サツマイモ葉凍結乾燥粉末配合パンの製パン性と品質

鈴野弘子*・石田 裕*・印南 敏**・前川昭男**・田所忠弘**

(*東京農業大学短期大学部, **東京農業大学応用生物科学部)

Bread – making properties and quality of bread containing a freeze – drying powder of sweet potato leaves

Hiroko Suzuno*, Hiroshi Ishida*, Satoshi Innami**, Akio Maekawa**,
Tadahiro Tadokoro**

*Junior College of Tokyo University of Agriculture, 1-1-1, Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo, 156-8502

**Faculty of Applied Bioscience, Tokyo University of Agriculture, 1-1-1, Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo,
156-8502

*〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1

**〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1

The purpose of this study was to evaluate the usefulness of sweet potato leaves as a food supply source. We prepared bread containing a freeze-drying powder of sweet potato leaves, and evaluated its bread-making properties and quality.

Farinograms of strong flour containing a freeze-drying powder of sweet potato leaves showed a decrease in stability by mixing. However, the expansion ability of the dough of bread containing this powder slightly improved. There was no other problem in bread-making properties.

Bread containing a freeze-drying powder of sweet potato leaves showed a volume, water content, degree of starch gelatinization, and bread hardness similar to those of bread not containing this powder, but was slightly inferior to bread containing a dry powder of Jew's marrow leaves in terms of brightness. Analytic sensory tests revealed similar results between bread containing a freeze-drying powder of sweet potato leaves and that containing a dry powder of Jew's marrow leaves. Taste sensory tests showed no significant difference in any item other than brightness of color between breads containing and not containing a freeze-drying powder of sweet potato leaves. Therefore, the quality of bread containing a freeze-drying powder of sweet potato leaves was considered to be good.

Since addition of a freeze-drying powder of sweet potato leaves increases food fiber, carotene, calcium, and polyphenol, the functional value of bread may improve.

緒 言

サツマイモ (*Ipomoea batatas* Poir.) は、ヒルガオ科の植物である。農林水産省統計によると我が国の平成14年のサツマイモ収穫量は、103万トンであった。

現在、日本でのサツマイモの利用は、塊根をデンプン等の加工原料用、あるいは直接調理するのが一般的で葉や葉柄部分を食用にすることは少ない。すなわち、葉や葉柄部は塊根部と同様に生産はあるが、そのほとんどは

利用されていない。しかし、東南アジアや台湾などの亜熱帯や熱帯地方では、サツマイモの葉や葉柄を日常的に食し^{1,2)}、これらの地域では葉や葉柄部にアク成分や毛茸の少ない専用品種が発達している。近年、サツマイモの葉や葉柄部には、ビタミン類、ミネラル類、ポリフェノール、食物繊維が豊富に含まれていることが明らかにされている^{3~6)}。その機能性としては、ラットの肝臓コレステロール濃度を低下させること^{7,8)}や葉部熱水抽出物に高いラジカル消去活性を有すること⁹⁾が報告されて

いる。このようにサツマイモの葉および葉柄は、機能性成分含有の未利用資源として注目され、サツマイモ葉の粉末化¹⁰⁾や飲料の開発¹¹⁾も行われている。筆者らも、サツマイモ葉の有効利用を図る目的で葉の乾燥粉末を加えたクッキーを調製し、その品質を検査したところ、非常に良好であり、サツマイモ葉は食品の加工に利用することができる新規素材であることを認めた¹²⁾。

他方、日常よく食するパンは、ビタミン類をほとんど含んでおらず、食物繊維量も極めて少ない。パンは主食として用いられることが多く、食する量や回数が多いため、これらのパンに機能性を持ち合わせた食材を添加することにより、簡便かつ手軽にそれらの摂取が可能となると共に、健康の維持・増進に資することになる。このような考えのもと、近年、機能性を持ち合わせた食材を添加した機能性パンの開発が進んでいる^{13~16)}。

そこで、本研究では、サツマイモ葉を凍結乾燥粉末化して小麦粉に添加し、パンを調製して、その製パン性と品質について検討した。なお、サツマイモ葉と同様に、葉に粘りを有し、栄養価の高い野菜として評価されているモロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンも調製し、比較検討した。

実験方法

1. 試料

サツマイモ葉(コガネセンガン：神奈川県産)は、1998年8月に採取し、凍結乾燥後、100メッシュに粉碎し、オートクレーブで滅菌して用いた。対照としたモロヘイヤ葉(山口県産)は、1997年9~10月に採取し、70℃で14時間乾燥して、100メッシュに粉碎したもの(アルソア中央製)を入手し、オートクレーブで滅菌して用いた。

2. 材料および製パン条件

パンの原材料には、強力粉(カメリヤ、日清製粉)、バター(ケーキ用マーガリン、雪印乳業)、砂糖(テンプルシュガー、日新製糖)、塩(高純度家庭用精製塩、塩事業センター)、脱脂粉乳(スキムミルク、雪印乳業)、ドライイースト(顆粒状カメリヤイースト、日清製粉)を用いた。

配合割合は、一般的な食パンの基本配合に準じ、強力粉300g、塩6g、砂糖15g、バター15g、スキムミルク15g、ドライイースト6g、水195gとした。サツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ乾燥粉末の添加は、予備実験の結果より、強力粉に対して無水物換算で2%を代替した。

これらの材料を配合して、パン用ミキサー(レディースミキサー、大正電気㈱)で10分間攪拌後、40分間発酵(温度34℃、湿度85%)させた。次にガス抜きし、さらに20分間発酵、ベンチタイムを10分間設け、成形した。その後、二次発酵(温度34℃、湿度85%)させてから180℃で30分間焙焼した。

3. 生地特性

1) ファリノグラフによる生地の測定 生地の物性をファリノグラフ(B.U.500, Brabender 社製)で測定した。強力粉40g(試料乾燥粉末分は差し引く)、サツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ葉乾燥粉末は強力粉に対して2%、水22mlを入れ、30℃において25分間混ねつし、その間の粘度を自記させた。

2) パン生地の膨張力の測定 パン生地の膨張率は、イースト工業会法¹⁷⁾を参考に行った。すなわち、1リットルのビーカーに捏ね上げたパン生地250gを底に密着させて表面が平らになるように詰め、温度37℃、湿度80%の条件の恒温室内に入れ、0.5、1、2、3時間後の生地の高さを測定し、元の高さに対しての膨張割合を求めた。

4. パンの品質評価

1) 体積、比容積、水分、色調の測定 焼き上がりのパンの体積は、なたね置換法によって求め、さらに体積を重量で除して比容積を求めた。パン内相部の水分含有量は常法によって測定した。色調は、色彩色差計(CM-200, ミノルタ㈱製)を用いて、 L^* 、 a^* 、 b^* 値を測定した。

2) 官能検査 東京農業大学短期大学部栄養学科男女学生24名をパネルとして、サツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンと無添加パンについて、セマンティック・デファレンシャル法により、分析型および嗜好型官能検査を行った。パンは焙焼24時間後のものを用いた。分析型官能検査の評価項目は、パンの特徴を表わすと思われる外観、内相の状態、香り、テクスチャー、味に関する13項目を設定した。嗜好型官能検査の評価項目は、分析型官能検査の評価項目に総合評価を加え14項目とした。

3) パンの組織構造の観察 パン内相部の断面組織をデジタルマイクロスコープ(VH-8000, ㈱キーエンス製)で観察した。

4) でんぶんの糊化度の測定 パン内相部をミキサーで粉碎し、アセトンで脱水したものを糊化度測定用の試料とした。糊化度は β -アミラーゼ法(BAP法)¹⁸⁾によって測定した。

5) 硬さの測定 パンは焙焼後、ポリプロピレン製の袋に24時間保存し、クリープメータ(RE2-33005S: ㈱山電製)を用いて破断強度試験を行い、応力-ひずみ曲線を得た。測定条件は、プランジャー: 40mm ϕ 、圧縮速度: 1mm/s、圧縮率80%とした。この応力-ひずみ曲線には破断点が認められなかったため、ひずみ60%時の応力を硬さとして比較した。

結果および考察

1. 製パン性に及ぼすサツマイモ葉凍結乾燥粉末添加の影響

1) 生地の物理特性 2%サツマイモ葉凍結乾燥

粉末を添加した時の生地物の性をファリノグラフで測定し、その結果を図1に示した。

無添加の場合は、一般的な強力粉のファリノグラムを示し、最高粘度に達した後も粘度は低下せず、生地の安定性は良好であった。これに対し、サツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ葉乾燥粉末を添加すると、最高粘度を示したのち、混ねつ時間の経過とともにブレイクダウンが観察された。無添加の場合、生地が安定していた時間は17分であったが、サツマイモ葉凍結乾燥粉末添

が減っていることやサツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ葉乾燥粉末中に含まれている水溶性食物繊維がグルテン集合体の内部の水分を奪い、グルテン形成を阻害したことにあると考えられた。

この結果からサツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ葉乾燥粉末を添加したパン生地のミキシングは、無添加より短時間に終了させた方が望ましいと考えられた。また、葉に粘りがあるなど同様の性質を示す緑葉であっても、モロヘイヤ葉乾燥粉末の添加に比べ、サツマイモ葉凍結乾燥粉末添加の安定性が低かったことは、含有される食物繊維の粘度や保水性の違いが考えられるが、この点については現在検討中である。

2) パン生地の膨張力 サツマイモ葉凍結乾燥粉末添加パン生地の膨張割合を求め、表1に示した。

Fig. 1 Brabender farinograms of wheat flour added with or without green leaf powders [A]:None (without green leaf powder), [B]:Wheat flour added sweet potato leaf powder, [C]:Wheat flour added Jew's marrow leaf powder. Added dry green leaf powders were 2%(w/w) of wheat flour.

加は6.5分、モロヘイヤ葉乾燥粉末添加は11.0分であり、サツマイモ葉凍結乾燥粉末添加が顕著に安定性が低くなることが認められた。

生地のブレイクダウンは、たんぱく質中のS-S結合の切断やたんぱく質の水分保持力の変化、パン生地中の遊離水の増加などの原因が考えられている¹⁷⁾。緑葉乾燥粉末添加生地のブレイクダウンの原因は、小麦粉の2%分をそれに代替したため、無添加生地に比べグルテン量

Table 1 Expansion coefficient of bread dough added with or without green leaf powders during storage times (cm/cm)

Storage time*(h)	Kinds of bread dough		
	None	Sweet potato leaf	Jew's marrow leaf
0.5	2.2±0.4	2.3±0.2	2.3±0.1
1	3.4±0.2	3.8±0.2	3.7±0.2
2	3.8±0.6	4.0±0.2	3.9±0.1
3	3.9±0.7	3.9±0.2	3.7±0.2

*: Stored at 37°C. Added dry green leaf powders were 2% (w/w) of wheat flour.

いずれのパン生地も発酵0.5時間では、元の高さの2.2～2.3倍であり、顕著な差は認められなかった。しかし、1時間後にサツマイモ葉凍結乾燥粉末添加パン生地の膨張割合は3.8倍、モロヘイヤ葉乾燥粉末添加は3.7倍になり、無添加の3.4倍に比べ若干高くなり、以後3時間までその割合はほぼ変わらなかった。無添加パン生地も3時間後に膨張割合が3.9倍となって、サツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ葉乾燥粉末添加と同程度になった。サツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ葉乾燥粉末添加パン生地の膨張が速かったのは、ファリノグラフ測定で示されたように生地が無添加より速く脆弱化し、生地の伸展性を増加させたためと考えられた。

2. パンの品質に及ぼすサツマイモ葉凍結乾燥粉末添加の影響

1) パンの品質特性 サツマイモ葉凍結乾燥粉末添加パンの体積、比容積、内相部の水分含有量、色調を表2に示した。

パンの体積、比容積、内相の水分含有量は、いずれのパンも顕著な差は認められず、これらの品質にはサツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ葉乾燥粉末添加は影響を及ぼさないことがわかった。内相部の色調では、L*値はモロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンに比べ、サツマ

Table 2 Quality characteristics of breads added with or without green leaf powders

Kinds of bread	Loaf volume(ml)	Specific loaf volume(ml/g)	Water(%)	Color		
				<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
None	1815±84	4.91±0.08	44.0±0.28	80.3	-2.2	12.5
Sweet potato leaf	1830±93	4.87±0.03	43.3±0.40	58.4	-4.4	24.3
Jew's marrow leaf	1843±75	4.86±0.05	43.9±0.07	62.2	-3.7	21.5

*L**,*a**,*b**: Each values was measured by a spectra-colorimeter.

Fig. 2 Sensory evaluations on breads added with or without green leaf powders

[A]: Evaluation of strengths. [B]: Evaluation of likeability. ○, control bread (without green leaf powder); ●, bread added sweet potato leaf powder; ■, bread added Jew's marrow leaf powder. Added dry green leaf powders were 2%(w/w) of wheat flour.

*, ** Significant difference by two dimensional analysis of variance were $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively (n = 24).

イモ葉凍結乾燥粉末添加パンが小さく、やや暗かった。また、*a**値はモロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンに比べ、サツマイモ葉凍結乾燥粉末添加パンがマイナスの度合いが大きいため、緑色が強いということがわかった。このようにサツマイモ葉凍結乾燥粉末添加パンがモロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンより緑色が濃かったのは、サツマイモ葉凍結乾燥粉末にクロロフィルが多かったことに起因する。これはクッキーに両乾燥粉末をそれぞれ添加したときの色調の違いと同様であった¹²⁾。

2) 食味特性 サツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンと無添加パンの官能検査の結果を図2に示した。

分析型官能検査(図2A)では、サツマイモ葉凍結乾燥粉末添加パンは、苦味、後味が強いと評価された。また、モロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンと比較すると、緑色が強く、色のさえがなく、青臭いと評価されたが、その他の項目は有意な差は認められず、両者は近似した評価であった。さらに、テクスチャーに関する項目は、無添

加パンの評価と有意な差がなかったことから、サツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ葉乾燥粉末2%の添加は、口の中で感じられるほどのテクスチャーに影響を与えないことが示された。

嗜好型官能検査の結果(図2B)では、サツマイモ葉凍結乾燥粉末添加パンは、無添加とモロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンに比べ、色のさえは好まれないものの、他の項目については有意な差が認められなかった。

このことから、サツマイモ葉凍結乾燥粉末添加パンは、通常の食事に十分に受け入れられるものと判断した。図表には示していないが、アンケートによるイメージ調査では、サツマイモ葉凍結乾燥粉末添加パンはモロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンと同様、健康的なイメージであると評価された。また、すでに報告したサツマイモ葉凍結乾燥粉末中の成分値⁴⁾を用いて、サツマイモ葉凍結乾燥粉末を2%添加したパン100g中の食物繊維、カロテン、カルシウム、ポリフェノールを算出すると、それぞれ2.8g, 49 μg, 87mg, 11mgであった。したがって、こ

Table 3 Degree of gelatinization and hardness of breads added with or without green leaf powders during storage times

Kinds of bread	Degree of gelatinization(%)		Hardness(Pa×10 ³)
	Storage*(h)		Storage*(h)
	—	72	24
None	62.2±2.33	34.4±2.21	5.65±1.09
Sweet potato leaf	68.9±5.37	34.8±0.36	6.01±1.29
Jew's marrow leaf	63.2±1.89	33.7±1.86	6.47±0.95

* : Stored at 20℃. Added dry green leaf powders were 2% (w/w) of wheat flour.

Fig. 3 Digital micrographs of breads added with or without green leaf powders

[A] :None (without green leaf powder), [B] :Bread added sweet potato leaf powder, [C] :Bread added Jew's marrow leaf powder. Added dry green leaf powders were 2%(w/w) of wheat flour.

のパンを100g 食べるとこの量を摂取できることになるため、機能性成分の補足的な給源として有効であると思われる。

3) パンの組織構造 サツマイモ葉凍結乾燥粉末添加およびモロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンと無添加パンの断面組織を図3に示した。

通常、パンは膨張段階で気泡が大きくなるにつれ、グルテン膜は薄く伸びると報告されている¹⁹⁾。断面組織の観察では、無添加パンは明確な気泡を形成しているのに対して、サツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンは、気泡壁が無添加パンに比べ、厚い膜状のものに覆われている様子が観察された。このサツマイモ葉凍結乾燥粉末添加パンに認められた膜状のものは、キシロースを多く含むガラクトキロン酸主体の食物繊維であると考えられた⁸⁾。同様にモロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンにおいてもラムノース、ガラクトース、グルコースを多く含むガラクトキロン酸主体の食物繊維が膜を形成しているものと考えられた⁸⁾。また、これらの食物繊維は粘性を有する水溶性食物繊維であることを確認している⁸⁾。したがって、これらの食物繊維の物理的性質が組織構造に影響を与えているものと思われる。

4) パンの老化 パンは焼成後、時間経過に従い、内相部が硬くなり、パサパサした食感を示すようになる。このような現象はパンの老化と言われるが、これはパンの品質を左右する重要な因子である。パンの老化に影響を及ぼしている成分は、水分、デンプン、グルテンで、特にデンプンの老化が主な原因と考えられている。そこで、パン中のデンプンの糊化度をBAP法で測定し、緑葉乾燥粉末添加パンの老化状態の把握を行った。結果は表3に示した。

いずれのパンも焼き上がり直後の糊化度は、65%前後であり、すでに報告されている値とほぼ同程度であった^{20,21)}。これを20℃で3日間保存すると、3種類のパンとも糊化度は約34%に低下した。しかし、サツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ葉乾燥粉末添加による影響は認められなかった。当初、緑葉乾燥粉末を添加した食物繊維を含むパンは、食物繊維の水分保持能力から水

分含有量の多いパンが製造でき、パンの老化の遅れが観察される¹⁷⁾と予測したが、そのような現象は認められなかった。これは、パンの水分含量にも違いが認められなかったことから裏づけされる。

パンの老化は、パンの硬さに現れるのでパン焼成24時間後の内相部の硬さを測定し、表3に示した。なお、焼成直後の測定は、パンが軟弱で、裁切が不可能であったため焼成24時間後で比較した。

60%圧縮下での応力は、無添加パン 5.65×10^3 Pa、サツマイモ葉凍結乾燥粉末添加パン 6.01×10^3 Pa、モロヘイヤ葉乾燥粉末添加パン 6.47×10^3 Paであり、緑葉乾燥粉末を添加しても応力に顕著な違いは認められなかった。これは、官能検査の硬さの評価と同様な結果であった。パンの老化の面からも、サツマイモ葉凍結乾燥粉末およびモロヘイヤ葉乾燥粉末添加は、無添加とほぼ変わりがなく、影響を及ぼさないことがわかった。

要 約

サツマイモ葉の有効利用の可能性を検討する目的で、これら緑葉乾燥粉末をパンに添加し、その製パン性と品質について実験を行った。

① ファリノグラムでは、緑葉乾燥粉末を添加するとミキシングによる安定性が低下することが認められたが、パン生地の膨張力はやや良好であった。したがって、緑葉乾燥粉末添加パンを調製する際は、ミキシングを無添加パンより短くする必要がある。その他の製パン性には問題はなかった。

② サツマイモ葉凍結乾燥粉末をパンに添加しても、その比容積、水分含有量、デンプンの糊化度およびパンの硬さに対して影響を及ぼさなかった。しかし、色調はモロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンに比べ、やや明るさが低かった。また、分析型官能検査においてもサツマイモ葉凍結乾燥粉末添加パンは、モロヘイヤ葉乾燥粉末添加パンと近似した評価を得た。嗜好型官能検査では、色のさえ以外、両者のパンとも無添加パンと有意な差は認められなかった。これらの緑葉乾燥粉末を添加したパンの組織構造では、食物繊維と思われる膜状のものがグルテンを覆っている様子が観察された。

③ サツマイモ葉凍結乾燥粉末は食用として利用でき、新規の素材としてその利用性に期待が持たれた。また、サツマイモ葉凍結乾燥粉末を2%添加したパン100g中には、食物繊維2.8g、カロテン49 μ g、カルシウム87mg、ポリフェノール11mgが含有され、サツマイモ葉凍結乾

燥粉末の添加によってパンの機能性を向上させる可能性が示唆された。パンは、毎日食べることもできるため、機能性成分を毎日容易に摂取できる点でも注目され、健康の維持・増進に役立つと考えられた。

本研究を行うにあたり、ファリノグラフ測定に便宜をおかりいただきました共立女子大学教授高橋節子先生、並びにご指導いただきました武蔵丘短期大学教授永嶋伸浩先生に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 坂本 敏：熱帯のいも類—サツマイモ・ジャガイモ—，国際農林業協力協会，東京，p.48 (1987)
- 2) 小林 仁：サツマイモのきた道，古今書院，東京，p.83 (1984)
- 3) 農業研究センター作物開発部甘しょ育種研究室：新品種決定に関する参考成績書「かんしょ関東109号」，p.1 (1996)
- 4) Ishida, H., Suzuno, H., Sugiyama, N., Innami, S. and Maekawa, A. : *Food Chemistry*, **68**, 359 (2000)
- 5) 山川 理，吉元 誠：九農研，**60**，40 (1998)
- 6) 津久井亜紀夫，鈴木敦子，小口悦子，永山スミ：家政誌，**44**，887 (1993)
- 7) Innami, S., Tabata, K., Shimizu, J., Kusunoki, K., Ishida, H., Matsuguma, M., Wada, M., Sugiyama, N. and Kondo, M. : *Plant Foods for Human Nutrition*, **52**, 55 (1998)
- 8) 石田 裕，鈴野弘子，杉山法子，印南 敏，和田政裕，松本信二：東京農業大学プロジェクト研究研究成果報告，p.241 (1996)
- 9) 沖 智之，増田真美，納美由紀，小林美緒，古田 収，西場洋一，須田郁夫：食科工，**49**，683 (2002)
- 10) 奥村晃美，深澤秀夫，渡辺輝夫：九農研，**62**，148 (2000)
- 11) 根角厚司，武田善行，山川 理：九農研，**60**，42 (1998)
- 12) 石田 裕，鈴野弘子，印南 敏，前川昭男，田所忠弘，日食保蔵誌，**29**，75 (2003)
- 13) 菅野智栄：食品と科学，**38**，108 (1996)
- 14) Morita, M., Kang, W. W., Hamazu, Z. and Sugimoto, Y., *J. Appl. Glycosci.*, **46**, 23 (1999)
- 15) 中野淳子，大羽和子：家政誌，**46**，321 (1995)
- 16) 大羽和子，中野淳子：家政誌，**47**，21 (1996)
- 17) 田中康夫，松本 博：製パンプロセスの科学，光琳，東京，pp.40-255 (1991)
- 18) 貝沼圭二，松永暁子，板川正秀，小林昭一：澱粉科学，**28**，235 (1981)
- 19) Sandstedt, R. M. : *Baker's Dis.*, **35**, 36 (1961)
- 20) 松永暁子，貝沼圭二：家政誌，**34**，73 (1983)
- 21) 新原立子，山田啓子：高知大学教育学部研究報告第3部，**44**，1 (1992)