

報 文

水中短波帯加熱によるポテトサラダの殺菌

植村 邦彦*

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 食品研究部門
〒 305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-12

**Inactivation of *Escherichia coli* in potato salad
by Radio Frequency heating in water**

Kunihiko Uemura*

Food Research Institute, NARO
2-1-12 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642, Japan

Abstract

The outbreak of food poisoning in 2017 was caused by *Escherichia coli* O157 in potato salad. To inactivate *Escherichia coli* in potato salad, we deliberated that Radio Frequency (RF) heating in water applied it. The RF heating achieved 5 log reduction of *E.coli* in potato salad at 80°C for 90s, which is time of 1/10 conventional heating. Sliced cucumber in potato salad maintained a breaking strength and color nearly to that of raw cucumber. Our results showed that RF heating process improved the safety of packed potato salad with raw vegetables.

Key words: Potato salad, *Escherichia coli*, inactivation, Radio Frequency Heating

諸言

平成 29 年に汚染されたポテトサラダが原因と考えられる病原性大腸菌 O157 の食中毒事故が発生し、大きな社会問題となった。一般に、ポテトサラダにはキュウリなどの生野菜が和えられるため、最終製品を加熱することがない。したがって、混入した大腸菌が、最終製品に残存する可能性を排除することができない。

そこで、本研究では、キュウリ等の生野菜が和えられたポテトサラダを真空包装したものに短波帯交流電界を印加して、短時間加熱することにより、キュウリなどの生野菜の食感を変えずに、ポテトサラダに添加した大腸菌を殺菌する加工方法について検討した。

短波帯 (RF) とは 3 ~ 30MHz の周波数で、300kHz 以下の周波数を用いるジュール加熱と、300MHz ~ 3GHz の周波数帯を用いるマイクロ波加熱の間の周波数帯の交流のことを称する。ジュール加熱はオーミッ

ク加熱とも呼ばれ、一對の電極間に食品材料を密着させて食品材料に流れる電流により加熱するもので、魚肉すり身、パン生地、各種ソース、豆腐などの加熱調理に利用されている^{1),2)}。また、ジュール加熱の電界強度を100倍以上に高めた交流高電界処理と呼ばれる液状食品の殺菌処理が開発され、果汁の新しい殺菌技術として実用化が進められている^{3),4),5),6)}。一方、マイクロ波加熱は、家庭に普及した電子レンジで利用されているように、マグネトロンで作られたマイクロ波の電磁波をレンジの庫内に導入し、レンジ庫内に形成した定在波により、庫内の食品を非接触で加熱するものである。周波数が高くなると、電極と食品が密着していなくとも、電気エネルギーが伝わる性質をもつようになる。したがって、短波帯の交流もこの性質を有しており、電極と食品の間にプラスチックフィルムの様な絶縁膜を隔てていた場合でも、短波帯の交流エネルギーを食品に伝え、食品を加熱することが可能である。畜肉の短波帯処理については、海外で多数の報告例があり^{7),8),9),10),11),12),13),14)}、国内では包装した味噌の短波帯加熱による酵素失活が報告されているが¹⁵⁾、包装済みのポテトサラダや生野菜の短波帯処理に関して報告例は無い。

実験材料および方法

試験材料

実験に供したジャガイモ（北海道産，男爵），キュウリ（茨城県産），ニンジン（北海道産），およびマヨネーズ（キューピー）は，近くのスーパーマーケットで購入した。1 kg のジャガイモをポリエチレンラップで包み，700 W の電子レンジで10分間加熱した。ジャガイモを剥皮後（890 g），ステンレスボール内で破碎し，品温が50℃以下に下がったことを確認して，マヨネーズ（キューピー（株），キューピーマヨネーズ）125 g および大腸菌（JCM1649）の培養液10 mL を混ぜ合わせた。さらに，ジャガイモと同様に加熱したニンジンとスライスしたキュウリを加え，軽く混ぜ合わせた。作成したポテトサラダを150 g プラスチックバックに充填し，ポテトサラダの中心部に光ファイバー温度計のプロープを挿入したまま真空包装した。

従来の加熱処理

真空包装した150 g のポテトサラダの中心部に小型データロガー（MKサイエンス，）Titemp140）を封入し，60℃，65℃，70℃の各温度に設定した恒温水槽中

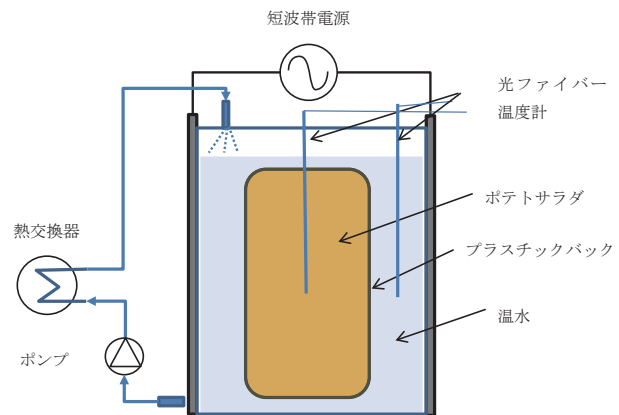


図1 水中短波帯加熱装置の模式図

にそれぞれ30分間浸して加熱した後，直ちに氷水に浸して冷却した。

短波帯間加熱処理

内法150 mm × 150 mm × 50 mm の水槽をコの字型のポリカーボネート絶縁壁面と2枚の170 mm × 200 mm × 3 mm のチタニウム製電極2枚で作成した。水槽の中央に真空包装した材料を配置し，水槽内の材料の外側に水道水を満たした（図1）。水の中心部およびポテトサラダの中心部に挿入した光ファイバー温度計（Neoptx, RFX-04-1, Canada）のプロープにより，加熱時の温度を計測した。周波数27 MHz，最大出力4kW の短波帯高周波電源（Advanced Energy, CESAR2740, USA）で生成された短波帯交流は自動整合器（NodaRF, NM5M27, Japan）を介して，水槽の両壁面の電極に給電した。短波帯交流を所定の時間（40～90 s）印加し，同時に水道水を容器の底からポンプで排出し，80℃の恒温層の熱源と熱交換器で加熱した熱水を容器の上から戻して循環した。短波帯交流を所定の時間印加後，直ちに熱水の循環を停止し，取り出した試料を氷水に浸してさらに冷却した。

残存大腸菌の菌数検査

未加熱，温浴加熱および短波帯加熱した試料から，キュウリを抜き出し，残りのポテトサラダは混練して5 g のサンプルを取り出した。5 g のサンプルと45 mL の滅菌生理食塩水をストマッカーで攪拌し，上清1 mL を菌数測定用のサンプルとした。適宜，9 mL の滅菌生理食塩水で希釈し，寒天培地（日水製薬，デゾキシ

コレート培地)と混釈し、37℃で24時間培養後、形成された大腸菌のコロニー数を計測した。

色差測定

上で取り出したキュウリの断面の色を、分光型色差系(コニカミノルタ, CM-5)でL*, a*, b*の値として測定した。

キュウリの破断強度

上で取り出したキュウリにテンシプレッサー(山電, TPU)の楔形プランジャー(刃先1 mm × 10 mm)を1.0 mm/sで貫入し、破断強度を測定した。

実験結果および考察

温浴加熱および水中短波帯加熱における温度履歴

図2に、真空包装した150 gのポテトサラダを従来加熱方法として60℃, 65℃, および70℃の温度に設定した恒温槽に浸して加熱した時の、ポテトサラダ中心部の温度変化を示す。20分(1200 s)でポテトサラダの中心温度は、恒温槽の設定温度に達し、その後10分間加熱を続けた。150 gのポテトサラダに水中短波

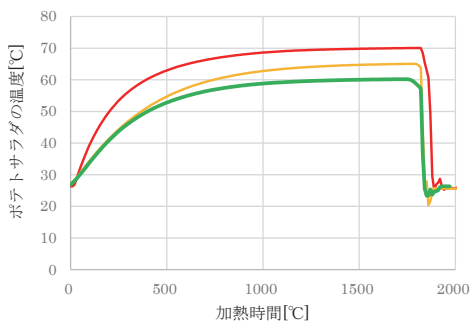


図2 温浴加熱におけるポテトサラダ中心の温度履歴

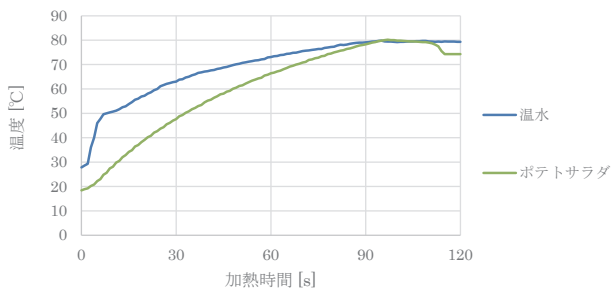


図3 水中短波帯加熱におけるポテトサラダ中心および周囲の温水の温度履歴

帯加熱を90秒間行ったときの、水温及びポテトサラダ中心温度の変化を図3に示した。図より、熱水を循環した水温は水の循環を始めた直後に50℃まで上昇し、その後、水が短波帯加熱により緩やかに温度上昇を続け、90秒で80℃に到達した。また、ポテトサラダは、短波帯加熱により直線に近い傾きで中心温度が上昇を続け、90秒で周囲の水温と同じ80℃に到達した。最終的にポテトサラダ周囲の水の温度と中心の温度が等しくなり、ポテトサラダ全体が均一な温度になった。

従来加熱および水中短波帯加熱による大腸菌の殺菌

図4に温浴加熱における恒温槽の水温が残存大腸菌数に与える影響を示した。60℃のとき5対数、65℃のとき6対数、70℃の時7対数の大腸菌の殺菌効果が得られた。また、図5に水中短波帯加熱の加熱時間が大腸菌殺菌に与える影響を示した。短波帯を60 s印加した時、ポテトサラダの中心温度は65℃に達して大腸菌を1対数減少し、80 s印加した時、中心温度は75℃に達し、大腸菌を4対数減少し、90 s印加のとき、中心

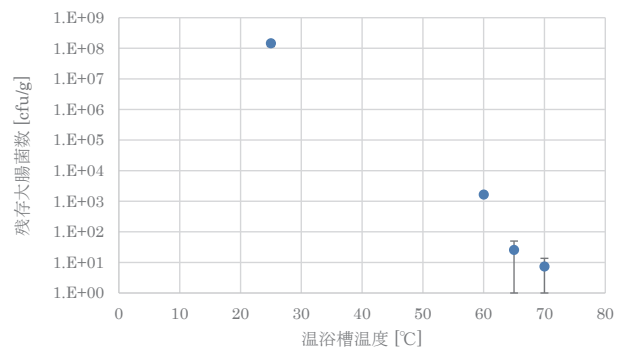


図4 温浴加熱の温度が大腸菌数に与える影響値は平均値±標準誤差で表した(n=3)。

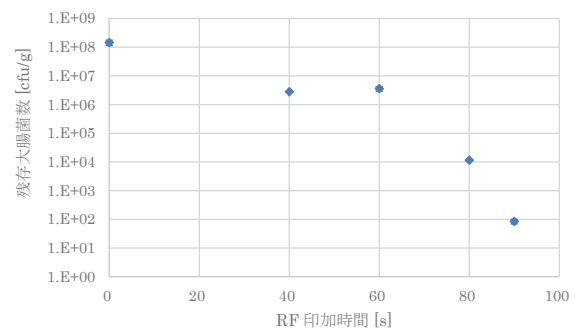


図5 水中短波帯加熱の加熱時間が大腸菌数に与える影響値は平均値±標準誤差で表した(n=3)。

温度は80℃に到達し、大腸菌を6対数減少させた。以上より、ポテトサラダを90 s間水中短波帯加熱により80℃まで加熱したものは、65℃の温浴で30分間加熱したものと大腸菌に対して同程度の殺菌効果が得られることが分かった。

従来加熱および水中短波帯加熱がキュウリの色と破断強度に与える影響

図6およびに未加熱のキュウリ、水中短波帯加熱を80s間行ったもの(RF80s)、水中短波帯加熱を90s間行ったもの(RF90s)、60℃の温浴加熱(WB60℃)、65℃の温浴加熱(WB65℃)、70℃の温浴加熱(WB70℃)の各加熱処理が、キュウリの色に与える影響を示した(図6)。短波帯加熱を80s間行った $-a^*$ 値は未加熱のものと差が認められなかったが、90s以上短波帯加熱したものと温浴加熱の60℃以上の温度帯で $-a^*$ 値が減少し、緑色が退色していることが認められた。図7に未加熱、水中短波帯加熱および温浴加熱がキュウリの破

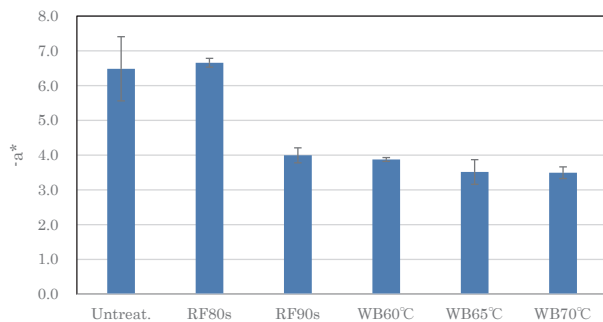


図6 水中短波帯加熱および従来加熱がキュウリの色に与える影響

値は平均値±標準誤差で表した (n=6)。

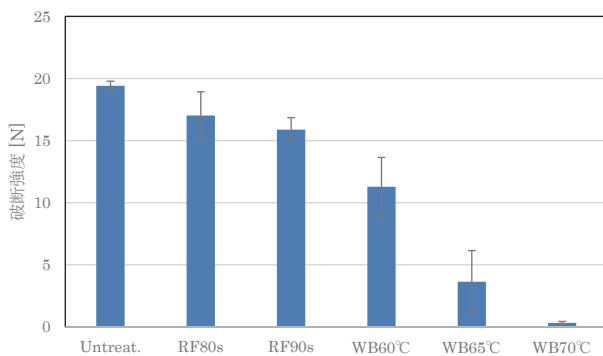


図7 水中短波帯加熱および従来加熱がキュウリの破断強度に与える影響

値は平均値±標準誤差で表した (n=4)。

断強度に与える影響を示した。90 sまでの水中短波帯加熱では、キュウリの破断強度は高い値を示していた。一方、温浴加熱では、加熱温度が高くなるほど断強が低下することが分かった。

要約

真空包装したポテトサラダ150 gを循環熱水加熱と90 s間短波帯加熱することにより、ポテトサラダの表面と中心を80℃まで均一加熱した。本短波帯加熱により、ポテトサラダに添加した大腸菌を5対数以上減少した。従来の外部加熱では、ポテトサラダに添加した生のキュウリの熱変性による変色や破断強度の低下が問題となるが、短波帯加熱ではそれらの熱変性が抑制された。以上のことから、水中短波帯加熱が、生野菜を含んだポテトサラダの安全性向上に寄与することが期待される。

参考文献

- 1) de Alwis, A. A. P. and Fryer, P. J., The use of direct resistance heating in the food Industry. *J. Food. Eng.*, 11, 3e27. (1990)
- 2) Liua, Z., Changa, S.K.C., Li, L.T. and Tatsumi, E., Effect of selective thermal denaturation of soybean proteins on soymilk viscosity and tofu's physical properties, *Food Research Int.*, 37, 8, 815-822 (2004)
- 3) Uemura, K. and Isobe, S., Developing a new apparatus for inactivating *Escherichia coli* in saline water with high electric field AC, *J. Food Eng.*, 53, , 203-207. (2002)
- 4) Uemura, K. and Isobe, S., Developing a new apparatus for inactivating *Bacillus subtilis* spore in orange juice with a high electric field AC under pressurized conditions, *J. Food Eng.*, 56, 325-329 (2003).
- 5) Uemura, K., Kobayashi, I. and Inoue, T., Inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* in orange juice by high electric field alternating current, *Food Sci. Technol. Res.*, 15, 3, 211-216 (2009)
- 6) Uemura, K., Kobayashi, I. and Inoue, T., Inactivation of *Bacillus subtilis* spores in Orange Juice and the Quality Change by High Electric Field Alternating Current. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 44, 1, 61-66 (2010)
- 7) Orsat, V., Gariépy, Y., Raghavan, G.S.V. and Lyew,

- D., Radio-frequency treatment for ready-to-eat fresh carrots, *Food Res. Int.*, 34, 527–536 (2001)
- 8) Laycock, L., Piyasena, P. and Mittal, G.S., Radio frequency cooking of ground, comminuted and muscle meat products, *Meat Science*, 65, 959–965 (2003)
- 9) Brunton, N.P., Lyng, J. G., Li, W., Cronin, D. A., Morgan, D. and McKenna B., Effect of radio frequency (RF) heating on the texture, colour and sensory properties of a comminuted pork meat product, *Food Res. Int.*, 38, 337–344 (2005)
- 10) McKenna, B.M., Lyng, J., Brunton, N. and Shirsat, N., Advances in radio frequency and ohmic heating of meats, *J. Food Eng.*, 77, 215–229 (2006)
- 11) Zhang, Lu, Lyng, J.G. and Brunton, N.P., Quality of radio frequency heated pork leg and shoulder ham, *J. Food Eng.*, 75, 275–287 (2006)
- 12) Tang, X., Lyng, J.G., Cronin D.A. and Durand C., Radio frequency heating of beef rolls from biceps femoris muscle, *Meat Science*, 72, 467–474 (2006)
- 13) Jakób, A., Bryjak, J., Wójtowicz, H., Illeová, V., Annus, J. and Polakovic, M. Inactivation kinetics of food enzymes during ohmic heating, *Food Chem.*, 123, 369–376 (2010)
- 14) Wang, J., Luechapattaporn, K., Wang. Y. and Tang, J., Radio-frequency heating of heterogeneous food – Meat lasagna, *J. Food Eng.*, 108, 183–193 (2012)
- 15) 植村邦彦, 高橋千栄子, 小林功, 短波帯加熱処理による包装済み味噌の酵素の失活, 日本食品科学工学会誌, 61, 2, 95-99 (2014)