

## 令和元年度豆類振興事業調査研究結果

# 豆類由来の難消化性素材を利用した 糖尿病患者向け新食感小豆餡の開発研究

河野俊夫 高知大学教授

## ●研究背景

阪神淡路大震災や東日本大震災など、我が国は近年、自然災害が多発しており、非常時の食の確保は益々重要になっている。災害時の非常食と言えば、長期保存性と消化吸収性が重要視される。健常者用の非常食であれば、長期保存性があり、消化性の良い高カロリーな保存食を用意すればよい。しかし糖尿病患者の場合は、非常時に常備薬を失う場合や、医療機関への移動が困難になる場合があり、健常者向けの非常食では、消化性が良いため、血糖抑制が効かずたいへん危険である。非常食にも血糖上昇を抑制した保存食の提供が求められる所以である。

小豆は少量で高品質のタンパクを摂取できることから、糖尿病患者にとっても非常食の素材として極めて有用であるが、その多くは糖質を含む菓子での利用が中心となっている。糖尿病患者は、血糖上昇を抑制できれば、健常者となんら変わらない食事ができるために、一般に、糖質の少ない食品を食べることを指導されるが、かえって糖質の多い食品を好む傾向がある。被災時のお年寄りには特にそうであるが、被災ストレスの緩和には「甘い食品」が何よりも効果的である。その点で、甘くなりがちな小豆を素材とした非常食を、糖尿病患者にとっても安心して食べられるものへと変えることが、被災した糖尿病患者を心の面から救う1つの方法である。いまや糖尿病患者の数は1,000万人を突破しており10人にひとりの割合である。被災時も、条件が同じなら、被災者に含まれる糖尿病患者の数はその割合に応じて相当数に上るものと推定される。被災時にこそ、心の安定を得られる甘い食品を糖尿病患者が安心して食べられれば、多くの患者が食を通して心の癒やしを得られるものと考ええる。

## ●研究の必要性

そこでこの調査研究では豆類の代表的な食品として「小豆餡」を取り上げ、糖尿病患者が、被災時を含め、日常的に安心して食べられる新しい食感・

消化性の餡について検討した。糖尿病患者の場合、食べたあとの血糖上昇速度を抑えることがポイントとなる。その点で、糖尿病患者向けの食品は「難消化性」のある素材を添加・混合することが多い。難消化性を食品の機能性として謳う食品の多くは、「デキストリン」を添加物として導入することが多い。デキストリンは水溶性であるため飲料食品への応用には適するが、適用量に対する難消化性の程度は比較的弱い。また、その適用量も、添加する食品の重量に比して非常に少量であるため、「腹持ちが良い」ほどの難消化性ではなく、食後の満腹感には繋がらない。糖尿病患者の場合、血糖制御のために少食指導を受けているため、この食後の満腹感は食品選びの重要ポイントとなる。「難消化性の機能があって食べられればそれで良い」のではなく、食べて満足のでられる程度の食後満腹感が必要である。

そこでもう一方の選択肢として、同じ難消化性であっても、水溶性でない素材を利用することが考えられる。水溶性でない難消化性素材を用いれば腸管吸収は劇的に遅くなるため、実質的な腹持ちは良い。その候補素材として、小豆を始めとする豆類から抽出し得る難消化性素材（不溶性食物繊維）の活用を検討した。

## ● 研究内容

**【供試材料】** 試料豆には小豆（北海道産）のほかに、大豆（宮城県産）、赤えんどう豆（北海道産）、金時豆（北海道産）の市販流通品を用いた。これらの豆類の有用性を比較調査する上では、豆から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維）のほか、そのまま摩砕した粉（以下、「全粒粉」）、および豆の種皮のみを剥ぎ取り摩砕した粉（以下、「種皮粉」）を用意した。

「不溶性食物繊維」の抽出には、少量サンプル用の試験法を採用することとし、各豆の全粒粉に対して抽出溶液を加え、酸性溶液で成分抽出ののち、アルカリ溶液でpH調整しつつ、遠心分離によって沈殿させたものを2日間自然乾燥して得た。なお、小豆を含め、各豆から抽出した不溶性食物繊維の評価は、主として試作した餡の物性や消化性により行い、豆類の熱加工に関わる熱水分特性の評価では、不溶性食物繊維を含んだ総体として、全粒粉や種皮粉を対象に行った。

### (1) 小豆および豆類由来の難消化性素材の熱水分特性

【豆類粉末の含水率】 はじめに電子式水分計を用いて各豆の水分含量を評定した。乾燥条件は、大豆は5g -130℃ -2時間常圧定温乾燥、その他の供試豆については5g -135℃ -3時間常圧定温乾燥とした。

測定結果を図1に示す。

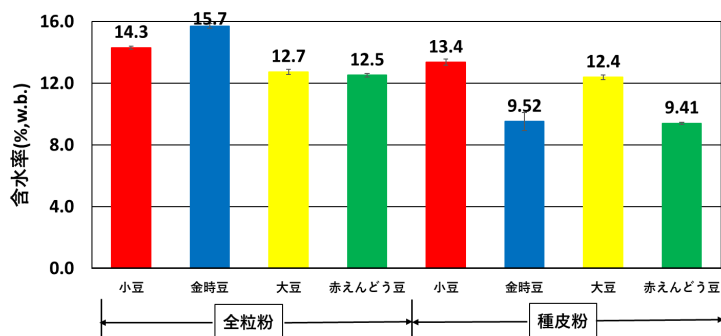


図1 供試豆粉末の含水率

「全粒粉」については、金時豆が15.7%,w.b.（湿量基準含水率）で最も高く、以降、小豆、大豆、赤えんどう豆の順であった。一方、「種皮粉」については、小豆が13.4%,w.b.で最も高く、以降、大豆、金時豆、赤えんどう豆の順で、全粒粉よりも種皮粉の方が平均的に0.3%～6.18%,w.b.低い。特に、金時豆と赤えんどう豆は、全粒粉と種皮粉とで、それぞれ6.18%,w.b.と3.09%,w.b.の差があって、相対的に種皮粉の含水率はかなり低い。

含水率とともに、豆類の粉末を餡の素材として熱加工するうえで重要となるのが、乾燥特性と吸水特性である。乾燥特性と吸水特性は表裏の関係にあるが、乾燥特性は主として水分含量が低い場合に、そして、吸水特性は水分含量が高い場合に重要性がある。また、食品粉末の熱加工では比熱のデータが欠かせない。

【豆類の全粒粉・種皮粉の乾燥特性】 示差熱・熱重量同時測定装置（DTG）を用いて室温（約25℃）から120℃までの昇温乾燥試験を行った。その結果を図2（各豆全粒粉）と図3（各豆種皮粉）に示す。

各供試豆粉末の乾燥前含水率（初期含水率）は異なるため、縦軸には、各測定時刻での含水率を初期含水率で除した相対含水率で表記している。種皮

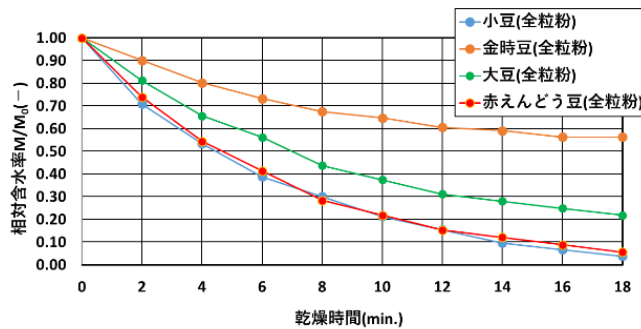


図2 供試豆粉末(全粒粉)の乾燥特性

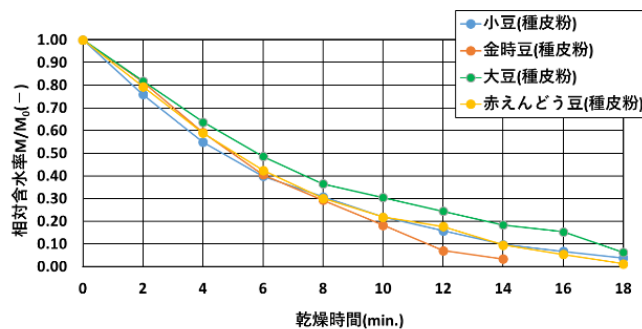


図3 供試豆粉末(種皮粉)の乾燥特性

粉の相対含水率変化はどの豆種についても同様で、これら相対含水率対時間のデータを、次の指数関数モデル (E.1) に対して当てはめて (最小二乗近似) みると、表 1 のとおり、その見かけ乾燥定数は、0.137 (1/min.) ~ 0.237 (1/min.) の狭い範囲であった。

$$\log (M/M_0) = \log (I) - kt \quad \cdots (E.1)$$

ここに、M

(t): 乾燥時間 t での含水率 (% dry basis)、M<sub>0</sub>: 初期含水率 (% dry basis)

t: 時間 (min.)、I: 切片 (—)、k: 見かけ乾燥定数 (1/min.)

表1 供試豆粉末の見かけ定数

|     | 豆の種類   | 見かけ乾燥定数 k (1/min.) |
|-----|--------|--------------------|
| 全粒粉 | 小豆     | 0.175              |
|     | 金時豆    | 0.032              |
|     | 大豆     | 0.085              |
|     | 赤えんどう豆 | 0.156              |
| 種皮粉 | 小豆     | 0.177              |
|     | 金時豆    | 0.237              |
|     | 大豆     | 0.137              |
|     | 赤えんどう豆 | 0.213              |

それに対して全粒粉の方は、金時豆の粉末試料が0.032 (1/min.) で、小豆粉末の0.175 (1/min.) や赤えんどう豆の0.156 (1/min.) に比較して乾燥速度が低い。全体として、どの豆類についても種皮粉の「みかけ乾燥定数」は全粒粉のそれよりも大きい。したがって、その反対の現象である吸水速度も同様の傾向が予想され、素材混合時には他の素材より優先的に水を吸収する点に注意が必要である。

**【豆類の全粒粉・種皮粉の吸水特性】** 不溶性食物繊維を含有する全粒粉と種皮粉それぞれの吸水性評価には遠心分離による方法を採用した。ここで言う吸水性とは、一定時間内に検体を取り込んだ自由水の質量の、検体の吸水前の質量に対する比を表し、次式の「吸水率 (%)」(Water intake ratio=Wi)をもって、これを定義している。

$$W_i(\%) = (W_{cs} - W_c - W_s) / W_s \times 100 \quad \cdots (E.2)$$

ここに、W<sub>cs</sub>：遠心分離後に上澄み水を除去したあとの遠沈管質量 (g)

W<sub>c</sub>：遠沈管質量 (g)

W<sub>s</sub>：供試粉末 (g)

供試した豆類粉末の吸水率の測定結果を図 4 に示す。

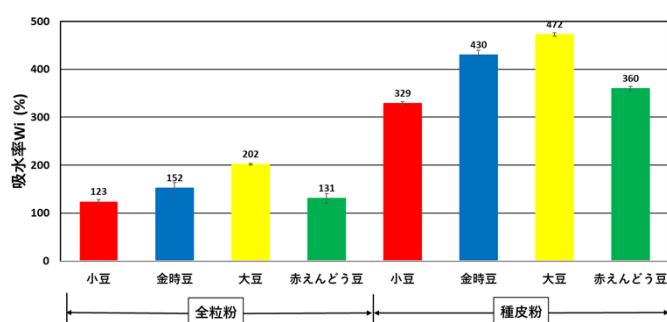


図4 供試豆粉末の吸水特性

全粒粉と種皮粉とを見比べて分かったとおり、種皮粉の吸水率 (%) は、大豆の472%を最大値として、いずれの豆についても全粒粉に比較してきわめて高い数値を示した。含水率測定の結果で述べたように、種皮粉は全粒粉に比較して含水率が平均的に0.3%～6.18%,w.b.低かったことから、それと表裏の関係にある吸水性では吸水性が高まっている。しかし、各豆の種皮粉の平均含水率に対する全粒粉の平均含水率の比 (%) は、乾量基準含水率で計

算して、小豆が107.8%、金時豆が177.0%、大豆が102.8%、赤えんどう豆が137.5%であり、平均含水率との差以上に吸水性が高い。このことから、供試した種皮粉は、全く同じ粉碎方法で粉末化した全粒粉よりも、自己粉碎性が高く、比表面積が大きくなって吸水率が高まったものと推定する。

**【豆類の全粒粉・種皮粉の比熱特性】**  $\alpha$  アルミナの比熱を基準として豆類4種の比熱を、示差走査熱量計（DSC）を用いて測定した。測定により得た各豆粉末の比熱のうち40℃の結果を図5に代表して示す。

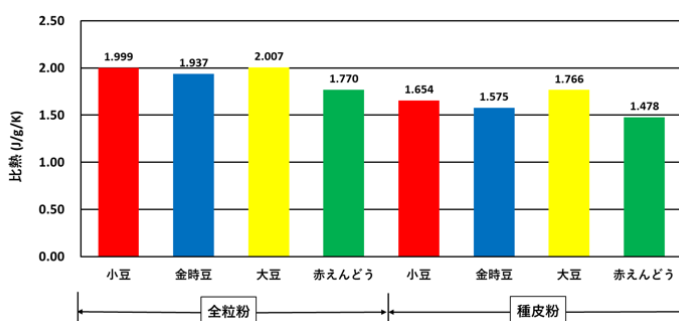


図5 供試豆粉末の比熱(40℃)

ここに示した比熱は、いわゆる乾物（水分以外の構成物質）の比熱である。これらの豆類粉末に水分を加えて熱加工する際には、その付加水分質量に応じた比熱を推定する必要がある。乾物で比較した各供試豆の粉末比熱は、全測定域に亘って全粒粉の方が、種皮粉よりも高くなっている。種皮粉の乾物比熱に対する全粒粉の比熱の比（%）は、金時豆全粒粉が123%でもっとも高く、降順に小豆121%、赤えんどう豆120%、大豆114%となった。この傾向は、測定した室温から120℃までデータから算出した他のデータについても同様の傾向であった。全粒粉には種皮粉に含まれる割合の少ない成分（タンパク質や脂質）などがより多く含まれていることが、その要因である。比熱は加熱され易さの指標となるわけだが、水分の比熱（40℃で4.178 Jg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>）に比較すると、およそ半分（全粒粉）から3分の1（種皮粉）であり、加熱調理・加工する際には水分むらが生じないように、よく混捏してから加熱処理をすることが必要になる。

## (2) 豆類由来の難消化性素材を利用した餡の試作とその物性品質評価

熱水分特性の測定時に用意した金時豆、大豆、赤えんどう豆の種皮粉のほ

か、これらの豆類から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維）の粉末を利用して、標準的な小豆餡（以下、基準餡）の素材構成で、その小豆の一部をこれらの粉末で置換した餡を試作し、その品質（食感に関わる粘弾性、糖度、色調）や消化性を評価した。事前の抽出調査により、種皮粉の方が全粒粉よりも難消化性成分が多いため、餡の試作では全粒粉を対象から外した。ここで言う基準餡の素材構成と作成手順は、文献<sup>1)</sup>にある「基本の粒あん」を参考として決めた。この基準餡の小豆の一部を種皮粉で置換した餡は「種皮粉置換餡」、同じく基準餡の小豆の一部を、3種の豆類から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維）で置換した餡を「食物繊維置換餡」と呼ぶことにする。

基準餡に用いた標準配合の小豆25gのうち、その質量の10%、20%、30%を種皮粉で置換した餡と、豆類から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維、大豆を除く）を10%置換した餡を用意した。不溶性食物繊維は、今回の実験では抽出量が著しく少なかったため、10%置換のみ試験を行った。

【試作餡の食感評価】 試作餡の食感を比較評価するため、粘弾性計を用いて咀嚼モード（2回圧縮動作モード）による評価を行った。図6は、小豆由来の食物繊維を10%、小豆と置換した試作餡についての咀嚼試験結果の例である。

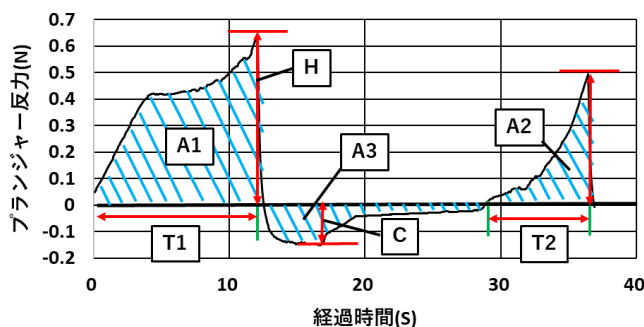


図6 咀嚼試験結果(小豆由来食物繊維10%置換餡)

この図をもとに試作餡の食感評価の指標を説明する。第1回目のプランジャー押圧時の最高反力H（単位：N）を「硬さ」、その後、プランジャーが上部に戻る際にプランジャー表面を引き留めようとする「粘着力」が図中のC（単位：N、マイナスの値の部分）である。粘着力に関わる図中のA3の面



積は「粘着性」と呼ばれ、試作餡を引き離す際の実効エネルギーである。第1回目と第2回目の圧縮で反力反応のある、それぞれの時間 $T_1$ と $T_2$ との比 $T_2/T_1$ は「弾力性」で、試作餡の弾力感の指標になっている。このほか、これらの一次的指標を組み合わせ、試作餡の「ガム性」は $H \times A_2/A_1$ 、「咀嚼性」は「咀嚼性」 $\times T_2/T_1$ によって求められる。

試作餡の「硬さ」および「粘着力」の比較を、それぞれ図7および図8に示す。

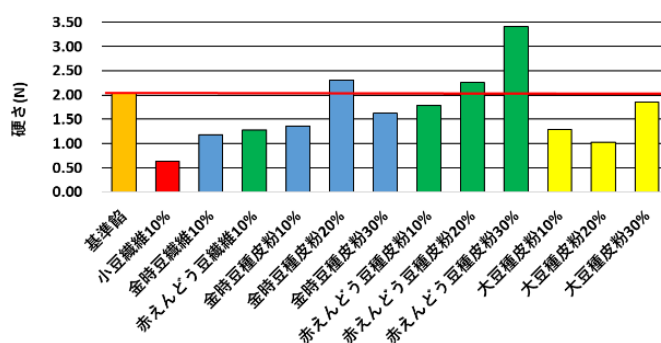


図7 試作餡の硬さ比較

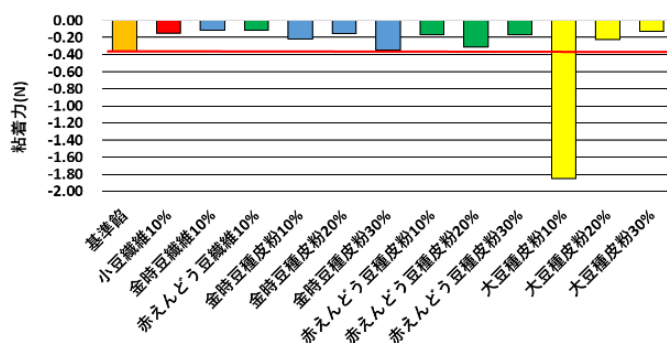


図8 試作餡の粘着力比較

図7によれば、種皮粉の置換割合によって試験区間では硬さに凹凸があるが、傾向としては種皮粉の置換割合の増加とともに硬さが増している。赤えんどう豆と金時豆の種皮粉を置換した試験区では基準餡の硬さ約2 (N [ニュートン]) よりも大きく、食感として硬めであることが推測される。しかし、小豆や金時豆、赤えんどう豆から抽出した豆類由来の難消化性素材（不溶性食物繊維）で10%置換した試作餡は、基準餡よりもかなり柔らかく、



口当たりの良い、高齢者向けの餡になっている。

一方、粘着力を比較した図8では、大豆種皮粉10%が突出した結果を得ているが、本研究の初期、種皮粉の作成方法において、他の試験区と若干異なる条件により出た異質データによって平均値が引きずられたものとする。大豆種皮粉10%置換の餡以外の餡はすべて、基準餡よりも粘着力が小さく（絶対値の大きい餡ほど粘着力が大きい）、表面の湿潤状態が弱い、食感上はパサパサ感のある餡になっている。餡は一般には、ねっとりとした粘着性が特徴であるが、あまり粘着性が強い場合は、高齢の糖尿病患者にとっては誤嚥の原因ともなる。その点では、豆類由来の難消化性素材（不溶性食物繊維）を10%～30%程度含んだ餡は、ねっとりとした一般の餡よりも飲み込みやすいと考える。図9および図10に、試作した餡の「弾力性」および「凝集性」の比較をそれぞれ示す。

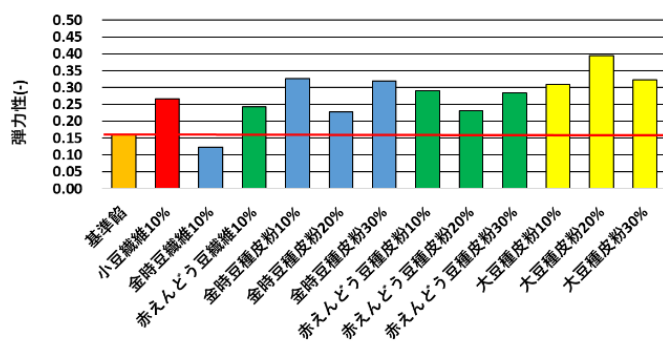


図9 試作餡の弾力性比較

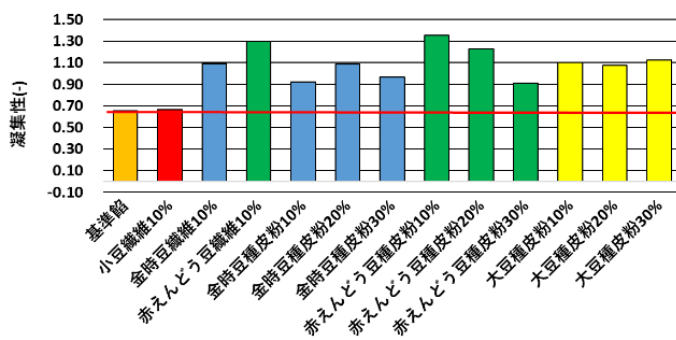


図10 試作餡の凝集性比較

この試験では奥歯に見立てた円盤プランジャーを用いており、奥歯で餡を噛んだ場合に、弾力性があると感じられるかの指標となる。基準餡の弾力性は約0.16であり、それに比較すれば、金時豆から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維）で10%置換した餡のみ、基準餡よりもサクサクとした状態である。大豆種皮粉で置換した餡は、基準餡の2倍強の弾力性を示した。小豆および赤えんどう豆から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維）で置換した餡は両者の中間的弾力性となった。

「凝集性」は、簡略すれば歯で噛む際に要するエネルギーで、数値が大きいほど、硬さとは別に、歯ごたえのある噛みにくい食品であることを示す。凝集性を比較した図10によれば、小豆から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維）で10%置換した餡のほかは、0.91～1.35で、基準餡（0.65）に比較して140%～208%にあたり、多少、ぐっと噛むような食感の餡である。

試作餡の「ガム性」および「咀嚼性」の比較を、それぞれ図11と図12に示す。

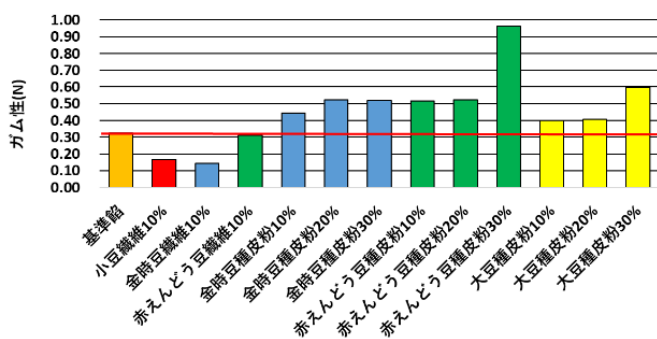


図11 試作餡のガム性比較

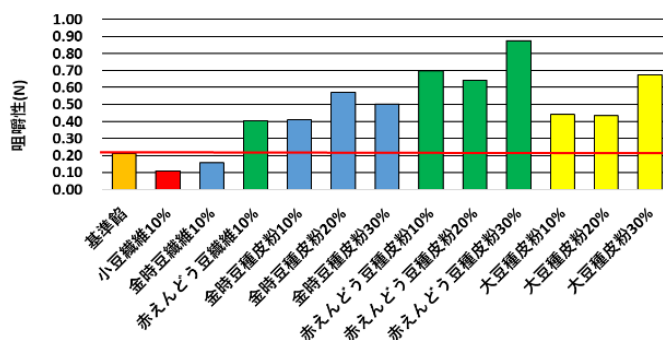


図12 試作餡の咀嚼性比較

「ガム性」は、「硬さ(H)」と「凝集性( $A_2/A_1$ )」を乗じたもので、その名称のとおり、ガムのような「ねばつき感」を数値表現したものである。種皮粉を置換した餡は、置換割合が20%までは基準餡に比較して60%程度のガム性上昇であるが、赤えんどう豆と大豆の種皮粉の場合は30%になると、急激にガム性の値が上昇して、ねばつき感が大幅に増した。しかし、小豆や金時豆から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維）で10%置換した餡では、同じ10%置換であっても、種皮粉の場合とは逆に、基準餡よりもガム性が低下し、粘り気が軽くなって、喉ごしの良い餡になっている。

他方、「咀嚼性」は、これまでに述べてきた「硬さ(H)」、「凝集性」、「弾力性」の3つの評価指標を乗じたものであり、また、別の見方では「ガム性」と「弾力性」の積となっているとおり、「咀嚼の総合指標」である。試作餡の咀嚼性を比較した図12によれば、種皮粉で置換した餡は、咀嚼の点で、普通の餡よりも、もぐもぐと咀嚼に時間のかかる餡であり、反対に、小豆や金時豆から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維）で10%置換した餡は、普通の餡よりも食べやすく、感触としてはややもったりした餡となっていることが分かる。

**【試作餡の色調評価】** 図13および図14は、それぞれ供試豆の種皮粉および供試豆3種から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維）で置換した試作餡の外観である。



図13 種皮粉で置換した試作餡の外観  
(左から金時豆種皮粉30%置換、大豆種皮粉30%置換、赤えんどう豆種皮粉20%置換)



図14 豆類から抽出した難消化性素材(不溶性食物繊維)で置換した試作餡の外観  
(左から小豆繊維10%置換、金時豆繊維10%置換、赤えんどう豆繊維10%置換)

これらの図(写真)を見る限りでは、大豆の種皮粉で置換した小豆のみが「黒い餡」となっており、他の餡は茶褐色で、普通の餡との区別がつかない程度となっている。客観的に餡の色を比較できるよう、色差計を用いてシャーレにすり切り詰めた試作餡表面の $L^*a^*b^*$ 表色を測定した。 $L^*$ は明度、

a\*値とb\*値とはその2成分で表現される色（色相と彩度）を表している。ここでは明度のL値（図15）と、色に関わるa値－b値（図16）に分けて結果を記す。

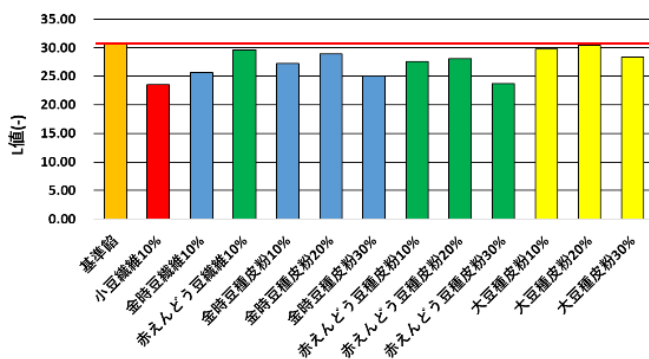


図15 試作餡の表色L値の比較

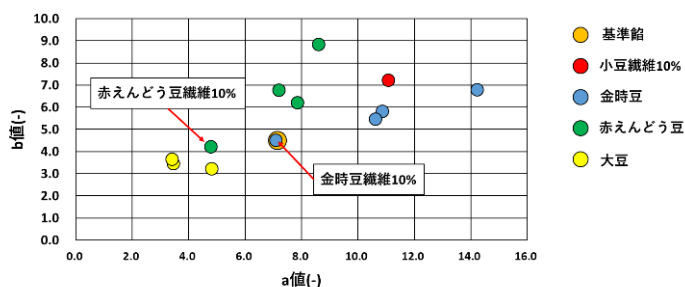


図16 試作餡の表色(a値とb値)の比較

図15によれば、全体として豆類由来の難消化性素材（不溶性食物繊維）で置換した試作餡も、各豆の種皮粉で置換した試作餡も、基準餡に比較して明度のL値が低下しており、色がくすんで、濃くなる傾向を示した。しかし、そのなかでも赤えんどう豆由来の難消化性素材（不溶性食物繊維）で置換した餡と、大豆の種皮粉10%と20%で置換した餡は、基準餡とほぼ同じ明度を示している。一方、図16によると、金時豆から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維）で置換した餡と、赤えんどう豆から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維）で置換した餡は、基準餡のa値-b値平面上の位置が近く、ほぼ同程度であることが分かる。ヒトの感覚的な識別指標に2つの対象物の色差の差をとる $\Delta E$ がある。豆類由来の難消化性素材（不溶性食物繊維）で置換した餡と、金時豆・赤えんどう豆・大豆それぞれの種皮粉で置換した餡についての $\Delta E$ の値を表2に示す。

表2 基準値に対する試作餡のΔE値

| 試料            | ΔE値(-) |
|---------------|--------|
| 小豆抽出繊維10%     | 7.8    |
| 金時豆抽出繊維10%    | 4.1    |
| 赤えんどう豆抽出繊維10% | 2.3    |
| 金時豆種皮粉10%     | 5.3    |
| 金時豆種皮粉20%     | 4.1    |
| 金時豆種皮粉30%     | 9.3    |
| 赤えんどう豆種皮粉10%  | 3.6    |
| 赤えんどう豆種皮粉20%  | 3.5    |
| 赤えんどう豆種皮粉30%  | 8.4    |
| 大豆種皮粉10%      | 2.8    |
| 大豆種皮粉20%      | 3.8    |
| 大豆種皮粉30%      | 4.5    |

色彩管理の文献<sup>2)</sup>によれば、ΔE値が1.3～2.5では離れて見た場合にほぼ同一の色（3級）、2.6～5.0では経時比較した場合にほぼ同一の色（4級）と認められるとしている。この基準で考えれば、a値-b値平面上で基準餡にもっとも近い金時豆由来の難消化性素材（不溶性食物繊維）で置換した餡（ΔE=4.1）よりも、赤えんどう豆由来の難消化性素材（不溶性食物繊維）で置換した餡（ΔE=2.3）の方が、色の違いがなく、ヒトの目にはほぼ同じに見える色と判断される。

**【試作餡の消化性評価】** ここでは試作した餡のうち、豆類から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維）を10%置換した餡について、人工消化液を用いて、その消化性（人工消化液への溶解性）で比較評価した。静置消化シミュレーション後、消化試験用容器に残存する試料（質量W（g））を目開き（Opening）1mmの網で濾し、網上に残った残渣質量W<sub>r</sub>（g）とから、次式（E.3）で定義する消化率D（%）を求めた。

$$D(\%) = (W - W_r) / W \times 100 \quad \cdots (E.3)$$

比較結果を図17に示す。

供試した豆由来の難消化性素材（不溶性食物繊維）で置換した餡のなかでは、小豆由来の難消化性素材で置換した餡がもっとも消化性が低く（5.37%）、ついで赤えんどう豆由来（9.05%）、金時豆由来（12.3%）の順であった。通常、胃内部での食物の滞留時間は、食物の種類によって異なり、米飯で2時間半、うどんで3時間など、繊維質のないものでは早い、繊維質の多いものではさらに数時間かかるものもある。その点では、通常の餡は練り製品で

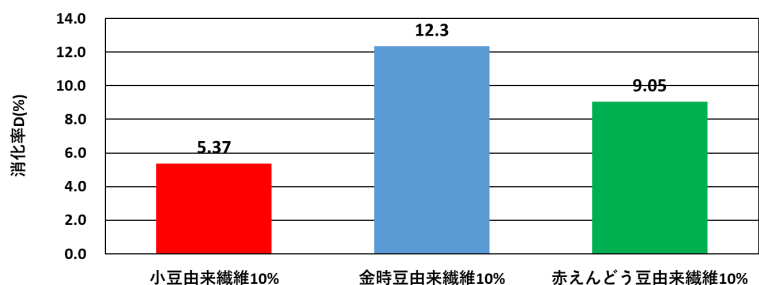


図17 豆類由来の難消化性素材で置換した餡の消化率比較

消化されやすい食品の部類に入るわけだが、豆類から抽出した難消化性素材（不溶性食物繊維）を加えることで、胃の内部では1時間経過しても完全消化には至らず、結果として、腹持ちの良い餡になっていることが推定される。

### （3）豆由来の難消化性素材添加の影響（効果）

以上、様々な品質指標から判断して、豆由来の難消化性素材（不溶性食物繊維）を置換導入した餡は、従来の餡と比較しても、食感や外観に著しい低下もないことから、従来の餡と同様に消費者に受け入れられる品質を持ち得るものとする。また、その試作餡は、咀嚼性の点でも食べやすい、もったりとした食感であり、消化性も低いことから、高齢の糖尿病患者向けの嗜好食品になり得る可能性がある。粘弾性評価で明らかにしたように、種皮粉で置換するとガム性や咀嚼性は、粘りや咀嚼にエネルギーの要る食品となるのに対して、豆由来の難消化性素材（不溶性食物繊維）は10%程度の置換ではむしろ、柔らかくなる傾向を示したことから、20%～30%程度までの置換割合であれば消化率を低減して腹持ちを良くし、かつ、従来品と変わらぬ食感を維持した糖尿病患者向けの食品開発に役立つものとする。

（謝辞） 本事業研究を行うにあたり、高知大学農林海洋科学部食料生産プロセス学研究室に所属する学生諸氏に多大な協力を得た。ここに記して謝意を表する。

（参考文献）

- 1) 芝崎本実：あんこのことがすべてわかる本、誠文堂新光社、p.35（2016）。
- 2) 財団法人日本色彩研究所 編：色彩管理の基礎（色彩ワンポイント:2）、日本規格協会、p.79（1993）。