

## 分級処理が北海道産「きたほなみ」の菓子用小麦粉の スポンジケーキ加工適性に及ぼす影響

佐藤恵理, 中野敦博

### Effects of flour fractionation on the sponge cake-making suitability of Hokkaido "Kitahonami" wheat flour for confectionery use

Eri Sato, Atsuhiko Nakano

In this study, based on an examination of the effects of particle size, we sought to enhance the sponge cake processing properties of confectionery wheat flour produced from the Hokkaido wheat cultivar 'Kitahonami'. Image analysis revealed that proteins and damaged starch, which can have detrimental effects on these processing properties, were predominantly present in fine fractions with particle sizes of approximately 10  $\mu\text{m}$  or less. On the basis of these findings, flour fractions larger than 49  $\mu\text{m}$  and smaller than 10  $\mu\text{m}$  were removed by sieving and air classification, and sponge cakes were prepared using the remaining 10-49  $\mu\text{m}$  fraction. Compared with sponge cakes prepared using unclassified flours, those prepared using classified flours were found to be characterized by a softer crumb structure and improved melt-in-the-mouth properties. These findings indicate that classification of particle size would be an effective approach for enhancing the sponge cake processing properties of Hokkaido-produced confectionery wheat flour.

**KEY-WORDS** : fractionation, sponge cake, physical property evaluation, sensory evaluation, cake flour

**キーワード** : 分級, スポンジケーキ, 物性評価, 官能評価, 菓子用小麦粉

北海道は国内における小麦の一大産地であり, 令和5年の生産量は約72万tで全国生産量の約66%を占める<sup>1)</sup>。道産小麦品種は大半が日本めん用途の中間質小麦で, 菓子用途の品種は2020年に北海道優良品種に認定された「北見95号」1品種のみである。そのため, 以前より菓子用途には日本めん用の中間質小麦品種が転用されており, その多くは主力品種である「きたほなみ」と推定される。

阿部らは, 道内菓子企業を対象に, 現状の菓子用道産小麦粉の品質に関するアンケート調査を実施した。その

結果, 「焼き上がりの膨らみが良くない」, 「焼き上がりが硬い」, 「生地が粘りやすい」等が問題点であるとの回答が寄せられた<sup>2)</sup>。これを受けて実施した試験において「きたほなみ」を原料とする菓子用道産小麦粉から, たんぱく質の多い粒子径49 $\mu\text{m}$ 以上の画分を除くことにより, スポンジケーキの比容積や内相のかたさが改善し, 加工適性が向上することを明らかにした<sup>3)</sup>。

長尾は, 小麦粉の粒子径とたんぱく質量の関係について, たんぱく質量は粒子径17 $\mu\text{m}$ 以下の画分で最も多く, 次いで35 $\mu\text{m}$ 以上の画分, 最も少ないのが17-35 $\mu\text{m}$ の

事業名: 経常研究

課題名: 菓子用道産小麦粉の分級処理による菓子適性向上に関する研究

画分と報告している。また、粒子径 $35\mu\text{m}$ 以上の粒子径画分はでん粉粒をたんぱく質が包んだ細胞片とでん粉粒で構成されており、 $17\text{-}35\mu\text{m}$ には主にでん粉粒、 $17\mu\text{m}$ 以下の画分にはバラバラになったくさび型のたんぱく質が含まれることがたんぱく質の偏在する理由であるとしている<sup>4)</sup>。

これらのことから、たんぱく質量の多いとされる粒子径が大きい画分に加えて小さい画分も除去することにより、菓子用道産小麦粉のスポンジケーキの加工適性のさらなる向上が期待できる。そこで、本研究では菓子用道産小麦粉における粒子径が小さい画分に対する分級処理が菓子用道産小麦粉のスポンジケーキ加工適性に及ぼす影響について検討した。

## 実験方法

### 1. 試料

2023年に購入した北海道産小麦「きたほなみ」を原料とした菓子用小麦粉（以下、道麦粉）を以下に示す方法で分級処理し、スポンジケーキ加工適性試験に供試した。スポンジケーキ加工適性試験における対照品として、2023年に購入した外国産小麦を原料とする菓子用小麦粉（以下、外麦粉）を用いた。

### 2. 小麦粉の分級処理

本研究では、道麦粉を粒子径に基づいて分級し、分級処理によって得られた各粒子径範囲の粉体を分級画分と呼ぶ。超音波振動ふるいによって得られた分級画分は、通過したふるいの目開きに基づき「 $\text{○○}\mu\text{m}$ 通過画分」と表記した。一方、 $49\mu\text{m}$ 通過画分を風力分級によって再分級して得られた画分については、粒子径範囲に基づき「 $10\text{-}49\mu\text{m}$ 画分」および「 $<10\mu\text{m}$ 画分」と表記した。

#### (1) 超音波振動ふるいを用いた道麦粉の分級処理

分級処理には超音波振動ふるい（RF型、(株)ダルトン）を用い、道麦粉を先行研究<sup>3)</sup>に従い目開き104, 90, 75, 63,  $49\mu\text{m}$ のふるいを用いて段階的にふるい分けした。

#### (2) 画像解析による分級点の検討

画像解析にはデジタルマイクロスコープ（VHX-7000、(株)キーエンス）を用いた。 $49\mu\text{m}$ 通過画分をヨウ素液で染色し、粒子を観察した。また、画像解析機能を用いて同画分に含まれる粒子の円形度およびアスペクト比を算出し、得られた数値からAoyagiらの報告<sup>5)</sup>を参考

にでん粉と推定される粒子を除外した。除外後の粒子径分布から分級点を設定した。

#### (3) 風力分級機を用いた $49\mu\text{m}$ 通過画分の分級処理

画像解析の結果から設定した分級点において $49\mu\text{m}$ 通過画分を分級した。分級処理には風力分級機（クラッシャー、(株)セイシン企業）を用いた。

### 3. 分級画分の粒度分布

本粒度分布は粒度分布測定装置（LS 13 320, Beckman-coulter (株)）を用いて測定した。

### 4. 分級画分のたんぱく質量

たんぱく質量は、全窒素分析装置（SUMIGRAPH NC-TRINITY、(株)住化分析センター）を用いて測定した。得られた窒素量に小麦粉のたんぱく質換算係数である5.70を乗じ、たんぱく質量とした。

### 5. 分級画分の損傷でん粉量

損傷でん粉量は損傷でん粉分析キット（K-SDAM, Megazyme社）を用い、キットの分析手順に従って測定した。

### 6. スポンジケーキの調製

スポンジケーキの調製は、谷藤らの方法<sup>6)</sup>に準拠した。すなわち、(一社)日本パン技術研究所における標準的な配合（表1）に基づき、共立て法で行った。まず全卵と砂糖を卓上ミキサー（KPL9000S、(株)愛工舎製作所）を用いて、フォームの比重が $0.25\pm 0.01$ となるように調製した。フォームは275gずつボウルに分け、ふるい通し済みの小麦粉をゴムべらで80回攪拌混合してから牛乳を加え、さらに生地比重が $0.34\pm 0.01$ となるように混合した。この生地から320gを型紙の敷いた円形ケーキ型（6号、直径18cm）に入れ、電気オーブン（EF6-2-4、(株)栄和製作所）で $190^\circ\text{C}$ 、30分間焼成した。

表1 スポンジケーキの材料配合

材料名	配合 (%) *
全卵	100
砂糖	75
小麦粉	55
牛乳	15

\* 全卵を100とした時の重量比で示す

## 7. スポンジケーキの性状測定

未分級の道麦粉，49 $\mu$ m通過画分，10-49 $\mu$ m画分，対照として小麦粉でそれぞれスポンジケーキを調製した。ケーキは焼成，放冷後に型から取り出し，1日後に体積の推定および物性測定を行った。いずれも谷藤らの方法<sup>6)</sup>に準拠した。

### (1) 体積の推定

ケーキ上面の中心線からケーキカッター（刃渡り360mm）で二分し，両端および中央部の高さを測定した。ケーキは辺縁部上端面から下の円柱部分（底面直径18cm）と，上の盛り上がり部分に分割した形を想定し，それぞれの体積を算出して合計した。上の部分が釜落ちにより中央部がへこんでいる場合は，その体積を円柱部分からマイナスした。

### (2) 物性測定

クリープメータ（RE2-33005C，（株）山電）により圧縮試験を行った。サイズ計測後のケーキ（半割）から50 $\times$ 70 $\times$ 15mmに切り出した切片（ $n=7$ ）を用い，直径16mmの円柱型プランジャーで速度1mm/秒にて66.7%圧縮した時の最大応力を「かたさ」として評価した。

## 8. スポンジケーキの官能評価

焼成から1日後のスポンジケーキについて，パネル12名，5段階の採点法にて，「かたさ」（1：ない～5：ある），「しっとり感」（1：ない～5：ある），および「口溶け」（1：悪い～5：良い）の3項目について官能評価を実施した。なお，試験の実施にあたり，北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部食品加工研究センター人間工学実験倫理委員会の調査・審議に基づき，北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部長の承認を得て実施した（承認No.R04-03）。

## 9. 統計解析

物性測定結果および官能評価結果の統計解析には「Excel統計」（（株）社会情報サービス）を用いて，Steel-Dwassの多重比較検定（ $p<0.05$ ）を行った。

## 結果および考察

### 1. 分級点の検討および分級画分の特性値

#### (1) 道麦粉の分級処理

分級した道麦粉の各画分の粒度分布，たんぱく質量および損傷でん粉量の測定結果を表2に示す。分級画分の平均粒子径が小さくなるのに伴いたんぱく質量は減少し，道麦粉が9.2%であったのに対して，最も平均粒子径の小さい49 $\mu$ m通過画分では8.1%であった。その一方で，損傷でん粉量は平均粒子径が小さくなるのに伴い増加し，道麦粉が2.1%であったのに対し49 $\mu$ m通過画分では2.7%であった。

表2 分級画分の平均粒子径と成分

試料	重量比 (% (w/w))	平均 粒子径 ( $\mu$ m)	たんぱく 質量 (% (w/w))	損傷 でん粉量 (% (w/w))
未分級の 道麦粉	100	37.0	9.2	2.1
90 $\mu$ m 通過	84	35.3	9.1	2.4
75 $\mu$ m 通過	72	33.2	9.0	2.5
63 $\mu$ m 通過	60	24.9	8.5	2.8
49 $\mu$ m 通過	44	22.8	8.1	2.7

#### (2) 画像解析による分級点検討

ふるい分けにより得られた49 $\mu$ m通過画分をヨウ素染色しデジタルマイクロスコープを用いて観察したところ，図1に示すように，レンズ状の粒子と約10 $\mu$ m以下の角張った粒子が観察された。レンズ状の粒子および角張った粒子の一部はヨウ素染色によって青紫色を呈していることから，でん粉であると確認された。長尾らの既報によると，小麦のでん粉は直径15-35 $\mu$ mのレンズ状の粒子であるA粒と直径1-10 $\mu$ mの多面体～球形の粒子であるB粒で構成され，粒子径17 $\mu$ m以下の画分にはたんぱく質が多く含まれることが分かっている<sup>4) 7)</sup>。このことから，角張った粒子のうち染色されたものはB粒もしくは損傷でん粉であり，染色されなかったものはたんぱく質を含む細胞質の断片であると推察された。Moiraghiらは産地の異なる数十種類の軟質小麦について，小麦粉の各種特性とスポンジケーキ品質の関連性を調査した結果，たんぱく質量および損傷でん粉量がスポンジケーキの体積と負の相関関係にあることを報告して

いる<sup>7)</sup>。これにより、たんぱく質または損傷でん粉粒子と推定される角張った粒子を除去することでスポンジケーキへの加工適性をさらに向上できると考えられた。

そこで、次に角張った粒子が主として存在する粒子径範囲の推定を試みた。具体的には、デジタルマイクروسコープの画像解析機能を用いて49 $\mu\text{m}$ 通過画分に含まれる粒子画像から各粒子の円形度およびアスペクト比を測定した。得られた数値をもとにでん粉粒子と推定された粒子を除外し、残りを角張った粒子と仮定してその粒子径分布を求めた。円形度は粒子の投影面積と周囲長から算出され、値が1.0に近いほど円形に近い形状を示す指標である。アスペクト比は粒子の短径を長径で除した数

値で、細長い粒子ではアスペクト比が低くなる。Aoyagiらは小麦でん粉粒子の画像解析を行い、円形度およびアスペクト比の中央値がそれぞれ約0.95および0.9であることを報告している<sup>5)</sup>。この知見をもとに、本試験では円形度0.95以上かつアスペクト比0.9以上の粒子をでん粉粒子と推定した。推定したでん粉粒子を除外した後の粒子径の分布を図2に示す。その結果、残存粒子の多くが粒子径約10 $\mu\text{m}$ 以下に分布していることが明らかとなった。以上より、本研究では、たんぱく質および損傷でん粉の含有量が高い粒子径画分を除去するための分級点を粒子径10 $\mu\text{m}$ とした。

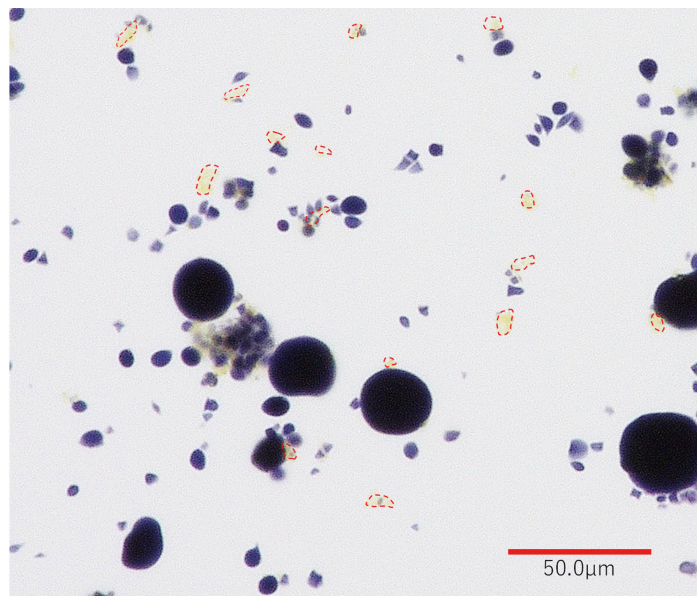


図1 49 $\mu\text{m}$ 通過画分のヨウ素染色画像  
染色されなかった角張った粒子は点線で示した

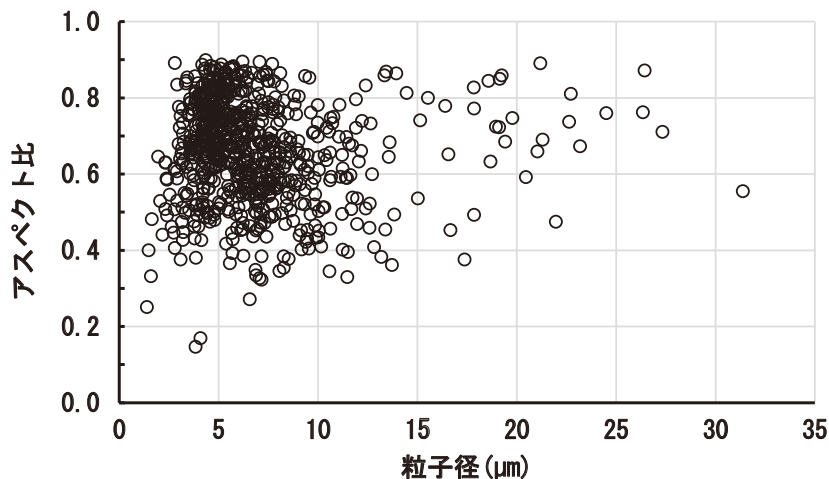


図2 推定したでん粉粒を除外後の49 $\mu\text{m}$ 通過画分の粒子径分布

(3) 49  $\mu\text{m}$ 通過画分の分級処理

小麦粉の49  $\mu\text{m}$ 通過画分のうち、10  $\mu\text{m}$ より小さな粒子を風力分級により分離した。得られた<10  $\mu\text{m}$ 画分および10-49  $\mu\text{m}$ 画分について、粒度分布、たんぱく質量および損傷でん粉量を測定した。結果を表3に示す。10-49  $\mu\text{m}$ 画分ではたんぱく質量5.6%、損傷でん粉量1.8%となり、49  $\mu\text{m}$ 通過画分よりも少ない値を示した。一方、<10  $\mu\text{m}$ 画分ではたんぱく質量10.7%、損傷でん粉量5.0%となり、表2および表3に示したいずれの画分よりも大きな値を示した。また、分級処理前後の粒子をデジタルマイクロスコープにより観察したところ、10-49  $\mu\text{m}$ 画分では、図3に示すように分級前と比較して角張った粒子が除去されていることが確認された。以上の結果から、粒子径の小さな画分に風力分級を行うことにより、たんぱく質および損傷でん粉の含有量が低い10-49  $\mu\text{m}$ 画分を分離できた。

表3 49  $\mu\text{m}$ 通過画分の平均径および成分

試料	重量比 (% (w/w))	平均 粒子径 ( $\mu\text{m}$ )	たんぱく 質量 (% (w/w))	損傷 でん粉量 (% (w/w))
未分級の 道麦粉	100	37.0	9.2	2.1
10 $\mu\text{m}$ 通過	21	13.0	10.7	5.0
10-49 $\mu\text{m}$	22	31.4	5.6	1.8

## 2. 分級画分のスポンジケーキ加工適性評価

分級によりたんぱく質量および損傷でん粉量が減少した10-49  $\mu\text{m}$ 画分について、スポンジケーキを試作し、物性評価および官能評価を実施した。比較用に未分級の道麦粉、49  $\mu\text{m}$ 通過画分、および外麦粉についてもそれぞれスポンジケーキを試作し同様に試験した。

スポンジケーキは、しっとりとしていてソフトな触感が好ましいとされる<sup>7)</sup>ことから、本試験では、物性評価については「比容積が大きく内相が軟らかい」こと、官能評価については「軟らかくしっとり感があり、口溶けが良い」ことを「スポンジケーキ加工適性が高い」と評価することとした。

試験の結果を表4に示す。比容積については、未分級の道麦粉に対して10-49  $\mu\text{m}$ 画分と49  $\mu\text{m}$ 通過画分で比容積が大きくなった。また、内相のかたさは未分級の道麦粉の $2.9 \times 10^3 \text{Pa}$ と比較して49  $\mu\text{m}$ 通過画分では $2.5 \times 10^3 \text{Pa}$ となり、統計的に有意な差は認められなかったのに対し、10-49  $\mu\text{m}$ 画分では $2.3 \times 10^3 \text{Pa}$ となり、未分級の道麦粉よりも有意に軟らかくなった。官能評価において、「しっとり感」は試料間に評価の差は見られず、「かたさ」は未分級の道麦粉に対して外麦粉では有意に軟らかかったものの、10-49  $\mu\text{m}$ 画分と49  $\mu\text{m}$ 通過画分との間には統計的に有意な差は認められなかった。「口溶け」については10-49  $\mu\text{m}$ 画分で未分級の道麦粉よりも有意に「良い」という評価であり、菓子適性が高いとされる外麦粉と同等の評価であった。

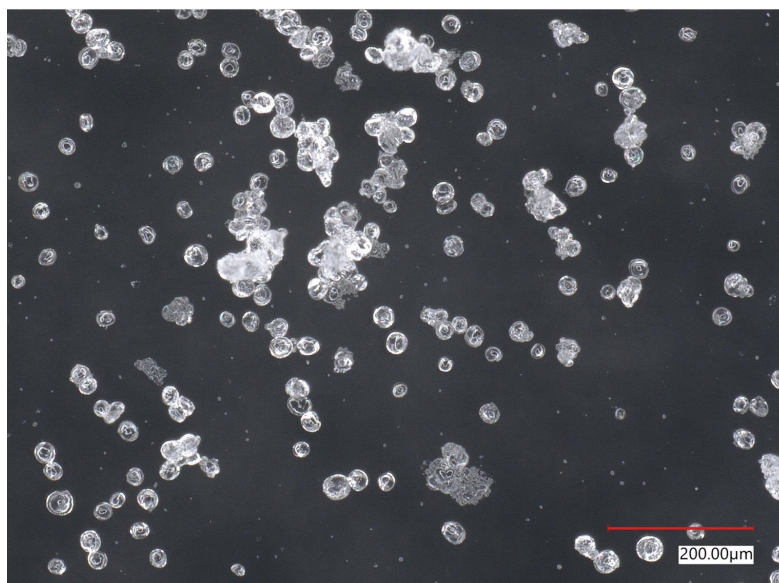
図3 10-49  $\mu\text{m}$ 画分のデジタルマイクロスコープ画像

表4 分級粉のスポンジケーキ特性値と官能評価結果

試料	スポンジケーキ特性値		官能評価		
	比容積 (cm <sup>3</sup> /g)	内相の かたさ (×10 <sup>3</sup> Pa)	かたさ	しっとり 感	口溶け
道麦粉	4.6	2.9 <sup>a</sup>	3.8 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	2.3 <sup>b</sup>
49 μm通過	5.0	2.5 <sup>ab</sup>	3.4 <sup>ab</sup>	3.7 <sup>a</sup>	3.2 <sup>ab</sup>
10-49 μm	5.5	2.3 <sup>b</sup>	3.0 <sup>ab</sup>	3.5 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>
外麦粉	5.4	2.7 <sup>a</sup>	2.5 <sup>b</sup>	3.6 <sup>a</sup>	3.6 <sup>a</sup>

官能評価は「かたさ」(1:ない~5:ある),「しっとり感」(1:ない~5:ある),「口溶け」(1:悪い~5:よい)の3項目について行った。異なるアルファベット間に有意差あり(Steel-Dwassの多重比較検定( $p < 0.05$ ))。

以上の結果から、「きたほなみ」を原料とする菓子用道産小麦粉について、たんぱく質の多い粒子径の大きな画分に加え、たんぱく質と損傷でん粉の多い $< 10 \mu\text{m}$ 画分を除去することで内相が軟らかく、口溶けが良くなりスポンジケーキ加工適性が向上することが示唆された。

本試験は、「きたほなみ」を原料とする市販小麦粉一銘柄を対象として行ったものであるため、今後は他品種についても検討を行い、本試験で明らかになった分級条件の適用性を確認する必要があると考えられる。

### 要約

菓子用道産小麦粉のスポンジケーキ加工適性向上を目的として、たんぱく質量の多い粒子径の大きな画分の分級に加え、たんぱく質および損傷でん粉を含む粒子径の小さな画分の分級がスポンジケーキ加工適性に及ぼす影響について検討した。スポンジケーキの加工適性を低下させるたんぱく質および損傷でん粉は粒子径約 $10 \mu\text{m}$ 以下の分級画分に多く含まれることが画像解析の結果から示唆された。そこで、「きたほなみ」を原料とする菓子用道産小麦粉の粒子径 $49 \mu\text{m}$ 以上の画分および $10 \mu\text{m}$ 未

満の画分をふるい分けと風力分級により除去した。得られた $10-49 \mu\text{m}$ 画分のスポンジケーキ加工適性を検討したところ、未分級の小麦粉で調製したスポンジケーキに比べて内相が軟らかく、口溶けが良いという結果が得られた。これらの結果から、菓子用道産小麦粉を分級処理し、たんぱく質および損傷でん粉を多く含む粒子径画分を除去することにより、スポンジケーキ加工適性が向上することが示唆された。

### 文献

- 1) 北海道農政部生産振興局農産振興課, 麦類・豆類・雑穀便覧 麦類編. (2024)
- 2) 阿部珠代, 竹内薫 (2020). 道内菓子企業における道産小麦の利用状況およびニーズに関する調査. 戦略研究報告書 素材・加工・流通技術の融合による新たな食の市場創成, 160-162.
- 3) 阿部珠代, 竹内薫 (2020). 「きたほなみ」小麦粉の再篩別による菓子加工適性向上技術の開発. 戦略研究報告書 素材・加工・流通技術の融合による新たな食の市場創成, 168-169.
- 4) 長尾精一 (1984). 「最新食品加工講座 小麦とその加工」, 建帛社, 東京, pp.154-157.
- 5) Aoyagi, T., Oshima, T., Imaizumi, T. (2021). Quantitative characterization of individual starch grain morphology using a particle flow analyzer. *LWT.*, 139, 110589.
- 6) 谷藤健, 梅田智里 (2017). 菓子用途に向けた北海道産小麦「きたほなみ」の特性に関する研究. 北海道立総合研究機構食品加工研究センター研究報告. **12**, 1-9.
- 7) 長尾精一 (2011). 「小麦粉利用ハンドブック」, 幸書房, 東京, pp.202-204.
- 8) Moiraghi, M., Hera, E., Perez, G.T. and Gomez, M. (2013). Effect of wheat flour characteristics on sponge cake quality. *J. Sci. Food Agric.*, **93**, 542-549.