

ユズ種子油に含有する微粒子除去システムの構築

システム工学群

ものづくり先端技術研究室 1190057 川村 優太

1. 緒言

馬路村農業協同組合(以下、馬路村農協)で行われているユズ種子油の製造工程は、乾燥させたユズ種子を搾油機で圧搾し、種子に含有する固体成分をろ過することにより、ユズ種子油を得る。ろ過については、検査用遠心機にて粗取り後、蒸留にて微粒子除去を行っている。この遠心機は、搾油機の15L/hの生産能力に対して処理能力が8L/hと能力が劣るため、1度ユズ種子油を冷凍保管し、搾油機での作業が終了後に解凍し、遠心機で固体成分を沈殿させている。しかし、この方式では、処理能力不足とオペレーターの作業負担が課題である。また、ユズ種子油を蒸留精製で行った場合、溝渕らの研究では、機能的損失の可能性が示唆されており⁽¹⁾、要因として高温であることが挙げられる。したがって、本研究では、低温下における搾油後のユズ種子油の微粒子除去システムの構築を目的とした。

まず、ろ過の上流工程である搾油機から得られるユズ種子油が、圧搾により加熱されてしまうことも鑑み、ろ過性能に影響するユズ種子油の温度と粘度の関係を調べた。次に、微粒子除去システムとして、粗粒子除去を行うステンレスフィルターと微粒子除去を行うポリプロピレンフィルター(以下、PPフィルター)の2段構造とし、それぞれフィルター評価を行った。

2. 粘度と温度の関係

2.1. 実験装置および方法

実験装置の概略を図1に示す。-5~100℃におけるユズ種子油の粘度を音叉振動式レオメータで測定した。振幅は、0.4mm、0.8mm、1.2mmの3種類で行い、それぞれ3回ずつ行った。なお、実験は、-5~20℃の温度帯および20~100℃の温度帯の両範囲で温度と粘度の関係を調べた。各実験の実験条件は表1となり、詳細については、次項に示す。

(i) -5~20℃の温度帯

サンプル容器にユズ種子油10mLを入れ、外部密閉系冷却水循環装置(ヤマト科学製、CF301)で冷却しながら測定を行った。チラーの設定温度は、-22℃とした。音叉振動式レオメータの測定限界である33784mPa・s以下でチラーを停止させ、雰囲気20℃の室温でサンプルの温度に変化が見られなくなるまで測定を行った。

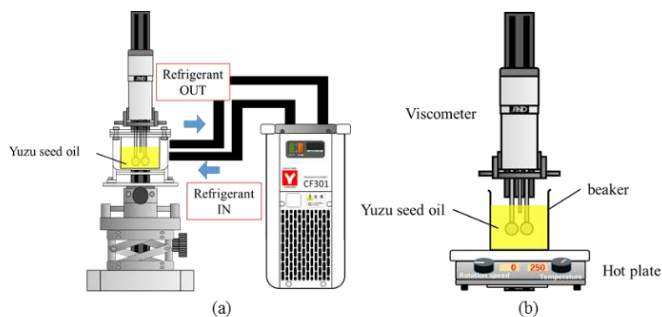


Fig.1 Schematic of experimental equipment

(ii) 20~100℃の温度帯

耐熱温度が400~450℃であるビーカー(Iwaki製、100mL)に100mL入れたユズ種子油をホットプレート(CORNING製、PC-420D)で加熱し、搾油機にて得られるユズ種子油の最高温度より10℃高い105℃に達すると加熱を停止させた。その後、冷却水循環装置で冷却し、ユズ種子油が20℃以下となるまで冷却した。ホットプレートの設定温度を250℃、チラーの設定温度は-22℃とした。

Table1 Experiment conditions

Temperature area	(i) -5~20℃	(ii) 20~100℃
Sample amount	10mL	100mL
Container	Sample container	Beaker
Sample temperature	Over 20℃	Under 20℃
Preset temperature	-22℃	250℃, -22℃
Room temperature	20℃	

2.2. 実験結果と考察

粘度計の振幅0.4mmの場合の結果を図2に示す。-5~20℃の温度帯を(a)、20~100℃の温度帯を(b)に示す。

(i) -5~20℃の温度帯

まず、ゲル化ポイントについて着目する。ゲルとは、ユズ種子油が液体から固体状に変化するポイントであり、粘度が急上昇する。図2(a)の9℃以下においては、実験により異なる挙動が見え、9℃以上では全ての実験で同様の傾向が見られた。9℃以下の場合、ゲル状の油脂と液体が混ざった状態となっているため差異が見られると考えられる。また、油脂には様々な脂肪酸が含まれており、明確な融点を持たない⁽²⁾。そのため、実験による挙動の違いや粘度が2℃の場合に上昇する現象が起きたと考えられる。以上のことから、9℃以下の粘度の不安定領域では、ろ過性能に支障を及ぼすため、システム構築は、粘度計の測定誤差±1℃を考慮し、10℃以上となる。

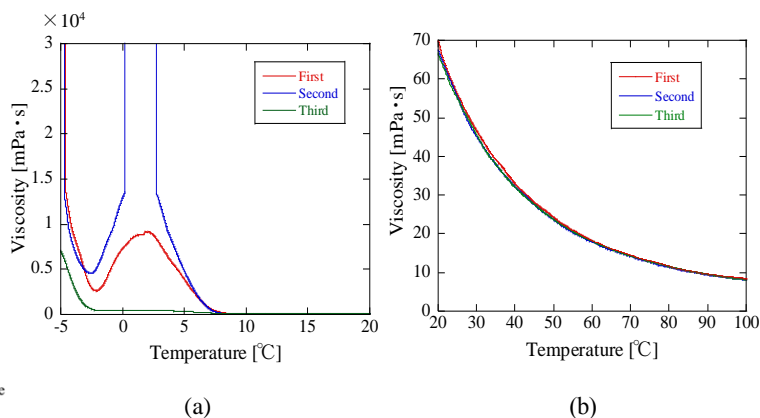


Fig.2 Viscosity at Amplitude 0.4mm

(ii) 20~100℃の温度帯

図 2(b)にて、温度が上昇すると粘度が下がる傾向がわかる。フィルターろ過において、粘度が低いほど処理能力が向上するため、粘度が低いことが望ましい。したがって、機能性成分の熱的損失を考慮し、適する温度の検討を行う。

3. PP フィルターによる微粒子除去

3.1. 実験装置および方法

ADVANTEC 社の 4 種類のフィルター(TCP-JX, TCP-FX, TCPD-01A, TCPD-05A)を用いて選定を行った。フィルター実験の概略を図 3 に示す。遠心分離機で 20 μ m 以上の固体成分を除去したユズ種子油を圧力タンクに入れ、エアーコンプレッサーにより加圧した。なお、エアーの圧力については、圧力タンクの安全弁で加圧の調整を行い、最大圧力は、圧力の安全弁の 0.44 \pm 0.04MPa とした。4 種類のフィルターを用いてそれぞれろ過を行い、250mL の樹脂製容器で保存した。フィルターによる微粒子除去率を把握するため、ADVANTEC 社に分析を依頼した。

次に、処理能力について実験を行った。前述と同様に加圧ろ過用タンクに遠心分離後のユズ種子油 16.65kg をコンプレッサーの空気にて加圧し、フィルターろ過を行った。フィルターは、TCP-JX を用いた。加圧ろ過用タンクからステンレスハウジングを介して得られたユズ種子油は、20L の樹脂製容器にて回収した。

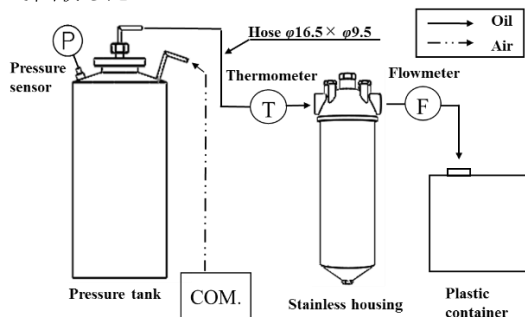


Fig.3 Schematic of experimental equipment

3.2. 実験結果と考察

微粒子除去を見ると、2-10 μ m における TCP-JX と TCPD-01A の除去率が 98.7%以上であったことより、この 2 種類がユズ種子油の微粒子除去に適していると考えた。

フィルターの最大流量は 109.7L/h であったことより、本実験のフィルターにて、システム構築を行う。

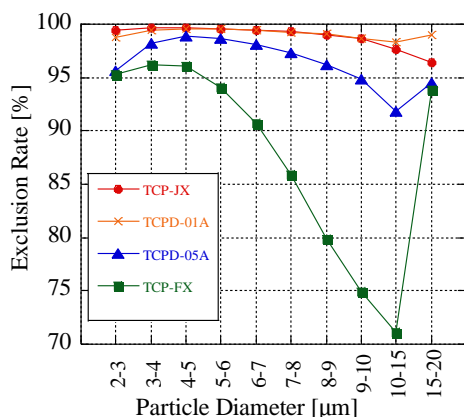


Fig.4 Exclusion rate

4. ステンレスフィルターによる粗取りの評価

4.1. 実験装置および方法

実験フローを図 5 に示す。搾油後のユズ種子油 200mL をステンレスハウジング(ADVANTEC 製, KST-47)に投入し、エアーコンプレッサー(日立製作所製, 0.2LE)にて加圧し、圧力計(オムロン製, E8F2)で計測した。ハウジング下部のステンレスフィルター(ADVANTEC 製, TMP-20 用濾材 ϕ 47mm)に

て、ろ過されたユズ種子油は 250mL の樹脂製容器(アズワン製, アイボーイ広口ビン)にて回収した。その際、重量計(メトラ・トレド製, PB1502)を用いて 10mL ごとのろ液量と時間を計測した。実験は 3 回行った。また、ろ過面積は 0.855 \times 10 $^{-3}$ m 2 である。

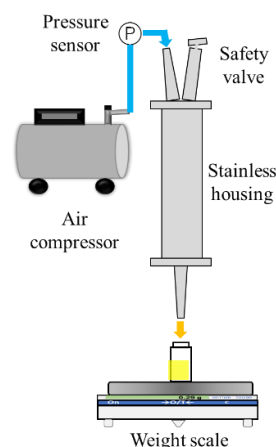


Fig.5 Schematic of experimental equipment

4.2. 実験結果と考察

Ruth の定圧ろ過式を式(1)に示す。これを式(2)のように t/v 対 v に変形し、定圧ろ過実験データを用いて Ruth プロットを行うと、傾きから k 、切片から v_m が求められる⁽³⁾。その結果を図 6 に示す。直線近似の結果より、ろ過係数を k が 5.08 \times 10 $^{-6}$ 、 v_m が 2.205 \times 10 $^{-3}$ を得た。

次に、馬路村農協に設置するため、スケールアップした場合を考える。現在検討しているステンレスフィルターは、フィルターを蛇腹状にすることでのろ過面積を向上させているが、フィルターの凹凸がないほどケーキが形成されることが予想されるため、最低のろ過面積 0.24m 2 として考える。式(2)に、1 日の目標処理量 60L、0.24m 2 、 k 、 v_m を代入すると、ろ過時間は 3 時間 29 分と予測された。

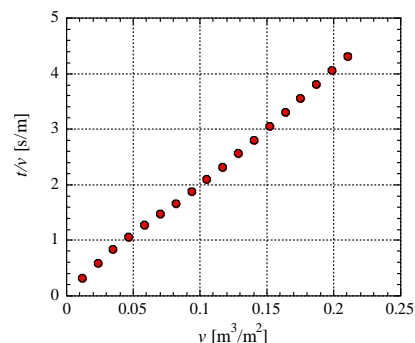


Fig.6 Ruth plot

$$v^2 + 2v_m v = kt \quad (1)$$

$$\frac{t}{v} = \frac{1}{k}v + \frac{2v_m}{k} \quad (2)$$

v : 単位ろ過面積当たりの積算ろ液量 [m 3 /m 2]

v_m : 単位ろ過面積当たりの仮想ケーキを形成する積算ろ液量 [m 3 /m 2]

k : Ruth の定圧ろ過係数[m 2 /s]

t : 経過時間 [s]

5. 結言

温度と粘度の関係により 9℃以下になるとゲル化が起こるため、システムは粘度計の測定誤差を考慮に入れ 10℃以上と考えた。また、搾油機の最高温度が 95℃であることを考慮し、システム構築の温度帯は、10~95℃とする方向性を得た。

PP フィルター実験により、TCP-JX と TCPD-01A がユズ種子油の微粒子除去に適していると考えられた。

ステンレスフィルター実験により、フィルター特性を把握し、スケールアップした場合、搾油機の処理能力以上のろ過量であることが確認できた。

参考文献

- (1) 溝渕俊二, 他, ユズ種子オイルの経口摂取による抗酸化能に関するヒト介入試験, 日本静脈経腸栄養学会学術集会(岡山), 2017.2.24
- (2) 藤田哲, 改訂食用油脂—その利用と油脂食品, pp147, 2000
- (3) 化学工学協会, 改訂 6 版化学工学便覧, pp803~804, 1999