

食品中の 3-MCPD 脂肪酸エステル類 及びグリシドール脂肪酸エステル類 低減のための手引き

令和 2 年 10 月 作成
令和 7 年 2 月 改訂

(一社) 日本植物油協会
日本こめ油工業協同組合
日本マーガリン工業会
DHA・EPA 協議会
(一社) 日本乳業協会
農林水産省

はじめに

脂質はエネルギー産生栄養素の一つであり、生命の維持に重要な役割を果たしています。脂質は、主要なエネルギー源であるとともに、細胞膜や生理活性物質の構成成分となったり、脂溶性ビタミンの吸収を助けたりするなどの働きもあります。また、食品中の脂質は、美味しさにも寄与しています。脂質の摂りすぎは肥満や心臓病につながる可能性があります。適量の脂質は健康の維持増進や豊かな食生活に欠くことができません。

脂質には様々な種類があり、その1つである油脂の主成分は、グリセリンと様々な種類の脂肪酸がエステル結合したものです。食用油の製造工程には、植物や動物由来の原料から抽出した粗油から、色素や臭気成分等の不純物を除去する精製工程が含まれることが多くあります。この精製工程で、もともと粗油に含まれていた成分の一部が、他の成分に変化することが、近年の分析化学の発展によって明らかになってきました。3-MCPD 脂肪酸エステル類 (3-MCPDE) やグリシドール脂肪酸エステル類 (GE) も、そのような変化によってできる物質です。

食品を通じた 3-MCPDE や GE の摂取による人の健康への影響について、国際的なリスク評価機関である FAO/WHO 合同食品添加物専門家委員会 (JECFA) が 2016 年に評価しました。JECFA は、文献情報や各国から提出されたデータ等を活用し、人が食品から摂取する 3-MCPD と 3-MCPDE の量や GE の量を推定し、健康影響または毒性に関する指標値と比較しました。その結果、3-MCPD と 3-MCPDE は、乳児用以外の子どもや大人は通常摂取する量であれば、一生摂取し続けても健康への悪影響がないと評価しました。一方、乳児用調製乳だけを飲む乳児については 3-MCPDE を過剰に摂取している可能性があるとして評価しました。GE は、乳児、子ども、大人のすべてにおいて、食品から摂る量が十分に少ないとはいえ、健康に悪影響が生じる懸念があるかもしれないと評価しました。このことから JECFA は、精製油や乳児用調製乳中の 3-MCPDE や GE の低減のための努力を継続することを推奨しました。乳児用調製乳が挙げられているのは、将来を担うと期待されている乳幼児の健康を保護することの重要性と、乳幼児の体重あたりの食品消費量が一般的に他の世代よりも多いことが、国際的に認識されているためです。

食品の安全性をさらに高めるために適切な対策を食品関連事業者が実施することは、消費者の健康保護だけでなく、消費者からの関係業界に対する信頼の維持・向上や、経済的な損失の発生の未然防止にもつながります。

そこで令和2年10月に、精製油や、精製油を原材料として製造する一部の食品中の3-MCPDEやGEについて、関係業界団体と農林水産省が連携して、関係事業者の皆様に向けた低減のための手引きを作成しました。本手引きには、これまでに国内外で得られた科学的な情報を参考に、3-MCPDEやGEの濃度を低く抑えるための対策例を、根拠データ及び実施上の留意点とともに解説しています。

本手引きは、2019年7月にCodex委員会で採択された「精製油及び精製油を用いた製品中の3-MCPD 脂肪酸エステル類及びグリシドール脂肪酸エステル類の低減のための実施規範」（CXC 79-2019）の内容とも整合しています。

本手引きの作成以降、関係業界団体と農林水産省と連携してその普及に努め、関係事業者の皆様によって低減対策に取り組まれてきたところです。今般、国内外で新たな調査研究等の報告がなされたことから、最新の知見を踏まえて本手引きの改訂を行いました。

関係事業者の皆様には、自社製品の安全性をさらに高めるために、既に実施しているHACCPに沿った食品衛生上の取組において、自社の施設・設備等の状況に応じて実行可能な範囲での3-MCPDEやGEの低減対策の実施に本手引きを役立てていただきたいと考えています。

今後、新しい科学的知見が得られた場合や、より有効な低減技術が開発された場合には、本手引きの内容を更新します。

目次

はじめに	1
1 目的	4
2 適用範囲	4
3 基本的考え方及び留意点	4
3.1 意図しないにもかかわらず生成する化学物質のリスク管理の原則	4
3.2 低減対策を検討する上での留意点	5
3.2.1 食品中の対象物質の存在	5
3.2.2 他の危害要因の生成抑制	5
3.2.3 食品の栄養特性・官能特性の維持	6
3.2.4 その他の留意事項	6
3.3 3-MCPDE や GE の低減対策の検討にあたって	6
4 3-MCPDE や GE の低減対策の例	10
4.1 精製油	10
4.1.1 原料管理	14
4.1.2 粗油の生産・処理	18
4.1.3 脱ガム	24
4.1.4 中和	27
4.1.5 脱色	29
4.1.6 脱臭	33
4.1.7 精製後の処理	40
4.2 精製油を用いて製造する加工食品	46
4.2.1 製品の原料に用いる精製油の選定・使用	47
5 食品中の 3-MCPDE や GE の濃度の分析とその結果の活用	51
5.1 製品中の 3-MCPDE や GE の濃度の把握	51
5.2 候補となる低減対策の有効性の検証と対策の決定	55
5.3 実施した低減対策の効果の検証	55
6 継続的な技術開発と手引きの見直し	55
参考情報	56
1. 3-MCPDE や GE に関する FAQ	56
2. 用語解説	60

1 目的

本手引きは、これまでに国内外で得られた科学的な情報をもとに、食品中の 3-MCPDE や GE の生成防止・低減のための対策例を、その実施上の留意点とともに提供し、関係事業者の皆様による 3-MCPDE や GE の自主的な低減を推進することを目的にしています。

2 適用範囲

本手引きの対象とする食品は、国内の食品事業者の皆様が製造、加工、販売する、食用精製油脂及び食用精製加工油脂並びにこれらの油脂を原材料とする加工食品です。

なお、消費者自身が調理し、摂食する食品にも、3-MCPDE や GE を含む又は含む可能性があるものがありますが、それらについては本手引きの対象外です。

3 基本的考え方及び留意点

3.1 意図しないにもかかわらず生成する化学物質のリスク管理の原則

食品の製造、加工、調理等の工程で、意図しないにもかかわらず生成する化学物質の濃度を低減するためには、農場から食卓までのフードチェーンの必要な段階において次の対策を講じ、当該物質の生成を防止又は抑制する必要があります。

- 対象物質の前駆体を低減する。
- 対象物質の生成を防止又は抑制する。
- 対象物質を分解、除去する。

これらの低減対策の実施によって、食品に含まれる対象物質の濃度分布が、従来よりも低濃度側に移行する（図 1）と、食品から摂取する対象物質の量も低減し、当該物質に起因する健康リスクの低減が期待できます。

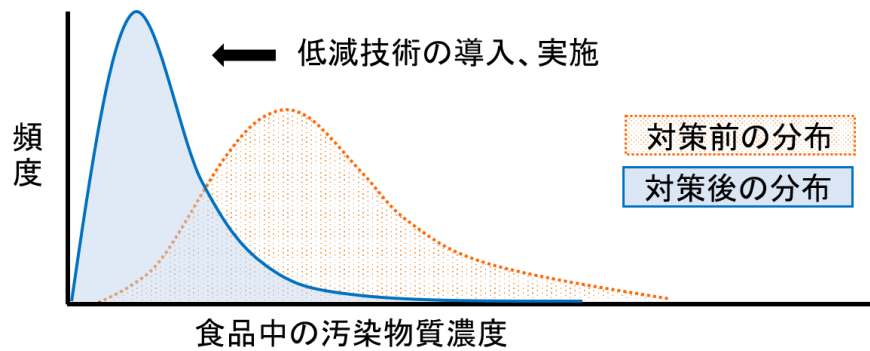


図1 有効な低減技術の導入と食品中の化学物質濃度分布の関係（模式図）（農林水産省作成）

このように、食品に意図しないにもかかわらず含まれる化学物質については、低減のためのガイドラインや指針の策定とその実践が極めて重要であることが国際的に認識されています。Codex 委員会でも、このような物質の濃度を可能な範囲でできるだけ低くするため、実施規範の策定を優先的に行っています。

3.2 低減対策を検討する上での留意点

3.2.1 食品中の対象物質の存在

食品中に意図しないにもかかわらず含まれる化学物質を低減するためには、その物質が原料にもともと含まれるものなのか、環境に由来するものなのか、それとも食品の製造又は加工工程で食品中に天然に存在する成分から生成するものなのか等、どのようにして食品に含まれるのかを知る必要があります。また、その物質の低減対策を検討する前提として、前駆体や生成条件など、その物質がどのようにできるかの情報も不可欠です。これら生成機序を考慮した上で、原料を変更したり、製造工程を改善したりするなど、有効かつ実行可能な低減対策を検討します。

3.2.2 他の危害要因の生成抑制

食品は、栄養素や香気成分等を含め、多種多様な化学物質から構成されています。食品の生産・製造条件を変更することにより、関心のある1つの成分だけでなく、その他の複数の成分の変化が生じる可能性があります。

そのため、対象とする化学物質の低減対策を検討・実施する際には、その対策によって他の化学物質や微生物が増加するなど、最終製品の食品としての安全性が低下しないように留意することも必要です。

3.2.3 食品の栄養特性・官能特性の維持

食品は、安全であることだけでなく、健康の維持・増進に必要な栄養素を供給できること、美味しいことも重要です。このため、対象とする化学物質の低減対策を検討・実施する際には、栄養素や機能性成分の喪失等による栄養面や機能性への影響、風味や食感の変化による嗜好性への影響等についても十分に考慮し、最終製品の栄養特性・官能特性など、食品としての品質が大きく低下しないように留意することが必要です。

3.2.4 その他の留意事項

対象とする化学物質の低減対策を検討・実施する際には、以下を確認することが必要です。

- 低減対策の一つとして原料調達段階での対策を検討する場合、取り扱う原料の特性は何か及び取引先の対応が可能か
- 食品の製造・加工工程において食品衛生法などの関連法令を遵守しているか
- 検討する低減対策が、特許権が認められた発明や特許出願中の発明を利用したものである場合、当該発明の特許権者の許諾が必要か
- 食品を海外に輸出する場合、輸出先国における規制（例：当該食品中の対象汚染物質の最大基準値、当該食品の製造に用いる食品添加物等の使用基準）や関連する Codex 規格等に適合しているか
- 低減対策を講じることで、排水や廃棄物の増加、大気や土壌の汚染、エネルギー消費量の増加等による環境への負荷が大きく増加することがないか

上記を確認した上で、自社での導入を決定した低減対策について、対策の手順や方法を明確化して既存の HACCP に沿った衛生管理計画や品質管理・衛生管理マニュアル等に組み込むなど、従業員が確実に実施できるような体制を整備することが重要です。また、その手順や方法を定期的に見直すことが望まれます。

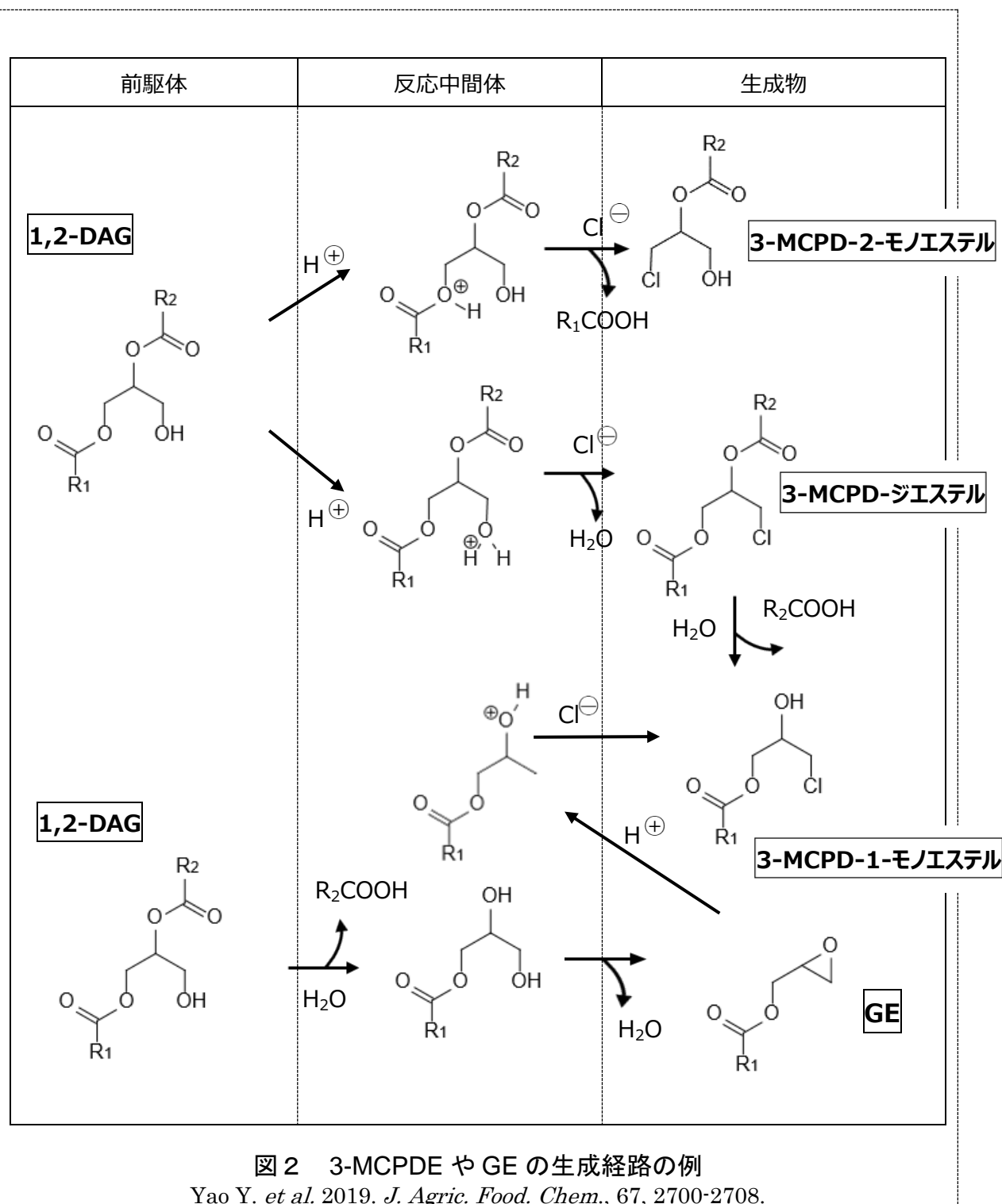
3.3 3-MCPDE や GE の低減対策の検討にあたって

上記 3.1 「意図しないにもかかわらず生成する化学物質のリスク管理の原則」

及び 3.2「低減対策を検討する上での留意点」は、3-MCPDE や GE の低減対策の検討にも当てはまります。

3-MCPDE や GE の生成機序についての情報が、低減対策の検討の前提として不可欠です。3-MCPDE と GE は、いずれも油脂を高温に加熱する工程（特に脱臭工程）で生成しますが、生成機序や生成温度が異なります。3-MCPDE は、約 160-200℃の条件下で、塩素を含む化合物[※]が、トリアシルグリセロール（TAG）やジアシルグリセロール（DAG）、モノアシルグリセロール（MAG）と反応することによって生成します。特に、脱臭より前の工程で、酸を加えたり弱酸性の白土で脱色したりすると生成しやすいと報告されています。一方、GE は、塩素を含む化合物の存在によらず、DAG 又は MAG が約 200℃以上に加熱されることで主に生成すると報告されています（図 2）。

※ 3-MCPDE の前駆体となる塩素を含む化合物の中には、アブラヤシが熟す際に中果皮内で生成する、スフィンゴ脂質やワックスエステル等を構成要素とする有機塩素化合物等もあります。これらの有機塩素化合物は、脱臭時に高温になると塩酸（HCl）を放出し、これが TAG や DAG、MAG と反応して 3-MCPDE が生成するとの報告があります（Tung S.H. *et al.* 2018. *J. Agric. Food Chem.*, 66, 999-1007.）。



油脂の精製条件を変更することで、3-MCPDE と GE 双方の濃度の低下につながる場合もあれば、一方の濃度は低下しても他方の濃度が上昇する可能性もあります。このため、低減対策の導入にあたっては、必要に応じて複数の対策を組み合わせるなど、3-MCPDE と GE の双方を低減できるよう留意することが必要です。

3-MCPDE や GE の低減のための主なアプローチは、

- (1) 前駆体の濃度が低い原料を選択したり、原料の保管・輸送時や搾油時に前駆体の増加を抑制したりすること
- (2) 食用油の精製時に 3-MCPDE や GE の生成を防止・抑制すること
- (3) 食用油中に生成した 3-MCPDE や GE を分解・除去すること
- (4) 加工食品の原料に使用する食用精製油（加工油脂を含む。）について、3-MCPDE や GE が低濃度のものに変更すること

です。

また、3-MCPDE や GE の低減対策を検討する際には、他の危害要因の生成抑制についても考慮することが必要です。例えば、精製前の油脂の中には、食品として好ましくない天然の色素や臭気成分の他、原料として用いた植物等に由来するかび毒、残留農薬、ダイオキシン類等が含まれているものもあります。油脂の精製工程では、これらの物質を除去できる一方で、その実施条件によっては、もともと粗油に含まれていた成分が、3-MCPDE や GE、トランス脂肪酸等、他の物質に変化することもあり得ます。また、油脂を含む加工食品の原料や製造方法等の変更によっても、食品中のこれら物質の濃度が変化する可能性があります。

4 3-MCPDE や GE の低減対策の例

本項では、「4.1 精製油」、「4.2 精製油を用いて製造する加工食品」に分けて、3-MCPDE や GE の濃度を低く抑えるための対策例を、その実施方法・効果や留意点とともに工程順に紹介しています。各対策例について、対象油種や対象物質を明示しています。

4.1 精製油

精製油中の 3-MCPDE や GE の低減のために、「4.1.1 原料管理」、「4.1.2 粗油の生産・処理」、「4.1.3 脱ガム」、「4.1.4 中和」、「4.1.5 脱色」、「4.1.6 脱臭」、「4.1.7 精製後の処理」の段階で事業者が実施することが有用と考えられている対策例を工程順に紹介しています。各事業者は、自らの製造実態に合わせて適切な対策を選択、実施してください。

対象油種	事業者のアクション	参照できるセクション
植物油	精製油を輸入	4.1.1～4.1.6※
	輸入した精製油を国内で再精製	4.1.3～4.1.7
	輸入又は国内で生産した油糧原料を用いて搾油・精製	4.1.1～4.1.7
魚油	精製油を輸入	4.1.2～4.1.6※
	輸入又は国内で漁獲した油糧原料を用いて搾油・精製	4.1.2～4.1.6

※ 3-MCPDE や GE の濃度が低い精製油を輸入するために必要な事項を、取引先に協議・要望する際に活用

(参考) 我が国の植物油供給事情

日本の植物油の供給は、①油糧原料を国内で搾油・精製して得られた油と、②輸入した油（主として粗油）によって担われています。大豆油、菜種油、熱帯油脂（パーム油、パーム核油、ココナッツ油）とその他の植物油に分けて、長期的な供給の動向を下図に示しました。

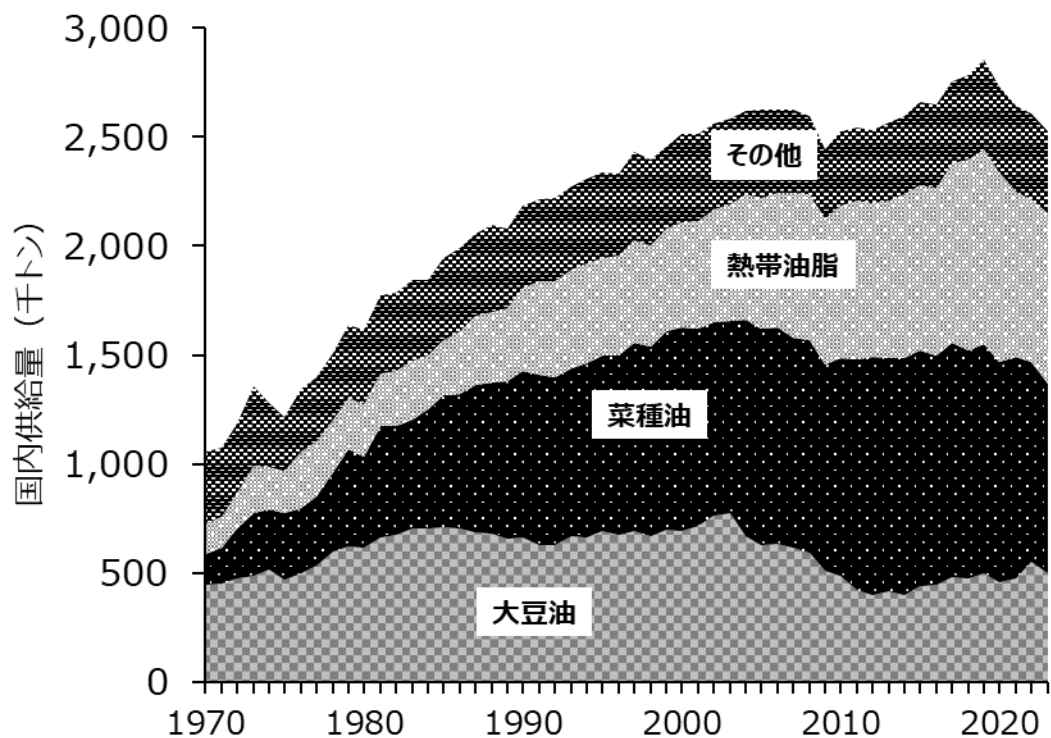


図 国内の植物油供給量の推移

資料：農林水産省「油糧生産実績調査」、財務省「貿易統計」

注：油種ごとに国内生産量と輸入量を加算したものである。

国内生産量は粗油ベース、輸入量は粗油・精製油を含むが、単純に加算している。

植物油の総供給量は、1970~2000年の30年間に2.5倍に増加しましたが、それ以後は横ばいから減少気味となっています。2009年に落ちこんでいるのは、リーマン・ショック後の消費の減退の影響であると考えられます。

油種別にみると、大豆油は、1980年代までは最も多く供給されましたが、2003年をピークに減少に転じています。2010年代後半以降は回復傾向にあります。菜種油の供給は、1970年代から徐々に増加し、1980年代以降、単一の植物油としては最大です。1990年代からパーム油を中心とする熱帯油脂の供給量も増加しました。新型コロナウイルス感染症による影響を受け、総供給量は2020年には273万トンと減少し、その後、原料価格の高騰等によるコスト負担増からの製品販売価格の上昇もあり、2021年には264万トン、2022年には261万トン、2023年には253万トンと、それぞれ前年の水準を下回る推移となっています。

精製油中の3-MCPDEやGEの低減対策の一覧は以下のとおりです。それぞれの対策の詳細について、4.1.1~4.1.7の各項目において紹介します。

【対策例一覧】

4.1 内の 項目番号	低減技術	適用可能な 油種	物質※		該当 ページ
			3- MCPDE	GE	
1 原料管理	リパーゼ活性の低い品種を選定する	アブラヤシ果 実を原料とする 油種（パーム 油等）	○	○	14
	原料アブラヤシの栽培中において、塩素を含む化合物を高濃度を含む肥料、農薬、水の使用を最小限にする	アブラヤシ果 実を原料とする 油種（パーム 油等）	○		15
	アブラヤシ果実を殺菌する前に洗浄する	アブラヤシ果 実を原料とする 油種（パーム 油等）	○		15
	アブラヤシ果実を適期に収穫する、果房の損傷を防ぐように扱う、傷ついた又は熟しすぎた果実を使用しない	アブラヤシ果 実を原料とする 油種（パーム 油等）	○	○	16
	アブラヤシ果実を可能な限り早く搾油工場に運ぶ	アブラヤシ果 実を原料とする 油種（パーム 油等）	○	○	16
	アブラヤシ果実を速やか（収穫後2日以内）に140℃以下で殺菌する	アブラヤシ果 実を原料とする 油種（パーム 油等）	○	○	16
	油糧原料を可能な限り早く集荷し、搾油工場に運ぶ	胚芽等から 搾油する油種	○	○	17
	種子を乾燥条件（例：水分13%未満）及び低温条件（例：30℃未満）で保管する	種子全体から 搾油する油種	○	○	17
2 粗油の 生産・処理	粗油を、熱水（例：80℃以上）で洗浄する	植物油全般	○		18
	溶媒や洗浄水に残存した油を回収して食用にリサイクルしない	植物油全般	○	○	20
	前駆体（例：DAG、遊離脂肪酸、塩素を含む化合物）の濃度が低い粗油を優先的に精製する	植物油全般 魚油	○	○	21
	適切な精製条件の調整のため、粗油の前駆体（例：DAG、遊離脂肪酸、塩素を含む化合物）の濃度を把握する	植物油全般 魚油	○	○	23

4.1 内の 項目番号	低減技術	適用可能な 油種	物質※		該当 ページ
			3- MCPDE	GE	
3 脱ガム	脱ガム時の酸性度を下げる(例:低濃度のリン酸、クエン酸やその他の酸、又は水を用いて脱ガムする)	植物油全般 魚油	○		24
	脱ガム時の温度を下げる	植物油全般 魚油	○		26
4 中和	物理的精製に替えて、中和などによる化学的手段により精製する(化学的精製)	植物油全般 魚油	○	○	27
5 脱色	白土の使用量を増やす(ただし、塩素を含む化合物の濃度が高い白土の使用を避ける)	植物油全般 魚油	○		29
	酸性度を下げるため、中性に近い白土を使用する	植物油全般 魚油	○		31
6 脱臭	低温で脱臭する(例:植物油の場合 190-230℃程度、魚油の場合 190℃未満)	植物油全般 魚油	○	○	33
	高温短時間での脱臭、低温長時間での脱臭による2段階脱臭を行う	植物油全般 魚油	○	○	36
	強力な真空装置を使用して、揮発性成分の沸点を下げ、より低い温度で脱臭する	植物油全般 魚油		○	37
	薄膜(短行程)蒸留を行い、低温で脱臭する	魚油	○	○	38
7 精製後の 処理	脱臭後の油を活性白土で処理する	植物油全般		○	40
	一度脱臭した油を再脱色及び再脱臭する(1回目より低温)	植物油全般		○	40
	脱色、脱臭の後の油に薄膜(短行程)蒸留を行う	植物油全般	○	○	44
	中鎖脂肪酸油を脂肪酸及び1種類以上の塩基で処理する	中鎖脂肪酸油	○	○	44
	脱臭後の油に無機酸(リン酸等)を添加し洗浄処理する	植物油全般		○	45

※ これらの対策が低減に有効であると証明されている物質に○をつけた。

4.1.1 原料管理

原料作物中の 3-MCPDE や GE の前駆体の生成を抑制する、または生成した前駆体を低減するため、以下の対策が有効です。具体的には、原料作物に含まれるリパーゼ活性の抑制と、脂肪酸と反応できる形態の塩素を含む化合物の低減とがあります。

(1) アブラヤシ果実を原料とする油種（パーム油等）

【3-MCPDE 及び GE】

● リパーゼ活性の低い品種を選定する

<解説>

- アブラヤシ果実の果肉（中果皮）に含まれているリパーゼは、TAG を分解して遊離脂肪酸と、DAG や MAG を生成する（図 3）。3-MCPDE や GE の前駆体である DAG や MAG 濃度が高くなると、脱臭時に 3-MCPDE や GE が生成しやすくなる。
- DAG や MAG 濃度の上昇を抑えるため、リパーゼ活性が低い品種を選定する。

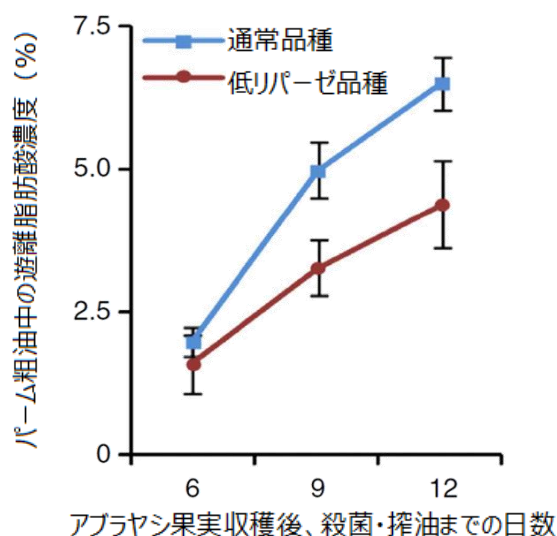


図 3 アブラヤシ果実収穫後の殺菌・搾油までの日数と粗油中の遊離脂肪酸濃度

Morcillo F. *et al*, 2013. *Nat. Commun.*, 4, 2160. (農林水産省一部改変)

<留意点>

- ✓ アブラヤシの生産国における対策であるため、国内事業者は、生産国における原料油脂の調達先に要望したり、協議したりすることが必要である。
- ✓ リパーゼ活性が低い品種の入手可能性や、当該品種に切り替えた際の収量、品質、コストへの影響を考慮した実行可能性に留意することが必要である。

【3-MCPDE のみ】

- 原料アブラヤシの栽培中において、塩素を含む化合物を高濃度に含む肥料、農薬、水の使用を最小限にする

<解説>

- 脂肪酸と反応できる形態の塩素を含む化合物（以下、「塩素を含む化合物」という。）は、3-MCPDE の前駆体になり得る可能性があり、土壌や空気中から水を経由してアブラヤシに取り込まれる可能性がある。
- 土壌や空気中の塩素を含む化合物は、肥料や農薬、水の使用により増減する。
- アブラヤシの栽培中に、塩素を含む化合物の取り込みを抑えるため、これらの化合物の濃度が高い肥料、農薬、水の使用量を最小限にしたり、これらの化合物の濃度が低いものを使用したりすることが望ましい。

<留意点>

- ✓ アブラヤシの生産国における対策であるため、国内事業者は、生産国における原料油脂の調達先に要望したり、協議したりすることが必要である。
- ✓ 肥料、農薬、水を変更したり、これらの使用量を減らしたりすることによって、アブラヤシの生育や最終加工品の品質に悪影響が及ばないように注意することが必要である。
- ✓ 塩素は、植物にとって必須元素の一つである。
- ✓ 塩素を含む化合物の全てが、3-MCPDE の前駆体として作用するわけではない。

【3-MCPDE のみ】

- アブラヤシ果実を殺菌する前に洗浄する

<解説>

- 塩素を含む化合物を果実表面から除去するため、アブラヤシ果実を水で洗浄する。

<留意点>

- ✓ アブラヤシの生産国における対策であるため、国内事業者は、生産国における原料油脂の調達先に要望したり、協議したりすることが必要である。

【3-MCPDE 及び GE】

● アブラヤシ果実を適期に収穫する、果房の損傷を防ぐように扱う、傷ついた又は熟しすぎた果実を使用しない
● アブラヤシ果実を可能な限り早く搾油工場に運ぶ
● アブラヤシ果実を速やか（収穫後 2 日以内）に 140℃以下で殺菌する

<解説>

- アブラヤシ果実が熟しすぎる、果房が損傷するもしくは収穫後殺菌・搾油するまでの時間が長いと、リパーゼによる TAG の分解によって DAG や MAG の濃度が高くなり、脱臭時に 3-MCPDE や GE が生成しやすくなる。
- 一般的に、多くの酵素は 60-70℃で失活する。リパーゼも、果実の殺菌処理（熱処理）によって失活する。
- リパーゼによる TAG の分解を最小限にするため、アブラヤシ果実の収穫は適期に行い、可能な限り早く輸送する。また、収穫後は速やかに殺菌する。

<留意点>

- ✓ アブラヤシの生産国における対策であるため、国内事業者は、生産国における原料油脂の調達先に要望したり、協議したりすることが必要である。
- ✓ アブラヤシ果実が損傷しないよう、輸送の際に丁寧に取扱うとともに、必要最低限の温度で酵素の失活と殺菌を行うことが必要である（Codex 委員会の実施規範（CXC 79-2019）では 140℃以下と記載。）。

(2) アブラヤシ果実以外を原料とする油種

【胚芽やぬかから搾油する油種（例：とうもろこし油、こめ油等）】 【3-MCPDE 及び GE】

- 油糧原料を可能な限り早く集荷し、搾油工場に運ぶ

<解説>

- リパーゼによる TAG の分解を最小限にし、DAG や MAG の濃度上昇を抑制するため、輸入した又は国内で生産した油糧原料（例：とうもろこしでん粉の副産物である胚芽や、精米の際に生じる米ぬか）についても、速やかに輸送、加熱、搾油する。
- 米ぬかに含まれるリパーゼ活性が最も高まる最適温度は 37.5℃とされている（木村, 1960. 油化学第 9 巻第 3 号, 154-160.）。
- リパーゼ活性は、水分含量が 20%で最大となる。

【種子全体から搾油する油（例：菜種油、大豆油、ごま油）】 【3-MCPDE 及び GE】

- 種子を乾燥条件（例：水分 13%未満）及び低温条件（例：30℃未満）で保管する

<解説>

- DAG や MAG 濃度の上昇を抑制するため、油糧原料として用いる種子（大豆、菜種など）を、リパーゼ活性を低く抑えられる湿度や温度でサイロ等に貯蔵する。
- 綿実において、水分含量が高いほど、保存期間が長くなると遊離脂肪酸濃度が上昇する報告がある（Karon M. & Altschul AM. 1994. *Plant Physiol.*, 19, 310-325.）。

<留意点>

- ✓ 通常、乾燥大豆の水分含量は 12%、米ぬかの水分含量は 10%程度である（文部科学省, 日本食品標準成分表 2020 年版（八訂））。

4.1.2 粗油の生産・処理

粗油中に含まれる 3-MCPDE や GE の前駆体を低減するため、また前駆体を増加させないようにするため、以下の対策が有効です。

【植物油】 【3-MCPDE のみ】

- 粗油を、熱水（例：80℃以上）で洗浄する

<解説>

① パーム油

- 水溶性の塩素を含む化合物を低減し、脱臭時における 3-MCPDE の生成を抑制するため、5 %（w/w）以上、80℃以上の熱水で粗油を洗浄する。
- 粗油を 80℃以上の熱水で洗浄すると、脱臭（240℃、120 分）後の 3-MCPDE と GE の合計濃度が減少するとの報告がある（図 4）。
- ただし、Codex 委員会の実施規範（CXC 79-2019）では、この措置は 3-MCPDE のみを低減させると記述されている。

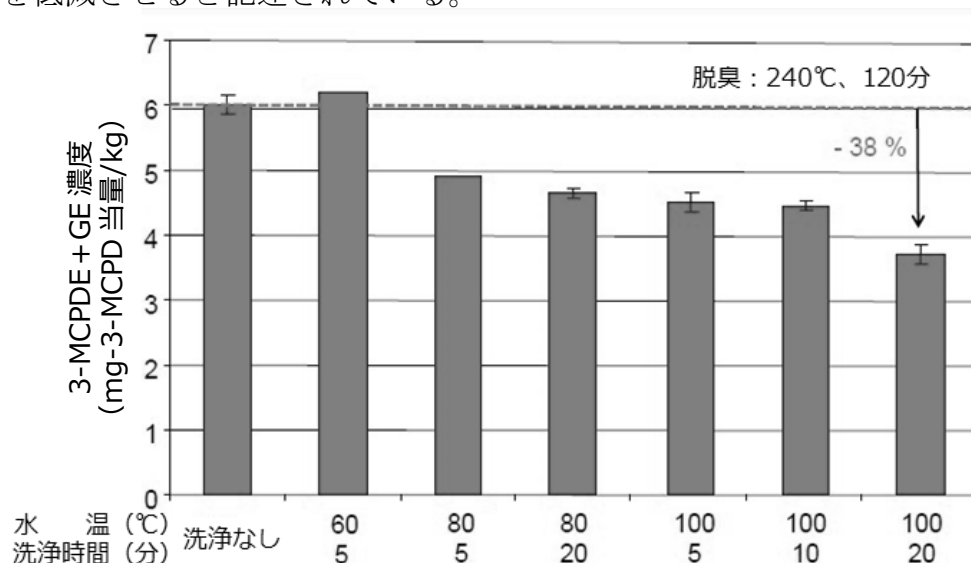


図 4 異なる条件で洗浄したパーム粗油の脱臭後の 3-MCPDE 及び GE の濃度

Pudel F. 2012. 103rd AOCS Annual Meeting & Expo, April 29 - May 2, 2012, Long Beach, CA, USA. （農林水産省一部改変）

② パーム油以外の植物油

- パーム油と同様に有効であるとされている。

<留意点>

- ✓ 製造施設内では、食品衛生法及び各自治体の条例で定められた基準に適合した水を使用する。

(参考)「安全な農畜水産物安定供給のための包括的レギュラトリーサイエンス研究」
における検証結果

粗油を脱ガム処理した油を、80℃の熱水で洗浄することにより、脱臭（250℃、60分）後の 3-MCPDE 濃度を低減することができた。また、アルカリ処理を行ってから熱水洗浄を行うことで一層低減することができた。一方、GE はいずれの処理によっても低減することができなかった（表 1）。

表 1 熱水処理及びアルカリ処理したパーム油中の 3-MCPDE 及び GE 濃度

試料※ ¹	3-MCPDE 濃度※ ² (3-MCPD 当量) (mg/kg)	GE 濃度※ ² (グリシドール当量) (mg/kg)
物理精製パーム油	1.1	3.8
処理①熱水処理	0.8	3.6
処理②熱水処理＋アルカリ処理	0.5	3.5

※ 1 物理精製パーム油：パーム粗油を脱ガムした油を、酸性白土 2%(w/w)を用いて脱色し、250℃で 60 分脱臭して得た油脂

処理①：パーム粗油を脱ガムした油に、80℃の熱水を 15%(w/w)加えて 10 分×2 回洗浄した後、物理精製パーム油と同様に脱色・脱臭して得た油脂

処理②：パーム粗油を脱ガムした油に、15%NaOH 水溶液を酸価中和量加え、60 分アルカリ処理した後、①と同様に熱水処理、物理精製パーム油と同様に脱色・脱臭して得た油脂

※ 2 n=6 (3 社×2 併行) の平均値

(農林水産省、2023、安全な農畜水産物安定供給のための包括的レギュラトリーサイエンス研究成果報告書（農林水産省一部改変）)

【植物油】 【3-MCPDE 及び GE】

- 溶媒や洗浄水に残存した油を回収して食用にリサイクルしない

<解説>

① パーム油

- アブラヤシ果実から油を圧搾した後、残渣や洗浄水に残存した油（回収油）は、パーム粗油よりも 3-MCPDE や GE の前駆体（塩素を含む化合物や DAG 等）を高濃度に含み、pH が低い。収率を高める目的で回収油をパーム粗油に混合すると、脱臭時に 3-MCPDE や GE が生成しやすくなる（図 5）。回収油の混合割合と 3-MCPDE 濃度との間には正の相関がある。
- 3-MCPDE や GE の前駆体濃度の上昇を抑制するため、回収油を粗油に加えないようにする。

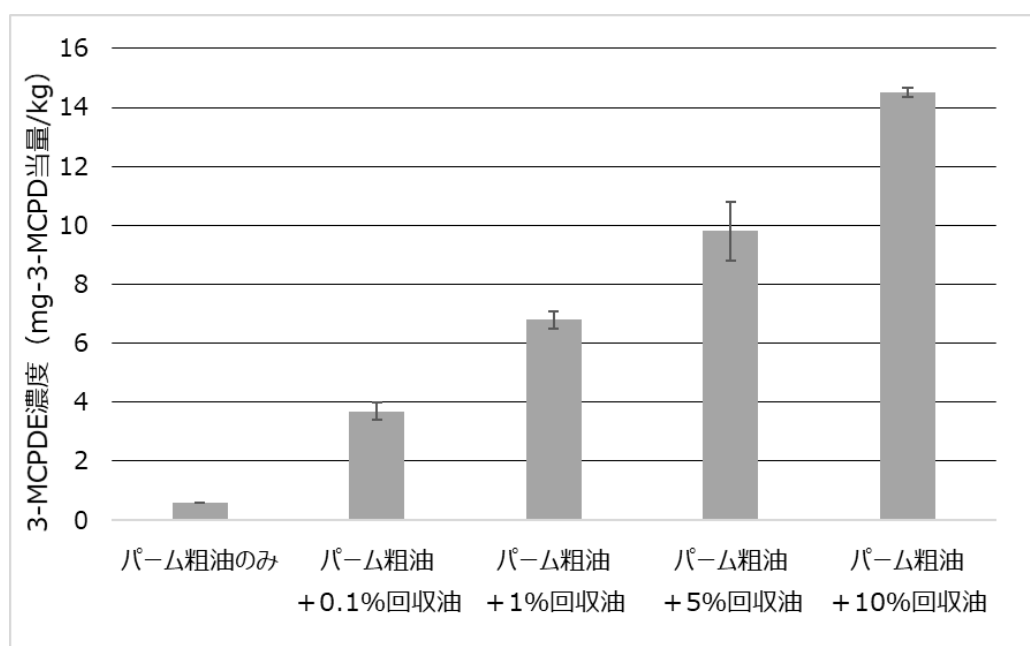


図 5 パーム粗油に加えた回収油の比率と脱臭後の 3-MCPDE 濃度

Ramil M. R. et al. 2015. *Food Addit. Contam. Part A*, 32(6), 817-824. (農林水産省改変)

② パーム油以外の植物油

- パーム油と同様に有効であるとされている。

<留意点>

- ✓ 回収油は、工業用、飼料用、バイオディーゼル用途の油のほか、カロテノイド色素やトコフェロールを抽出する原料として利用されている。

【植物油・魚油】 【3-MCPDE 及び GE】

- 前駆体（例：DAG、遊離脂肪酸、塩素を含む化合物）の濃度が低い粗油を精製する

<解説>

① パーム油

- 粗油の DAG 濃度と遊離脂肪酸濃度との間、粗油を同一条件で精製した場合の DAG 濃度と GE 濃度との間にはそれぞれ相関がある（図 6・7）。
- 3-MCPDE や GE 濃度が低い油脂を得るため、前駆体の濃度が低い粗油を精製する。

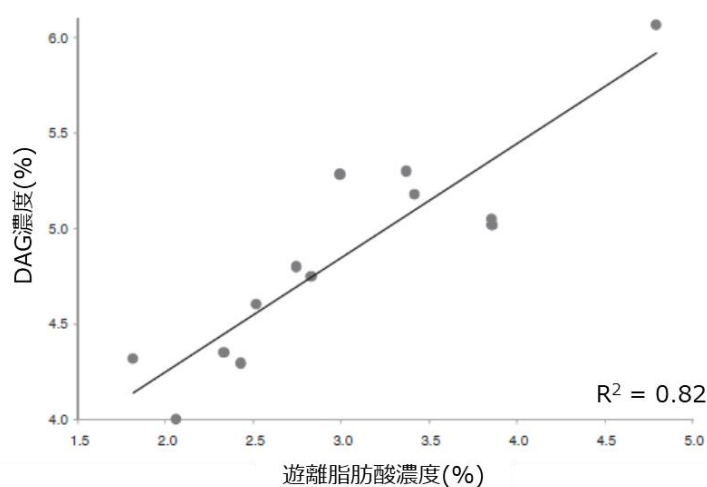


図 6 パーム粗油中の遊離脂肪酸濃度と DAG 濃度の相関

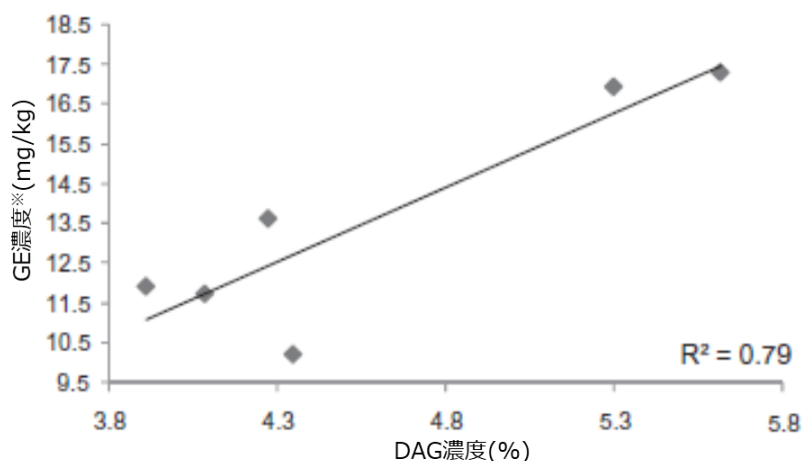


図 7 精製パーム油中の DAG 濃度と GE 濃度の相関（特定の精製事業者の製品）

※GE 濃度は 16:0-GE, 18:1-GE, 18:2-GE, 18:3-GE の合計

Craft B. D. *et al.* 2012. *Food Chem.*, 132, 73-79.（農林水産省一部改変）

② パーム油以外の植物油、魚油

- パーム油と同様に有効であるとされている。

（参考）「安全な農畜水産物安定供給のための包括的レギュラトリーサイエンス研究」
における検証結果

こめ油及びコーン油は1年の中で原油の性状が変化することが知られている。搾油時期の異なる（4月、8月）こめ油及びコーン油を使用し、性状の違いによる 3-MCPDE 及び GE の生成状況を確認したところ、搾油時期によって塩素濃度や DAG 濃度には差異が認められた。また、塩素濃度が高いと脱臭後の 3-MCPDE 濃度が高い傾向が認められた（表2）。

表2 異なる搾油時期のこめ油及びコーン油中の塩素濃度、DAG 濃度、3-MCPDE
及び GE 濃度

油種	搾油 時期	試料※ ¹	塩素濃度※ ² (ppm)	DAG 濃度※ ² (w/w%)	3-MCPDE 濃度※ ² (3-MCPD 当量) (mg/kg)	GE 濃度※ ² (グリシドール 当量) (mg/kg)
こめ油	4月	脱ガム油	1.2	6.23	<0.1	<0.1
		脱臭油	0.5	5.31	0.3	3.2
	8月	脱ガム油	2.1	6.85	<0.1	<0.1
		脱臭油	1.2	6.61	0.8	5.0
コーン油	4月	脱ガム油	0.8	3.66	<0.1	<0.1
		脱臭油	0.4	3.66	0.2	1.5
	8月	脱ガム油	1.3	3.86	<0.1	<0.1
		脱臭油	0.6	4.05	0.2	1.0

※1 こめ油及びコーン油の脱ガム油と、その脱ガム油をリン酸、NaOH 処理により脱酸し、酸性白土 2%を用いて脱色し、250℃で 60 分脱臭して得た脱臭油

※2 脱ガム油は n=1、脱臭油は n=6（3社×2 併行）の平均値

（農林水産省、2023、安全な農畜水産物安定供給のための包括的レギュラトリーサイエンス研究成果報告書（農林水産省一部改変））

【植物油・魚油】 【3-MCPDE 及び GE】

- 適切な精製条件の調整のため、粗油の前駆体（例：DAG、遊離脂肪酸、塩素を含む化合物）の濃度を把握する

<解説>

- 粗油中の 3-MCPDE や GE の前駆体濃度が高い場合でも、精製方法や条件を工夫することによって 3-MCPDE や GE の生成を抑制することができる。
- 高純度の DAG においても、200℃以下の加熱では GE の顕著な生成が認められないことが報告されている（Shimizu M. *et al.* 2013. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 90, 1449-1454.）。
- 粗油中の DAG や塩素を含む化合物などの前駆体濃度を把握し、精製工程における 3-MCPDE や GE の生成を抑制するために有効な方法を検討する。
- DAG 濃度が高い油の場合、一度目の脱臭に続いて活性白土による処理を行った後、一度目の脱臭時よりも低温で再脱臭することにより、GE 濃度を低減することができる（Abe T. *et al.* 特許番号 US 8,846,963 B2.）。

<留意点>

- ✓ 3-MCPDE や GE の生成を抑制するために有効な精製条件を検討する際には、対象油種や自社の装置、製品として求められる品質等を考慮することが必要である。
- ✓ 選択する精製方法や条件により、歩留まり等が低下する場合があるので、コスト面を含めて条件を検討する必要がある。

4.1.3 脱ガム

粗油に含まれる 3-MCPDE の前駆体を低減するため、以下の対策が有効です。

【植物油・魚油】 【3-MCPDE のみ】

- 脱ガム時の酸性度を下げる（例：低濃度のリン酸、クエン酸やその他の酸、又は水を用いて脱ガムする）

<解説>

① パーム油

- 3-MCPDE は酸性条件で生成しやすいとされている。
- 粗油の脱ガムを水または低濃度（例：0.2% (w/w)）のリン酸、クエン酸で行うと、脱臭時における 3-MCPDE の生成が抑制できるとの報告がある（図 8）。
- また、リン酸の濃度の調整や、リン酸と酸化カルシウムの組み合わせ、水の使用等、脱ガム時の酸性度を上げすぎない（pH を下げすぎない）ことが、脱臭時における 3-MCPDE の生成を抑制する効果を高めるとの報告もある（図 9）。
- 脱臭時における 3-MCPDE の生成を抑制するため、酸性度が低い条件で脱ガムを行う。

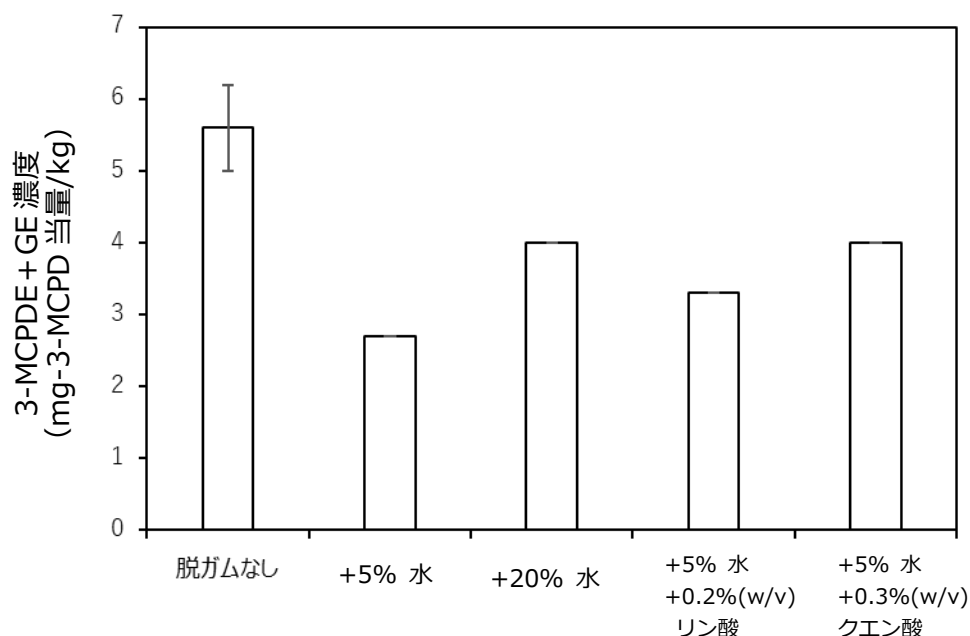


図 8 異なる条件で脱ガムしたパーム油の脱臭後の 3-MCPDE 及び GE の濃度
Pudel F. et al. 2011. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 113, 368-373. (農林水産省一部改変)

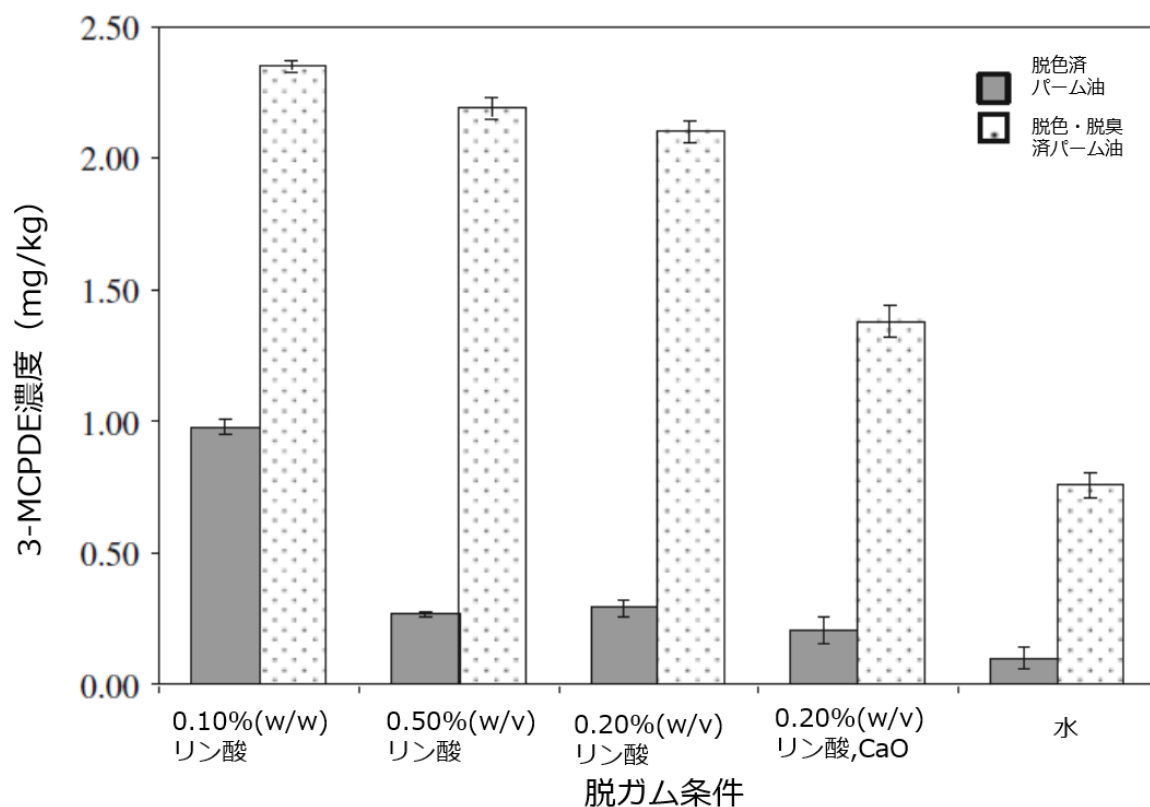


図9 異なる条件で脱ガムしたパーム油の脱臭後の 3-MCPDE 濃度※

Ramli R. M. *et al.* 2011. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 88, 1839-1844 (農林水産省一部改変)

※分析法は不明である。3-MCPDE のみを分析しているのではなく、3-MCPDE と GE の総濃度が示されている可能性がある。

② パーム油以外の植物油、魚油

➤ パーム油と同様に有効であるとされている。

<留意点>

- ✓ 製造施設内では、食品衛生法及び各自治体の条例で定められた基準に適合した水を使用する。
- ✓ 酸を加える際は、粗油の品質に応じて、ガム質を十分に除去するために必要な濃度となるよう留意する。

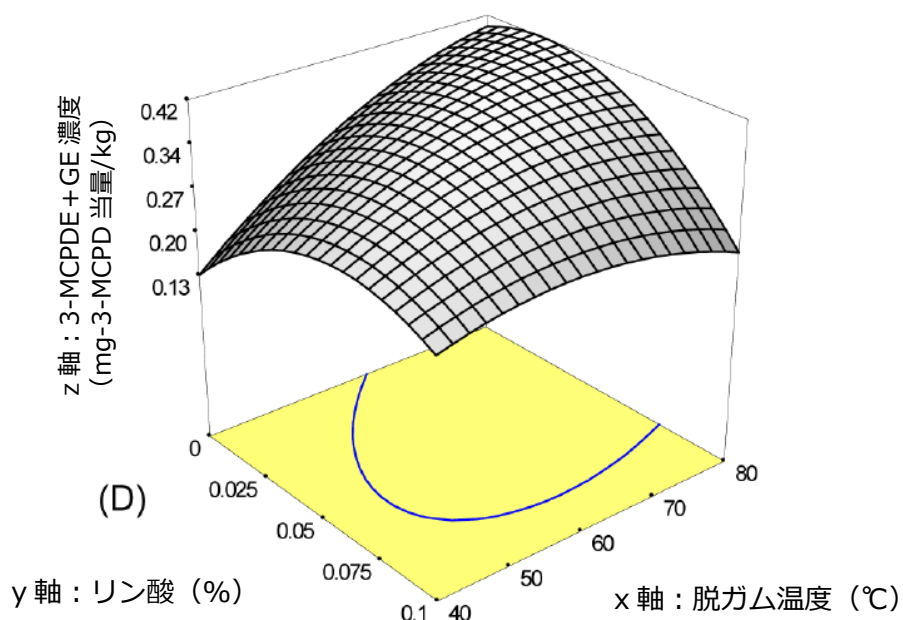
【植物油・魚油】 【3-MCPDE のみ】

● 脱ガム時の温度を下げる

<解説>

① パーム油

- 脱ガム時の温度が、脱臭時の 3-MCPDE と GE の合計濃度の上昇に影響を与えらるとの報告がある（図 10）。
- 脱臭時の 3-MCPDE や GE の生成を抑えるため、脱ガム時の温度を下げる。
- ただし、Codex 委員会の実施規範（CXC 79-2019）では、この措置は 3-MCPDE のみを低減させると記述されている。



脱ガム時の温度を下げ（x 軸の値が小さい）、酸性度を下げる（y 軸の値が小さい）と 3-MCPDE+GE 濃度が低下した（z 軸の値が小さい）。特に低酸性度の脱ガムでは温度が低いほど 3-MCPDE+GE 濃度が低くなった。

図 10 脱ガム条件（温度・リン酸濃度）と脱臭後の 3-MCPDE 及び GE 濃度

Zulkurnain M. *et al.* 2013. *J. Agri. Food Chem.*, 61, 3341-3349.（農林水産省一部改変）

② パーム油以外の植物油、魚油

- パーム油と同様に有効であるとされている。

<留意点>

- ✓ 脱ガム時の最適温度は植物油の種類など数多くの要因が関わるため、下げ過ぎないよう留意する。

4.1.4 中和

粗油中に含まれる 3-MCPDE や GE の前駆体を低減するため、以下の対策が有効です。

【植物油・魚油】 【3-MCPDE 及び GE】

- 物理的精製に替えて、中和などによる化学的手段により精製する（化学的精製）

<解説>

① パーム油

- 粗油中の塩素を含む化合物等の前駆体や遊離脂肪酸を低減するため、化学的精製（粗油に水酸化カリウム又は水酸化ナトリウムを加えて遊離脂肪酸を中和する工程を含む）を行う（図 11）。
- その上で、脱臭温度を下げることにより、3-MCPDE 及び GE の生成を抑制できる。

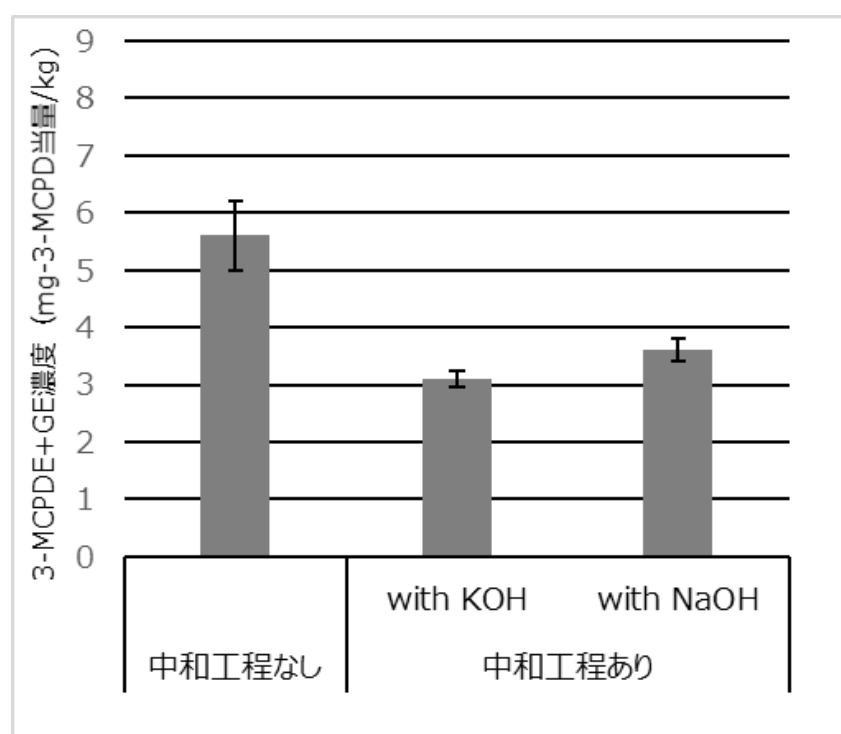


図 11 中和の有無による加熱後の 3-MCPDE 及び GE の濃度の変化

Pudel F. *et al.* 2011. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 113, 368-373. (農林水産省改変)

② パーム油以外の植物油、魚油

- パーム油と同様に有効であるとされている。
- 高オレイン酸ひまわり油においては、ナトリウム塩よりカリウム塩を使う中和のほうが 3-MCPDE の低減効果が高いとの報告がある（図 12）。

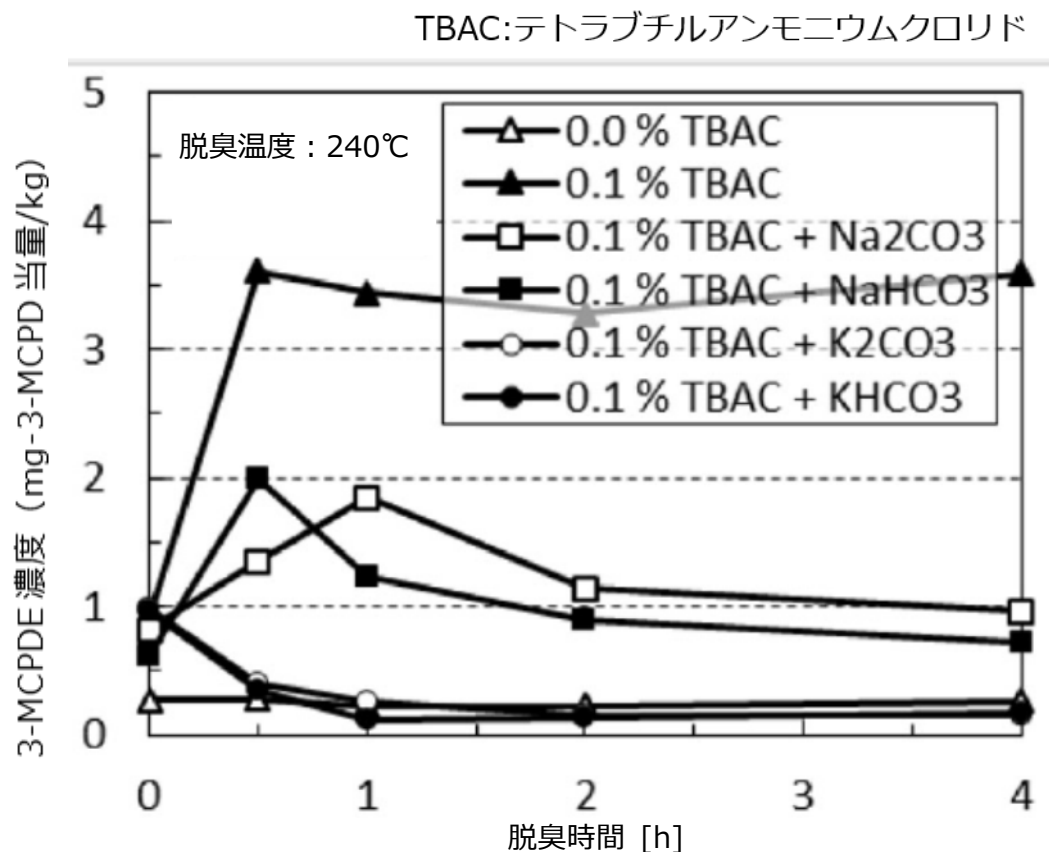


図 12 中和条件が異なる高オレインひまわり油の脱臭後の 3-MCPDE 濃度

Jan Š. et al. 2016. *Food Chem.*, 211, 124–129. （農林水産省一部改変）

<留意点>

- ✓ アルカリの使用及びその後の洗浄によって歩留まりが低下するため、それを防ぐための条件の検討が必要である。
- ✓ 添加するアルカリ水溶液と洗浄液から、塩素を含む化合物を可能な限り除去する。
- ✓ 廃水処理が必要なため、物理的精製と比較して環境への負荷が高まる可能性がある。
- ✓ 脱臭温度を下げることで、油脂中の望ましくない揮発性物質（遊離脂肪酸、色素、汚染物質）の除去が不十分になったり、風味の変化等により食品としての品質が低下したりする可能性がある。そのため、脱臭温度を変更する際は、必要に応じ、これらの事項への影響を確認する。