

令和 6 年 9 月 9 日現在

機関番号：41401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K02385

研究課題名(和文) 追熟バナナに含まれるグルテン代替成分と製パン時における膨化(気体保持)機構の解明

研究課題名(英文) Identification of gluten substitute components in ripe bananas and understanding of swelling mechanisms during breadmaking

研究代表者

細川 敬三 (Hosokawa, Keizo)

秋田栄養短期大学・栄養学科・教授(移行)

研究者番号：30311393

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：グルテンフリーパンの製造には市販の青バナナを20℃で2週間以上追熟する必要があった。追熟2週間のバナナに含まれる製パンに寄与する成分は、酵母の発酵原料となる低分子糖類(グルコース、フルクトース、スクロース)およびグルテンの代替成分と考えられる高分子水溶性成分のペクチンであった。このペクチンの主成分はキレート可溶性ペクチンで、その含有量は $2.37 \pm 0.06\%$ (対乾物)であった。一方、小麦澱粉を構成する2種類の澱粉粒子(大粒子と小粒子)から作ったドウにおける気体保持能について現在検討中である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、グルテンの代替材料として追熟バナナを利用したグルテンフリーパンの製造を目的に実施した。その結果、市販青バナナを20℃で2週間以上の追熟を行うことでグルテンの代替となりうることを明らかにした。その代替成分はキレート可溶性ペクチンであった。この追熟バナナは低分子糖類を多く含んでいるため、製パンには追熟バナナ・小麦澱粉・酵母・水だけで製パンでき、安価に入手できるバナナを追熟操作するだけでグルテンフリーパンの製造原料となりうることを明らかにした。従って、ここで製造するパンは、食塩やたんぱく質を制限された人向けのパンとして利用することができる。

研究成果の概要(英文)：For the manufacture of gluten-free bread using ripe banana, commercially available bananas were required the storage at 20°C for more than two weeks. The components contributing to breadmaking in banana ripened for two weeks were thought to be low molecular weight sugars (glucose, fructose, sucrose), which serve as fermentation substrates for yeast, and pectin, a high molecular weight water-soluble component considered as an alternative to gluten. On the other hand, the ability of gas retention in dough formed with two types of starch granules (large granules and small granules) that constitute wheat starch is currently under investigation.

研究分野：食品科学

キーワード：追熟バナナ グルテンフリー ペクチン 小麦澱粉

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

小麦は、世界の三大穀物の一つで、世界的に重要な穀物である。また、小麦粉に含まれるグルテンの粘弾性などの特性を利用しているいろいろな小麦粉製品(パン・麺類など)が作られている。しかし、グルテンはアレルギーやセリアック病の原因成分でもあり、その摂取を制限、または摂取できない人々がおり社会的問題になっている。この問題を解決するため、小麦代替食材やグルテン代替成分に関する研究とともにグルテンフリー食品の開発が世界的に要望され、研究・開発が進められている。このため、小麦代替食材としてトウモロコシや米などの穀類、大豆などの豆類に関する研究、グルテン代替成分としては粘性を持つ多糖類に関する研究が主に行われている。しかし、これらから小麦代替食品は試作可能なものの食味や物性などの点でまだ十分に代替食品になりえていないのが現状である。

2. 研究の目的

申請者は、これまでグルテンフリー食品の開発やグルテン代替成分の探索に関する研究を行ってきた。この中で追熟バナナがグルテンの代替として使用できる可能性を見出している。そこで、追熟バナナがグルテンフリー化にどのような特性を示し、どのような成分が機能しているのかを明らかにすることを目的に本研究を実施した。一方、これまでグルテン代替成分としてはバナナ以外では、多糖類などの高分子成分(hydroxypropyl methylcellulose など)が知られている。本研究では、バナナの製パン性を評価するとともに、その膨化性(気体保持性)の特性を明らかにしたい。また、追熟バナナのグルテンフリー食品への利用可能性についても示すことができると考え本研究を行なった。

3. 研究の方法

(1) 追熟バナナ粉(RBF)の調製と製パン原料

市販青バナナを20で、0~4週間の追熟処理後、果肉を凍結乾燥後、粉碎しRBF粉を調製して以降の実験に使用した。その他の製パン原料は、強力小麦粉(Camellia、日清製粉welna)、小麦澱粉(W5-525、千葉製粉(株))、乾燥酵母(Super Camellia、日清製粉welna)、スクロース(富士フィルム和光純薬(株))を使用した。

(2) RBF中の低分子糖類の測定

0~4週間の追熟により得られたRBFに含まれる4種類の低分子糖類(グルコース、フルクトース、スクロース、マルトース)の定量を高速液体クロマトグラフィーにより行なった。

(3) 製パン方法

製パンには、小麦澱粉(108g)とRBF(12g)またはRBFの分画成分(RBFの12g相当量)を含む粉類に乾燥酵母2.4g、水84gを混合し、ミキサーで10分間混捏した生地をパン型枠(上辺100×55mm、下辺93×43mm、高さ50mm)に4分割し入れた。これを37、60分間発酵後、180、10分間焼成した。室温で1時間放冷し、パン重量と菜種置換法でパン容積を測定し比容積(SV(cm^3/g))を算出してSV値が大きいほど製パン性が優れていると評価した。また、強力小麦粉の場合は、小麦澱粉とRBFを120gの強力小麦粉に代替して製パン試験を行なった。

(4) 2週間追熟処理したRBFからの分画

2週間追熟処理したバナナから調製したRBF(600g)を蒸留水(3L)に懸濁後、透析膜(6-8kDa)により水溶性低分子画分(F1)と高分子画分に分画した。さらに、高分子画分を遠心分離により水溶性高分子画分(F2)と不溶性高分子画分(F3)に分けた。分画した3画分(F1~F3)を凍結乾燥して以降の製パン試験に供した。

(5) 発酵力の評価

パン生地中での発酵力を評価するため、Fermograph II(アトー(株))を用いて発酵中に生成した気体量(主に二酸化炭素)を測定することにより発酵力の評価を行なった。

(6) ペクチンの測定

RBFおよびF1~F3に含まれるペクチン量およびペクチンのタイプ(分子種)を明らかにするため、各試料からアルコール不溶性成分を調製後、水溶性ペクチン(WSP)、キレート剤可溶性ペクチン(CSP)、酸可溶性ペクチン(ASP)、不溶性ペクチン(ISP)に分画後、3,5-dimethylphenol法にてペクチン量の測定を行なった。

4. 研究成果

(1) RBF中の低分子糖類

バナナは追熟中に澱粉が低分子糖類へと分解されることが知られている。本研究で使用した追熟バナナに含まれる4種類の低分子糖類の量を表1に示した。含有量は、追熟1週間のバナナに最も多く含まれていた(81.0%)。その後、徐々に含有量が低下し、追熟4週間で66.3%に低下し

た。また、糖組成は追熟1週目にスクロースが最も多く46.0%であったが、追熟が進むにつれ低下し追熟4週目には4.5%まで低下した。一方、グルコースとフルクトースは、スクロースの低下に伴い増加し、3週目にそれぞれ32.1%と36.4%と最も高い量を示した。また、マルトースはほとんど検出されなかった。

表1 20°Cで0~4週間追熟したバナナ果実から調製したバナナ粉に含まれる糖類の含量

Ripening Period (week)	Sugars (% DW)				Total
	Glucose	Fructose	Sucrose	Maltose	
0	4.0	3.9	35.5	0.1	43.5
1	17.3	17.7	46.0	0.0	81.0
2	25.7	27.9	24.8	0.0	78.4
3	32.1	36.4	7.0	0.0	75.5
4	26.1	35.7	4.5	0.0	66.3

(2) 製パン性に及ぼす追熟期間の影響

小麦強力粉を用いた製パン性は、SV 4.15cm³/gであった(図1)。これに対し、追熟1週間のRBFではSV 4.31cm³/gと同程度の製パン性を示した。一方、追熟2週間以上では製パン性が優っていた(2週間; SV 5.01cm³/g、3週間; SV 4.95cm³/g、4週間; SV 5.02cm³/g)。この要因を知るため、発酵中のガス発生量を測定した。ガス発生量は、小麦強力粉で最も高い値(132.5mL)を示し、RBFを用いた場合はガス発生量が少なく、追熟2週間から4週間では、112.0~112.6mLであった。これは、小麦強力粉の生地では、発生したガス(主に二酸化炭素)が発酵中に抜け出たためと考えられる。従って、追熟バナナを用いた場合の方が、ガスの発生量が少ないものの生地の気体保持力が高く、製パン性が優れている結果になったと考えられる。

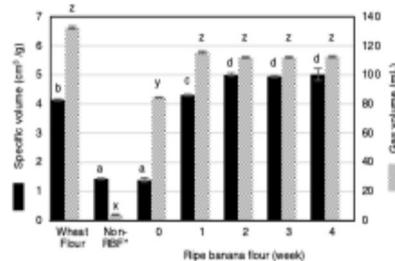


図1 製パンにおけるバナナ追熟期間の効果。異なるアルファベットは0.05%の水準で有意差あり (n=3)

(3) RBFから分画したF1~F3画分の製パン性

分画した3画分を単独および組み合わせで製パン試験を行なった(図2)。単独で使用した場合は、F1だけが製パンが可能であった。F2とF3ではほとんど発酵してガスを生成することがなかった。次に、2者を組み合わせた場合では、F1と組み合わせた条件(F1とF2、F1とF3)で製パンが可能であった。F2とF3の組み合わせでは、ガスの生成がほとんど見られなかった。次に、分画前のRBFを用いた場合にはSVが5.26cm³/gであるのに対し、これと同等の製パン性を示した条件は、「F1とF2の組み合わせ」及び「F1、F2とF3の組み合わせ」でSVはそれぞれ5.36cm³/g、5.15cm³/gであった。一方、F2単独の場合は、ほとんど発酵が起こらなかったが、F2にスクロースを添加して製パン試験を行うとSVが5.12cm³/gとなり製パン性が向上した。以上の結果から、F1には発酵に必要な糖が、F2にはグルテンの代替成分が含まれていることが推察できた。

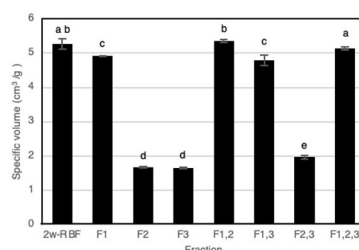


図2 20°C、2週間追熟処理したバナナから調製した画分(F1; 分子量6~8kD以下の水溶性画分、F2; 分子量6~8kD以上の水溶性画分、F3; 水不溶性画分)の製パンにおける追熟期間の効果。異なるアルファベットは0.05%の水準で有意差あり (n=3)

表2 20°Cで0~4週間追熟したバナナ果実から調整したバナナ粉に含まれるペクチン量 (n=3)

Ripening Period (week)	Pectin* (%, dry base)
0	3.02 ± 0.21
1	3.00 ± 0.09
2	3.28 ± 0.07
3	3.14 ± 0.11
4	3.37 ± 0.16

*ペクチンの含量には0.05%の水準で有意差は見られなかった (n=3)

(4) RBFに含まれるペクチンの分析

RBFにグルテンの代替成分水溶性高分子画分の可能性が示されたので、分析対象とする成分として増粘多糖類であるペクチンについて調べた。まず、追熟期間が0~4週間のRBFに含まれるペクチンの含有量を表2に示した。ペクチン含有量は、3.00~3.37%とどの追熟期間においても有意な差は見られなかった。そこで、製パン性が優れていた追熟期間が2~4週間のRBFのうち、追熟期間が2週間のRBFに含まれるペクチンのタイプ(分子種)を分析した結果を表3に示した。この結果、4タイプの中で主成分はキレート剤可溶性ペクチン(CSP)がRBF中に2.37%含まれ、全体の70.1%を占めていた。続いて、酸可溶性ペクチン(ASP; 0.85%)と水溶性ペクチン(WSP; 0.61%)で不溶性ペクチン(ISP)は含まれていなかった。

表3 20°Cで2週間追熟したバナナに含まれるペクチンのタイプ(分子種)の含量 (n=3)

Type of pectin*	Pectin (%, dry base of 2-week RBF)
WSP	0.61 ± 0.02
CSP	2.37 ± 0.06
ASP	0.85 ± 0.01
ISP	0.00 ± 0.00

*WSP; 水溶性ペクチン、CSP; キレート剤可溶性ペクチン、ASP; 酸可溶性ペクチン、ISP; 不溶性ペクチン

以上の結果から、2週間以上追熟を行なったバナナがグルテンの代替として利用できることが明らかになった。その追熟バナナ特性としては、発酵に必要な糖類、グルテンの代替となるペクチン、特にキレート剤可溶性ペクチンが含まれていることが明らかになった。今後は、追熟バナナの特性を利用したグルテンフリー食品の開発についても検討していきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Keizo Hosokawa, Kazuya Inagaki	4. 巻 30
2. 論文標題 Availability of two water-soluble fractions in ripe banana on gluten-free breadmaking.	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Food Science and Technology Research	6. 最初と最後の頁 117-123
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3136/fstr.FSTR-D-23-00072	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuaki Yamasaki, Isoko Kuriyama, Reiko Nakai, Keizo Hosokawa	4. 巻 86
2. 論文標題 Curcuma zedoaria 50% methanol extracts increase adiponectin secretion by enhancing PPAR mRNA expression in 3T3-L1 cells.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 1295-1299
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/bbb/zbac098	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 細川敬三, 秋定真歩, 天野優海, 今西一司, 太田遥南, 釜江彩矢, 川南のど佳, 佐々木理奈, 末廣美咲, 船越翔也, 古橋沙奈, 前野美久, 福本恭子	4. 巻 27
2. 論文標題 干しいもを副材料としたアレルギー対応米粉パンの食味特性に関する官能評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 兵庫大学論集	6. 最初と最後の頁 31-37
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 栗山磯子, 山崎一諒, 細川敬三	4. 巻 28
2. 論文標題 東播磨地域産にんにくの糖質分解酵素阻害活性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 兵庫大学論集	6. 最初と最後の頁 75-80
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 細川敬三, 坂下美咲, 杉崎ののか, 中井こころ, 石橋由紀乃, 河上花凜, 北村華菜, 上月美空, 近藤未悠, 下野まゆみ, 鈴木苗帆, 平良佑菜, 利根川菜月, 中村勇斗, 廣瀬楓那, 福本恭子	4. 巻 28
2. 論文標題 副材料として紅茶とレーズンを組み合わせたアレルギー対応米粉パンの食味特性に関する官能評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 兵庫大学論集	6. 最初と最後の頁 145-152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Keizo Hosokawa, Kyoko Ohishi, Tatsuya Ikeda, Kazuya Inagaki	4. 巻 44
2. 論文標題 Properties of ripe banana flour and application to gluten-free breadmaking.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Food Processing and Preservation	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jfpp.14789	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 大石恭子, 池田達哉, 稲垣一弥, 細川敬三
2. 発表標題 グルテンを含まない小麦澱粉を原料とした製パンにおける澱粉の特性解明
3. 学会等名 日本食品科学工学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------