヌリン鎖長の分布の幅広さが影響していると考えられた。したがって、とちちイヌリンは食品への利用においてフジ FF およびオラフティ HP と同等以上の保湿性を期待できると考えられた。

以上の結果から、とちちイヌリンは pH 安定性、加熱安定性、保湿性はオラフティ HP の高重合イヌリンに類似した安定性を示す一方で、メイラード反応性はフジ FF の低重合イヌリンに類似した反応性を示し、溶解度、ゲル形成能、形成ゲルの物性はオラフティ HP とフジ FF の中間の性質を有することが明らかとなった。これらの利用特性は、平均重合度の違いではなく、イヌリン鎖長の分布が影響していると考えら

れた。とちイヌリンに含まれるイヌリン鎖長は低重合から高重合まで幅広い分布を示すことから、とちイヌリンは平均重合度が低いにも関わらず、低重合イヌリンと高重合イヌリンの両方の性質を合わせ持つ特性を有していると考えられた。したがって、これまでに知られている用途での食品への利用だけでなく、これまでとは別の食品への利用可能性を期待できることが示唆された。

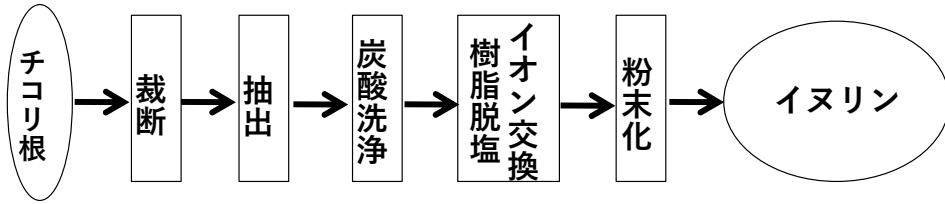


図 5-1 とちイヌリン製造工程

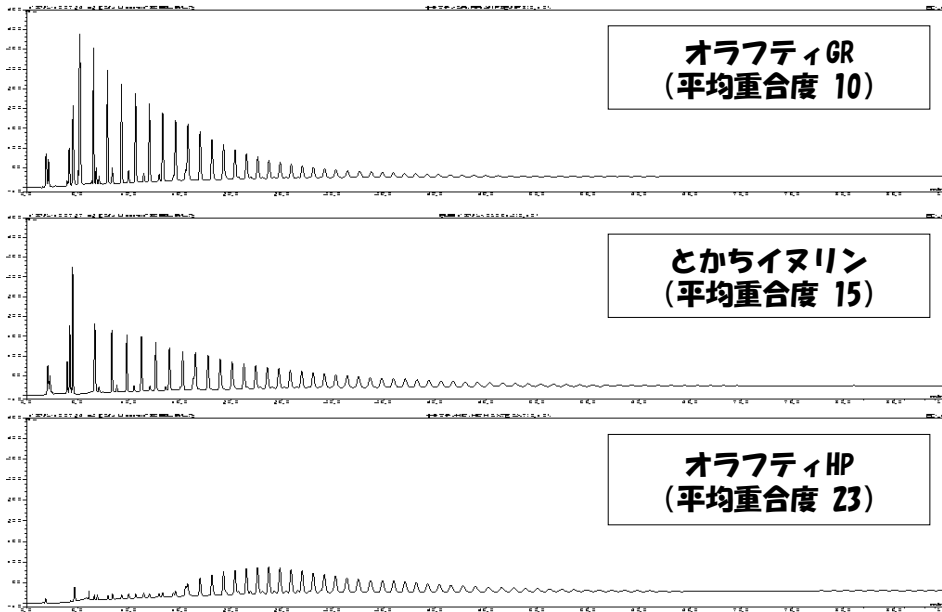


図 5-2 各イヌリンの重合度分布

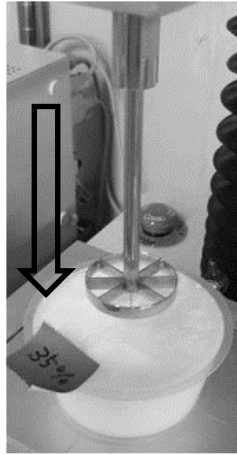


図 5-3 イヌリンゲルの硬さ測定

テクスチャーアナライザーはTA-XT2i Plus (Stable Micro Systems), プロブはレオメーターCR-200D (サン科学) 用 No.11を専用アタッチメントで接続して用いた。

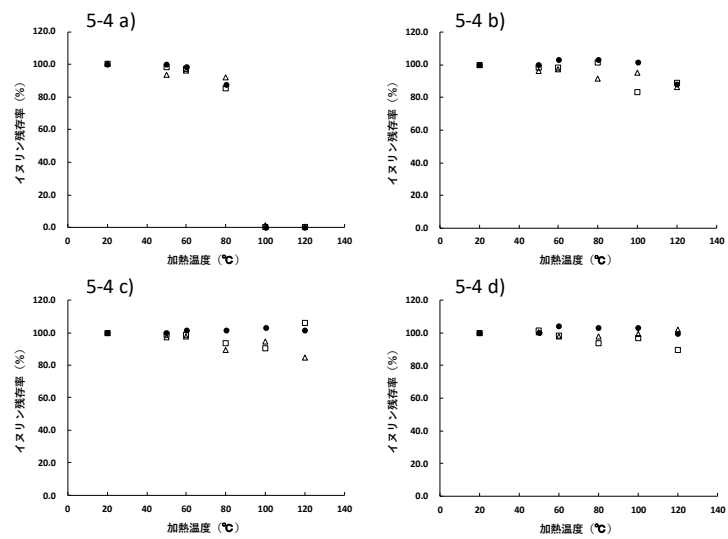


図 5-4 pHおよび加熱温度の違いによるイヌリンのpH, 加熱安定性

5-4 a) はpH 3, 5-4 b) はpH 5, 5-4 c) はpH 7, 5-4 d) はpH 9における加熱安定性を示す。イヌリンは2%水溶液を各pHの0.1Mリン酸バッファーで調製し, 20~121°Cで15 min 反応後のイヌリン含量(n=1)を100として相対比を示す。
 □はフジFF(DP=16), △はオラフティHP(DP=23), ●はとちイヌリン(DP=15)のイヌリン残存率の変化を示す。
 HPLC(LC-20 A series, Shimadzu) 条件はカラムShodex sugar KS-802, カラム温度50°C, 検出器RI, 移動相CH₃CN: Water: Phosphate buffer=70: 30: 0.2, 流量1.0 ml/min。

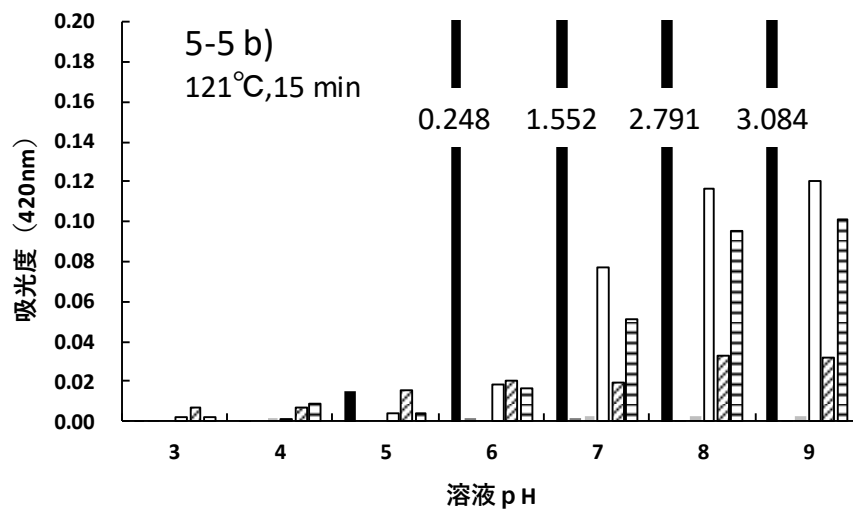
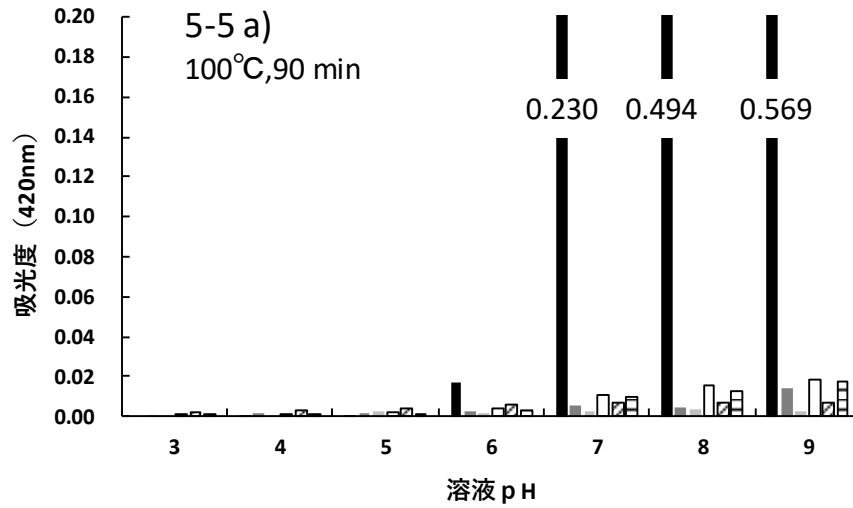


図 5-5 pHおよび加熱温度の違いによるイヌリンのメイラード反応性

5-5 a は100°C, 90 minの加熱, 5-5 b は121°C, 15 minの加熱による420 nmの吸光度(n=1)を示す。
 グリシン2%, 各種糖質2%水溶液を各pHの0.1Mリン酸バッファーで調整し, 各条件で加熱した。
 ■はグルコース, ■はショ糖, □はトレハロース, □はオラフティGR(DP=10),
 ▨はオラフティHP(DP=23), ▨はとかちイヌリン(DP=15)の吸光度を示す。

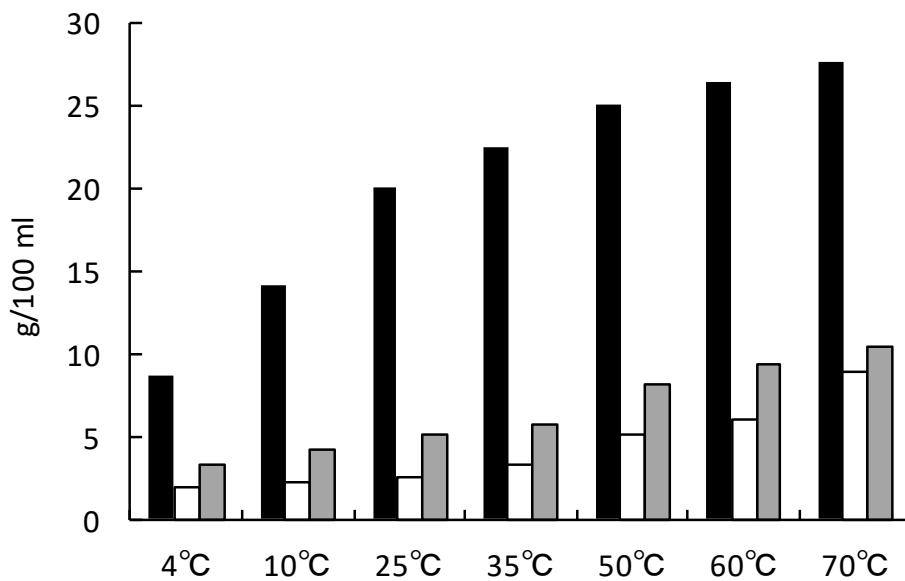


図5-7 イヌリンの溶解度

イヌリンを30 g精秤し、100 gの脱イオン水を加えて各温度で15 Hrsインキュベート後、脱イオン水に溶解したイヌリン含量(n=1)を示す。
 ■はフジFF(DP=16), □はオラフティHP(DP=23), ▒はとがちイヌリン(DP=15)のイヌリン残存率の変化を示す。

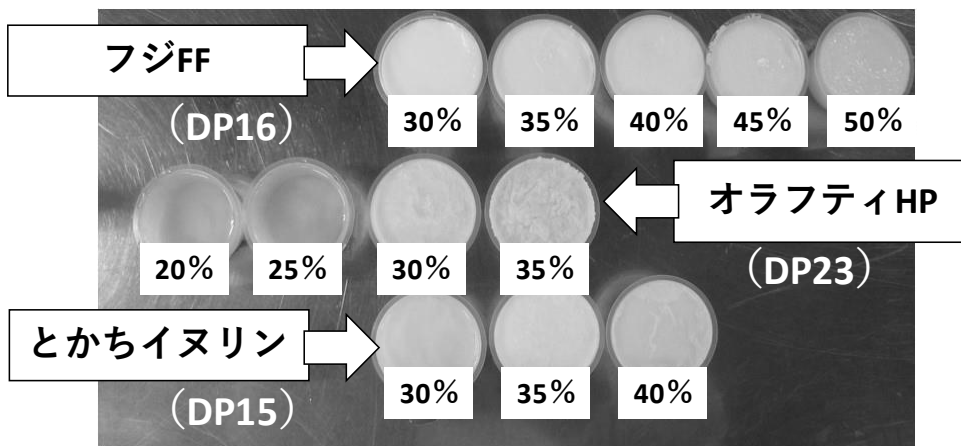


図5-8 イヌリンのクリーム状ゲル形成能

イヌリン30~50%を蒸留水に加熱溶解(90°C)し、放冷後のクリーム状ゲル形成状態の画像を示す。

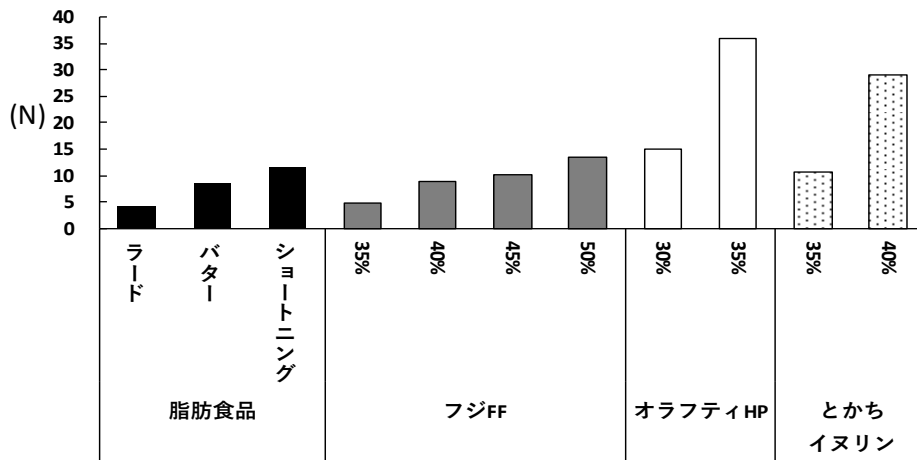


図 5-9 イヌリンゲルの脂肪代替性

イヌリンを溶解したクリーム状ゲルの硬さ(n=1)と市販固形油脂製品の硬さ(n=1)の比較を示す。テクスチャーアナライザーはTA-XT2i Plus (Stable Micro Systems), プローブはレオメーターCR-200D (サン科学) 用 No.11を専用アタッチメントで接続して用いた。

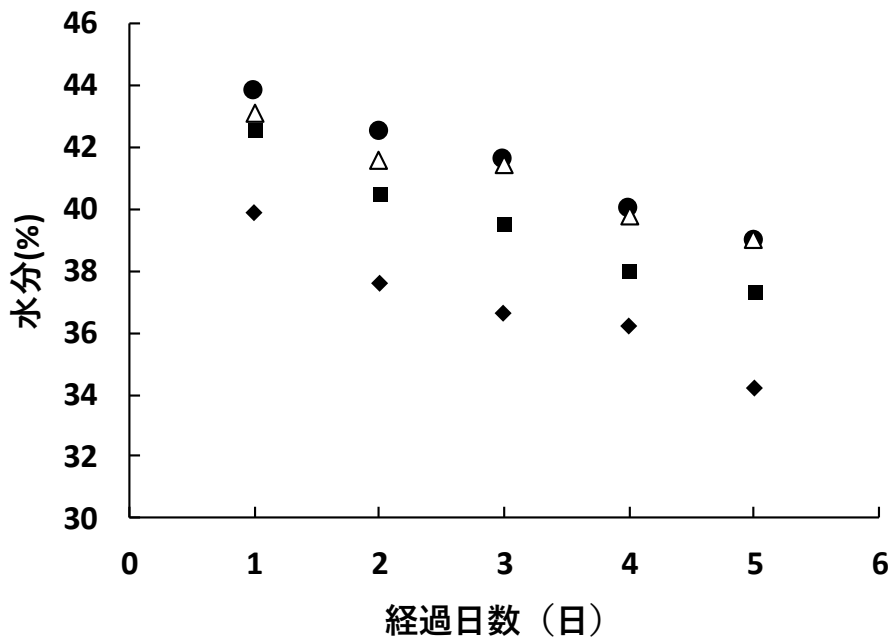


図 5-10 1%イヌリン添加食パンの保湿性*

各イヌリンを1%添加したパン生地を焼成した食パンの室温放置による水分含量を示す。◆は対照(イヌリン0%), ■はフジFF(DP=16), △はオラフティ HP(DP=23), ●はとかちイヌリン(DP=15)の水分含量(n=1)の変化を示す。食パンの焼成はホームベーカリー (National SD-BM101, 松下電器産業) を用いて通常の食パンモードで試作した。

第6章 チコリイヌリンの利用特性に基づく用途開発

第1節 緒言

イヌリンは、食物繊維素材として流通しており、その機能性はこれまでに多くの研究がなされている⁹⁴⁻¹⁰¹⁾。例えば、糖質代謝、脂質代謝、排便・便性改善効果、プレバイオティクス効果、免疫機能向上効果、ミネラル吸収効果などが挙げられる。イヌリンの食品への利用は、欧州ではヨーグルトなどを主体とした乳製品への添加や、イヌリンを脂肪と置き換えた低脂肪ソーセージなどの開発が盛んであり、食物繊維付与のための利用や脂肪代替のための利用がなされている^{27,30,89,110-116)}。

筆者らはこれまでに十勝地域での栽培とイヌリン加工による新たな産業創造の可能性を見出し、十勝産チコリ根から抽出されたイヌリン（とちイヌリン）の利用特性を評価することで、今後の産業化におけるとちイヌリンの食品への利用方向性を検討してきた。その結果、とちイヌリンは平均重合度が低いにも関わらず、pH安定性、加熱安定性、保湿性は既存の高重合イヌリンに類似した特性を示し、溶解度、ゲル形成能、形成ゲルの物性は既存の高重合イヌリンと低重合イヌリンの中間の性質を有することを確認した。

本試験では、とちイヌリンが有するこれらの利用特性やこれまでに報告されている利用用途に基づき、実際にとちイヌリンを利用した食品の用途開発について検討を行った。

第2節 実験方法

1. クリームチーズへの利用

(1) とちイヌリンの添加効果

(株)十勝野フロマージュから提供されたクリームチーズサンプル4種類を試験に供した。一般的なクリームチーズの製造方法に準じ、生乳と生クリームを調合殺菌後、一定温度まで冷却し、乳酸菌スターター添加、レンネット添加を経てチーズカードを

形成させ、チーズホエイを除去した。残ったチーズカードに食塩を添加した後、4つの試験区に分け、オラフティ GR (DKSH ジャパン) 粉末(DP 10), 40%(w/v)オラフティ GR 溶解ゲル, 40%(w/v)とかちイヌリン溶解ゲルを、それぞれイヌリン濃度が最終的に 5%(w/w)となるように添加したもの、および対照としてイヌリン未添加のものを、よく混合溶解するようニーダーで加熱攪拌し、十分に均質化した段階で容器に充填、冷却されたものを用いた。とかちイヌリンの添加効果は硬さ(n=3)の比較により評価した。

(2) 製品開発

添加効果の試験結果を基に、実際の製品の開発を行った。製品開発では、とかちイヌリンが製品化されていないことから、同じチコリ根由来で、市販されているオラフティ GR を用いることとし、添加効果試験のサンプル調製と同じ工程で製造した。イヌリンの添加量は栄養強調表示において「食物繊維豊富」の表示が可能な濃度 6%以上¹⁰²⁾となるように設計し、クリームチーズ 50 kg に対してオラフティ GR 粉末 3.5 kg を添加した。この製品の硬さ(n=10)、成分分析(n=3)、試食アンケート調査(n=12)を実施し、未添加のものと比較した。

(3) 硬さの評価

4種類のクリームチーズの硬さをテクスチャーアナライザー (Stable Micro Systems TA-XT 2i Plus, 英弘精機) を使用して測定した。プローブはレオメーター (CR-200D, サン科学) 用プローブ No. 11 を専用アタッチメントで接続して用い、2.0 mm/sec の速度で押圧してゲルが崩壊する時点の荷重を測定した。

(4) 成分分析

水分は減圧加熱乾燥法 (乾燥助剤法)、タンパク質はケルダール分解法、脂質は酸分解法、灰分は直接灰化法により分析し、炭水化物は差し引きにより計算した¹⁰³⁾。総食物繊維はプロスキー変法により分析した¹⁰³⁾。エネルギーは Atwater の係数¹⁰³⁾を用い、炭水化物のうち、食物繊維分は係数 2 を用いて求めた¹⁰⁴⁾。

(5) 試食アンケート調査

12名のパネル（30～70代）を用いて、滑らかさ、酸味の程度、コクの有無、美味しさの4項目について、未添加区とイヌリン添加区のどちらが好ましいか回答させた。

(6) 統計解析

データの統計解析はEXCEL 2016アドインソフトを用いてTukey-Kramer法により多重比較検定を行った。

2. 生パスタへの利用

(1) オラフティ GR の添加効果

試作に使用するとかちイヌリンが不足したことから、市販されているオラフティ GR を用いることとした。生パスタ生地の配合は強力粉 1 kg に対して食塩 12 g、水 300 g、オリーブオイル 16 g とし、生地に対してオラフティ GR（DKSH ジャパン）粉末、グルテン（粉末状小麦たん白、日本製粉、東京、日本）の添加区を調製し、それぞれ 2% 添加して、パスタマシーン（TR-5、ユニオン、東京、日本）を用いて 15 分間ミキシングし、生地を取り出して真空包装後、一晚冷蔵下で生地を寝かせた。これを再度、スパゲティメディエ用ダイス No. 20 をセットしたパスタマシーンに投入して製麺後、長さを 25 cm に切り揃え、沸騰した水道水で 5 分間茹で、流水中で冷却したものと、対照として未添加のもの（n=4）を比較した。

(2) 物性の評価

物性はテクスチャーアナライザーを用いて引っ張り試験を実施し、茹で麺が切断されたときの弾性と伸展性を比較した。プローブは麺用引張治具 A/SPR（Stable Micro Systems TA-XT 2i Plus 用、英弘精機）を用い、0.3 mm/sec の速度条件で測定した。弾性は破断時の荷重(g)を、伸展性は破断時の時間(sec)を解析した。また、茹で麺を -20℃ で一晚冷凍し、解凍時の弾性と伸展性を測定した。

(3) 統計解析

データの統計解析は EXCEL 2016 アドインソフトを用いて Tukey-Kramer 法により多重比較検定を行った。

3. バタークッキーへの利用

(1) オラフティ GR の添加効果

試作に使用するとかちイヌリンが不足したことから、市販のオラフティ GR, HP (DKSH ジャパン) を用いることとした。クッキー生地は小麦粉, バター, ショ糖, ベーキングパウダー, 食塩, 水を 51, 30, 13, 0.5, 0.5, 5 の比率 (合計 100) で配合し, シュガーバター法¹⁰⁵⁾により冷蔵下で生地を 1 時間寝かせた。これを厚さ 1 cm, 直径 4.5 cm の円形に成型し, コンベクションオープン (TSCO-6EB, タニコー, 東京, 日本) で 170°C, 22 分間焼成した。小麦粉は薄力粉 (日清フラワー薄力小麦粉, 日清製粉), バターはよつ葉バター食塩不使用 (よつ葉乳業), ショ糖はグラニュー糖 (日本甜菜製糖), ベーキングパウダーは日清ベーキングパウダー (日清フーズ), 食塩は精製塩 (塩事業センター) を用いた。これを対照となる未添加区とし, 未添加区の小麦粉を 3, 6, 9%オラフティ GR, あるいは 3, 6, 9%オラフティ HP に置き換えた試験区を調製して同様に焼成した。焼成した対照区および試験区のクッキーは 60 分間室温で放冷し, 除湿剤を入れた袋に密閉して保管し, オラフティ GR, HP 添加クッキーの水分分析, 重量・厚さ測定, 物性評価および官能評価(n=10)に供した。

(2) 水分分析, 重量・厚さ測定

クッキーの水分は減圧加熱乾燥法(100°C)で分析した。重量は 1 個当たりの重量を精秤し, 厚さはノギスを用いて測定してそれぞれ平均値と標準偏差を求めた。

(3) 物性の評価

クッキーの物性はテクスチャーアナライザー (Stable Micro Systems TA-XT 2i Plus, 英弘精機) を用いて測定した。プローブはレオメーター (CR-200D, サン科学) 用プローブの歯形押棒(W 75×D 20×45°)No. 34 を専用アタッチメントで接続して

用い、10 mm/sec の速度で押圧してクッキーが最初に破砕する時点(1 回目のピーク)の破砕荷重と破砕距離および破砕後に押圧し続けた時に再度組織が崩壊する崩壊荷重の最大値(2 回目のピーク)を測定した。また、1 回目と2 回目のピークの谷となる最下点と1 回目のピークの頂点との荷重の差をクッキーの脆さとして計算した。破砕荷重はクッキーを噛んだ時の硬さを、破砕距離はクッキーが砕けるまでの弾性を、崩壊荷重は砕けたクッキーをさらに潰した時の硬さでありクッキーの砕け方が大きい小さいかを、脆さはクッキーが砕ける時の粘りや軽さをそれぞれ表す。

(4) 官能評価

10 名のパネル(30~50 代)を用いて、食感に関する嗜好型官能評価を行った。すなわち、未添加区と試験区の7 種類のクッキーを試食させ、「ザクザク」、「ガリガリ」、「パリパリ」、「カリカリ」、「サクサク」、「ホロホロ」、「ソフト」と表現した嗜好尺度に対して、主観的に合致する尺度をクッキーごとに複数回答で回答させた。この結果をクロス集計し、コレスポンデンス分析を行って、各クッキーについて、パネルが主観的に感じた食感のイメージの関係を2次元マッピングした。

(5) 統計解析

データの統計解析は EXCEL 2016 アドインソフトを用いて Tukey-Kramer 法により多重比較検定を行った。

4. ヨーグルトへの利用

(1) オラフティ GR の添加効果

試作に使用するとかちイヌリンが不足したことから、市販のオラフティ GR (DKSH ジャパン)を用いることとした。ヨーグルトミックスはオラフティ GR, グラニュー糖(日本甜菜製糖), テトラップ(林原, 岡山, 日本)を添加する試験区について、それぞれ牛乳に対して終濃度 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20%となるよう添加し、加熱殺菌(75°C, 15 min)後、ヨーグルトの発酵温度とした 35°C まで冷却し、評価試験に供した。

(2) ヨーグルトミックスの評価

35℃まで冷却したヨーグルトミックスについて、BRIX、比重(15℃)、粘度(20℃)を測定(n=1)し、官能評価による甘さの評価(n=4)を比較した。BRIXはBRIXメーター(Pallet PR-100, アタゴ, 東京, 日本)、比重は標準比重計(日本計量器工業, 東京, 日本)、粘度は35℃のウォーターバス中でB型粘度計(DVL-II, 英弘精機)を用いて測定した。官能評価は4名のパネルを用いて、各試験区の各濃度における甘さが摂食の許容範囲であるか否かを回答させ、3名以上が許容範囲と回答したサンプルを摂食可能な甘さレベル(O)、1名以下が許容範囲と回答したサンプルを摂食不可な甘さレベル(x)、2名が許容範囲と回答したサンプルを摂食判断が困難な甘さレベル(Δ)と判定した。

(3) 製品開発

添加効果の試験結果を基に、実際の製品の開発を行った。製品開発においても、とちイヌリンが製品化されていないことから、市販されているオラフティ GR を用いることとし、添加効果試験のサンプル調製と同じ工程でヨーグルトミックスを調製し、桜の花弁を浮かせたプレミアムヨーグルトを試作した。桜の花弁を浮かした時の浮き具合は目視により評価し、10回繰り返し試験を行った際に浮いた回数を調査し、浮き率(x/10)として表し、グラニュー糖、テトラップを添加した場合と比較した。甘味度はグラニュー糖を100に対して、オラフティ GR を10、テトラップを20として添加量から計算した。

5. ソーセージへの利用

(1) オラフティ GR の添加効果

試作に使用するととちイヌリンが不足したことから、同等の平均重合度を有する市販のオラフティ GR を用いることとした。ソーセージミックスの配合は表 6-1 に示した。すなわち、対照となる未添加区で配合した豚脂を、40%(w/v)オラフティ GR 溶解ゲルと100%代替したオラフティ GR 100%代替区を調製した。調製したソーセージミ

ックスは、未添加区と同条件でサイレントカッター（OMF-400 B，大道産業，前橋，日本）を用いてカッターキュアリングを行い，予め冷水中で塩抜きをして十分に膨化させたケーシング（中国産羊腸，φ16/17 mm，札幌，川村通商）に手動式小型スタッファー（大道産業）を用いて腸詰めした。腸詰めしたソーセージは適度な間隔で振り，スモークハンガーに吊るして桜のスモークチップを用いてスモークマシン（VOSS microton 200，Vos Schott GmbH，Butzbach，Hessen，Deutschland）を用いてスモークした。スモーク条件は表 6-2 に示した。スモーク後，流水中で十分に冷却してから表面の水分を拭き取り，冷蔵庫で一晩保管し，各ソーセージを比較評価した。

(2) 製品開発

添加効果の試験結果を基に，実際の製品の開発を行った。製品開発においても，とちイヌリンが製品化されていないことから，市販されているオラフティ GR（DKSH ジャパン）を用いることとし，添加効果の試験に用いた配合に基づき，対照となる未添加区と豚脂を 40%(w/v)オラフティ GR 溶解ゲルと 50%代替したオラフティ GR 50%代替区，100%代替したオラフティ GR 100%代替区，オラフティ GR 100%区にさらに脱脂粉乳とゼラチンを，牛肉とオラフティ GR と氷水の総重量に対して 2%(w/w)添加した改良区のミックス（表 6-1）を調製し，その後の工程は添加効果の試験と同じ条件でソーセージを試作し，各ソーセージの硬さ(n=8)の評価と成分分析(n=2)を実施した。

(3) 硬さの評価

各ソーセージについて，ケーシングを噛み切る際の硬さをテクスチャーアナライザー（Stable Micro Systems TA-XT 2i Plus，英弘精機）を使用して測定した。プローブはレオメーター（CR-200D，サン科学，東京，日本）用プローブ No. 8 を専用アタッチメントで接続して用い，2.0 mm/sec の速度で押圧してソーセージの表皮（ケーシング膜）が破断する時点の荷重を測定した。この場合，ソーセージの内容物が柔らかいと押圧の際に表皮が沈み込み，かかる荷重は高くなる。したがって，低い荷重で表

皮が破断するほど、ソーセージが硬く、噛み切り易いと判断される。

(4) 成分分析

水分は常圧加熱乾燥法，タンパク質はケルダール分解法，脂質はソックスレー抽出法，灰分は直接灰化法により分析し，炭水化物は差し引きにより計算した。総食物繊維は添加量と製造歩留りから理論値を計算した。エネルギーは At_{water} の係数¹⁰³⁾を用い，炭水化物のうち，食物繊維分は係数 2 を用いて求めた¹⁰⁴⁾。

(5) 統計解析

データの統計解析は EXCEL 2016 アドインソフトを用いて Tukey-Kramer 法により多重比較検定を行った。

第 3 節 実験結果

1. クリームチーズへの利用

(1) とかちイヌリンの添加効果

終濃度 5%(w/w)となるように 40%(w/v)とかちイヌリン溶解ゲルを添加したクリームチーズの硬さを，未添加区およびオラフティ GR 粉末，40%(w/v)オラフティ GR 溶解ゲルを添加したクリームチーズと比較した（図 6-1）。オラフティ GR 粉末を添加した場合は未添加区と比較して硬さが約 1/2 倍に減少し，40%オラフティ GR およびとかちイヌリン溶解ゲルを添加した場合は未添加区と比較して硬さが約 1/6 に減少した。しかし，40%オラフティ GR 溶解ゲルとの間には有意差はなかった。

(2) 製品開発

7%オラフティ GR 粉末を添加したクリームチーズの成分分析結果を表 6-3 に，硬さの測定結果を図 6-2 に，試食アンケート調査の結果を図 6-3 に示した。オラフティ GR 添加区はイヌリンを添加した分，未添加区に比べて炭水化物が増加し，相対的に水分，タンパク質，脂質が減少した。食物繊維はほぼ設計どおりの値となった。エネルギーは大きく変わらなかった。硬さの比較結果は，未添加区に比べてオラフティ GR 添加区の方が有意($p<0.05$)に減少し，約 2/3 の硬さとなった。試食アンケート調査では，

未添加のものに比べて滑らかさ（未添加区 0%，添加区 58%），酸味の程度（未添加区 16%，添加区 51%），コクの有無（未添加区 25%，添加区 33%）について好ましいという回答が多く，特に滑らかさと酸味の程度は未添加区と差がないという回答（各 42%，33%）よりも多い（各 58%，51%）結果となった。美味しさについては未添加区との差はないという回答（58%）が最も多く，両方とも美味しいと回答した。

2. 生パスタへの利用

(1) オラフティ GR の添加効果

生パスタ生地に対して各 2%のオラフティ GR，グルテンを添加して生地を調製し，製麺して茹でた麺の物性(a)と冷凍解凍後の物性(b)を図 6-4 に示した。茹でた直後のオラフティ GR 添加区は，未添加区に比べて弾性，伸展性とも増加する傾向を示し，グルテン添加区は未添加区に比べて弾性，伸展性ともに有意($p<0.01$)に増加した（図 6-4a）。また，冷凍解凍後の麺の物性は全ての試験区で冷凍前に比べて弾性，伸展性ともに増加した（図 6-4b）。冷凍解凍後のオラフティ GR 添加区は，未添加区に比べて弾性，伸展性とも増加する傾向を示し，グルテン添加区は未添加区に比べて弾性，伸展性ともに有意($p<0.05$)に増加した。

3. バタークッキーへの利用

(1) オラフティ GR の添加効果

バタークッキー生地の小麦粉を 3，6，9%オラフティ GR(40%)ゲルに置き換えて焼成したクッキーについて，未添加区および 3，6，9%オラフティ HP(40%)ゲルに置き換えたクッキーと比較した。表 6-4 にクッキーの水分，重量，厚さを示した。オラフティ GR および HP ゲル添加区の水分は，未添加区に比べて 3%オラフティ HP ゲル添加区を除く全ての添加濃度で有意($p<0.01$)に低い値となった。また，同じ添加濃度では 3,6%オラフティ GR ゲル添加区の水分は HP ゲル添加区と比較して有意($p<0.01$)に低い値となった。GR あるいは HP ゲルの添加量の違いは，添加量が多くなるにつ

れて水分が低くなる傾向を示した。オラフティ GR および HP ゲル添加区の重量は、未添加区に比べて全ての添加濃度で有意($p<0.05$)に少なくなった。また、同じ添加濃度ではオラフティ GR ゲル添加区と HP ゲル添加区の間に重量の有意差はなく、GR あるいは HP ゲルの添加量の違いにおいても、その重量変化に傾向はなかった。オラフティ GR および HP ゲル添加区の厚さは 3%オラフティ HP ゲル添加区を除く未添加区に比べて全ての添加濃度で有意($p<0.05$)に薄くなった。また、同じ添加濃度ではオラフティ GR ゲル添加区と HP ゲル添加区の間に厚さの有意差はなかった。GR あるいは HP ゲルの添加量の違いは、添加量が多くなるにつれて厚さが薄くなる傾向を示した。

また、クッキーを押圧した時の物性測定の結果を図 6-5 に示した。クッキーが最初に破砕した破砕荷重(1 回目のピーク)は、未添加区と比べて 3%オラフティ GR ゲル添加区で有意($p<0.05$)に増加し硬くなったが、他の添加区では有意差は認められなかった。破砕距離はクッキーが破砕するまでの弾性を表すが、未添加区と比べて全ての添加区、添加濃度で有意差は認められなかった。破砕後に押圧し続けた時の崩壊荷重(2 回目のピーク)の最大値は砕けたクッキーをさらに潰した時の硬さであり、クッキーの砕け方が大きい小さいかを表すが、未添加区と比べて全ての添加区、添加濃度で有意差は認められなかった。脆さはクッキーが砕ける時の粘りや軽さを表すが、こちらも未添加区と比べて全ての添加区、添加濃度で有意差は認められなかった。

さらに、官能評価による主観的な食感のイメージをコレスポンデンス分析により解析した結果を図 6-6 に示した。オラフティ GR ゲルを添加すると、未添加区とは異なり、「ザクザク」、「カリカリ」といった食感のイメージに近づき、添加濃度が多くなるにつれて表現尺度が歯応えのある食感のイメージへ変化した。オラフティ HP ゲルを添加すると、未添加区とほぼ同じ食感イメージながら、より「ホロホロ」、「サクサク」といった食感のイメージに近づき、添加濃度が多くなるにつれて表現尺度が軽い食感のイメージへと変化した。

4. ヨーグルトへの利用

(1) オラフティ GR の添加効果

ヨーグルトミックスにオラフティ GR, グラニュー糖, テトラップを 2~20%添加した時の BRIX(a), 比重(b), 粘度(c)の変化を図 6-7 に示した。ヨーグルトミックスにオラフティ GR を添加すると, BRIX はグラニュー糖と同じ変化を示し, テトラップを添加した時の BRIX は同濃度のオラフティ GR, グラニュー糖添加区に比べて, 2 割程低い値を示した (図 6-7a)。比重も BRIX と同様に, オラフティ GR を添加するとグラニュー糖とほぼ同じ変化を示し, テトラップを添加するとグラニュー糖の約 2%程低い値を示した (図 6-7b)。粘度はオラフティ GR を添加した時が同濃度では最も粘度が高く, 次いでグラニュー糖, テトラップの順となった (図 6-7c)。また, 官能評価による甘さの評価を表 6-5 に示した。官能評価の結果, 摂食可能な甘さのレベルはオラフティ GR, テトラップでは 12%まで許容できたが, グラニュー糖では 8%で摂食不可な甘さのレベルと評価された。

(2) 製品開発

桜の花弁を浮かせたプレミアムヨーグルトを開発するため, オラフティ GR, グラニュー糖, テトラップを 2~20%添加した時の桜の花弁の浮き具合を調査し, それぞれ 10 回浮かべた際の浮き率を表 6-6 に示した。10 回中 10 回とも桜の花弁が浮いた最低添加濃度はオラフティ GR で 12%であった。しかし, グラニュー糖では 16%, テトラップでは 20%の添加量が必要であった。このことから, オラフティ GR の添加量を 12%と定め, 同じ添加量の時のグラニュー糖とテトラップについて, 比重, 粘度および甘味度を比較した (図 6-8)。この結果, オラフティ GR を 12%添加時のヨーグルトミックスの特性は, グラニュー糖やテトラップに比べて最も粘度や比重が高く, 最も甘味度が低いことが明らかとなった。

5. ソーセージへの利用

(1) オラフティ GR の添加効果

未添加区, および豚脂を 40%(w/v)オラフティ GR 溶解ゲルと 100%代替したオラフ

ティ GR 100%代替区の各ソーセージについて、ケーシングを噛み切る際にソーセージの表皮が破断する荷重の測定結果を図 6-9 に示した。オラフティ GR 100%代替区は未添加区に比べて、破断荷重が有意($p<0.01$)に増加した。この時の成分分析結果を表 6-7 に示した。オラフティ GR 100%添加区は未添加区に比べて、水分含量と炭水化物含量が高いにも関わらず、エネルギーが約 40%に減少した。

(2) 製品開発

ソーセージミックス中の豚脂を 40%(w/v)オラフティ GR 溶解ゲルと 100%代替したオラフティ GR 100%代替区のソーセージの硬さを改善するため、脱脂粉乳とゼラチンを各 2%加えた改良区を試作し、未添加区、豚脂と 50%代替したオラフティ GR 50%代替区、100%代替したオラフティ GR 100%代替区と硬さを比較した結果を図 6-9 に示した。改良区はオラフティ GR 100%代替区に比べて有意($p<0.05$)に破断荷重が低くなり、ソーセージが硬く改善された。さらに、硬さを改善するためにオラフティ GR の添加量を減らしたオラフティ GR 50%代替区と比較しても有意($p<0.05$)には破断荷重が低く、100%代替にも関わらずオラフティ GR 50%代替区よりも良好な硬さとなった。しかし、未添加区と比べて有意($p<0.05$)に破断荷重が高く、未添加区と同等の硬さには至らなかった。

第 4 節 考察

イヌリンの食品への利用は様々な研究がなされ、ヨーグルトやシリアルにおけるプレバイオティクスとしての添加やチーズ、アイスクリームへの脂肪代替などの乳製品への利用、パンやビスケット、ソーセージにおける脂肪代替、チョコレートにおける糖質代替、パスタにおけるグルテンフリー化などの開発が盛んであり、食物繊維付与のための利用や糖質代替、脂肪代替のための利用がなされている¹⁰⁶⁾。海外ではこのような食品開発が進んでいるにも関わらず、国内のイヌリン利用は近年、注目され始めたばかりで今後の利用が期待されているところである。筆者らが検討しているところからイヌリンにおいても、産業化に向けては国内での需要を喚起する必要があるため各

種加工食品の用途開発について検討した。検討にあたり、国内で入手できるイヌリン素材はフジ FF (DP 16), フジ FFSC (DP 8), オラフティ HP (DP 23), オラフティ GR (DP 10) であり, このうち国産の天然素材であるとかちイヌリンと競合する素材は同じチコリ根由来イヌリンであるオラフティ製品と考えられたことから, 供給量が多く一般的なオラフティ GR (HP は受注生産) との比較も試みた。

1. クリームチーズへの利用

クリームチーズにとちイヌリン 40%ゲルを添加した場合, オラフティ GR 40%ゲルを添加した時と同様に, クリームチーズの硬さが未添加のものと比較して約 1/6 に減少し, 明らかに柔らかくなった。このことは, オラフティ GR とちイヌリンの 40%ゲルでクリームチーズの物性に与える影響に差がないことを示唆した。したがって, クリーム状ゲル食品に対して, とちイヌリンはオラフティ GR と同様の用途での利用が可能であることが示唆された。また, オラフティ GR を粉末のまま添加したクリームチーズの硬さが未添加のものと比較して約 1/2 の減少に留まったのに対して, 40%ゲルを添加するとさらに柔らかくなることが確認された。これはイヌリン濃度を同じ 5%になるように添加したため, 40%ゲルの水分が粉末よりも多くなったことが要因と考えられる。これらの結果から, クリームチーズにイヌリンを添加する場合は粉末のまま添加, あるいは予め調製した溶解ゲルの添加を使い分けることにより, 目的とする硬さを調整できると考えられた。実際の製品開発においては, 約 1/2 の硬さでも十分に柔らかい物性となり, 作業性も良いためオラフティ GR 粉末を添加したクリームチーズの開発を行った。栄養強調表示において「食物繊維豊富」の表示が可能となるよう, 7%のオラフティ GR を添加した結果, 総食物繊維量は 6.3%となった。この値はオラフティ GR のイヌリン純度が 90%以上であることから, ロスなく製造されたと考えられる。この製品の成分は未添加のものに比べてオラフティ GR を添加した分, 炭水化物が約 2 倍に増えているが, エネルギーについては大きな差はなかった。また, この製品の硬さは未添加のものに比べて約 2/3 の硬さとなったが, これは添加

効果の試験よりも添加量が増えたことが原因であると考えている。さらに、試食アンケート調査では、未添加のものに比べて滑らかさ（未添加 0%，添加 58%）、酸味の程度（未添加 16%，添加 51%）、コクの有無（未添加 25%，添加 33%）について好ましいという回答が多く、特に滑らかさと酸味の程度は未添加と差がないという回答（各 42%，33%）よりも多い（各 58%，51%）結果となった。このことはオラフティ GR を添加したクリームチーズが未添加のものよりも滑らかで、酸味が穏やかで食べやすいと解釈でき、製品品質が高いことを示唆した。Meyner は、イヌリンを脂肪代替に用いた乳製品では脂肪の口当たりやクリーミーさを模倣することができる¹⁰⁷⁾と述べている。したがって、イヌリンの添加は油脂を添加した時と同様の効果を食品に付与し、これにより本試験のクリームチーズも滑らかさや酸味の緩和がなされたと考えられる。

これらのことから、クリームチーズにオラフティ GR を添加することで、食物繊維の付与や物性、嗜好において、より付加価値の高い製品をつくることが可能と考えられ、とかちイヌリンを利用した場合でも同等の評価を得られる可能性が示唆された。また、Alves はイヌリンを添加したクリームチーズの乳酸菌やビフィズス菌について、シンバイオティクスとしての可能性を示した¹⁰⁸⁾。このことから、クリームチーズへのイヌリンの添加はシンバイオティクスの観点からも有益であると考えられた。

2. 生パスタへの利用

生パスタへのとかちイヌリンの利用は、とかちイヌリンの不足から検討できなかった。そこで、クリームチーズの物性への影響を検討した結果から、オラフティ GR ととかちイヌリンを添加した物性に差が認められなかったため、とかちイヌリンの代用としてオラフティ GR を用いて検討した。オラフティ GR をパスタ生地に 2%添加すると、茹でた直後では未添加のものに比べて弾性、伸展性とも有意差はなく、冷凍解凍後でも有意差はなかった。しかし、グルテンを添加したものでは未添加のものに比べて有意な弾性と伸展性の増加を示し、オラフティ GR を添加したものは未添加区と

グルテン添加区の間中に位置したことから、オラフティ GR の添加により弾性、伸展性とも増加する傾向があることを示唆した。このことは生パスタにオラフティ GR を添加することで、麺のコシや伸びの良い製品をつくることが可能と考えられ、とかちイヌリンを利用した場合でも同等の評価を得られる可能性が示唆されたが、とかちイヌリンの特徴はイヌリン鎖長の分布が低重合から高重合まで幅広い分布を有することにあり、今後、とかちイヌリンの添加効果は改めて評価する必要がある。一方で、Afshinpajouh らはパスタ生地にイヌリンを加えた時の物性について調査した結果、引張抵抗性や伸展性は減少すると報告している¹⁰⁹⁾。また、Bustos らはイヌリン添加パスタを茹でると、イヌリンロスが生じ、パスタの品質が落ちると述べている¹¹⁰⁾。これらの結果は本試験の結果と異なるが、この相違はイヌリン以外の実験デザイン、例えば製麺方法等によるのかも知れない。これらの検証も含めて、今後、さらなる検討が必要である。

3. バタークッキーへの利用

一般にクッキーやビスケットなどへのイヌリンの利用は、脂肪代替または糖質代替を目的とすることが多い¹¹¹⁻¹¹⁴⁾。本試験では小麦粉と代替した際の影響を試験した。バタークッキーへのとかちイヌリンの利用は、とかちイヌリンの不足から検討できなかった。そこで、生パスタの場合と同様に、とかちイヌリンの代用としてオラフティ GR を用いて検討した。オラフティ GR をクッキー生地的小麦粉と代替すると、ほとんどの添加区で無添加区に比べて水分、重量、厚さが有意に減少した。これはオラフティ HP を添加した場合にも同じ結果となった。特に厚さについては、添加量が多くなるにつれて厚さが薄くなった。このことは、オラフティ GR、あるいは HP をクッキー生地的小麦粉と代替すると、焼成されたクッキーは水分が抜けやすくなり、重量減少を起こすとともに、膨化しにくくなり、厚さが薄くなることを示唆した。Liu らは、イヌリンを添加した生地はグルテニンのエマルジョン安定性と、グルテニンとグルテンのジスルフィド結合を減少させたと報告¹¹⁵⁾しており、本試験においても、小

麦粉によるクッキー生地グルテンネットワークが小麦粉の減少により弱くなったため、生地中の水分が焼成により蒸発した際に、空気の保持力が少なくなったことが要因と考えられた。この点については、今後、クッキー生地のガス保持性や焼成されたクッキーの組織構造の観察などにより確認する必要があると考えている。

また、官能評価により、焼成されたクッキーの食感について主観的なイメージを解析した結果、オラフティ GR 代替区では未添加区に比べて「ザクザク」、「カリカリ」といった食感に近づき、添加濃度が多くなるにつれて表現尺度が歯応えのある食感のイメージへ変化した。オラフティ HP 代替区では未添加区に比べて「ホロホロ」、「サクサク」といった食感に近づき、添加濃度が多くなるにつれて表現尺度が軽い食感のイメージへ変化した。したがって、オラフティ GR、あるいは HP をクッキー生地小麦粉と代替すると、GR ではクッキーの食感が重く、硬くなり、HP ではクッキーの食感が軽く、脆くなることが示唆された。このことは、焼成されたクッキーの水分、重量、厚さや物性の評価結果からも説明が可能と考えられた。焼成されたクッキーの物性はオラフティ GR、HP 添加区のいずれも押圧時の最初の破碎荷重が増加する傾向を示し、脆さも同様の傾向を示す一方で、破碎後に押圧し続けた時の崩壊荷重は減少する傾向を示した。破碎荷重や脆さの増加は、焼成されたクッキーが硬く、脆になると解釈でき、崩壊荷重の減少は砕けたクッキー片が未添加区に比べて小さく崩壊したと解釈できる。クッキーが硬くなる理由は水分の減少による重量減少や厚さの減少がクッキーの密度を高くした結果と考えられ、脆くなる現象は崩壊荷重の減少から砕けたクッキー片が小さくなったことが理由として推察される。しかし、これだけでは官能評価において、オラフティ GR 代替区と HP 代替区のクッキーの食感が異なることについての説明ができない。この差については、物性評価における破碎距離と崩壊荷重で説明が可能と考えられる。クッキーの破碎距離はオラフティ GR 代替区では未添加と比べて増加する傾向を示し、オラフティ HP 代替区では未添加区と変わらない傾向を示した。また、崩壊荷重ではオラフティ HP 代替区が GR 代替区に比べて低い傾向を示した。これらのことから、オラフティ HP でクッキー生地小麦粉を代替する

と、硬さは増加しても結着性は未添加区と変わらず。砕けるクッキー片が小さくなることが示唆され、食感がより軽く感じられることが推察された。一方、オラフティ GR でクッキー生地の小麦粉を代替すると、硬さだけでなく結着性も増加し、HP よりもクッキー片が大きくなることが示唆され、食感がより硬く歯応えを感じることを推察された。しかし、これらの物性評価においては有意差を示すことができなかったため、今後、より明確なデータを取得する必要があると考えられた。Zahn らはマフィン生地の脂肪を 50~100%イヌリンと代替すると、重量が減少し硬くなることを報告している¹¹⁶⁾。この理由は脂肪の減少によると考えられるが、本試験のように小麦粉が減少した場合でも同様の影響があると考えられた。今回、試験したオラフティ GR の平均重合度は DP 10 であり、HP の平均重合度は DP 23 である。とちイヌリンの平均重合度は DP 16 であるため、この中間の食感となることが予想されるが、とちイヌリンの特徴はイヌリン鎖長の分布が低重合から高重合まで幅広い分布を有することにあり、今後、とちイヌリンの添加効果は改めて評価する必要がある。

4. ヨーグルトへの利用

ヨーグルトへのとちイヌリンの利用は、とちイヌリンの不足から検討できなかった。とちイヌリンの代用としてオラフティ GR を用いて検討した。オラフティ GR をヨーグルトミックスに添加すると、グラニュー糖と同じ BRIX と比重を示し、10%以上の添加ではグラニュー糖よりも粘度が高くなった。テトラップでは BRIX, 比重, 粘度ともオラフティ GR やグラニュー糖よりも低かった。また、官能評価では 20%であっても甘さが摂食の許容範囲であり、テトラップの許容限界濃度 14%やグラニュー糖の許容限界濃度 6%よりも著しく多く添加できることが確認された。したがって、オラフティ GR はグラニュー糖と同じ BRIX や比重を確保しつつ、甘さに与える影響がすくないため、ヨーグルトミックスの BRIX や比重を目的に合わせて調整するのに適した食品素材であることが示唆された。

この結果を基に、ヨーグルトの表面に桜の花弁を浮かせたプレミアムヨーグルトの

開発を試みた。桜の花弁をヨーグルトミックスに浮かせるにはミックスの比重を桜の花弁よりも重くする必要があり、粘度もある程度、影響すると考えられる。試験の結果、桜の花弁を浮かせるためにテトラップでは 20%、グラニュー糖では 18%の添加量が必要であったのに対し、オラフティ GR では 12%の添加量で桜の花弁を完全に浮かすことが可能であった。この時のヨーグルトミックスの比重は 1.090、粘度は 19.1 mPa・S であり、一般的な牛乳の比重 1.027~1.035、粘度 1.7199~2.3961 mPa・S¹¹⁷⁾と比べてかなり高い値を示した。そこで、各糖質を 12%添加したときのヨーグルトミックスについて、比重、粘度、甘味度を比較した結果、同濃度の添加量では、オラフティ GR は最も比重や粘度が高く、甘味度が低いことが確認された。比重については、実験の結果、グラニュー糖でも添加量を多くすれば桜の花弁を浮かすことは可能であったが、甘さが強くなり過ぎて製品としては価値を損なうと考えられた。このことから、各種糖質での比重調整は甘さへの影響が大きく、不適であることが容易に推測され、比重の調整にはオラフティ GR などの食物繊維素材が適していることを示唆した。尚、この試験では比重が重要な要素であり、イヌリン鎖長の分布や平均重合度は重要ではない。したがって、オラフティ GR と同様にとちイヌリンを利用した場合でも同等の調整が可能であると考えられた。

5. ソーセージへの利用

ソーセージへのとちイヌリンの利用は、とちイヌリンの不足から検討できなかったため、とちイヌリンの代用としてオラフティ GR を用いて検討した。オラフティ GR 40%ゲルをソーセージミックスの豚脂と 100%代替すると、ソーセージミックスのエネルギーは約 40%に減少した (250 →103 kcal/100 g)。このことから、イヌリンゲルを脂肪代替で使用するの有用性が確認された。しかし、製造したソーセージの破断荷重は有意に増加し、内容物が柔らかくなってソーセージの破断に高い荷重を必要とすることが示唆された。イヌリンゲルをソーセージに添加するとその物性や食感が柔らかくなることは、Cáceres らがクックドミートソーセージで、García ら

がモルタデラで、Mendoza らが低脂肪乾燥発酵ソーセージで報告している¹¹⁸⁻¹²⁰。そこで、製品開発ではソーセージミックスに 3%のゼラチンと 3%の脱脂粉乳を添加し、物性の改良を試みた。この結果、対照としたオラフティ GR ゲル未添加のソーセージの硬さと同等にすることはできなかったが、かなりの改善が認められ、硬さを調整する目的でオラフティ GR ゲルを豚脂と 50%代替したソーセージよりも硬い物性を得ることができた。このことから、イヌリンゲルを脂肪代替で使用する際には他の食品素材の添加と併用することでソーセージの物性を良好に保つことが可能であると考えられ、物性を維持しながらエネルギーを低減させることが可能であることが示唆された。但し、イヌリンゲルの物性はイヌリン鎖長の分布により異なることが利用特性の評価により明らかとなっているため、とちイヌリンを用いた場合にはイヌリン鎖長の分布がオラフティ GR とは異なることから、製品開発においては改めて配合を検討する必要があると考えられた。

以上の結果から、とちイヌリンを利用した加工食品の開発は物性の改良や脂肪代替によるエネルギーの低減、ヨーグルトの比重調整等、幅広い用途での加工が可能だと考えられた。また、イヌリンは食物繊維としてプレバイオティクス素材でもあるため、添加量によっては、食物繊維の付与による健康機能性についても期待できると考えられた。

表 6-1 ソーセージミックスの配合

	無添加	40%オラフティ GRゲル		
		100%代替	改良区	50%代替
牛肉（赤身） (g)	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
豚脂 (g)	428.6	0.0	0.0	214.3
40%オラフティ GRゲル (g)	0.0	428.6	428.6	214.3
氷水 (g)	476.2	476.2	476.2	476.2
食塩 (g)	28.6	28.6	28.6	28.6
脱脂粉乳 (g)	0.0	0.0	35.7	0.0
ゼラチン (g)	0.0	0.0	35.7	0.0
カラーミン10N（発色剤） (g)	1.9	1.9	1.9	1.9
ウイナーW（結着剤） (g)	9.5	9.5	9.5	9.5
シヨ糖 (g)	9.5	9.5	9.5	9.5
ブラックペッパー (g)	7.6	7.6	7.6	7.6
ホワイトペッパー (g)	7.6	7.6	7.6	7.6
コリアンダー (g)	2.9	2.9	2.9	2.9
オールスパイス (g)	1.9	1.9	1.9	1.9
ローレル (g)	1.0	1.0	1.0	1.0
ナツメグ (g)	1.0	1.0	1.0	1.0
オラフティ GR終濃度 (%)	0	21.7	21.0	10.8

表 6-2 ソーセージスモーク条件

プログラム No./工程	時間 (分)	庫内温度 (°C)	庫内湿度 (%)	エアー 循環量	吸気 バルブ	排気 バルブ	スモーク バルブ
1 発色	15	46	99	1/2	close	close	close
2 乾燥	25	55	0	1/1	open	open	close
3 湿式燻煙	25	63	40	1/1	close	half	open
4 蒸煮	20	75	99	1/2	close	close	close
5 冷却	15	—	—	—	close	close	close

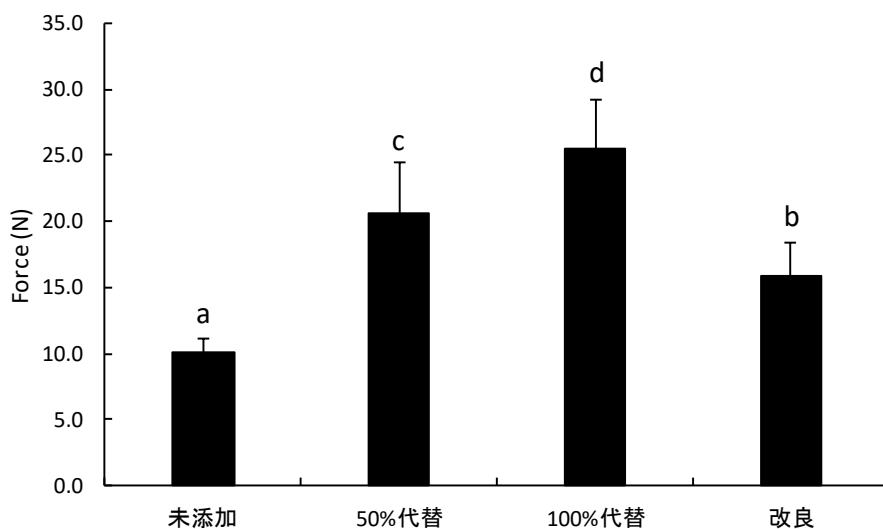


図 6-9 ソーセージミックスの豚脂を40%オラフティGRゲルと代替した時のソーセージ表皮の破断荷重（柔らかさ）

各種ソーセージの硬さの平均値(n=8)を示し、荷重が高いほど柔らかい。エラーバーは標準偏差を示す。
 a, b, c, d の異なる記号はTukey-Karmerの多重比較検定により有意差 (p<0.05)があることを示す。
 テクスチャアナライザーはTA-XT2i Plus (Stable Micro Systems)、プローブはレオメーター CR-200 D (サン科学) 用 No.34を専用アタッチメントで接続して用いた。

表 6-7 ソーセージの成分

	無添加	100%代替
エネルギー (kcal) ^b	250 ^a	103
水分 (%)	61.6	69.4
タンパク質 (%)	13.3	13.7
脂質 (%)	21.3	1.3
炭水化物 (%)	1.3	13.0
灰分 (%)	2.6	2.6
総食物繊維 (%) ^c	0.0	7.6

^a 数値は平均値(n=2)を示す。

^b エネルギーの計算はAtwaterの係数を用い、食物繊維は2 kcalとした。

^c プロスキーマ法により定量(n=3)した。

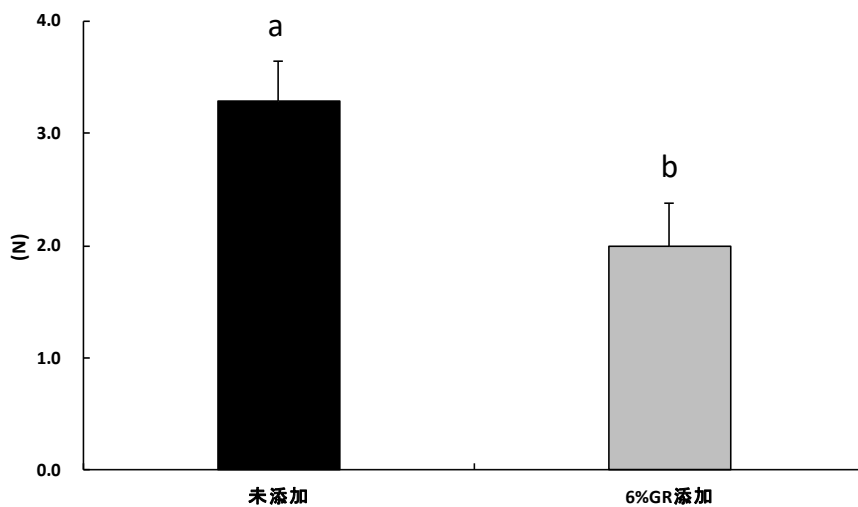


図 6-2 クリームチーズの硬さに対する6%オラフティGRの添加効果

クリームチーズの硬さ (n=10) の平均値の比較を示す。エラーバーは標準偏差を示す。a, b の異なる記号はTukeyの多重比較検定により有意差 (p<0.05) があることを示す。テクスチャーアナライザーはTA-XT2i Plus (Stable Micro Systems), プローブはレオメーターCR-200D (サン科学) 用 No.11を専用アタッチメントで接続して用いた。

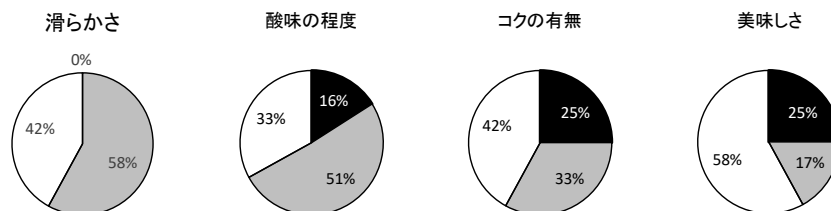


図 6-3 クリームチーズの試食アンケート調査結果

■は未添加の方が良いと回答, □はオラフティGR 6%を添加した方が良いと回答, □は両方に差はないと回答(n=12)。

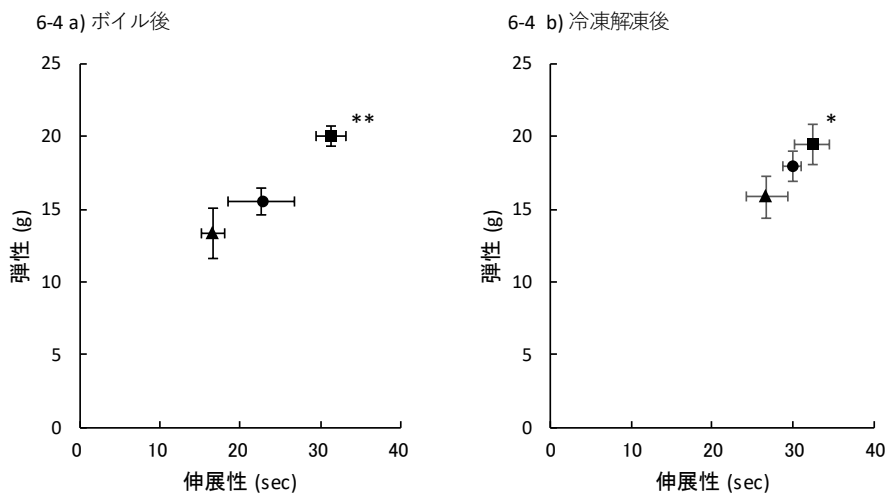


図 6-4 生パスタの物性に対するオラフティGRの添加効果

6-4 a はボイル後の測定値、6-4 b は冷凍解凍後の測定の平均(n=4)を示す。エラーバーは標準偏差を示す。
 ▲は未添加、●はオラフティGR 2%添加、■はグルテン 2%添加を示す。
 **, **は未添加と比較して、Tukey-Kramerの多重比較検定により有意差(p<0.05, p<0.01)があることを示す。

表 6-4 バタークッキーの水分と重量および厚さ

		水分 (%)	重量 (g/個)	厚さ (mm/個)
	無添加	4.5 ± 0.19 ^a	18.3 ± 0.68	12.6 ± 0.52
オラフティGR	3%	3.7 ± 0.16**	16.4 ± 0.74**	11.8 ± 0.47
	6%	3.2 ± 0.10**	16.3 ± 0.69**	11.7 ± 0.52**
	9%	3.4 ± 0.15**	17.3 ± 0.71**	11.4 ± 0.52**
オラフティHP	3%	4.4 ± 0.17	16.7 ± 0.50**	12.0 ± 0.63*
	6%	4.1 ± 0.15**	16.9 ± 0.39**	11.6 ± 0.67**
	9%	3.4 ± 0.17**	16.8 ± 0.82*	11.4 ± 0.52**

^a 数値は平均値±標準偏差を示す。

*** 未添加と比較して、Tukey-Kramerの多重比較検定により有意差(p<0.05, p<0.01)があることを示す。

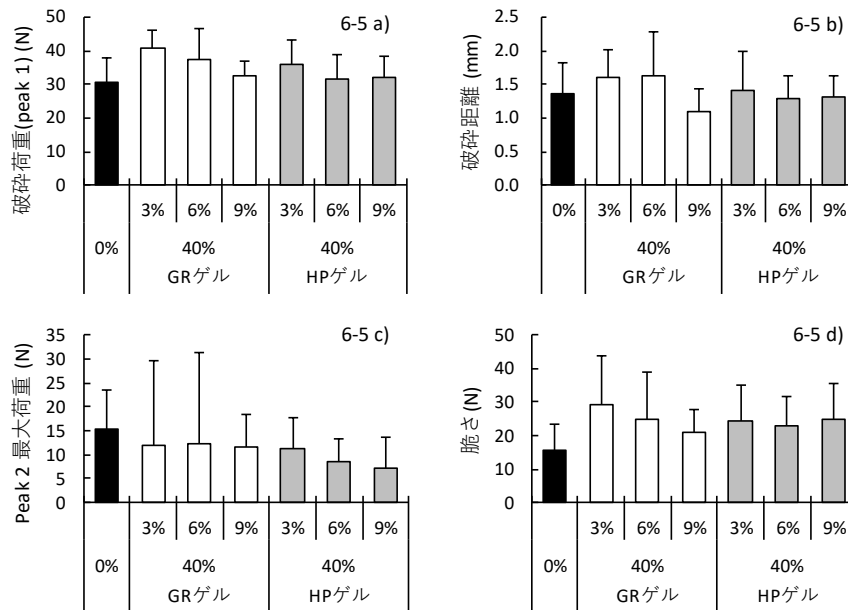


図 6-5 バタークッキーの物性に対するオラフティGRの添加効果

各種物性(n=10)の平均値の比較を示す。エラーバーは標準偏差を示す。
 *は未添加 (0%) と比較して、Tukey-Kramerの多重比較検定により有意差 (p<0.05)があることを示す。
 テクスチャーアナライザーはTA-XT2i Plus (Stable Micro Systems)、プローブはレオメーター CR-200 D (サン科学) 用 No.34を専用アタッチメントで接続して用いた。

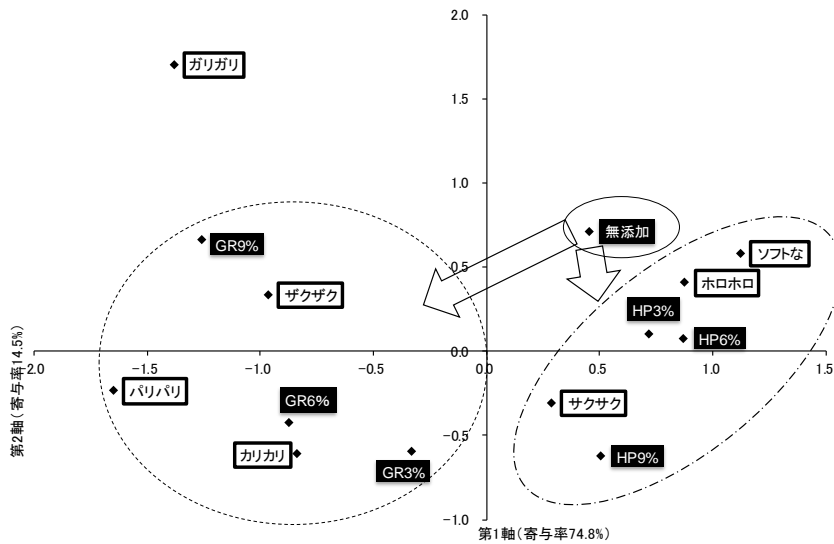


図 6-6 バタークッキーの官能評価におけるコレスポネンス分析

バタークッキーの食感について、主観的イメージを複数回答させた(n=10)。結果をクロス集計し、コレスポネンス分析を行った。

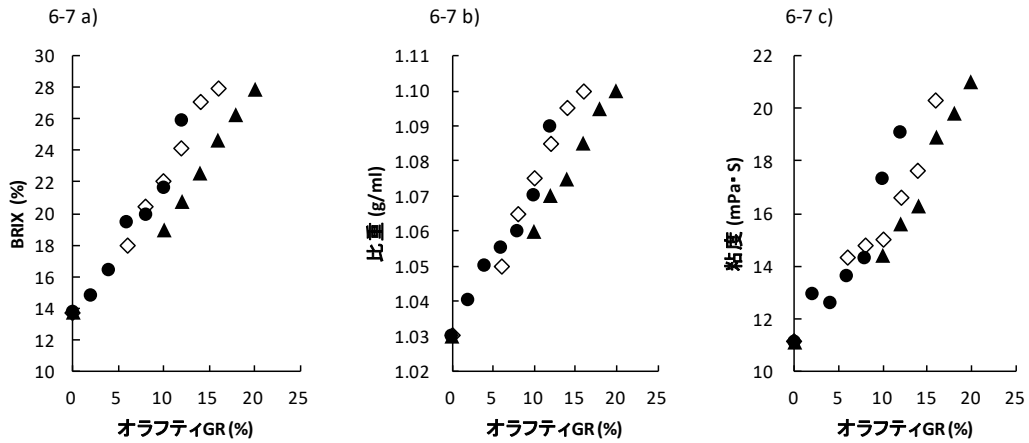


図 6-7 ヨーグルトミックスにおけるオラフティGRの添加効果

6-7a はヨーグルトミックスのBRIX変化, 6-7b は比重変化, 6-7c は粘度変化(n=1)を示す。
●はオラフティGR, ◇はグラニュー糖, ▲はテトラップを添加した時の変化を示す。

表 6-5 ヨーグルトミックスの官能評価による甘さ許容レベル

	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%
オラフティGR	○	○	○	○	○	○	○	○
グラニュー糖	△	×	×	×	×	×	×	×
テトラップ	○	○	○	○	△	×	×	×

パネル4名中, 3名が許容範囲としたものを摂取可能レベル○, 1名が許容範囲としたものを摂取不可レベル✖, 2名が許容範囲としたものを摂取判断困難レベル△として示す。

表 6-6 ヨーグルトミックスに対する桜の花弁の浮き具合

	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%
オラフティGR (回/回)	1/10	1/10	3/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10
グラニュー糖 (回/回)	1/10	1/10	1/10	2/10	5/10	10/10	10/10	10/10
テトラップ (回/回)	0/10	0/10	0/10	0/10	2/10	4/10	6/10	10/10

ヨーグルトミックスの表面に静かに桜の花弁を10回, 繰り返し浮かべ, 浮いた回数を示す。

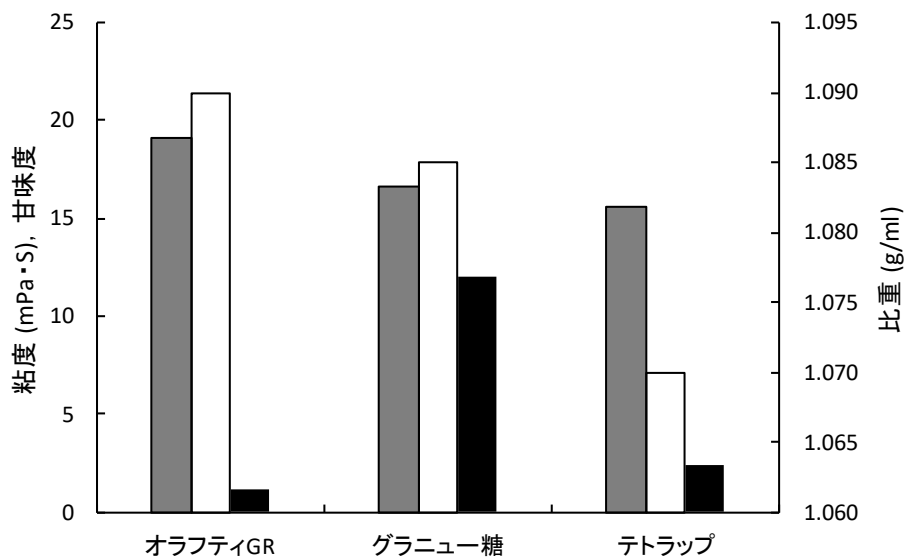


図 6-8 各糖質を12%添加した時のヨーグルトミックスの粘度, 比重, 甘味度

■は甘味度, □は比重, ▒は粘度(n=1)を示す。甘味度はグラニュー糖の甘さを100として, オラフティGRの甘さを10, テトラップの甘さを20とし, ヨーグルトミックスへの添加量から計算した。

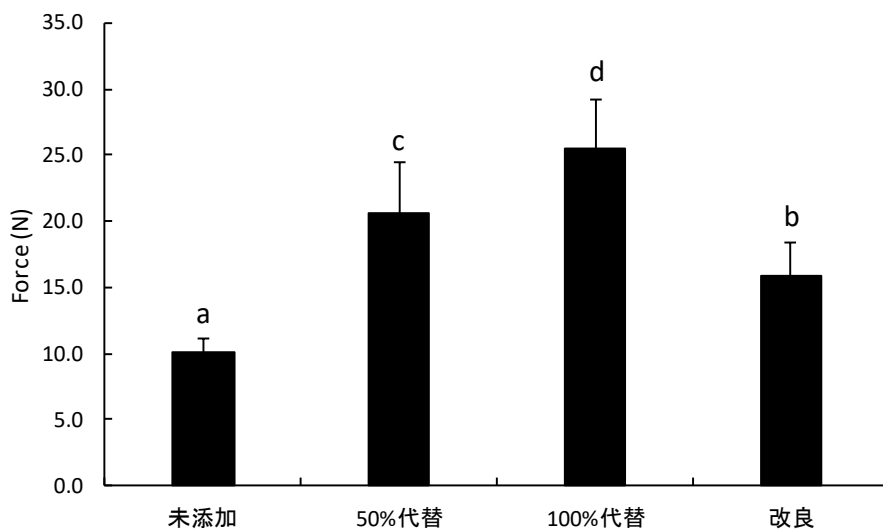


図 6-9 ソーセージミックスの豚脂を40%オラフティGRゲルと代替した時のソーセージ表皮の破断荷重（柔らかさ）

各種ソーセージの硬さの平均値(n=8)を示し、荷重が高いほど柔らかい。エラーバーは標準偏差。
 a, b, c, d の異なる記号はTukey-Karmerの多重比較検定により有意差 (p<0.05)あり。
 テクスチャアナライザーはTA-XT2i Plus (Stable Micro Systems)、プローブはレオメーター CR-200 D (サン科学) 用 No.34を専用アタッチメントで接続して用いた。

表 6-7 ソーセージの成分

	無添加	100%代替
エネルギー (kcal)	250	103
水分 (%)	61.6	69.4
タンパク質 (%)	13.3	13.7
脂質 (%)	21.3	1.3
炭水化物 (%)	1.3	13.0
灰分 (%)	2.6	2.6
総食物繊維 (%)	0.0	7.6

a 数値は平均値(n=2)。
 b エネルギーの計算はAtwaterの係数を用い、食物繊維は2 kcalとした。
 c プロスキーマ法により定量(n=3)した。

第7章 チコリイヌリン・ホエイ混合物による健常成人に対する排便状態 および腸内細菌叢への影響

第1節 緒言

現在の健常成人には便秘傾向を有する者が多い¹²¹⁾。便秘は食物繊維の不足または欠乏により最も早く発現する症状で、この状態が長く続くと腸疾患や代謝性疾患などの生活習慣病の誘因となるリスクが高く、食物繊維の摂取が推奨されている¹²²⁾。このため、食物繊維市場は近年、増大の一途¹²³⁾を辿り、十勝地域でも食物繊維市場を見据えた製品開発の必要性が感じられた。

一方で、現在、チーズ製造の副産物として分離されるホエイはホエイパウダーの他、乳糖、ホエイタンパク濃縮物(WPC)、ホエイタンパク分離物、ミルクカルシウムなど様々な製品が分画生産されている。しかし、これらの多くは大規模なチーズ生産時にのみ経済性を有し、小規模なチーズ製造におけるホエイ処理は以前から重要な課題となっている¹²⁴⁾。このため、小規模なチーズ製造においてはホエイを有効活用するために濃縮や乾燥を必要としない製品の開発が望まれている。

このような背景のもと、液体ホエイを活用した製品開発によるホエイの付加価値化を試みるにあたり、市場性の高い食物繊維素材との組合せに着目した。液体ホエイの固形分は一般に6~7%であり、そのうち乳糖が約70%、ホエイタンパク質が約13%含まれている¹²⁴⁾。乳糖やホエイタンパク質はプレバイオティクスとしての効果が報告されている¹²⁵⁻¹²⁶⁾ため、既に十分な検証がなされている食物繊維素材のプレバイオティクス効果との組合せに適していると考えられた。特に、水溶性食物繊維素材として、高濃度に溶解すると微細結晶によりクリーム状ゲルを形成するイヌリン¹²⁷⁾はホエイの製品開発において有利な特性を有し、その原料となるチコリは北海道の気候に適した栽培作物であるため、生鮮野菜としてのチコリの生産と、副産物であるチコリ根からのイヌリンの生産により、十勝地域の新たな産業創出が可能であると考えられた。

そこで筆者らは、液体ホエイにイヌリンを高濃度(40%)で溶解した食材であるイヌリン・ホエイ混合物 (MIW) を調製し、機能性を付与した食品素材を開発した。これにより、増大する食物繊維市場へ食物繊維が豊富な中間食品素材を新たに投入することが可能となり、且つ、大量の液体ホエイを消費することが可能で、小規模チーズ製造におけるホエイ処理を大幅に軽減することが期待できた。また、イヌリンを単に水に溶解したものよりも良好な風味を有し、イヌリンを予め混合したことで、調理において均一に混ざりやすいなど作業性が高く摂取しやすい食品素材となった。

イヌリンについては、Kleessen らがチコリイヌリンおよびキクイモイヌリンを含むスナック菓子（フラクタンとして 7.7 g/日）を成人男女に摂取させた結果、*Bifidobacterium* の増加や排便回数の増加などを確認し、腸内環境改善効果や便秘改善効果が期待できることを報告している¹²⁸⁾。このため、MIW は腸内環境改善効果が期待でき、便秘傾向を有する成人の便秘改善に適した食物繊維素材であると考えられた。しかし、イヌリンとホエイ中の成分の相互作用により効果が期待できなくなる可能性も考えられる。そこで、本試験では、便秘傾向を有する成人の便秘改善を目的として、MIW の摂取におけるヒトの腸内細菌叢および便秘に及ぼす影響について確認し、腸内環境改善効果を有するか検討した。

第 2 節 実験方法

1. 試験食品

対照食品は被験食品と同等の物性を有するよう工夫し、水に α 化デンプン（コーンアルファー、三和澱粉工業、橿原、日本）5%、グラニュー糖（日本甜菜製糖）4%となるよう添加し、65℃で加温溶解した後、包装容器に 15 g 充填してから 70℃、30 分の殺菌を経て冷却したものをゲル状の α 化デンプン・ショ糖水溶液（以下プラセボ食とする）として調製した。被験食品は水溶性食物繊維であるイヌリンを 40%含む MIW を使用した。製造方法は、チーズ工場から排出される液体ホエイにイヌリン粉末（オラフティ GR, DKSH ジャパン）を 40%となるよう添加し、65℃で加温溶解した後、

包装容器に 15 g 充填してから 70℃, 30 分の殺菌を経て冷却したものを MIW 食として調製した。

プラセボ食と MIW 食の成分組成を表 7-1 に示した。

2. 被験者と試験計画

本試験は 20 歳以上 70 歳未満の男女のうち、排便日数が 1 週間当たり 2 日以上 5 日以下¹²⁹⁾に該当する便秘傾向の健常成人を対象者とした。本試験の被験者となることを自発的に志願した被験者候補に対し、研究内容、方法、予測されるリスクおよび利益、健康被害に対する補償、プライバシー保護に関する事項等について記載した文書を交付のうえ研究の趣旨および内容を十分説明し、本人の自由意志に基づく同意文書を得たうえで事前検査に参加させた。事前検査で得られた排便アンケート、既往歴、現病歴などの背景情報、身体測定、臨床検査、医師診察等の結果から、試験責任医師が表 7-2 の除外基準に該当しないと認めた 20 名（男女比 1:1、体格指数(BMI) $22.3 \pm 3.34 \text{ kg/m}^2$) を被験者として選抜した。

選抜された被験者の年代、性別を平準化し(平均年齢 48.1 ± 10.7 , 男女比 1:1)、事前アンケートによる排便回数を指標として層別無作為化法により 2 群に分けた。試験スケジュールは図 7-1 に示すとおり、はじめに前観察期間として試験食品の非摂取期間を 14 日間設定し、続いて摂取期間としてプラセボ食、または MIW 食を朝夕 1 日 2 回、1 食当たり 15 g/袋を 28 日間摂取させた。尚、試験食品がプラセボ食か MIW 食であるかを被験者に告知せず、無作為二重盲検並行群間比較試験として実施した。身体計測、採血および糞便試料の採取時期は、前観察期間を終了した摂取開始 0 日と試験食品の摂取期間を終了した摂取開始 28 日に実施した。

尚、本試験は宮脇整形外科医院治験審査委員会の承認後、被験者の同意を取得し、試験全般においてヘルシンキ宣言に基づく倫理的原則および試験計画書を遵守して実施した。

3. 試験期間中の制限食品と試験開始後の被験者除外基準

本試験では試験期間中に通常の食事からの影響を最小限にするため、試験に影響を及ぼす可能性がある食品および医薬品を制限した。すなわち、事前検査日から試験終了時まで整腸作用を標榜する特定保健用食品や、食物繊維類を関与成分とする特定保健用食品およびヨーグルトや納豆等の発酵食品の摂取を禁止し、毎日の被験者日誌においてこれらの摂取物の有無について食品の名称や摂取量を被験者に記録させた。また、便秘薬、整腸剤、抗菌剤の服用を原則禁止し、やむを得ず使用した場合は薬剤名、用法・用量、摂取期間および処方理由を記録した。野菜やキノコなどの食物繊維を含む食材については日常摂取の範囲で自由摂取とした。

試験後の被験者の除外は、毎日の被験者日誌から整腸作用および腸内細菌叢の改善を標榜する食品および医薬品類の利用制限の逸脱の有無と試験食品の摂取回数が90%未満の被験者を基準とした。

4. 身体計測、採血および糞便試料の採取

身体計測と採血は医療機関で実施し、身体計測は身長、体重、体脂肪率を計測し、身長と体重の測定結果から BMI を算出した。さらに体温、収縮期と拡張期の血圧、脈拍を測定した。採血した血液は生化学検査を実施し、総タンパク質、ALB、総ビリルビン、AST、ALT、ALP、LDH、 γ -GTP、ロイシンアミノペプチターゼ(LAP)、アミラーゼ、空腹時血糖、総コレステロール、HDL-コレステロール、LDL-コレステロール、中性脂肪、遊離脂肪酸、尿酸、尿素窒素、クレアチニン、ナトリウム、カリウム、塩素、カルシウム、HbA1c/NGSP、HbA1c/JDS、グリコアルブミン)を測定した。糞便の採取は被験者が自ら行い、1回分全量をポリ袋に採取させた。その後、保冷剤で低温を維持させた状態で必要量を分取し、冷凍保存(-40℃)にて分析まで保存した。

5. 被験者日誌と排便アンケート調査

被験者には毎日の生活日誌の記入を依頼し、生活習慣、試験食品摂取の有無、他の

健康食品や発酵食品といった禁止食品および医薬品類摂取の有無，自覚症状について調査した。同時に，毎日の排便アンケートへの記入を依頼し，排便状況，糞便性状について調査した。排便状況では排便回数，排便毎の排便量および爽快感を調査し，排便量はアンケート用紙に記載した実物大模式図（直径 4cm のピンポン玉 1 個分）の倍数を 0.5 刻みで目測して記録させ¹²⁹⁾，爽快感は 1：スッキリ 2：ややスッキリ 3：普通 4：不快，として点数を記録させた。糞便性状では便の形状，においおよび色を調査し，便の形状はアンケート用紙に記載した指標となる図を参考に 1：コロコロ状 2：カチカチ状 3：バナナ状 4：半練状 5：泥状 6：水状，として記録させた¹³⁰⁾。においは被験者の前観察期間と比較して 1：強い 2：普通 3：弱い，を点数として記録させ，色は予め見本（カラーガイド第 16 版，DIC グラフィックス，東京，日本）を提示して A：黄色(241) B：黄土色(321) C：淡茶色(308) D：茶色(311) E：こげ茶色(647) F：黒色(582)として記載させて A を 1 点，F を 6 点として色スコアを解析した¹³¹⁾。アンケート調査の比較は前観察期間の 14 日間と摂取期間の 28 日間の排便毎の平均を算出して比較した。

6. 腸内細菌叢の分析

腸内細菌叢の解析は摂取 0 日目と摂取 28 日目に糞便を回収し，terminal restriction fragment length polymorphism (T-RFLP) により各系統分類群のおおまかな相対比の解析を行った。糞便試料の分析は，Nagashima らの方法^{132,133)}によって実施された。

被験者の各糞便試料から DNA を抽出し，細菌の 16S rDNA (16S rRNA 遺伝子) を，蛍光標識プライマーを用いて PCR で増幅した後，制限酵素で切断して菌種ごとに異なる長さの標識断片を DNA シーケンサー (ABI PRISM 3130xl, Applied Biosystems, CA, USA) および解析ソフト (Gene Mapper, Applied Biosystems) を用いて解析した。DNA シーケンサーにより得られたフラグメント解析結果は，同じフラグメント長のもを同一の operational taxonomic unit (OTU) として判断し，検体中の主要な分類群の簡易的な推定を実施した。

OTU に対して推定される分類群はヒト腸内フローラデータベース¹³⁾に基づき分類し、そのうち *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Anaerococcus*, *Fusobacterium* については現在、分類体系が整理されていないため、*Clostridium cluster*¹³⁴⁾ごとに分けて整理し、さらに推定された菌の分類群毎に総ピーク面積に対する各 OTU のピーク面積比を求め、占有率として表した。

7. 統計解析

排便アンケートの結果は排便回数については1週間あたりの回数を、その他の項目については1回あたりのスコアを中央値（最小値，最大値）で示した。T-RFLP の解析結果は各 OTU の占有率%で示し、各測定値を平均値±SD で示した。排便アンケートおよび腸内細菌叢解析結果の有意差検定において、群間比較には Wilcoxon の順位和検定を用い、摂取前後の比較には Wilcoxon の符号順位和検定を用いた¹³¹⁾。

第3節 実験結果

1. 有効被験者数

試験期間中、被験者の中止・脱落例は見られず、全ての被験者が試験を終了し、便秘薬、整腸剤および抗菌剤などの服用や整腸作用を標榜する特定保健用食品、食物繊維を関与成分とする特定保健用食品および腸内細菌叢に影響を与える乳製品や納豆等の発酵食品の利用禁止に対する逸脱もなかった。試験食品の摂取回数における摂取率はプラセボ食群で 99.4%、MIW 食群で 98.9%であった。このため、被験者の除外はなく有効被験者数は 20 名（男性 10 名および女性 10 名）であった。

2. 有害事象

試験食品摂取期間中において、プラセボ食群 1 名および MIW 食群 2 名に、風邪による軽度の腹痛が報告され、プラセボ食群 2 名に、生理による軽度の腹痛、軽度の嘔吐が報告された。これらは被験者の自己申告および来院時の診察所見から試験責任医

師により試験食品摂取との因果関係はないと判断された。

3. 身体計測および血液生化学成分

身体計測および血液生化学成分の結果を表 7-3, 7-4 に示した。前観察期間と摂取期間を比較した結果、プラセボ食群と MIW 食群のいずれにおいても摂取前後の数値に有意差は認められなかった。

4. 排便状況および糞便性状

排便状況および糞便性状の結果を表 7-5 に示した。前観察期間の 14 日間の調査では 1 週間当たりの便回数および 1 回当たりの排便量、爽快感、便形状、におい、色の全項目においてプラセボ食群と MIW 食群の両群間に有意差は認められなかった。摂取期間の 28 日間において、1 週間当たりの排便回数は、両群間比較ではプラセボ食群に比べて MIW 食群で有意に($p<0.05$)に増加した。また、両群ともに前観察期間と比べて有意($p<0.05$ および $p<0.01$)に排便回数が増加した。1 回当たりの便形状は、両群間比較では有意差は認められなかった。しかし、プラセボ食群では前観察期間と有意差が認められなかったのに対し、MIW 食群では有意差が認められ($p<0.05$)、「カチカチ状」から「バナナ状」への変化が見られた。爽快感は、両群間比較では有意差は認められなかった。しかし、プラセボ食群では前観察期間と有意差が認められなかったのに対し、MIW 食群では有意差が認められ($p<0.01$)、「普通」から「ややスッキリ」への変化が見られた。排便量、色、においは、両群間比較で有意差は認められず、両群ともに前観察期間と有意差は認められなかった。

5. 腸内細菌叢

腸内細菌叢の結果を表 7-6 に示した。前観察期間を終了した摂取開始 0 日の結果ではプラセボ食群と MIW 食群の両群間で *Clostridium cluster XI* に有意差が認められ、MIW 食群で有意($p<0.01$)に少なかった。他の細菌叢には有意差は認められなかった。

摂取期間を終了した摂取開始 28 日の結果においては、両群間比較ではプラセボ食群に比べて MIW 食群で *Clostridium* cluster XI が有意 ($p<0.05$) に少なく、他の細菌叢に有意差は認められなかった。一方で、プラセボ食群では摂取開始 0 日と比べて有意差は認められなかったが、MIW 食群では摂取開始 0 日と比べて *Bifidobacterium*, *Lactobacillales* order が有意 ($p<0.01$ および $p<0.05$) に増加し、*Clostridium* subcluster XIVa が有意 ($p<0.01$) に減少した。

第 4 節 考察

浦尾¹³⁵⁾によれば、便秘とは排便の頻度が週 2 回以下で、便が硬く、排便困難、残便感がある状態を指す。このような症状に対し、各種オリゴ糖や食物繊維、発酵乳の摂取によりビフィズス菌等の有用菌を優勢にすることが、腸内環境を改善し、便性の改善に効果が期待できると報告されている¹³⁶⁻¹⁴⁰⁾。

本試験において、筆者らは 1 週間当たりの排便日数が 2 日以上 5 日以下の者を便秘傾向を有する者とし、イヌリンを高濃度に溶解した MIW (イヌリン含有量 40%) を調製して、MIW にヒトの便通および腸内細菌叢に及ぼす効果があるかを検討した。

身体計測および血液生化学成分の結果では、プラセボ食群、MIW 食群のいずれも摂取前後の数値に有意差は認められず、これらの測定値はすべて正常値を維持していることから、健常成人に対するプラセボ食および MIW の摂取による悪影響は見られなかったと考えられる。次に、摂取後の群間比較においてプラセボ食群に比べて MIW 食群では有意な排便回数の増加が認められた。しかし、便性状スコアではやや改善の傾向を示したものの有意差は認められなかった。本試験で採用した T-RFLP 法による腸内細菌叢の解析では、菌数の定量的な把握は不可能であるが、腸内細菌叢の菌種の推定と、推定された菌の占有率を明らかにすることができる。腸内細菌叢は、摂取後の群間比較においてプラセボ食群と MIW 食群には *Clostridium* cluster XI にのみ有意差が認められた ($p<0.05$) が、摂取前の群間比較においても両群間に有意差が認められる ($p<0.01$) ことから、MIW の摂取による影響ではないと考えられた。その他の細菌

には有意差が認められなかった。

MIW の調製に使用したホエイ中には乳糖やホエイタンパク質の他、乳酸や乳酸菌の死菌体を含んでおり¹²⁴⁾、中でも乳糖やホエイタンパク質はプレバイオティクスとしての効果が報告されている^{125,126)}。乳糖による腸内細菌叢の変化は、Francavilla らがアレルギーの幼児に 3.8%の乳糖を含むホエイタンパク調製物を 2 か月間摂取させると、腸内細菌叢に変化を与え、*Bifidobacteria* と *Lactic acid bacteria* が有意に増加し($p<0.01$)、*Bacteroides/Prevotella* や *E.rectale/C.coccoides* が有意に減少する($p<0.05$)と報告している¹⁴¹⁾。また、ホエイタンパク質による腸内細菌叢の変化については、岩附らが健常成人男女に WPC を 1 日 1 回 10 g を 8 週間摂取させると、FISH 法による腸内細菌叢の解析の結果、*Lactobacilli* の有意な増加($p<0.01$)や *C. perfringens* の有意な減少($p<0.01$)を報告している¹⁴²⁾。

加えて、MIW の調製に使用したイヌリンは腸内細菌叢を改善し、排便状態を改善することが多くの報告で知られている^{125,128,143-149)}。Marteau らは便秘症状を有するボランティアがチコリ由来天然イヌリンを毎日 15 g 摂取することにより、プラセボ食に比べて *Bifidobacterium* の有意な増加($p<0.01$)と排便困難の減少を報告している¹⁴⁷⁾。これらの報告から、本試験に使用した MIW においても腸内細菌叢の変化や排便状態の改善が期待されたが、腸内細菌叢にプラセボ食群と MIW 食群の間で有意差は見られなかった。

本試験に供試した MIW のホエイタンパク質含有量は 0.5%であり、本試験におけるその摂取量は 1 日あたり 0.15 g であるのに対し、岩附らの試験²²⁾における 1 日あたりの乳清タンパク質の摂取量は 10 g であるため、本試験におけるホエイタンパク質の摂取量と比べるとかなり多い。また、本試験において MIW にイヌリンが 40%配合されていることから、1 日あたりイヌリン 12 g を摂取している計算となり、Roberfroid ら¹⁴⁸⁾がイヌリンを 8 g / day 以上 (2 週間, 8 名) 摂取した場合に腸内細菌叢の改善効果があると結論づけた量よりも多い。従って、MIW の摂取によるホエイタンパク質の摂取量は岩附らの報告¹⁴²⁾より少ないが、イヌリンについては十分量を摂取して

いると考えている。それにも関わらず、腸内細菌叢に変化が見られなかった要因については不明であるが、イヌリンとホエイ中の成分の相互作用により、効果が減少した可能性も否定できない。

しかし、今回の試験では、摂取後の群間比較において MIW 食群とプラセボ食群間で排便回数は有意に増加した。この結果は Waitzberg ら¹⁴⁹⁾が便秘傾向を有する女性にイヌリンとグアガム加水分解物の混合物を摂取させた結果、腸内細菌叢の *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* に変化を認めない一方で、便回数が増加したことと一致する。Waitzberg らはその理由として、試験食品の摂取による *Clostridium* sp. の有意な減少($p<0.05$)が排便回数の増加につながったと推察している¹⁴⁹⁾。参考として MIW の摂取前後を比較すると、摂取後に *Bifidobacterium*, *Lactobacillales* order の有意な増加($p<0.01$ および $p<0.05$)と、*Clostridium* subcluster XIVa の有意な減少($p<0.01$)が認められる一方で、プラセボ食群では全ての菌群で摂取前後に有意差は認められなかった。このことは、便性状の結果についても同様で、摂取前後を比較するとプラセボ食群では便性状に有意差が認められないのに対し、MIW 食群では摂取後に糞便形状や爽快感で有意な改善が認められた。Schneider らは食物繊維素材の摂取により糞便の総細菌数と短鎖脂肪酸が増加することを報告しており¹⁵⁰⁾、総細菌数の増加が排便回数に関与している可能性も考えられる。一方で、本試験に使用したイヌリンについては Kolida らが毎日 15 g を 15 日間摂取しても総細菌数に変化は見られなかったと報告している²⁶⁾。本試験では被験者数が少なかったため、腸内細菌叢に群間差は観察されず、前後比較においても総細菌数を測定していないため、MIW 食群の排便回数の増加に対する腸内細菌の関与を明確にできなかった。しかし、*Bifidobacterium* と *Lactobacillales* の増加や *Clostridium* subcluster XIVa の減少が排便回数の増加に関与している可能性が考えられるため、今後、これらの細菌の排便への関与を調べる必要がある。腸内細菌叢の変化は、前後比較での有意な差だけでは MIW による明確な影響を示すことができなかったため、今後、より多くの被験者数や長期の摂取期間での試験を実施することが必要と考えられる。また、今回の試験で

は液体チーズホエイ単独の摂取群やイヌリン単独の摂取群との比較をしていないため、MIW の摂取についての影響しか検討できなかった。今後、これらの比較試験による詳細な検討や液体チーズホエイとイヌリンの相互作用についても検討が必要と考えられる。

結論として、液体チーズホエイとイヌリンを混合した MIW には、ホエイ中の成分とイヌリンの相殺的な作用は認められず、MIW の摂取は報告されている乳糖やホエイタンパク質、あるいはイヌリンの単独摂取による効果と同様に便通の改善が期待できると考えられた。

表 7-1 試験食の一般成分

	プラセボ食 ^b	MIW食 ^c
エネルギー (kg/day)	11 ^a	31
たんぱく質 (g/day)	0.0	0.2
脂質 (g/day)	0.0	0.1
炭水化物 (g/day)	2.7	12.7
ナトリウム (mg/day)	0.0	0.0

被験者を2群(各n=10)に分け、1食あたり15gを1日2回、28日間摂食させた。

^a 数値は平均値(n=2)を示す。

^b プラセボ食は5%(w/v)α化でんぷん-4%(w/v)シヨ糖水溶液を調製した。

^c MIW食は40%(w/v)オラフティGR-液体ホエイ溶液を調製した。

表 7-2 被験者条件の除外基準

1. 排便回数が週2回未満または週5回以上
2. 試験に影響する可能性のある医薬品、特定保健用食品、健康食品等を常用している者
3. 試験期間中に発酵食品を摂食した者
4. 指定日程枠で糞便を採取し、指定搬入場所まで持参できない者
5. 通常の便性状が下痢症状を呈している者
6. 薬物及び食物アレルギーのある者、乳糖不耐症の者
7. 過度の喫煙者、アルコール多飲者、食生活が極度に不規則な者
8. 肝臓、腎臓、心臓、肺等に重篤な既往のある者、罹患者
9. 胃腸管部位の切除・縫合等、消化器官に大きな手術歴のある者（盲腸切除を除く）
10. 摂取開始前12週間以内に400 ml献血か4週間以内に200 ml献血、または2週間以内に成分献血（血漿成分献血及び血小板成分献血）を行った者
11. 交代制勤務者、深夜勤務者
12. 試験期間中に妊娠を希望する者、妊婦（妊娠している可能性のある場合を含む）あるいは授乳中の者
13. 他の試験に参加中あるいは試験終了4週間以内の者
14. その他、試験責任医師により本試験参加に不適切と診断された者

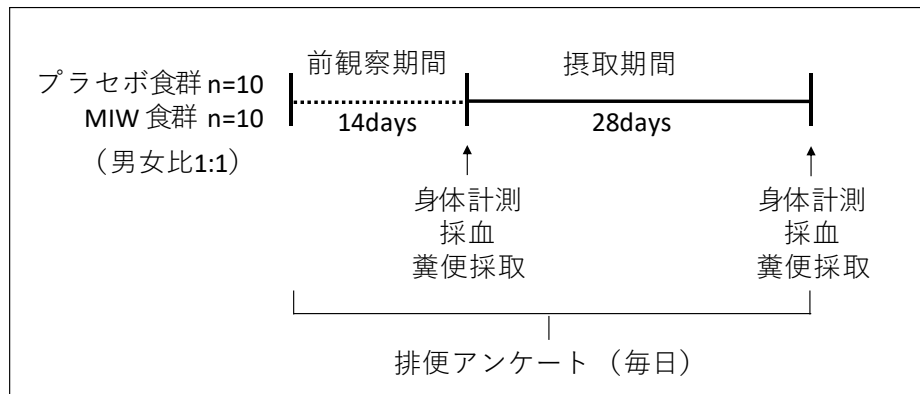


図 7-1 試験計画

被験者は1週間当たり2日以上5日以下に該当する便秘傾向の20歳以上、70歳未満の健康な成人男女20人を対象とした。被験者の年代、性別を平準化(男女比1:1)し、層別無作為化法によりプラセボ食群とMIW食群の2群に分けた。14日間の前観察期間の後、プラセボ食、あるいはMIW食を被験者に告知せずに摂取期間中28日間摂取させ、無作為二重検並行群間比較試験を実施した。

表 7-3 摂取28日後の被験者の体重、体脂肪率、体温、BMI、血圧、心拍数

	プラセボ食 ^a		MIW食 ^b	
体重 (kg)	摂取前	62.3 ± 12.6 ^c	60.4 ± 12.5	
	摂取後	62.5 ± 12.8	60.5 ± 12.9	
体脂肪率 (%)	摂取前	23.5 ± 4.67	26.4 ± 6.63	
	摂取後	23.7 ± 5.38	26.4 ± 6.18	
体温 (°C)	摂取前	36.1 ± 0.56	36.1 ± 0.37	
	摂取後	36.2 ± 0.38	36.0 ± 0.29	
体格指数(BMI) (kg/m ²)	摂取前	22.1 ± 3.61	22.4 ± 3.26	
	摂取後	22.2 ± 3.68	22.4 ± 3.43	
収縮期血圧 (mmHg)	摂取前	122 ± 17.1	116 ± 17.0	
	摂取後	120 ± 20.9	116 ± 14.5	
拡張期血圧 (mmHg)	摂取前	74.9 ± 12.3	72.5 ± 11.8	
	摂取後	71.9 ± 13.8	71.5 ± 12.5	
心拍数 (回/min)	摂取前	67.2 ± 5.75	69.3 ± 12.3	
	摂取後	69.5 ± 7.29	69.3 ± 10.7	

^a プラセボ食は5%(w/v)α化でんぷん-4%(w/v)ショ糖水溶液を調製した。

^b MIW食は40%(w/w)オラフティGR-液体ホエイ溶液を調製した。

^c 数値はそれぞれ平均値±SDで示す。

表 7-4 摂取28日後の被験者の血液生化学検査

		プラセボ食 ^a		MIW食 ^b	
Total protein (g/dL)	摂取前	7.33	± 0.40 ^c	7.36	± 0.42
	摂取後	7.32	± 0.30	7.34	± 0.34
ALB (g/dL)	摂取前	4.35	± 0.20	4.26	± 0.32
	摂取後	4.30	± 0.17	4.26	± 0.41
Total bilirubin (mg/dL)	摂取前	1.11	± 0.35	0.85	± 0.32
	摂取後	0.91	± 0.17*	0.80	± 0.31
AST (U/L)	摂取前	17.8	± 2.50	20.3	± 6.10
	摂取後	18.1	± 2.70	21.2	± 10.0
ALT (U/L)	摂取前	16.4	± 4.60	14.9	± 3.37
	摂取後	18.6	± 6.20	14.3	± 2.83
ALP (U/L)	摂取前	198	± 54.8	221	± 61.4
	摂取後	204	± 62.6	228	± 74.5
LDH (U/L)	摂取前	162	± 24.0	172	± 30.0
	摂取後	161	± 26.0	172	± 22.6
γ-GTP (U/L)	摂取前	19.9	± 11.4	24.6	± 16.5
	摂取後	20.2	± 10.1	22.8	± 15.2
LAP (U/L)	摂取前	45.0	± 4.00	47.3	± 9.20
	摂取後	45.5	± 5.50	47.3	± 8.50
Amylase (U/L)	摂取前	74.4	± 13.9	80.8	± 26.7
	摂取後	74.6	± 13.6	79.4	± 22.9
Blood glucose (mg/dL)	摂取前	85.3	± 6.60	85.9	± 7.50
	摂取後	87.0	± 6.40	84.0	± 6.40
Total cholesterol (mg/dL)	摂取前	193	± 18.1	193	± 27.2
	摂取後	196	± 16.2	202	± 28.2
HDL - cholesterol (mg/dL)	摂取前	59.7	± 16.6	66.6	± 16.7
	摂取後	59.3	± 15.0	66.1	± 17.8
LDL - cholesterol (mg/dL)	摂取前	119	± 29.1	113	± 29.5
	摂取後	119	± 27.3	119	± 29.1
Triglyceride (mg/dL)	摂取前	84.5	± 53.5	66.4	± 44.9
	摂取後	95.1	± 62.7	83.3	± 67.1
Free fatty acid (mEq/L)	摂取前	0.49	± 0.23	0.45	± 0.21
	摂取後	0.47	± 0.15	0.47	± 0.17
Uric acid (mg/dL)	摂取前	4.93	± 1.48	4.85	± 1.04
	摂取後	4.87	± 1.45	4.66	± 0.75
Urea nitrogen (mg/dL)	摂取前	14.3	± 3.29	14.5	± 4.74
	摂取後	13.8	± 3.09	14.0	± 3.18
Creatinine (mg/dL)	摂取前	0.70	± 0.11	0.65	± 0.10
	摂取後	0.70	± 0.11	0.66	± 0.10
Na (mEq/L)	摂取前	141	± 1.20	140	± 1.00
	摂取後	140	± 1.60	140	± 1.40
K (mEq/L)	摂取前	4.38	± 0.40	4.32	± 0.39
	摂取後	4.47	± 0.39	4.47	± 0.33
Cl (mEq/L)	摂取前	103	± 1.50	103	± 2.00
	摂取後	102	± 1.60	103	± 2.10
Ca (mEq/L)	摂取前	9.07	± 0.29	9.00	± 0.45
	摂取後	8.93	± 0.26	8.99	± 0.41
HbA1c/NGSP (%)	摂取前	5.04	± 0.15	5.23	± 0.30
	摂取後	5.09	± 0.20	5.28	± 0.25
HbA1c/JDS (%)	摂取前	4.73	± 0.13	4.89	± 0.26
	摂取後	4.77	± 0.18	4.94	± 0.21
Glycoalbumin (%)	摂取前	14.3	± 1.11	14.4	± 1.13
	摂取後	14.6	± 1.03*	14.5	± 1.26

^a プラセボ食は5%(w/v) α化でんぷん-4%(w/v)シヨ糖水溶液を調製した。

^b MIW食は40%(w/v)オラフティGR-液体ホエイ溶液を調製した。

^c 数値はそれぞれ平均値±SDで示す。

* 摂取前後についてWilcoxonの符号和順位検定により有意差(p<0.05)があることを示す。

表 7-5 摂取28日後の被験者の排便回数、糞便性状およびスッキリ感

	プラセボ食 ^a	MIW食 ^b	p値 ^c
排便回数 (回/週)	摂取前 4.0 (3.3, 6.0) ^d 摂取後 4.0 (3.4, 6.3)	4.5 (3.2, 6.5) 6.1 (4.3, 8.0)**	0.063 0.013
糞便量 (単位/回)	摂取前 3.3 (2.3, 5.9) 摂取後 2.9 (2.3, 6.0)	3.2 (1.7, 5.7) 3.4 (1.7, 5.3)	0.878 0.919
糞便の色 (点/回)	摂取前 2.9 (1.7, 3.7) 摂取後 3.1 (1.9, 3.9)	2.9 (1.9, 3.3) 3.0 (1.8, 4.3)	0.541 0.203
糞便の形状 (点/回)	摂取前 2.8 (2.0, 3.6) 摂取後 2.9 (1.4, 3.8)	2.9 (2.2, 3.7) 3.3 (1.3, 3.9)*	0.799 0.333
糞便の臭い (点/回)	摂取前 1.9 (1.5, 2.6) 摂取後 2.0 (1.0, 2.4)	2.0 (1.6, 2.4) 2.0 (1.2, 2.6)	0.575 0.767
スッキリ感 (点/回)	摂取前 2.6 (1.2, 3.1) 摂取後 2.8 (1.7, 3.0)	2.3 (1.8, 3.0) 2.3 (1.3, 3.0)**	0.236 0.866

^a プラセボ食は5%(w/v)α化でんぷん-4%(w/v)シロ糖水溶液を調製した。

^b MIW食は40%(w/v)オラファティGR-液体ホエイ溶液を調製した。

^c プラセボ食群とMIW食群間のp値をWilcoxonの順位検定により求めた。

^d 数値はそれぞれ中央値(最小値, 最大値)を示す。

*, ** 摂取前後の平均値についてWilcoxonの符号順位検定により有意差(p<0.05, p<0.01)があることを示す。

表 7-6 摂取28日後の被験者の腸内細菌叢

		占有率 (%)		p 値 ^c
		プラセボ食 ^a	MIW食 ^b	
<i>Lactobacillales</i> order	摂取前	12.8 ± 16.9 ^d	7.00 ± 8.96	0.799
	摂取後	11.9 ± 14.2	11.2 ± 11.8*	0.647
<i>Bifidobacterium</i>	摂取前	21.9 ± 12.7	17.6 ± 10.7	0.203
	摂取後	26.8 ± 11.0	34.7 ± 14.7**	0.799
<i>Bacteroides</i>	摂取前	6.67 ± 7.03	12.5 ± 9.99	0.168
	摂取後	8.30 ± 6.40	10.3 ± 9.14	0.799
<i>Prevotella</i>	摂取前	0.00 ± 0.00	0.90 ± 2.21	0.593
	摂取後	0.00 ± 0.00	0.15 ± 0.34	1.000
<i>Clostridium</i> cluster IV	摂取前	8.84 ± 4.20	7.92 ± 5.58	0.959
	摂取後	8.32 ± 5.93	6.01 ± 5.22	0.594
<i>Clostridium</i> subcluster XIVa	摂取前	33.1 ± 12.7	39.7 ± 18.2	0.333
	摂取後	26.2 ± 11.0	24.7 ± 17.6**	0.647
<i>Clostridium</i> cluster XI	摂取前	7.16 ± 8.83	0.95 ± 1.85	0.037
	摂取後	10.8 ± 9.38	3.22 ± 6.25	0.047
<i>Clostridium</i> cluster XVIII	摂取前	1.29 ± 2.01	3.62 ± 4.97	0.401
	摂取後	2.26 ± 4.29	2.44 ± 4.18	0.484
others	摂取前	8.23 ± 2.17	9.83 ± 8.19	0.879
	摂取後	5.37 ± 2.51	7.33 ± 5.40	0.799

^a プラセボ食は5%(w/v) α化でんぷん-4%(w/v) ショ糖水溶液を調製した。

^b MIW食は40%(w/v) オラフティ GR-液体ホエイ溶液を調製した。

^c プラセボ食群とMIW食群間のp値をWilcoxonの順位検定により求めた。

^d 数値はそれぞれ平均値±SDで示す。

*,** 摂取前後についてWilcoxonの符号和順位検定により有意差(p<0.05, p<0.01)があることを示す。

第8章 総括

本研究では、十勝地域の農業をめぐる厳しい環境の中、農業基盤の維持に資する加工品の開発や付加価値率の向上、あるいは新たな作物栽培とその加工による新産業創出を目的に、十勝地域の輪作を支えるビートや十勝地域の新規作物として期待できるチコリから抽出された機能性素材の食品への添加効果について検討を行った。ビートでは近年、健康機能が注目され、調味料用途としても利用されているベタインに着目し、チコリでは、古くから食物繊維素材として知られているイヌリンに着目した。これらの機能性素材の食品への利用を検討するにあたり、まず、これらの素材の特性を調べ、次に、その特性を活かした用途開発の検討を行った。そして、用途開発の結果に基づき、ベタインでは健康機能を付与したパンの製法確立を検討し、イヌリンではチーズホエイと組み合わせた中間食品素材が健康機能を有するかヒト試験を行った。

ベタインについては、近年、食品の呈味性を評価する手法として注目されている味覚センサーを用いて、ベタインが有する味質を改めて調査し、さらに、ベタインが他の呈味物質に与える影響を調査した。まず、ベタインの味質は、これまで報告されている旨味、甘味、苦味を有することが改めて確認された。また、新たな知見として、高濃度ではわずかな塩味を有することが示唆された。さらに、ベタインが有する苦味は、他の呈味物質との共存下ではベタイン単独の時よりも抑制される可能性が示唆された。次に、ベタインが他の呈味物質に与える影響を評価した結果、これまで報告されている塩なれ効果、酸味低減効果が改めて確認された。また、酸味低減効果については、様々な有機酸に対して効果があることが示唆された。さらに、タウリンやグリシンとの共存により、旨味が増強し、相乗効果の可能性が示唆され、緑茶由来カテキンやエピガロカテキンガレート（EGCG）に対する渋味抑制効果の可能性も示唆された。本試験により、ベタインの味質および呈味特性を味覚センサーを用いて定量的に評価することができたが、味覚センサーによる評価だけでは不十分であり、実際の利

用においてはヒトの官能評価による調査が不可欠であった。

そこで、ベタインのさらなる活用を進めるため、得られた知見とこれまでに報告されている利用用途に基づき、具体的な食品におけるベタインの添加効果について、検討を行った。その結果、梅漬けにベタインを6%添加すると、官能評価と味覚センサー評価のいずれにおいても、塩味と酸味が有意($p<0.05$)に減少し、旨味が有意($p<0.05$)に増加した。大和煮のタレやめんつゆにベタインを添加すると、官能評価で感じる塩分が実際の塩分量よりも低く感じることを示唆されたが、味覚センサー評価では、塩味の出力は大和煮のタレでは5%添加で有意($p<0.05$)に減少し、めんつゆではほとんど変化がなかった。緑茶飲料にベタインを添加すると、味覚センサーの渋味刺激(先味)、渋味(後味)の出力が1%添加で有意($p<0.05$)に減少した。グレープフルーツジュースにベタインを添加すると、官能評価では、酸味が有意($p<0.01$)に減少し、喉への刺激が有意($p<0.05$)に弱くなった。また、甘味とまろやかさが有意($p<0.05$, $p<0.05$)に強くなった。味覚センサー評価では、ベタインの添加量が多くなるにつれて、酸味の著しい出力減少と、旨味(先味)の著しい出力増加が認められた。栄養ドリンクにベタインを添加すると、官能評価では、1%添加で飲みやすさや好みかの得点が有意($p<0.05$)に増加した。味覚センサーでは、酸味の著しい出力減少が有意($p<0.05$)に認められ、他には旨味(先味)や塩味の有意($p<0.05$)な増加や渋味刺激(先味)と渋味(後味)の有意($p<0.05$)な減少が認められた。

これらの結果から、ベタインを食品に添加すると、高塩分の試験食品において、塩なれ効果が期待できることが確認され、酸味を有する試験食品において、酸味を緩和することが確認された。この結果は、これまでの報告を裏付ける結果となった。また、渋味を有する試験食品においては、渋味を緩和する場合と緩和しない場合があることが確認され、添加される食品の性質により影響が異なると考えられた。渋味の緩和についてはこれまでに報告がなく、新たな知見として今後の利用に期待が持てるがさらなるデータの蓄積が必要と考えている。このように、ベタインには単なる調味料としての用途だけでなく、特定の味質に対して影響を与える食品素材と考えられ、食品の

味質改良剤としての機能も期待できた。

一方で、ベタインは健康機能性についても近年、注目されており、ベタインを日常的に摂取する加工食品に利用することができれば、消費者の健康志向を刺激し、新たな需要を開拓することができると考えられた。そこで、健康機能性を付与した一般的な加工食品として、日常的な摂取が可能な食パンに着目し、食パン生地にベタインを高配合したときの製パン性に与える影響を検討した。まず、食パンに、ベタインをパン生地的小麦粉に対して1~5%添加したところ、生地からのガス発生量は、ベタイン添加量に依存して減少し、ホイロ時間が増加した。特に、機能性付与を目的とした5%の配合では、製パン性は大きく劣化し、比容積は11%低下した。このため、食パンにベタインを高濃度に配合したときの影響を低減する方法として、ミキシング前に添加する方法に対して、ミキシング後半に添加した場合の食パンの物理特性や食感に及ぼす影響を詳細に調べた。その結果、ベタイン添加によるガス発生量およびガス保持性の低下は、ミキシング後半に添加することで大幅に改善し、比容積も有意に($p<0.05$)改善した。ベタイン添加による比容積の低下は、クラムの硬さと高い負の相関がみられ、クラムの硬さが有意に($p<0.05$)増加するとともに、クラストの硬さが低下したが、ベタインの添加をミキシング後半とすることで、ネガティブコントロールの硬さに近い値にまで改善された。これらの結果は、食感に関する官能評価の結果とも一致していた。走査型電子顕微鏡(SEM)による生地の組織画像から、ベタインを高配合すると、ミキシングおよび発酵時にグルテンネットワークの形成が十分に形成できていないこと、ミキシング後半の添加とすることで、無添加の生地に近い状態に改善する様子が観察された。これらの結果から、食パンにベタインを高配合する場合は、添加時期を遅らせることで製パン性への影響を小さくできると考えられた。また、データは示さないが、ガス発生量の試験において、発酵時間を180分まで延長してもガス発生は続くため、発酵時間の延長により発酵性についても改善が可能であると考えられる。実際にベタイン添加量の違いによる山型食パンの評価において、製パン工程のホイロによる最終発酵の時間を延長したことにより、ベタイン2.5%添加まではネガティブコン

トロールと同等の比容積を示すことから、発酵時間の増加によっても食パンの比容積を改善できることが示唆され、ベタインをミキシング後半に添加する方法と併用してホイロ時間を延長することで、さらなる改善が期待できる。これらの製造工程の改良により、ベタインの健康機能性を付与した付加価値の高い食パンの開発が可能であり、ベタインの新たな需要喚起の一助となると期待している。今後は、ベタインを添加した食パンが実際に健康機能性を有しているのか、動物試験およびヒト試験による検討を行う必要がある。

イヌリンについては、十勝産チコリ根から抽出されたイヌリン（とちイヌリン）の利用特性について検討を行った。とちイヌリン(DP 15)の pH 安定性, 加熱安定性, 保湿性はオラフティ HP(DP 23)の高重合イヌリンに類似した安定性を示す一方で、メイラード反応性はフジ FF(DP 16)の低重合イヌリンに類似した反応性を示し, 溶解度, ゲル形成能, 形成ゲルの物性は高重合イヌリンと低重合イヌリンの中間の性質を有することが明らかとなった。これらの利用特性は、平均重合度の違いではなく、イヌリン鎖長の分布が影響していると考えられた。とちイヌリンに含まれるイヌリン鎖長は低重合から高重合まで幅広い分布を示すことから、とちイヌリンは平均重合度が低いにも関わらず、低重合イヌリンと高重合イヌリンの両方の性質を合わせ持つ特性を有していると考えられた。したがって、これまでに知られている用途での食品への利用だけでなく、これまでとは別の食品への利用可能性が考えられ、既存のイヌリン素材との差別化を図ることが期待できた。

そこで、とちイヌリンの物理特性の特徴を活かした各種加工食品の用途開発について検討を行った。試作において、とちイヌリンの量が不足したため、一部、オラフティ GR を代わりに用いたが、クリームチーズにおいては物性を滑らかで柔らかいものにすることができ、試食アンケート調査においても酸味の程度やコクの有無で未添加のもの（各 16%, 25%）より味が良い（各 51%, 33%）という回答が多かった。この結果は、これまでの報告を裏付けており、チーズ工房が集積している十勝地域では有力な利用用途となることが推測された。オラフティ GR を用いた生パスタにおい

ては、コシや伸びを良くすることができ、これまでの報告とは異なる結果となった。この違いはパスタの製法等による可能性があるが、本試験の結果は麺類への利用にも期待できると考えられ、十勝産小麦を用いた生パスタが商品化されている十勝地域では麺類への応用にも期待が持てた。オラフティ GR を用いたバタークッキーにおいては、「ザクザク」、「カリカリ」といった食感にすることができたが、その分、クッキーの重量や厚さは減少し、これまでの報告を裏付ける結果となった。しかし、本試験ではオラフティ GR(DP 10)を用いており、とかちイヌリンとはイヌリン鎖長の分布が異なるため、改めてとかちイヌリンでの評価を必要とすると考えられた。オラフティ GR を用いたヨーグルトにおいては、風味を損なわずに比重を調整し、桜の花弁を表面に浮かすことができた。十勝地域では、小規模事業者によるヨーグルト製造も盛んであり、今後、ヨーグルトの比重調整による新しい製品開発にも応用が可能と考えられた。オラフティ GR を用いたソーセージにおいては、脂肪と代替してエネルギーを低減することができたが、物性が著しく柔らかくなった。この結果はこれまでの報告を裏付ける結果となった。しかし、脱脂粉乳やゼラチンなどを補助的に追加することで物性を改善することが可能であることを確認し、ソーセージミックスの配合をさらに検討すれば、脂肪との 100%代替も可能になると思われた。したがって、欧州では既に製品化されているが、とかちイヌリンを用いた低カロリーで食物繊維が豊富なソーセージの開発も可能であると考えられた。本試験の結果から、イヌリンの添加は様々な食品で物性に影響を与えることが確認され、食品の物性調整剤としての機能があると考えられた。このように、とかちイヌリンは既存のイヌリン素材と同様に、様々な加工食品に利用が可能であることが示唆された。但し、本試験では試験に供するとかちイヌリンの量が不足し、既存イヌリン素材との比較がほとんどできなかったため、とかちイヌリンの差別化については十分な知見を得ることができなかった。しかし、既存イヌリン素材とはイヌリン鎖長の違いが確認されているため、この違いが既存のイヌリン素材との差別化につながるのか、今後の研究が進むことを期待している。

一方で、イヌリンの健康機能性は古くから研究され、他の食物繊維素材と同様に

様々な健康機能性を有することが報告されている。特に、食物繊維の整腸作用、腸内環境改善効果は一般消費者にも認知度が高く、イヌリンを利用する用途として最も需要が高い。したがって、イヌリンを日常的に摂取する加工食品に利用することが、消費者の健康志向を刺激し、とちイヌリンの需要を開拓する近道であると考えられる。実際に欧州では、ヨーグルトや牛乳へ添加された製品が数多く販売されている。とちイヌリンを既存のイヌリン素材と差別化するには、とちイヌリンの幅広いイヌリン鎖長を持つ特性を活かすべきであるが、単純に食品に添加する用途だけでは、添加された食品に明らかな差別化ができるとは限らない。そこで、十勝地域を代表する加工食品であるチーズ生産の際に、副産物として排出されるホエイに着目した。ホエイは小規模工房においては、排水処理やパウダー化が難しく、以前から重要な課題であった。とちイヌリンと十勝産ホエイを組み合わせ、液体のホエイにとちイヌリンを高濃度に溶解することで、純十勝産のクリーム状ゲルを製造し、様々な食品に容易に添加できる食物繊維が豊富な中間食品素材を開発すれば、健康志向、安全・安心志向、国産あるいは地場産志向の消費者に訴求が可能であると考えられた。しかも、この製品の製造には新鮮なホエイが必要なため、十勝地域にある多数のチーズ工房で活用できる有意性があり、新製品として発展する可能性を秘めている。

この可能性を検討するため、液体のホエイにイヌリンを約40%加熱溶解したイヌリン・ホエイ混合物(MIW)を試作した。とちイヌリンは量不足のため、代わりにオラフティ GR(DP 10)を用いた。試作した MIW は単に水で溶解したものと比べてホエイ由来の良好な味質を有し、ホエイパウダーの水溶液で溶解したものに比べて白く、好ましい色調と風味を有していた。また、予め混合したことで、調理において均一に混ざりやすい、様々な食品に添加しやすいなど作業性や汎用性が高く、冷凍耐性も高いため、日常的に摂取しやすい食品素材となった。

MIW はイヌリンを高濃度に含むため、食物繊維素材としての健康機能性が付与された設計となっている。MIW にはホエイ由来の乳糖やホエイタンパク質も含まれ、これらにもプレバイオティクスとしての効果が報告されているため、腸内環境改善効

果や便通改善効果が期待できた。しかし、イヌリンとホエイ成分の相互作用により、効果が期待できなくなる可能性も考えられた。

そこで、MIW が食物繊維を付与した素材として、腸内環境改善効果や便通改善効果を有するか、ヒト試験を実施した。すなわち、1日 30 g を毎日 28 日間摂取した場合の身体計測、血圧、血液生化学検査、問診、排便状況および糞便性状、糞便の腸内細菌叢に対する影響を、便秘傾向を有する健常な成人ボランティア 20 名を対象に調査した。20 名を 10 名ずつプラセボ群と MIW 群に分け、二重盲検並行群間比較試験を行った。その結果、摂取期間における被験者のいずれにも問題となる愁訴や身体計測、血圧、血液生化学検査、問診における異常は認められなかった。MIW の摂取期間中において、プラセボ食と比較して糞便性状に有意差は認められず、腸内細菌叢にも有意差は認められなかった。しかし、排便回数が有意に増加($p<0.05$)したことから、MIW の摂取により排便状況を改善することが示唆された。本試験ではとちイヌリンの代わりにオラフティ GR を用いたが、とちイヌリンでも同様の結果が得られると予想しており、今後、機会があれば、改めて検討したい。また、ホエイとイヌリンの相互作用についても、さらなる検討が必要である。その上で、とちイヌリンが製品化されれば、純十勝産 MIW を製造でき、北海道食品機能性表示制度の認証取得も期待できる。

本研究により、十勝地域の主要な作物であるビートや、新たな作物として期待できるチョコリから抽出された、ベタインおよびイヌリンの需要を喚起するための食品への添加効果について、多くの知見が得られた。この成果は、十勝地域の食品加工業に技術移転され、市販ベタインや市販イヌリンを用いた様々な製品開発がなされた。この中から、ベタインでは「キムチさきいか」、「山ごぼうの漬物」、「牛トロの熟成パテ（3種類）」、「牛肉のからすみ」、「抹茶オーレ H&S」、「抹茶オーレラスク」、「鮭ザンギ」が製品化され、特に抹茶オーレ H&S については十勝地域と静岡県との地域外連携に成功し、派生商品としての抹茶オーレラスクや第 2 弾の商品として「小豆オーレ H&S」が製品化されるなど、新たな波及効果を生み、現在も静岡県との交流が続いている。

イヌリンでは「生乳 100%ヨーグルト」、「豆ジャム（3種類）」、「ホエイイヌリンクリーム」、「SWEETS・Sa・Ku・Ra」（桜の花弁を浮かせたプレミアムヨーグルト）、「プレミアムアイスクリーム」、「クリームチーズ」、「粗びきフランク」（ソーセージ）、「豆ドレッシング」、「白雪つみれ」（長いもつみれ）、「とちまち長いも元気汁」（白雪つみれを用いた飲食店メニュー）が製品化され、特に「ホエイイヌリンクリーム」は高齢者福祉施設等で食物繊維の摂取を目的として毎日の食事に利用され、今後の普及が期待される。

以上の結果から、十勝地域の作物を原料とした加工品の開発や付加価値率の向上、あるいは新産業創出の基盤が構築され、十勝地域の農業を基盤とした持続的な経済発展の可能性が期待できる。

参考文献

- (1) 2015 十勝の農業 (2015.12), 北海道十勝総合振興局
- (2) 農林水産省 農林環境課 (2012.7.10), 砂糖をめぐる状況—TPP の影響を中心に—, 国立国会図書館 ISSUE BRIEF, 755 : p. 9-10.
- (3) 社団法人糖業協会編 (2006), ベタイン, 「現代糖業技術史 [ビート糖編]」, 初版 (丸善プラネット, 東京), pp. 361-374.
- (4) 岩科進 (1967), ビート糖工業副産物としてのベタインに関する技術的展望, 精糖技術研究会誌, 18 : 60-83.
- (5) 太田静行, 戸井田貞子 (1985), ベタイン (Betaine) , 調理科学会誌, 18 : 162-166.
- (6) 名倉泰三 (2012), ベタインの食品加工特性と栄養機能性, JAFAN, 32 : 259-269.
- (7) 高倍鉄子, 中村敏英, 村元靖典 (1999), 植物耐塩性の分子機構と形質転換体作出, 日本作物学会誌, 68 : 337-340.
- (8) Kim YH, Shim IS, Kobayashi K, Usui K (2000), Accumulation of amino acids and glycinebetaine by NaCl treatment and its relation to salt tolerance in three gramineous plants, *J. Weed. Sci. Tech.*, 45 : 96-103.
- (9) 王羽梅, 藤井清永, 原田健一, 新居直祐 (2001), 各種の塩処理がアマランサスの成長, イオン含量ならびにグリシンベタイン含量とその生成酵素の発現に及ぼす影響, 名城大学農学部学術報告, 37 : 119-127.
- (10) 小出巖 (1964), クコの酒, 日本醸造協会雑誌, 59 : 953-955.
- (11) 鴻巣章二 (1973), 魚介類の味—呈味成分を中心にして—, 日本食品工業学会誌, 20 : 432-439.
- (12) 社団法人糖業協会編 (2006), ベタイン, 「現代糖業技術史 [ビート糖編]」, 初版 (丸善プラネット, 東京), pp. 369-372.

- (13) 宇川正治, 滝井健二, 中村元二, 熊井英水 (1996), トラフグ用シングルモイストペレットに対する各種蛋白源の利用, 水産増殖, 44 : 511-516.
- (14) 中山仁志, 古坂博文, 天野俊二, 奥宏海, 村下幸司, 松成宏之, 田上伸治, 鈴木伸洋, 山本剛史 (2015), 成長と生理状態から見たアユの養殖用飼料としての低魚粉飼料の可能性, 水産技術, 8 : 19-24.
- (15) 家入誠二 (2003), 飼料へのベタイン添加が肉豚に及ぼす影響, 月刊養豚の友 2003年3月号 (日本畜産振興会, 東京), pp. 43-45.
- (16) Carr WES, Blumenthal KM, Netherton III JC (1977), Chemoreception in the pigfish, *Orthopristis chrysopterus* : The contribution of amino acids and betaine to stimulation of feeding behavior by various extracts., *Comp. Biochem. Physiol. A : Physiology*, 58 : 69-73.
- (17) Carr WES, Chaney TB (1976), Chemical stimulation of feeding behavior in the pinfish, *Lagodon rhomboids* : Characterization and identification of stimulatory substances extracted from shrimp., *Comp. Biochem. Physiol. A : Physiology*, 54 : 437-441.
- (18) Mackie AM, Adron JW, Grant PT (1980), Chemical nature of feeding stimulants for the juvenile Dover sole, *Solea solea* (L.), *J. Fish Biol.*, 16 : 701-708.
- (19) Ohsugi T, Hidaka I, Ikeda M (1978), Taste receptor stimulation and feeding behavior in the puffer, *Fugu paradalis*. II. Effects produced by mixtures of constituents of clam extracts., *Chem. Senses.*, 3 : 355-368.
- (20) 中井朋一, 菊池裕人, 佐藤忠, 佐渡谷裕朗, 大谷昌之, 花田正明, 岡本明治 (2007), 去勢牛に経口投与したベタインの十二指腸内容物中における消長, 日本獣医学会誌, 60 : 131-133.
- (21) 神田健太郎 (1994), トリメチルグリシンの保湿作用と応用, 月間 Food Style 21 (食品化学新聞社, 東京), 3 : p 55-58.

- (22) 佐山晃司 (1989), ベタインを原料とする調味料とその使用効果, 月刊ジャパンフードサイエンス (日本食品出版, 東京), 28 : p 38-42.
- (23) 木島正夫, 柴田承二, 下村孟, 東丈夫 編 (1991), 薬用植物大事典, 第 17 刷 (廣川書店, 東京), pp. 105.
- (24) Vijn I, Smeekens S (1999), Fructan: more than a reserve carbohydrate?, *Plant. Physiol.*, 120 : 351-359.
- (25) Kikuchi H, Nagura T, Inoue M, Kishida T, Sakurai H, Yokota A, Asano K, Tomita F, Sayama K, Senba Y (2004), Physical, chemical and physiological properties of difructose anhydride III produced from inulin by enzymatic reaction., *J. Appl. Glycosci.*, 51 : 291-296.
- (26) Kolida S, Tuohy K, Gibson GR (2002), Prebiotic effects of inulin and oligofructose., *Br. J. Nutr.*, 87 : 193-197.
- (27) 和田正, 田中彰裕 (2013), 酵素法により製造されたイヌリンと低脂肪食品への利用, 化学と生物, 51 : 376-382.
- (28) Michel D (2015), チコリイヌリンを世界へ展開～ミネラル吸収や腸内健康の有力素材に～, 月刊 Food Style 21 (食品化学新聞社, 東京), 19 : p. 8-10.
- (29) 小嶋良種, 吉川豊, 安井裕之, 小倉哲也 (2012), ミネラルの吸収を高めるチコリ及びアガベイヌリン含有食品, *FFI Journal*, 217 : p. 60-66.
- (30) 食品と開発編集部 (2013), 食物繊維素材の市場動向, 月刊食品と開発 (UBMメディア, 東京), 48(1) : p. 49-57.
- (31) Inulin market research report (2015), BAC Reports (Business analytic center Co.)
- (32) (社) 糖業協会編 (2006), 第二編 製糖技術の進歩, 「現代糖業技術史」, 初版 (丸善プラネット, 東京), pp. 211-358.
- (33) 日本甜菜製糖 (2011/07/19), イヌリンの製造方法, PCT/JP2011/66385.

- (34) 鴻巣章二, 渡辺勝子, 郡山剛, 白井隆明, 山口勝己 (1988), ホタテガイのエキス成分とオミッショントテストによる呈味有効成分の同定, 日本食品科学工学会誌, 35 : 252-258.
- (35) 鴻巣章二, 福家真也 (1982), カニの味ーオミッショントテストによる呈味成分の解析 (今日の話題), 日本農芸化学会誌, 20 : p. 279-280.
- (36) Hayashi T, Yamaguchi K, Konosu S (1981), Sensory analysis of taste-active components in the extract of boiled snow crab meat., *J. Food. Sci.*, 46 : 79-483.
- (37) 道川恭子, 大野知美, 渡辺勝子, 山口勝己, 鴻巣章二 (1996), グリシンベタインの味質とエゾボラにおける呈味効果, 日本食品科学工学会誌, 42 : 1019-1026.
- (38) 都甲潔, 陳栄剛, 羽原正秋 (2004), 味覚センサーを用いた食塩の呈味の定量化に関する研究, *Bull. Soc. Sea Water Sci.*, 58 : 57-63.
- (39) 飯山悟, 池田知宏, 都甲潔, 八尋美希 (1997), マルチチャンネル味覚センサーを用いた醤油の味の評価, 日本食品科学工学会誌, 44 : 615-622.
- (40) 中原徳昭, 境田博至, 甲斐孝憲, 榊原陽一, 西山和夫, 福田亘博, 水光正仁 (2005), 味覚センサを用いた本格焼酎の味評価, 日本食品科学工学会誌, 52 : 145-153.
- (41) 江崎秀, 幸利彦, 都甲潔, 津田泰弘, 中谷和夫 (1997), 味覚センサによるビール味の味質と成分の分析, 電学論, E 117 : 449-455.
- (42) 八尋美希, 都甲潔, 古川由紀子, 八尋剛規 (2000), 味覚センサによる牛乳の味の計測, *T.IEE Japan.*, 120-E : 20-25.

- (43) 「食品の味評価のための味覚センサ活用マニュアル(第3版)」(2001), (財)北海道科学技術総合振興センター, (財)北海道中小企業総合支援センター, (独法)北海道立総合研究機構食品加工研究センター, 北海道立工業技術センター, 北海道立十勝圏地域食品加工技術センター, 北海道立オホーツク圏地域食品加工技術センター : p. 36.
https://www.hro.or.jp/list/industrial/research/food/works/pdf/10inove03_taste3.pdf
- (44) 機器導入資料「食品サンプルの前処理のポイント」(2009), 株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー
- (45) 小原正美 (1989), 天然食品の特殊呈味成分, 「食品の味」, 6版(光琳, 東京), pp. 56-62.
- (46) 佐藤真一, 恵本司, 菅野恭志 (2000), ベタインの食品素材としての特性, 月間フードケミカル(食品化学新聞社, 東京), 11 : p. 81-85.
- (47) GL1(甘味)センサーの取り扱い説明書(2010), 株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー
- (48) Shanker R, Murthy SM, Pavadi P, Thnuja K (2008), Effect of betaine as a feed attractant on growth, survival, and feed utilization in fingerlings of the Indian major carp, *Labeo rohita*. *Isr. J. Aquacult-Bamid.*, 60 : 95-99.
- (49) Figares IF, Cahen DW, Steele NC, Campbell RG, Hall DD, Virtanen E, Caperna TJ (2002), Effect of dietary betaine on nutrient utilization and partitioning in the young growing feed-restricted pig. *J. Anim. Sci.*, 80 : 421-428.
- (50) Tiril SU, Alagil F, Yagci FB, Aral O (2008), Effects of betaine supplementation in plant protein based diets on feed intake and growth performance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Isr. J. Aquacult-Bamid.*, 60 : 57-64.

- (51) Wang YZ, Xu ZR, Feng J (2004), The effect of betaine and DL-methionine on growth performance and carcass characteristics in meat ducks. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 116 : 151-159.
- (52) Garcia EE, Mack S (2000), The effect of DL-methionine and betaine on growth performance and carcass characteristics in broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 87 : 85-93.
- (53) Matthews JO, Southern LL, Higbie AD, Persica MA, Bidner TD (2001), Effects of betaine on growth, carcass characteristics, pork quality, and plasma metabolites of finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 79 : 722-728.
- (54) Global betaine market 2014-2018 (2014), Tech Navio (Infiniti research Ltd.)
- (55) Pulliainen K, Nevalaine H, Väkeväinen H, Julita K, Gummer CL (2010), An analytical method for the determination of betaine (trimethylglycine) from hair. *Int. J. Cosmet. Sci.*, 32 : 135-138.
- (56) Söderling E, Bell AL, Kirstilä V, Tenovuo J (2009), Betaine-containing toothpaste relieves subjective symptoms of drymouth. *Acta. Odontol. Scand.*, 56 : 65-69.
- (57) 菊地裕人 (2008), てん菜の有効利用－日本甜菜製糖 (株) の取組－, 砂糖類情報 (農畜産業振興機構, 東京), 3月号, p. 1-6.
- (58) 韓圭鎬, 葛西大介, 名倉泰三 (2011), 北海道の基幹作物てん菜 (ビート) から抽出したベタインの機能性, 食品と開発 (UBM メディア, 東京), 46 : p. 65-67.
- (59) 橋本芳郎 (1972), 水産物の味, 調理科学研究会誌, 5 : 1-7.
- (60) 日本甜菜製糖株式会社, アルコール含有食品, 特許第 3711074 号, (2003/07/22)

- (61) 福井裕, 石田丈博, 西村敏英, 松田秀喜 (2006), 本みりんの塩味・酸味抑制効果における官能評価と味覚センサーの分析結果との相関性, 日本調理科学会誌, 39 : 49-56.
- (62) 小原正美 (1966), 食品の味 第6版 (光琳, 東京) : pp. 15-33.
- (63) 卯川裕一, 堤坂裕子 (2015), 緑茶カテキン (ガレート型カテキン) の機能性研究と特定保健用食品の開発, 生物工学, 93 : 634-636.
- (64) 中川致之 (1973), 緑茶の味と化学成分, 茶業研究報告, 40 : 1-9.
- (65) 後藤哲久, 堀江秀樹, 大関由紀, 増田英昭, 藁科二郎 (1994), 化学成分から見た市販緑茶の品質, 茶業研究報告, 80 : 23-28.
- (66) 山田潤, 徳永智子, 梨本亜希, 稲森美奈子, 松田秀喜 (2011), 鰹だし添加による酸味・酸臭抑制効果の検証, 日本調理科学会誌, 44 : 122-127.
- (67) 石井克枝, 西村敏英, 畑江敬子, 島田淳子 (1994), 小麦グルテンの酵素水解ペプチドの基本味に及ぼす影響, 日本家政学会誌, 45, 797-801.
- (68) Ishii K, Tsuchida M, Nishimura T, Okitani A, Nakagawa A, Hatae K, Shimada A (1995), Changes in the taste and taste components of beef during heating at a low temperature for a long time. *J. Home Econ. Jpn.*, 46 : 229-234.
- (69) 西村敏英 (2001), 食品呈味形成におけるペプチドの役割を探るーペプチドの呈味性および味覚変革作用ー, 化学と生物, 39 : 177-183.
- (70) 西村敏英 (2003), 食品の呈味形成におけるペプチドの働き, 日本調理科学会誌, 36 : 55-62.
- (71) 橋本隆男, 篠原佳彦, 長谷川弘 (2007), ホモシステイン代謝, 薬学雑誌, 127 : 1579-1592.

- (72) Okada T, Kawakami S, Nakamura Y, Han KH, Ohba K, Aritsuka T, Uchino H, Shimada K, Sekikawa M, Ishii H, Fukushima M (2011), Amelioration of D-galactosamine-induced acute liver injury in rats by dietary supplementation with betaine derived from sugar beet molasses, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 75, 1335-1341.
- (73) Kawakami S, Han KH, Nakamura Y, Shimada K, Kitano T, Aritsuka T, Nagura T, Ohaba K, Nakamura K, Fukushima M (2012), Effects of dietary supplementation with betaine on a nonalcoholic steatohepatitis(NASH) mouse model, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 58 : 371-375.
- (74) Olthof MR, Verhoef P (2005), Effects of betaine intake on plasma homocysteine concentrations and consequences for health, *Curr. Drug Metab.*, 6 : 15-22.
- (75) フィンフィーズ フィンランド オイ (2002/07/18), 血圧低下効果を有する機能製品中のベタインの使用, WO2002/055069.
- (76) 長尾精一 (1989), 小麦の加工と利用, 「小麦とその加工」, 第2版, (建帛社, 東京), pp. 223,
- (77) 長澤幸一, 田引正, 西尾善太, 伊藤美環子, 中村和弘, 谷口義則, 山内宏昭 (2011), 国産もち小麦「もち姫」を含む国産小麦パンの製パン性および特徴的物の解析, 日本調理科学会誌, 44 : 214-222.
- (78) 山内宏昭, 一ノ瀬靖則, 高田兼則, 入来規雄, 椎名武夫, 小林猛 (1999), 冷凍生地食パンの老化に関する速度論的解析, 日本食品科学工学会誌, 46 : 212-219.
- (79) 山内宏昭, 一ノ瀬靖則, 高田兼則, 入来規雄, 桑原達雄 (2000), 改良真空生地膨張量測定による小麦粉の製パン性の簡易評価, 日本食品科学工学会誌, 47 :46-49.
- (80) 大羽和子, 川端晶子編 (2003), 調理科学に関する基礎実験, 「調理科学実験」, 初版, (学建書院, 東京), pp. 12-13.

- (81) 竹内啓, 市川信一, 大橋康雄, 岸本淳司, 浜田知久馬 (1987), 「SASによるデータ解析入門」, 第2版, (東京大学出版, 東京), pp. 149-155.
- (82) Fortoul AR, Hernando I, Rosel CM (2013), Texture of bread crust : puncturing settings effect and its relationship to microstructure, *J. Texture Stud.*, 44 : 85-94.
- (83) 堀内理恵, 杉原好枝, 福田満 (2004), 乾燥オカラ添加が製パン性に及ぼす影響, 日本食生活学会誌, 14, 324-338.
- (84) 田中康夫, 松本博 (1991), 製パンの科学 (I) 製パンプロセスの科学, (光琳, 東京), pp. 52-57.
- (85) Khan K, Bushuk W (1978), Glutenin : Structure and functionality in breadmaking., *Baker's Dig.*, 52 : 14-16.
- (86) バイオインダストリー編集部 (2011), イヌリン, BIO PRODUCTS, 月刊バイオインダストリー (シーエムシー, 東京), 28(6) : pp. 64-65.
- (87) 本堂正明, 清水條資, 塩見徳夫 (1991), 寒冷地植物の貯蔵多糖類から機能オリゴ糖製造に関する研究 (第2報) - イヌロオリゴ糖の食品加工特性の検討 -, 北海道立工業試験場報告, 290 : 115-121.
- (88) 木村進, 中林敏郎, 加藤博通編 (1995), 第4章 非酵素的褐変現象の化学, 「食品の変色の科学」 (光琳, 東京), pp. 291-298.
- (89) 和田正 (2006), イヌリンの特性とその利用効果, 月刊ジャパン・フードサイエンス (日本食品出版, 東京), 45 : 18-24.
- (90) 齋藤貴裕 (2013), ベネオ-オラフティ社チコリ根由来イヌリンの物理的機能「, 月刊食品と開発 (UBMメディア, 東京), 48(1) : p. 80-81.
- (91) 渡瀬隆也 (2014), イヌリンクリーム物性安定性の評価, 静岡県工業技術研究所研究報告, 6 : 14-16.
- (92) Franck A (1993), In FIE conference proceedings 1992, Expoconsult publishers, Maarssen, pp.193-197.

- (93) Chiavaro E, Vittadini E, Corradini C (2007), Physicochemical characterization and stability of inulin gels., *Eur. Food Res. Technol.*, 225 : 85-94.
- (94) 寺部茜, 三嶋智之, 柘植治人, 和田正, 早亨志 (2005), 重合度の異なるイヌリンの食物繊維としての効果, 日本食物繊維学会誌, 9 : 93-99.
- (95) Daubioul C, Rousseau N, Demeure R, Gallez B, Taper H, Declerck B, Delzenne N (2002), Dietary fructans, but not cellulose, decrease triglyceride accumulation in the liver of obese Zucker fa/fa rats., *J. Nutr.*, 132 : 967-973.
- (96) Taper HS, Lemort C, Roberfroid MB, (1998), Inhibition effect of dietary inulin and oligofructose on the growth of transplantable mouse tumor., *Anticancer Res.*, 18 : 4123-4126.
- (97) Kruse HP, Kleessen B, Blaut M (1999), Effects of inulin on faecal bifidobacteri in human subjects. *Br. J. Nutr.*, 82 : 375-382.
- (98) Ahrens KES, Schrezenmeir J (2002), Inulin, oligofructose and mineral metabolism – experimental data and mechanism, *Br. J. Nutr.*, 87 : 179-186.
- (99) Buddington KK, Donahoo JB, Buddington RK (2002), Dietary oligofructose and inulin protect mice from enteric and systemic pathogens and tumor inducers., *J. Nutr.*, 132 : 472-477.
- (100) Hosono A, Ozawa A, Kato R, Ohnishi Y, Nakanishi Y, Kimura T, Nakamura R (2003), Dietary fructooligosaccharides induce immunoregulation of intestinal IgA secretion by murine peyer's patch cells., *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 67 : 758-764.
- (101) Delzenne NM, Cani PD, Neyrinck AM (2007), Modulation of glucagon-like peptide 1 and energy metabolism by inulin and oligofructose : experimental data., *J. Nutr.*, 137 : 2547-2551.

- (102) 消費者庁食品表示企画課 (2014), 栄養強調表示について, 食品表示部会第4回栄養表示に関する調査会 資料1
- (103) 科学技術庁資源調査会食品成分部会編 (1997), 五訂 日本食品標準成分表分析マニュアル (資源協会, 東京), pp. 1-42.
- (104) 日本食物繊維学会ルミナコイド素材エネルギー評価検討委員会 (2013), ルミナコイド素材のエネルギー評価の考え方とメチルセルロース、イヌリン、還元難消化性デキストリンならびに高架橋澱粉のエネルギー評価結果, p. 7.
- (105) 小杉彰夫, 村田忠彦 (2000), 菓子の事典 (朝倉書店, 東京), pp. 294-298.
- (106) Herrera SMG, Herrera RR, López MG, Rutiaga OM, Aguilar CN, Esquivel JCC, Martínez LAO (2014), Inulin in food products: prebiotics and functional ingredient. *Br. Food J.*, 117 : 371-387.
- (107) Meyer D, Bayari S, Tárrega A, Costell E (2011), Inulin as texture modifier in dairy products., *Food hydrocoll.*, 25 : 1881-1890.
- (108) Alves LL, Richards NSPS, Mattanna P, Andrade DF, Rezer APS, Cruz AG, Faria JAF (2013), Cream cheese as a symbiotic food carrier using *Bifidobacterium anialis* Bb-12 and *Lactobacillus acidophilus* La-5 and inulin., *Int. J. Dairy Technol.*, 66 : 63-69.
- (109) Afshinpajouh R, Heydarian S, Amin M, Saadatmand E, Yahyavi M (2013), Studies on physical, chemical and rheological characteristics of pasta dough influenced by inulin., *Afr. J. Food Sci.*, 8 : 9-13.
- (110) Bustos MC, Pérez GT, León AE (2011), Effect of four types of dietary fiber on the technological quality of pasta., *Food Sci. Technol. Int.*, 17 : 213-221.
- (111) Handa C, Goomer S, Siddhu A (2011), Effects of whole-multigrain and fructooligosaccharide incorporation on the quality and sensory attributes of cookies., *Food Sci. Technol. Res.*, 17 : 45-54.

- (112) Zoulias EI, Oreopoulou V, Kounalaki E (2002), Effect of fat and sugar replacement on cookie properties., *J. Sci. Food Agri.*, 82 : 1637-1644.
- (113) García JR, Laguna L, Puig A, Salvador A, Hernando I (2013), Effect of fat replacement by inulin on textural and structural properties of short dough biscuits., *Food Bioproc. Tech.*, 6 : 2739-2750.
- (114) Zoulias EI, Oreopoulou V, Tzia C (2002), Textural properties of low-fat cookies containing carbohydrate- or protein-based fat replacers., *J. Food Eng.*, 55 : 337-342.
- (115) Liu J, Luo D, Li X, Xu B, Zhang X, Liu J (2016), Effects of inulin on the structure and emulsifying properties of protein components in dough., *Food Chem.*, 210 : 235-241.
- (116) Zahn S, Papke F, Rohm H (2010), Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins., *Int. J. Food Sci. Technol.*, 45 : 2531-2537.
- (117) 足立達, 伊藤敏敏 (1992), 第 4 章 牛乳の性状, 「乳とその加工」(建帛社, 東京) , pp. 133-134.
- (118) Cáceres E, García ML, Toro J, Selgas MD (2004), The effect of fructooligosaccharides on the sensory characteristics of cooked sausages., *Meat Sci.*, 68 : 87-96.
- (119) García ML, Cáceres E, Selgas MD (2006), Effect of inulin on the textural and sensory properties of mortadella, a Spanish cookedmeat product., *Int. J. Food Sci. Technol.*, 41 : 1207-1215.
- (120) Mendosa E, García ML, Casas C, Selgas MD (2001), Inulin as fat substitute in low fat, dry fermented sausages., *Meat Sci.*, 57 : 387-393.

- (121) 加藤京理, 菱沼典子, 田上恭子, 加藤木真史, 細野恵子, 田中美智子, 留畑寿美江, 丸山朱美, 酒井礼子, 井垣通人, 塚本紀子, 野月千春, 加藤祥子, 山崎好美 (2012), 4週間の排便記録による排便パターンの実態調査, 日本看護技術学会誌, 11 : 28-37.
- (122) 食生活指針の解説要領 (2016), 文部科学省, 厚生労働省, 農林水産省, p. 14.
- (123) 安川然太, 内藤裕二 (2016), 高発酵水溶性食物繊維の血糖対策、抗メタボ素材としての機能性, 食品と開発 (UBM メディア, 東京) , 51(4) : p. 14-16.
- (124) 齋藤忠夫, 堂迫俊一, 井越敬司編 (2010), チーズホエイとその成分別調製技術 : 現代チーズ学, 第2版 (食品資材研究会, 東京) , pp. 349-366.
- (125) Coppa GV, Zampini Z, Galeazzi T, Gabrielli O (2006), Prebiotics in human milk: a review. *Dig. Liver Dis.*, 38 : 291-294.
- (126) Schaafsma G (2007), Health issues of whey proteins: 3. Gut health promotion. *Curr. Top Nutraceutical Res.*, 5 : 29-34.
- (127) Kim Y, Faqih N, Wnag SS (2001), Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydr. Polym.*, 46 : 135-145.
- (128) Kleessen B, Schwartz S, Boehm A, Fuhrmann H, Richter A, Henle T, Krueger M (2007), Jerusalem artichoke and chicory inulin in bakery products affect faecal microbiota of healthy volunteers. *Br. J. Nutr.*, 98 : 540-549.
- (129) 熊王俊男, 藤井繁佳, 尾崎和人, 武藤勝仁, 中室賢一, 松島俊行, 飯野久和 (2004), コーヒー豆マンノオリゴ糖配合牛乳入りコーヒー飲料が健常正常人の排便状態および腸内細菌叢に及ぼす影響, FFI ジャーナル, 209 : 1112-1116.
- (130) Nakamura T, Nishida S, Shirasu Y and Murayama T (2000), Effect of drink yogurt supplemented with brewer's yeast cell wall on the improvement of defecation in constipated female students. *Jpn. J. Med. Pharm. Sci.*, 43 : 1123-1130.

- (131) 三ッ井陳雄, 梶本修身, 塚原美央, 村澤久司, 田村正紀, 西村明, 梶本佳孝, 辨野義己 (2006), *Bacillus subtilis* K-2 株 (芽胞) 含有納豆が健常成人の排便状態および糞便内菌叢に及ぼす影響ならびに過剰摂取による安全性の検討, 薬理と治療, 34: 135-148.
- (132) Nagashima K, Hisada T, Satou M, Mochizuki J (2003), Application of new primer-enzyme combinations to terminal restriction fragment length polymorphism profiling of bacterial populations in human feces. *Appl. Environ Microbiol.*, 69 : 1251-1262.
- (133) Nagashima K, Mochizuki J, Hisada J, Suzuki S, Shimomura K (2006), Phylogenetic analysis of 16S ribosomal RNA gene sequences from Human fecal microbiota and improved utility of terminal restriction fragment length polymorphism profiling. *Biosci. Microflora.*, 25 : 99-107.
- (134) Collins MD, Lawson PA, Willems A, Cordoba JJ, Fernandez-Garayzabal J, Garcia P, Cai J, Hippe H, Farrow JAE (1994), The phylogeny of the genus *Clostridium* : Proposal of five new genera and eleven new species combinations. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 44 : 812-826.
- (135) 浦尾正彦 (2014), 排便と健康, 順天堂醫事雑誌, 60 : 16-24.
- (136) 高山理枝, 渡辺篤, 山本晴美, 小鷹和久, 岡部敬一郎, 櫻井希, 青木洋祐 (2005), ガラクトオリゴ糖含有清涼飲料水の摂取が健常若年女性の便通・便性および糞便内細菌叢に及ぼす改善効果について, 日本食物繊維学会誌, 9 : 22-33.
- (137) 斎藤安弘, 斎藤正実, 山本邦男, 長尾光浩, 山本薫, 松井登, 尾関周二, 鈴木直人 (2005), 大麦若葉不溶性食物繊維摂取がラットの盲腸内有機酸, 糞排泄および臓器重量に及ぼす影響, 日本栄養・食糧学会誌, 58 : 307-313.
- (138) 谷口啓子, 小坂和江, 藤井わか子, 曾根良昭 (2014), 難消化性デキストリンの摂取が老人保健施設入所者の排便状況に与える影響, 日本生理人類学会誌, 19 : 55-61.

- (139) 三成由美, 大仁田あずさ, 宮原葉子, 徳井教孝, 印南敏 (2011), 蜂蜜添え黒胡麻おからパンが若年女性の排便状態に及ぼす影響, 栄養学雑誌, 69 : 241-252.
- (140) 川野直子, 金野智恵, 鈴木有美子, 河合光久, 高田俊彦, 瀬戸山裕美, 池邨治夫, 植木幸英 (2012), ストレスレベル別便秘傾向者に対する発酵乳の引用効果, 栄養学雑誌, 70 : 3-16.
- (141) Francavilla R, Calasso M, Calace L, Siragusa S, Ndagijimana M, Vernocchi P, Brunetti L, Mancino G, Tedesci G, Guerzoni E, Indrio F, Laghi L, Miniello VL, Gobbetti M, De Angelis M (2012), Effect of lactose on gut microbiota and metabolome of infants with cow's milk allergy. *Pediatr. Allergy Immunol.*, 23 : 420-427.
- (142) 岩附聡, 木島佳子, 塩野谷博 (2011), 牛乳中に含まれる自然抗体の腸内細菌叢に及ぼす影響, 日本食品科学工学会誌, 58 : 236-244.
- (143) Nishimura M, Ohkawara T, Kanayama T, Kitagawa K, Nishimura H, Nishihira J (2015), Effects of the extract from roasted chicory (*Cichorium intybus* L.) root containing inulin-type fructans on blood glucose, lipid metabolism, and fecal properties. *J. Tradit. Complement Med.*, 5 : 161-167.
- (144) Kim SH, Lee DH, Meyer D (2007), Supplementation of infant formula with native inulin has a prebiotic effect in formula-fed babies. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*, 16 : 172-177.
- (145) Hond ED, Geypens B, Ghos Y (2000), Effect of high performance chicory inulin on constipation. *Nutr. Res.*, 20 : 731-736.
- (146) Slavin J, Feirtag J (2011), Chicory inulin does not increase stool weight or speed up intestinal transit time in healthy male subjects. *Food Funct.*, 2 : 72-77.

- (147) Marteau P, Jacobs H, Cazaubiel M, Signoret C, Prevel JM, Housez B (2011), Effects of chicory inulin in constipated elderly people : a double-blind controlled trial. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 62 : 164-170.
- (148) Roberfroid MB, Van Loo JAE, Gibson GR (1998), The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *J. Nutr.*, 128 : 11-19.
- (149) Waitzberg DL, Pereira CCA, Logullo L, Jacintho TM, Almeida D, Silva MLT, Torrinhas RSMM (2012), Microbiota benefits after inulin and partially hydrolyzed guar gum supplementation – a randomized clinical trial in constipated women. *Nutr. Hosp.*, 27 : 123-129.
- (150) Schneider SM, Pipau GF, Anty R, Linde EGM, Geerling BJP, Knoll J, Fillippi J, Arab K, Hebuteme X (2006), Effects of total enteral nutrition supplemented with a multi-fibre mix on faecal short-chain fatty acids and microbiota. *Clin. Nutr.*, 25 : 82-90.

謝辞

本研究の遂行および本論文の作成にあたり、終始ご指導、ご助言を賜り、いつも暖かい激励をもって著者を後押ししてくださるとともに、学位取得の機会を与えてくださいました帯広畜産大学食品科学研究部門 福島道広 教授に心より感謝申し上げます。また、論文作成の基本から校閲まで、懇切丁寧にご指導を賜りました帯広畜産大学食品科学研究部門 島田謙一郎 准教授、ならびに研究の進捗において、本研究および本論文の構成についてご指導を賜りました岩手大学農学部 長澤孝志 教授に心より感謝申し上げます。学会発表や論文の校閲、投稿に絶大なるご支援を賜りました帯広畜産大学食品科学部門 韓圭鎬 助教にも深く感謝申し上げます。

ベタインに関する研究について、論文構成、追加試験の実施、論文の校閲等、多大なるご協力とご指導を賜りました帯広畜産大学食品科学研究部門 山内宏昭 教授、日本甜菜製糖株式会社総合研究所 名倉泰三 主席研究員に心よりお礼申し上げます。また、研究全般において、試作試験にご協力くださるとともに、暖かい激励を賜りました日本甜菜製糖株式会社総合研究所の皆様、コスモ食品株式会社北海道工場の皆様、および本研究の主旨にご賛同いただき、ともに製品開発に邁進して下さった十勝地域の食品加工企業の皆様に厚くお礼申し上げます。味覚センサーについて、データ解析のご指導、ご鞭撻を賜りました株式会社インテリジェントセンサーテクノロジーの皆様にも厚くお礼申し上げます。ともに学んだ帯広畜産大学食品科学研究部門の皆様、そして本研究の機会を与えてくれ、職務との両立を陰ながら支えてくれた公益財団法人とかち財団の関係各位に深く感謝申し上げます。特に上司として、たくさんの心配をかけたにも関わらず、いつも気遣ってくださった大庭潔氏に心より感謝申し上げます。最後に学位取得に理解を示し、日頃から協力してくれた家族に感謝いたします。家族の応援が精神的な支えとなりました。

尚、本研究の一部は文部科学省地域イノベーション戦略支援プログラム（都市エリア型）（発展）補助金により実施いたしました。記して謝意を表します。