

## 学 位 論 文 の 要 旨

論文題目 水分制御がピッツァ生地のリオロジー特性およびピッツァクラストの食感に及ぼす影響

広島大学大学院統合生命科学研究科

食品生命科学プログラム

学生番号 D204557

氏 名 松本 茜

ピッツァは強力粉、塩、水、イーストなどを混捏し、発酵させた生地（ドウ）を、縁を備えた円盤状に成形し（クラスト生地）、中央に具材やソースを乗せ、焼成して作られる。本格的な店舗で提供されるピッツァクラストの縁（コルニチョーネ）の“ふっくら”、“もっちり”とした食感は、石窯を用いた高温短時間焼成によって実現される。

フードチェーンでは一般に電気式オーブンをを用いてピッツァを焼成する。電気式オーブンは、焼成温度が低いため焼成時間が長くなり、ピッツァクラストは硬い食感となる。電気式オーブンによる焼成でも石窯で焼成したピッツァクラストのような食感を実現することは、ピッツァを扱う食品産業において重要な課題の一つである。電気式オーブンによる焼成でピッツァクラストが硬い食感となる要因として、クラスト生地から過度な水分蒸発が起こることが考えられる。生地の水分含量を予め多くしておくことで食感改善が期待されるが、同時に生地の混捏性や成形性が悪化するため、単に生地の水分を増加させる策は採用できない。一方、先行研究において、生地への高分子成分添加による食感改善が検討されている。しかし、クラスト生地の主成分は小麦粉と水であり、添加物による味や風味への悪影響が考えられる。そこで、本研究では糊化小麦澱粉を用いてクラスト生地の水分含量を高める方法に着目した。ピッツァ生地の主材料は小麦粉であるため、糊化小麦澱粉を用いることによる味や風味の影響はほとんどないと考えられる。また、澱粉は糊化することで水和力が向上するため、生地のレオロジー特性を維持しつつ水分含量を高めることができると考えられる。その結果、焼成後クラストの水分含量も高まり、低温長時間焼成においてもふっくら、もっちりとしたクラストになると期待される。

一方、一部のフードチェーンでは店舗での調理時間を短縮するために、工場ですべて焼成したピッツァクラストを冷蔵輸送して、店舗で調理するセントラルキッチン方式が採られているが、積載流通・保管時にクラストの内部構造がつぶれることが問題とされている。予備焼成クラストにはチルド流通・保管が許容される水分活性（ $a_w$ ）と積載耐性が求められ、予備焼成段階での水分含量を一定水準まで引き下げる必要がある。しかし、予備焼成後そのまま本焼成をすると、クラストの水分含量はさらに低下し、食感は硬くなる。本焼成の前に再水和を行うことで、2段階焼成後のクラストの食感が改善できる可能性がある。これまでに、伝統的な焼成方法がピッツァクラストの食感に及ぼす影響に関する研究は報告されているが、2段階焼成のような変則的な焼成方法に関する研究報告はない。

フードチェーンにおけるピッツァクラストに関する一連の課題は、それぞれの状況に合わせた最適な水分制御によって改善できると考えられる。本研究では、1. 糊化小麦澱粉を用いた加水がクラスト生地のレオロジー特性およびクラストの食感に及ぼす影響、2. 予備焼成による乾燥がクラストの物性に及ぼす影響と、本焼成前の再水和が2段階焼成クラストの食感に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

第1章では上記の研究背景と目的を述べた。第2章では実験に用いる試料の調製方法や主な測定手

法について説明した。生地粘弾性パラメーターとして貯蔵弾性率 ( $G'$ )、損失弾性率 ( $G''$ )、降伏応力 ( $\sigma_{\text{yield}}$ ) を用いた。本研究では生地の線形領域における  $G'$  および  $G''$  の値と、 $G'$  と  $G''$  の値が一致する ( $\tan\delta = 1$  となる) ときの応力を  $\sigma_{\text{yield}}$  として評価した。ピッツァクラストのテクスチャー測定にはレオメーターを用いた。低歪み (0.25) および高歪み (0.70) における見かけの圧縮応力の低さを、それぞれ柔らかさ (ふっくら感) と付着性 (もっちり感) に関連付けて考察した。ピッツァは焼成直後の熱い状態で喫食されることが多く、冷めたピッツァの価値は乏しいことから、第4章のテクスチャー測定では 60°C の環境での測定を実施した。一方、第5章では試料部位によるデータのばらつきを抑え、測定精度を高めるために試料全体を圧縮する測定方法を採用した。

第3章では、糊化小麦澱粉による加水がクラスト生地のレオロジー特性に及ぼす影響を明らかにした。小麦澱粉を用いて様々な水分含量の糊化小麦澱粉 (gelatinized wheat starch; 以下、GWS) を調製し、他の材料と混合して、モデル生地およびピッツァ生地とした。これらの生地のレオロジー特性を動的粘弾性測定により調べた。その結果、クラスト生地の水分含量の増加に伴い、水の可塑効果によって  $G'$ 、 $G''$ 、 $\sigma_{\text{yield}}$  は対数スケールで直線的に低下した。小麦粉の一部を GWS に置き換えることで、糊化澱粉の保水効果により、すべての値がシフトアップした。また、副材料 (油、塩、砂糖、酵母) を添加したピッツァ生地でも同様の結果が示された。しかし、モデル生地 (水分含量 1.04g/g-DM の GWS20) をベースにしたピッツァ生地 (改質生地) ではモデル生地よりも  $G'$ 、 $\sigma_{\text{yield}}$  が低下した。これは、小麦粉の一部を GWS に置き換えることにより生地中のグルテン含量が低下し、酵母発酵によるガスセルが大きくなったことが要因と考えられた。一方で、従来配合のピッツァ生地 (従来生地) と改質生地との間に  $G'$ 、 $G''$ 、 $\sigma_{\text{yield}}$  の有意差は認められなかった。小麦粉の一部を GWS に置き換えることで、配合する水分量を増加させてもレオロジー特性を維持できることが確認された。

第4章では、改質生地を用いてクラスト生地を調製し、電気式オーブンで焼成して得られた改質クラストの構造、水分含量、食感を調べて、従来生地を用いて調製した従来クラストと比較した。その結果、従来クラストと比べて、改質クラストの見かけ密度に有意差は見られなかったが、焼成後のクラスト内部の水分含量は有意に高いことが明らかになった。一方、レオメーターを用いたテクスチャー測定より、改質クラストは高歪みでの見かけの応力が有意に低かった。また、官能評価より、従来クラストよりも有意に柔らかく、もっちりした食感であることが示された。これはクラスト内部の水分含量が増加したことによる効果である。小麦粉の一部を GWS に置き換える加水方法により、焼成後もクラスト内部の水分含量を高めることができ、電気式オーブンを用いて焼成しても柔らかく、もっちりした食感のクラストに仕上げるのが可能になった。

第5章では、予備焼成がクラスト生地の水分含量、 $a_w$ 、初期弾性率、積載耐性に及ぼす影響と、再水和処理が本焼成クラストの食感に及ぼす影響について検討した。予備焼成時間の増加によりピッツァクラストの水分含量及び  $a_w$  は低下し、初期弾性率および積載耐性は増加する傾向にあった。 $a_w$  から推定される保存性と積載耐性の結果から、最適な予備焼成条件 (200°C、15 分) を決定した。このとき予備焼成クラストの水分含量は  $0.48 \pm 0.01$  g/g-DM (dry matter) であった。この予備焼成クラストを本焼成すると、通常のクラストと比較して著しく水分含量が低下した。しかし、本焼成前に再水和処理を施すことで、通常のクラストに近い値まで水分含量が増加させることができた。また、レオメーターによるテクスチャー測定と官能評価より、再水和処理によって本焼成後クラストの柔らかさと高歪みでの荷重 (もっちり感) は有意に向上することが示された。これは、再水和処理によりクラストの水分含量が高くなったことに起因する。フードチェーンでは調理時間の短縮と同時にコストの削減も求められている。ピッツァクラストの食感改善に伴う品質価値の上昇と再水和処理の導入に伴うコスト上昇とのバランスを見極める必要がある。再水和処理の効率化は本研究の次なる課題である。

以上、本研究より、低温長時間焼成や2段階焼成といった特殊な方法で調理されたピッツァクラストの食感改善は巧みな水分制御により実現可能であることが示された。調理の基礎は温度と水の制御にある。近年の食品産業では AI (Artificial Intelligence) や IOT (Internet of Things) を活用した先端テクノロジーの導入が注目されているが、それらと同時に、従来の調理を基礎から見直す動きもまた重要といえるだろう。