

令和 4 年 6 月 5 日現在

機関番号：21401
 研究種目：基盤研究(C) (一般)
 研究期間：2018～2021
 課題番号：18K02189
 研究課題名(和文) 近赤外スペクトルを用いたフライ食品の脂質劣化度とトランス脂肪酸の計測技術の開発

研究課題名(英文) Development of the measurement technique of lipid degradation level and trans fatty acid of deep fried foods using near infrared spectroscopy

研究代表者
 陳 介余 (Chen, Jie yu)
 秋田県立大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：20315584
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、近赤外スペクトルを用いてフライ食品内の脂質劣化度およびトランス脂肪酸含量を迅速的に測定できる技術の開発を試みたものであり、主にフライポテトの油脂劣化度と近赤外吸収スペクトルの関連性の検討を行った。その結果、フライポテトの近赤外スペクトルとポテト内の油脂劣化度との間に密接な関係が確認され、近赤外スペクトルによるポテト内の油脂劣化度とトランス脂肪酸の測定が可能であることを示した。また、フライ油の種類はフライポテトの近赤外スペクトルに影響を与えたが、各種植物油におけるフライポテト試料を用いれば、各種フライポテトに対応できる脂質劣化度の予測モデルの構築が可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
 現在、フライ食品の油脂の劣化状態を分析するには、まず食品から脂質を抽出してからその脂質をGC或いはGCMSという機器で分析する。煩雑な前処理と手間を要することだけではなく高温による脂質変化の影響もある。近赤外スペクトルによるフライ食品の脂質劣化度とトランス脂肪酸の簡便かつ迅速的な分析技術を開発することにより、従来の煩雑な前処理や手間などの長時間操作から解放されると同時に環境にも優しい。さらに研究成果をベースにしてハンディータイプの計測機器を開発すれば現場での利用も可能であり、食品の製造プロセスにおけるフライ食品の品質管理にも役に立ち、食品の安全・安心への貢献が期待される。

研究成果の概要(英文)：This study examined the relation between degree of deterioration of oils in fried potatoes and near infrared spectra of the fried potatoes in order to try development of a simple and rapid measurement technology of the deterioration degrees and trans fatty acid of oils in fried potatoes using near infrared spectroscopy. As the results, the close relation was confirmed between the near infrared spectra and deterioration degrees (total polar compounds and trans fatty acid) of oils in fried potatoes, and it was possible to use in the measurement of the deterioration degrees of oils in fried potatoes by near infrared spectroscopy. Although the kinds of frying vegetable oils affected the near infrared spectra, it was possible to make the prediction model of deterioration degrees of oils in fried potatoes by using fried potato samples fried with various vegetable oils.

研究分野：食品科学

キーワード：フライ食品 フライポテト 劣化度 総極性化合物 トランス脂肪酸 測定 近赤外分光法 スペクトル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

アメリカおよびヨーロッパにおいて、トランス脂肪酸過剰摂取と心疾患のリスク因子である血中脂質濃度(特にLDL-およびHDL-コレステロール濃度)の関連性が多くの疫学研究によって明らかにされ、食品中トランス酸量の表示義務化や摂取量勧告などの対応へと至っている。トランス脂肪酸だけではなく、加熱加工・調理によって食品中にヒトに対して他の有害な化合物が生成することがすでに報告されている。大豆油でジャガイモを揚げるときに生成した4-hydroxy-2E-nonenalは、多価不飽和脂肪酸由来の過酸化脂質が分解して生成され、異原性および細胞毒性を有することが報告されている。これまで心疾患の罹患率が高い国では、油脂の摂取量や摂取される油脂の質を中心に疾病予防や改善に対する取り組みが行われてきたが、劣化された脂質とトランス脂肪酸も摂取量に配慮すべき食事因子として認識され始めた。天ぷらなどのフライ食品を日常的に食べる日本国内でも、諸外国におけるこれらの動きを反映して、これらの問題の重大性が高く認識されるようになった。その解決のためには、フライ食品に含まれた劣化脂質(劣化されたフライ油)の状態およびトランス脂肪酸の含量の把握が不可欠である。

フライ食品に含まれた脂質の劣化度とトランス脂肪酸含量の分析は、一般的には公定法として、脂質の劣化度の場合には酸価(Acid Value)、カルボニル価(Carbonyl Value)、総極性化合物(Total Polar Compounds)などの化学的分析法を、トランス脂肪酸の場合にはGCあるいはGC-MSなどの機器分析法を用いる。しかし、食品の均質化や脂質の抽出処理など煩雑な前処理が必要であり、分析にも非常に時間を要し、トランス脂肪酸は異性体が多数存在する上に各トランス脂肪酸の含有量が少なく、分析後のデータ解析も煩雑であるため、現場でのフライ油やフライ食品のリスク評価の利用が著しく困難である。簡便かつ迅速的なフライ食品に含まれた脂質の劣化度およびトランス脂肪酸含量の分析技術の開発が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、食品の安心・安全管理のため、フライ食品に含まれた脂質の劣化度およびトランス脂肪酸含量とその近赤外吸収スペクトルとの関わりを解明する。近赤外吸収スペクトルに含んでいる脂質の劣化および有害物質の情報を抽出して、近赤外吸収スペクトルを利用したフライ食品内の脂質の劣化度およびトランス脂肪酸含量を迅速的に計測する技術の開発を目指す。

3. 研究の方法

フライポテトは、最もポピュラーのフライ食品の一つである。本研究ではまずフライポテトを研究対象として選んだ。フライポテトの形態に応じた近赤外スペクトル測定方法および測定システムを考案し、フライ食品に含まれた油脂の劣化状態とトランス脂肪酸に関わる情報を豊富に含む近赤外領域の吸収スペクトルを収集できるようにその計測システムを整備する。各種の植物食用油を用いてポテトフライ試験を行い、異なる劣化度のフライ油およびフライポテトを研究試料として収集する。フライに伴いフライ油の劣化度を分析するとともに、フライポテトの近赤外スペクトルの変化を解析し、フライ食品に含まれた油脂の劣化状態との関わりを解明を進めていく。

(1)フライポテトに含まれた脂質の品質情報を十分有する近赤外スペクトルの適切な測定方法の考案および測定システムの開発

フライ食品内部情報(劣化脂質とトランス脂肪酸)を含む近赤外スペクトルを得るため、試料セルやプローブを含む計測システムの構築は非常に重要である。各種フライ食品の形状を考慮して、反射方式や透過方式またはインタラクタンス方式を用いた様々な方法を検討し、フライ食品の形状に適したホルダを選択し、フライポテトのスペクトル測定システムの構築を行う。

(2)ポテトフライ試験およびフライ油の劣化分析

各種植物食用油を用いて、各種温度下でポテトフライ試験を行う。同時にフライに伴い劣化されたフライ油およびフライポテトをサンプルとして採集して、酸価、カルボニル価、総極性化合物量およびトランス脂肪酸含量等の劣化指標値を測定し油脂の劣化状態を分析する。

(3)フライポテトの近赤外スペクトルに与えた油脂劣化影響の解明

ポテトフライ試験から採集されたフライポテトに対し、その近赤外スペクトルおよび近赤外スペクトルの測定を行う。それぞれのスペクトルをケモメトリックスで解析して、フライ食品に含まれた劣化油脂が近赤外スペクトルに与えたアクションを解明する。具体的には各試験で採取されたフライポテト試料を用い、近赤外スペクトルの微分やMSCなど前処理を施しながら、酸価、カルボニル価およびトランス脂肪酸と近赤外吸収スペクトルの関係を

多変量回帰分析法で解析する。

(4)近赤外スペクトルによるフライポテトの油脂劣化度およびトランス脂肪酸の迅速測定技術の構築

フライポテトの油脂の劣化度と近赤外吸収スペクトル変化に対する検討結果を基づいて、近赤外吸収スペクトルを利用したフライポテト内の油脂劣化度およびトランス脂肪酸含量を迅速的に計測する技術の構築を試みると同時に計測精度の検討を行う。

4. 研究成果

(1)ポテトフライ試験およびフライ油の劣化検討

キャノーラ油をはじめ各種植物食用油を用いてポテトフライ試験を行ったところ、いずれの植物油の場合、フライ時間に伴ってフライ油の劣化度(総極性化合物量およびトランス脂肪酸含量)は Fig.1 (キャノーラ油の例) に示すように増加していることを確認できた。ただし、いずれの劣化指標値の増加割合は植物油の種類とフライ温度によって異なっていることが示された。

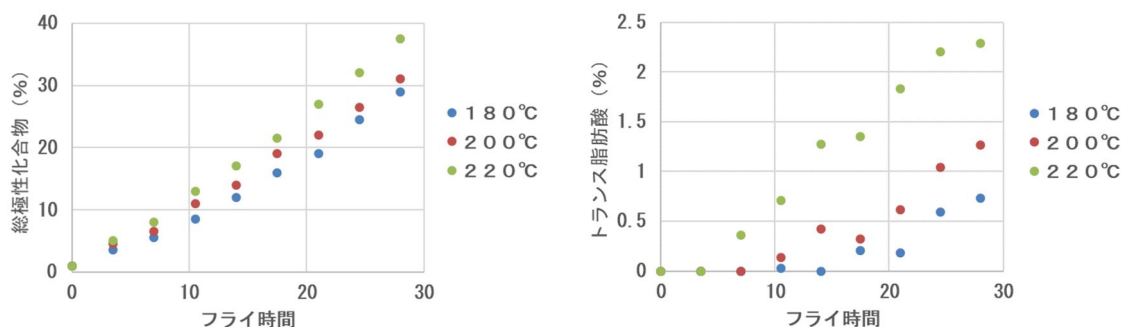


Fig.1 フライに伴うキャノーラ油の総極性化合物量およびトランス脂肪酸含量の変化

(2)フライポテトの形態に応じた近赤外スペクトル測定方法の考案

拡散反射方式、透過方式およびインタラクタンス方式を用いた場合、フライポテトの形態に適したホルダを選択して、フライポテトのスペクトルを測定した。これらのスペクトルと油脂劣化のとの関連性を多変量解析法で比較したところ、拡散反射法によって測定したスペクトルは最も安定的であり再現性もよいことから、ポテトのスペクトル測定に最も適したことが示された。これはポテト表面にはフライ油を多く含まれているので、一定の圧力の下であればポテト表面に油脂を染み出しているからである。色々な試行錯誤でニレコ社の粉体セルをポテトスペクトルの測定セルとして用いた。このセルはガラスウィンドウを採用し、分解もしやすく洗浄もしやすい。Fig.3 に示すようにこのセルとニレコの汎用近赤外測定装置 6500 を用いてフライポテトの良好な近赤外スペクトルを得た。

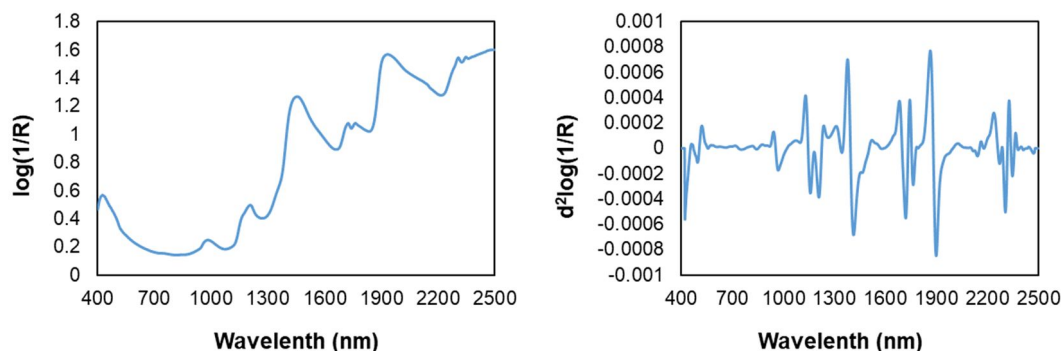


Fig. 2 フライポテト試料の近赤外スペクトル (400-2500nm)

(3)菜種油を用いたフライポテトの総極性化合物およびトランス脂肪酸と近赤外吸収スペクトルの関連性の解明

市販のキャノーラ油と秋田地域産の菜種油を用いたポテト試験において採集されたポテト試料に対し、ポテトの近赤外スペクトル(400-2500nm)とフライ油の劣化度とした総極性化合物およびトランス脂肪酸との関係を多変量解析法で調べた。短波長領域 700-1100nm、

中間波長領域 1100-1800nm、長波長領域 1800-2500nm の三つの波長領域、および近赤外全波長領域 700-2500nm の波長領域を用いて、総極性化合物とトランス脂肪酸との関連性について PLS 回帰分析を行ったところ、いずれの波長領域の場合、ポテトのスペクトルと総極性化合物量及びトランス脂肪酸との間にある程度の相関が得られた。その中で 1100-1800nm と 700-2500nm の波長領域の場合、最も高い関連性を示した。とくに Fig. 3 に示すように、1100-1800nm の波長領域の 2 次微分スペクトルを用いた場合、最も高い予測精度（総極性化合物の予測精度 SEP は 2.59% 程度であり、トランス脂肪酸の予測精度 SEP は 0.30% 程度である）が示され、同時に実用性を示す RPD 値（総極性化合物は 2.9 であり、トランス脂肪酸は 2.0 である）も比較的高く、フライポテトの総極性化合物量及びトランス脂肪酸を予測できる可能性が示唆された。また、モデルの回帰係数を調べた。トランス脂肪酸の場合ではシス脂肪酸の吸収ピーク波長 1660nm にプラスピークを、そして 1686nm-1776nm の波長領域にはいくつかのマイナスピークを示した。標準試薬のトランス脂肪酸の吸収スペクトルを照らし合わせると、フライ油のトランス脂肪酸予測モデルにはトランス脂肪酸の吸収が関与していると推測される。総極性化合物量の場合では 1195nm、1230nm、1386nm と 1746nm の波長は CH 官能基が関与し、1468nm と 1530nm の波長は NH 官能基が関与していると推測される。

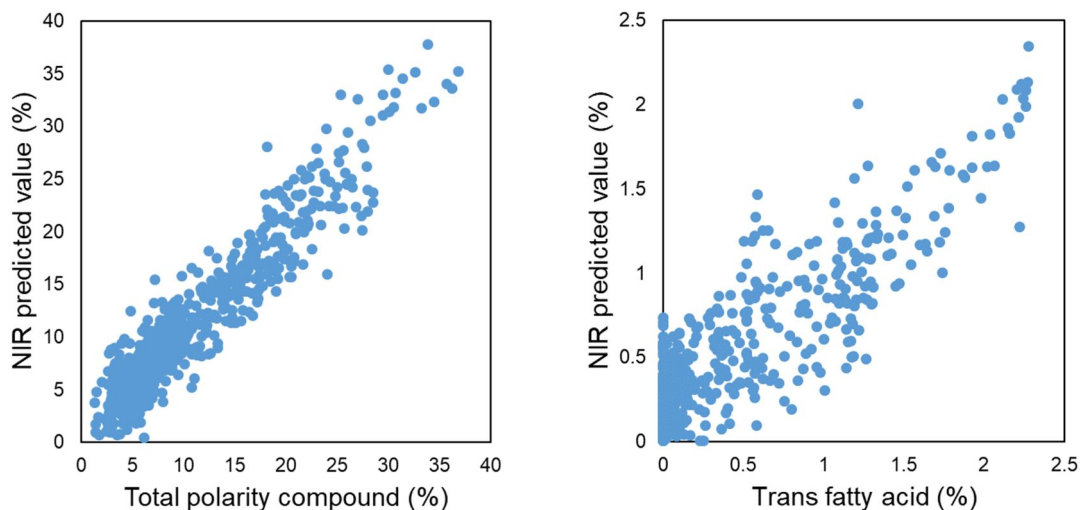


Fig. 3 総極性化合物とトランス脂肪酸の実測値と NIR 予測値の比較

(4) 各種植物油を用いたフライポテトに含まれた油脂の劣化度の予測モデルの構築および検討

各種植物食用油（十数種類）を用いてポテトフライ試験を行うとともに、劣化度の異なるフライ油とフライポテトを採集した。菜種油の場合と同様に短波長領域 700-1100nm、中間波長領域 1100-1800nm、長波長領域 1800-2500nm の三つの波長領域、および近赤外全波長領域 700-2500nm の波長領域を用いて、総極性化合物との関連性について PLS 回帰分析を行ったところ、1100-1800nm の波長領域のスペクトルを用いた場合では、最も高い予測精度 SEP（4.97%）が示された。菜種油だけを用いた場合と比較すると、予測精度が下がったが、実用性を示す RPD 値には 2.0 がある。フライポテトの劣化度（総極性化合物量）を予測できる精度のあることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 陳 介余	4. 巻 18
2. 論文標題 科学技術の発展に伴う食品の美味評価に関する技術と機器の進歩	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 美味技術学会誌	6. 最初と最後の頁 49-52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Xiaofang Liu, Shuo Wang, Eitaro Masui, Shigeru Tamogami, Jie Yu Chen, Han Zhang	4. 巻 117
2. 論文標題 Model for prediction of the carbonyl value of frying oil from the initial composition. LWT-Food Science and Technology	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 LWT-Food Science and Technology	6. 最初と最後の頁 108660
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.lwt.2019.108660	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Liu Xiaofang, Wang Shuo, Masui Eitaro, Tamogami Shigeru, Chen Jieyu, Zhang Han	4. 巻 52
2. 論文標題 Analysis of the Dynamic Decomposition of Unsaturated Fatty Acids and Tocopherols in Commercial Oils During Deep Frying	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Analytical Letters	6. 最初と最後の頁 1991～2005
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00032719.2019.1590378	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Liu Xiaofang, Hoshino Nozomi, Wang Shuo, Masui Eitaro, Chen Jieyu, Zhang Han	4. 巻 120
2. 論文標題 A Novel Evaluation Index for Predicting the Degradation Rate of Frying Oils Based on Their Fatty Acid Composition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 European Journal of Lipid Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1700528～1700528
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ejlt.201700528	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Jie Yu Chen, Han Zhang
2. 発表標題 Using near infrared spectroscopy on fried potatoes to measure the total polar compounds in frying oil
3. 学会等名 2nd Euro-Global Conference on Food Science and Technology (FAT 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Han Zhang, Jie Yu Chen
2. 発表標題 Measuring the trans-fatty acid content of various vegetable frying oils using near infrared spectroscopy
3. 学会等名 2nd Euro-Global Conference on Food Science and Technology (FAT 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eitaro Masui, Satoru Fujita, Xiaofang Liu, Jie Yu Chen and Han Zhang
2. 発表標題 Evaluation of Antioxidant Effect of Green Tea Powder Addition in Fatty Acids
3. 学会等名 World Conference on Sustainable Life Sciences (WOCOLS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jie Yu Chen and Han Zhang
2. 発表標題 Analysis of the Total Polar Compounds of Frying Oils Using ATR-FTIR Spectroscopy on Fried Potatoes
3. 学会等名 World Conference on Sustainable Life Sciences (WOCOLS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 劉 曉芳、王 碩、増井 栄太郎、田母神 繁、陳 介余、張函
2. 発表標題 市販食用油における加熱中の不飽和脂肪酸およびトコフェロールの相互作用の解析
3. 学会等名 日本食品科学工学会第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jie Yu Chen, Xiaofang Liu, Shuo Wang, Jinkui Ma and Han Zhang
2. 発表標題 Near infrared spectroscopic determination of acid value in vegetable frying oil
3. 学会等名 The Sixth Asian NIR Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Han Zhang and Jie Yu Chen
2. 発表標題 NIR determination of trans-fatty acid content in frying oils
3. 学会等名 The Sixth Asian NIR Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Han Zhang and Jie Yu Chen
2. 発表標題 Changes of Oxidation Volatile Compounds in Brown Rice during Storage Period
3. 学会等名 The 2nd International Flavor and Fragrance Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江尻 諒, 陳 介余, 張 函
2. 発表標題 長期貯蔵における米脂質ならびに匂いの変化
3. 学会等名 日本食品科学工学会第65 回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増井栄太郎, 劉曉芳, 陳 介余, 秋山美展, 張 函
2. 発表標題 混合脂肪酸の自動酸化における粉末緑茶添加の影響
3. 学会等名 日本食品科学工学会第65 回大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	張 函 (Zhang Han) (10315608)	秋田県立大学・生物資源科学部・准教授 (21401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------