

研究報告

北上産黒大豆「黒千石」の調理特性に関する研究（第3報）
 —スポンジケーキへの利用—

Cooking Properties of Black Soybean Named *Kurosengoku* Produced in Kitakami District III
 — application to Sponge Cake —

長坂慶子*1, 岩本佳恵*1, 笹田怜子*1, 川崎雅志*1, 千葉啓子*1, 中塚晴夫*2, 猿渡英之*3, 渡辺孝男*4
 Keiko NAGASAKA, Yoshie IWAMOTO, Reiko SASADA, Masashi KAWASAKI, Keiko CHIBA,
 Haruo NAKATSUKA, Hideyuki SAWATARI and Takao WATANABE

Keywords: *Kurosengoku, Cooking Properties, Sponge Cake*
 黒千石, 調理特性, スポンジケーキ

1. はじめに

北上産黒大豆「黒千石」の利用拡大を図る目的で、前報¹⁾では黒大豆をきな粉（以降、黒大豆きな粉と称する）にして、継続して食べることができる食品として食パンに着目し、強力粉の一部を黒大豆きな粉に置換して調製し、調理特性について検討した。その結果、強力粉の重量の10%を黒大豆きな粉に置換したものが食パンとして好ましいと評価された。黒大豆きな粉の置換量を増やしつつ、嗜好性の高い食品の製造が課題としてあげられた。泉ら²⁾は、薄力粉の代わりに大豆粉、砂糖の代わりに糖アルコールを利用して低糖質ケーキを調製し、食後血糖値の上昇抑制と通常ケーキと同等の満足感が得られたことを報告している。スポンジケーキの薄力粉の一部をアマランサス³⁾・キヌア⁴⁾などの雑穀粉、カボチャ⁵⁾などの代替材料した研究報告は多くみられるが、きな粉を代替材料として研究報告は少ない。そこで、本研究では、薄力粉の一部を黒大豆きな粉に置換したスポンジケーキを調製し、その調理性や嗜好性を明らかにすることを目的とし検討をおこなった。

2. 実験方法

2-1. 材料と配合割合

材料には、薄力粉（日清バイオレット 日清製粉（株））、グラニュー糖（シュクレヌ （株）パールエース）、鶏卵（（株）ホクリヨウ）、サラダ油（日清サラダ油 日清オイリオグループ（株））、ベーキングパウダー（大宮糧食工業（株））、蒸留水を用いた。黒大豆きな粉の原料には、平成27年度収穫の黒千石大豆（農事組合法人北上南部）を用い、前報と同様にきな粉を調製した。その粒度分布を図1に示した（一般財団法人食品分析センター調べ）。材料の配合割合は、鶏卵225g（100%）、薄力粉135g（60%）、グラニュー糖135g（60%）、ベーキングパウダー4g（1.8%）、サラダ

油45g（20%）を基本配合割合⁶⁾とした。薄力粉の重量の10~50%を黒大豆きな粉で置換した。薄力粉（日清フーズ（株）調べ）と黒大豆きな粉（一般財団法人食品分析センター調べ）の100gあたりの栄養成分⁷⁾を表1に示す。薄力粉の一部を黒大豆きな粉に置換することにもない減少した水分は、適宜蒸留水で補った。

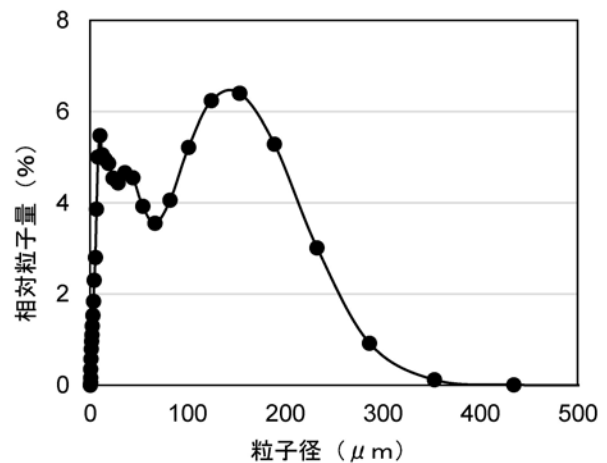


図1. 黒大豆きな粉の粒度分布

表1. 薄力粉と黒大豆きな粉の栄養成分

成分項目	薄力粉	黒大豆きな粉
エネルギー	351kcal	460kcal
たんぱく質	8g	34.4g
脂質	1.7g	22.0g
炭水化物	76g	31.0g
灰分	0.4g	5.3g
水分	14.0g	7.3g

2-2. 試料の調製方法

材料は室温（22℃）に調整した。卵液とグラニュー糖をボールに入れ、ミキサー（（株）エフ・エム・アイ製

*1 生活科学科食物栄養学専攻 *2 宮城大学 *3 宮城教育大学

*4 東北文科大学

キッチンエイド・ミキサー(KSM5) にセットし、ジャケットに 65℃の温湯を入れて、ワイヤー・ホイップで攪拌し試料液を 36℃にした。ジャケットはずし、速度を 4 段階に変えながら 7 分間攪拌した。この時の卵泡の温度は約 25 (±1) °C、比重は約 0.18 (±0.02) である。ミキサーからボールをはずして粉類を加え、ゴムベラで混合した。混合後の試料バターの比重は約 0.27 (±0.02) である。続いて、60℃に温めたサラダ油を加えてゴムベラで混合した。バターの温度は約 25 (±1) °C、比重は約 0.45 (±0.02) である。ケーキ (エンゼル) 型 (直径 18cm、高さ 5.2cm) に、バターを 240g 流し入れて脱気した。オーブン (リンナイ (株) RMC-503E) を用い、180℃で 18 分間焼成した⁸⁾。焼成後は、型ごと台に打ち付け水蒸気を抜いた。逆様にしてクーラー上に置き、粗熱が取れたら型からはずして室温まで放冷した。密閉容器に入れて室温で 18 時間保存し測定に用いた。

2-3. 試料の測定方法

(1) 栄養価の計算

ケーキ型 1 個分 (材料重量 240g) の栄養成分値を食品成分表より算出した。

(2) バターのテクスチャー特性値

バターをステンレスシャーレ (直径 4cm、高さ 1.5cm) に摺り切りいっぱいに入れて、クリープメーターで (RE2-3305C (株) 山電) 測定した。測定には、直径 16mmφ の円柱状プランジャーを用い、圧縮速度は 1.0mm/s、最大歪は 50%、圧縮回数は 2 回とした。測定項目は硬さ、凝集性、弾力性、付着性である。

(3) スポンジケーキの高さ

試料の高さは、1 つの試料の 3 ヶ所の高さを測り、その平均値を高さとした。

(4) スポンジケーキの色調

試料の色調は、断面の色調を色差計 (SZ-Σ90 日本電色工業 (株)) を用いて測定した。標準白板を基準とし、L 値、a 値、b 値、W 値を測定した。

(5) スポンジケーキの水分含有率

試料の水分含有率は、常圧加熱乾燥法⁹⁾ によって赤外線水分計 (FD-620 ケット科学研究所製) を用い、試料を 110℃15 分間加熱した。

(6) スポンジケーキのテクスチャー特性値の測定

クリープメーター (同上) で測定した。試料を 8 等分し、中心部分を 2.5cm 角の立方体に切り出し測定用とした。測定条件は、直径 40mmφ の円柱状プランジャーを用い圧縮速度は 1.0mm/s、最大歪は 50%、圧縮回数は 2 回とした。測定項目は硬さ、凝集性、弾力性である。

(7) スポンジケーキの官能評価

評点法¹⁰⁾ を用いて官能評価を行った。薄力粉のみで調製した試料を基準 (0) として、黒大豆きな粉置換量 10%、20%、30%の試料を評価した。評価項目は、断面の色の好ましさ、断面の気泡量、食べた時の硬さ、食べた時のしっとり感、口の中でのまとまりやすさ、食べた時の香りの好ましさ、食べた時の味の好ましさ、スポンジケーキとしての好ましさ (総合評価) の 8 項目である。パネルは食物栄養学専攻 2 年生の 24 名である。

表 2. 黒大豆きな粉置換スポンジケーキの栄養成分

栄養成分	置換量					
	0%	10%	20%	30%	40%	50%
エネルギー (kcal)	889	894	900	906	911	917
たんぱく質 (g)	19.4	21.4	23.3	25.2	27.1	29.1
脂質(g)	35.1	36.8	38.4	40.0	41.7	43.3
炭水化物(g)	119.6	116.4	113.2	110.0	106.8	103.6
食物繊維(g)	1.7	2.8	3.8	4.9	5.9	7.0
カリウム(mg)	299	426	554	681	809	937
カルシウム(mg)	119	131	142	154	165	177
マグネシウム(mg)	21	37	54	71	88	104
リン(mg)	317	358	398	439	479	520
鉄(mg)	2.4	2.9	3.4	3.9	4.4	4.9
α-トコフェロール(mg)	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7
ビタミンK (μg)	53	55	57	59	60	62
ビタミンB ₂ (mg)	0.51	0.52	0.53	0.55	0.56	0.58
葉酸 (μg)	55	69	83	97	112	126

測定はいずれも室温（22℃）で行った。試料の測定はそれぞれの試料を4回調製して行った。テクスチャー特性値の測定は1個の試料をバターは5回、スポンジケーキは8個の試料について測定を行った。

(9) 統計処理

測定結果の統計解析には、エクセル統計 2015 を用いた。試料間の差の検定には Tukey による多重比較検定を行った。

3. 結果と考察

3-1. スポンジケーキの栄養価

薄力粉の10%、20%、30%、40%、50%を黒大豆きな粉に置換して調製したスポンジケーキ1台分（材料重量では240g）の栄養成分の算出結果を表2に示した。黒大豆きな粉置換量が増すと、多くの栄養成分は増加するが、その中でもたんぱく質、脂質、食物繊維、カリウム、マグネシウム、葉酸は顕著に増加し、炭水化物の特に糖質は減少することがわかった。

3-2. バターのテクスチャー特性値

バターのテクスチャー特性値を図2に示した。硬さ（図A）は、置換量0%（薄力粉100%）では2.80

($\times 10^2$ Pa)、10%では3.06 ($\times 10^2$ Pa)、20%では2.87 ($\times 10^2$ Pa)、30%では3.56 ($\times 10^2$ Pa)、40%では4.14 ($\times 10^2$ Pa)、50%では4.27 ($\times 10^2$ Pa)であった。置換量0%と10%、20%の硬さの間に有意な差は認められなかった。置換量が30%以上になると、硬さの間に有意な差 ($p < 0.05$) が認められ、バターが硬くなることがわかった。置換量30%と40%、50%の間に有意な差は認められた ($p < 0.05$) が、置換量40%と50%の間に有意な差は認められなかった。凝集性（図B）は、置換量0%では、0.83、10%および20%では0.88、30%では0.92、40%では0.93、50%では0.94であった。試料間に有意な差は認められなかったが、置換量が増すと凝集性は増す傾向にあった。弾力性（図C）は、置換量0%および10%では、0.88、20%および30%では0.89、40%では0.86、50%では0.89であった。試料間に有意な差は認められなかったが、置換量が増すと弾力性は僅かに増す傾向にあった。付着性（図D）は、置換量0%では2.24 ($\times 10^2$ J/m³)、10%では2.33 ($\times 10^2$ J/m³)、20%では2.29 ($\times 10^2$ J/m³)、30%では2.56 ($\times 10^2$ J/m³)、40%では2.79 ($\times 10^2$ J/m³)、50%では2.81 ($\times 10^2$ J/m³)であった。置換量0%と10%および20%の間に有意な差は

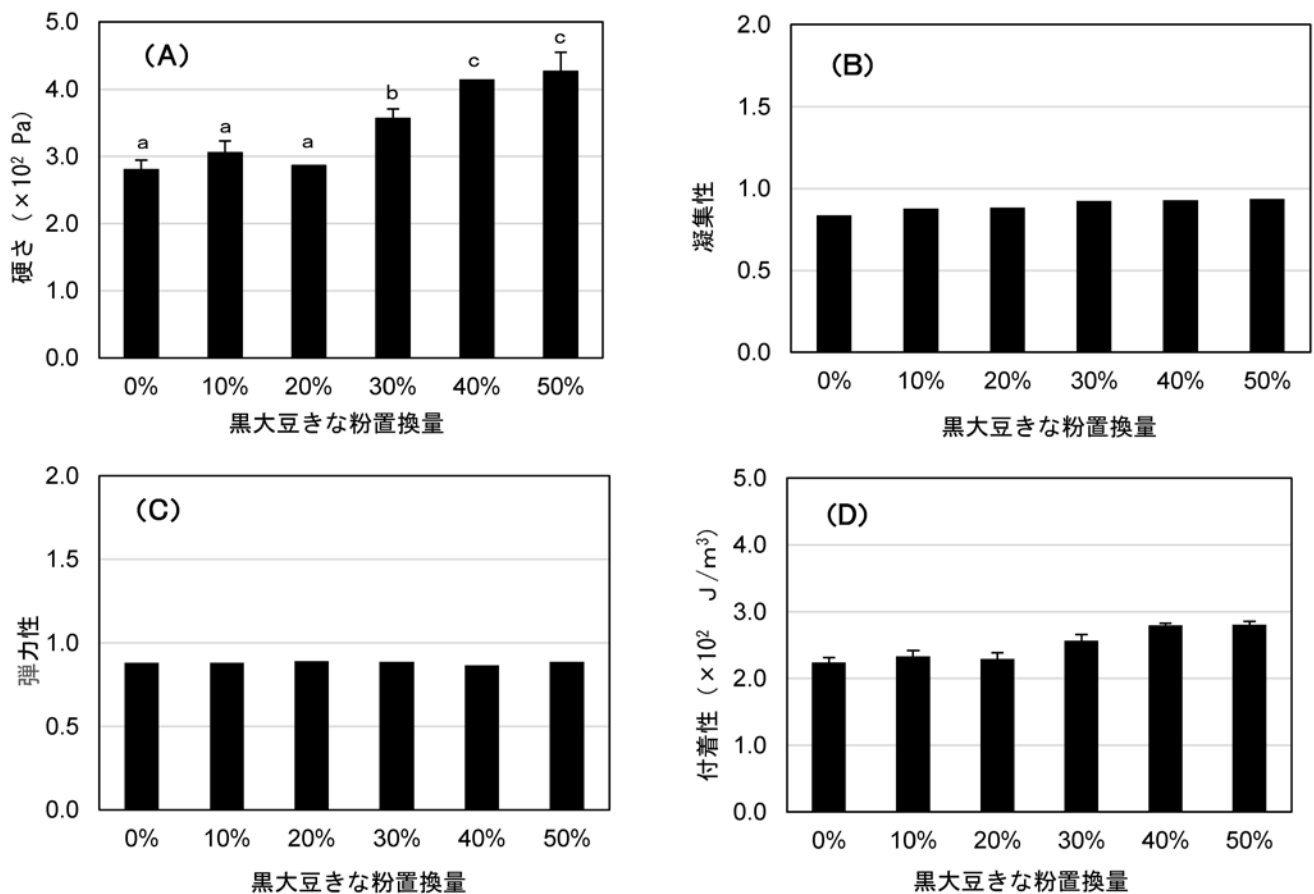


図2. 黒大豆きな粉置換バターのテクスチャー特性値

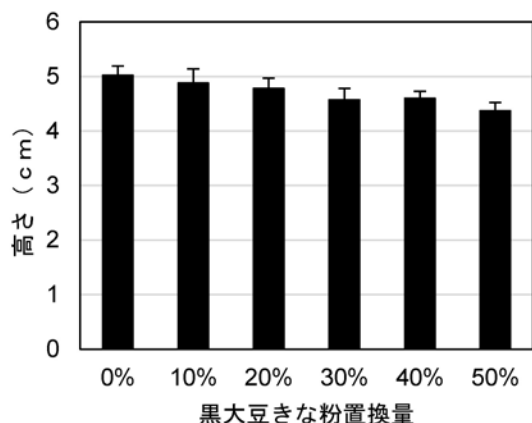


図3. 黒大豆きな粉置換スポンジケーキの高さ

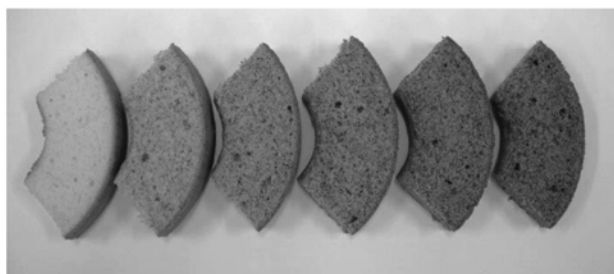


図4. 黒大豆きな粉置換スポンジケーキの断面
(左から置換量 0%、10%、20%、30%、40%、50%)

表3. 黒大豆きな粉置換スポンジケーキの色調

置換量	L 値	a 値	b 値	# 値
0%	82.75	-2.80	36.24	64.49
10%	68.73	-2.84	24.53	58.04
20%	62.02	-2.13	21.23	52.51
30%	57.66	-1.39	19.58	48.65
40%	53.70	-0.93	18.49	45.05
50%	49.95	-0.28	17.1	41.70

認められなかった。置換量が30%以上になると、付着性に有意な差 ($p<0.05$) が認められ、バターに粘性があることがわかった。置換量30%と40%の間に有意な差は認められた ($p<0.05$) が、置換量40%と50%の間に有意な差は認められなかった。

以上述べてきたバターのテクスチャー特性値の結果から、薄力粉の一部を黒大豆きな粉で置換すると、30%未満では顕著な変化は認められないが、30%以上になると硬く粘りのあるバターになることがわかった。

3-3. スポンジケーキの断面図、色調、水分含有率

ケーキの高さを図3に示した。黒大豆きな粉置換量0%では5.0cm、10%では4.9cm、20%では4.8cm、30%では4.6cm、40%では4.6cm、50%では4.4cmであった。

黒大豆きな粉置換量が増すと膨らまなくなる傾向がみられた。試料の断面を図4に示す。黒大豆きな粉の置換量が増すと内相の色が黒くなった。これは、種皮と種皮の色素¹⁾の溶出が原因と考えられた。内相の断面の色調を表3示す。黒大豆きな粉の置換量が増すとL値(明度)、b値(黄度)、#値(白度) 顕著に低くなり、a値(赤度)はわずかに上がった。クラムが黒褐色になることがわかった。水分含有率は、黒大豆きな粉置換量0%では26.8%、10%では28.1%、20%では27.8%、30%では26.9%、40%では27.8%、50%では26.3%であった。黒大豆きな粉置換量の増加による水分含有率への影響は認められなかった。

3-4. スポンジケーキのテクスチャー特性値

スポンジケーキのテクスチャー特性値を図5に示した。硬さ(図A)は、黒大豆きな粉置換量0%では3.26 ($\times 10^3$ Pa)、10%では3.37 ($\times 10^3$ Pa)、20%では3.84 ($\times 10^3$ Pa)、30%では4.32 ($\times 10^3$ Pa)、40%では4.88 ($\times 10^3$ Pa)、50%では5.56 ($\times 10^3$ Pa)であった。置換量0%と10%、20%の硬さの間に有意な差は認められなかったが、30%以上になると有意な差 ($p<0.05$) が認められた。置換量30%と40%、40%と50%の間には有意な差 ($p<0.05$) が認められた。黒大豆きな粉置換量が30%以上になると、スポンジケーキが硬くなることがわかった。凝集性(図B)は、黒大豆きな粉置換量0%では0.70、10%では0.71、20%、30%、40%、50%では0.72であった。黒大豆きな粉の置換量が増しても値はほとんど変わらず有意な差は認められなかった。弾力性(図C)は、黒大豆きな粉置換量0%では0.939、10%では0.937、20%では0.939、30%では0.94、40%では0.943、50%では0.942であった。黒大豆きな粉の置換量が増しても弾力性に有意な差は認められなかった。

以上述べてきたスポンジケーキのテクスチャー特性値の結果から、薄力粉の一部を黒大豆きな粉で置換量が増すと、スポンジケーキの高さは低くなり、硬くなることが明らかになった。バターとスポンジケーキのテクスチャー特性値との相関関係では、黒大豆きな粉で置換量が増すと、バターの硬さとバターの付着性 ($r = 0.9979$)、バターの硬さとスポンジケーキの硬さ ($r = 0.9489$)、バターの付着性とスポンジケーキの硬さ ($r = 0.9510$) には正の相関が見られ、焼成後のスポンジケーキの高さと硬さ ($r = -0.9723$) には負の相関がみられた。すなわち、黒大豆きな粉の置換量が増して、バターが硬くなると、バターの付着性は増し、焼成後のスポンジケーキの硬さの値も高くなる。また、硬さの値が高いスポンジケーキは、高さが低い(膨らまない)という関係にある。スポンジケーキは、卵白泡中の空気の加熱による膨張と生地のもつ水分の蒸気圧の増大が寄

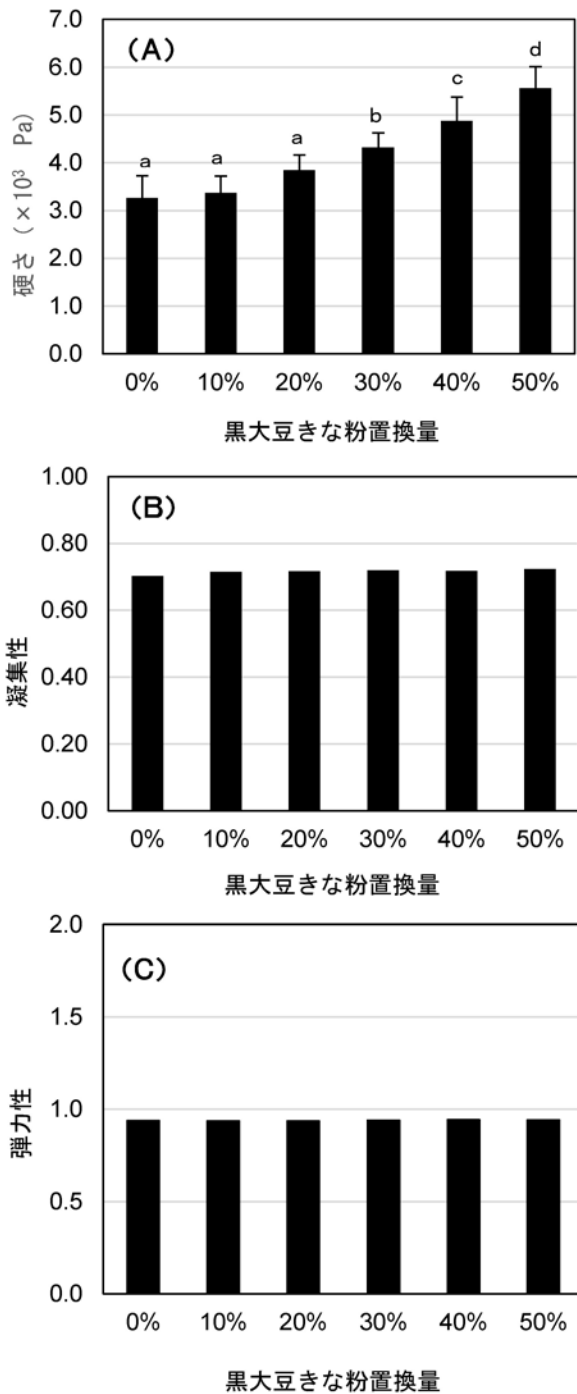


図5. 黒大豆きな粉置換スポンジケーキのテクスチャー特性値

与し、凝固した卵白泡やグルテン、糊化したでんぷんが膨化した卵白泡を支える役割をする⁶⁾。大豆に含まれるたんぱく質はグルテンを形成せず、薄力粉よりもでんぷん含量は少ない。また、一般的な薄力粉の粒子の直径は150 μ m以下で、粒子の半分は35 μ m以下である¹²⁾。今回使用した黒大豆きな粉の粒子の約56%は直径が36 μ m以下であったが、約10%は150 μ m以上で大きい粒子が含まれていた。これらの理由から、調製中の卵白泡の潰

れ、卵白泡中の空気の膨張の妨げ、膨化した卵白泡を支えるものの減少など原因となり、バター粘性が高くなり、スポンジケーキが十分膨らまず、硬くなったことも考えられる。この点については今後、バターやスポンジケーキ中の卵白泡の変化を観察する必要がある。

3-5. スポンジケーキの官能評価

スポンジケーキとして食べられる黒大豆きな粉置換量を明らかにするために、薄力粉の10%、20%、30%を黒大豆きな粉に置換した試料の官能評価の結果を図6に示した。評価する時に、置換量0%（薄力粉100%）で調製したスポンジケーキを基準（評価値0）として実施した。断面の色の好ましさの評価は、10%は0.42、20%は-1.17、30%は-2.08であった。いずれの試料間にも有意差（ $p<0.01$ ）が認められ、置換量が増すと好ましくない色になると評価された。断面の気泡の量の評価は、置換量10%は0.75、20%は-0.42、30%は-1.00であった。いずれの試料間にも有意差は認められなかったが、置換量が増すと気泡の量が少なくなると評価される傾向にあった。食べた時の硬さの評価は、置換量10%は1.29、20%は0.17、30%は-0.83であった。10%と20%の間

（ $p<0.05$ ）、10%と30%の間（ $p<0.01$ ）に有意差が認められた。置換量が増すと食べた時に硬くなると評価された。食べた時のしっとり感についての評価は、置換量10%は1.29、20%は0.17、30%は-1.5であった。いずれの試料間にも有意差（ $p<0.01$ ）が認められた。置換量が増すと食べた時にパサパサすると評価された。口の中でのまとまりやすさの評価は、置換量10%は0.08、20%は0.42、30%は-1.79であった。10%と30%の間、20%と30%の間に有意差（ $p<0.01$ ）が認められた。置換量が増すと口の中でのまとまりにくいと評価された。食べた時の香りの好ましさについての評価は、置換量10%は1.63、20%は1.58、30%は0.58であった。いずれの試料間にも有意差は認められなかったが、置換量が増すと食べた時に好ましくない香りがすると評価される傾向にあった。食べた時の味の評価は、置換量10%は1.79、20%では1.71、30%では0.75であった。10%と30%の間、20%と30%の間に有意差（ $p<0.05$ ）が認められた。置換量が増すと好ましくない味になると評価された。スポンジケーキとしてのおいしさ（総合評価）の評価は、置換量10%は1.83、20%は1.61、30%は0.58であった。10%と30%の間（ $p<0.01$ ）、20%と30%の間（ $p<0.05$ ）に有意差が認められ、置換量10%と20%の間に有意差は認められなかった。試料の中で、スポンジケーキとして最も評価値が高かったのは、置換量10%であった。スポンジケーキとしての評価値と他の評価値の相関係数は、食べた時の味の好ましさ（ $r=0.9988$ ）、口の中でのまとまりやすさ（ $r=0.9661$ ）、食べた時のしっとり感

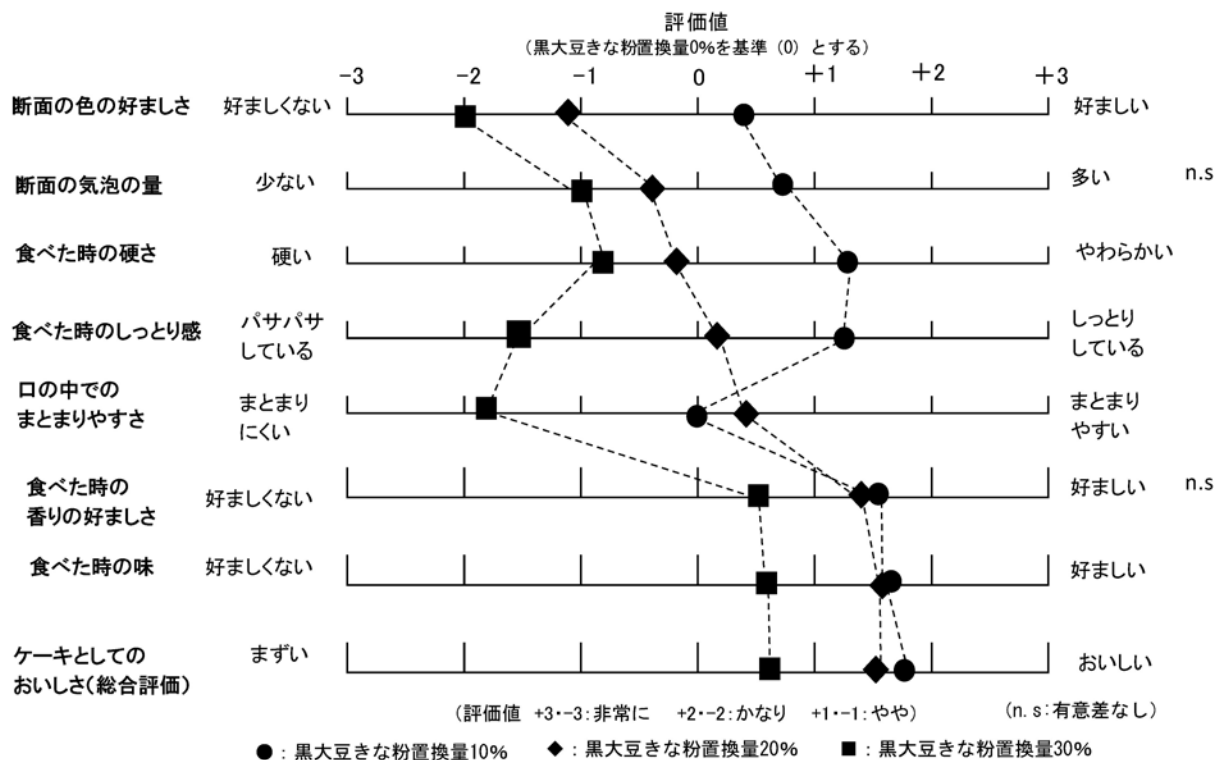


図6. 黒大豆きな粉置換量の異なるスポンジケーキの官能評価

($r = 0.9576$)、食べた時の硬さ ($r = 0.9054$) た時の硬さ ($r = 0.9054$) が高い相関を示した。食べた時にやわらかく、しっとりとしていて、口の中でまとまりやすく、きな粉味が強くないスポンジケーキが好まれたと考えられる。官能評価結果から得られた嗜好性と食物繊維、カリウム、カルシウム、鉄などの無機質の摂取量を高めるという栄養の両方面から検討すると、黒大豆きな粉置換量は20%が適当と考えられた。

4. まとめ

薄力粉の一部を黒大豆きな粉に置換してスポンジケーキの調製を試みた。黒大豆きな粉の置換量が与える影響について検討し、以下の結果を得た。

1. バッターは、黒大豆きな粉の置換量が増すと、硬さおよび付着性の値は増加した。凝集性および弾力性の値には顕著な変化はみられなかった。黒大豆きな粉の置換量が増すとバターは、硬くやや粘りのあるバターになる。
2. スポンジケーキは、黒大豆きな粉の置換量が増すと膨らまなくなる傾向にあり、断面の色調が黒褐色になることがわかった。
3. スポンジケーキは、黒大豆きな粉置換率が増すと硬さの値は増したが、凝集性や弾力性に顕著な変化はみられなかった。
4. 官能評価では、黒大豆きな粉置換量10%および20

%のスポンジケーキが30%のスポンジケーキに比べておいしいと評価された。

5. 食べた時においしいと評価されたスポンジケーキは、やわらかく、しっとりしていて、口の中でまとまりやすいケーキであった。

5. 参考文献

- 1) 長坂慶子 笹田怜子 川崎雅志 千葉啓子 中塚晴夫 猿渡英之 渡辺孝男: 北上産黒大豆「黒千石」の調理特性に関する研究 (第2報) -パンへの利用- 岩手県立大学盛岡短期大学部研究論集 第18号 35-40 2016
- 2) 泉 妃咲 富永晴郎 中島千鹿子 内田淳一 渡辺雄一 塚本洋子 井上 岳 山田洋子 山田善史 山田悟: 健康者における低糖質ケーキが糖脂質指標に与える影響 低糖質ケーキは血糖値を上げにくい 糖尿病 55 (6) 380-385 2012
- 3) 高澤まき子 佐々木弘美 保井明子: アマランサス粉がスポンジケーキの性状に及ぼす影響 日本食生活学会誌 14 (4) 316-322 2004
- 4) 大迫早苗: キヌア添加によるスポンジケーキの食味特性 相模女子大学紀要B 自然系 70 15-22 2006
- 5) 市川朝子 菊嶋和菜 下村道子: かぼちゃの添加がスポンジケーキの食味と物性に及ぼす影響 日本調理科学会誌 40 (2) 82-89 2007
- 6) 中山弘典 木村万紀子: 科学でわかるお菓子の「なぜ?」 48 柴田書店 2010

- 7) 香川芳子監修：七訂食品成分表 2016 34-35 女子栄養大学出版部 2016
- 8) 長坂慶子 岩本佳恵：大麦粉で調製したスポンジケーキの調理特性-サゴでんぷんの置換量の影響- 岩手県立大学盛岡短期大学部研究論集 第19号 57-62 2017
- 9) 消費者庁食品表示企画課：食品表示法に基づく栄養成分表示のためのガイドライン第1版 別添栄養成分等の分析方法等 31 2015
- 10) 古川秀子：おいしさを測る-食品官能検査の実際- 29-49 幸書房 2012
- 11) 吉田久美：マメ種皮の色 26 21-27 豆類時報 2002
- 12) 長尾精一：小麦粉利用ハンドブック 30 幸書房 2011

謝辞

黒大豆「黒千石」を御提供いただいた農事組合法人北上南部様に御礼申し上げます。