

大量調理における品質評価手法及び予測モデルの構築

氏名 八川 梨紗

学校や病院などの給食施設では、常に品質一定の調理品を提供が求められる。提供頻度の高い根菜類の煮物や汁物は、テクスチャーや形くずれなどの品質の制御が重要となり、鍋内の温度変化や食材の重量などが関与すると考えられるが、種々の要因の影響を実験的に検証し、品質管理の手法を提案した報告はない。本論文は、大量調理において根菜類を適度な硬さに仕上げ、形くずれを抑制できる品質管理手法を提案するため、品質評価の手法及び調理の過程を予測するモデルを構築することを目的とした。

初めに、回転釜を用いた調理の緩慢な水温変化に基づき根菜類の内部温度と硬さの変化をシミュレーションし、調理時間を予測した。沸騰水に大量の食品を投入する場合、水温の低下に注意が必要とされてきたが、沸騰水 8 kg にダイコン 2 cm 角 12 kg を投入した条件では、再沸騰までに軟化が進むために 99.5°C 一定の加熱よりも沸騰継続時間は短くなった。また、大量調理では消火後の余熱が大きいため煮くずれが生じると言われる。そのため、水量 10~50 kg で短時間の余熱利用でジャガイモ 1/12 切り試料を適度な硬さに仕上げる最適余熱利用時間を設定したところ、余熱を利用しない場合の沸騰継続時間とほぼ同じだった。実際にジャガイモ 12 kg と水 8 kg を調理し、最適余熱利用時間では水温が 70°C になるまでの長時間放置する場合に比べ煮くずれ量が 1/3 になることが確認された。加熱中の沸騰時の気泡が発生する激しい対流も形くずれの要因とされるため、次に気泡の発生とジャガイモの形くずれの関係を把握した。水のみを加熱した時の最大気泡長径を気泡の発生の程度の指標とし、加熱した試料を表面の変化に着目した 6 段階の尺度で評価したところ、ガス流量が大きいほど最大気泡長径は大きく、形くずれが進行した。よって大量調理においてジャガイモの形くずれを防ぐためには、沸騰継続せず最適余熱利用時間で取り出すことが有効と言える。

根菜類の形くずれの要因として他に大量の食品の積み重ねが挙げられ、生鮮果実については堆積時の損傷を調べた報告があるが、加熱した食品についての報告はない。そこでまず、回転釜で総重量 30 kg 調理時の釜中心部を再現する堆積モデル実験により、試料及び放置条件の違いを検討した。金属製のかご内にジャガイモ及びダイコン約 1.2 kg を 5 段堆積して加熱後、2 時間水中及び空中放置し、重量及び形

状を評価した。ジャガイモはいずれの条件でもかご内の位置による差は小さく、堆積の影響は小さかった。一方、ダイコンは水中放置では変形が小さかったが、空中放置では下部ほど変形し、離水により重量も減少した。次に、堆積状態を模した一定荷重圧縮試験を行い、ダイコン 2 cm 角の歪率の変化を 6 要素のクリープモデルにより解析した。みかけの粘弾性定数の加熱時間に対する片対数プロットは、 E_H を除き直線的な減少を示したことから、任意の加熱時間に対してみかけの粘弾性定数が計算され、歪率の予測が可能となった。また、歪率との直線関係に基づき重量減少割合も予測できた。最後に、加熱したいちよう切りダイコン 8 kg を食缶内で 2 時間放置し、重量や高さ、半径の測定及び形くずれの評価を行い一定荷重圧縮試験と比較した。その結果、食缶内の下部ほど変形が大きく、重量が減少し、高さは食缶での堆積実験と同程度になることが確認された。堆積実験では試料が様々な方向から力を受けるために、半径が小さくなり複雑な形くずれが生じるため、重量は一定荷重圧縮試験の約 0.8~0.9 倍になった。

最後に、大量調理では加熱むらが生じるとされることを検証した。まず、5、28 L 容量の寸胴鍋及びつば元水量 55 L の回転釜で、試料と水の総重量を 3 kg 及び 20 kg、試料重量の割合を 0、25、60%として加熱時の水温変化を測定した。試料は直径と高さが 1、2、3 cm のナイロン製円柱を用いた。加熱開始から 99°C までの水温上昇速度は、試料重量の割合に対し直線的に増加し、さらに総重量 3 kg で試料重量割合 60% の場合、試料が大きいほど水温上昇速度は増加した。次に、鍋内の水温分布と流れを有限要素法ベースのシミュレーションソフトウェア COMSOL Multiphysics® による CFD (Computational Fluid Dynamics、計算流体力学) 解析で可視化した。鍋内面近傍の水温実測値を境界条件とすることで、総重量や試料の有無によらず鍋内の水温が予測できた。対流の発生とその強さを表す Rayleigh 数は、寸胴鍋を用いた場合の 20 kg では試料占有面積割合 0%、60% のそれぞれで 3 kg の 46.7 倍、3.3 倍で総重量が多い方が対流が起こりやすいことがわかった。20 kg は 3 kg よりも流速が大きく、水温は均一であった。一方、試料占有面積割合が大きいほど、総重量 3 kg では試料が小さいほど流速は小さかった。試料により対流が妨げられるが、試料は大きい方が流路が広く対流が起こりやすいため水温上昇が速くなることが示唆された。このような種々の調理条件による鍋内の水温や流れの違いを示すことができた。

本研究で提案した根菜類の最適余熱利用時間の設定、根菜類の形くずれの評価及び予測手法、加熱調理中の鍋内の水温と流れの予測モデルは、これまで経験的に行われてきた大量調理における品質管理に貢献できる知見であると考えている。