

FNCA 放射線加工・高分子改質プロジェクト
2018年ワークショップ
セッションサマリー

セッション2:FNCAプロジェクトの概要と成果

1) 2017 年度の FNCA 成果(FNCA 日本アドバイザー/南波秀樹氏)

1990 年、FNCA の前身であるアジア地域原子力協力国際会議(ICNCA)が発足した。その目的は、原子力の開発・利用分野を管轄する大臣らが、地域協力についてフランクに意見を交わせる場を提供することであった。2000 年にアジア原子力協力フォーラム(FNCA)が発足し、現在では 12 のメンバー国と 7 のプロジェクトを擁している。

2017 年度のコーディネーター会合で、電子加速器利用プロジェクトとバイオ肥料プロジェクトが統合し、農業、環境、医療応用のための放射線加工・高分子改質プロジェクトとなることが承認された。新たなプロジェクトは、産業と技術革新の基盤をつくるという「持続可能な開発目標(SDGs)」とも合致しており、生活の質と環境保全を改善し、経済成長を促進させることが期待されている。

2) プロジェクト概要(量子科学技術研究開発機構/玉田正男氏)

2017 年 11 月 13 日～17 日、旧電子加速器利用プロジェクトと旧バイオ肥料プロジェクトは、群馬県高崎市で合同ワークショップを開催した。ワークショップの目的は、植物生長促進剤(PGP)とバイオ肥料の相乗効果の試験について進捗状況を共有および討議すること、また、放射線加工成果品である PGP および超吸水材(SWA)の技術移転を促進することであった。これらの成果品は、アジア各国で豊富かつ安価に入手できる天然高分子を加工して作製されたものである。PGP は、エビやカニの殻から抽出したキトサンや、海藻から抽出した κ-カラギーナンなどの天然高分子に、電子線やガンマ線等の放射線を照射して分解することで作製する。フィールド試験では、PGP を葉面散布することで、イネ、トウガラシ、リュクトウ、ラッカセイ等の収量が 10～40%向上した。さらに、イネにツングロ病抵抗性を付与するエリシター効果も確認され、環境に優しく安全な殺菌剤となっている。PGP をエンドユーザーに供給するにあたり、タイのガンマ線照射センターでは 10 万リットル/日、フィリピンの電子線施設では 1,700 リットル/時規模の PGP 作製プラントが稼働している。いくつかの国では、PGP をブロイラーやナマズの飼料に応用するべく試験が試みられている。また、化学肥料の低減率を最適化することなどにより、イネの生長に対する PGP とバイオ肥料の相乗効果が一部の国では見出された。SWA は、特産の天然高分子への疎水性モノマーのグラフトや、放射線橋かけによって作製できる。保水能力のない砂質土壤に SWA を混ぜることで、トウガラシやシャロットといった野菜の栽培が可能になる。フィールド試験結果によると、SWA の利用により灌漑水と散水の量が軽減された。タイのガンマ線照射センターでは 200kg/日、カザフスタンでは 500kg/日規模の SWA 作製プラントが稼働している。SWA の医療応用としては、がんの放射線治療において、照射部位を検証するための線量計/インジケータとして有望であることが報告されている。新プロジェクトである放射線加工・高分子改質プロジェクトは、参加各国の多様なニーズに応えるべく始動した。本プロジェクトでは、動物飼料、ハイドロゲルの医療応用、および新たなバイオ肥料に関する研究開発が行われる。PGP、SWA およびバイオ肥料の個々の効果や相乗効果についても、フォローアップとして引き続き進められる。高分子材料の環境浄化応用については、まず情報交換から開始される。今回のワークショップのグルー

プディスカッションでは、基本～応用段階におけるギャップを明確にし、各応用分野の実行計画を作成する。

セッション3: バイオ肥料に関する進捗レポート

1) 植物生長促進剤 (PGP) とバイオ肥料の相乗効果 (バングラデシュ原子力委員会 / Md Kamruzzaman Pramanik 氏)

1. PGP およびイネのアゾスピリウム種との組み合わせによる「バイオ肥料の相乗効果」

PGP としてのキトサンとイネのバイオ肥料としてのアゾスピリウム種の組み合わせによる相乗効果を調査するために、セミフィールド・レベルの実験を実施した。6 つの処置、つまり T1:100%の化学肥料、T2:50%の化学肥料、T3:50%の化学肥料 + 100 ppm のキトサン、T4:50%の化学肥料 + 100 ppm のキトサン + バイオ肥料、T5:50%の化学肥料 + バイオ肥料、T6:調製剤(天然栄養素)を 3 通り適用した。試験用イネの品種として BRRI-129 を選択し、ひこばえの高さと数、円すい花序の長さ、穀粒収量を含むいくつかのパラメーターを評価して、キトサンとバイオ肥料の相乗効果が存在するかを判別した。

その結果、最高のひこばえの数(盛土あたり 17.4 本)と最大高さ(89.72 cm)は T2 と T3 の処置でそれぞれ観測されたが、これらのパラメーターに関する相乗効果は検出されないことが明らかになった。最高の円すい花序長(25.08 cm)と円すい花序あたりの粒子数(167.2 個)は T1 と T5 の処置で検出されたが、これらのパラメーターはいずれの処置にもほとんど影響されなかった。PGP とバイオ肥料の相乗効果は、わら重量からは見られなかった。イネの穀粒収量(1 ヘクタールあたりトン数)は T4 の処置で最大 1.77%増加した。粒の大きさは T4 の処置で 1,000 粒子重量に基づいて測定したときに最大 5.25%増加した。このように PGP とバイオ肥料を組み合わせ使用した効果は、PGP 単独の効果(0.45%の増加率)とバイオ肥料単独の効果(0.21%の増加率)の合計よりも大きいので、これは PGP とバイオ肥料の相乗効果と見なすことが可能である。総合的な結果として、キトサン(100 ppm)とバイオ肥料を化学肥料(50%)と併用すれば、粒の大きさのみに関してある程度の相乗効果が見られる。

2. 土着の多機能バイオ肥料の選別と特性評価

元々の土壌に存在する可能性のある多機能バイオ肥料を詳細に調査するために稲田から稲根を回収し、無窒素のプロモチモールブルー培地(NfB)を利用して合計 26 の窒素固定(共生/単生)細菌を特定した。この媒体で分離株を形成するブルーゾーンを窒素固定細菌と見なした。分離株の種々の培養的、形態学的、生化学的な特性を試験し、これらは主にアゾスピリウム種であると特定した。特性評価の完了後に、Pikovskaya 培地を利用して細菌培養のリン酸塩溶解能力を試験した。これらのうち 12 の分離株がコロニー周辺のハロー・ゾーンの形成を特徴とするので、これらは無機リン酸塩の溶解能力を有することが判明した。

2) ガンマ線照射が微生物接種担体の化学的特性に及ぼす影響(ボゴール農科大学/Iswandi Anas 氏)

リン酸塩とカリウムを溶解可能な微生物菌株の多機能性に関する調査を実施した。2017 年の FNCA の共同研究を通して、ガンマ線を照射することでこれらの選択した細菌と菌類が突然変異することにより有益特性が向上した。リン酸塩とカリウムを溶解するさらに高い能力を有する細菌突然変異株と菌類突然変異株を入手できた。2018 年には、リン酸塩とカリウムを溶解する細菌突然変異株と菌類突然変異株の

能力の安定性を評価した。細菌突然変異株と菌類突然変異株の接種がトウモロコシの成長に及ぼす影響の評価を現在進めている。

微生物接種の無菌性はバイオ肥料の品質に対して非常に重要な役割を果たす。微生物接種担体は安価で容易に入手可能であり、接種菌の生存能力をより長くサポートし、無菌性であるか、または細菌汚染が少ないことが必要である。担体接種を無菌状態にするために、オートクレーブ法や燻蒸法などのいくつかの滅菌法を利用している。ただし、接種担体のオートクレーブは一部の接種担体の特性を大幅に変化させた。2018 年には、いくつかの微生物接種担体に対して Co-60 のガンマ線を照射して滅菌効果の評価した。

3) 新種担体の放射線殺菌法の開発と普及 (タイ農業局/Kunlayakorn Prongjunthuek 氏)

PGRR 肥料を効率的に生産するには、標的微生物の長期的生存を達成するために適切かつ有効な担体物質が必要である。一般的に、良好な担体物質は高濃度の有機分、適切な窒素成分を含み、微生物に対して有毒性を示さず、低価格である必要がある。ピートは良好な物質であるが、現在タイでは非常に稀な物質である。研究者は代替物質の利用、および他の汚染物質からの汚染を低減するための担体物質の殺菌手法の追求に取り組んでいる。ガンマ線は汚染物質を殺すもう 1 つの方法である。ピートに代わる新しい物質を見つけ出すための実験として、ユーカリの殻を 10 年間にわたり水中に浸し、これを乾燥させて微粉碎機で粉碎した後で、PGPR バイオ肥料製造の使用に適した有機物質として 2 mm のふるいにかけて篩過させた。PGPR-I の製造に使用した細菌の生存を調査することによって、汚染殺菌法を実施した。1) 非殺菌、2) 110°C で 30 分間のオートクレーブ殺菌、3) 121°C で 30 分間のオートクレーブ殺菌、4) 25 kGy のガンマ線による殺菌、5) 45 kGy のガンマ放射線による殺菌を施した 5 種類の担体を使用して、1 日、7 日、14 日、28 日、56 日、84 日後にアズスピリウム・ブラシレンセ TS13、アゾトバクター・ビネランジー AT125、およびベイジェリンキア・モビリス TB5 を培養した。汚染した各袋の中に 150 g の担体と 50 ml の培養液接種剤を入れて 25°C で保管した。その結果、3 つの属が担体タイプ 1、2、3 として成長可能であることが確認された。そのため、アズスピリウム・ブラシレンセ TS13 とベイジェリンキア・モビリス TB5 は全種類の担体の中で生存可能である。アズスピリウム・ブラシレンセ TS13 は帯同体タイプ 4 の中で最も長く生存し、ベイジェリンキア・モビリス TB5 は担体タイプ 1 の中で最も長く生存した。これに対して、アゾトバクター・ビネランジー AT125 は担体タイプ 4 と 5 の中で生存不可能である。上記の実験結果は、PGPR-I の製造に使用される担体の殺菌は 3 つの属すべての成長と生存に影響を及ぼすことを示している。3 つの属すべてと他の属に適した殺菌法を調査し開発する必要がある。

4) 放射線突然変異誘発による多機能バイオ肥料微生物の生成 (マレーシア原子力庁/Rosnani binti Abdul Rashid 氏)

ガンマ線の照射によるバイオ肥料微生物の突然変異誘発の取り組みの中で、マレーシアはバイオ肥料微生物の機能性の向上に取り組んでいる。微生物は堆肥、土壌、および植物から単離した。マレーシア原子力庁のバイオビーム・ガンマセル 800 施設でこれらの分離株に対して線量 50~400 Gy のガンマ線を照射して突然変異を誘発させた。二窒素 (N₂) 固定、リン酸塩とカリウムの可溶性などの多機能活性を選別した結果として、おそらく突然変異体と考えられる新しい株がいくつか得られた。選択した突然変異体の試験を管理条件下でキュウリやチンゲンサイなどのいくつかの作物を使用して実施した。これらの実験から、200 Gy で照射した野生型から生成されたアシネトバクター・カルコアセチカス (M100/200) とアシ

添付 4

ネトバクター・バウマニ (API/200) は野生型よりも優れた N_2 固定特性、リン酸塩およびカリウム可溶化活性を示した。

5) バイオ肥料プログラムの進捗報告 (中国農業科学院/Ruifu Zhang 氏)

リン酸塩は非常に低い利用効率で容易に土壌中に固定するが、リン酸塩可溶化微生物 (PSB) は土壌中の有効リン成分と植物のリン摂取を改善できると考えられる。3 つの高効率 PSB 株を選別して特性評価を実施し、ポット試験によってこれらがトウモロコシの成長を効果的に促進できることを確認した。その後で、細菌 PSB メガテリウム X-14 の 1 つを PSB バイオ肥料の大規模工業生産用として選択し、秋まき小麦のフィールド試験の結果、収率の向上が実証された。バイオ肥料の課題はフィールドにおける性能の安定性で、栄養素が限られており、土壌の水分が変動するため生存が保証出来ないのである。このため超吸水材 (SWA) はバイオ肥料に完全に適合する相乗剤となる。次年度の計画は SWA とバイオ肥料の相乗効果について重点的に取り組む。

6) 根菌細菌液と乾燥肥料が小麦の収率成分に及ぼす影響 (植物農業科学研究所/Otgonbayar Sunjidmaa 氏)

本調査の目的は、小麦の非灌漑条件に対する根菌細菌液肥料の有意性と効率性の基準を判断することであった。実験の対象は対照群 (肥料なし)、液体肥料群 (10 l/tn, 20 l/tn, 30 l/tn)、乾燥根菌細菌液肥料群とした。根菌液および乾燥肥料を施した群は高い効率および 1 ヘクタールあたり 1.3~4.47 セントネルを超える重量、すなわち対照群に対し 12.4~45.2% の比率を示した。

7) ^{60}Co ガンマ線照射が微生物接種担体の化学的特性に及ぼす影響 (フィリピン大学ロスバニョス校 /Julieta A. Anarna 氏)

バイオ肥料は多くの国で、また多くの作物用としてその利用がますます普及している。これらはすぐに利用でき、土壌や種子、根茎 (FPA) の養分利用性を高めることによって土壌と植物種の品質と健全性を向上させる微生物からなる生調製剤である。オリゴキトサンとカラギーナンは植物の全体的な健全成長と発達を高める植物生長促進物質であった。試験用植物としてトマトとナスを使用して、UPLB-BIOTECH で販売されている種々の微生物バイオ肥料の相乗効果を評価した。オリゴキトサン (Yokohama 博士による) と Bio N (アズスピリルム) の効果を評価し、試験用植物 (イネとトウモロコシ) の成長と収率を判別した。PNRI と Bio N バイオ肥料からカラギーナンを組み合わせることで適用して利用することにより、トウモロコシの成長に対する効果を測定した。Bio N と Mykovam を組み合わせることで適用して実施した調査では、トマトとナスの数と重量に肯定的な効果が確認されている。オリゴキトサンと Bio N を使用してイネとトウモロコシについて行った実験からのデータ結果によると、最高の粒子重量が得られた。Bio N とカラギーナンを組み合わせると、試験用植物のシュート系と根系が成長した。Bio N と Mykovam を組み合わせる研究の結果から、PGP オリゴキトサン、PGP カラギーナン、Bio N バイオ肥料はフィールド条件下でイネとトウモロコシの収率に対して相乗効果を発揮し、これは持続可能な農業を実現するために農業の実践として推奨可能である。

8) 放射線加工を用いた高分子改質のバイオ肥料への応用 (ベトナム原子力研究所/Tran Minh Quynh 氏)

農業生産において化学肥料と農薬の濫用によって、私たちの健康と土壌、環境に重大な問題が生じている。そのため、葉面肥料やバイオ肥料など環境に配慮した肥料の開発は持続可能な開発目標を達成する最適な手法の 1 つである。担体をベースとするバイオ肥料には各種の担体を利用可能であることが確認された。ベトナムでは 20 年前から、肥料担体としてピート、農業副産物、国内の廃物および下水汚泥を用いたバイオ燃料の研究が開始されている。放射線処理では、このような担体を殺菌し、熱処理と比較して最終的なバイオ肥料の保存性が高まることから私たちの研究結果から実証された。ただし、このような担体には高い汚染微生物数が含まれ、容易に汚染するため、殺菌には高い放射線量が必要とされる。高分子担体を使えば従来の担体よりも良好に調製および貯蔵時に生細胞を保護できるので、最近では、バイオ肥料用として研究と開発が進められている。高分子担体のその他の利点として、個々の微生物に対してその改質できることが挙げられる。放射線処理を適用すれば、天然高分子の特性を変更可能であることが見出された。放射線分解は植物成長促進剤 (PGP) を生成できるだけでなく、シグナル伝達物質、免疫刺激剤、調節剤の提供も可能である。キトサンやアルギン酸塩などの多糖類の低分子量フラグメントは植物や動物によって容易に摂取される。放射線架橋とグラフティングによって超吸水材 (SWA) やその他の植物性吸収材を入手できる。現行のプロジェクトでは、水溶性と膨潤度が向上したキャッサバでんぷんが放射線改質によって得られる。アルギン酸ナトリウムを塩化カルシウムで架橋すれば、高性能の担体が調製される。放射線改質でんぷんが充填されたこれらのビーズ状担体はバイオ肥料に適しており、特に巨大菌などの細菌発生胞子に適している。しかし、生存細胞は乾燥および保管時に低減する可能性があることが予備的調査結果から明らかになっている。そのため、担体に組み込まれる初期の細胞数を高めるために別の技法を適用する必要がある。さらに、放射線が誘発する突然変異によって微生物の生物活性を改善できる。

セッション4: 高分子改質に関する進捗レポート

1) ^{60}Co ガンマ線を使用したポリ(ビニルアルコール) (PVA)/カッパカラギーナン (KC) 混合ヒドロゲルの合成とその医療応用 (バングラデシュ原子力委員会/Salma Sultana氏)

^{60}Co ガンマ線源を利用した放射線処理技術によって、ポリ(ビニルアルコール) (PVA) とカッパカラギーナン (KC) の水溶液からヒドロゲルの合成を行った。放射線量と KC の濃度がヒドロゲルのゲル含有量、膨潤特性、熱挙動に及ぼす影響を検討した。ゲル分率として、放射線量が 25 kGy のときに最大値が得られた。ヒドロゲルの平衡含水量は放射線量の増加に伴って減少するが、KC の濃度が増加するとそれに伴って増加する。ヒドロゲルの吸水は 5 時間まで高速であり、24 時間で最大値に達する。これは調整溶液中の KC 濃度の増加に伴って増加する。ヒドロゲルの吸水は 25 kGy の放射線量時に KC の含有量分が 0 から 2.0% に増加するときに約 210% から約 410% に増加する。熱重量分析 (TGA) と動的機械分析 (DMA) によって、PVA ヒドロゲル中の KC 濃度の増加に伴って熱劣化が抑制されることが示された。PVA/KC 混合ヒドロゲルの表面形態を調査するために、走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察を行った。調製したヒドロゲルを臨床用途向けに発送する前に、その微生物学的品質保証のために MIID (微生物学・工業放射線照射部門) に送った。無菌試験に合格した後で、2011 年 3 月以降バングラデシュ、ダッカ、ウッタラのウッタラアドフニク医科大学病院の入院診療部 (IPD) と外来診療部 (OPD) の 500 名を超える火傷、非治癒潰瘍、皮膚損失患者に対してヒドロゲルを臨床的に使用した。多様な外傷を負ったすべての患者は副作用を起こさずに短期間で治癒することが観察されている。ヒドロゲルは適用が容易であり、この手当てでは患者は安心感を得ると言ってもよいだろう。

2) 海水からウランを抽出するためのアミドキシム系PE/PP繊維の調製(上海応用物理研究所/Hongjuan Ma氏)

^{60}Co ガンマ線照射を用いて、PE コーティング PP 芯鞘(PE/PP) 繊維に対してアクリル酸とアクリロニトリルを前照射グラフトし、次いでアミドキシム化を行い、PE/PP-g-(PAAc-co-PAO) で表される新しいアミドキシム系繊維状吸着材を作製した。原料および改質後の PE/PP 繊維は、一連の分析評価法で分析し、PE/PP 繊維へのアミドキシム(AO) 基の付着を確認した。破壊強度試験により、この繊維状吸着材は良好な機械的特性を維持できていることが確認された。330 $\mu\text{g/L}$ の初期ウラン濃度の模擬海水中で PE/PP-g-(PAAc-co-PAO) 繊維の吸着能力を調べた。模擬海水中に 24 時間浸した後のウラン吸着量は吸着材 1 g あたり 2.27 mg であり、平衡値はフロイントリヒ等温線モデルで良く説明された。PE/PP-g-(PAAc-co-PAO) 吸着材は 5 サイクルの吸着脱着時に良好な再生および再利用性を示した。天然海水中に 49 日間浸した後のウラン吸着量は吸着材 1 g あたり 3.17 mg であった。したがって、PE/PP-g-(PAAc-co-PAO) 繊維は、高いウラン選択性、良好な再生および再利用性、優れた機械的特性、低価格性を備えており、海水からのウラン抽出に有望な吸着材である。PE/PP-g-(PAAc-co-PAO) 繊維は塩水湖やウラン鉱山の廃水処理にも利用可能である。

0.5 MeV の低エネルギー自己遮蔽型電子加速器、および毎分 1~20 m の照射速度と約 1 m の照射幅を有する繊維照射ラインを構築した。グラフト重合用装置の主要パラメーターは 100 および 300 L であり、一バッチ当たり 30~40 kg 繊維吸着材である。

3) 植物生長促進剤(PGP) および家畜飼料としてのオリゴキトサン(インドネシア原子力庁/Tita Puspitasari氏)

インドネシアの報告は、(i) ペッパー(コショウ L) 植物を対象にした PGP としてのオリゴキトサン、(ii) インドネシア原産カモ、つまり Cihateup カモ向けの家畜飼料添加剤としてのオリゴキトサン、(iii) 高分子改質: 重金属吸着用ハイブリッド材料の開発の 3 つの題目である。最初の題目では、一連の実験はオリゴキトサン濃度(0、50、150、200 ppm) および各植物あたりのバイオ肥料の施肥量(0、0.5、1 kg) の 2 つの変数をカバーする 12 の処理で構成される。2 番目の題目では、オリゴキトサンの濃度は 0 から 200 ppm まで変化させた。3 番目の題目では、ゼオライトを無機物質として使用し、ゼオライト多孔質マトリックス内部でのその場合で取り込まれるモノマーとしてアクリロニトリルを使用した。その結果、濃度が 200 ppm のオリゴキトサンはペッパーの一次枝長(LPB) とクロロフィル指数を増加させるだけでなく、病気と枯死性も減少させることが示された。インドネシア原産カモ、つまり Cihateup カモにオリゴキトサンを投与すると、Cihateup カモの杯細胞、絨毛の数と長さ、Hb、赤血球、リンパ球が増加する。さらに、オリゴキトサンの処置によって Cihateup カモのアポトーシス、白血球、好中球/リンパ球比が低下した。3 番目の題目では、ポリアクリロニトリルと天然ゼオライトとからなるハイブリッド物質を生成し、その後でアミドキシム化によって重金属吸着材とした件を報告した。その結果、放射線技術はハイブリッド材料の合成に有用であることが示された。このハイブリッド材料は Cd^{2+} および Cu^{2+} イオンに対してよりも Pb^{2+} イオンに対して良好な性能を発揮する金属イオン吸着材として利用可能である。

4) 放射線改質したゼラチンの生物/医療応用(量子科学技術研究開発機構/田口光正氏)

ゼラチンは生物学および医療分野で幅広く利用されている。これらの用途に関連して、ゼラチンの放射線殺菌について、放射線に対する安定性という点から評価した。ゲル浸透クロマトグラフィー(GPC)を利

添付 4

用して、電子ビーム照射したゼラチン粉末の分子量を分析した。照射によってゼラチンが分解し、重量平均化モル質量は殺菌線量によって約7~10%減少することが見出された。しかし、ゼラチンを水中で照射すると、架橋が支配的に誘発された。架橋剤を使用せずに放射線架橋(RX)ゼラチン・ヒドロゲルを調製した。この場合、調製と放射線殺菌を同時に行った。ゲル断片と溶出ゾルの GPC 分析から、RX ゼラチン・ヒドロゲルは 37°C の水中で 7 日間安定であることがわかった。これらの結果により、ゼラチンと RX ゼラチン・ヒドロゲルの生物学および医療分野におけるフィージビリティを評価するための重要なデータが得られた。

5) SWAの応用に関する進捗レポート(カザフスタン・テクノロジー・ビジネス大学/Erlan Zhatkanbayev 氏)

サマリー無し

6) 放射線分解したキトサンの農業応用(マレーシア原子力庁/Marina Binti Talib氏)

オリゴキトサンは生体適合性、生分解性、生物活性、非毒性を備えており、食品および栄養、バイオ技術、物質科学、薬品および調剤、農業、環境保護の分野で幅広く研究および適用されている。オリゴキトサンはアミノ酸とヒドロキシル基という反応性官能基を有しており、食品添加剤として家畜の飼料に加えると、抗菌剤、抗炎症薬、抗酸化、抗がん、免疫活性化、コレステロール低下といった特徴を示す。マレーシア原子力庁とマレーシア農業開発研究所(MARDI)との協力プロジェクト「家畜飼料として OTOSIL(オイルパームからのサイレージ作製機)を使用するオリゴキトサンの改良サイレージの生産」は順調に進んだ。このプロジェクトの目的は、農家のサイレージ生産量を月あたり 25 トンから 100 トンに高めることにより、ケダ州の農業企業による売上を増加させることである。オリゴキトサンは、サイレージ中の微生物の品質と好氣的安定性を高めるので、サイレージの品質を向上させる。またサプリメントとして与えると、反すう動物の消化、血球パラメーター、窒素源の有効性、乳の品質も高める。さらに、養殖セラピーへのサプリメントとしてオリゴキトサンを適用するための別のプロジェクトも提案された。マレーシアの淡水養殖生産のうちセラピーが 49.37%、次にナマズが 37%、鯉が 10%を占めるので、セラピーがこのプロジェクトの対象に選択された。オリゴキトサンは魚養殖場の細菌成長を抑制し、その結果として魚の細菌感染を阻止するので、魚の品質を向上させることが以前の調査から実証された。1%の食用キトサンは養分の消化と吸収を高めることにより鯉の成長を向上させるが、これに対してキチンの導入は魚にストレス効果を及ぼすため、魚の成長を抑制することが確認された。

7) 国別報告:モンゴル概要(モンゴル国立大学/Dr Chinzorig Radnaabazar氏)

廃水バイオレメディエーションおよび土壌堆肥化に対して、2種類のバイオ肥料(F1とF2)を試験した。ネガティブ・コントロールとして水を使用した。30日間の廃水処理後にマクロ化学物質の平均濃度はF1で39.25%、F2で19.75%低下し、微量元素はF1で40.2%、F2で22.6%低下した。これは、両方の肥料が廃水から化学物質を効果的に吸収したことを示す。重金属と他の化学物質の除去率は全体でそれぞれ39.4%および23.1%であった。土壌堆肥化実験では合計90の種子を使用し、これらを3グループに分けてそれぞれ水、F1、F2で処理した。実験時にはグミケイトウに毎日水、F1、F2を掛けた(F1とF2の肥料は1%の比率で水に懸濁させた)。植物の高さを週に二度測定した。55日後に植物の高さは水グループで29.1cm、F1グループで33.5cm、F2グループで32.3cmとなった。両方の肥料は水よりも大幅に効果的である($p < 0.05$)ことが、この結果から示唆される。ただし、F1とF2には大きな相違がないことが観察さ

れた。

8) カラギーナン植物生長促進剤 (PGP) : フィリピンの経験 (フィリピン原子力研究所 (PNRI) Lucille Abad氏)

植物生長促進剤として放射線改質カラギーナンの試験を実施した。これはイネ、緑豆、ラッカセイに効果的であることが実証されており、収率はイネで 20~30%、緑豆とラッカセイで 30%を超える増加率を示している。適用範囲を拡張するため、トウモロコシや葉菜、豆、果物などの他の食物に対しても現在試験が行われている。この製品はすでにフィリピン国際特許庁に対して特許申請が行われており、肥料農薬認可局 (FPA) から無機肥料として製品認可を取得している。フィリピン原子力研究所は毎時 1,700 L の割合でカラギーナン PGP を生産している。同研究所は製造事業者、処理事業者、調製事業者として運転認可を取得している。

農務省は現在 2 つの季節 (雨季と乾季) ごとにフィリピン全国の 7 地域合計面積 2,500 ヘクタールで生産試験を実施する 100 万米ドルのプロジェクトを実施している。

現在のところ、2 社の技術導入事業者が PNRI とライセンス契約を締結し、該当する支払を受けている。生産はまず、FPA から販売権認可を取得した後に同研究所で実施される。上記の事業者は本年度 (2018 年) 末に商用運転を開始し、3 年以内に各自の放射線照射施設を設立すると見込まれる。

9) サトウキビバガスへのガンマ線照射による超吸水材 (SWA) セルロースの作製および農業への応用 (タイ原子力技術研究所/Phiriyatorn Suwanmala氏)

サトウキビ絞りかす上にアクリル酸の放射線誘発グラフト重合を行うことにより、超吸水材を合成した。グラフト重合の最適条件を決定するために、線量、アクリル酸の割合、サトウキビ絞りかすの割合、水酸化カリウムの割合などの合成パラメーターを調べた。最大吸水量を与える重要なパラメーターについて最適条件を選ぶ基準が示された。FTIR と TGA によってグラフト共重合体を分析した。

10) 農業、環境、医療応用のための放射線加工と高分子改質 (ベトナム原子力研究所 (VINATOM) /Dr Nguyen Ngoc Duy)

反応性ブラック 5、反応性レッド 10、反応性オレンジ 13 の織り合わせの繊維廃水の脱色を電子ビームの照射によって実施した。吸収線量と過酸化水素 (H_2O_2) 濃度が、溶液の pH 値の変化、脱色度、化学的酸素要求 (COD) と生化学的酸素要求 (BOD) との減少に及ぼす影響を調べた。その結果、pH、COD、BOD、染料の濃度は線量の増加に伴って減少し、 H_2O_2 の量が十分であれば、脱色プロセスは加速されることが示された。最適な H_2O_2 濃度は、初期染料濃度が 267 mg/L、初期 pH が 8.9、吸収線量が 5 kGy のときに 5 mM であった。好適な条件下では、電子ビーム/ H_2O_2 の使用時に 96% の脱色効率が得られたが、これに対して電子ビームのみの使用時は脱色効率が 75% であった。これらの結果は、繊維廃水からの染料除去に対する電子ビーム照射の潜在能力を示したものになっている。さらに、粒径約 74 nm のセレン・ナノ粒子 (SeNP) の放射線法による合成も紹介された。SeNP の分析は UV-Vis 分光スペクトルと透過型電子顕微鏡 (TEM) の画像によって行った。照射前の H_2SeO_3 /デキストラン溶液の pH が SeNP の粒径に及ぼす影響を調べた。噴霧乾燥法によって SeNP/デキストラン粉末も調製し、エネルギー分散型 X 線 (EDX) 解析によってその純度を検証した。SeNP の ATBS⁺ラジカル消去能と還元力を評価した。その結果、濃度が 25~100 ppm の SeNP/デキストランは高い抗酸化活性を示すことが確認された。セレン含有量が約 2.51% (重量比) の調製時の SeNP/デキストラン粉末は高純度であった。

セッション5:RCA活動に関する討議

「水処理用放射線グラフト材料の開発と高度化」と題する4年プロジェクトが2016年にIAEA技術協力局(TC)の財政支援を受けるために提案された。その総合的な目標は、天然高分子を使用する放射線グラフト材料を利用して地域内の水域中の有害な溶解汚染物質を最小限に抑えることである。このプロジェクトはさらに、工業用廃水を浄化するために放射線グラフト化製品の開発および高度化も目的としている。アジア太平洋地域の14の国がこのプロジェクトの参加に関心を示した。原則として、このプロジェクトは条件付きプロジェクトとしてIAEAから承認されている。IAEA技術担当官からの情報によれば、日本政府はこのプロジェクトに対して一部資金提供を行うことに関心があることである。日本以外の国に対してもこの目的のために一層の拠出金が奨励されている。2019年の第1四半期にマレーシアで計画目的に関する初回のプロジェクト会議を開催する折衝が進められている。さらに、フィリピンで研修コースが開催される可能性がある。

セッション6および7:成果、課題、計画に関する討議および発表

参加者は7組のグループに分かれ、各国で予想される下記のニーズについて、基礎面から応用面におけるギャップと実行計画を討議した。

- A) 放射線分解したキトサンの動物飼料応用
- B) ハイドロゲルの医療応用
- C) 環境修復
- D) 植物生長促進剤(PGP)、超吸水材(SWA)、およびバイオ肥料の相乗効果
- E) 植物生長促進剤(PGP)および超吸水材(SWA)(プロセス開発を含む)
- F) ガンマ線照射による微生物育種
- G) ガンマ線照射によるキャリア滅菌

結論は以下の通り:

A) 放射線分解したキトサンの動物飼料応用

成果

インドネシア、マレーシア、ベトナムでは、キトサンを放射線分解して作製したオリゴキトサンを、以下の通り動物飼料に応用した。

- 地元産の Cihateup duck (カモ)、ニワトリ、乳牛、ナマズ(インドネシア)
- テラピアおよび乳牛(マレーシア)
- ゴンズイおよびニワトリ。魚とエビの養殖について、免疫増強剤および成長剤としてのオリゴキトサンの販売が承認された。(ベトナム)

基礎面でのギャップ

- i) 動物飼料としてのオリゴキトサンの最適な分子量に関する研究がほとんど行われていない
- ii) 動物を研究している専門家が少ない

応用面でのギャップ

- iii) フィールド試験には費用と時間が掛かるため、研究所や農家からの協力者が少ない。
- iv) 新たな製品は、登録にあたっての標準分類を満たしていない。

添付 4

- v) 動物飼料添加剤としてのオリゴキトサンの特長に関する情報が不足しているため、農家からの需要が少ない。

実行計画

- i) 動物飼料としてのオリゴキトサンの最適な分子量を研究する。また、セレンウムナノ粒子/オリゴキトサンを含む新たな添加剤についても研究を行う。
- ii) 動物研究の専門家が在籍する研究所と共同研究を行う。
- iii) 費用効率の高いフィールド試験方法を開発する。
- iv) 新製品を正確に分類するため、登録事務所と協力する。
- v) オリゴキトサンの動物飼料添加剤に魅力を感じられるようエンドユーザーに対し、より一層の販売促進を行う。

B) ハイドロゲルの医療応用

成果

- ポリビニルアルコールと κ カラギーナンのブレンドにガンマ線を照射して架橋したハイドロゲルを創傷被覆材として使用し、150人以上の患者を治療した。(バングラデシュ)
- 細胞培養の細胞外基質として、ゼラチンハイドロゲルを作製した。(日本)

基礎面でのギャップ

- i) 橋かけのメカニズムと架橋点の化学構造に不明確な点が多い。

応用面でのギャップ

- ii) 創傷被覆材としてのハイドロゲルの保存性と安定性に関するデータが少ない。
- iii) 創傷被覆材としてのハイドロゲルの大規模製造に関する生産プロトコルがない。
- iv) 細胞培養の細胞外基質に関する生物応用および医療応用の試験例が少ない。

実行計画

- i) ゼラチンの架橋点の分析方法を開発し、メカニズムを解明する。
- ii) 創傷被覆材について、民間および公的病院と協力する。
- iii) 創傷被覆材の大規模製造について、製薬会社と協力する。
- iv) 原料および細胞培養基質を扱う企業と協力する。

C) 環境修復

成果

- スラッジを排出せずに海水ウランを採取する吸収材をベンチスケールで作製し、海水の水路実験で評価した。(中国)
- 原子力発電所で生じる放射性核種の吸着材を開発した。(中国)
- Pb(鉛)、Cu(銅)、Cd(カドミウム)の除去に利用される、ゼオライト系アミドキシム吸着材を作製した。(インドネシア)
- バイオディーゼルの触媒とホウ素選択吸着材を、化学気相成長グラフト法で合成した。(マレーシア)
- 電子線を用いた排水脱色を、実験室レベルで行った。(ベトナム、マレーシア)

基礎面のギャップ

添付 4

- i) ターゲットの金属に対する吸着材の官能基の設計が十分でない。
- ii) 土壌中の有害金属イオンの有効な処理方法がない
- iii) 排水処理施設の処理が行われていない

応用面のギャップ

- iv) 放射線照射による吸水材の作製、グラフト重合のスケールアップ、毒性モノマーからの防護、グラフト重合や引き続いて行われる化学的修飾後に排出される廃モノマーの処理等では作業費用が高額である。

実行計画

- i) 他の対象金属イオン用の新しい吸着材の合成における選択性吸着に向けた期待できる官能基や鑄型技術のスクリーニング
- ii) 土壌中の有害金属イオンの処理には、ファイトレメディエーション、低温熱分解、グラフト重合吸着材による有害金属イオンの除去の組み合わせが推奨される。
- iii) 照射のあとの生物処理を組み合わせた水処理での流路と耐腐食技術の開発
- iv) 照射、グラフト重合、安全管理、廃モノマー処理のコストを削減するため、安価な手法開発

D) 植物生長促進剤 (PGP)、超吸水材 (SWA)、およびバイオ肥料の相乗効果

成果

- 植物生長促進剤 (PGP) とバイオ肥料の相乗効果について、バングラデシュ、インドネシア、マレーシア、フィリピンで研究されている。

基礎面のギャップ

- i) PGP とバイオ肥料の明確な相乗効果は報告されていない。

応用面のギャップ

- ii) フィールド試験の予算と人手が不足している。
- iii) 農家やエンドユーザーが、放射線加工技術をほとんどの受け入れていない。

実行計画

- i) 修正を加えながらセミフィールド試験とフィールド試験を繰り返すことで、顕著な相乗効果を確認する。
- ii) 他の研究所、民間企業、政府、国際機関との協力を促進する。
- iii) 農家に対し、放射線加工技術を利用と利益を伝える。

E) 植物生長促進剤 (PGP) および超吸水材 (SWA) (プロセス開発を含む)

成果

- PGP 作製のパイロットプラントが、フィリピン (電子加速器を用いてカラギーナンを分解)、タイ (ガンマ線を用いてオリゴキトサンを作製) およびマレーシア (ガンマ線を用いてオリゴキトサンを作製) で稼働している。
- カザフスタンとタイ (パイロットプラント) にて、SWA の大規模作製が行われている。

基礎面のギャップ

- i) PGP とエリシターのメカニズムが不明確である。
- ii) カラギーナン PGP の主成分が不明確である。

添付 4

iii) SWA の生分解性が不十分である。

応用面のギャップ

iv) SWA 作製の中でも、特に乾燥工程に掛かる費用が高額である。

v) 有力なエンドユーザーらが、慣行法を変えて放射線加工技術を受け入れることに抵抗を感じている。

実行計画

i) 植物に対する PGP の作用のメカニズムを特定する。

ii) カラギーナン PGP の有効成分を特定する。

iii) 生分解性の新たな出発原料を選定することで、SWA の生分解性を最適化する。

iv) SWA の乾燥工程を安価に押さえるため、プロセスの開発と適切な機械の導入を行う。

v) より多くのエンドユーザーが放射線加工技術を容認できるよう、エンドユーザーに対する技術の推進に尽力する。例えば、他の農作物(葉野菜、果物、豆類、トウモロコシ等)に PGP の応用を拡大することや、PGP とバイオ肥料を併用することが挙げられる。

F) ガンマ線照射による微生物育種

成果

- ほぼ全ての参加国が多機能微生物(多数の有益な特徴を持つ微生物)を調査しており、以下の通り各国で異なる機能を持った異なる微生物の研究を行っている。

国名	微生物のタイプ	機能
中国	<i>Trichoderma</i> sp.	植物生長促進および病害抑制
インドネシア	<i>Staphylococcus pasteori</i> <i>Aspergillus costaricaensis</i> (共に病原菌ではない)	リンおよびカリウムの溶解能力を有する(バイオ肥料)
マレーシア	<i>Actinobacter</i> sp.	窒素固定およびリンの溶解能力を有する(バイオ肥料)
タイ	<i>Azospirillum</i> sp. <i>Azotobacter</i> sp. <i>Beijerinckia</i> sp. <i>Burkholderia</i> sp. <i>Gluconacetobacter</i> sp.	窒素固定および IAA (インドール-3-酢酸:細胞分裂と細胞伸長効果)生産性を有する(バイオ肥料)
ベトナム	<i>Bacillus subtilis</i>	プロテアーゼを多く分泌する(家畜飼料とバイオ肥料)

基礎面のギャップ

i) ガンマ線照射後における、望ましい突然変異体のスクリーニングと選択が非効率である。

ii) 遺伝子レベルでの変化のメカニズムに関する情報がない。

応用面のギャップ

iii) 国によって要件が異なる(微生物の種類、機能、政策、法律など)

実行計画

添付 4

- i) 高度なロボット技術を用いた効率的なスクリーニングと選択方法を開発する。スクリーニングの時間を削減し、安定性の高い突然変異体を得るためには、イオンビームを用いた突然変異育種が推奨される。
- ii) 分子アプローチを利用して、遺伝子レベルでの変化のメカニズムを解明する。
- iii) 各国の要件を満たす多機能バイオ肥料を開発する。

G) ガンマ線照射によるキャリア滅菌

成果

- 接種キャリアに対するガンマ線照射滅菌は、オートクレーブ滅菌よりも有効である。オートクレーブ滅菌では、キャリアの化学的性質が大幅に変化し、バイオ肥料内の微生物にとって有毒な副産物を生み出すからである。
- ガンマ線を照射することで保管期間が延びたキャリアが、すでにフィリピンで実用化されている。ガンマ線で照射した場合、接種微生物の生存期間は長くなる。
- ガンマ線で照射したキャリアは微生物の成長に影響を与え、接種微生物の生存期間がオートクレーブ滅菌の場合よりも長くなる。しかし、タイにはガンマ線滅菌が適さない接種微生物もある。
- 接種キャリアを滅菌する場合、20～30 kGy が推奨される。

基礎面のギャップ

- i) キャリア滅菌に際して、ガンマ線照射の優先度は高くない。
- ii) バイオ肥料に関する知識と、関連分野の専門家が不足している。

応用面のギャップ

- iii) ガンマ線照射に関する誤解がある。放射線で照射されたものを使用するのを恐れる農家もある。

実行計画

- i) 放射線照射を利用したキャリア滅菌のコストを見積もり、放射線滅菌がオートクレーブ滅菌より有効であることを証明する。
- ii) バイオ肥料関連分野の人材を育成する。
- iii) エンドユーザーに放射線技術の情報を普及させる。

※英語版原本と本和訳の間に齟齬がある場合、英語版原本が優先します。