

生物機能開発研究所

平成 19 年度プロジェクト成果報告書

テーマ：食品成分の機能性および安全性評価システムの開発

プロジェクトリーダー：永井和夫

課題 1：培養細胞を用いた機能性食品成分の評価ならびに作用機構の解析

担当：永井和夫

平滑筋細胞は血管内皮細胞と共に血管壁を構成する重要な細胞である。正常な平滑筋細胞は収縮型であり、血管の中膜に存在する。それがアテローム性動脈硬化や手術後冠動脈再狭窄といった病態に関わると合成型へ変換し、内膜への遊走と増殖が始まる。その形質変換において血小板増殖因子(PDGF)が平滑筋細胞の増殖と遊走を促進することが知られている。そこで本研究では、ヒト大動脈平滑筋細胞(HASMC)を用いて、PDGF による HASMC 細胞の増殖を抑制する機能性食品成分を探索する実験系を確立した。HASMC を 96 穴プレートに 10,000 cells/well で播種し、10 % FBS-DMEM にて 80%の密度になるまで培養後、無血清の DMEM 培地に交換してさらに 24 時間培養した。その後、PDGF (20 ng/ml) および各濃度の機能性食品成分を含む培養液に交換して 20 時間培養し、さらに各 well に³H]-thymidine(1μCi/ml)を添加して 4 時間 CO₂ インキュベーター内で培養した。培養後、Cell harvester で細胞を回収し、シンチレーションカウンター(Top counter)を用いて取り込まれた放射線量を測定した。増殖能は、PDGF および試験化合物未処理のコントロールを 100 としたときの相対値として示した。本法を用いて天然物由来化合物や食品成分の探索を進めている。

課題 2：線虫バイオセンサーを用いた化学物質の評価法

担当：三輪錠司

外来物質（生体異物：xenobiotics）に対する生物の応答反応を利用することで、様々な化学物質の毒性もしくは有用性を評価する研究をおこなった。GST（glutathione S-transferase）、UGT（UDP glucosyl/glucuronosyl transferase）、SDR（short-chain type dehydrogenase）の解毒酵素 3 種類をコードする遺伝子プロモーターと、緑色蛍光タンパク GFP（green fluorescence protein）の遺伝子を融合させた遺伝子 *gst::gfp* を組み込んだ、線虫バイオセンサーを作製した。そのなかで、*gst-4* と *ugt-13* のプロモーターを利用したバイオセンサーは、食品危害物質であるアクリルアミドに対して迅速に反応し、処理時間

および濃度に応答して GFP 蛍光を発した。このバイオセンサーを利用して、その他の食品有害物質である 1,3-DCP (1,3-dichloro-2-propanol)、3-MCPD (3-chloro-1,2-propandiol)、環境汚染物質であるメチル水銀、カドミウムの評価をおこなった。今回の方法ではカドミウムを検出することができなかったが、その他に対しては迅速に反応し、8 時間以内に GFP 蛍光を検出できた毒物および濃度はそれぞれ、3-MCPD および 1,3-DCP が 100 ppm、メチル水銀が 2,5 μM であった。従って、安全性評価で慣行となっている 100 倍 (あるいは、1000 倍) の安全性係数を適用して、暫定許容基準値を 3-MCPD と 1,3-DCP が 1 ppm (0.1 ppm)、メチル水銀は 25 nM (2.5 nM) と提案することができる。

課題 3 : 食品成分に含まれる分子シャペロン誘導因子の探索およびその機能解析

担当 : 大塚健三

熱ショック蛋白質 (HSP) はさまざまな環境ストレスで誘導される。HSP は分子シャペロンとして機能し、細胞内の種々の機能を制御しているだけでなく、タンパク質毒性をもつストレスに対する内因性の防御因子でもある。毒性のない薬剤などでこの分子シャペロンを誘導できれば、生体はさまざまな環境ストレスに対して抵抗性になると考えられている。われわれはすでにシャクヤクの主成分であるペオニフロリンが HSP 誘導能をもつことを明らかにしてきた (Cell Stress & Chaperones 9: 378-389, 2004; Int. J. Hyperthermia 21: 703-711, 2005)。

前年度から引き続き、塩酸投与によるマウス胃粘膜障害に対するペオニフロリンの防護効果を中心に研究を進めてきた。ペオニフロリン投与後の時間経過を追って、Hsp70 発現と胃粘膜障害軽減効果の程度を検討したところ、やはり両者の相関が見られた。また、塩酸だけでなく、エタノールによる胃粘膜障害に対してもペオニフロリン前投与による防護効果が確認された。さらに塩酸投与によりマウス胃では、炎症生因子である NF- κ B の活性化、COX-2 の誘導が見られたが、ペオニフロリン前投与により、これらの炎症生因子の活性化が抑制された。このことは、誘導された Hsp70 が NF- κ B の活性化を阻害し、COX-2 の誘導を抑制したことを示唆している。

また、マウス B16 メラノーマ細胞の移植腫瘍を用いて、分子シャペロン誘導因子であるペオニフロリンの抗腫瘍効果の再検討を進めているが、これまでの予備的な実験結果と同様に、抗腫瘍効果がみられ、再現性のあることが分かった。今後さらに投与量を変えるなどして詳しく検討していく予定である。

もう一つの分子シャペロン誘導因子であるカルベノキソロンについても、これまでの報告では Hsp70 しか誘導しないとあったが、われわれの研究では、Hsp70 だけでなく、Hsp90、Hsp40、Hsp27 も誘導することが判明した。

課題4：生活習慣病予防・改善効果を示す食品成分の機能性評価系の確立

担当：禹 濟泰

生活習慣病の成立に「核内受容体」が関わっていることが明らかになってきた。核内受容体は、そのリガンドと共に様々な遺伝子の発現を制御することで、生体内の恒常性維持において重要な役割を担っている。そこで本研究では、核内受容体の一種であり脂質代謝・糖質代謝と密接に関連する Liver X Receptor(LXR)に着目し、LXR の活性を制御する新規リガンド（アゴニスト）を探索する実験系の確立を試みた。核内受容体はアゴニスト依存的に転写補助因子と結合する。この核内受容体と補助因子との相互作用を測定するため、本研究では表面プラズモン共鳴（Surface Plasmon Resonance：SPR）を利用した分子間相互作用測定装置である Biacore3000 を用いたリガンド結合活性の評価方法を検討した。LXR のアゴニストとして知られる T0901317 は、用量依存的に LXR と転写補助因子との結合レスポンスを増強したが、LXR のみ、あるいは T0901317 のみではレスポンスが観察されなかったことから、本法により LXR リガンドを特異的に検出できると考えられた。本法を用いて天然物由来化合物ライブラリ約 2300 種より結合活性を示す 2 化合物を見出し、生物活性を検証中である。

課題5：プロテインホスファターゼ 2C の特異的活性調節成分の探索

担当：大西素子

プロテインホスファターゼ 2C（PP2C）は、脂質代謝の調節、細胞周期やアポトーシスの制御および炎症反応の抑制等に深く関与していることが知られている。本研究では、癌を初め様々な疾病の治療に有効であろうと予想される PP2C の特異的な阻害剤および活性化剤を得る目的で、昨年度に引き続き放線菌、糸状菌、真菌由来の微生物抽出液 960 種類および南国食用植物由来の 77 種類の抽出液について、PP2C α に対する阻害および活性化効果の検討を行った。

その結果、微生物抽出液のうち 360G03、360H06、360C08、360C10 の 4 種類に高い阻害効果が認められた。今年度は、このうち 360G03 および 360H06 について分画を繰り返し、PP2C α 阻害成分の精製を試みた。

360H06 の阻害成分は ODS カラムクロマトグラフィーにより 60%から 80%メタノールで溶出される画分に含まれることがわかった。今後さらに精製を進め、阻害成分を同定する。360G03 は CAPCELL PAK カラムを用いた条件の異なる 3 回の HPLC により、かなり阻害成分の精製度を高めることができた。最終的に分取した画分の ^1H NMR 測定を行った結果、阻害成分は脂肪酸の誘導体等ではないこと、また 1 種類ではなく 2〜3 種類の化

化合物が混在していることなどがわかった。今後、より極性の高い化合物を分取できるカラムを用いて、阻害化合物を精製、構造を決定する。

また、3種類の南国植物に由来する抽出液に PP2C α 阻害活性が認められた。

課題6：脂肪細胞機能の制御に関する食品因子の評価法の開発と応用

担当：津田孝範

脂肪細胞は、単なる脂肪の貯蔵場所ではなく、種々のアディポサイトカインを分泌する最大の内分泌細胞であることが明らかになっている。肥満は脂肪細胞の肥大化にともなう慢性の炎症状態と考えられ、脂肪細胞機能の異常、すなわちアディポサイトカインの発現、分泌異常を伴い、このことが耐糖能異常や血管障害に関与する。本研究ではまず脂肪細胞での炎症モデル評価系を作り、脂肪細胞機能の制御に関わる食品因子の評価系を作成した。その結果、成熟脂肪細胞へ炎症性アディポサイトカインの一つである腫瘍壊死因子- α を添加することにより、簡便にアディポサイトカイン発現異常が誘導でき、脂肪細胞での食品因子の評価のための炎症・アディポサイトカイン異常のモデルとして活用できることが明らかになった。今後はこの評価系を活用して脂肪細胞機能の制御に関わる食品因子の検討を行う予定である。

課題7：有機質量分析法による使い捨て弁当容器の安全性に関する評価

担当：鈴木 茂

食品汚染の原因化学物質，食品の機能性成分の評価技術開発の一環として使い捨て弁当容器から温水，温エタノールに溶出する化学物質の同定を行った。リサイクルプラスチック混入の指標として臭素化難燃剤およびその分解物である 2,4,6-tribromophenol, 2,2-Bis[3,5-dibromo-4-(2-hydroxyethoxy)phenyl]propane (慣用名 tetrabromobisphenol A), 1,2,5,6,9,10-Hexabromocyclododecane の温水およびエタノールへの溶出について評価したところ，評価した 10 種類中 1 種類のから tetrabromobisphenol A が微量検出された。このことから，使い捨て弁当容器にはほとんどの場合リサイクルプラスチックが使用されていないものの，極微量ながらリサイクルプラスチックの混入が疑われた。

また，溶出した未知成分の解析のため LC/ToF-MS による元素組成演算に著者が開発した MsMsFilter(S.Suzuki et.al,54th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics, ThP14 – 185, Seattle, WA,2006)を適用し，得られた元素組成と一致する既存化学物質として多種類のポリエトキシレート系界面活性剤，アルキルフェノール類を検索した。界面活性剤はプラスチック整形時に製品同士の癒着防止，滑剤として使用されたものの溶

出の可能性が高い。使い捨て弁当容器ではそれらを洗浄することなく使用していると考えられ、日常的にこれらの物質を体内に摂取する場合の健康影響評価が必要と考えられる。

課題 8：不斉中心を持った残留農薬の食品流通における動態解明のための分析系の構築

担当：山本 敦

800 種を超えるポジティブ制農薬の中には数多くの不斉農薬が存在する。これら不斉農薬は、キラル体で供給、散布されるが、土壌中や作物中で生物的、物理的に異性体比率が変化する。これら農薬は、当然異性体間で有効性や生理活性が異なるため、残留量に占める異性体比率の把握は重要である。クロマトグラフィーによる直接分割は精度の点で優れているが、マトリクス中の測定では夾雑ピークが大きな妨げとなる。通常カラムによる異性体非分離での不斉光学検出器を使った測定法は、複雑な不斉分離条件の設定不要な簡便法であるが、感度的に劣る。

我々は既に、不斉化合物の選択的検出手段としての高感度な偏光度変調型旋光度検出器を開発・報告している。円二色性検出器の光学系に、安価な素子である偏光プリズムと位相差板を組み込むだけで、紫外部領域にまで対応可能で波長可変型の旋光度検出器が構築される。問題は波長依存性を持った位相差板の存在である。波長可変型であるが、位相差板を交換しない限り測定波長の偏光はできない。そこで本年度は、位相差板に変わる遅相子として、回折格子の利用を検討した。一般に、回折格子からの零次光は、刻線間隔と波長が近づくと従い遅相の大きくなることが知られている。そこで蛍光分光光度計の光学系を利用したエリプソメータを構築し、一次光の遅相を求めたところ、零次光と同様な挙動を示すことが判明した。この現象を利用して旋光度検出したところ、位相差板を用いた場合と同等のシグナル強度が得られることを明らかにできた。

課題 9： *Artemisia* 属植物の機能性成分の検索とその開発研究

担当：南 基泰

日本国内に自生する生薬茵陳蒿（インチンコウ）の基原植物カワラヨモギ（*Artemisia capillaris*）の葉緑体 DNA の塩基配列より、分子系統解析を行った。そして国内の系統関係から起源を考察し、表現型と利胆成分との整合から医薬品資源として分類、評価した。

系統関係と表現型を整合させ大別した結果、大きく 3 つのグループに分けられた。本州・九州には河岸と海岸に自生する直立型と海岸に自生するほふく型がある。そのため、本州・九州直立型と本州九州ほふく型のグループに分けられた。利胆成分は両草姿型とも含まれるが、本州・九州直立型の含有率の方が高く、両草姿型とも中心花花冠裂片に分泌のうは

認められない。また、この 2 つのグループの分布域は日華区系に属し、本州に対馬を経由した朝鮮半島ルートで日本に分布が広がったと考えられる。琉球には琉球直立型が自生し、利胆成分はほとんど含まれておらず、分泌のうは認められるかまたはキメラである。また、本州・九州とは異なるクラスターを形成し、同属他種のオトコヨモギに近い系統である。琉球は東南アジア区系に属し、南西諸島を経由した南方ルートで日本に分布が広がったと考えられる。

以上から、国内のカワラヨモギは、本州・九州直立型、本州・九州ほふく型、琉球直立型の 3 つのグループが存在し、利胆成分から医薬品資源を評価すると、本州・九州直立型が最も適していることが明らかとなった。

課題 10：菌類および植物に含まれる多糖成分の抽出と構造解析 ならびに モデル多糖の化学合成

担当：堤内 要

我々はこれまで、1,3-アンヒドロ糖誘導体の開環重合を基盤とした(1→3)- β -D-グルカンの化学合成を行ってきた。昨年度の研究で、モデル多糖の免疫活性は分岐度よりも鎖長に大きく影響されることが判明したため、本年度は重合体の鎖長制御を検討した。n-ヘキシルアルコールやベンジルアルコール、糖誘導体を開始剤に用いて重合した結果、3位を水酸基のまま残した糖誘導体を用いた場合に最も重合体の分子量を制御できることを見出した。これ以外にも、本年度はモデル多糖の合成をより効率よく行うため、細菌が生産する線状(1→3)- β -D-グルカン“カードラン”やセルロースの化学修飾による分岐多糖の合成研究にも着手した。第1段階の保護基の導入において再現性に乏しいという問題があり、現在のところ、より高い再現性が得られる実験手順や条件を探索している段階である。

一方、いくつかの企業から菌類や藻類の試料を提供してもらい、それらから多糖成分を抽出、構造解析する研究も行った。その結果、キノコや海草では全く同一の種でも、既報と若干異なる知見が得られた。季節や栽培条件などによってグルカンの量や糖組成、分岐度などに変化があると考えられるため、生産会社と共同して栽培条件と分子構造との相関を詳細に調べる研究計画を立てた。

課題 11：抗酸化能および酸化ストレスを指標とした食品の機能性評価および向上

担当：吉村和也

植物は主要な食糧資源であるため、その代謝や環境ストレス耐性の理解は、食品の機能

性や生産性向上に大きく貢献できると考えられる。種々の環境ストレスにより生体内で生じる活性酸素は、DNA やその基質であるヌクレオチドを酸化し、突然変異を誘発する。しかし、植物における酸化ストレスと突然変異蓄積との関連性については不明な点が多い。そこで本研究では、(1) 種々の抗酸化系が DNA への突然変異蓄積へ及ぼす影響の解析、(2) DNA 突然変異防御系を強化した植物の作出および一般作物への応用、を試みている。そこでまず、植物が有する酸化的 DNA 損傷の修復機構を明らかにするために、高等植物シロイヌナズナに唯一存在する酸化ヌクレオチド (8-oxo-dGTP) 加水分解酵素、AtNUDX1 の機能解析を行った。AtNUDX1 の *in vivo* での機能を明らかにするために、大腸菌 *mutT* 欠損株を用いた相補試験を行った。その結果、AtNUDX1 の導入により *mutT* 欠損による DNA 突然変異および転写エラーは完全に抑制された。また、AtNUDX1 遺伝子破壊シロイヌナズナにおけるゲノム中の酸化塩基 (8-oxo-G) 量は、通常条件下においても野生株より多く、パラコート処理による酸化ストレスにより顕著に増加した。これらのことから、シロイヌナズナにおいて AtNUDX1 は酸化的 DNA 損傷の修復に機能していることが明らかになった。

課題 12：植物中の硝酸イオン含有量について — 評価技術と低減化技術の確立 —

担当：愛知 真木子

亜硝酸イオンは、チアノーゼを引き起こしたり、体内で *n*-ニトロソジメチルアミンとなりガンを誘発する。亜硝酸イオンの由来は、ハムやソーセージにごく少量添加されている防腐剤や発色剤、あるいは水道水、井戸水、野菜に含まれる硝酸イオンなどが上げられる。2001 年 EU では、農作物中の硝酸イオンが体内で亜硝酸イオンとなることから、作物の硝酸イオン含量に関する規制が施された。一方、わが国には野菜中の硝酸イオン含量に関する規制はない。そこで我々は、食品中の硝酸イオンや亜硝酸イオンを *n*-ニトロソジメチルアミンとなる以前に消去する食品物質を得る目的で、硝酸イオン・亜硝酸イオン低減化物質の探索を試みた。まず、亜硝酸イオンは低 pH で分解が進みやすいが、pH2.0 では分解しないことを確認した。次に、200 種の植物抽出物の亜硝酸低減化活性について至適 pH を測定したところ、多くの物質で pH2.0 を示した。胃酸の分泌は食品摂取時に起こり、pH は 1~3 で、ペプシンの至適 pH も 1~3 であることと一致する。以上の結果から、今後、pH2.0 で亜硝酸低減化物質をスクリーニングすることとした。

課題 13：食品中機能成分の精密分子構造解析法の開発

担当：石田康行

本年度は、食品中機能成分の分子構造解析を行うための基礎検討として、脂質やポリフェノールなどの標準物質を試料に用いて、各種分析手法における測定条件の適正化を主に行った。まず、有機化学反応とクロマトグラフィーをカップリングした「反応熱分解ガスクロマトグラフィー」により、各種有機マトリックス中に存在する、脂質成分を高感度に検出する条件検討を行った。ここでは、化学反応場を用いる試薬の種類やその濃度などが脂肪酸成分の回収率に及ぼす影響を精査した。その結果、有機アルカリである水酸化フェニルトリメチルアンモニウムを反応試薬に用いた場合に、トリグリセリドやリン脂質などを構成する脂肪酸成分をそれらのメチルエステルとして高効率に検出できることを見出した。この方法を発展的に応用して、ヒト血清中に含まれる脂肪酸成分の化学組成を、わずかに $2\mu\text{l}$ の試料量を用いて簡便に解析することも可能になった。

また、マトリックス支援レーザー脱離イオン化質量分析法 (MALDI-MS) により、ポリフェノール類の詳細な構造解析を行うために、その測定条件の適正化も試みた。ここでは、試料には、食品中にも含まれることの多い縮合型タンニンを用いた。また、数ある実験パラメータの中から、特に試料成分のイオン化に直接関係する、マトリックス試薬やイオン化助剤などの試薬種の適正化に注目して、MALDI-MS 測定における条件検討を行った。その結果、2,5-ジヒドロキシ安息香酸およびヨウ化セシウムを、それぞれマトリックス試薬およびイオン化助剤として用いた時に、縮合型タンニンに由来するオリゴマーピークを約 8 量体の高分子量体まで明瞭に観測できることが分かった。

課題 14：加工食品中に存在するアクリルアミドの低減化技術の開発

担当：高村基治

高温加熱工程を経た炭水化物系の食材中に神経毒、発ガン性などが懸念される化学物質・アクリルアミドが生成されていることが発表されて以来、その低減化技術の開発を目指した。近年の研究成果としてこのアクリルアミドが食材中のアスパラギンと還元糖によるアミノカルボニル反応の結果であることも判ってきた。そこで原因物質のひとつであるアスパラギンを加水分解しアスパラギン酸とアンモニアにする酵素（アスパラギナーゼ）のスクリーニングをおこない、このアスパラギナーゼを利用することによって食品素材中のアスパラギンを減少化し、その結果アクリルアミドの生成を抑えようとするものである。食品系に実績のある麹菌 (*Aspergillus oryzae*) を数種類入手し、常法により純粋培養で増菌したあと、ふすま培地で 3~5 日、 30°C で静置培養し、得られた菌体を水抽出することによって粗酵素液を得た。アスパラギン $20\mu\text{mol}$ 溶液 2ml に対し粗酵素液 1ml 、緩衝液 1ml の反応系で反応結果を TLC 並びに HPLC を用いて活性の有無、力価を調べた。その結果 5 種の内 1 種が 37°C 、3 時間では明確な活性を見出せなかったが 24 時間の反応で

ほぼ100%アスパラギン酸に転換している結果を得た。今後はこの菌株をもちいて活性の向上を検討していく予定である。

課題 15：機器分析による農産物中の機能性成分の迅速測定法の開発及び含有量の測定

担当：和田俊夫

γ -アミノ酪酸は血圧降下作用が期待される物質として注目されている。あらたな高含有食材を探すことを目的として迅速分析法の開発と種々の農産物中の γ -アミノ酪酸含量についてスクリーニングを行った。

γ -アミノ酪酸はアミノ酸の類縁化合物の一種であることから、標準品につきアミノ酸の検出に用いる代表的な蛍光化試薬であるオルトフタルアルデヒド (OPA) で誘導化したのち、HPLC 法 (蛍光検出) で測定を行った。 γ -アミノ酪酸のピークは注入後約 10 分の位置に検出し、たんぱく質を構成する一般的なアミノ酸とは良好な分離が得られた。検量線は 0.01 ~ 0.1 μ mol/ml の濃度範囲で良好な直線性が得られた。保持時間が 10 分と短いため、オートサンプラーを使用することで多検体についてのスクリーニングが可能であり、また低濃度まで検出できることも確認できた。

各種農産物中の遊離 γ -アミノ酪酸についてスクリーニングを行うため、ニンジン为例として水抽出での振とう時間 (15、60 分間) を検討した。15 分と 60 分の振とうで得られた結果に差が認められなかったため、水抽出 15 分で得られた抽出液について上記 HPLC 法で遊離 γ -アミノ酪酸を測定することとした。果菜類 11、葉菜類 12、茎菜類 2、根菜類 7、花菜類 2、豆類 3、果実類 7 の計 44 作物について測定した結果、すべての作物に遊離 γ -アミノ酪酸は含有し、含有量は 0.91 (玉葱) ~ 90.1 (ウリ) mg/100g であった。

課題 16：細菌胞子の発芽を抑制する食品成分の評価法の確立と作用機作の解明

担当：森山 龍一

乾燥や熱、紫外線や薬剤に対して強い抵抗性を示す細菌胞子は、食品製造過程で汚染が起きた場合に通常の加熱殺菌で殺滅させることが極めて困難であり、生き残った胞子が食品内やヒトの体内で発芽して栄養増殖を再開することによって食品の品質劣化や食中毒などの感染症を引き起こす。細菌胞子の発芽を抑制する食品成分の評価法の確立や作用機作の解明を行うためには、まず好感度で定量的な解析をするための胞子発芽における胞子成分の生化学的変化や動態、および発芽メカニズムについての分子論的理解が重要となる。

胞子の発芽は、L-アラニンに代表される栄養素の刺激による、その耐久性に深く関連する胞子表面の特殊構造 (胞子固有の化学構造を持つペプチドグリカンからなるコルテックス層、その外側を

覆う外膜およびコートタンパク質層)の自己分解過程であると考えられる。そこで、食中毒菌として知られているウェルシュ菌孢子が発芽する際に特異的に作用するコルテックス分解酵素 SleC をコートタンパク質除去孢子に作用させ、生じた分解物を HPLC で分離してそれぞれのアミノ酸・アミノ糖の定量分析と MS-MS 解析により同定した (*Biosci. Biotechnol. Biochem.* 71: 884-892(2007)に掲載)。また、枯草菌孢子表層のプロテオミクス解析により検出された機能未知タンパク質 YcsK について、その遺伝子欠損株孢子が発芽をしないこと、および大腸菌に発現した組換え YcsK がリパーゼ様活性を持つこと等を示して孢子発芽に関与する新規リパーゼの存在を初めて明らかにしてこれを LipC と命名した (*J. Bacteriol.* 189: 2369-2375(2007)に掲載)。現在、LipC の酵素学的性質の検討と共に孢子脂質への作用について検討を進めている。