

レンコン添加が及ぼす減塩パンの製パン性への影響

山下彩代*・有馬秀幸*

Effect of Addition of Lotus Root on Bread-making Qualities of Low-Salt Bread
Sayo Yamashita and Hideyuki Arima

食品添加物を使用せずに通常品と遜色ない食感を保つ減塩パンの製造を目指し、山口県の地域特産品であるレンコンの添加効果について検討した。その結果、レンコン粉末とレンコン澱粉抽出上澄液を加えることにより、パンの膨らみや食感が改善された。また、これらの素材に含まれる成分を分析したところ、ポリフェノールやビタミンCなどが複合的に作用し、製パン性を向上させる可能性が示唆された。

1. 緒 言

近年、健康志向の高まりとともに、長期的な健康維持にはバランスの取れた食事に加え、塩分を控えることが重要であると言われている。食塩の過剰摂取は健康リスクを高めるとされており、特に高血圧が代表的な例として挙げられ、これに伴う心臓病、脳卒中、腎機能の低下などのリスクが指摘されている。健康日本 21(第三次)¹⁾では、日本人の1日の食塩摂取量の目標値は7gと定められているが、令和5年の国民健康・栄養調査²⁾によると、20歳以上の平均食塩摂取量は9.8gであり、目標値を2.8g上回っている。

このような現状において、日本人が日常的に摂取するパン類は、保存性や食味、さらに食感を向上させる目的で相当量の食塩が添加されている。例えば、6枚切りの食パン1枚(約60g)には、食塩相当量として約0.7g含まれている³⁾。そのため、主食として食パンを用いた場合、主菜や副菜の塩分が制限されるケースもある。

これまでに多くの減塩パンが市販されているが、一般的に減塩パンの製造には、膨らみや食感を改善するためにさまざまな食品添加物が使用されてきた。一方で、業界全体として食品添加物を使用しない製品へのニーズが高まっており、パンについても食品添加物に代わる自然由来の食材を活用した食感の改善が求められている。そこで、本研究では、食品添加物を使用せずに通常品と遜色ない仕上がり of 減塩パンを製造するために、山口県の地域食材であるレンコンの添加効果を検討した。

2. 実験方法

2・1 試験材料

本研究ではグルテンの役割を代替する素材として、多糖類等の粘性物質を含むレンコンを用いた。その他の材料には、強力小麦粉、ドライイースト、グラニュー糖、食塩、ショートニングを用いた。

2・2 各種レンコンサンプルの調製

図1に各種レンコン画分の調製方法を示す。水洗後皮剥きしたレンコンを2cm幅の輪切りにし、生及び15分間蒸したものを真空凍結食品乾燥機(VirTis製 GENESIS 25XL-

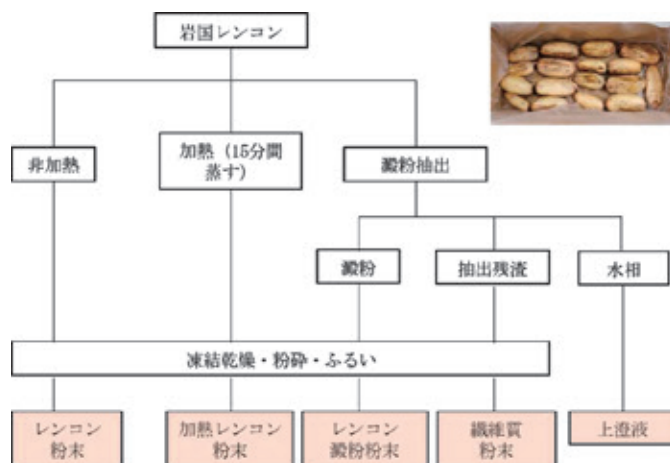


図1 各種レンコン画分の調製方法

3)を用いて乾燥させた。各乾燥物は粉砕後、250メッシュのふるいにかけた。粉砕前に加熱しないものを非加熱レンコン粉末(以下;レンコン粉末)とし、蒸したものを加熱レンコン粉末とした。また、皮剥きしたレンコンをペースト状にし、ガーゼ濾過して得られた濾液を静置し、沈殿物を繰り返し洗浄することによりレンコン澱粉を得た。沈殿部分を30℃で風乾後粉砕して、レンコン澱粉粉末を調製した。また、ガーゼ上に残った部分は凍結乾燥し、粉砕することで繊維質粉末を調製した。濾過後の上澄み部分は上澄液とした。

2・3 上澄液のペクチナーゼ処理

ペクチン質を除去するため、1N HClを用いて上澄液をpH4.0に調整し、ペクチナーゼSS(ヤクルト薬品工業株式会社)を0.5%(w/w)添加し45℃で2時間反応させた。反応終了後、1N NaOHを用いて元のpH6.2に戻し、製パン試験に供した。

2・4 パンの調製

パンの調製は、パン用酵母試験法(日本イースト工業会)にある製パン試験法(直捏法)⁴⁾に基づき行った。基本の原料配合は小麦粉225.2g、ドライイースト2.3g、グラニュー糖11.2g、ショートニング11.3g、塩4.5g、水150.9mLとした。各粉末を添加する場合は小麦粉の一部と置換するとともに、添加する素材に含まれる水分を考慮し加水量を調整した。ミキサー(KitchenAid製KSM5)のボウルにショート

* 技術支援部食品技術グループ

ニング以外の原料を入れ、低速 2 分、中速 2 分、高速 1 分で混捏した後ショートニングを加え、さらに低速 2 分、中速 2 分、高速 1 分 30 秒混捏し、生地を調製した。第 1 発酵は 28℃で 70 分、第 2 発酵は 28℃で 30 分、ベンチタイムは 28℃で 15 分、ホイロ発酵は 38℃、RH85%で 50 分行い、発酵後の生地を 200℃のオーブンで 20 分焼成した。

2・5 パンの評価方法

焼成後、直ちに重量及び比容積を求めた。菜種法により体積を測定し、体積(ml)をパン重量(g)で除した値を比容積とした。また、かたさ(荷重)は、パンを 28℃にて 1 時間放冷後、厚さ 25mm に切りクラストを除き、クリープメータ(山電製 RHEONER2 CREEP METER RE2-33005B)を用いて測定した。測定条件は、直径 30mm 円盤型ブランジャーを用いて測定歪率 50%、測定速度 1mm/分、戻り距離 5mm とした。

2・6 ビタミン C の定量分析

ビタミン C の含有量は、ホモシステイン還元法により還元型アルコールビン酸量として測定した。粉末 10g を秤量し、4%メタリン酸 10ml、2%メタリン酸 30ml を加え 10 分間超音波処理し、2%メタリン酸で 50ml に定容した。さらに、3,000rpm で 10 分間遠心分離し、0.45 μ m フィルターで濾過したものを 2ml 分取し、0.1%ホモシステイン 1ml、10%リン酸水素二ナトリウム 1ml を加え 40℃で 20 分間加温し還元処理を行い、高速液体クロマトグラフ(島津製作所製 Prominence)を用いて測定した。測定条件は、カラム TSKgel Amide-80(東ソー製)、流量 1.0ml/min、カラム温度 40℃、検出器 PDA 270nm、注入量 5 μ l、移動相はアセトニトリル/メタノール/0.01M リン酸二水素ナトリウム水溶液/0.03%ホモシステインを 600/30/100/30, v/v/v/v の割合で混合した。

2・7 ポリフェノール総量の定量分析

レンコン粉末 1g に純水 50ml を加え、1 時間攪拌抽出後、3,000rpm で 5 分間遠心分離した上清を回収した。この操作を 3 回繰り返し、抽出液を減圧濃縮後 50ml に定容した。上澄液は 4 倍希釈し分析に用いた。ポリフェノール総量はフォーリン・チオカルト法により測定し、没食子酸相当量として算出した。抽出液 0.5ml にフォーリン・チオカルト試薬 0.2ml、飽和炭酸ナトリウム溶液 0.5ml、純水 4.3ml を加えて混合後 1 時間静置し、分光光度計(日本分光製 V-730BIO)で 725nm の吸光度を測定した。

2・8 低真空走査電子顕微鏡での生地観察

生地の観察は、低真空走査電子顕微鏡(日本電子製 JSM-IT500LA)を用いて行った。パン生地を凍結乾燥し、切断した試料を金蒸着し、観察倍率 2,000 倍で観察した。

3. 実験結果

3・1 食塩が及ぼす製パン性への影響

製パン試験法の標準配合に従って食塩を添加している試験区を標準、食塩を除去した試験区を無塩として製パン試験を行った。その結果、標準と比較して無塩は比容積が小さく、かたくなった(図 2)。これより、製パン性改善の指標として、かたさ及び比容積を求めることとした。また、無塩生地はべたつきが強く作業性が悪かったが、食塩を添加することによってべたつきの改善がみられた。この結果は、食塩によりパン生地が引き締められることで弾性が増加し、粘着性が減少するという報告⁵⁾と一致した。

3・2 レンコン粉末が及ぼす製パン性への影響

無塩配合において、レンコン粉末を小麦粉重量の 0.25～10%添加し、製パン試験を行った。クラムのかたさについては 2.5%が最もやわらかく、比容積については 5%が最大という結果になり、レンコン粉末添加により、かたさ及び比容積が標準配合と同等もしくはそれ以上に改善することが明らかとなった(図 3)。レンコン添加量が増加するにつれて焼成後のクラムの色調は変化し、特に 7.5%、10%ではやや褐色がかった。

また、製造工程において食塩を取り除いた生地はべたつきが感じられていたが、そこにレンコン粉末を加えた生地ではべたつきは感じられず、ハンドリング改善効果が確認された。

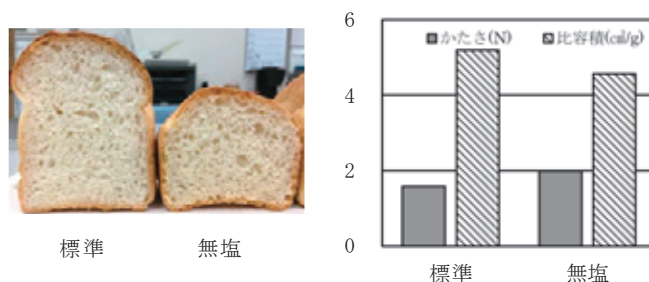


図 2 食塩が及ぼす製パン性への影響

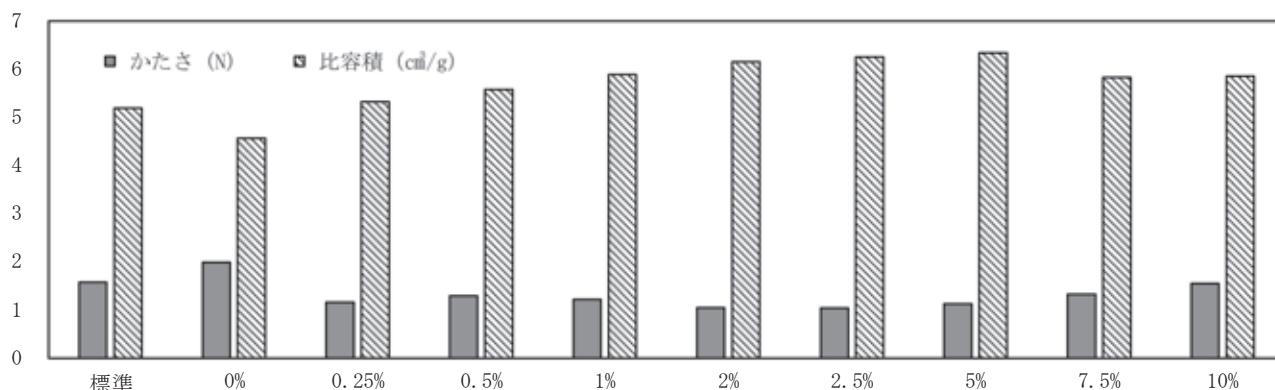


図 3 レンコン粉末が及ぼす製パン性への影響

3・3 レンコン含有成分が及ぼす製パン性への影響

3・3・1 ビタミンCの効果

レンコンによる製パン性改善効果の機構を解明するため、レンコンに含まれ、一般的にパン生地改良剤としても用いられているビタミンC(以下;VC)を無塩配合に添加し製パン試験を行った。VCはその還元作用から、パンのグルテン間のSS結合に関与し製パン性を高めるとされている⁵⁾。製パン試験法の配合ではVCを7mg添加していたが、試験で添加したレンコン粉末(小麦粉の5%, 11.4g)中には23.4mgのVCが含まれていた。この結果を踏まえ、無塩配合にVCを0~50mg添加し製パン性への影響を調べた。その結果、比容積はVC添加によって僅かに増加したものの、レンコン粉末を添加した試験区には及ばなかった。また、かたさの改善は見られなかった(図4)。

3・3・2 レンコン画分成分の効果

レンコンより得られた加熱レンコン粉末、澱粉粉末、繊維質粉末を画分ごとに無塩配合に2%添加し、製パン性への影響を調べた(図5)。澱粉を添加した試験区では、無塩よりもさらに比容積が小さく、かたさが増加しており、製パン性を低下させる結果となった。一方、加熱レンコン粉末では、レンコン粉末にわずかに劣るものの、無塩よりも比容積が大きく、かたさが柔らかくなっており、明確な製パン性改善効果が確認された。加熱レンコン粉末は、酵素による製パン性への影響を確認する目的で加熱処理により酵素を失活させていることから、改善に寄与する成分は酵素ではなく、熱に強い性質を有するものであると推測された。また、繊維質粉末でも製パン性改善効果が確認された。この結果に関連して、パン生地を低真空走査電子顕微鏡で観察したところ、レンコン粉末を添加した場合に繊維状の構

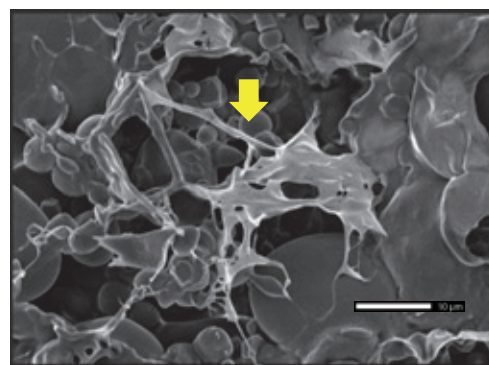


図6 低真空走査電子顕微鏡での観察結果

造が確認された(図6)。この繊維状の構造にグルテンが絡んでいる箇所が随所に見られたことから、繊維とグルテンの絡みが生地強度やパンの膨らみといった製パン性の改善効果に与える物理的影響を調査した。繊維質粉末を0%~2%の範囲で無塩配合に添加した結果、0.2%添加時には標準配合と同等まで製パン性が向上した(図7)。しかし、その後、添加量が増加するにつれて製パン性は低下傾向にあった。これらの結果から、レンコンによる製パン性改善効果は単一の成分によるものではなく、複数の成分が相乗的に作用していると考えられた。そこで、繊維質粉末と澱粉粉末を実際のレンコンに含まれる割合(繊維質:澱粉=1:5)に基づいて混合し添加した。その結果、繊維質粉末単独添加の場合と同等の製パン性が得られたことから、澱粉は繊維質と複合させた場合においても、製パン性改善効果に寄与しないと考えられた(図5)。

次に、澱粉を抽出した際に得られた上澄液を、0%~100%の範囲で無塩配合中の水と置換した結果、添加量に依存して製パン性が向上することが確認された(図8)。この結果

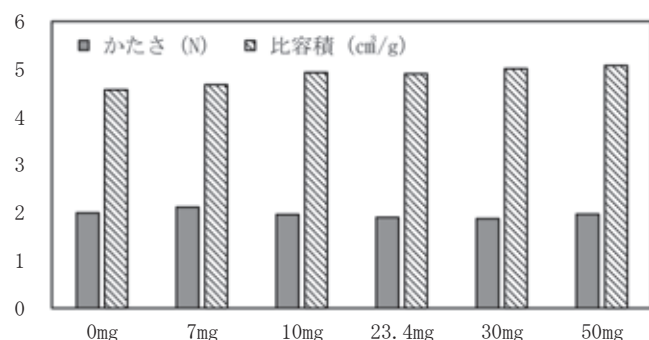


図4 VCが及ぼす製パン性改善効果への影響

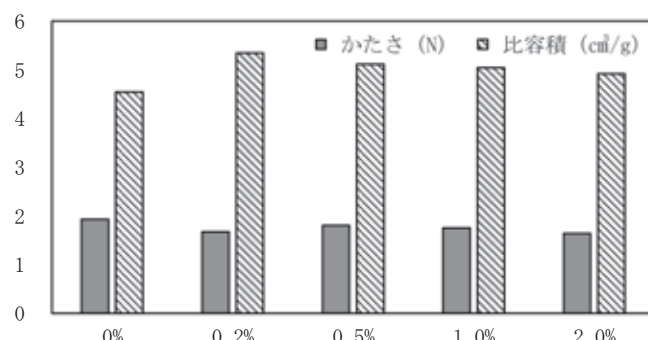


図7 繊維質粉末添加が及ぼす製パン性への影響

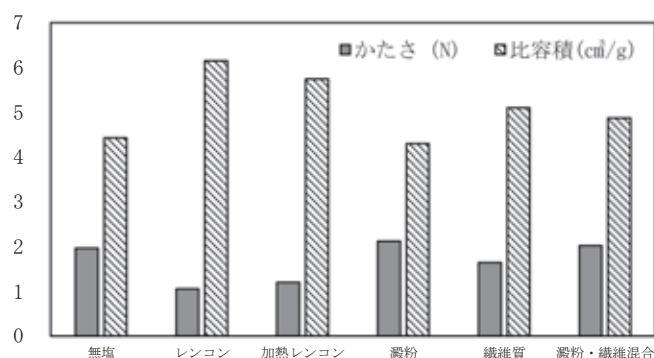


図5 レンコン画分による製パン性の違い

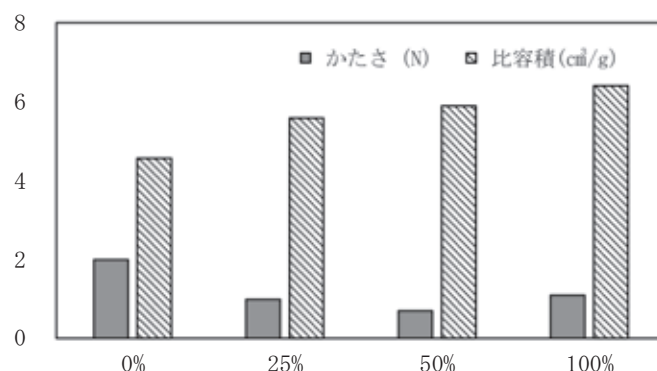


図8 上澄液の添加量依存性

から、製パン性を改善させる成分が上澄液に含まれ、その性質が水溶性であることが確認された。また、繊維質は上澄液を得る際の処理で除かれていることから、製パン性改善効果が繊維質の物理的作用によるものでないと結論付けた。

次に、上澄液を加熱し、蛋白質を主成分とする凝集物を除去した上澄液を用いて製パン試験を行った結果、非加熱の上澄液と同等の製パン性が得られた。このことから、有効成分は蛋白質ではないことが確認された。この結果は、加熱レンコン粉末を用いた製パン試験の結果とも一致している（図5）。

3・3・3 ポリフェノールの効果

レンコンには水溶性成分として抗酸化性を持つタンニン酸といったポリフェノールが含まれている^{6,7)}。ポリフェノールは、パンの仕上がりに影響を及ぼすグルテンのジスルフィド結合に作用し、製パン性を改善することが知られている^{8,9)}。そこで、レンコン中のポリフェノール量を分析した結果、レンコン粉末には230mg/100g、上澄液には13mg/100g含まれていた（表1）。既報⁸⁾では、小麦粉乾燥重量の0.1～0.3%タンニン酸を添加した場合にパン生地 of 改善効果が示されており、これと比較すると本研究におけるポリフェノール量はかなり低い値であった。しかしながら、食塩は生地を引き締める、水分を調整する、食味を良くするといった役割もあるが¹⁰⁾、酵母による発酵を抑制する効果もある。即ち、本研究においてレンコンを添加した試験区については、既報とは配合条件が異なり発酵が抑制されていない状況であったため、より少ないポリフェノール量で製パン性改善効果が得られたと考えられる。生のレンコンよりも茹でた状態では総ポリフェノール量及び抗酸化活性が下がると報告⁷⁾されており、この結果は本研究の中で、加熱レンコン粉末がレンコン粉末よりも製パン性改善効果が劣っていた点と一致する。レンコンのポリフェノールは部位によって含有量が異なっており、本研究で用いた可食部よりも、皮や節には2～6倍が多く含まれている⁴⁾。そのため、これらの部位を素材として用いることにより更なる製パン性改善効果が期待できる。

4. 結 言

山口県の地域食材であるレンコンを用いて、食塩を添加しなくても通常品と遜色ない仕上がりのパンを製造できることを明らかにするとともに、その製パン性改善機構につ

いて検討した。その結果、無塩配合にレンコン粉末及びレンコン澱粉抽出上澄液を添加することにより、通常の食塩を含む配合のパンよりも比容積が大きく、軟らかい食感が得られ、製パン性が改善することを確認した。レンコン粉末や上澄液について製パン性の改善に寄与する有効成分の探索をした結果、グルテンのジスルフィド結合に作用するポリフェノールがそれぞれ230mg/100g、13mg/100g含まれていた。この含有量は、製パン性改善効果があるとされる量より少なかったが、今回は無塩配合で発酵が抑制されていない条件であったため、より少ないポリフェノール量で製パン性改善効果が得られたと考えられる。さらにレンコンにはポリフェノール以外にもVCといった製パン性に影響を及ぼすとされる成分も含まれていることから、これら成分が複合的に作用した可能性が示唆された。

参考文献

- 厚生労働省：健康日本21（第三次）、https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/kenkounippon21_00006.html (2023)。
- 厚生労働省：令和5年「国民健康・栄養調査」の結果、https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_45540.html (2023)。
- 文部科学省：日本食品標準成分表（八訂）増補2023年、https://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/mext_00001.html (2023)。
- 日本イースト工業会：パン用酵母試験法 p.8-9(1996)。
- 田中康夫，松本博：製パン材料の科学，光琳，東京，p.183～186，198～201(1992)。
- 鶴田裕美，岩元彬，柘植圭介：地域資源を活用した機能性食品および素材開発（第1報）－抽出溶媒の違いがレンコンポリフェノール精製物の特性に及ぼす影響－，令和元年度佐賀県工業技術センター研究報告書，p.27～32(2019)。
- 池田絵梨，新居佳孝：徳島県産レンコンの産地および加工方法の違いによる抗酸化性比較，徳島県立工業技術センター研究報告，30，p.17～19(2022)。
- Qiong Wang, Yin Li, Fusheng Sun, et al.: Tannins improve dough mixing properties through affecting physicochemical and structural properties of wheat gluten proteins. *Food Research International*, 69, p.64-71(2015)。
- Yanbin Guan, Xun Yang, Chuang Pan, et al.: Comprehensive Analysis of Breads Supplemented with Tannic Acids. *Foods*, 12(20) (2023)。
- 裏出令子：グルテンタンパク質のネットワーク形成における食塩の役割，食品と技術，12，p.1～9(2008)。

表1 ポリフェノール総量

	mg/100g	小麦粉に対する割合(%)	
		5%置換	全量置換
レンコン粉末	230	0.01	-
上澄液	13	-	0.01