

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。

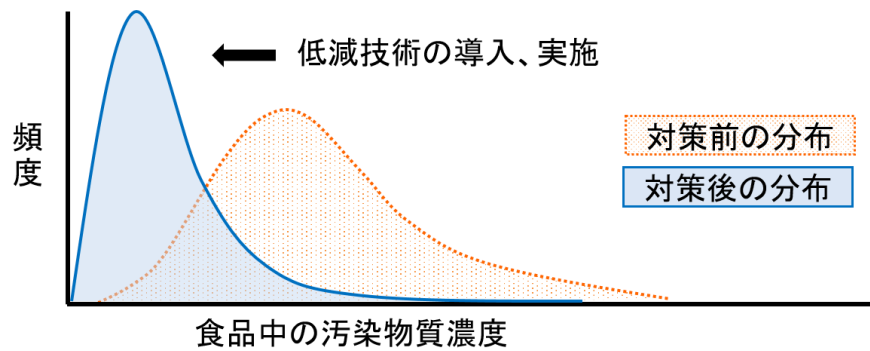


図1 有効な低減技術の導入と食品中の化学物質濃度分布の関係（模式図）（農林水産省作成）

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.）。

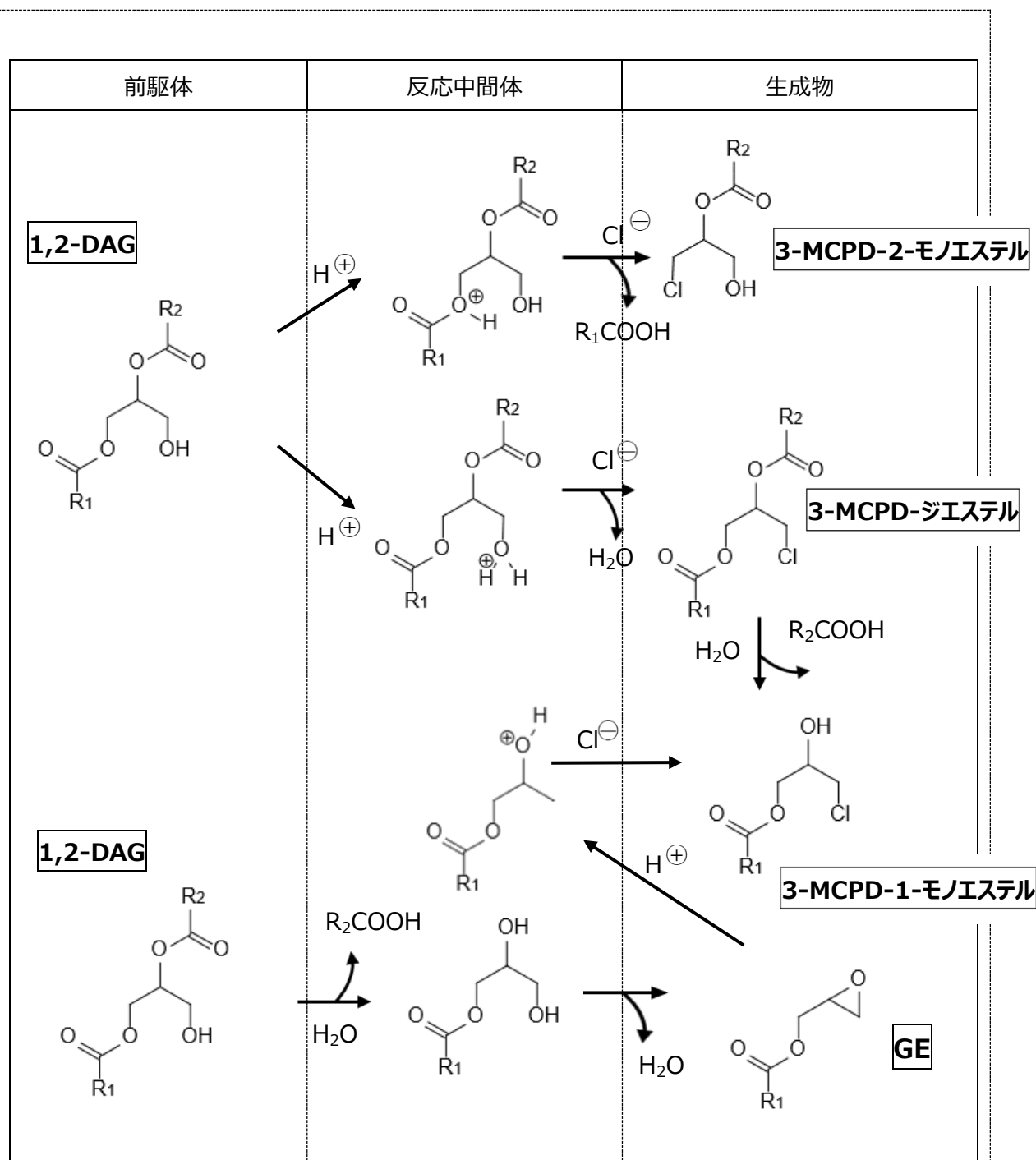


図2 3-MCPDE や GE の生成経路の例

Yao Y. et al. 2019. *J. Agric. Food. Chem.*, 67, 2700-2708.

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。

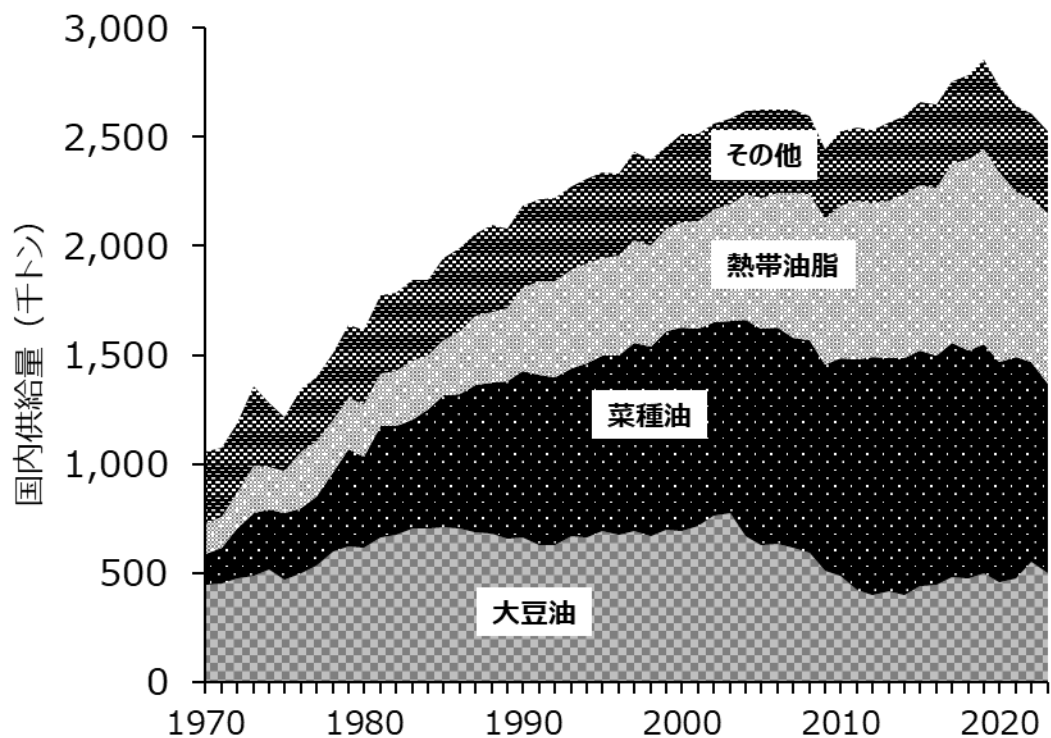


図 国内の植物油供給量の推移

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。

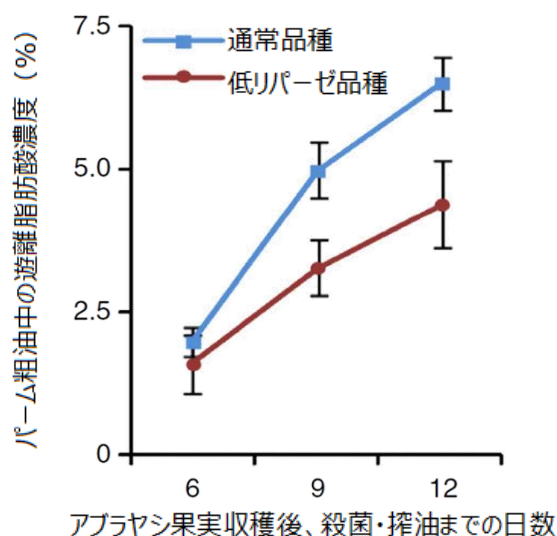


図 3 アブラヤシ果実収穫後の殺菌・搾油までの日数と粗油中の遊離脂肪酸濃度

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。

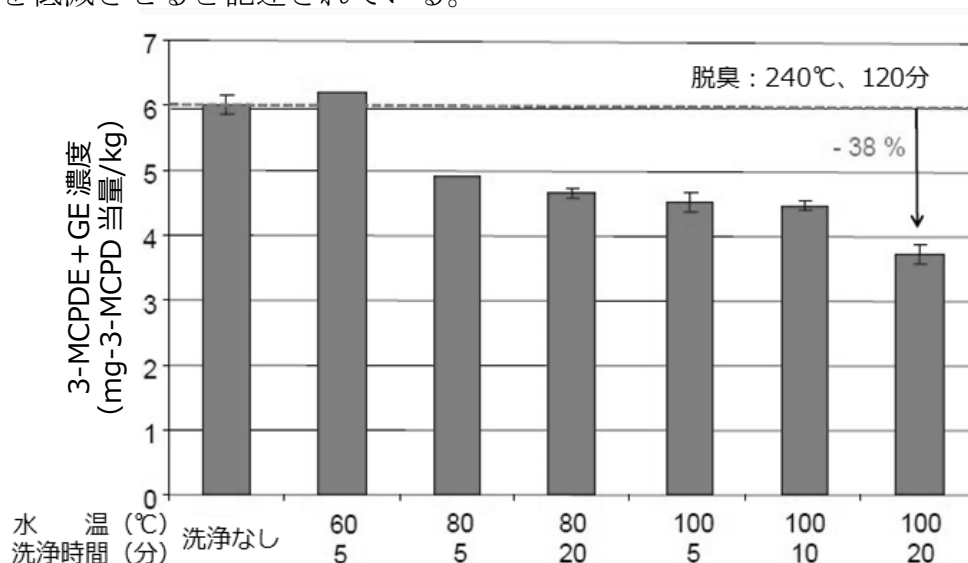


図 4 異なる条件で洗浄したパーム粗油の脱臭後の 3-MCPDE 及び GE の濃度

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。

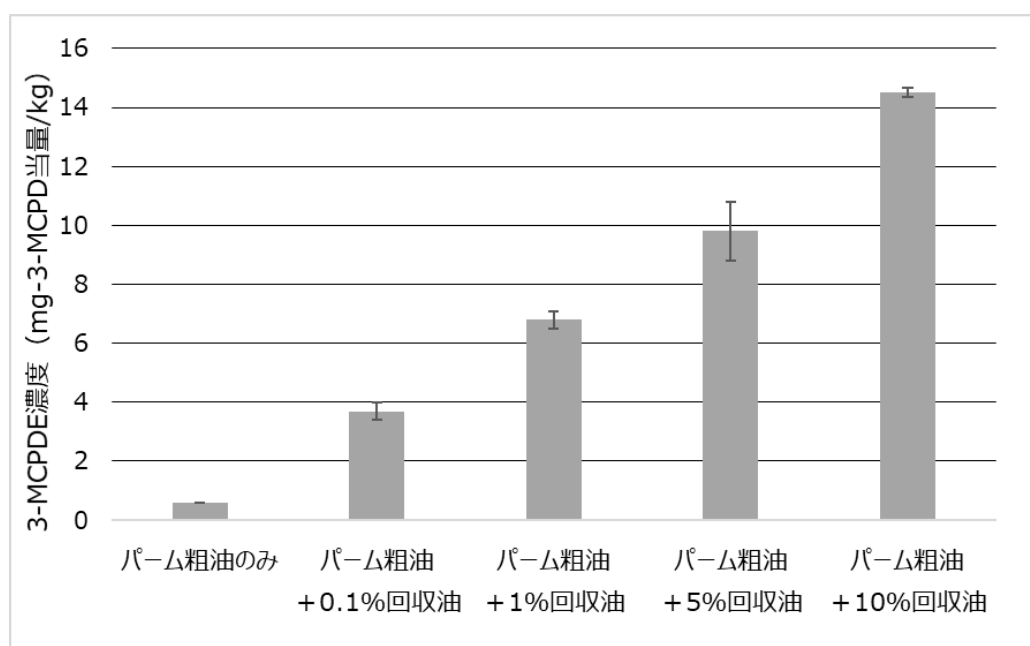


図 5 パーム粗油に加えた回収油の比率と脱臭後の 3-MCPDE 濃度

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。

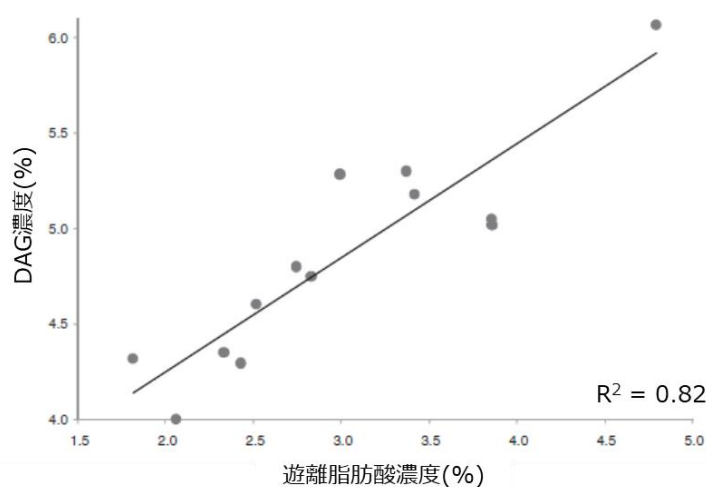


図 6 パーム粗油中の遊離脂肪酸濃度と DAG 濃度の相関

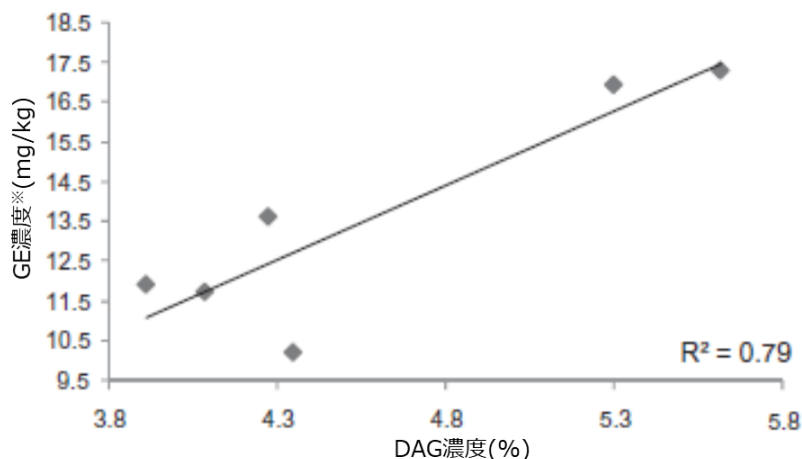


図 7 精製パーム油中の DAG 濃度と GE 濃度の相関（特定の精製事業者の製品）

※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、水のみを使用等、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。

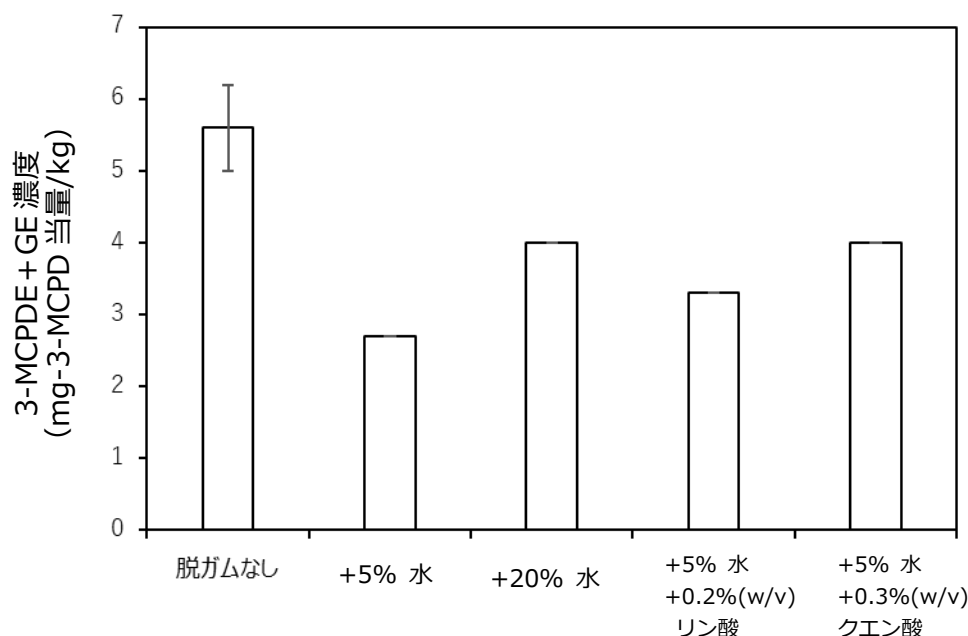


図 8 異なる条件で脱ガムしたパーム油の脱臭後の 3-MCPDE 及び GE の濃度
Pudel F. et al. 2011. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 113, 368-373. (農林水産省一部改変)

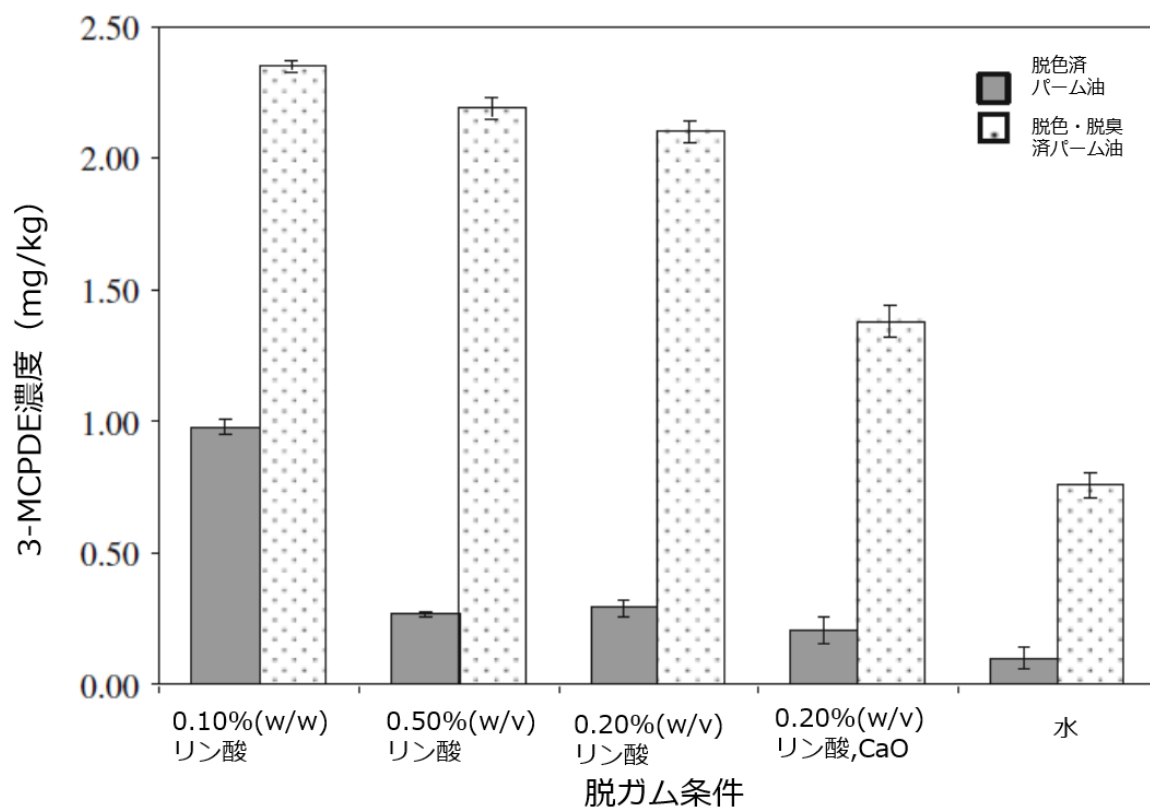


図9 異なる条件で脱ガムしたパーム油の脱臭後の 3-MCPDE 濃度※

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。

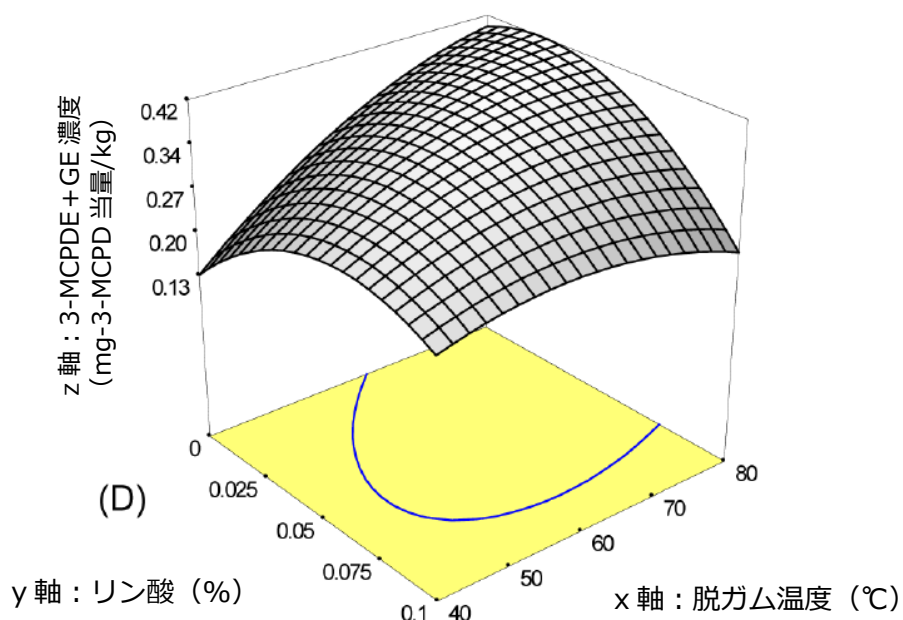
【植物油・魚油】 【3-MCPDE のみ】

● 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
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。

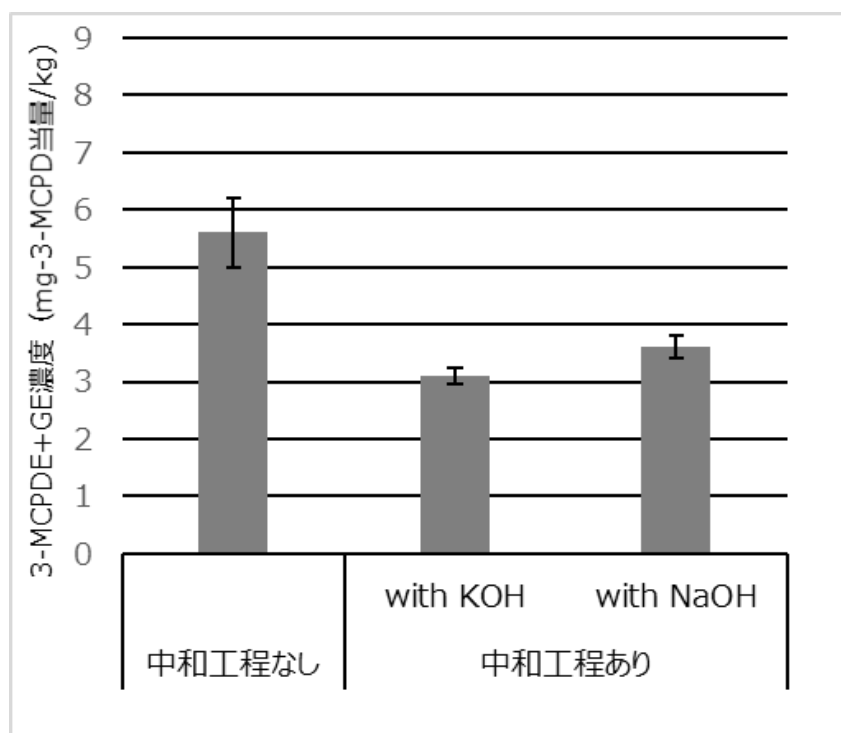


図 11 中和の有無による加熱後の 3-MCPDE 及び GE の濃度の変化

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）。

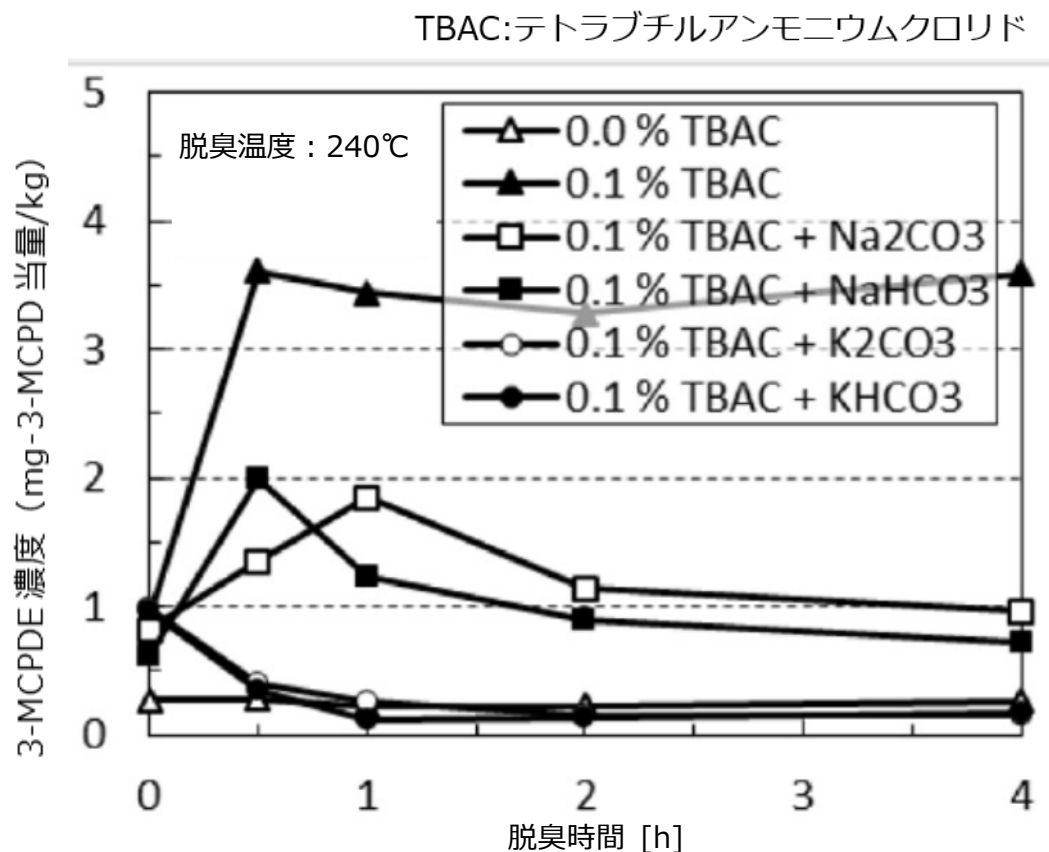


図 12 中和条件が異なる高オレインひまわり油の脱臭後の 3-MCPDE 濃度

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。

4.1.5 脱色

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。

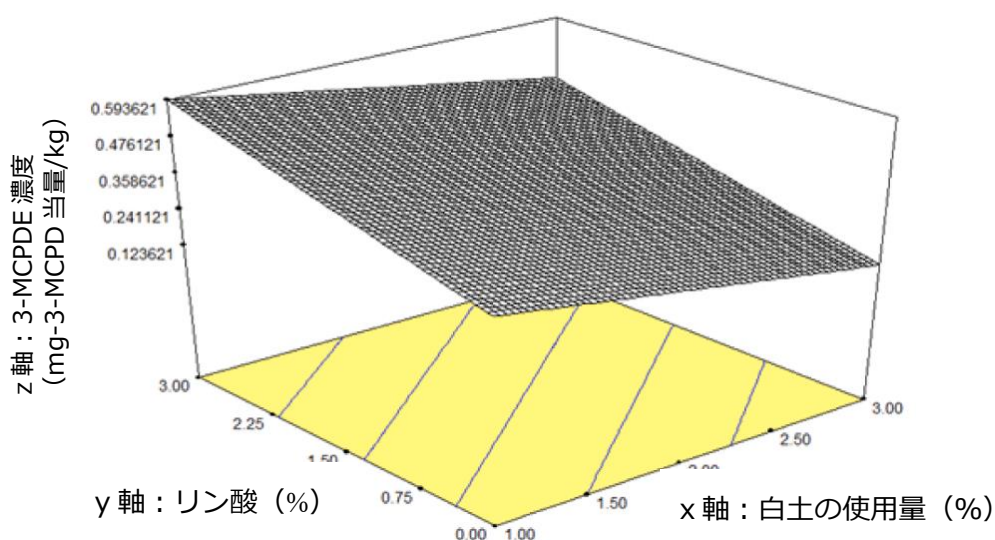
【植物油・魚油】 【3-MCPDE のみ】

- 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）

<解説>

① パーム油

- 色素に加え、3-MCPDE の前駆体を除去し、脱臭時における 3-MCPDE の生成を抑制するため、多量の白土でパーム粗油を脱色する（図 13）。
- GE の生成は、白土の使用量を増やしても抑制されないことが報告されている。



白土の使用量を増やす（x 軸の値が大きい）と 3-MCPDE 濃度が低下した（z 軸の値が小さい）。
なお、この図はリン酸濃度が低い（y 軸の値が小さい）脱ガムとの組合せが最も低減効果が高いことを示している。

図 13 白土の使用量と脱臭後の 3-MCPDE 濃度

Sim B. I. *et al.* 2020. Food Chem. 328. 127147.（農林水産省一部改変）

② パーム油以外の植物油、魚油

- パームと同様に有効であるとされている。

<留意点>

- ✓ 使用する白土の塩素を含む化合物の濃度が低いことを確認する。
- ✓ 白土の使用量が増加すると、費用が増加したり油脂の歩留まりが低下したりする。

（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、白土の添加量を変えて脱色することにより（0.5%、1%、2%（w/w））、白土の添加量に応じ脱臭（250℃、60 分）時の 3-MCPDE の生成を抑制することができた（表 3）。なお、本検証では GE の生成の抑制は確認されなかった。このため、当初、本項の①では「3-MCPDE や GE」と併記していたが、改訂に伴い GE の記載は削除した。

表 3 白土の添加量と脱臭後のパーム油中の 3-MCPDE 濃度及びGE濃度

白土添加量※ ¹ (%)	3-MCPDE 濃度※ ² (3-MCPD 当量) (mg/kg)	GE 濃度 (グリシドール当量) (mg/kg)
0	2.0	7.9
0.5	0.6	12
1.0	0.5	8.6
2.0	0.3	11

※1 パーム粗油を脱ガムした油を 3 条件の添加量の白土（pH3.0）で脱色し、250℃で 60 分脱臭

※2 n=6（3 社×2 併行、白土なし）または n=4（2 社×2 併行、白土あり）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 のみ】

- 酸性度を下げるため、中性に近い白土を使用する

<解説>

① パーム油

- 酸性度が高い(pH が低い)白土を使用して粗油を脱色すると、脱臭後の 3-MCPDE 濃度が高くなる傾向にある(図 14)。
- 脱臭時における 3-MCPDE の生成を抑制するため、中性に近い白土を使用する。

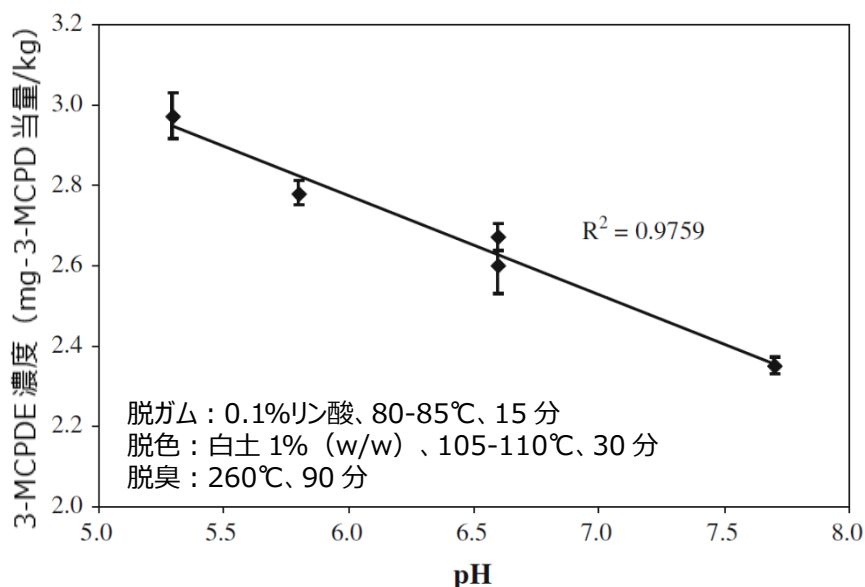


図 14 粗油の脱色に用いる白土の pH と脱臭後の 3-MCPDE 濃度

Ramli R.M. *et al.* 2011. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 88, 1839-1844.

(農林水産省一部改変)

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>

- ✓ 一般的に pH 3~10 程度の白土が流通しているが、色素成分の除去効率は酸性度が高い白土の方がよい(少ない白土使用量で除去できる)。
- ✓ 油脂の精製には、食品添加物として認可を受けている白土を使用する必要がある。
- ✓ 白土の選択にあたり、3-MCPDE の低減効果だけでなく、食品としての品質及び歩留りを含めたコストへの影響の確認が必要である。

（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

パーム粗油を脱ガム処理した油を、pH の異なる白土で脱色することにより、脱臭（250℃、60 分）時の 3-MCPDE の生成を抑制でき、その効果は白土（pH 10.3）＞白土（pH 3.0）＞白土（pH 5.3）の順で大きくなった。また、こめ油を酸性度の異なる白土で脱色することにより、脱臭（250℃、60 分）時の 3-MCPDE の生成が、白土（pH 3.0）＞白土（pH 10.3）の順で抑制することができた。一方、コーン油では白土の pH の違いによって 3-MCPDE の生成に差はみられなかった（表 4）。

表 4 白土の種類と脱臭後の油中の 3-MCPDE 濃度

油種	白土の種類※ ¹	3-MCPDE 濃度※ ² (3-MCPD 当量) (mg/kg)
パーム油	白土処理なし	2.0
	白土（pH 3.0）	0.3
	白土（pH 5.3）	0.4
	白土（pH 10.3）	0.2
こめ油	白土（pH 3.0）	0.7
	白土（pH 10.3）	1.0
コーン油	白土（pH 3.0）	0.3
	白土（pH 10.3）	0.3

※¹ パーム粗油を脱ガムした油、こめ脱酸油及びコーン脱酸油を 2 または 3 種類の白土 2%（w/w）を用いて脱色し、250℃で 60 分脱臭

※² パーム油は n=6（3 社×2 併行、白土なし）または n=4（2 社×2 併行、白土あり）、こめ油及びコーン油は 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））

4.1.6 脱臭

3-MCPDE や GE の生成を抑えるため、以下の対策が有効です。

【植物油・魚油】 【3-MCPDE 及び GE】

- 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）

<解説>

- 3-MCPDE は加熱初期段階（160-200℃以上）で、GE は 200℃以上で生成しはじめる。これらの物質の生成には、油脂の精製工程のうち脱臭工程での寄与が大きい。

① パーム油

- 3-MCPDE や GE の生成を抑えるため、脱臭温度を下げる。特に、GE については、温度を下げることによる低減効果が顕著である（図 15）。

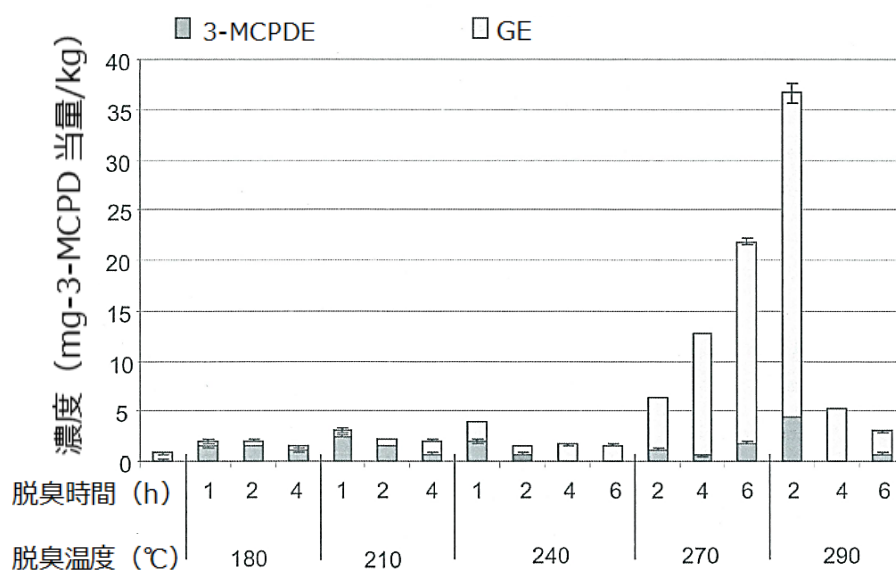


図 15 異なる温度・時間で脱臭したパーム油中の 3-MCPDE 及び GE の濃度

Matthaus B. & Pudiel F. 2013. *Lipid Technol.*, 25(7), 151-155.

(農林水産省一部改変)

- また、脱臭温度が 230℃以下であれば、GE 濃度は脱臭が長時間になってもほとんど上昇しない。240℃、260℃と温度が上昇するにしたがって、GE の生成速度及び生成量は増加する（図 16）。

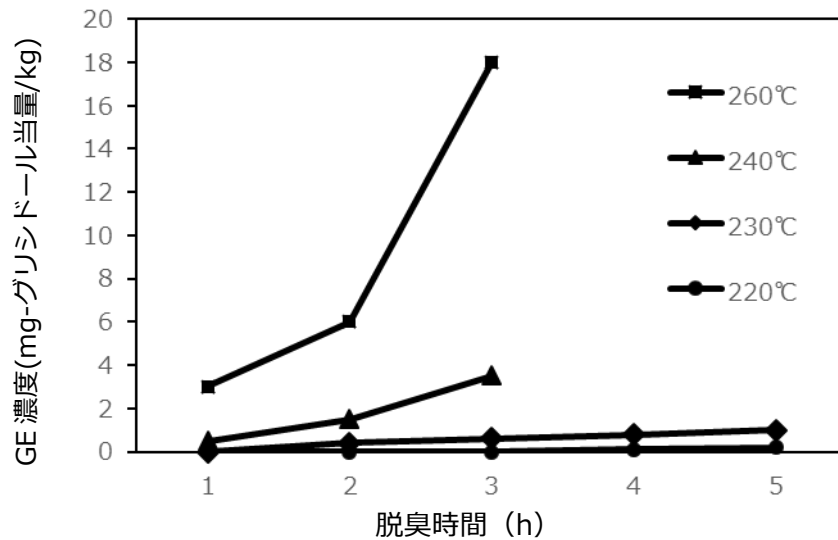


図 16 異なる温度・時間で脱臭したパーム油中の GE 濃度

Espinosa. 2017. 17th AOCS Latin American Congress September 11-14, 2017, Cancun, Mexico (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。
- 魚油については、DHA や EPA の分解を防ぐため、植物油の場合よりやや低めの温度での脱臭が必要である。

<留意点>

- ✓ 脱臭温度を低下させることで、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、風味の変化等によって、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。
- ✓ 脱臭条件は、温度だけでなく、時間、真空度により規定される。自社の製造施設の状況や、望まれる最終製品の品質を考慮して、脱ガム・中和・脱色工程における条件との組合せも考慮しつつ、最適な脱臭条件を決定する。

（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

こめ油及びコーン油の脱臭温度を下げることにより、3-MCPDE 及び GE 濃度を低減することができた。特に、GE は低減が顕著であった。また、油中のトランス脂肪酸と GE の濃度には正の相関が認められた（表 5）。

表 5 異なる温度で脱臭したこめ油及びコーン油中の 3-MCPDE 濃度及び GE 濃度

油種	脱臭温度※ ¹ (°C)	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)	トランス脂肪酸※ ² (%)
こめ油	210	0.4	0.2	<0.1
	230	0.4	0.5	0.1
	250	0.5	2.4	0.5
コーン油	210	0.1	<0.1	<0.1
	230	0.1	0.3	0.2
	250	0.4	1.4	0.7

※¹ こめ油及びコーン油の脱色油を表中の 3 条件の脱臭温度で 60 分脱臭して得た脱臭油

※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・魚油】 【3-MCPDE 及び GE】

● 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

<解説>

① パーム油

- 脱臭温度を低温にすることによる揮発成分の残留や品質への影響を低減しつつ、3-MCPDE 及び GE の生成を抑制するため、高温短時間の脱臭と低温長時間の脱臭を組み合わせる。
- 高温短時間の脱臭と低温長時間の脱臭の組み合わせについては、先に低温長時間の脱臭をする方が、低減効果が高いとの報告がある（図 17）。

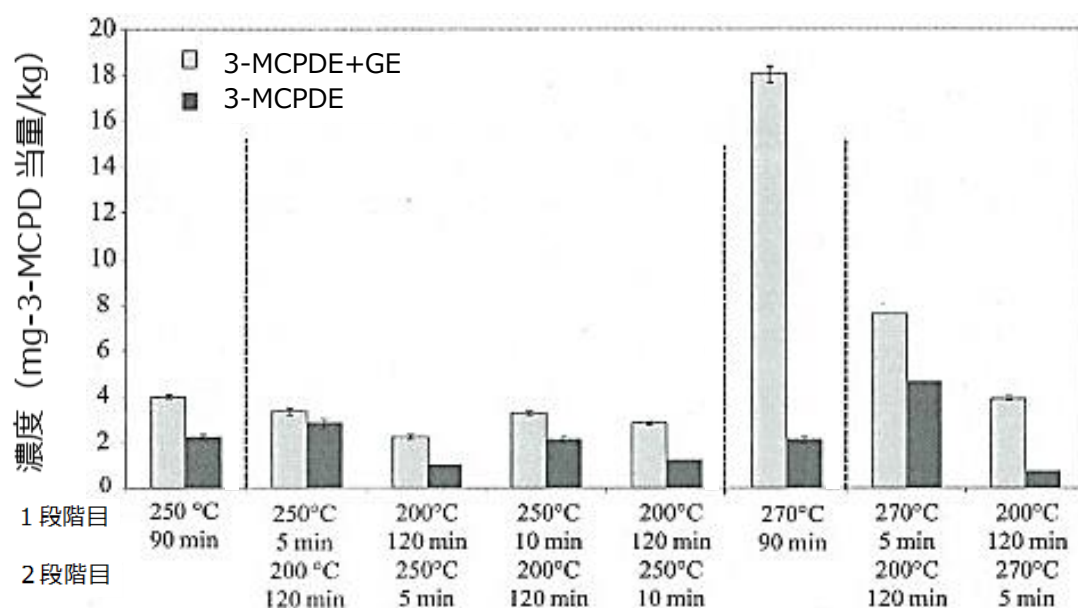


図 17 2 段階脱臭したパーム油中の 3-MCPDE 及び GE の濃度

Matthaus B. & Pudiel F. 2013. *Lipid Technol.* 25(7), 151-155. (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>

- ✓ 脱臭を 2 回実施できる装置を保有している事業者のみ実施可能である。自社の装置の性能を勘案した上で、温度、時間、真空度など脱臭条件の検証を十分に実施し、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、風味への影響の程度を確認する。
- ✓ 脱ガム・中和・脱色の条件との組合せも考慮しつつ、最適な脱臭条件を決定する。

【植物油・魚油】 【GEのみ】

- 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

<解説>

- 真空下では、油脂中の揮発性成分の沸点が下がり、低温での脱臭が可能となる。
- 脱臭温度を下げて GE の生成を抑制するため、真空装置を用いて脱臭時の圧力を下げる。

① パーム油

- 脱臭時には GE の生成と除去が同時に起きているが、圧力を下げることで GE を多く除去することができるため、高真空下では脱臭温度が同じでも GE 濃度が低くなる（図 18）。

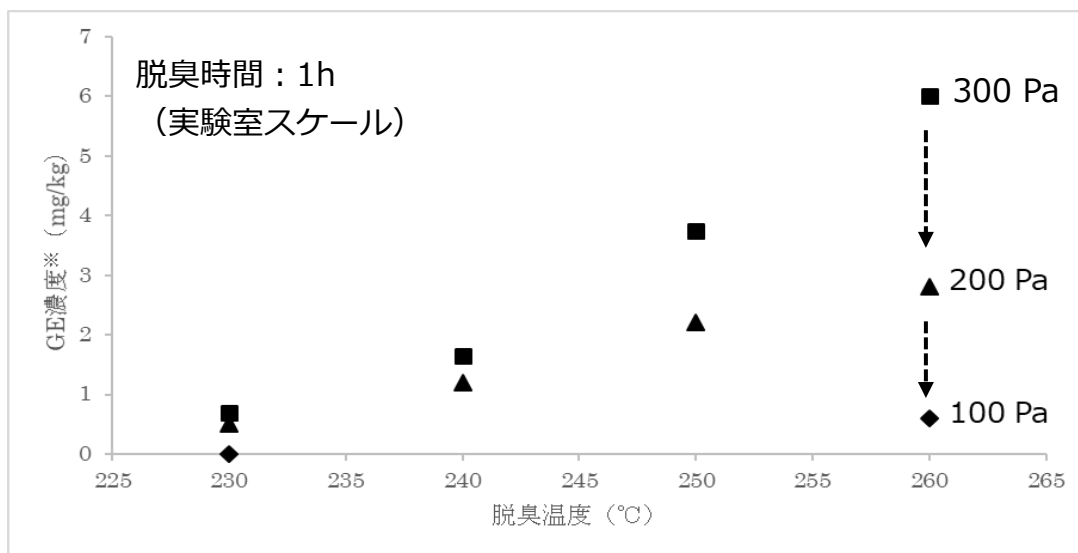


図 18 圧力（真空度）を変えて脱臭したパーム油中の GE 濃度※

Espinosa. 2017. 17th AOCS Latin American Congress September 11-14, 2017, Cancun, Mexico.
(農林水産省一部改変) ※分析法は不明。

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>

- ✓ 圧力を下げすぎると、トコフェロール（ビタミン E）も除去されてしまうため、栄養特性や酸化安定性への影響を考慮する必要がある。

【魚油】 【3-MCPDE 及び GE】

● 薄膜（短行程）蒸留を行い、低温で脱臭する

<解説>

- 油脂を真空下で薄膜化して表面積を増やすことで、揮発性成分を効率的に除去することができる。
- 3-MCPDE や GE の生成を抑制するため、低温短時間で脱臭可能な薄膜（短行程）蒸留を行う。
- パイロットスケールではパーム油で有効であるとの報告がある（図 19）。処理できる油脂量は少ないため、魚油などへの適用が可能である。

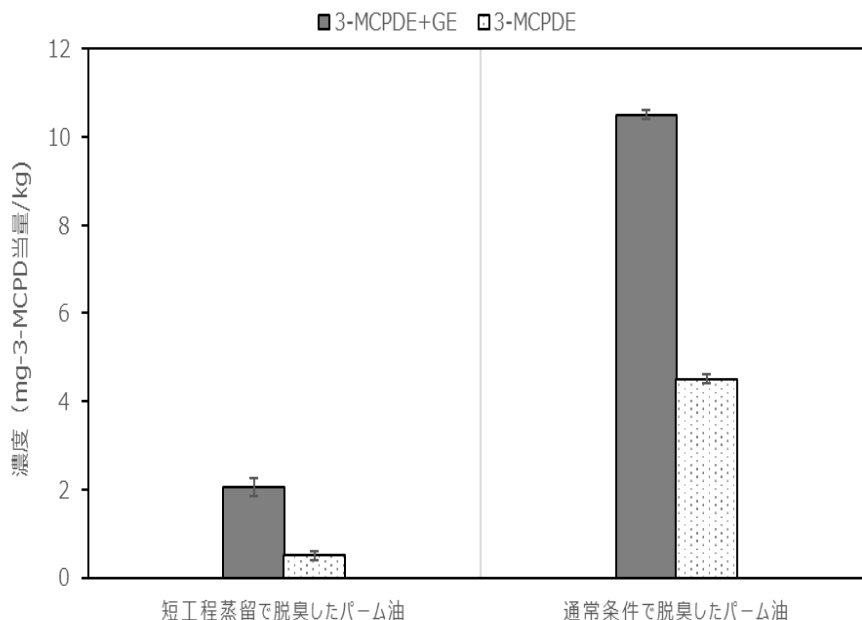


図 19 短行程蒸留及び通常条件で脱臭したパーム油中の 3-MCPDE 及び GE 濃度

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

<留意点>

- ✓ 薄膜（短行程）蒸留で脱臭したパーム油は、条件によっては十分に色素が除去されないため赤色を呈したり、風味が劣ったりする可能性がある（表 6）。
- ✓ 薄膜（短行程）蒸留の後に、さらに 160-180℃程度の低温での脱臭処理をするなどの措置が必要である。

表 6 各種条件を変えて薄膜蒸留したパーム油中の 3-MCPDE 及び GE 濃度

試料※	脱臭温度 (℃)	真空度 (Pa)	蒸発面の 油供給速度 ($\times 10^{-3}$ L/h $\cdot$ cm ³)	MCPDE (mg-3-MCPD 当量/kg)	GE (mg-グリシド ール当量/kg)	酸価	色値 (Y+10×R)
RBD パーム油	-	-	-	2.2	0.6	0.05	28
例 1	210	0.01	7.20	1.9	0.1	0.03	28
例 2	230	0.01	7.20	1.5	0.1	0.02	28
例 3	270	0.01	7.20	1.1	0.1	0.02	28
例 4	290	0.02	7.20	0.4	0.1	0.02	38

※ RBD パーム油：脱ガム・脱色・脱臭工程を経た油脂。（詳細条件不明）

例 1 ～ 例 4：RBD パーム油を、表中の条件で薄膜蒸留した油脂。

Kozui H., 2017. 特許番号 WO 2017/154638 A1（農林水産省一部改変）

4.1.7 精製後の処理

脱臭時に生成した 3-MCPDE や GE を低減するため、以下の対策が有効です。

GE については、240℃の加熱処理により一度生成しても、その後 180℃で処理すると減少することが報告されています (Shimizu M. *et al.* 2013. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 90, 1449-1454.)。

【植物油】 【GE のみ】

● 脱臭後の油を活性白土で処理する
● 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）

<解説>

① パーム油

- GE は、白土処理によって化学的に MAG に変換されるとの報告がある（表 7）。
- 1 回目の脱臭で生成した GE を低減するため、脱色・脱臭した油脂を再度脱色（白土処理）する。

表 7 脱色・脱臭後に再度活性白土で脱色したこめ油・パーム油中の各種 GE 濃度の変化 (n=2)

	こめ油中の濃度 (mg/kg)		パーム油中の濃度 (mg/kg)	
	処理前	処理後	処理前	処理後
パルミチン酸グリシジル	0.9-0.9	<0.1	2.1-2.2	<0.1
オレイン酸グリシジル	3.9-3.9	<0.1	5.3-5.4	<0.1
リノレン酸グリシジル	3.3-3.4	<0.1	1.7-1.7	<0.1

Shimizu M. *et al.* 2012. *J. Oleo Sci.*, 61 (1), 23-28. (農林水産省一部改変)

- 一方、白土処理をすると、多くの場合、白土に由来する匂いが油脂につくため、再度脱臭が必要となる。再脱臭を高温（260℃）で行うと GE は再度生成するが、1 回目よりも低温で脱臭することで、GE の生成を抑えることができる（4.1.6 参照、表 8）。

表 8 RBD パーム油を異なる温度で再脱臭したパーム油中の GE 濃度

	GE 濃度 (mg-グリシドール当量/kg)	
RBD パーム油	4.3	
再脱色後 活性白土 0.5%(w/w) 110℃、30 分	0.1	
再脱色（上記条件）及 び再脱臭後 圧力：300 Pa 230℃/260℃、60 分	(230℃で再脱臭) 0.3	(260℃で再脱臭) 2.8

Espinosa. 2017. 17th AOCS Latin American Congress. (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>

- ✓ 再脱色・再脱臭を行うことで、手順が増えたり装置の変更が必要になったりするため、コストが増大する可能性がある。
- ✓ 再脱臭の条件によっては、再度 GE が増加する可能性があることから、最終製品中の GE 濃度を確認することが望ましい。
- ✓ pH の低い白土での処理によって、3-MCPDE 濃度の上昇（4.1.5 参照）、酸価の上昇やトコフェロール含量の低下など品質への影響がみられる可能性があるため、留意が必要である。

(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

RBD パーム油及び RBD パームオレインを、pH 3.0 又は pH 5.3 の白土で処理することにより、GE を低減することができた（表 9）。

表 9 白土処理した RBD パーム油中の GE 濃度

油種	白土の種類※ ¹	GE 濃度※ ² (グリシドール当量) (mg/kg)
RBD パーム油	白土処理なし	6.5
	白土 (pH 3.0)	<0.1
	白土 (pH 5.3)	<0.1
RBD パームオレイン	白土処理なし	7.8
	白土 (pH 3.0)	<0.1
	白土 (pH 5.3)	<0.1

※ 1 RBD パーム油及び RBD パームオレインを 2 種類の白土 2%を用いて脱色

※ 2 n=6 (3 社×2 併行) の平均値

対照区の温度 (250℃) から脱臭温度 (1 回目) を下げることににより、3-MCPDE 及び GE の生成を抑制することができた。加えて、脱臭後のこめ油及びコーン油を再脱色したところ、脱臭時に生じた GE を低減することができた。さらに、再脱臭時 (2 回目) の温度 (230℃と 210℃) で比較したところ、210℃の方が GE の生成を抑制することができた (表 10)。本検証では、3-MCPDE は 1 回目の脱臭温度を 210℃に低下させた後、再脱色を実施し、加えて、230℃で再脱臭を実施することにより、また、GE は 1 回目の脱臭温度を 230℃に低下させた後、再脱色を実施し、加えて、210℃で再脱臭を実施することにより、生成を最も抑制することができた。

表 10 異なる時間・温度で再脱臭したこめ油及びコーン油中の 3-MCPDE 及び GE 濃度

油種	脱臭及び脱臭後処理条件※ 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)
こめ油	脱臭 (250℃・60 分)	0.5	1.9
	脱臭 (230℃・60 分)	0.4	0.5
	↓		
	再脱色 (白土 1%)	0.4	<0.1
	↓		
	再脱臭 (210℃・30 分)	0.5	0.2
	脱臭 (210℃・60 分)	0.5	0.1
	↓		
コーン油	再脱色 (白土 1%)	0.4	<0.1
	↓		
	再脱臭 (230℃・30 分)	0.4	0.5
	脱臭 (250℃・60 分)	0.5	2.1
	脱臭 (230℃・60 分)	0.2	0.3
	↓		
	再脱色 (白土 1%)	0.2	<0.1
	↓		
コーン油	再脱臭 (210℃・30 分)	0.3	0.1
	脱臭 (210℃・60 分)	0.2	0.2
	↓		
	再脱色 (白土 1%)	0.1	<0.1
	↓		
	再脱臭 (230℃・30 分)	0.2	0.3

※¹ こめ油及びコーン油の脱色油を表中の脱臭及び脱臭後処理条件で処理

※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】

- 脱色、脱臭の後の油に薄膜（短行程）蒸留を行う

<解説>

- 脱臭時に、より高温かつ長時間で加熱する（熱履歴が大きい）ほど、3-MCPDE や GE（特に GE）が生成しやすくなる。
- 一度生成した 3-MCPDE や GE を低減するため、脱色、脱臭後の油を、高真空下（5 Pa 以下）で薄膜にした油脂と水蒸気を接触させる薄膜（短行程）蒸留を行う（Bruse F. *et al.* 2015. 特許番号 WO2015073359.）。

【中鎖脂肪酸油】 【3-MCPDE 及び GE】

- 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

<解説>

- 3-MCPDE を含む中鎖脂肪酸油を、高温（例：80-275℃）下で、炭素鎖が 2～24 の脂肪酸と塩基（例：炭酸カリウム）で処理する（例：200 ～ 20,000 mg/kg）と、カルボキシル陰イオンが生じ、その作用により 3-MCPDE を MAG、DAG、TAG に、GE を DAG に変換できるとの報告がある（Rongione JC. & Galanta JH., 2013. 特許番号 US9051260 B2.）。
- 一度生成した 3-MCPDE や GE を低減するため、中鎖脂肪酸油に脂肪酸及び塩基を加える。

【植物油】 【GE のみ】

- 脱臭後の油に無機酸（リン酸等）等を添加し洗浄処理する。

<解説>

① パーム油

- パーム油の脱臭後の油をリン酸で洗浄処理すると、脱臭時に生成した GE が低減するとの報告がある（表 11）。
- リン酸処理と水酸化ナトリウム処理とを組み合わせても GE の低減が見られている。
- 水酸化ナトリウム単独の処理では低減されない。

表 11 リン酸及び水酸化ナトリウムで処理したパーム油中の GE 濃度

試料※ ¹	GE 濃度※ ² (グリシドール当量) (mg/kg)
RBD パーム油	6.5
処理①リン酸処理	1.5
処理②リン酸＋水酸化ナトリウム処理	2.4
処理③水酸化ナトリウム処理	6.9
RBD パームオレイン	7.8
処理①リン酸処理	3.2
処理②リン酸＋水酸化ナトリウム処理	5.9
処理③水酸化ナトリウム処理	7.2

※1 処理①：RBD パーム油及び RBD パームオレインに、リン酸（85%）を 0.1%(w/w)加え 60 分攪拌した後、80℃の熱水を 15%(w/w)加えて洗浄し、遠心分離、減圧乾燥を行って得た油脂

処理②：RBD パーム油及び RBD パームオレインに、リン酸（85%）を 0.1%(w/w)加え 60 分攪拌した後、NaOH（15%）を 0.5+酸価中和相当量%(w/w)加え 60 分攪拌。80℃の熱水を 15%(w/w)加えて洗浄し、遠心分離、減圧乾燥を行って得た油脂

処理③：RBD パーム油及び RBD パームオレインに、NaOH（15%）を 0.5+酸価中和相当量%(w/w)加え 60 分攪拌した後、80℃の熱水を 15%(w/w)加えて洗浄し、遠心分離、減圧乾燥を行って得た油脂

※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）

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。

4.2 精製油を用いて製造する加工食品

精製油を用いて製造する加工食品中の 3-MCPDE や GE の低減のために、有効と考えられている対策例を紹介しています。対象となる加工食品には、体重当たりの食品消費量が多く、消費する食品の種類が少ない乳児のための食品のうち、Codex 委員会の実施規範や JECFA の評価書において低減が重要としている乳児用調製乳（調製粉乳及び調製液状乳を含む）も含まれます。食品の加工工程における 3-MCPDE や GE の増減については、さらなる知見の蓄積が必要であるため、製品の原料に用いる精製油の選定・使用の段階で 3-MCPDE や GE の低減対策を講じることが現実的です。

それぞれの対策の詳細について 4.2.1 で紹介します。

【対策例一覧】

4.2 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 原料に用い る精製油の 選定・使用	3-MCPDE 及び GE 濃度が低い精製油を原料として使用する	植物油全般 魚油	○	○	47
	最終製品中の精製油の量を減らす	植物油全般 魚油	○	○	48

※ 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。

4.2.1 製品の原料に用いる精製油の選定・使用

- 3-MCPDE や GE 濃度が低い精製油を原料として使用する

<解説>

- 最終製品中の 3-MCPDE や GE の濃度を低減するため、3-MCPDE や GE の濃度が元々低い精製油や低減対策（4.1 参照）が講じられた精製油を使用する。

<留意点>

- ✓ 加工食品の原料として使用する油を変更（同一油種における製品の変更や油種の変更を含む）した場合の食品の品質や構成成分（脂肪酸組成等含む）が、当該食品に関する規格基準を満たす必要がある。また、製造コストへの影響が許容範囲内であることを確認する。
- ✓ 乳幼児を対象とする調製粉乳や調製液状乳については、「乳及び乳製品の成分規格等に関する命令（昭和 26 年厚生省令第 52 号）」の規定を遵守する必要がある。

（参考）

乳児用調製乳では、原料として用いた精製油中の GE 濃度がそのまま最終製品中に反映されとは限らないとの報告がある。その要因として、乳児用調製乳の製造工程で、原料として用いた精製油中の GE が分解するなどの可能性が示唆されている。

（Beekman J. *et al.* 2020. *Food Addit. Contam. Part A*, 37(1), 48–60.）

● 最終製品中の精製油の量を減らす

＜解説＞

- 最終製品中の 3-MCPDE や GE の濃度を低減するため、製品への精製油の配合割合を減らす。

＜留意点＞

- ✓ 加工食品の原料として用いる油脂の量を減らせば、製造工程の変更が必要になったり、最終製品における①栄養成分の変化や、②風味、食感など嗜好性への影響が生じたりする可能性がある。そのため、原料油脂の配合割合を変更する場合、これらの影響が許容できる範囲であるかどうかを確認する。

（参考）油脂を用いた加熱調理による 3-MCPDE や GE の生成への影響

これまでの研究報告によれば、精製植物油を用いて食材を揚げたり、精製植物油を原料とする食品を焼いたりした場合、当該油の使用自体により 3-MCPDE や GE は生成しないものの、肉や魚など食材の種類によっては、3-MCPDE や GE が新たに生成することがあるとされています。しかし、そのメカニズムなど詳細については不明な点が多く、さらなる知見の蓄積が必要です。

<加熱調理による 3-MCPDE や GE の生成に関する報告の例>

【3-MCPDE や GE の濃度が減少した、又は増加しなかったとの報告】

- ・ ポテトチップスをパーム油で揚げた場合、揚げ温度が高く、揚げ時間が長くなると、揚げ油中の GE 濃度が減少 (Aniolowska M. and Kita A. 2016. *Food Chem.*, 203, 95-103.)
- ・ ポテトチップスを高オレインひまわり油で揚げた場合、揚げ時間によってポテトチップス中の油中の 3-MCPDE 及び GE 濃度は変化せず (Dingel A. *et al.* 2015. *Eur. Food Res. Technol.*, 241, 719-723.)
- ・ ポテトスナックやあられ、フライドポテト、コロッケ、魚フライ、チキンカツをパーム油又はこめ油で揚げた場合、こめ油を用いてチャーハンを調理した場合、パーム油を配合したクッキー、クラッカーを焼いた場合のいずれも、汎用的な加熱条件では、食品中の油中の 3-MCPDE 及び GE は増加せず (農林水産省, 2018. 安全な農林水産物安定供給のためのレギュラトリーサイエンス研究成果報告書; 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)

【3-MCPDE や GE の濃度が増加したとの報告】

- ・ 魚製品の予備的な揚げ工程で、揚げ油の使用期間が長くなると、食品中の 3-MCPDE 濃度が増加 (Merkle S. *et al.* 2018. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 120, 1700464)
- ・ 豚肉及び牛肉のパティをガス火でフライパンで調理すると、150℃での調理では GE が不検出であったが 250℃ではパティ中に GE が生成。また、豚肉、牛肉及び鶏肉のパティを炭火で焼くと、フライパン調理より高濃度でパティ中に GE が生成 (Inagaki R. *et al.* 2016. *J. Food Process Technol.*, 7(2), 1000557.)

- ・ ポテトチップスの揚げ工程で、揚げ温度が高く、揚げ油中の塩分濃度が高くなると、揚げ油中の 3-MCPDE や GE の濃度が増加 (Wong YH. *et al.* 2017. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 94, 759-765.)

5 食品中の 3-MCPDE や GE の濃度の分析とその結果の活用

食品中の 3-MCPDE や GE の低減対策の検討に活用するため、また講じた対策の有効性を検証するため、自社製品中の 3-MCPDE や GE の濃度を把握することを推奨します。

5.1 製品中の 3-MCPDE や GE の濃度の把握

導入すべき 3-MCPDE や GE の低減対策の検討のため、まず平常時のデータとして、通常の工程で製造した自社製品中の 3-MCPDE や GE の濃度の水準を把握することが必要です。

食品中の 3-MCPDE や GE の濃度は、同じような製品であっても、原料や製造工程の違い等の影響により、製造事業者や製造ロットごとに異なる可能性があります。このため、品質管理の一環として、実際に自社製品中の 3-MCPDE や GE の濃度を、分析等により把握することを推奨します。なお、当該食品の製造工程で、3-MCPDE や GE が新たに生成しないことが明らかな場合には、最終製品ではなく、原料として用いる油脂中の 3-MCPDE や GE の濃度を把握することも有効です。

食品中の 3-MCPDE や GE の濃度の分析には、ガスクロマトグラフ質量分析計（GC-MS）や液体クロマトグラフ質量分析計（LC-MS）などの分析機器に加え、試料の前処理、機器操作などを行う専門的能力を有する人材が必要です。また、科学的かつ客観的に信頼できるデータを得るためには、分析結果の品質を保証できる機関で分析することが不可欠です。そのため、自社で適切な分析ができない場合には、信頼できる分析機関に依頼することを推奨します。

食品中の 3-MCPDE や GE の濃度の分析には、複数試験室間で妥当性が確認された分析法を使用することが望まれます。ただし、自社での内部確認用（平常時との比較のみに用いる場合等）ではこの限りではありません。

分析法の選択にあたっては、当該分析に必要な費用だけでなく、利用可能な分析機器、分析操作の簡便性等についても考慮することが必要です。

なお、分析結果の解釈に当たっては、統計学的に予測されるばらつきの範囲内で分析値が得られているかどうかにも考慮しなければなりません。分析する濃度が低くなるほど、想定されるばらつきはより大きくなります。

（参考）分析法の妥当性確認に関するガイドライン

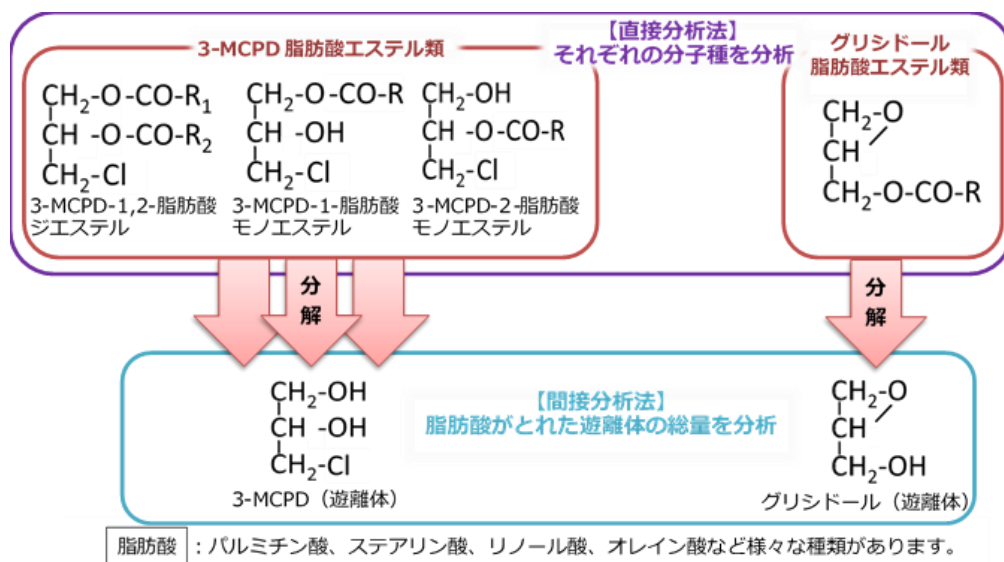
科学的に信頼できるデータを得るためには、いつ、どこで、誰が使っても同等の結果が得られることが証明（妥当性確認）された分析法の使用や、得られた生データの適切な統計解析が必須であることは世界の共通認識です。

農林水産省が公表したガイドラインに、分析結果のばらつきの考え方も含め、分析法の妥当性確認についての考え方が掲載されています。

https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/pdf/guide_validation.pdf

（参考）直接分析法と間接分析法

3-MCPDE や GE の分析法は、結合している脂肪酸を区別して分子種ごとに測定する直接分析法、結合している脂肪酸を区別せず、遊離体当量で総量を測定する間接分析法に分けられます。



直接分析法・間接分析法には以下のような特徴があり、分析の目的によって使い分けることができます。日常的に自社製品中の濃度水準を把握する目的であれば、間接分析法が適しています。

	メリット	デメリット
直接分析法	分子種ごとの濃度を把握できる	分析できる分子種は標準品を入手できるもののみ
間接分析法	総量の濃度を把握できる 比較的簡便かつ安価に分析できる	分子種ごとの濃度は把握できない

2025 年 1 月時点で、確立されている主な分析法は以下のとおりです。

<複数試験室間で妥当性確認された分析法>

名称	対象食品	対象物質	原理	種類 ^{注)}
Joint AOCS/JOCS Official Method Cd 28-10 (日本油化学会基準油脂分析試験法 2.4.13-2013)	植物油	GE (5 種類)	LC-MS	直
AOCS Official Method Cd 29a-13	食用油脂	3-MCPDE 2-MCPDE GE	GC-MS	間
AOCS Official Method Cd 29b-13	固体または液体の油脂	3-MCPDE 2-MCPDE GE	GC-MS	間
AOCS Official Method Cd 29c-13	加工食品から抽出された、固体又は液体の油脂	3-MCPDE GE	GC-MS	間
Joint JOCS/AOCS Official Method Cd 29d-19 (日本油化学会基準油脂分析試験法 2.4.14-2016)	植物油 動物油脂	3-MCPDE 2-MCPDE GE	GC-MS	間
欧州委員会によって妥当性確認された分析法 (Simultaneous Determination of 3-MCPD, 2-MCPD and Glycidyl Fatty Acid Esters in Various Food Matrices by Derivatisation in Organic Phase)	食用油脂 加工食品 (ワッフル、ポテトスナック等)	3-MCPDE 2-MCPDE GE	GC-MS	間
AOCS Official Method Cd 29f-2021	植物油脂	3-MCPDE 2-MCPDE GE	GC-MS/MS	間
AOAC 2018.03	乳児用調製乳	3-MCPDE 2-MCPDE GE	GC-MS/MS	間
AOAC 2018.12	乳児用調製乳	3-MCPDE 2-MCPDE GE	GC-MS	間
AOCS Official Method Cd 30-15	スプレッド類、マーガリン、ドレッシング、マヨネーズ	(食品からの脂質抽出法)	—	—

注) 直：直接分析法、間：間接分析法

<単一試験室で妥当性確認された分析法>

名称	対象食品	対象物質	定量	種類 ^{注)}
Joint JOCS/AOCS Recommended Practice Cd 29e-19 (日本油化学会基準油脂分析試験法 奨 7-2017)	DHA・EPA 含有油脂 (魚油等)	3-MCPDE 2-MCPDE GE	GC-MS	間
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いて妥当性確認された分	加工食品 (揚げせんべい、	3-MCPDE GE	GC-MS	間

析法 ^{※1}	鶏から揚げ等)			
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いて妥当性確認された分析法 (Joint JOCS/AOCS Official Method Cd 29d-19 (日本油化学会基準油脂分析試験法 2.4.14-2016) の改変法) ^{※2}	加工食品 (フライドポテト、コロッケ等)	3-MCPDE 2-MCPDE GE	GC-MS	間
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いて妥当性確認された分析法 (AOAC 2018.12 の改変法) ^{※3}	乳児用調製乳	3-MCPDE 2-MCPDE GE	GC-MS	間

注) 直 : 直接分析法、間 : 間接分析法

- ※1 農林水産省, 2018. 安全な農林水産物安定供給のためのレギュラトリーサイエンス研究成果報告書「油脂を用いた加熱調理が、食材中の 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生成に及ぼす影響を把握するための分析法の開発」
- ※2 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「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に関する研究のうち食用精製油脂を用いた加熱調理が加工食品中の 3-MCPDE、GE 生成に及ぼす影響の解明」
- ※3 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「乳児用調製乳中のクロロプロパノール類及び関連物質の高感度分析法の開発」

5.2 候補となる低減対策の有効性の検証と対策の決定

自社で実施可能な低減対策の候補を選定後、当該対策を講じて予備試験（実験室スケールやパイロットスケールでの試作品の製造）を行い、試作品の 3-MCPDE や GE の濃度を測定し、当該対策の効果を予備的に確認することを推奨します。必要に応じて、実際の製造工程と同じ機能やスケールの設備において試験を行い、3-MCPDE や GE の低減効果、風味や安定性など食品としての特性に及ぼす影響、費用対効果等を考慮した上で、実際の製造ラインでの実行可能性を判断することを推奨します。

5.3 実施した低減対策の効果の検証

自社において、低減対策を導入した場合、原料や製造工程を変更した場合等には、それらが 3-MCPDE や GE の濃度に及ぼす効果を検証するため、実際の製造ラインで生産した製品中の 3-MCPDE や GE の濃度を把握することを推奨します。

また、関係事業者による自主的な食品中の 3-MCPDE や GE の低減対策の効果を検証するため、国内で流通する食品中の 3-MCPDE や GE の実態を、農林水産省が定期的に調査します。

6 継続的な技術開発と手引きの見直し

食品中の 3-MCPDE や GE の生成機序等についてはまだ明らかになっていない点も多く、また、現在利用可能な 3-MCPDE や GE の低減対策も、その低減効果、品質や収量の保持、コスト等の面において課題が残されています。世界各国の政府、食品関連企業などが、さらに効果的な 3-MCPDE や GE の低減技術の開発や実態調査を進めています。

関係事業者は、継続的に 3-MCPDE や GE の低減に関する情報収集や技術開発を行い、知見を蓄積・更新し、業界内で共有することが望まれます。

将来、有効な低減技術が新たに開発された場合には、本手引きを更新し、最新の情報を反映します。

参考情報

1. 3-MCPDE や GE に関する FAQ

- Q.1 3-MCPDE や GE とはどのような物質ですか。
- Q.2 3-MCPDE や GE は、どうして食品に含まれるのですか。
- Q.3 3-MCPDE や GE は、どのような食品に含まれるのですか。
- Q.4 3-MCPDE や GE を含む食品を食べると、健康にどのような影響がありますか。
- Q.5 3-MCPDE や GE によって、これまでに健康被害が起きたことがありますか。
- Q.6 3-MCPDE や GE の低減に向け、国内ではどのような取組をしていますか。
- Q.7 3-MCPDE や GE の低減に向け、諸外国ではどのような取組をしていますか。
- Q.8 3-MCPDE や GE の低減に向け、国際機関ではどのような取組をしていますか。
- Q.9 食品中の 3-MCPDE や GE は、どのように分析するのですか。
- Q.10 食品中の 3-MCPDE や GE 濃度は、どこまで下げればいいですか。

Q.1 3-MCPDE や GE とはどのような物質ですか。

A.1 食品を製造する過程で、多種多様な化学物質が生成したり、分解したりします。意図しないにもかかわらず生成する化学物質の中には、私たちの健康に悪影響をもたらす可能性のあるものがあり、3-MCPDE や GE もそのような物質のひとつです。どちらの物質も、構造の一部に脂肪酸を含んでおり、その脂肪酸の数や種類によって多くの種類があります。詳しくは、農林水産省のウェブサイトをご覧ください。

https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/c_propanol/substance/about.html

Q.2 3-MCPDE や GE は、どうして食品に含まれるのですか。

A.2 抽出・圧搾により植物や動物から得られた油脂には、食品として好ましくない色やにおいがあることがあります。このような油脂を食用に適したものにするためには、精製により色や風味を良くする必要があります。精製の工程のひとつに、油脂を真空に近い条件で高温に加熱し、好ましくないにおいを除く工程（脱臭工程）がありますが、この脱臭工程で、油脂と塩素が化学反応を起こして 3-MCPDE が生成すること、また油脂そのものから GE が生成することがわかっています。

Q.3 3-MCPDE や GE は、どのような食品に含まれるのですか。

A.3 精製された油脂（例：植物油、魚油等）の他、原材料として精製油脂が使用された食品（例：マーガリン、ショートニング、乳児用調製乳等）に広く含まれることが分かっています。農林水産省による含有実態調査の結果はこちらをご覧ください。

https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/c_propanol/index.html

普段の食生活では、特定の食品を避けたり、同じ食品ばかりを多量に食べたりすることなく、いろいろな食品をバランスよく食べることが大切です。それにより、健康を保つために必要なエネルギーや栄養素を必要量摂ることができます。また、3-MCPDE や GE だけでなく、食品に含まれている、健康に悪影響があるかもしれないものを摂る量も少なく抑えることができます。

また、油脂などの脂質はエネルギー産生栄養素の一つであり、必須脂肪酸やエネルギー供給源として細胞膜やホルモンの成分となるなど生命の維持に必須で重要です。しかし、脂質をとりすぎると、肥満になりやすくなったり、心臓疾患をはじめとする循環器疾患のリスクを高めたりすることにつながります。近年、食文化の変化等により脂質をとり過ぎる人の割合が増えている傾向があります。特定の化学物質だけを気にするのではなく、必須の栄養素やエネルギーの摂取量についても意識し、「食生活指針」等を参考に、バランスの良い食事を心がけましょう。

Q.4 3-MCPDE や GE を含む食品を食べると、健康にどのような影響があるのですか。

A.4 ある物質を食品から摂ることによって健康に悪影響が生じるかどうかは、その物質の持つ毒性だけでなく、その物質を摂る量や期間によっても異なります。

動物試験では、3-MCPDE や GE は腸管で分解され、それぞれ 3-MCPD とグリシドールを生じると報告されています。また、動物試験の結果、3-MCPD を長期間にわたって摂りすぎると腎臓への悪影響があること、グリシドールは遺伝毒性発がん性を否定できないことが報告されています。

食品から摂る量について、国際的なリスク評価機関は、乳児以外の子どもや大人

が通常摂る量の 3-MCPD と 3-MCPDE であれば、一生摂り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、国によっては（つまり製品によっては）3-MCPDE を摂りすぎている可能性がある」と評価し、乳児用調製乳中の 3-MCPD 及び 3-MCPDE の濃度を下げるよう努めることを推奨しました。

GE については、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、油脂（特に乳児用調製乳の原料油脂）中のグリシドール及び GE の濃度を下げるよう努めることを推奨しました。

Q.5 3-MCPDE や GE によって、これまでに健康被害が起きたことがありますか。

A.5 これまでに、食品中に含まれる 3-MCPDE や GE を摂取したことによる健康被害の報告はありません。

食品安全委員会は、3-MCPDE や GE について、直ちに健康影響を懸念する必要はないとしています。特に乳児用調製乳については、「母乳に含まれる栄養素がバランスよく含まれており、乳幼児の発育にとって代替品のない必要不可欠な食品であり、栄養不良によるリスクも勘案すると、これまで通り与えることが重要」としています。詳しくは、食品安全委員会のウェブサイトをご覧ください。

https://www.fsc.go.jp/hazard/fscj_message_20170623.html

<http://www.fsc.go.jp/fsciis/evaluationDocument/show/kya20050920001>

http://www.fsc.go.jp/sonota/dag/dag1_qa_20150121.pdf

（参考）農林水産省ウェブサイト

https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/c_propanol/health/sfc.html

Q.6 3-MCPDE や GE の低減に向け、国内ではどのような取組をしていますか。

A.6 油脂の精製を行う事業者は、3-MCPDE や GE の生成を抑えるために、油脂の風味や色が悪くなるなど、食品としての品質が損なわれてしまわないよう気をつけながら、油脂の製造条件（温度や時間、圧力等）の調整等の対策を行っています。また、加工食品の製造事業者は、加工食品の原料油脂を 3-MCPDE や GE の濃度が低いものに変更していることもあります。

（一社）日本植物油協会及びその会員事業者は、2018 年度から 2022 年度まで、

農林水産省の「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推進委託事業」で、食用精製油脂中の 3-MCPDE 及び GE 濃度の管理技術の開発に取り組みました。本研究の詳細については、農水省のウェブサイトをご覧ください。

https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/regulatory_science/shuryo_chem.html#cp

Q.7 3-MCPDE や GE の低減に向け、諸外国ではどのような取組をしていますか。

A.7 欧州の食品関係事業者は、食品中の 3-MCPDE や GE の低減方法について調査・研究を行い、低減技術の一覧を公表しました。また、低減対策を講じた後の自社製品中の含有実態を調査して、その効果を確認しています。欧州委員会（EC）は、食品製造事業者が低減対策に取り組んだ結果も考慮した上で、食品中の 3-MCPDE と GE の最大基準値を設定しました。諸外国の取組の主なものについては、農水省のウェブサイトをご覧ください。

https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/c_propanol/international.html#overseas

Q.8 3-MCPDE や GE の低減に向け、国際機関ではどのような取組をしていますか。

A.8 Codex 委員会は、2019 年 7 月に、「精製油脂及び当該油脂を使用した製品中の 3-MCPDE 及び GE の低減のための実施規範」を策定しました。この実施規範には、食品を製造する工程で、3-MCPDE 及び GE を合理的に達成可能な範囲でできる限り減らすための対策が掲載されています。この実施規範の策定にあたっては、効率的かつ実用的な内容となるよう、国内の関係事業者が実施している低減技術に関する情報や意見を、農林水産省が Codex 委員会に提出し、それらを内容に反映させるなどの貢献をしました。

Q.9 食品中の 3-MCPDE や GE は、どのように分析するのですか。

A.9 3-MCPDE や GE には、結合している脂肪酸の数や種類によって、多数の種類があります。食品中の 3-MCPDE や GE の分析法には、結合している脂肪酸が異なる 3-MCPDE や GE をそれぞれ区別して、別々に濃度を測定する「直接分析法」、3-MCPDE や GE を分解し、脂肪酸が結合していない 3-MCPD 又はグ

リシドールの濃度を測定する「間接分析法」があります。

加工食品中の 3-MCPDE と GE の分析では、まず食品から脂質を抽出することが多いのですが、このうち乳児用調製乳の脂質抽出は難しく、低濃度の 3-MCPDE や GE を高い科学的信頼度で定量することが難しいという問題があります。乳児用調製乳中の 3-MCPDE や GE の分析法の開発が国際的に進められ、2025 年 1 月時点で AOAC International による 2 つの分析法など新たな分析法が確立されています。詳しくは、農林水産省のウェブサイトをご覧ください。

http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/c_propanol/method.html#ester

Q.10 食品中の 3-MCPDE や GE の濃度は、どこまで下げればいいですか。

A.10 意図しないにもかかわらず食品中に含まれてしまう有害物質については、「合理的に到達できる範囲で、可能な限り低くすること（As Low As Reasonably Achievable; ALARA）」が必要であり、これは国際的に合意された考え方でもあります。3-MCPDE や GE についても、各事業者の設備や経済的状況等に応じて実行可能な低減対策をとり、可能な限り濃度を低くする必要があります。また、海外に輸出する食品については、輸出先国で基準値等が設定されている場合はその規制に合うようにしなければなりません。これまでに海外で導入された規制のうち、主なものについては農林水産省のウェブサイトにも掲載されていますが、最新の規制については輸出先国の規制当局のウェブサイト等をご確認ください。

https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/c_propanol/international.html#ML

2. 用語解説

● 化学物質や化学反応に関する用語

✓ 前駆体

一連の化学反応によってある化学物質が生成する際、その物質が生成する前の段階の物質のことです。食品中の 3-MCPDE の前駆体は TAG、DAG、MAG や塩素を含む化合物、GE の前駆体は主に DAG や MAG です。

✓ エステル結合

カルボン酸のカルボキシル基（ $-\text{COOH}$ ）とアルコールの水酸基（ $-\text{OH}$ ）の

間で、水 (H_2O) がとれてつながった結合 ($-\text{COO}-$) のことです。3-MCPDE や GE は、それぞれ、脂肪酸のカルボキシル基と 3-MCPD の水酸基、脂肪酸のカルボキシル基とグリシドールの水酸基がエステル結合でつながった物質です。

● 油脂に関連する用語

✓ 粗油又は原油

油糧原料から圧搾・抽出した、精製前の油脂です。原料の搾りかすや色素等の不純物が含まれていることがあります。

✓ グリセリン

3つの炭素がつながり、それぞれの炭素に水酸基をもつアルコールです。

✓ 脂肪酸

炭素原子が鎖状につながった分子で、その端に酸の性質を示すカルボキシル基と呼ばれる構造をもっています。脂肪酸には、炭素の数や結合の仕方などによって多くの種類が存在します。別の物質と結合していない脂肪酸のことを「遊離脂肪酸」と呼ぶこともあります。

✓ トランス脂肪酸

炭素間にトランス型の二重結合を持つ不飽和脂肪酸の総称であり、油脂の加工・精製工程で生成するものと、反すう動物の胃内で天然に生成するものがあります。脂肪酸のトランス型二重結合では、水素原子が炭素間の二重結合を挟んでそれぞれ反対側についています。複数の二重結合をもつ脂肪酸（多価不飽和脂肪酸）の場合、トランス型二重結合が一つでもあれば、その他の二重結合がシス型（天然型）であってもトランス脂肪酸といいます。

（参考）農林水産省 トランス脂肪酸に関する情報

https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/trans_fat/index.html

✓ トリアシルグリセロール(TAG)

グリセリンの全ての水酸基に、脂肪酸のカルボキシル基がエステル結合した

物質です。油脂の主要成分です。

✓ **ジアシルグリセロール(DAG)**

グリセリンの水酸基のうち、両端の又は端と中央の2つの水酸基に、脂肪酸のカルボキシル基がエステル結合した物質です。

✓ **モノアシルグリセロール(MAG)**

グリセリンの水酸基のいずれかの端又は中央の水酸基に、脂肪酸のカルボキシル基がエステル結合した物質です。

✓ **リパーゼ**

脂質のエステル結合を分解する酵素の総称です。リパーゼにはさまざまな種類があり、TAGの特定の位置のエステル結合にのみ作用するもの、TAGのエステル結合には作用せず、DAGやMAGのエステル結合にのみ作用するもの等があります。

✓ **精製**

粗油に吸着剤を加えて色素を除いたり、真空に近い条件で高温に加熱し、好ましくない匂いの成分を除いたりすることをいいます。

✓ **脱ガム**

水を加えて粗油中に含まれるリン脂質(ガム質)を水和させ、油と分離させて取り除くことをいいます。

✓ **脱酸**

水酸化ナトリウム(苛性ソーダ)を加えて粗油中に含まれる遊離脂肪酸を中和し、油と分離させて取り除くことをいいます。

✓ **脱色**

粗油中に含まれる色素を、吸着剤を用いて取り除くことをいいます。

✓ 白土

油脂の脱色によく使われる吸着剤で、粘土鉱物が主成分です。脱色効率を高めるために天然の白土を酸処理して得られる活性白土をはじめ、組成や処理方法によって様々な種類があります、pH、粒径、密度などが異なります。

✓ 脱臭

脱酸や脱色等の工程を経た油を真空に近い条件で高温に加熱し、揮発性の不純物を取り除くことをいいます。

● 汚染物質に関連する用語

✓ 汚染物質

意図しないにもかかわらず食品に含まれる化学物質です。環境に由来するもの、食品中に天然に存在するもの、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があります。食品添加物や農薬等のように、意図的に使用され、使用の管理が可能なものとは異なります。

✓ クロロプロパノール類

プロパン（炭素を3つもつ飽和炭化水素）に水酸基が結合したアルコールに塩素が結合した物質の総称です。グリセリンもプロパンのアルコールの一種であり、これに塩素と脂肪酸が結合した3-MCPDEもクロロプロパノール類の一種です。

✓ かび毒

植物病原菌であるかびや貯蔵穀物などを汚染するかびが産生する化学物質で、人や家畜の健康に悪影響を及ぼすものをいいます。

✓ ダイオキシン類

様々な化学製品の製造工程で意図しないにもかかわらず生成するほか、火山の噴火や森林火災などでも生成する化学物質です。環境中に放出されたダイオキシン類は、植物や土壌に蓄積し、食品や飼料を汚染する可能性があります。

● 国際機関に関連する用語

✓ FAO/WHO 合同食品添加物専門家会合(JECFA)

国連食糧農業機関（FAO）と世界保健機構（WHO）が合同で開催する専門家会合の一つです。FAO と WHO の加盟国及び Codex 委員会に対する科学的な助言機関として、食品添加物、汚染物質、動物用医薬品などのリスク評価を行っています。

✓ Codex 委員会

消費者の健康の保護、食品の公正な貿易の確保等を目的として、1963 年に FAO 及び WHO により設置された国際的な政府間機関です。国際食品規格の策定等を行っており、日本は 1966 年から参加しています。WTO 加盟国は、WTO/SPS 協定により、自国の衛生植物検疫措置を Codex 委員会が制定した基準や指針等と調和させるよう努める必要があります。

● 毒性に関連する用語

✓ デオキシリボ核酸(DNA)

デオキシリボースと呼ばれる糖を含む核酸で、生物の遺伝情報を担う物質です。細胞核の中に存在し、染色体の構成要素の一つです。

✓ 遺伝毒性

細胞内の DNA に直接的または間接的に作用し、その配列を壊したり、構造を変化させたりすることで遺伝情報に異常を引き起こす性質のことです。DNA が損傷し、自己修復が追いつかなくなった細胞は通常死滅しますが、まれに死滅せずがん細胞になることがあります。

● その他の用語

✓ 実施規範

汚染物質の場合、汚染の防止や低減のために、生産・製造・流通の現場において、とることが推奨される行動や措置を記述した指針のことです。食品安全の分野では、一次生産から消費にわたって対策をとり、最終産物の安全を確

保するという考え方（フードチェーンアプローチ）が主流です。Codex 委員会でも、生産・製造・流通段階において微生物や化学物質による汚染を防止・低減することが重視され、実施規範に関する議論が活発になっています。Codex 委員会は、食品中の 3-MCPDE や GE の低減のための実施規範を 2019 年に策定しました。

（参考）Code of Practice for the Reduction of 3-Monochloropropane-1,2-Diol Esters (3-MCPDEs) and Glycidyl Esters (GEs) in Refined Oils and Food Products Made With Refined Oils (CXC 79-2019)

(http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXC%2B79-2019%252FCXC_079e.pdf)

✓ 最大基準値

各食品中に含まれることが許される汚染物質の最大濃度をいいます。最大基準値の設定に当たっては、食品中の汚染物質を“合理的に到達可能な範囲でできるだけ低くすべき（As Low As Reasonably Achievable; ALARA）”であるという考え方が国際的に合意されています。

（参考）最大基準値の設定

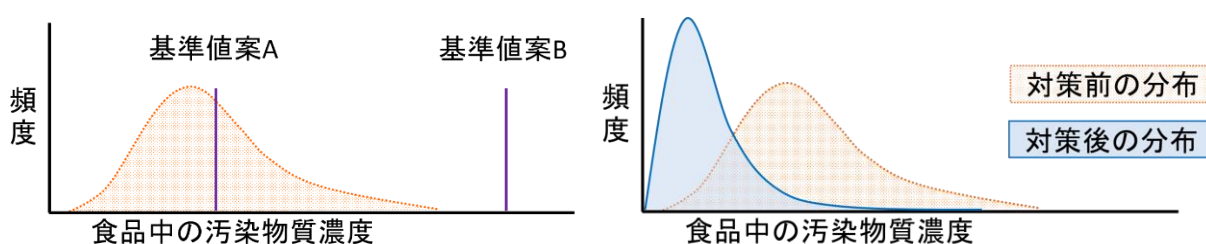
汚染物質は、意図しないにもかかわらず食品に含まれる化学物質です。例えば、環境に由来したり、食品中に天然に存在していたり、食品の製造又は加工工程で生成したりします。食品添加物や農薬等のように意図的に使用されるものとは異なり、管理が難しいため、食品が汚染物質を含まないようにするのは極めて困難です。そこで、消費者の健康を保護するために、各国政府は、主要な汚染物質について、汚染を防止・低減するための実施規範を作成したり、流通する食品への含有が許容される最大濃度である**最大基準値**を設定したり、消費者への勧告を作成したりしています。

最大基準値の設定には、食品中の当該汚染物質の実態調査データが不可欠です。汚染物質の最大基準値は、実態調査データにおける濃度範囲から、合理的に達成可能な範囲でできる限り低く設定※する原則が国際的に合意されています。Codex 委員会が定めた General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed (CXS193-1995)は、消費者の健康保護を第一としつつ、食品の生産や貿易の不必要な中断が起きないように、適切な技術を用いて生産・製造された食品中の対象物質の通常

の濃度範囲をカバー（国際的には、通常、全体の低濃度側から 97～98%をカバー）するよう最大基準値を設定することとしています。最大基準値を含め、このような考え方で導き出した値は、食品事業者の皆様が自ら製造した食品を管理する際に、「食品中の対象物質を低減させるための各種対策が有効に機能しているかどうかを確認するための指標」にもなります。

※ 食品や飼料に意図しないにもかかわらず含まれる化学物質の最大基準値を設定するにあたって国際的に合意された考え方であり、ALARA（As Low As Reasonably Achievable）の原則といえます。

最大基準値の設定と低減対策の実施



食品中の汚染物質の最大基準値を設定し、検査を行い、最大基準値に適合する食品のみを市場で流通させる場合、一定の濃度を超える化学物質を含む食品が流通することは防止できるものの、食品中の化学物質の濃度分布を低い方に移動させることはできません（左図）。濃度実態からみて低すぎる基準値案 A では、市場に流通させてはいけない食品の量が増大し、食品の安定的な供給に支障をきたすという問題が生じます。一方、濃度実態からみて高すぎて全く違反が出ない最大基準値案 B では、不適切な生産・製造を助長するおそれがあります。また、違反率が極めて低い最大基準値を設定すると、食品が最大基準値に適合しているかどうかを確認するために膨大な数の検査が必要になるという問題が生じます。通常、対象物質の濃度を分析するためには食品を粉碎・均質化する必要があり、検査に供した食品は販売することはできません。このため、流通する食品の全てを検査することは非効率的かつ無駄です。このように、最大基準値を設定するだけでは食品自体の安全性が高まることはありません。

一方、食品事業者の皆様が適切な低減対策を実施されれば、食品に含まれる化学物質の濃度分布を低い方に移動させることができます（右図）。このことにより、消費者の皆様により安全な食品を提供できるようになります。Codex 委員会では、意図せず食品に含まれる化学物質について、その濃度を達成可能な範囲でできるだけ低くするため、実施規範を最大基準値より優先して作成しています。