

精製油及び精製油を用いた食品中の 3-モノクロ
ロプロパン-1,2-ジオール脂肪酸エステル類（3-
MCPDE）及びグリシドール脂肪酸エステル類
（GE）の低減のための実施規範

CXC 79-2019

Published by arrangement with the
Food and Agriculture Organization of United Nations
by the
Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries,
Government of Japan

本文書は、当初、国際連合食糧農業機関 (FAO) により、「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)」として英文で出版されたものである。日本語への翻訳は、日本政府の農林水産省によってなされた。両者の間に何らかの齟齬がある場合は、原語の英文が優先する。

本文書において使用する呼称及び資料の表示は、いかなる国、領土、都市あるいは地域、若しくはその当局の法律上あるいは開発上の地位に関する、又はその国境あるいは境界の設定に関する、FAO のいかなる見解の表明を意味するものではない。また、個別の企業あるいは製品への言及は、それらが特許を受けているか否かにかかわらず、言及されていない同様の性質を持つ他者に優先して、FAO が承認あるいは推薦していることを意味するものではない。

© FAO and WHO, 2019 (English edition)

© Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Government of Japan, 2022 (Japanese translation)

精製油及び精製油を用いた食品中の 3-モノクロロプロパン-1,2-ジオール脂肪酸エステル類 (3-MCPDE) 及びグリシドール脂肪酸エステル類 (GE) の低減のための実施規範
(CXC 79-2019)

はじめに

- 1 植物油や魚油を含め、食用油は、果実、種子、ナッツ及び魚等の様々な原料から製造される。食用油を約 200°C以上の高温で精製すると、3-モノクロロプロパン-1,2-ジオール脂肪酸エステル類 (3-MCPDE) やグリシドール脂肪酸エステル類 (GE) が生成することがある。
- 2 3-MCPDE 及び GE へのばく露は、精製油及び精製油を含む様々な食品、例えば乳児用調製乳、サプリメント、フライドポテト製品及びファインベーカリー製品等の消費を通じて発生する可能性がある。
- 3 毒性試験によると、3-MCPDE 及び 3-MCPD は非遺伝毒性発がん物質であり、腎臓と雄性生殖器官に対する影響がある。GE 及びグリシドールは遺伝毒性発がん物質である。¹
- 4 第 83 回 FAO/WHO 合同食品添加物専門家委員会 (JECFA) は 3-MCPD、3-MCPDE、GE 及びグリシドールの評価を行い、乳児用調製乳中の 3-MCPDE 及び 3-MCPD の低減に向けた取組を実施するとともに、油脂、特に乳児用調製乳に使用される油脂中の GE 及びグリシドールの低減対策を継続するよう勧告した。
- 5 未精製油の種類によって、脱臭 (精製工程の一部) における 3-MCPDE 及び GE の生成能は異なる。
- 6 全ての油種で、精製条件が 3-MCPDE と GE の生成に重要な影響を及ぼす。ほとんどの未精製油では、3-MCPDE や GE の濃度は検出可能なレベル未満である。
- 7 植物油の精製における 3-MCPDE 及び GE の生成能に寄与する要因には、油の原料がとれる草花や樹木の栽培時の気候、土壌、生育条件や遺伝子型、収穫技術が含まれる。これらの要因はすべて、3-MCPDE 及び GE の前駆体となる物質 (例: アシルグリセロール、塩素を含む化合物) の濃度に影響を及ぼす。
- 8 3-MCPDE は、主に塩素を含む化合物と、トリアシルグリセロール (TAG)、ジアシルグリセロール (DAG)、モノアシルグリセロール (MAG) といったアシルグリセロールとの反応によって生成する。GE は主に DAG 又は MAG から生成する。

¹ 3-MCPDE 及び GE は、摂取後、体内で分解されてそれぞれ 3-MCPD 及びグリシドールになる。

- 9 いくつかの塩素化合物は3-MCPDEの前駆体である。油の原料がとれる草花や樹木が成長する際には、土壌（肥料や農薬を含む）や水から塩化物イオンを（塩素化合物の形で）吸収し、これらの塩化物イオンは反応性が高い塩素化合物に変換され、油の精製時に3-MCPDEを生成する。
- 10 油の原料となる果実や種子には、リパーゼという酵素が含まれている。果実のリパーゼ活性は成熟とともに上昇するが、種子のリパーゼ活性は安定している。成熟果実において、リパーゼは油に作用してTAGを遊離脂肪酸（FFA）、DAG、MAGに迅速に分解するが、適切に貯蔵された種子ではリパーゼの影響は無視できる。
- 11 GEは、約200°Cで生成し始める。GEの生成は、温度上昇と共に急激に増加する。また、DAGが総脂質の3-4%を超えるとGE生成能は上昇する。3-MCPDEの生成は160-200°Cから起こり、これより高温では生成の増加はみられない。
- 12 3-MCPDEとGEは生成機序が異なるため、これらの生成を抑制するためには異なる低減のための戦略が必要である。生成機序が異なることから、一般的に、個々の食用油試料中の3-MCPDEとGEの相対濃度に関連性はない。
- 13 GEの低減は、3-MCPDEの低減よりも概して容易である。これは、GEの生成が温度の上昇に直接的に関連している（約200°Cで始まり、230°Cを超えるとより顕著になる）ためである。GEは主にDAGから生成し、塩素化合物の存在を必要としない。GEの顕著な生成を避けるためには、油の脱臭温度を230°Cより低温にすればよい。しかし、脱臭温度を3-MCPDEが生成し始める温度（160-200°C）より低くすることは、油の品質と安全性に影響を与える可能性があり現実的ではない。
- 14 3-MCPDE及びGEは主に脱臭時に生成するが、低減対策は食用油の製造工程全体、すなわち植物油でいえば農作業（例：果実や種子の栽培、収穫、輸送、貯蔵）から搾油及び精製（例：粗油の生産・処理、脱ガム／脱色、脱臭）、精製後の処理（例：再脱色及び再脱臭や活性白土の使用）までを通じて適用できる。可能であれば、3-MCPDE及びGEの生成を最小限に抑えるために、加工のより初期の段階で前駆体を除去するのが最善であろう。
- 15 3-MCPDE及びGEを低減する方法は多岐にわたり、実施可能な方法は条件（油の原料、精製工程、使用する装置の種類を含む）によって異なる。さらに、油中の3-MCPDE及びGEを低減するために、複数の方法を組み合わせることが必要かもしれない。製造事業者は、自社の製造工程や製品に適した対策を選択して実施すべきである。
- 16 3-MCPDE及びGEの低減と併せて、香りや味などの製品特性、FFA組成、安定性、栄養素の量、農薬やかび毒等の汚染物質の除去を含め、精製油及び精製油を主原料

とする食品の品質に対する全体的な影響を考慮することも重要である。加えて、推奨された低減対策が環境に与える影響も考慮すべきである。

- 17 精製油中の 3-MCPDE 及び GE の低減に関する研究の大部分はパーム油に焦点を当てているが、パーム油中の 3-MCPDE 及び GE の低減に関する情報と経験の一部は、他の精製油中の 3-MCPDE 及び GE の低減にも活用できる可能性がある。このため本実施規範では、データがある場合には、その低減対策がパーム油に特異的なのか、魚油を含む他の精製油に広く適用できる可能性があるかについても明記した。

適用範囲

- 18 本実施規範は、精製油及び精製油を原料とする食品中の 3-MCPDE 及び GE の生成の防止・低減のための手引きを、国家当局及び地方当局、生産者、製造事業者、その他関係者に提供することを目的とする。本手引きには、3-MCPDE 及び GE の生成を抑制するため、(情報が入手可能な場合には)以下の3つの戦略を含んでいる。
- (i.) 適正農業規範
 - (ii.) 適正製造規範
 - (iii.) 精製油を原料とする食品への精製油の選択と使用

適正農業規範 (GAP) 及び適正製造規範 (GMP) に基づき推奨される取組

- 19 食用植物油の製造には、いくつかの主要な工程がある：原料果実・種子の栽培、収穫、輸送及びそれに続く加工に向けた貯蔵；果実の殺菌や粗油の抽出が行われるパーム搾油；種子の洗浄、磨砕、蒸煮、粗油の抽出が行われる油糧種子の圧搾；そして粗油の精製である。
- 20 食用魚油の製造には、いくつかの主要な工程がある：魚の収獲、蒸煮、脱水や水分除去（煮汁の圧搾、油と水の分離、必要に応じて油の水洗を含む）；そして粗油の精製である。
- 21 食用油の精製には、2つの主要な方法がある：化学的精製と物理的精製である。化学的精製は、脱ガム（リン脂質の除去）；中和（けん化による FFA 除去を目的とした水酸化物溶液の添加）；色素を低減するとともに残存するけん化物やガム質、微量金属や分解物を除去するための脱色（白土の使用）；そして FFA、色素、特定の汚染物質を含め揮発性物質を除去するための脱臭（すなわち、1.5-6.0 mbar の低圧、180-270°C の高温で行われる水蒸気蒸留）である。物理的精製には中和工程がなく、脱ガム、脱色、脱臭（化学的精製よりも高温で行われる）のみである。物理的精製を選択するに至るにはいくつかの要因が影響するが、一般的にはリン脂質の濃度が低い油で行われる。

植物油の原料管理

- 22 リパーゼ活性の低さは、FFA 及びアシルグリセロールといった前駆体の生成を少なく抑える要因の1つであるため、農業者は、新しい樹木を植える際、可能であれば果実中のリパーゼ活性が低いパームの品種を選択することを検討すべきである。
- 23 農業者は、油の原料がとれる草花や樹木の栽培中において、果実や種子が吸収する塩素の量を低減するため、塩素を含む化合物を高濃度を含む肥料、農薬、水などの使用を最小限に抑えるべきである。塩素を含まない硫酸肥料は、塩素を含む肥料の代替として役立つ可能性がある。
- 24 農業者は、パーム果実を適度に熟した時点で収穫し、果実の損傷を減らして FFA の生成を防ぐために果実の取扱いを最小限にし、より高濃度の 3-MCPDE 及び GE の生成につながる可能性がある傷ついた又は熟しすぎた果実の使用を避けるべきである。
- 25 農業者は、パーム果実をできるだけ速やかに搾油工場に輸送すべきである。

搾油及び精製

粗油の生産・処理

- 26 加工者は、リパーゼ活性を確実に低くするために、低温条件（例：25°C 未満）及び乾燥条件（最適な水分濃度は 7%未満）での油糧種子の貯蔵を検討すべきである。
- 27 加工者は、パーム果実を搾油工場を受領した後、リパーゼを不活化するため、速やか（可能であれば収穫後 2 日以内）に 140°C 以下で殺菌すべきである（温度は殺菌方法によって異なる）。（塩素を含む前駆体を除去するため、殺菌前に果実を洗浄してもよい。）油糧種子については、リパーゼを不活化するため、洗浄、磨砕、加熱を行うべきである。
- 28 加工者は、植物油の粗油から塩素を含む化合物を除去するため、塩素を含まない水を用いた粗油の洗浄を検討すべきである。
- 29 加工者は、溶媒や追加抽出液に残存した植物油の回収を避けるべきである。このような油は、前駆体（例：DAG、塩素を含む化合物）の濃度が高い可能性があるためである。
- 30 加工者は、精製条件を調整して植物油や魚油の種類及び加工条件に応じた適切な低減対策をとるため、植物油や魚油の粗油バッチについて、前駆体（例：DAG、FFA、

塩素を含む化合物) の濃度を評価すべきである。

- 31 前駆体の濃度が低い植物油や魚油の粗油を優先的に精製することで、3-MCPDE 及び GE の濃度がより低い最終製品を製造することができる。

脱ガム

- 32 加工者は、植物油や魚油中の 3-MCPDE を低減するために、より穏やかで酸性度の低い条件を用いるべきである (例: 低濃度のリン酸、クエン酸、その他の酸を用いた脱ガムや水脱ガム)。必要な酸の濃度は、植物油や魚油の粗油の品質に依存する。品質の確保のため、リン脂質及び酸を十分に除去するよう留意すべきである。
- 33 脱ガム温度を下げることは、植物油中の 3-MCPDE 前駆体の生成を減らすのに役立つ可能性がある; ただし、脱ガム温度は油種を含めた多くの要因に依存する。

中和

- 34 物理的精製に替えて、化学的精製 (すなわち中和) を行うと、前駆体 (例: 塩化物) の除去及び FFA の低減に役立ち、植物油や魚油の脱臭温度を下げられる可能性がある。しかし、化学的精製は歩留まりの低下 (特に FFA 濃度が高いパーム油の場合) につながったり、物理的精製よりも環境負荷が大きくなったりする可能性がある。

脱色

- 35 白土の使用量を多くすることで、あらゆる植物油や魚油中の 3-MCPDE 及び GE の生成を低減できる可能性がある。ただし、塩素を含む化合物を多く含む白土は避けるべきである。
- 36 pH がより中性に近い白土の使用は、パーム油や一部の種子油、魚油の酸性度を下げ、3-MCPDE が生成する可能性を下げる。

脱臭

- 37 加工者は、GE の生成を低減するため、植物油及び魚油を低温で脱臭することを検討すべきである。例えば、植物油では 190-230°C、魚油では 190°C 未満で脱臭することが提案されている。脱臭温度は、油の滞留時間によって変動する。加工者は、自社における最適な脱臭条件を決定することができる。
- 38 従来の脱臭に代わる方法として、加工者は、植物油と魚油について 2 段階脱臭を行

うことで、油にかかる熱負荷を低減して GE の生成を低減でき、また度合いは小さいが 3-MCPDE も低減することができる。2 段階脱臭には、高温短時間の脱臭と低温長時間の脱臭の両方が含まれる。温度、真空度、時間といった脱臭条件や、脱臭装置の仕様や性能のばらつきを考慮する必要がある。また、GE の濃度を低減するためには、後に追加の処理が必要となる場合がある。

- 39 より強力な真空装置を使用すると、蒸気の体積が増えて除去効率が上がるため、揮発性物質の蒸発を容易にして植物油及び魚油の脱臭温度を下げることができ、GE の生成を低減し、またわずかではあるが 3-MCPDE の生成も低減することができる。
- 40 短行程蒸留² (脱臭の代替工程) は、魚油における熱負荷とエステル類の生成を低減し、従来の脱臭と比較して 3-MCPDE と GE の量を低減できることが示されている。しかし、官能特性への影響を考慮すると、短行程蒸留の後に穏やかな条件での脱臭処理が必要である。

精製後の処理

- 41 精製油中の 3-MCPDE 及び GE の濃度を低減するため、推奨される以下の取組を実施できる。これらの取組は、3-MCPDE 及び GE の濃度が、意図した用途における望ましい水準よりも高い油に対して最も適切であろう。
- 42 最初の脱色・脱臭の後に再脱色・再脱臭をすることで、精製パーム油中の GE 濃度をより低くできることが示されている。(2 回目の脱臭は、最初の脱臭よりも低い温度で実施されるべきである。)
- 43 精製後に活性白土を使用することで、精製植物油中の GE を低減できることが示されている。
- 44 脱色、脱臭後の植物油に短行程蒸留 (圧力: 1 mbar 未満、温度: 120-270°C) を行うことで、アシルグリセロールや 3-MCPDE 及び GE の濃度を低減できる。
- 45 精製後の MCT 油 (中鎖脂肪酸のトリアシルグリセロール) を、脂肪酸及びアルカリ金属などのカチオン性カウンターイオン、そして 1 種類以上の塩基で処理すると、3-MCPDE は MAG、DAG、TAG に、GE は DAG に変換される。

食品の原料として用いる精製油の選定と使用

² 短行程蒸留は、比較的低温での揮発性物質の穏やかな除去を可能にする。これは、減圧下で分離される物質の沸点が低下すること、蒸発面と凝集面の距離が近いことため除去効率が向上することによって達成される。

精製油の選定

- 46 3-MCPDE 及び GE の濃度が低い精製植物油や精製魚油（例：元々の濃度が低かったもの又は低減対策により濃度が低くなったもの）を選定することで、これらの油を含む最終製品中の 3-MCPDE 及び GE の濃度は低くなる。例えば、乳児用調製乳中の 3-MCPDE 及び GE の濃度には変動があるが、これは 3-MCPDE 及び GE の濃度が異なる油を使用しているためであろう；したがって、3-MCPDE 及び GE の濃度が低い油を選定すれば、3-MCPDE 及び GE の濃度が低い乳児用調製乳が得られる。しかし、製造者は、品質や配合についても検討しなければならない可能性がある。例えば、乳児用調製乳の場合、製造者は、国の基準や乳児用調製乳及び乳児用特殊医療用調製乳に関する規格（CXS 72-1981）等に定められている組成規準を満たせるように原料精製油を選定している。

製造方法の変更

- 47 最終製品に使用される精製植物油及び精製魚油の量を減らすことは、最終製品中の 3-MCPDE 及び GE の濃度を下げるための代替手段となりうる。しかし、これは最終製品の官能特性や栄養素といった品質に影響を与える可能性がある。
- 48 精製植物油を揚げ油として使用すること自体は 3-MCPDE 及び GE の更なる生成に寄与しないものの、食品の種類（例：肉製品や魚製品）によっては揚げ調理中に 3-MCPDE の生成が起こる可能性がある。

実施候補となる 3-MCPDE 及び GE の低減対策

低減対策の記載順は優先度順ではない。

各々の製品において最も効果的な方法を特定するため、低減対策の試行を推奨する。

生産工程	低減対策
植物油の原料 管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 入手可能であれば、リパーゼ活性が低いパーム品種を選定すること。 ・ 油の原料がとれる草花や樹木の栽培中における、塩素を含む化合物を多く含む肥料、農薬、灌漑水の使用を最小限にすること。 ・ パーム果実は適度に熟した時点で収穫し、取扱いを最小限にし、傷ついた又は熟しすぎた果実の使用を避けること。 ・ パーム果実を可能な限り速やかに搾油工場に輸送すること。
搾油及び精製	<p>粗油の生産・処理</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 油糧種子を低温・乾燥条件で貯蔵すること。 ・ パーム果実を 140℃以下で殺菌すること。リパーゼを不活化するため、油糧種子を洗淨、乾燥、加熱すること。 ・ 植物油の粗油を、塩素を含まない水で洗淨すること。 ・ 溶媒や抽出液に残存した植物油の回収を避けること。 ・ 植物油や魚油の粗油バッチ中の前駆体（例：DAG、FFA、塩素化合物）を評価し、精製条件を調整すること。 ・ 前駆体の濃度が低い植物油・魚油の粗油を優先的に精製すること。 <p>脱ガム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 植物油や魚油について、より穏やかで酸性度が低い条件による脱ガムを行うこと（例：低濃度の酸を用いた脱ガム又は水脱ガム）。 ・ 植物油について、脱ガム温度を下げること。 <p>中和</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 植物油や魚油について、物理的精製の代わりに化学的精製（すなわち中和）を行うこと。 <p>脱色</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 植物油や魚油について、多量の白土を使用すること。 ・ パーム油、一部の種子油、魚油について、酸性度を下げるために pH がより中性に近い白土を使用すること。 <p>脱臭</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 植物油や魚油について、脱臭温度を下げること。温度は油の滞留時間によって異なる。 ・ 植物油や魚油について、従来の脱臭の代わりに2段階脱臭を行うこと。 ・ 植物油や魚油について、揮発性物質の蒸発を容易にして脱臭温度を下げるため、より強力な真空装置を使用すること。

	<ul style="list-style-type: none"> 魚油について、熱負荷を軽減するため、(脱臭の代わりに) 短行程蒸留を行うこと。
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">精製後の処理</p>	<ul style="list-style-type: none"> 一度脱色・脱臭をした精製パーム油に、再脱色・再脱臭を行うこと。 精製植物油に、活性白土を使用すること。 脱色・脱臭後の植物油に、短行程蒸留を行うこと。 精製 MCT 油 (中鎖脂肪酸の TAG) を、脂肪酸及びアルカリ金属のようなカチオン性カウンターイオン、1 種類以上の塩基で処理し、3-MCPDE を MAG、DAG、TAG に、GE を DAG に変換すること。
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">精製油の 選定・使用</p>	<p>精製油の選定</p> <ul style="list-style-type: none"> 3-MCPDE 及び GE の濃度が低い精製植物油や精製魚油を選定すること。 <p>製造方法の変更</p> <ul style="list-style-type: none"> 最終製品中の精製植物油や精製魚油の量を減らすこと。