

過熱水蒸気処理における遠赤外線加熱併用 が大豆油の品質に及ぼす影響

雨坪知音[§], 羽倉義雄, 鈴木寛一

広島大学大学院生物圏科学研究科

Combined Effect of Far Infrared Heating on the Quality of
Vegetable Oil During Superheated Steam Treatment

Tomone Amatsubo[§], Yoshio Hagura
and Kanichi Suzuki

Graduate School of Biosphere Science,
Hiroshima University, 1-4-4 Kagamiyama,
Higashihiroshima, 739-8528

Changes in the quality of soybean oil heated using superheated steam (SHS) combined with far infrared heating (FIH) were compared to those of oil heated using SHS only. Oil quality was measured with respect to acid value (AV), peroxide value (POV) and viscosity. For the SHS treatment, oil was heated at two temperatures (180°C and 230°C). For the combined treatment of SHS with FIH (SHS + FIH), oil temperature was 180°C and the surface temperature of the FIH ceramic heater was 230°C.

Changes in oil heated by SHS+FIH were similar to those in the SHS-only treatment. All quality values of SHS+FIH oil were between those of the 180°C SHS-only treatment and the 230°C SHS-only treatment. The results indicate that FIH heating combined with SHS does not significantly affect oil quality compared to SHS-only heating, although the treatment temperatures of both methods influenced oil quality.

(Received Nov. 10, 2006 ; Accepted Apr. 24, 2007)

Keywords : superheated steam, far infrared heating, oxidation, soy bean oil

キーワード : 過熱水蒸気, 遠赤外線加熱, 酸化, 大豆油

加工食品の製造工程では, 原料から製品に至るまでの過程で多くの加熱操作を行う。加熱操作は, 多量のエネルギー消費と原料の品質変化を伴うため, 製造コストや製品品質に大きく影響する重要なプロセスであり, 熱源には, 製品性状や目的に合わせてガス, マイクロ波, 遠赤外線, 水蒸気などが利用されている。最近では, 新しい熱源としてIHや過熱水蒸気を利用されるようになった。特に, 過熱水蒸気は, 無酸素性や水蒸気の凝集伝熱など, 他には無い処理特性が注目されており, 食品加工への利用に期待が高まっている。

過熱水蒸気は, 沸騰蒸発した水蒸気を, さらに沸点以上の温度に加熱した無色透明な気体状の水であり, 沸点以下の温度で, 物質表面を濡らす水蒸気の性質を有している。一方, 沸点温度以上の温度で, 湿潤物質を乾燥させたり, 焼成させたりする高温気体としての性質も兼ね備えている。また, 過熱水蒸気雰囲気は, すべて水分子で満たされているため, 無酸素状態で物質を加熱できる特長をもつ。過熱水蒸気の伝熱特性は, 多くの研究者によって報告されている^{1)~5)}が, 過熱水蒸気によって処理された食品の品質(性状)変化について述べられた報告は少なく, そのほとんどは乾燥特性に関するものである^{6)~9)}。そこで著者らは, 過熱水蒸気を用いた加熱処理における植物油の品質変化に関して検討しており, 空気中で加熱された場合と異なり, 酸化劣化は少なく, 粘度と色調は加熱を行ってもほとんど変化しないことを明らかにした¹⁰⁾。

一方で, 過熱水蒸気処理は, エネルギー効率が低く均一加熱が難しいなど, 実用化に対しては解決しなければならない問題がある。そこで著者らは, この両面の問題を解決する新しい過熱水蒸気利用技術として, 遠赤外線を併用した加熱処理方法を提案し, その伝熱特性について報告した¹¹⁾。この加熱処理法は, 遠赤外線により放射伝熱速度が促進されるため, 過熱水蒸気の温度と生成量を低くすることができる特長をもつが, 食品の品質への影響は未検討である。本研究では, 大豆油を試料に用い, 遠赤外線を併用した過熱水蒸気処理での性状変化について, 過熱水蒸気単独処理の場合と比較した。

1. 実験方法

(1) 過熱水蒸気実験装置

Fig. 1は実験装置の概略図である。実験装置は, 水蒸気発生部, 水蒸気加熱部, 処理室, 給水タンク, 凝縮器により構成されている。飽和水蒸気は, 水蒸気発生部内で電熱により発生し, 水蒸気加熱部内で電熱により再加熱され, 任意の温度の過熱水蒸気となる。過熱水蒸気の流量(流速)と温度は, 水蒸気発生部と水蒸気加熱部に設置されたヒーターによって制御される。処理室は, 一辺150mmの立方体である。処理室の上壁に, 遠赤外線加熱のためにセラミックヒーターHTE-500(122mm×60mm, 日本ヒーター(株))を設置した。

(2) 実験試料および方法

試料の大豆油は, シグマアルドリッチジャパン(株)より購入した。大豆油(50±0.1g)をガラスシャーレ(内径85.7mm)に注ぎ, 過熱水蒸気単独で180°C, 230°Cで処理した条件(以下単独法(180°C)及び(230°C)と示す。)及び過熱水蒸気180°Cに遠赤外線加熱230°Cを併用した条件(以下, 併用法と示す。)で, 30, 60, 180分間加熱した。過熱水蒸気の流速は, 1.0m/sとした。室温で冷却後, 加熱大豆油の酸価(AV), 過酸化値(POV), 粘度, 色調を測定した。AV, POV, 粘度の測定値は, 平均値±標準偏差で示し

〒739-8528 広島県東広島市鏡山1-4-4

[§] 連絡先 (Corresponding author), tomone@belle.shiga-med.ac.jp, 滋賀医科大学分子神経科学研究センター (現職)

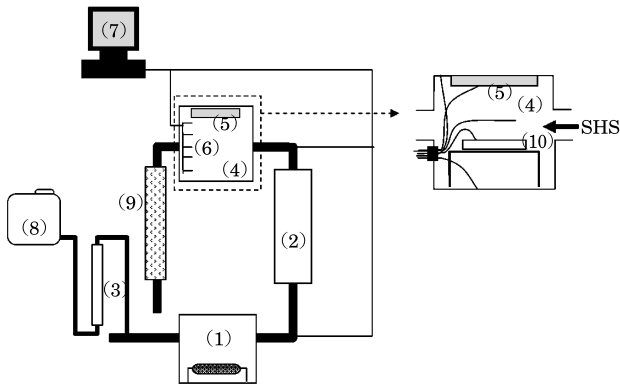


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

- (1) Boiler, (2) Super heater, (3) Flow meter of water, (4) Test chamber, (5) Ceramic heater, (6) Thermocouples, (7) Personal computer, (8) Water tank, (9) Condenser, (10) Glass pan.

た。色調の測定は 5 回繰り返し、その平均値を試料の色調とした。

(3) 測定

AV¹²⁾ と POV¹³⁾ は、基準油脂分析試験法に準じて測定した。試薬は、すべて特級のものを使用した。粘度は、30°C でオストワルト粘度計 (No. 3) を用いて、色調は、色差計 NR-3000 (日本電色工業株式会社製) を使用してそれぞれ測定した。大豆油の色調は、ハンター表色 (L*, a*, b*) で評価した。

2. 実験結果及び考察

著者らは予備実験において、単独法 (180°C, 230°C) で加熱したときの大豆油の温度は、それぞれ約 45 分、約 60 分で庫内温度に達するという結果を得た。単独法 (180°C, 230°C) および併用法の処理室内温度は、それぞれ 180°C, 230°C および 200°C であったことから、併用法における大豆油の温度履歴は、単独法 180°C と 230°C の中間値になると考えられた。

Fig. 2 は、単独法 (180°C, 230°C) 及び併用法で処理された大豆油の AV 経時変化を示している。AV は、単独法、併用法ともに時間と共に増加し、その上昇は、単独法の場合は過熱水蒸気の温度が高いほど大きかった。併用法の場合は単独法 (180°C) よりも大きく、単独法 (230°C) よりも小さかった。併用法での庫内温度は、単独法 (180°C) よりも高く、単独法 (230°C) よりも低かったため、AV の変化は加熱温度の影響を受けることが示された。この結果は、山崎¹⁵⁾ や戸井ら¹⁶⁾ の研究結果と一致する。油脂の AV が上昇する原因は、油脂の加水分解における遊離脂肪酸の生成や過酸化物の分解によって生じるカルボニル類がさらに酸化されて脂肪酸となることなどである¹⁴⁾。前者については、POV の増加は最大でも 0.8 程度であること (Fig. 3)、各処理法は無酸素雰囲気中で行われていることから、酸化分解による AV への影響は小さいと考えられた。後者

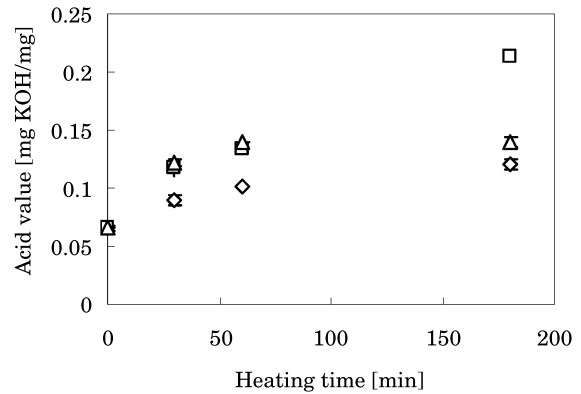


Fig. 2 Change in the acid value of soybean oil during treating in superheated steam and in that combined with far infrared heating

mean \pm S.D. n=3

- ◇ superheated steam 180°C ; □ superheated steam 230°C ;
△ superheated steam 180°C + ceramic heater 230°C.

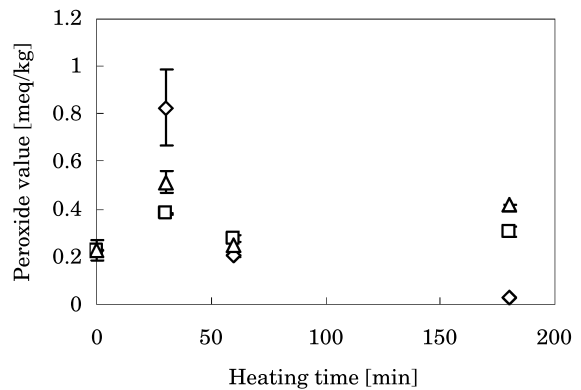


Fig. 3 Change in peroxide value of soybean oil during treating in superheated steam and in that combined with far infrared heating

mean \pm S.D. n=3

- ◇ superheated steam 180°C ; □ superheated steam 230°C ;
△ superheated steam 180°C + ceramic heater 230°C.

については、加熱初期における試料表面の凝縮水分、加熱媒体である過熱水蒸気及び大豆油中の微量水分の関与が考えられた。試料表面の凝縮水分量は、庫内温度が高いほど大きかった。従って、加水分解による AV 上昇は、凝縮水分の影響は小さく、過熱水蒸気と大豆油中の微量水分による影響が大きいものと推察された。

POV は、酸素と不飽和脂肪酸の結合によって生じた過酸化物の量を表している¹⁴⁾。加熱処理雰囲気中に酸素が存在しているときは、油中の不飽和脂肪酸と酸素は容易に結合し、過酸化物が生じる。過熱水蒸気処理では、無酸素雰囲気中で行われるため、過酸化物は生成されず、POV は上昇しないと予測された。しかし、Fig. 3 に示した各処理法による大豆油の POV の経時変化において、大豆油の POV は、単独法、併用法ともに、加熱初期に一度増加し、その

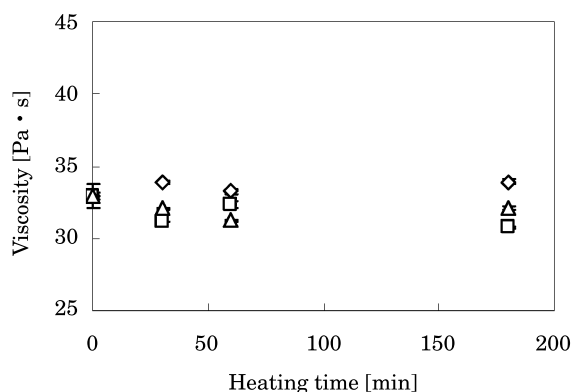


Fig. 4 Change in viscosity of soybean oil during treating in superheated steam and in that combined with far infrared heating

mean \pm S.D. n = 3

◇ superheated steam 180°C ; □ superheated steam 230°C ;
△ superheated steam 180°C + ceramic heater 230°C.

後減少した。既報¹⁰⁾においても、この様な加熱初期の過酸化物の増加は、わずかに存在する溶存酸素と不飽和脂肪酸の結合による過酸化物の生成が原因であり、その後の減少は過酸化物が熱分解されたことが原因であると報告した。加熱初期のPOVの増加量は、単独法(180°C)が最も大きく、以下、併用法、単独法(230°C)の順であった。これは、過酸化物は熱により容易に分解されるので、温度の高い処理方法では、過酸化物は急速に分解されたためと推察された。一方、POVの初期増加は最大でも0.8程度であり、各処理法による酸化劣化は小さいと考えられた。

各処理法による大豆油の粘度経時変化をFig. 4に示した。粘度の対数と加熱油中の重合物量との間には、直線に近い関係があるといわれる¹⁷⁾。一般に、空気中で加熱される大豆油の粘度は加熱時間と共に上昇する。一方、過熱水蒸気を用いた各処理法の大豆油粘度上昇は認められなかった。これは、各処理法が無酸素雰囲気中で行われたため、熱酸化重合が起こらなかったためであると推定された¹⁰⁾。各処理方法によって加熱された大豆油の粘度を比較すると、単独法(230°C)が最も高く、次いで併用法、単独法(180°C)の順であった。これらの処理油の粘度は、未加熱油よりも低かった。酸化経時変化(Fig. 2)の結果も合わせ、この結果は、加水分解や熱分解により植物油が低分子化し、遊離脂肪酸等が生成することが原因であると考えられた。

Table 1は、各処理法で180分間加熱を行った大豆油のL*, a*, b*である。加熱前後の大豆油の色調は、視覚観察ではほぼ同じであり、明度を示すL*値、赤味を示すa*値、黄色味を示すb*値とも変化は小さかった。宮城¹⁸⁾は、カロテノイド、過酸化物、アルデヒドは黄色に、酸化脂肪酸、重合物、炭化物等は赤色に着色すると述べている。POVや粘度の経時変化の結果(Fig. 3及びFig. 4)も合わせ、併用

Table 1 The color values of fresh soybean oil and the oils heated for 180 minutes

the experimental conditions	L*	a*	b*
unheated	28.62	-3.76	5.77
superheated steam 180°C	29.02	-3.91	7.23
superheated steam 230°C	30.45	-3.87	5.50
superheated steam 180°C + ceramic heater 230°C	28.85	-3.51	5.32

法も含む過熱水蒸気で処理された大豆油には、過酸化物や重合物はほとんど存在しないことが示された。

以上の結果より、過熱水蒸気処理と遠赤外線加熱の併用は、過熱水蒸気処理の熱処理効果を増加させる上、過熱水蒸気単独処理と同様に、AV、粘度は、処理温度によりわずかに変化するものの、大豆油の大きな品質変化に影響を与えなかった。

3. 要約

大豆油を試料とし、遠赤外線加熱の併用が過熱水蒸気処理の処理特性に与える影響について検討した。大豆油の加熱は、過熱水蒸気180°C、230°Cとセラミックヒーター230°Cを任意に組み合わせた加熱条件で行った。

併用法による大豆油のAVは時間と共に増加し、その上昇値は、単独法(180°C)よりも大きく、単独法(230°C)よりも小さかった。併用法で加熱された大豆油のPOVは、単独法の場合と同様に、加熱初期に一度増加した後減少した。過熱水蒸気を用いた各処理法の大豆油粘度上昇は認められず、加熱前後の色調は、視覚観察ではほぼ同じであり、明度を示すL*値、赤味を示すa*値、黄色味を示すb*値とも変化は小さかった。以上の結果より、過熱水蒸気処理への遠赤外線加熱の併用は、過熱水蒸気の単独処理と同様に、大豆油の品質への影響は少ないことを明らかにした。

文 献

- 1) L.C. Chow and J.N. Chung, Evaporation of water into a laminar stream of air and superheated steam. *Int. J. Heat Mass Transfer*, **26** (3), 373-380 (1983).
- 2) T. Yoshida and T. Hyodo, Evaporation of water in air, humid air, and superheated steam. *Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop.*, **9** (2), 207-214 (1970).
- 3) C.H. Wu, D.C. Davis and J.N. Choung, Simulated dehydration of wedge-shaped specimens in turbulent flow of superheated steam and air. *Drying technology*, **7** (4), 761-782 (1989).
- 4) H. Shibata, J. Mada and H. Shinohara, Drying mechanism of sintered spheres of glass beads in superheated steam. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **27**, 2353-2362 (1988).
- 5) 野呂奉弘, 西村伸也, 柏木孝夫, 過熱水蒸気中への水の蒸発特性(第1報, ホログラフィー実時間干渉法を用いた蒸発液面における熱伝達特性), 日本機械学会論文集B編, **55** (520), 3746-3752 (1989).
- 6) C. Taechapairoj, I. Dhuchakallaya, S. Soponronnarit, S. Wetchacama and S. Prachayawarakorn, Superheated

- steam fluidized bed paddy drying. *J. Food Eng.*, **58**, 67-73 (2003).
- 7) H. Iyota, N. Nishimura, T. Onuma and T. Nomura, Drying of sliced raw potatoes in superheated steam and hot air. *Drying technology*, **19** (7), 1411-1424 (2001).
 - 8) Y.B. Li, J. Seyed-Yagoobi and R. Yamsaengsung, Superheated steam impingement drying of tortilla chips. *Drying technology*, **17** (1 & 2), 191-213 (1993).
 - 9) S. Prachayawarakorn, S. Soponronnarit, S. wetchacama and D. Jaisut, Desorption isotherms and drying characteristics of shrimp in superheated steam and hot air. *Drying technology*, **20** (3), 669-684 (2002).
 - 10) T. Amatsubo, Y. Hagura and K. Suzuki, The effect of superheated steam treatment on the quality of vegetable oils. *Food Sci. Technol. Res.* (In printing)
 - 11) T. Amatsubo, Y. Hagura and K. Suzuki, Heat transfer characteristics in superheated steam combined with far infrared heating. *Food Sci. Technol. Res.*, **11** (4), 363-368 (2005).
 - 12) 「基準油脂分析試験法 2003 年版」, 日本油化学会編 (日本油化学会, 東京), p. 1-2, (2003).
 - 13) 「基準油脂分析試験法」, 日本油化学協会編 (朝倉書店, 東京), p. 171-173 (1966).
 - 14) 大藪大洋, 太田静行, 油脂の酸化の程度の測定法, *油化学*, **18** (10), 699-718 (1969).
 - 15) 山崎妙子, 炒め物における油脂の変質第 6 報加熱温度と加熱時間の影響, 広島女子大学家政学部紀要, **21**, 103-109 (1985).
 - 16) 戸井文一, 太田静行, 食用油の研究 (第一報) 食用植物油の加熱による変化について, *家政誌*, **8** (5), 197-205 (1957).
 - 17) R.P.A. Sims, Empirical viscosity relations of heated vegetable oils, *Ind. Eng. Chem.*, **47** (5), 1049-1052 (1955).
 - 18) 宮城 淳, 中嶋光敏, 鍋谷浩志, 膜分離法による使用済み食用油脂の改善効果, *日油化誌*, **49** (3), 237-244 (2000).
- (平成 18 年 11 月 10 日受付, 平成 19 年 4 月 24 日受理)
-