



|                     |                                                                                                                                           |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title               | Application of foodomics towards identification and characterization of bioactive lipids in dietary grains and herbs                      |
| Author(s)           | NATH, Lipsa Rani                                                                                                                          |
| Degree Grantor      | 北海道大学                                                                                                                                     |
| Degree Name         | 博士(食資源学)                                                                                                                                  |
| Dissertation Number | 甲第16678号                                                                                                                                  |
| Issue Date          | 2025-09-25                                                                                                                                |
| DOI                 | <a href="https://doi.org/10.14943/doctoral.k16678">https://doi.org/10.14943/doctoral.k16678</a>                                           |
| Doc URL             | <a href="https://hdl.handle.net/2115/98288">https://hdl.handle.net/2115/98288</a>                                                         |
| Type                | doctoral thesis                                                                                                                           |
| File Information    | NATH_Lipsa_Rani_review.pdf, 審査の要旨 <a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a> |



## 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      Nath Lipsa Rani

|       |     |     |       |            |
|-------|-----|-----|-------|------------|
| 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 | 内田 義崇 |            |

## 学 位 論 文 題 名

Application of foodomics towards identification and characterization of bioactive lipids in dietary grains and herbs

(食用穀物およびハーブに含まれる生理活性脂質の同定と特性解析に向けたフードミクスの応用)

脂質は食品の基本成分であり、エネルギー源としてだけでなく、細胞構造、シグナル伝達、代謝プロセスの制御に関与する重要な分子である。近年、多価不飽和脂肪酸（PUFAs）、ステロール脂質（STs）、生理活性脂質誘導体など、特定の脂質クラスの栄養学的重要性が、肥満、糖尿病、心血管障害などの生活習慣病を予防し、健康を促進する役割として注目されている。このような関心の高まりにもかかわらず、既存のリピドミクス研究の多くは動物実験系や臨床系を対象としており、植物由来脂質、特に伝統的なハーブや全粒穀物に含まれる脂質の多様性と機能については未解明なままである。本研究では、アンターゲットリピドミクスを応用して、日本のハーブ、ソルガムきび、米の品種に含まれる新規の脂質種を同定し、その特性を明らかにすることで、このギャップを解決する。脂質プロファイルが植物の種類によってどのように異なるのか、どのような新たな生理活性脂質が発見されるのか、そしてそれらが栄養機能や潜在的な農業用途とどのように関連するのかを問うものである。高分解能液体クロマトグラフィー質量分析計を用いて、この研究では数百の脂質分子を同定し、ヒドロキシ脂肪酸の脂肪酸エステル（FAHFA）や N-アシル-リゾホスファチジルエタノールアミン（LNAPE）など、いくつかの新規種を発見した。血糖値予測、共焦点イメージング、遺伝子発現研究などの機能的アッセイにより、脂質プロファイルは健康に関連する形質や植物の生理学的反応と関連づけられた。この研究結果は、栄養学および農学的に重要な意味を持つ可能性のあるユニークな植物脂質を発見し、食品科学におけるリピドミクスの価値を浮き彫りにした。

第 1 章では、食物脂質、その分類、食品中における存在、そしてこれらの化合物を包括的に分析するフードオミクスの新たな役割について概説する。本章では、現在のリピドミクス手法の限界、特に食品脂質分析のための標準化されたプロトコルの欠如について考察。また、精密栄養学におけるリピドミクスと他のオミクス技術の統合に向けた将来の動向についても考察する。

第 2 章では、4 種類の伝統的な日本茶を用いて非標的脂質組成分析を実施した。高分解能 LC-Orbitrap-MS 分析により、脂肪酸アシル（FA）、グリセロリン脂質（GP）、グリセロ脂質（GL）、スフィンゴ脂質（SP）、ステロール脂質（ST）など、様々な脂質クラスにわたり、合計 344 種類の脂質分子種が同定された。特に注目すべきは、これらのハーブ茶において、4 種類の新規ヒドロキシ脂肪酸短鎖脂肪酸エステル（SFAHFA）が初めて発見されたことだ。多変量統計解析により、茶種間で異なる脂質組成プロファイルが明らかになり、ハーブ飲料における組成の多様性と健康増進効果のある脂質含有量の可能性が示された。

第 3 章では、オーストラリアで管理された圃場条件下で栽培された商業用ソルガム 6 品種

を対象に、リピドミックスのプロファイリングを行った。合計 194 の脂質分子種がアノテーションされ、総脂質含量と脂肪酸組成における品種間の有意な差異が浮き彫りになった。MR43 や Bazley のような品種は、PUFA や FAHFA のレベルが高く、食事や健康への効果が期待できる。本研究ではまた、ソルガムきびの穀物中に 5 つの新規 FAHFA を初めて同定した。また、これらの分子の水酸基の位置を確認するために誘導体化技術を利用した。本章では、ソルガムきび栽培品種のユニークなリピドミックスシグネチャーを確立し、その栄養的可能性と健康志向の穀物製品への機能的応用を強調する。

第 4 章では、56 品種の色素性ジャポニカ米におけるリピドミックスと血糖応答に関する統合的解析を行った。5 つのカテゴリーにわたる合計 198 種の脂質がプロファイリングされ、FAHFA や LNAPE を含む新規生理活性脂質の同定につながった。選抜された品種のうち、黒米と緑米の品種は、多価不飽和脂肪酸／飽和脂肪酸比が高く、健康増進指数が高く、推定血糖指数 (eGI) 値が低いなど、より健康的な脂質プロファイルを示した。さらに多変量解析により、脂肪アシルとグリセロリン脂質が農法を区別する重要なマーカーであることが明らかになった。これらの知見は、色素米の栄養品質に関する貴重な分子学的洞察を提供し、より良い代謝健康のための低 EGI 米品種の開発を支援するものである。

第 5 章では、ヒジキ由来カーボンナノドット (CND-H) のイネ幼苗生育における農業応用について検討した。共焦点顕微鏡観察と発光スペクトルマッチングを用いて、CND-H が発芽中のイネ粒に吸収されることが確認された。種子発芽試験では、CND-H 処理した幼苗は対照群と比較して、シュートと根の伸長が促進されることが示された。さらに、遺伝子発現解析により、トリアシルグリセロール生合成の鍵酵素である *OsDGATI* の有意な発現上昇が明らかになり、CND-H 処理がイネ幼苗における脂質蓄積促進効果を有する可能性が示唆された。*OsACBP4* の発現には有意な変化は認められなかったものの、これらの予備的な結果は、ナノマテリアルが種子の活力と脂質代謝を促進する上で有益な役割を果たすことを示唆している。

本論文は、植物脂質の多様性に関する理解を深め、いくつかの新規脂質分子種を初めて報告するとともに、栄養科学と農業の両面において、リピドミックスと機能研究を組み合わせた研究の可能性を示しています。本研究成果は、食用作物やハーブ製品中の健康関連脂質の特定における非標的リピドミックスの重要性を強調し、作物の生育と脂質品質の向上に向けたナノテクノロジーを含む革新的な戦略を提案している。

よって、審査員一同は、Nath Lipsa Rani 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。