



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Application of untargeted lipidomics for the identification and characterization of novel lipids in plant and yeast samples
Author(s)	MALEK, MD ABDUL
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。利用可能日以前の閲覧方法は https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/ をご参照ください。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(食資源学)
Dissertation Number	甲第17002号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k17002
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99846
Type	doctoral thesis
File Information	MD_ABDUL_MALEK_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博 士（食資源学） 氏名 MD ABDUL MALEK

審査担当者	主 査	准教授	ボメゴウダ	シッダバサーブゴウダ
	副 査	教 授	曾根 輝雄	
	副 査	准教授	小林 国之	

学 位 論 文 題 名

Application of untargeted lipidomics for the identification and characterization of novel lipids
in plant and yeast samples

(植物および酵母サンプルにおける新規脂質の同定と特性評価のための非標的脂質オミクスの応用)

脂質は、細胞の構造的完全性の維持、エネルギー貯蔵、細胞シグナル伝達に寄与する必須の疎水性生体分子である。細胞内活動に加え、多価不飽和脂肪酸（PUFA）などの食物由来の生理活性脂質は、抗炎症作用、心保護作用、神経保護作用など、顕著な健康効果を示す。植物や微生物由来の脂質の重要性にもかかわらず、食用植物や酵母における新規生理活性脂質の包括的なリピドミクス解析と特性評価に焦点を当てた研究は依然として限定的である。本博士研究は、非標的型高分解能液体クロマトグラフィー-質量分析法（LC/MS）を用いて、食用バラの花弁、ハーブティ、ブドウ、油糧種子、サッカロマイセス・セレビシエなどの酵母等、様々な植物試料の新規脂質を同定・特性評価する包括的な脂質プロファイリングにより、これらの研究ギャップを補完することを目的とした。非標的 LC/MS 分析により、アシルステリルグリコシド（ASG）、ヒドロキシ脂肪酸エステル（FAHFA）、N-アシル-リソホスファチジルエタノールアミン（LNAPE）、アシルヘキソシルセラミド（AHexCer）などの新規脂質が同定・特性評価された。本知見は、食用植物および酵母の重要性を示し、食品科学における非標的リピドミクスの重要性を強調するとともに、栄養学およびバイオテクノロジー的意義を有する植物や真菌由来脂質の存在を明らかにした。

第1章では、脂質全般の情報、脂質の定義、分類、生理活性脂質の健康効果、植物・酵母サンプルにおけるリピドミクス研究、展望、研究ギャップ、そして本研究の目的を紹介する。また、リピドミクスの原理、分析手法、脂質クラスの生物学的関連性について説明し、標的型および非標的型 LC/MS アプローチの開発に焦点を当てる。本章では、現在のリピドミクス手法の限界、特に食品資源の包括的なリピドミクスに関する知識の不足について論じる。

第2章では、島根県で栽培された食用バラの花弁2種（サヒメとアップルローズ）の脂質プロファイリングについて述べる。脂質抽出には改良型 Bligh-Dyer 法を用い、LC-Orbitrap-MS 分析による非標的解析により、脂肪酸（FAs）、グリセロリン脂質（GPs）、グリセリド（GLs）、スフィンゴ脂質（SPs）、ステロール（STs）の5つの主要脂質カテゴリーから166種類の脂質分子種を同定した。脂肪酸は、サヒメとアップルローズの両方で不飽和脂肪酸に比べ飽和脂肪酸が豊富であった。また、サヒメのバラの花弁はアップルローズと比べて GPs および STs の含有量が有意に多く、フィトセラミドなどのスフィンゴ脂質は、サヒメに比べアップルローズで相対的に多かった。特筆すべき点として、これらのバラの花弁から11種類の新規アシルステリルグリコシド（ASG）が初めて発見された。さらに、相関分析により、2種のバラ間で明確に異なる脂質プロファイルが示され、脂質組成の多様性に加えて、花弁における健康促進作用が期待される脂質成分の存在が示唆された。

第3章では、フェンネル（*Foeniculum vulgare* Mill.）、ショウガ（*Zingiber officinale*）、ジュニパー（*Juniperus communis*）、レモンピール（*Citrus limon*）、オレンジピール（*Citrus aurantium*）、ロー

ズビップ (*Rosa canina*) の 6 種類のハーブティーについて、非標的 LC/MS 分析を用いた包括的な脂質組成解析を報告する。MS/MS 分析により合計 204 種の脂質分子種が同定・特性評価された。多変量統計解析により各ハーブティー間で明確な脂質プロファイルの差異が明らかになった。クラスター分析では、ショウガには SPs が、フェンネルには GP 豊富に含まれることが明らかになった。トリアシルグリセロールレベルはハーブティー間で顕著な差は認められなかった。栄養指標である PUFA/SFA 比はオレンジピールで最も高く、次いでレモンピールであり、柑橘系ハーブティーの潜在的な健康効果が示唆された。高分解能質量分析法と MSⁿ 解析により、6 種類のハーブティーに存在する多様な脂質 (FAHFs や LNAPE を含む) の同定も可能となった。本研究はこれらのハーブティーの包括的な脂質プロファイルを提供し、栄養や食品分野における機能性成分としての応用可能性を裏付けるものである。

第 4 章では、5 種のブドウ品種を対象とした包括的なリピドミクス解析について述べる。対象とした品種は、ワイン醸造に用いられる白ブドウ品種で一般に白ヘラルドとして知られるケルナー (*Vitis vinifera*)、日本の交雑品種であり清舞、清見、山幸 (*Vitis coignetiae*)、および赤ワイン醸造に用いられるオーストリア交雑品種ツヴァイゲルト (*Vitis vinifera* Zweigelt) である。ブドウは果実 (果肉と果皮を含む) と種子に分離され、包括的なリピドミクス解析により 5 つの主要脂質カテゴリーに跨る 245 種の脂質が同定された。多変量解析により、5 品種間で明確な脂質組成の違いが明らかになった。全てのブドウ種子で果実と比較して脂質含有量が高い傾向を示した。また、ツヴァイゲルト種子には脂肪酸アシルが豊富に含まれており、高い PUFA/SFA 比を有する ω -3 および ω -6 脂肪酸を含むことから、他品種と比較して健康上の有益性が示唆された。重要な点として、本研究ではスフィンゴ脂質の一種であるアシルヘキソシルセラミド (AHexCer) などの新規脂質を同定し、これらのブドウ品種において初めて特性を解析した。AHexCer 脂質はケルナー種子に豊富に存在した。また、清見は化粧品に広く利用される天然セラミドの潜在的供給源であることを明らかにした。さらに、抗酸化物質を含む複数の水溶性代謝産物が同一試料から同定・特性化された。本研究は北海道産の 5 品種のブドウ果実・種子の包括的脂質プロファイリングを示し、機能性食品開発と高品質ワイン醸造への応用を支持するものである。

第 5 章では、チア (*Salvia hispanica*)、亜麻 (*Linum usitatissimum*)、カボチャ (*Cucurbita pepo*)、ヒマワリ (*Helianthus annuus*)、ヘンプ (*Cannabis sativa*) の 5 種の一般的な油糧種子におけるリピドミクス解析に焦点を当てた。この非標的解析により 259 種の脂質分子種が同定された。ヒマワリの種子は ω -3 および ω -6 脂肪酸レベルが高い一方で、カボチャは脂質全体の豊富さと多様性を示し、特にトリアシルグリセロールと GP 豊富であった。ほとんどの品種で飽和脂肪酸が不飽和脂肪酸を上回った。興味深いことに、非標的リピドミクス解析を用いることで、油糧種子において FAHFs などの新規脂質も初めて同定・特性化され、機能性食品やサプリメントへの応用可能性が示された。

第 6 章では、発酵およびバイオテクノロジー利用において重要な 48 の酵母株 (*Saccharomyces cerevisiae* (SC)) における脂質組成の多様性を検討した。LC/MS 分析により、5 つの脂質クラスと 15 のサブクラスに属する 135 種の脂質分子が同定された。48 酵母株における脂質種の相関解析を実施した。さらに、LNAPE など複数の生理活性脂質が酵母品種において初めて同定・特性化された。本研究は、ワイン発酵における株特異的代謝適応の理解と工業的発酵品質の向上に向け、酵母脂質代謝に関する新たな知見を提供する。

総括すると、本博士研究は非標的 LC/MS 解析と高度なバイオインフォマティクス手法を統合することで、植物と酵母を対象とした包括的なリピドミクスフレームワークを確立した。本研究は天然食品マトリクスおよび微生物系における脂質の多様性、機能性、生理活性の理解を深化させるものである。さらに、FAHFs、AHexCers、ASGs、LNAPEs などの新規脂質の同定は、脂質代謝の生化学的全体像に新たな知見を提供し、機能性食品や栄養補助食品への応用可能性を示唆する。本研究は食品科学と分析化学の間の研究ギャップを埋め、脂質研究の進展を促進することを目的とする。

よって、審査員一同は、MD ABDUL MALEK が博士 (食資源) の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。