

氏名(本籍)	いま い てつ や (埼玉県)		
学位の種類	博士(農学)		
学位記番号	博甲第1,472号		
学位授与年月日	平成8年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	農学研究科		
学位論文題目	通電処理による食品素材の発熱に関する研究		
主査	筑波大学併任教授	理学博士	野口 明徳
副査	筑波大学教授	農学博士	吉崎 繁
副査	筑波大学教授	農学博士	富田 文一郎
副査	筑波大学助教授	工学博士	小嶋 英一

## 論 文 の 要 旨

食品の加熱操作は基本的に温度差を駆動力とする外部加熱が広く利用されており、迅速均一加熱が困難である。これに対し通電加熱法は食品自身のもつ電気抵抗を利用し、材料に電流を流した際に発生する熱を利用する加熱法であり、迅速均一加熱が可能と考えられている。しかし、食品素材の通電加熱に関する知見はほとんど得られていないのが実状である。そこで、本研究では、すでに一部実用化が進行している通電加熱法の応用展開と効率化を目的として、通電処理による①植物組織の発熱機構、②相変化を伴うタンパク素材の昇温過程、③気泡を含むエマルジョン素材の昇温過程および④電流の流れを左右する水の挙動が制限されるハイドロコロイドゲルでの昇温過程について実験的に検討・解析したものである。

得られた主な結論は以下のとおりである。

①植物組織の発熱機構では、比較的均一な細胞構造を有するダイコンの通電加熱を試み、発熱と周波数の影響および電界効果と発熱機構の関連について検討し、(1)従来の湯浴加熱と比較して非常に迅速でほぼ直線的な昇温であるが、80℃までの昇温は高い周波数ほど遅くなり、60℃以上での昇温速度は周波数によらずほぼ一定となること、(2)低温での50 Hz 通電により、インピーダンスは急激に減少すること、(3)40 V/cm, 50 Hz, 30℃まで通電処理後に<sup>1</sup>H-NMR で測定した試料内水挙動解析から、低周波数処理での細胞膜電気穿孔の可能性があること、(4)通電加熱でのテクスチャー変化は従来加熱と全く逆で、外側の組織強度を維持しながらも中心部が柔らかくなることを見だし、低周波数での通電加熱は電界効果の一つである電気穿孔により植物組織のインピーダンスが低下して、より均一で迅速な加熱が可能になるとしている。②相変化を伴うタンパク素材の昇温過程では、卵白アルブミン溶液の通電加熱を試み、その際の昇温速度について検討し、(1)10%アルブミン溶液の昇温は75℃付近まではほぼ直線的で、周波数が高くなるにしたがって僅かに速くなり、周波数によらず75℃付近から昇温速度が大きくなる傾向が認め、90℃までの到達時間は湯浴の約1300秒と比べて、10 kHz 通電加熱の場合は約380秒と非常に迅速であること、(2)通電加熱ゲルの外観・破断強度は湯浴加熱のそれとほとんど差が認められないこと、(3)卵白アルブミンの液体とゲルのインピーダンスは、10 Hz～100 kHz の範囲で通電中の各温度(20～90℃)でほぼ同じであることを見だし、加熱中に相変化を伴う卵白溶液に対して、通電加熱は迅速な加熱法であること、昇温速度変化は相変化に伴う熱の対流現象の消失と熱拡散の抑制による熱損失低下が主な原因としている。③気泡を含むエマルジョン素材の昇温過程では、通電加熱による気泡を含むケーキ類焼成を検討し、(1)生地(比重0.37)の

昇温は約89℃で停止すること、(2)比重0.55の生地では約70秒で約100℃まで昇温し、ついで昇温が停止すること、(3)比重0.37の生地では約89℃での昇温停止後に攪拌すれば、再度の通電加熱で約100℃に焼成可能であるが、焼成組織は粗く不均一で焼成体積も小さいこと、比重0.55の生地を約100℃まで通電加熱した場合はきめの細かい均一な組織であることを見だし、通電加熱法がケーキ類の迅速焼成法に成りうること、通電中の昇温停止は、生地内の気泡成長で気泡間距離が狭くなって気泡壁水分が大幅に低下し、電気抵抗が急激に上昇するためとしていいる。④電流の流れを左右する水の挙動が制限されるハイドロコロイドゲルでの昇温過程では、濃度の異なる寒天ゲルの通電加熱を行い、その昇温過程を検討したところ、寒天ゲルの昇温は、寒天濃度が高くなるにしたがい周波数の影響が認められた。寒天ゲル中の水は骨格となる高分子に配位する拘束された水と、それによって区分された空間に位置する区画化された水に大別でき、寒天濃度上昇により骨格間距離が短くなれば拘束水で遮断された区画化水の移動がより困難になる。拘束水は電氣的にコンデンサーと等価であるため、昇温に対する周波数の影響が発現したと解析している。

## 審 査 の 要 旨

食品加工の各单位操作の中で加熱工は殺菌・保存、風味改善、消化性向上などを狙いとする最も重要な操作の一つである。熱に不安定な成分を含むことから品質保持のためには、狙いとする各成分の活性化エネルギーの差を利用しながらも基本的には均一迅速加熱が望ましい。しかし、食品素材の一般に低い熱特性値は従来から多用されている伝達、伝導、輻射などの外部加熱の手法では均一迅速加熱を困難とし、新しい概念に基づく新加熱方法の開発が以前から求められていた。本研究はこうした要求にまさに応えるものと判断できる。原理上、均一迅速加熱を可能とし、その容易な制御から、本研究で取り上げている通電加熱方法自体は既に以前から注目され、一部は内外で実用化されている。しかし、その普及はなかなか進まず、その主な原因は構造、成分などの材料特性に重点を置いて、通電加熱での発熱機構を詳細に検討した研究例は内外で皆無に近い。こうした状況で本研究はまさに貴重な基礎研究と言えるものであり、植物組織通電加熱時の昇温が周波数依存性である現象を内外で初めて明確に解明した点は特に高く評価すべきと考える。本研究はその内容公表により、他の大学および国公立研究機関に類似の研究を喚起し、さらに一部は国内での蒲鉾製造に応用されており、本研究の研究として意義、応用展開への位置づけは十分に評価されていると判断できる。

よって、著者は博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。