

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25550090

研究課題名(和文) 食の安全を重視したスマートキッチン・ダイニングの構築による省エネルギーと低炭素化

研究課題名(英文) Smart kitchen-dining organization for cooking to attain both "energy saving and reduction of CO2 emission" and "food safety"

研究代表者

白杉 直子 (Naoko, Shirasugi)

神戸大学・人間発達環境学研究所・教授

研究者番号：80243294

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：厨房における「省エネルギー・低炭素化」と「食の安全」の2観点を両立する最適加熱調理条件を探る実験を行った。「食の安全」の課題の一つとして、高温加熱調理の際のアクリルアミド等の有毒化学物質の非意図的な生成がある。これらの摂取量低減のために、日常調理における「焼く・炒める・揚げる」に対する「ゆでる・煮る・蒸す」加熱法の割合を増やすことは有効な一方策である。しかし、後者の湿式加熱法はエネルギー負荷が大きい。そこで、長時間加熱が必要な根菜類の「ゆでる」条件について最適条件を明らかにした。さらに食中毒の原因となる微生物汚染に対応できる肉料理の加熱条件についても環境負荷低減策とのバランスから検討を行った。

研究成果の概要(英文)： We searched for the optimal heating conditions for cooking to attain both "energy saving and reduction of CO2 emission" and "food safety" using experimental studies.

As one of the current food safety issues, cooking at high temperature unintentionally produced toxic chemical materials such as acrylamides. For the reduction of intake of these materials, it would be effective to increase the rate of wet-heating methods such as "boiling, simmering, and steaming" rather than dry-heating methods such as "roasting, broiling, stir frying, and deep frying" in daily cooking, whereas cooking by the former methods might consume more energy than that by the latter methods. Therefore, we elucidated the optimal heating conditions of root vegetables for energy efficiency: boiling carrots. Furthermore, we examined the optimal frying conditions of hamburger steak for energy efficiency and CO2 reduction and preventing bacterial food poisoning, which is another important issue in food hygiene.

研究分野：食環境学

キーワード：低炭素社会 省エネルギー 加熱調理 調理科学 食の安全・安心

1. 研究開始当初の背景

(1) 日本の総エネルギー消費量のうち、産業部門のエネルギー消費量は70年代以降、45%とほぼ横ばい状態が続いている。要因の一つに産業界の省エネ技術の目覚ましい進歩がある。対して、民生部門(家庭部門と業務部門)のそれは増大し続け、今や31%に達する。省エネ開発された電化製品の家庭への普及にも関わらず、それらの省エネ効果を超えるエネルギー消費の増大が家庭部門に生じている。厨房における省エネルギーやCO₂削減を目的として、ここ数年、いわゆるエコクッキングに関する研究がようやく進められるようになった。既往研究では、「ゆでる」、「煮る」、「蒸す」の湿式加熱の方が、「焼く」、「炒める」、「揚げる」の乾式加熱よりエネルギー負荷が大きいことを報告している¹⁾。

(2) 一方、「加熱条件」が影響する「食の安全」の問題がある。その一つが高温加熱調理の際に生成される有毒化学物質である。2002年、スウェーデンはポテトチップスなどの高温調理済み加工食品からアクリルアミドを高濃度で検出したことを発表した。アクリルアミドはDNAに損傷を与える遺伝毒性を持つことから、厚生労働省と農林水産省は「優先的にリスク管理を行うべき有害化学物質」のひとつに挙げている。他にも高温加熱調理時に非意図的に生成される毒性化学物質として、ベンゾ[a]ピレンなどの多環芳香族炭化水素(PAHs)やヘテロサイクリックアミンなどが知られている。そのため、これらの摂取量を減らす一つの方法として、日常調理において、「焼く」、「炒める」、「揚げる」の割合を減らし、100以下の「ゆでる」、「煮る」、「蒸す」の加熱調理法を増やすことが有効であると考えられる。

もう一つの食品衛生の喫緊の課題に、微生物による食中毒対策がある。従来細菌類による食中毒に加え、ウイルスや以前は食中毒の原因とならなかった細菌による新型の食中毒の台頭が最近の特徴である。少量の菌量で発症するものもあり、必ずしも従来の微生物汚染対策が通用しない点に注意を要する。特に、生肉や生焼けの肉に内在または付着する原因菌に対して、適切な加熱条件で日常的な調理が行われることは、極めて重要である。

2. 研究の目的

(1) 概要：エネルギー消費低減に向けて、改善の余地が大きい家庭部門の中でも特に食生活におけるエネルギー消費のあり方に着目した。すなわち、「厨房における省エネルギー・低炭素化」対策を、料理の美味しさや栄養価とともに、「食の安全・安心」を重視する観点の下、化学工学の実験的手法で検討し、得られたデータのベース化、それに続く厨房内外の機能要素統合によるスマートキッチン・ダイニングのシステム化を最終的な研究目標とした。特に本申請では、「食の安

全に関わる今日的課題」を解決可能にし、なおかつ、調理過程の「省エネルギー・低炭素化」を実現する条件・方法の最適化を図ることを試みた。そのために「化学工学によるレシピ・エンジニアリングの調理への適用」という新しい着眼による研究手法をベースに、調理学、栄養学、食品衛生学的見地を加えた学際的・統合的なアプローチを行おうとした。それにより、家庭部門の飛躍的な省エネルギーと低炭素化実現のための具体的なシステム作りを目指そうとした。

(2) 根菜類(ニンジン)のゆで加熱実験：食の安全や健康の観点からは優れた加熱調理方法であるにも関わらず、エネルギー負荷が大きい難点を持つ「煮る」、「ゆでる」、「蒸す」の湿式加熱法¹⁾について、エネルギー学的、調理科学的、食品衛生学的視点に耐える実験を重ね、化学工学的手法で計算・解析を行い、特徴を明らかにしようとした。具体的には、湿式加熱の中でも、比較的時間を要する根菜類(ニンジン)のゆで加熱について、よりエネルギー効率のよい加熱条件を明らかにすることを目的とした。

また、近年、過剰施肥により野菜に蓄積される硝酸塩が食の安全の観点から問題になっている。異なるゆで加熱条件下での、ニンジンからゆで水中への硝酸の溶出率についても検討を試みた。

(3) ハンバーグステーキの焼成条件：もう一つの食品衛生学的視点から、食中毒の原因となる微生物汚染に対応できる加熱条件について、乾式加熱法の「焼く」について、やはりエネルギー負荷低減策とのバランスで最適条件を探し、エネルギー学的、調理科学的、食品衛生学的視点からの評価を試みることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 根菜類(ニンジン)のゆで加熱実験：よりエネルギー効率のよい加熱条件を明らかにするために以下の方法で実験を行った。

加熱装置としてガスコンロとIHヒーターを用いた。ガス消費量は乾式ガスメーターで、消費電力量はエネルギーモータで測定した。一定サイズのニンジン試料を鍋に入れ、水を一定量加えて蓋をして加熱した。水温はK熱電対で測定した。沸騰後、経時的にニンジン試料を取り出して、物性測定または官能評価に供した。物性測定は卓上型物性測定器に円筒形プランジャーを用い、ニンジン試料の内輪の中心および外輪の4箇所を破断測定した。一定の火力で、ゆで時間を変え、ゆであがりの硬さを官能評価し、適切な軟らかさのゆでニンジンの破断荷重(硬さ)の範囲を求めた。適切な軟らかさに至る加熱時間を、熱源や火力の条件を変えて調べた。

これらの結果からエネルギー消費量とCO₂排出量を求めるには、以下の換算係数を用い

て、ガス・電力消費量を各消費エネルギー量 (MJ) と CO₂ 排出量 (kg) に換算した。

- ・消費エネルギー量 (都市ガス): 45MJ/m³ (大阪ガスによる値)
- ・消費エネルギー量 (電力): 9.76MJ/kWh (発電の際や送電線によるロスを考慮した一次換算による値)
- ・CO₂ 排出係数 (大阪ガス): 2.29 kg-CO₂/m³
- ・CO₂ 排出係数 (関西電力): 0.522 kg-CO₂/kWh (2013年)

最終的に、各実験において、エネルギー消費量と CO₂ 排出量を比較した。

また、ゆでニンジン中の硝酸イオン (NO₃⁻) 残存率と火力の関係性を調べた。NO₃⁻ の定量分析実験は逆相系 ODS カラムを用いた高速液体クロマトグラフィー (HPLC) によった。

(2) ハンバーグステーキの焼成実験：

ハンバーグ焼成については、微生物汚染対策の観点から多くの研究報告が蓄積されている^{2,3)}。それらの成果を基に、ハンバーグ生地内の最低温度点が「75℃, 1分」を保つことを必須とした上で、熱源およびフライパンの材質を変えてエネルギー効率の良いハンバーグ焼成条件を調べた。

熱源 [1] はガスコンロ/IH キッキングヒーター、フライパン [2] は鉄製/フッ素加工を施したものを用意し、[1] と [2] を組み合わせて 4 種類の条件で蓋をして焼成を行った。焼成中の試料変形により試料内部の最低温度点が移動する^{2,3)}ため、K 熱電対は試料中央の底面から異なる高さに設置し、生地内の温度を測定、記録した。各実験において、エネルギー消費量と CO₂ 排出量を求め、比較した。

4. 研究成果

(1) エネルギー効率と硝酸イオン摂取量低減を考慮した根菜類の加熱条件の検討 ニンジンのゆで加熱を中心に：

ガスによる最適加熱条件の検討

ガス圧力を一定に設定してゆでたところ、かなり強火に比べて極めて弱火の条件下でゆでると総加熱時間は約 2 倍になった。しかし、総エネルギー消費量は約 40% 削減できた。沸騰までは強火、沸騰後は 4 段階の火力でゆでたところ、沸騰後の火力が小さいほどゆで時間が長くなったが、総エネルギー消費量は最大約 1/2 に減少した。

IH ヒーターによる最適加熱条件の検討

IH ヒーターでは、見た目の強火に比べて弱火の一定条件下でゆでると、総加熱時間は 2 倍近くになったが、総エネルギー消費量は 34% 削減できた。次に、沸騰までは強火で、沸騰後は弱火からごく弱火までの 3 段階でゆでたところ、沸騰後のゆで時間に最長約 7 分間の差があった。それにも関わらず、総エネルギー消費量に大きな差は見られなかった。したがって、時間短縮の観点を加味すれば、沸騰までは強火で、沸騰後は弱火に変え

るゆで条件がエネルギー効率の観点からも最適であることが明らかになった。

火力によるゆでニンジン中の NO₃⁻ 残存率の比較

ガスを用いて、強火の一定条件と、沸騰までやや強火で、沸騰後は弱火の条件で、それぞれ 3 回ずつ、ニンジンのゆで加熱実験を行ったところ、両条件とも 2/3 以上の NO₃⁻ がニンジン中に残存した (表参照)。後者の火力を変える加熱方法が前者より、ニンジンへの残存率がわずかに低かったが、両者の数値間に有意差は見られなかった。少なくとも本実験で設定した 2 種類の火力条件の違いでは、ニンジンからの NO₃⁻ 溶出率にほとんど差がない結果となった。

表 ゆで加熱後のニンジン中の硝酸イオン量

		ゆで汁 (mg)	ゆでニンジン (mg)	合計 (mg)	溶出率 (%)	残存率 (%)
2.0kPa	一回目	28.5	86.4	114.9	24.8	75.2
	二回目	25.4	75.8	101.1	25.1	74.9
	三回目	31.0	82.3	113.3	27.4	72.6
	平均値	28.3	81.5	109.8	25.7	74.3
	標準偏差 (SD)	2.84	5.37	7.53	1.42	1.42
1.0 0.1kPa	一回目	26.5	50.0	76.4	34.6	65.4
	二回目	33.7	61.1	94.8	35.5	64.5
	三回目	25.5	67.7	93.3	27.4	72.6
	平均値	28.6	59.6	88.2	32.5	67.5
	標準偏差 (SD)	4.47	8.99	10.21	4.48	4.48

検定、溶出率及び残存率の項目において有意差なし

まとめ

最もエネルギー効率が高いニンジンゆで加熱条件は、ガスの場合、沸騰までを見た目のやや強火、沸騰後を見た目の弱火にしたときであった。IH の場合も、沸騰までをやや強火、沸騰後を弱火に変えてゆでたときが最適であった。これらはいずれも数値的に明らかにすることができた。

ニンジンに含まれる NO₃⁻ の動態を見ると、強火でゆで続けても、やや強火から弱火に変えても、ゆでニンジンへの NO₃⁻ の残存率に大きな違いはなかった (表参照)。ゆえに、エネルギー効率に食の安全の観点を加味しても、根菜類のゆで加熱においては、沸騰までを見た目のやや強火、沸騰後を見た目の弱火に転換することが最適加熱条件だと言える。

ゆで加熱に調味の段階を加えた発展型が煮る加熱である。煮物や煮込み料理においても、根菜類を軟化させるまでのゆで加熱時間が全体のエネルギー消費量と CO₂ 排出量に大きな影響を与える。したがって、本研究で得られたデータは、煮物や煮込み料理における省エネルギーと低炭素化にも適用できる。例えば、ガス加熱により、4 人分のカレーまたはシチューを市販のルーを用いて、使用法に準じて調製する際に、ニンジンが軟化するまで、見た目の強火で加熱し続けた場合と、沸騰するまでは見た目の強火で、沸騰後は弱火で加熱した場合とでは、料理が完成するまでのエネルギー消費量に 1.4 倍の差があった。

これを仮に1週間に1回、神戸市の人口150万人に相当する人たちが1年間続けた場合、沸騰後の火力を弱火にすることで、年間 1.56×10^4 GJのエネルギー消費量が削減可能という試算結果が得られた。

(2) エネルギー効率と食品衛生を考慮したハンバーグステーキの焼成条件：

腸管出血性大腸菌0-157などの汚染を防ぐため、ハンバーグ生地内の最低温度点が「75℃, 1分」を保つことを焼成時の必須条件とした。本実験条件では、フライパンの材質が鉄製のものはフッ素加工のものに比べ、消費ガスまたは消費電力量が少なく、ガスコンロはIHヒーターに比べ消費エネルギー量が少なかった。また、鉄製フライパンは表面が焦げやすかったためさらに弱火で加熱を行ったところ、より消費エネルギー量を抑制することが可能であった。今回の実験条件では、フライパンに蓋をして、弱火で長時間加熱した方が消費エネルギー量は少なかった。

以上、日常的な調理の中で頻繁に行われる根菜類のゆで加熱と挽肉を用いたハンバーグ焼成に関して、ガスとIHヒーターの2種類の熱源を用いて、様々な加熱条件を検討し、「省エネルギー・低炭素化」と「食の安全」の双方を満たす最適加熱条件を定量的に明らかにすることができた。これらの成果を日常の調理や食品加工に反映させることで、厨房からの環境負荷低減に寄与できるものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 津田淑江, 堂園寛子, 大家千恵子: モデルメニューを用いた日本人の食事によるライフサイクルCO₂排出量, 日本調理科学会誌, 41, 289-296 (2008)
- 2) 日本調理科学会 近畿支部 焼く分科会, 『ハンバーグステーキの焼成方法 75℃以上で1分間焼成するには』文教出版 (2012)
- 3) 石渡奈緒美ほか, 殺菌価を考慮したフライパンによるハンバーグ焼成時の最適調理(第2報), 日本調理科学会誌, 45(4), 275-284 (2012)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 5件)

太田 七瀬、白杉(片岡) 直子、本多 佐知子、堀江 孝史、大村 直人、エネルギー効率と食品衛生を考慮したハンバーグステーキの焼成条件、日本調理科学会近畿支部第41回研究発表会、2014.12.

13、京都華頂大学(京都府)

孫 潔慧、白杉(片岡) 直子、本多 佐知子、堀江 孝史、大村 直人、エネルギー効率を考慮したニンジンの最適ゆで加熱条件、日本調理科学会近畿支部第41回研究発表会、2014.12.13、京都華頂大学(京都府)

太田 七瀬、白杉(片岡) 直子、本多 佐知子、堀江 孝史、丸山 達生、大村 直人、省エネルギーと食品衛生を考慮したハンバーグ焼成条件の検討、日本調理科学会平成26年度大会、2014.8.30、県立広島大学(広島県)

孫 潔慧、白杉(片岡) 直子、本多 佐知子、堀江 孝史、丸山 達生、大村 直人、低炭素化を考慮した根菜類の最適加熱条件の検討 - ニンジンの茹で加熱を中心に -、日本調理科学会平成26年度大会、2014.8.29、県立広島大学(広島県)

村嶋 祐誠、山根 有友奈、武田 志奈乃、白杉(片岡) 直子、本多 佐知子、堀江 孝史、丸山 達生、大村 直人、ゆで卵を例とした調理加熱法の違いによる省エネ・低炭素化の検討、日本調理科学会平成25年度大会、2013.8.24、奈良女子大学(奈良県)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織
(1)研究代表者

白杉 直子 (SHIRASUGI, Naoko)
神戸大学・大学院人間発達環境学研究科・
教授
研究者番号： 8 0 2 4 3 2 9 4

(2)研究分担者

大村 直人 (OHMURA, Naoto)
神戸大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号： 5 0 2 2 3 9 7 4

本多 佐知子 (HONDA, Schiko)
神戸山手短期大学・その他部局等・准教授
研究者番号： 6 0 5 1 4 9 1 6

(3)連携研究者

なし

以上