

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07455

研究課題名(和文) 澱粉等粉末被覆及び蛋白乳化剤の酵素処理によるナノ構造化機能性脂質粉末の作製と特質

研究課題名(英文) Development and characterization of nanostructured powder of functional lipid using starch coating s and enzymatic treatment of protein emulsifier

研究代表者

吉井 英文 (Yoshii, Hidefumi)

香川大学・農学部・教授

研究者番号：60174885

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：魚油のような乳化機能性物質噴霧乾燥粉末内の機能性物質の酸化安定性を向上させるための手法として、噴霧乾燥中に澱粉をアトマイザー近くより供給し噴霧乾燥粉末に澱粉を被覆させる手法、およびカゼインナトリウムをトランスグルタミナーゼを用いて重合化させた場合について検討した。澱粉を被覆させた乳化魚油噴霧乾燥粉末の場合、スクロースを賦形剤とした場合は、従来粉末の回収率が低かった粉末も通常の噴霧条件で粉末作製が可能であった。また、表面油率が非常に小さい粉末が作製できた。トランスグルタミナーゼ処理したカゼインナトリウムを用いた場合は、はっきりとしたカゼインの重合化効果を確認できなかった。

研究成果の概要(英文)：Emulsifying functional substance such as fish oil is encapsulated with spray drying. In the developing of improving the oxidation stability of the functional substance in spray-dried powder, two methods were investigated. One was the starch coating to spray-dried powder during spray drying. Another method was polymerization of sodium caseinate using transglutaminase to obtain stable emulsion and the inhibition of oxygen transfer to the oil droplets. By using starch coating, spray-dried powder with low amount of surface oil could be obtained. Because the surface-oil content or ratio is very important factor to obtain stale functional oil in spray-dried powder. Transglutaminase treatment of sodium caseinate could not get clear effect to the stability of functional oil in spray-dried powder.

研究分野：食品工学

キーワード：噴霧乾燥 魚油 粉末化 澱粉 マルトデキストリン 粉末構造 エマルション

1. 研究開始当初の背景

高度不飽和脂肪酸を高含有する魚油は、血中 LDL コレステロール低減効果など、優れた生理活性がみられることから、機能性食品素材として大きな注目を集めている。しかし、魚油中の EPA や DHA などの高不飽和脂肪酸の酸化速度は極めて速く、酸化によって異臭を発生するのが問題となっている。そのため、魚油を乳化後噴霧乾燥粉末化して魚油の酸化速度を抑えるためのマイクロカプセル化の研究が数多く実施されている。高度不飽和脂肪酸を高含有する魚油の粉末化に関しては、(1) 油滴サイズをナノサイズ (100-200nm) にする。(2) 魚油等を希釈するオイル(硬化ヤシ油)の融点を変える。(3) 魚油の脂質構造を変化させる。(4) 蛋白性乳化剤を重合化して高分子化する。(5) 粉末に被膜(粉末表面に粉末をコートする)を作製する等の検討がなされており、油滴、及び粉末の蛋白性乳化剤の酵素処理、粉末の澱粉等固体被膜形成による機能性食品粉末の界面移動抵抗構造の制御に関心が集まっている。

ナノエマルションの場合、油滴が殆ど見えず、均一に賦形剤中に分散していることがわかる。そのため、表面油が著しく少なくなり、初期の酸化安定性が高くなることを示した。実験的に乳化魚油噴霧乾燥粉末の魚油包括率、表面油率を実験的に調べ、油滴径、粉末径の影響並びに賦形剤マルトデキストリンの種類の影響について検討している。これらの結果をもとに、表面油が少なく、酸化安定性の高い噴霧乾燥粉末の作製手法について検討している。魚油の O/W エマルション中の油滴サイズを 100-200nm と著しく微細化し、噴霧乾燥により作製した魚油包括カプセル粉末中の魚油の酸化安定化機構について検討している。課題として、油滴がナノサイズ (100nm 程度) になることにより、油滴の比表面積が著しく増大することによる酸化速度の増大か、油滴まわりの乳化剤の相対割合の増加による物質移動抑制の効果か、物質移動と酸化速度の機構が明らかとなっていない。よって、“魚油”を安定に包括した乳化魚油粉末作製手法検討、及び界面移動抵抗制御された粉末構造の構築を目的に、

1) 澱粉等粉末被膜形成手法の検討と魚油の酸化安定性に及ぼす影響、

2) 蛋白性乳化剤カゼインナトリウムのトランスグルタミナーゼ処理による魚油の安定化を主目的とした研究を企図した。

2. 研究の目的

(1) 澱粉等をコートした粉末作製手法の検討とその魚油の酸化安定性に及ぼす影響

噴霧乾燥中に噴霧乾燥機内に澱粉等の固体粉末を供給した場合、液滴が完全に乾燥していない状況で澱粉等固体粉末と衝突し、噴霧乾燥粉末表面に澱粉を固体粉末として被覆することができる。澱粉やラクトース等の

固体粉末を被覆した場合の噴霧乾燥粉末の表面油の割合、表面油の酸化挙動に及ぼす影響について検討する。噴霧乾燥粉末に固体粉末を被覆するためには、噴霧乾燥中の液滴の硬さ(粉末のガラス転移温度と相関すると考えられる)、噴霧液滴の流動特性、被覆澱粉、糖の特質が、固体粉末被覆率を決める推察され、賦形剤、入口空気温度、固形分濃度、乾燥速度との関係を把握するとともに、粉末への澱粉、糖の被覆度(澱粉等の脱着速度)を明らかにする。

(2) 蛋白性乳化剤カゼインナトリウムのトランスグルタミナーゼ(TG)処理による魚油の安定化

乳化剤カゼインナトリウムを TG 処理することにより重合化し、油滴まわりの物質移動抵抗を大きくして、魚油の酸化を抑制する。そのための重合化法として、予め重合化カゼインナトリウムを作製し乳化魚油粉末を作製するか、ナノエマルションの状態での TG 処理を行い油滴を安定化後、加熱処理、噴霧乾燥を実施し、魚油の酸化抑制するための最適な乳化剤蛋白質層を作製する手法について検討し、油滴まわりの蛋白質層の移動抵抗について検討する。

3. 研究の方法

(1) 実験材料

ドコサヘキサエン酸を 27wt% 含有する魚油は、マルハニチロの製品を用いた。乳化剤として用いる加水分解ホエー蛋白質、エマルアップは、森永乳業より購入した。ビタミン E (90% γ -トコフェロール) は、三菱化学フーズより、マルトデキストリ(MD)(デキストロース当量 DE=25) は、松谷化学工業(株)(パンイデックス#3)より、砂糖は、大日本明治製糖株式会社より入手した。他の試薬は、和光純薬工業(株)より入手した。

(2) 噴霧乾燥粉末の作製

魚油を芯物質として使用した。乳化剤として加水分解ホエータンパク質(4wt%)を使用し、壁材料としてスクロースまたは MD(DE=25)(23wt%)を使用した。それらを蒸留水で可溶化した。魚油を担体溶液に添加した。賦形剤溶液中の溶解固体の全濃度は、湿潤基準で 60wt% であった。魚油と賦液剤溶液との混合物を Polytron ホモジナイザー (PT-6100; Kinematica GA) を用いて 3 分間ホモジナイズした後、高圧ホモジナイザー (Staburst Mini) 100MPa で乳化した。このエマルションを、遠心噴霧器を備えた大川原-L8 噴霧乾燥機で噴霧乾燥した。噴霧乾燥条件は、空気入口温度 140 \square 、空気出口温度 82~96 \square 、アトマイザー回転速度 10,000 rpm、供給速度 30mL/min、空気流量 110kg/h 空、50 \square の駆供給液温度、および 20 または 90g/分のトウモロコシ澱粉の供給速度で行った。トウモロコシ澱粉の供給管直径は 20mm であった。この

供給口管の水平レベルは回転噴霧器と同じであり、供給口と回転噴霧器の距離は 7cm であった。トウモロコシデンプンは、手作りの粉末フィーダーを用いて供給した。

(3) 重合化カゼインナトリウムによる乳化スクワレンの噴霧乾燥粉末の作製と粉末特性

乳化スクワレン噴霧乾燥粉末の作製には、スクワレン(包括油)、カゼインナトリウム(SC, 乳化剤)、マルトデキストリン(DE=19, MD, 賦形剤)、レシチン、TG 製剤を用いた。噴霧乾燥粉末の組成が、スクワレン : SC : MD : レシチン=40 : 3 : 56.6 : 0.4 の重量比となる固形分濃度 40wt%の溶液を作製した。具体的には、SC に予め TG 製剤を加え、SC の重合化反応させた溶液にスクワレン、レシチン、MD を加えた後ポリトロンホモジナイザーで乳化(一次乳化)を行い、その溶液を高圧乳化機により、20MPa で 4 分間又は 100MPa で 2cycle 乳化操作(二次乳化)した溶液(TG+前処理 20MPa,100MPa)を噴霧乾燥機供給液とした。また、スクワレン、SC、MD、レシチンを加え一次乳化、二次乳化後、TG 製剤を加え、エマルション溶液中で重合化反応させた溶液(TG+後処理 20MPa,100MPa)を噴霧乾燥機供給液とした。さらに、予め失活処理を行った TG 製剤を二次乳化まで行った溶液に加えた溶液(TG-20MPa,100MPa)を噴霧乾燥機供給液とした。これらの溶液を噴霧乾燥機(L-8 型、大川原化工機(株)、横浜)を用いて粉末化した。噴霧乾燥条件は、入口温度 140℃、溶液流量 25ml/min、アトマイザー回転数 30,000rpm、空気流量 110kg/h で行った。作製した粉末の分析として、再構成油滴径測定、粉末径測定、含水率測定、粉末形態観察、SDS-PAGE を用いた SC 重合度観察、GC-FID を用いた粉末含油量測定、表面油量測定を行った。

4. 研究成果

(1) 澱粉被覆乳化魚油粉末の安定性について

スクロースを賦形剤として用いた場合は、通常噴霧乾燥粉末の収率が極端に悪くなるにだが、澱粉を被覆することで乳化魚油噴霧乾燥粉末を作製できた。また、澱粉を噴霧乾燥粉末に被覆すると流動性の良い粉末を得られた。この作製粉末の見掛けの酸化速度定数(105℃)を、ランシマット法で求めた電気伝導度変化の誘導時間の逆数より求めた。この見掛けの酸化速度定数は、主賦形剤をスクロースにした粉末は、MD に比較して小さかった。粉平均径を変化させ見掛けの酸化速度定数を測定した結果、MD の場合は球径に依存せず、スクロースの場合は球径が小さいほど見掛けの酸化速度定数は大きかった。この見掛けの酸化速度定数と表面油量の関係を

プロットすると、表面油量に対して飽和型の相関が得られた。これより、スクロースは拡散律速のような挙動を示すが、表面油量が見掛けの酸化速度定数を決定していると推察された。

(2) 重合化カゼイン Na による乳化スクワレンの噴霧乾燥粉末の作製と粉末特性

電気泳動により、乳化前に SC をトランスグルタミナーゼ処理行った SC を用いて乳化したスクワレンの作製粉末(20MPa,100MPa)、トランスグルタミナーゼを乳化後添加して作製した粉末(20MPa)中の重合化 SC を確認できたが、高圧乳化後トランスグルタミナーゼを添加し作製した粉末(100MPa)中では確認できなかった。粉末の表面構造は、どの粉末も変化は見られなかった。粉末中の含油量は、20MPa 粉末で約 43%、100MPa 粉末で約 39%、表面油量は、20MPa 粉末で 5%~7%、100MPa 粉末では約 1%だった。105℃粉末酸化実験では、TG 処理、無処理に関わらず同じ挙動し、平均油滴径(乳化処理法)に依存した。スクワレン残存率は 14 日目で 20MPa 粉末の場合 35~45%、100MPa 粉末の場合 60~75%となった。これは、再構成油滴径が酸化伝搬速度に大きく影響しているためと推

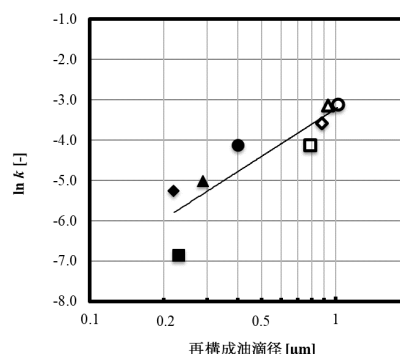


図1 スクワレンの分解速度定数と粉末中の平均油滴径の関係

黒塗りのキイは乳化圧力 100MPa, 白塗りのキイは乳化圧力 20MPa で行った。乳化剤として 3 wt% SC:▲;△, 3 wt% TG 処理 SC:●;○, 5 wt% SC ; , 5 wt% TG 処理 SC :■;□.

察される。図 1 に粉末中の平均油滴径とスクワレンの分解速度定数の関係を示す。

(3) 乳化魚油噴霧乾燥粉末の表面油率に及ぼす MD の DE 値の影響

乳化剤(カゼインナトリウム)3wt%と賦形剤 MD (DE=8, 11, 19, 25, 40) 23wt%を蒸留水で溶解し、魚油を加え、固形分濃度が40wt%の溶液に調製した。CLSMで撮影した写真から噴霧乾燥粉末の空孔存在率を求め、SEMでの粉末の切断面写真より、空孔径(dv)・粉末径(dp)を測定した。図2に、異なるDEを用いて作製した魚油粉末の切断面写真を示す。作製した噴霧乾燥粉末の切断面の電顕写真を取り、空孔の長径、短径を測定するとともに、賦形剤を緑色になるように染色した噴霧乾燥粉末を共焦点レーザー顕微鏡で撮影し、空孔径割合、その平均径を求めた。

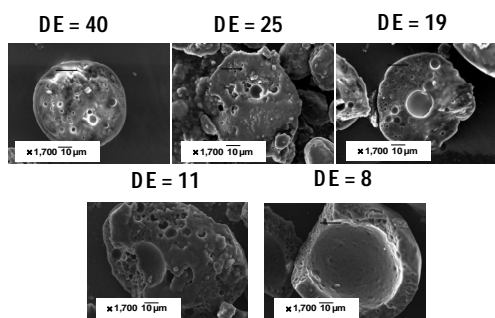


図2 DEの異なるMDを賦形剤として用いた乳油魚油噴霧乾燥粉末の切断面電子顕微鏡写真(1700倍)

図3に、空孔存在率が表面油率に与える影響を検討すると、空孔存在率が高い粉末ほど表面油率が高くなる傾向にあった。空孔存在率が64%と高いDE8のMDを使用した粉末の表面油率は24%と高く、空孔存在率が25%

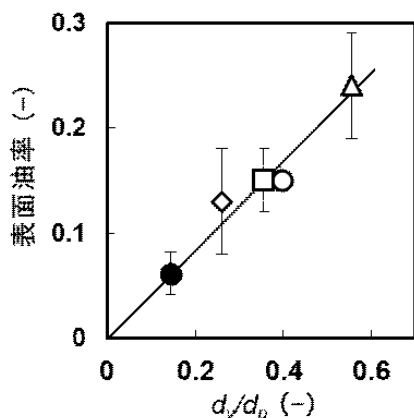


図3 表面油率と空孔径 d_v と粉末径 d_p の比の相関関係
 Δ , DE=8; \circ , DE=11; \square , DE=19; \diamond , DE=25; \bullet , DE=40.

と低いDE40のMDを使用した粉末の場合は表面油率は6.2%と低い値を示した。また、 dv/dp が表面油率に与える影響を検討すると、 dv/dp が高い粉末ほど表面油率が高くなる傾向にあった。表面油率(s)と空孔径(dv)と粉末径(dp)の比は、 $s=0.43(dv/dp)$ と相関することができた。また、空孔存在率と dv/dp の比も相関することができた。これより、賦形剤MDのDE値の違いによる表面油率の変化は、空孔存在率・空孔径等の粉末構造に依るものと推察した。

(4) まとめ

乳油魚油噴霧乾燥粉末のように、粉末中に包括した機能性物質を含む油滴をもつ粉末内の機能性物質の安定性は、粉末構造に大きく依存することが明らかとなった。賦形剤、乳化剤の特質を把握した上で粉末設計を行う必要がある。課題として、油滴まわりの構造と乳化剤の関係、および機能性物質の酸化安定性と油滴サイズの関係に及ぼす抗酸化剤の影響について検討する必要がある。

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10件)

Ghani Abd., Matsumura K., Yamauchi K., Shiga H., Adachi S., Yoshii H. Effect of storage temperature and oil-droplet diameter on squalene-oil stability in spray-dried powder. J. Chem. Eng. Jpn., 2017, 50, 799-806. 査読あり

Ghani Abd., Matsumura K., Yamauchi K., Shiga H., Adachi S., Yoshii H. Surface oil measurement for spray-dried fish oil microcapsules using Nile red and confocal laser scanning microscopy. Food Sci. Technol. Res., 2017, 23, 503-509. 査読あり

Ghani Abd., Matsumura K., Yamauchi K., Shiga H., Adachi S., Yoshii H. Effect of different dextrose equivalents of maltodextrin on oxidation stability in encapsulated fish oil by spray drying. Biosci Biotechnol Biochem., 2017, 705-711. 査読あり

Shiga H., Neoh T.L., Ninomiya A., Adachi S., Pasten I., Adachi S., Yoshii H. Effect of oil droplet size on the oxidative stability of spray-dried flaxseed oil powders. Biosci Biotechnol Biochem. 2017, 698-704. 査読あり

Phunpee S., Ruktanonchai U. R., Yoshii H., Assabumrungrat S., Soottitantawat A. Encapsulation of lemongrass oil with cyclodextrins by spray drying and its controlled release characteristics. Biosci Biotechnol Biochem. 2017, 718-723. 査読あり

あり

Takashige S., Hermawan D.W., Shiga H., Adachi S., Yoshii H. Behavior of flavor release from emulsified d-limonene in spray-dried powders with various wall materials. Jpn. J. Food Eng., 2017, 18, 23-58. 査読あり

Sultana A., Miyamoto A., Hy LQ., Tanaka Y., Fushimi Y., Yoshii H. Microencapsulation of flavors by spray drying using *Saccharomyces cerevisiae*. J. Food Eng., 2017, 199, 36-41. 査読あり

Nguyen, V. A. T., Yoshii H., Encapsulation of allyl sulfide with middle-chain triglyceride oil and cyclodextrin by spray drying. Jpn. J. Food Eng., 2017, 18, 35-42. 査読あり

Ghani Abd., Matsumura K., Yamauchi K., Shiga H., Adachi S., Yoshii H. Effects of oil-droplet diameter on the stability of squalene oil in spray-dried powder. Drying Technology, 2016, 34, 1726-1734. 査読あり

Matsuura, T., Ogawa, A., Tomabechei, M., Matsushita, R., Gohtani, S., Neoh, T.L., Yoshii, H. Effect of dextrose equivalent of maltodextrin on the stability of emulsified coconut-oil in spray-dried powder. J Food Eng., 2015, 163, 183-190. 査読あり

〔学会発表〕(計 23 件)

S. Takashige, S., D.A. Hermawan, H. Shiga, S. Adachi, H. Yoshii. Effect of starch coating of d-limonene release rate from emulsified d-limonene encapsulated powder by spray drying. Abstract of 6th European drying conference (EuroDrying, 2017), 167, Liege, Belgium, 19-21, June 2017.

高重 至成, 四日洋和, 安達修二, 吉井英文. 恒温定速湿度条件下による澱粉被覆フレーバー粉末からのフレーバーの徐放挙動. 日本農芸化学会 2018 年度大会要旨集, : 3B09p05, 愛知学院大学天白キャンパス

Abd Ghani, A., Matsumura, K., Shiga, H., Adachi, S., Yoshii, H. Physical stabilities of squalene oil in spray-dried powder. 日本農芸化学会 2017 年度大会 (平成 29 年度) 3A06p06, 3 月 19 日, 京都女子大学

吉井英文, 高重至成, 四日洋和, 安達修二. 乳化 d-リモネン噴霧乾燥粉末からの d-リモネン徐放速度定数に及ぼす賦形剤の影響. 日本農芸化学会 2017 年度大会 (平成 29 年度) 3A05p14, 3 月 19 日, 京都女子大学

高重至成, 四日洋和, 安達修二, 吉井英文. 乳化 d-リモネン噴霧乾燥粉末からの d-リモネン徐放挙動に及ぼす賦形剤の特性に関する検討. 化学工学会中国四国

支部大学院生大会, 2016 年 12 月, 山口大学

高重至成, 四日洋和, 安達修二, 吉井英文. 恒温恒湿条件下における澱粉被覆噴霧乾燥粉末からのフレーバー徐放挙動. 日本食品工学会日本食品工学会第 17 回 (2016 年度) 年次大会講演要旨集, 1P11, 2016 年 8 月, 東京海洋大

足立早映, 高重至成, 四日洋和, 安達修二, 吉井英文. 乳化魚油粉末の安定性(過酸化値)に及ぼす賦形剤マルトデキストリンの影響. 日本食品工学会日本食品工学会第 17 回 (2016 年度) 年次大会講演要旨集, 1P10, 2016 年 8 月, 東京海洋大

Takashige, S., Hermawan, D.A., Shiga, H., Adachi, S., Yoshii, H. Flavor release behavior from emulsified d-limonene in spray-dried powder with various wall materials. Proceeding of the 20th International Drying Symposium. P-1-16, Aug. 7-10, Gifu, Japan, 2016.

Abd Ghani, A., Matsumura, T., Yamauchi, A., Shiga, H., Adachi, S., Yoshii, H. Encapsulation of squalene oil by spray drying. Proceeding of the 20th International Drying Symposium. P-1-14, Aug. 7-10, Gifu, Japan, 2016.

Matsuura, T., Ogawa, A., Tomabechei, M., Gohtani, S., Hosotani, M., Yoshii, H. Effect of maltodextrin from different origin starch on the stability of reconstituted emulsified coconut-oil in spray-dried powder. Proceeding of the 20th International Drying Symposium. P-1-11, Aug. 7-10, Gifu, Japan, 2016.

Soottitantawat, A., Prommas, P., Ruktanonchai, U., Yoshii, H. Encapsulation of menthol in rice starch by spray drying. Proceeding of the 20th International Drying Symposium. B-6-4, Aug. 7-10, Gifu, Japan, 2016.

Adachi, S., Kikuchi, K., Yamamoto, S., Shiga, H., Yoshii, H. A statistical model for estimating the effects of oil-droplet size and oil fraction in microcapsules on the oil oxidation. Proceeding of the 20th International Drying Symposium. B-3-2, Aug. 7-10, Gifu, Japan, 2016.

Adachi, S., Shiga, H., Neoh, T.L., Adachi, S., Yoshii, H. Oxidation behavior of emulsified fish oil encapsulated with maltodextrins of different dextrose equivalents by spray drying. Proceeding of the 20th International Drying Symposium. B-3-1, Aug. 7-10, Gifu, Japan, 2016.

Asmaliza, A.G., Matsumura, K., Yamauchi, A., Shiga, H., Adachi, S., Yoshii, H. Encapsulation of squalene oil by spray drying. 日本農芸化学会 2016 年度大会、

2E034, 平成 28 年 3 月 28 日、札幌コンベンションセンター

高重至成, 四日洋和, 安達修二, 吉井英文, 乳化 d-リモネン噴霧乾燥粉末からの d-リモネン徐放挙動に及ぼす賦形剤の影響. 日本農芸化学会 2016 年度大会、3E030, 平成 28 年 3 月 29 日、札幌コンベンションセンター

足立早映, 四日洋和, 安達修二, 吉井英文, デキストロース当量が乳化魚油噴霧乾燥粉末の包括特性及び酸化安定性に及ぼす影響、化学工学会中国四国支部、関西支部合同大学院生発表会、A06, 平成 27 年 12 月 12 日、岡山大学

高重至成, 四日洋和, 吉井英文, 乳化 d-リモネン噴霧乾燥粉末からの d-リモネン徐放速度に及ぼす賦形剤の ガラス転移温度の影響 化学工学会中国四国支部、関西支部合同大学院生発表会、A06, 平成 27 年 12 月 12 日、岡山大学

高重至成, 四日洋和, 安達修二, 吉井英文, 乳化 d-リモネン噴霧乾燥粉末からの d-リモネン徐放速度に及ぼす澱粉被覆の影響、化学工学会第 47 回秋季大会、J221, 平成 27 年 9 月 10 日、北海道大学

高重至成, 四日洋和, 安達修二, 吉井英文, 澱粉で被覆した噴霧乾燥粉末からのフレーバーの徐放挙動の湿度ランプ法による測定 日本食品科学工学会第 62 回大会、3EP11, 平成 27 年 8 月 29 日、京都大学

足立早映, 四日洋和, 安達修二, 吉井英文, デキストロース当量が乳化魚油噴霧乾燥粉末の包括特性及び酸化安定性に及ぼす影響、日本食品工学会 2015 年度大会、P16, 平成 27 年 8 月 11 日、広島市立大学

21 山内惇生, Ghani Abs. A., 四日洋和, 吉井英文, 乳化剤カゼインのトランスグルタミナーゼ処理による乳化スクアレン粉末の物理化学的特質に及ぼす影響、日本食品工学会 2015 年度大会、P4, 平成 27 年 8 月 11 日、広島市立大学

22 高重至成, 四日洋和, 吉井英文, 澱粉被覆噴霧乾燥粉末からのフレーバー徐放、日本食品工学会 2015 年度大会、P3, 平成 27 年 8 月 11 日、広島市立大学

23 Ghani Abd., Iwamoto, S., Shiga, H., Neoh, T.L., Kakizaki, Y., Yamaya, Y., Ushirosako, A., Maruyama, K., Adachi, S., Yoshii, H. Stability of fish oil encapsulated in spray-dried powder coated with starch particles. The 12th International Congress on Engineering and Food, Québec, Canada, June 14-18, 2015

〔図書〕(計 2 件)

吉井英文, 足立早映, 四日洋和, 機能性食品粉末の創製 - 噴霧乾燥粉末の構造が、粉末中の魚油安定性に及ぼす影響に

ついて - 食品機械装置、2015、52、55-59.
吉井英文, 四日洋和 フレーバー(アロマ)粉末の作製とその徐放特性、香料、2015、265、21-29.

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉井 英文 (YOSHII Hidefumi)
香川大学・農学研究科・教授
研究者番号：6 0 1 7 4 8 8 5

(2)研究分担者

四日 洋和 (SHIGA Hirokazu)
京都学園大学・バイオ環境学部・講師
研究者番号：7 0 7 0 7 6 6 1