

**FNCA 2020 放射線加工・高分子改質プロジェクトワークショップ**  
**セッションサマリー**  
 2020年10月26日～27日  
 Zoom Web-Meeting

**セッション2: プロジェクト概要およびアジェンダ確認**

**1) プロジェクト概要 (玉田 正男)**

放射線加工・高分子改質プロジェクトは、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され、2018年に新たに発足した。本プロジェクトは、参加国（バングラデシュ、中国、インドネシア、カザフスタン、マレーシア、モンゴル、フィリピン、タイ、ベトナム）のニーズに即した下記の7つの研究開発テーマに取り組んでいる。

1. 放射線分解したキトサンの動物飼料応用
2. ハイドロゲルの医療応用
3. 環境修復
4. 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
5. 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)
6. ガンマ線照射によるバイオ肥料用微生物育種
7. ガンマ線照射によるバイオ肥料用キャリア滅菌

新フェーズとして3年間の継続を2021年3月開催のコーディネーター会合で判断するため、プロジェクトで得られた成果は3年目に評価が実施される予定である。しかし、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) パンデミックの多大な影響の結果、現フェーズは1年間延長され、2022年3月に評価されることとなった。この状況を踏まえ、限定された研究活動下における成果、現状の課題、2021年の計画に関する情報共有を目的として、本ワークショップはウェブ会議形式で開催される。

**セッション3・4: バイオ肥料分野における進捗報告**

**1) Md カムルザマン・プラマニク、バングラデシュ原子力委員会 (BAEC)**

**R&D テーマ**

- 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
- ハイドロゲルの医療応用

**要約**

**i) PGP、SWA、およびバイオ肥料の相乗効果**

「キトサン (PGP) およびアゾスピリルム属細菌 (バイオ肥料) の組み合わせによるイネに対するバイオ肥料の相乗/複合効果」に関する実験をフィールドレベルで設定、開始した。フィー

ルドは Rangpur にあり、実験はイネ品種 BRRI-129 に対して行い、各タイプの処理について複製試験区を使用した。実験は実生まで実施され、その後、COVID-19 の状況により延期された。

#### ii) ハイドロゲルの医療応用

昨年、ガンマ線照射後のハイドロゲルに抗菌特性を与えるために、PVA にキトサンを組み入れる実験が設定された。キトサンを含んだゲルは、グラム陽性菌とグラム陰性菌の両方に対して抗菌作用を示した。今年、動物実験が予定されていたが、COVID-19 の状況により動物実験は実施されなかった。

#### 成果

なし

#### 今後の計画

#### i) PGP、SWA、およびバイオ肥料の相乗効果

イネに対する PGP とバイオ肥料の相乗効果を観察する。実験はフィールドレベルで行われる予定である。照射したキトサンとアゾスピリウム属細菌 (*Azospirillum species*) が、それぞれ PGP とバイオ肥料として、イネ品種 BRRI-19 に対して使用される。6 種類の処理 (すなわち、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、および T6 : 対照区) を適用し、分けつの高さと数、円すい花序の長さおよび穀粒収量を含むいくつかのパラメータを評価して、選択されたイネ品種に対するキトサンとバイオ肥料の相乗効果または複合効果を決定する。

#### ii) ハイドロゲルの医療応用

キトサンを組み入れた放射線加工ハイドロゲルの火傷に対する効果を観察するために、実験火傷モデルが計画された。ウサギは火傷の代謝および病理学的変化においてヒトと非常に似通っているため、実験動物としてウサギが選択された。火傷誘発のためにホットメタルツール (コイン) 法を適用し、傷被覆材として、キトサンを組み入れたハイドロゲルの塊またはディスクを使用する。傷の治癒率が 2、3 週間まで観察され、結果はキトサンを組み入れていないプレーン・ハイドロゲルのそれと比較される。

## 2) チャン・ルイフー、中国農業科学院 (CAAS) 農業資源・地域計画研究所 (IARRP)

### R&D テーマ

- PGP、SWA、およびバイオ肥料の相乗効果
- ガンマ線照射によるバイオ肥料用微生物育種

### 要約

2020 年においては 2 件の実験が計画された。1 件目は、X 線によるバイオ肥料株 *Trichoderma guizhouense* NJAU4742 の育種で、ストレス耐性、植物の生長促進および菌類病原体抑制について改善された変異体を得るためであり、最初の株 (startup strain) *Trichoderma*

*guizhouenase NJAU4742* は中国においてバイオ肥料の製造に使用されている。計画された 2 件目の実験は、温室ポット実験において SWA とバイオ肥料の相乗効果を評価することであるが、COVID-19 の状況下では SWA の確保が困難であったため、今年には実施されなかった。

#### 成果

異なる特性、すなわちストレス耐性および拮抗作用について強化された *Trichoderma guizhouenase* 4742 株を得るために、X 線照射によるこの株の育種が実施された。照射線量は、84 Gy、84 Gy および 82 Gy の 3 回で、合計は 250 Gy であった。照射後、*Trichoderma guizhouenase* NJAU4742 の胞子が、それぞれ異なるスクリーニング培地上にコートされた。

約 3,500 の異なる変異体が分離され、スクリーニングされた。照射後、それぞれ異なる変異体の耐塩性は、特に変異体 M4 および M5 において、有意に改善された。耐酸性については、2.5 という低い pH に耐えられるいくつかの変異体が得られた。菌類病原体拮抗体については、*Fusarium moniliforme*、*Fusarium oxysporum*、*Phytophthora capsici* および *Rhizoctonia sclerotiorum* について、生物的防除能力が改善された変異体が得られた。

#### 今後の計画

- 温室およびフィールド実験を通じたこれらの育種株の評価
- SWA とバイオ肥料の相乗効果

### 3) ナナ・ムルヤナ／ダルマワン・ダルウィス、インドネシア原子力庁 (BATAN)

#### 要約

限られた主要栄養素、塩分濃度、および重金属等のその他の汚染物質による農地の収容力の低下は、持続可能な開発目標 (SDGs) 開発の努力にマイナスの影響を及ぼす。この研究は、高い塩分濃度条件に適応することができる N-固定細菌分離株および P-可溶性細菌分離株、コミュニティ・エンパワーメントに基づく生物学的環境修復の開発に使用可能な最適能力をもつリグノセルロース分解菌を得ることを目的とする。Hurun Bay Lampung のマングローブ林が、*Rhizophora apiculata* および *Sonneratia alba* の根圏 (rhizosphere) から細菌分離株を得るための場所として使用され、次に、高塩分濃度条件で有効である 2 つの細菌分離株 (SB33, SB36) N-固定および P-可溶化を得た。より高いリグノセルロース分解能力と重金属摂取をもつ菌類 *Trichoderma reesei* および *Phanerochaete chrysosporium* を得るために Co-60 ガンマ線照射を使用。結果は、750 Gy の線量でガンマ線にばく露した菌類 *Trichoderma reesei* が、対照群 (野生型) の 1.5 倍のセルラーゼ比活性 (specific cellulase activity) を有していることを示した。600 Gy のガンマ線にばく露した菌類 *Phanerochaete chrysosporium* は、重金属 Pb および Cd を含有する培地中で良好な成長能力を有していた。500 ppm の Pb および 50 ppm の Cd 培地中で、菌類 *Phanerochaete chrysosporium* 600 Gy は、対照群 (野生型) に比べてバイオマス重量が 3.0 倍および 3.6 倍高かった。1%のアルカリ性リグニン培地および 5% のキバナヨウラク (*Gmelina arberoa* Roxb.) 基質中で、菌類 *Phanerochaete chrysosporium* 600 Gy は、対照群 (野生型) に比べて、リグニン・ペルオキシターゼ (LiP) 活性が 2.34 倍およ

び 2.07 倍高かった。この研究の結果は、コミュニティ・エンパワーメントに基づく生物学的環境修復を通じた食糧安全保障の発展を支援するための、マングローブの生物多様性、植物バイオマス基質およびガンマ線照射糸状菌の利用における代替策となることが期待される。

#### 4) ファ・チュー・クワイ・ホエ、マレーシア原子力庁

##### R&D テーマ

- 環境修復
- PGP、SWA、およびバイオ肥料の相乗効果
- ガンマ線照射によるバイオ肥料用微生物育種
- ガンマ線照射によるバイオ肥料用キャリア滅菌

##### 要約

マレーシアのバイオ肥料市場は現在、液体多機能バイオ肥料製品に重点を置いている。マレーシアは、ガンマ線照射、種子処理バイオ肥料、バイオ肥料毒性試験および生物学的環境修復を使用することによって、キャリア滅菌、バイオ肥料の商品化、バイオ肥料とオリゴキトサンとの相乗効果、バイオ肥料の微生物の変異原性に重点を置いている。

##### 成果

マレーシアは、4 つのバイオ肥料製品 (Bioliqfert、GoGrow BioNPK Biofertilizer、M99 Biofertilizer、および BioNik Phos) の商品化に成功した。合計で 400,000 L の Bioliqfert が、2020 年 1 月～10 月までの間に西マレーシアの稲作農家に供給された。総売上高は 6,800,000.00 マレーシアリングgit (RM) であった。GoGrow BioNPK Biofertilizer は、2019 年 11 月 4 日～5 日のマレーシア原子力庁イノベーション・デー (Nuclear Malaysia Innovation Day) に発売された。BioNik Phos はウガンダ・バイオ肥料プロジェクト (Ugandan Biofertilizer Project) を通して開発された商業バイオ肥料である。単一微生物多機能活性製品 (single microbe multifunction activity product) である M99 Biofertilizer は 2020 年 11 月 10 日に発売予定である。この製品は 5 つの賞を受賞した。温室での *Brassica* 属植物に対する M99 Biofertilizer、放射線加工したキトサン (RPC)、および化学肥料の影響は、M99 と RPC との間の相乗効果の存在を示した。バイオ肥料 C2、オリゴキトサン、および燻煙液が滴下施肥されたトウガラシに与える影響に関する実験が 2020 年 9 月に PUSPEN (Cure & Care Rehabilitation Centre) において開始された。

*Acinetobacter* 属細菌の多機能活性の改善がガンマ線照射を通して行われた。リン酸塩可溶化遺伝子 (*pqq* 遺伝子) への変異効果が得られた。*pqq* 遺伝子の全配列の分離が現在進行中である。カプセル化によるバイオ肥料処理種子の開発が現在進行中である。バイオ肥料の毒性レベルを決定するために、ゼブラフィッシュ胚を用いてバイオ肥料毒性試験が実施された。5 種のバイオ肥料 (AP1、AP2、AP3、M99、および M100) が使用に安全であった。12 の刊行物、1 つの商標、および 3 つの著作権がもたらされた。

今後の計画

現行のバイオ肥料プロジェクト（商品化、相乗効果、変異原性および種子処理）を継続するとともに、2021年にキャリア滅菌および生物学的環境修復プロジェクトが開始予定である。

**5) スンジダマー・オトゴンバヤル、植物・農業科学研究所 (IPAS)、モンゴル**R&D テーマ

- PGP、SWA、およびバイオ肥料の相乗効果

要約

2001年に、植物・農業科学研究所 (IPAS) は Rhizobacterial fertilizer という商品名でバイオ肥料製品を成功裏に発売し、これにより肥料の投入原価を削減し、作物収量を増大させている。Rhizobacterial fertilizer は低コストで環境にやさしい製品であり、すべての作物の収量および土壌肥沃度を強化するために使用することができる。オリゴキトサンは低分子量のキトサンで、キトサンへのガンマ線照射によって得ることができる/インドネシアから/。

成果

実験植物対照群の場合、果実の数はオリゴキトサンとバイオ肥料の両方で同様の効果を示している。相乗効果群では、数は対照群と比べて 1.3 倍高かった。この結果はアマトウガラシで非常に類似していた。バイオ肥料とオリゴキトサンは植物の生長促進に有意に有効であるが、最良の結果は相乗効果において見られ、これは予想された結果よりも有意に高かった。

今後の計画

- ローカル菌株 (bacterial local strains) を決定、分離する。
- キャリア物質の照射
- コムギ、キャベツ、およびジャガイモの第 1 種子 (1st seed) に対するオリゴキトサンと細菌性肥料の相乗効果。

**6) ジュリエッタ・A・アナルナ、フィリピン国立大学ロス・パニョス校分子生物学・バイオテクノロジー研究所**R&D テーマ

- PGP、SWA、およびバイオ肥料の相乗効果

概要

バイオ肥料としての微生物の使用は、従来のなものであれ、有機栽培への組み入れであれ、農作物の持続可能な生産のための重要な一部である。本年のレポートのために、3つのフィールド実験が実施された。そのうち2つは、試験作物としてトウモロコシとトマトを用いた Bio N (Azospirillum) と Mykovam (Mycorrhiza) の複合接種であり、もう1つは、化学肥料と比較してのカラギーナンと Bio N の実験であった (分析は進行中)。バイオ肥料技術の生産、推進および拡大が継続的に行われている。

## 成果

化学肥料と併用しての Bio N と Mykovam の複合接種の評価が、試験作物としてトウモロコシとトマトを使用して実施された。実験は、3 反復と以下の処理での RCBD を用いたフィールド条件レイアウトの下で行われた。処理は、T1 - 対照群、T2 - 化学肥料全量、T3 - 化学肥料全量 + Bio N、T4 - 化学肥料 1/2 量 + Bio N、T5 - Bio N + Mykovam、および T6 - 化学肥料 1/2 量 + Bio N + Mykovam であった。実験結果は、化学肥料 1/2 量に Bio N および Mykovam を組み合わせたもので処理された植物からのトウモロコシの平均重量が、肥料全量を与えられた区画と比較的類似していたことを示していた。Bio N と Mykovam の組み合わせはヘクタールあたり 8.8 トンの収量であった。トマトについては、トマト cv.Diamante max に施肥された肥料の収量とコストの比較が評価された。結果は、8.6 トンという最も高い収量が、化学肥料全量（6 袋コンブリート（14-14-14） + 6 袋 UREA（46-0-0）、コスト 11,400.00 ペソ（\$220））で処理した植物から得られたことを示していた。50%の化学肥料+ Bio N で処理した植物、および、Mykovam で処理した植物では、1 ヘクタールあたりそれぞれ 7.60 および 7.80 トンの収量が得られ、化学肥料の 50%低減により肥料コストが削減されたことを示した。この実験結果は、この組み合わせの潜在性、すなわち窒素固定微生物（Bio N）と菌根（mycorrhiza）（Mykovam）の組み合わせが、化学肥料の使用を減らし、農家の収入を改善することにつながる、農作物が必要とする一連の要素を最も完全に提供することができると思われることを示している。

## 今後の計画

1. バイオ肥料とバイオ有機肥料（BOF）の最良の組み合わせの調製によって化学肥料への農家の依存を減らすために、異なるバイオ肥料とバイオ有機肥料の複合接種の実験実施を継続する。
2. バイオ肥料技術の推進と農家への拡大
3. Bio N 生産の改善（寿命、キャリア、ガンマ線照射線量低減）

## 7) クンラヤコーン・プロンジュントウツク、タイ農業局

### R&D テーマ

- ガンマ線照射によるバイオ肥料用キャリア滅菌

### 概要

2016～2019 年に、スイートコーン品種 Hi-Brix 3 の生長と収量に対する PGPR バイオ肥料の効果、*Azospirillum* 属細菌の 2 つの分離株および 2 種類のキャリア（オートクレーブおよび照射）を用いて調べた。4 年間にわたり同様の結果が示された。ローム質土壌では、T1、T4、T5 および T6 が、10,263～22,631 kg/ha という高い生莢重量（fresh pod weight）をもつ Hi-Brix 3 スイートコーンを生じた。砂壤土については、T4 が最も高い生莢重量を示し、11,250～13,375 kg/ha であった。

## 成果

この研究の目的は、*Azospirillum* 属細菌の 2 つの分離体および 2 つのキャリアタイプ（オートクレーブおよび照射）の PGPR バイオ肥料を用いて、Hi-Brix 3 スイートコーンの生長と収量に対する PGPR バイオ肥料の効果を調べることであった。2016～2019 年に、埴壤土および砂壤土において 4 反復と 7 種類の処理での RCB が実施された。その結果、埴壤土実験区画での両方のタイプの PGPR バイオ肥料使用では、結果は 4 年にわたり類似していたことが示された。生莢重量 10,263～22,631 kg/ha の Hi-Brix 3 スイートコーンを生じた 4 つの方法がある。すなわち、T1 125-31.25-62.5 kg N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/ha（推奨される比率）、T4 PGPR バイオ肥料タイプ 1 と 125-31.25-62.5 kg N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/ha の組み合わせ、T5 PGPR タイプ 2 と 125-31.25-62.5 kg N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/ha（推奨される比率）の組み合わせおよび T6 PGPR タイプ 1 と 93.75-0-46.88 kg N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/ha（推奨される比率の 75%）の組み合わせである。砂壤土での実験結果は、4 年の結果は同じであり、T4 の PGPR バイオ肥料タイプ 1 と 375-62.5-31.25 kg N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/ha（推奨される比率）の組み合わせで、Hi-Brix 3 スイートコーンの生莢重量が 11,250～13,375 kg/ha と最も高かった。さらに、両方のタイプの PGPR バイオ肥料で、両方の実験区画におけるスイートコーン Hi-Brix 3 品種の糖度が 8～18 °brix となり、土壌中の *Azospirillum* 属、*Azotobacter* 属、および *Beijerinckia* 属の個体数は T1 と比較して 5～68%増加しており、3 つすべての細菌属が有効であったことが見出された。0.005～0.636 μmol C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> hr<sup>-1</sup> の窒素固定については、PGPR バイオ肥料の使用が指摘された。

## 今後の計画

気候変動の影響を受けた地域から分離された PGPR 細菌の照射キャリアの使用に関する研究。すべての地域において使用できる新しい PGPR バイオ肥料の開発に使用する。この新たな PGPR バイオ肥料はパッケージサイズが小さいため安価だが、旧製品と同等に使用可能である。研究は、イネ、サトウキビ、キャッサバ、トウモロコシ、野菜、ハーブおよび切り花等、国内の主要な経済作物で行われた。

## 8) チャン・ミン・クイン、ベトナム原子力研究所 (VINATOM)

### R&D テーマ

- ガンマ線照射によるバイオ肥料用微生物育種
- ガンマ線照射によるバイオ肥料用キャリア滅菌

### 概要

ベトナムはこの地域で COVID-19 パンデミックによる影響が少ない唯一の国であるが、対人距離の確保 (social distancing)、検疫および隔離はまた、実用上の突然変異株の適用、およびバイオ肥料製品の商品化に大きな影響を与えた。幸いなことに、アジア原子力協力フォーラム (FNCA) は、*Trichoderma koningiopsis* のガンマ放射線突然変異による高セルラーゼ生成株のスクリーニング作業を加速させる動機付けとなった。また、これまでに Rapol V バイオ肥料がトマトの生長に及ぼす効果を評価するためのフィールド試験が完了した。これ

らのバイオ肥料製品は、ベトナムにおける農業生産での使用についてまもなく承認されると思われる。

#### 成果

菌株 *Trichoderma koningiopsis* VTCC 31435 が、ハノイのベトナム国立大学ベトナム・タイプ・カルチャー・コレクション (Vietnam Type Culture Collection) の厚意により供給された。活性化後、28℃で7日間、ポテトデキストロース寒天培地 (PDA) プレート上で菌を培養し、次に、Tween 80 を含有する生理食塩水 (0.9%) に孢子を集め、軽く振って、約 108~109 CFU/ml の密度の孢子懸濁液を得た。この懸濁液サンプルは、より高いセルラーゼ生成株を分離するために、300~2,500 Gy の線量でガンマ線源の下で照射された。その結果、最も高い突然変異率は 700~1,500 Gy の線量でのガンマ線照射によって得られたことが明らかになった。スクリーニング後、高セルラーゼ生成の4つの安定変異体が収集された。CMCase および FPase アッセイは、これらの変異体の CMCase および FPase 活性は、親と比較して約 1.51~2.48 倍および 1.2~1.87 倍であったことを示した。したがって、これらの変異体はイネ糞の分解のために使用可能である。

昨年、植物生長促進バイオ肥料である Rapol V が、放射線改変デンプンとアルギン酸ナトリウムからなる高分子キャリアから調製された。今年初め、このバイオ肥料が、沖積土と貧土の両方でのトマトの生長に与える影響が評価された。結果は、これらのビーズ状バイオ肥料と調節物 (regulation) としての NPK の組み合わせがトマトの生産量を大きく増大させたことを示した。NPK のみで栽培された対照群と比較して、より重量の重い、より多くの果実が、処理を施した植物から得られた。市場性のあるトマト果実の最も高い収量は 25 kg/ha の Rapol V を用いた肥料を施した植物で得られた。私たちの研究結果はまた、Rapol V の使用によって、トマト果実の収量を減らすことなく、少なくとも 20% の NPK を節減可能であることを明らかにした。

#### 今後の計画

1. さらなる応用のため、放射線誘導変異体である *Trichoderma* 株の長期的安定性に関する研究を行う。
2. 実用上のイネ糞分解のための *Trichoderma* 変異体の能力を評価するため、フィールド試験を実施する。
3. Rapol V バイオ肥料が、化学肥料 (NPK) の使用を減らして野菜に与える長期的効果を調べ、また、農業汚染を最小限に抑えるために、農業生産における Rapol V の使用を促進する。

#### セッション 6・7: 高分子改質分野における進捗報告

##### 1) サルマ・スルタナ、バングラデシュ原子力委員会 (BAEC)

##### R&D テーマ

- ハイドロゲルの医療応用 Hydrogel for Medical Application

- 植物成長促進剤 (PGP)

#### 概要

- i) ハイドロゲルの医療応用: カップカラギーナン - ポリビニルアルコール・ハイドロゲルを用いた動物創傷用被覆材料

ポリビニルアルコール (PVA) と 25 kGy の放射線量で照射されたカップカラギーナン (KC) の水性混合物から、室温での Co-60 ガンマ線源からのガンマ線による放射線重合によって一連のハイドロゲルが調製された。カラギーナンは、過去に傷治療のための可能性を示している。これらのハイドロゲルの動物実験が、ウサギの火傷に使用することによって行われ、創面収縮率 (wound contraction percentages) が決定された。ハイドロゲルによる創面収縮は、火傷用軟膏よりも速いようであった。

- ii) 植物成長促進剤 (PGP)

2020 年に実施することになっていた計画は、COVID-19 パンデミックの影響によって延期されている。COVID-19 については、バングラデシュでは 2020 年 3 月最終週から 6 月までロックダウンが行われた。ロックダウン期間中は職場に出勤することができなかったことから、研究活動はすべて延期された。

#### 成果

- i) ハイドロゲルの医療応用: カップカラギーナン - ポリビニルアルコール・ハイドロゲルを用いた動物創傷用被覆材料

KC-PVA ハイドロゲルをウサギの傷に使用することによる創面収縮 (%) は、時間 (日数) がたつにつれ、他の 2 匹のウサギ (正および負の対照) と比較して高いことが見出され、24 日目に最も高い 85.44% に達し、正および負の対照の他の 2 つの値はそれぞれ 70.08% および 65.44% であった。したがって、ハイドロゲルによる創面収縮は、火傷治療用軟膏よりも速いようであったと結論づけることができる。

- ii) 植物成長促進剤 (PGP)

なし。

#### 今後の計画

- i) ハイドロゲルの医療応用: カップカラギーナン - ポリビニルアルコール・ハイドロゲルを用いた動物創傷用被覆材料

バンガバンデュー医科大学病院 (Bangabandhu Medical College and Hospital) (バングラデシュ、ダッカ) と、同病院の外来患者および入院患者への創傷被覆材の応用について、既に協議を行っている。この製品に関して、上級機関の注意を喚起し、説得することに成功した。また、啓発活動を通じて、医師や一般の人々 (後援者) 間での認識の向上に努めている。

- ii) 植物成長促進剤 (PGP)

フィールドレベルの試験に関して、上級機関、および協力機関であるバングラデシュ農業研究所 (BARI : Bangladesh Agricultural Research Institute) と既に協議を行っている。また、

PGP の商品化の一環として、バングラデシュ原子力農業研究所（BINA : Bangladesh Institute of Nuclear Agriculture）との協力を拡張することができた。BINA との協力により、農家との連携が非常に容易になると考えられる。環境にやさしい農業慣行の実践に関する認識の構築に努めている。

## 2) マ・ホンジュアン／フォン・イエ、中国科学院（CAS）上海応用物理研究所（SINAP）

### R&D テーマ

- 環境修復

### 概要

中国では、電子ビーム（EB）照射を使用した排水処理が大規模な商業応用の段階に入った。医薬品工場において、さらに埋立地浸出液処理場においても、排水処理の分野でいくつかの実証プロジェクトが開発される予定である。多高分子繊維金属イオン吸着材（Multiple polymeric fibrous metal ions adsorbents）が、放射線グラフト重合によって調製された。海水からのウラン抽出と、ウラン鉱山排水処理はパイロット段階に移行している。

### 成果

EB 照射を用いた排水処理は大規模な商業応用の段階に入った。世界最大の電子ビーム処理産業排水プロジェクトが完了し、操業を開始した。このプロジェクトは、1 日の排水処理能力 30,000 トンでの、7 台の電子加速器のオンライン運転を実現した。この実証プロジェクトではすでに 3 年の安定した運転が示されている。EB 照射を用いた排水処理は、医薬品工場および埋立地浸出液処理場から排水処理の注文をいくつか受けている。放射線グラフト重合で調製された金属イオン吸着材の試験的スケールアップに関する多くの企業との協力が進行中である。海水からのウラン抽出はパイロット段階に移った。自然の海水中におおける 17.57 mg-U/g-吸着材という高いウラン吸着能力、および、少なくとも 30 サイクルという非常に長い耐用寿命が得られた。ウラン生産コストは、ウラン 1 kg あたり \$80.70～\$86.25 まで削減可能であり、これはウランのスポット価格とほぼ同じである。海水からのウラン抽出のために、合計 30 kg の複数のタイプの繊維状吸着材が合成された。このような繊維の特に高い耐久性は、海洋から経済的に核燃料を生産する可能性を示唆している。放射線誘導グラフト重合によって調製された繊維状吸着材は市販の樹脂に比べて高い除去効率を示す。ウラン鉱山の排水処理はパイロット段階に移行している。

### 今後の計画

EB 照射を用いた排水処理は、印刷・染色、製紙、化学品、医薬品等の、より様々な産業のために、さらに、複雑な水質である工業団地における排水処理のために開発中である。

金属イオン処理のための実証プロジェクトが 1 件実施される予定である。

100 g のウランが海水から抽出される予定である。

### 3) ティタ・プスピタサリ、インドネシア原子力庁 (BATAN)

#### R&D テーマ

- 放射線分解したキトサンの動物飼料応用

#### 概要

家畜飼料用の分解キトサン (オリゴキトサン) のプロジェクトはまだ進行中である。内部予算は、BATAN の予算が限られたことから、大幅な削減となった。最終的に、2020/2021 年 (2020 年 7 月～2021 年 6 月) の最初の年のために、1 億 6,800 万インドネシアルピア (IDR) (11,450 米ドル相当) の追加予算が、インドネシア研究技術省 (Ministry of Research and Technology, BRIN) を通じて教育基金管理機関 (Educational Fund Management Institutions, LPDP) から付与された。ゲル浸透クロマトグラフィー (GPC) を用いた分子量測定のための実験室活動は、長引く COVID-19 状況による影響を受けた。在宅勤務をしなければならなかったためである。

#### 成果

BATAN の予算が限られていることから、国家研究優先事項 (National Research Priorities) としての 5 年間の資金提供を求めて、インドネシア国内の鶏の飼料にオリゴキトサンを使用する提案がインドネシア研究技術省 (BRIN) に提出された。この提案は受理され、2020/2021 年 (2020 年 7 月～2021 年 6 月) の最初の年のために、1 億 6,800 万 IDR (11,450 米ドル相当) の資金が提供された。活動は、「優良鶏系統形成のための現代バイオテクノロジーおよび高生産性・耐病性のための関連技術に関する国家研究優先事項」(National Research Priorities on Modern Biotechnology for the Formation of Superior Local Chicken Strains and Supporting Technology for High Productivity and Disease Resistance) を支援するものでなければならず、目標は、産卵率 60%以上、体重 1 kg 以上 (週齢 10 週) の優良国産鶏種 (Superior Local Chicken Seeds) の候補となる鶏を得ることである。このプロジェクトのコーディネーターは農業研究開発庁 (Agricultural Research and Development Agency) であり、BATAN を含む多くの機関と協働している。

最初の年の活動は、家畜飼料への添加剤としてのオリゴキトサンの物理・化学特性を試験、特にオリゴキトサンの分子量の分析である。オリゴキトサンの分子量は、我々の新しい装置であるゲル浸透クロマトグラフィー (EcoSEC Elite HLC-8420GPC-Tosoh) を使用して測定され、検証される。キトサンは、固体、ペースト、液体、および H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> との組み合わせ等の様々な方法で照射された。活動はまだ進行中であり、結果はまだ完了していない。

#### 今後の計画

様々な方法で照射されたオリゴキトサンの分子量測定の継続。

インドネシア国内の鶏での生体内 (in-vivo) 試験を継続するため、国の優先研究事項という点で、インドネシア研究技術省/BRIN にサポートされた 2021/2022 年の 2 年目の資金調達を考慮に入れる。

#### 4) アレクサンダー・ポリセンコ／ムラット・カシムジャノフ、JSC 原子力技術パーク（カザフスタン）

##### R&D テーマ

- 新しい農業用製品 — ポリアクリル酸カリウムベースのハイドロゲル、および、その物理・化学特性（放射線架橋超吸水材の生産）

##### 概要

この研究の目的は、農産品加工複合施設のための到達目標パラメータをもつハイドロゲルの開発と合成である。

適用分野：超吸水材（SWA）の農業利用は、水分の必要性を 50%以上低減し、また、灌漑の間隔を 2～5 倍長くすることを可能にする。製品 1 kg の概算コスト — 2,900 カザフスタンテンゲ（KZT）（6.81 米ドル）である。放射線滅菌複合施設における製品の最大キャパシティは 1,400 トン/年、設置が計画されている施設数は 10 である。

##### 成果

ポリアクリル酸カリウムベースの放射線架橋 SWA の生産を実施するための作業は依然継続中である。必要なすべての許可書類は生産実施に向けて受領された。

全技術ラインを SWA 生産用とする独立した子会社を設置することが計画されている。これについては、所有権の 75%の売却に関して民間投資家との交渉が進行中である。

40,000 ha の区域について、大規模農業組織との交渉が協力と製品販売を確立する過程にある。増粘剤（solution thickener）として SWA を使用するために、試掘坑掘削セクター（sector of drilling boreholes）において試験を実施するための交渉が進行中である。

国家森林自然保護区（State Forest Nature Reserve）の「Semey Ormany」との協力のもと、「Semey Ormany」保護区内の問題区域にオープンピット法によって植えられた苗の生存率を向上させることを目的として、放射線架橋 SWA を使用した実験が実施された。

##### **SFNR 「Semey Ormany」 との協働**

2018 年 4 月 20 日、2 年生マツ苗の機械植栽が、RSE 国家森林自然保護区（SFNR）セミパラチンスク支所の自然林「Semey Ormany」ブロック 104 において、放射線架橋 SWA を使用して実施された。

実験区域は、RSE SFNR セミパラチンスク支所の郊外の森林である「Semey Ormany」内の 2 つの試験圃場で構成されていた。すなわち、面積 8,474 m<sup>2</sup> の試験圃場#1、面積 8,113 m<sup>2</sup> の試験圃場#2 である。最初の月（2018 年 5 月）の結果として、実験区域での苗の割合は 98 ± 1%であった。

放射線架橋 SWA を用いて実験区域に植えられた 2 年生マツ苗の一覧表作成が 2020 年 10 月 2 日に行われ、次のような結果を示した。圃場#1（Washmill（Baltushka） + ゲル）では植えられた苗 2,556 のうち 925（36.2%）が生存しており、圃場#2（純ゲル）では植えられた苗 1,942 のうち 748（38.5%）が生存していた。対照圃場では、2,000 の苗のうち 405（17.8%）が生存していた。このインベントリでは、針葉樹作物の健全な最上部の芽が保たれた生存可

能な植物のみを考慮している。

## 結論

過去 2 年間にわたる観察において、SWA が使用された実験区域では、対照区域での苗と比べ、生存率が 2 倍であり、対照と比べて 10 cm 高い 40 cm まで生長している苗もあった。

「BetaSorb」の所有権の 75%を売却することにより、放射線技術利用における民間投資家の関与が可能になり、技術が加速する。そしてまた、JSC 原子力技術パークが有する 25%の所有権を維持することにより、「BetaSorb」活動の発展に対する私たちの関心への信頼を投資家に提供することができるであろう。

## 5) 田口 光正、量子科学技術研究開発機構 (QST) (日本)

### R&D テーマ

- ハイドロゲルの医療応用

### 概要

医療応用のために、ゼラチンをゲル化し、細胞培養実験に使用した。このゼラチンハイドロゲル上では、プラスチックディッシュの場合とは異なり、細胞は 3 次元的に成長した。さらに、水溶性多糖誘導体等の生体適合性高分子材料のために 3.0 MeV の陽子ビームを用いた微細加工技術が開発された。陽子マイクロビームによって微細構造ハイドロゲルが得られた。

### 成果

生体適合性材料の機能化は、再生医療、診断、薬物送達、創薬等のバイオ技術／医療技術への幅広い応用が期待されている。ハイドロゲルは生体適合性の足場として期待されている。これは、細胞増殖中に器官形態を維持し、遺伝子発現と細胞の運命をコントロールすることを助けるものである。ゼラチンは高い生分解性と生体適合性を有しており、ハイドロゲルの基材として使用されてきた。著者らは、有害化学物質を使用せずに、放射線を使用することによってハイドロゲルを作製している。ハイドロゲルの剛性と安定性を細胞培養条件の下で調べた。細胞足場材としての応用可能性を検証するために、作製したハイドロゲル上での HeLa 細胞の接着と成長を調べた。ハイドロゲルの表面微細構造(微細形状、溝の深さ)は遺伝子発現をコントロールするために重要である。また、著者らは、シングルエンド加速器からの 3.0 MeV の集束陽子ビームを使用することにより、水溶性多糖誘導体等の生体適合性高分子材料のための微細加工技術を開発した。陽子ビームにより微細構造化したハイドロゲルが得られ、その上での細胞の接着と増殖を調べた。

### 今後の計画

細胞機能のコントロール技術について調査する。

再生医療、診断、および創薬のための新しいバイオデバイスを開発する。

## 6) マズナ・ビンティ・マフムド/サラダ・イドリス/ノルハシダ・タリブ/マリナ・ビンティ・タリブ、マレーシア原子力庁

### R&D テーマ

- 放射線分解したキトサンの動物飼料応用（ティラピア）（サラダ・イドリス）
- ハイドロゲルの医療応用およびバイオ肥料（マズナ・ビンティ・マフムド）
- PGP、SWA、およびバイオ肥料の相乗効果（ノルハシダ・タリブ）
- PGP および SWA（プロセス開発を含む）（マズナ・ビンティ・マフムド）

### 概要

#### i) 放射線分解したキトサンの動物飼料応用（ティラピア）

低分子量 (LMw) キトサンをティラピア用の飼料用サプリメントとして生産するために、水中の 0.1%キトサンをガンマ線 (25 kGy) の下で照射した。研究は、4 種類の処理（対照、2.5 g、5.0 g および 7.5 g のキトサン/1 kg 飼料）を行った飼料を、ティラピアに 1 日 3 回与えることで構成された。LMw キトサン (5 g) の追加が、最終体重、成長率、飼料転換率、タンパク効率および生存率において最良の結果を示した。

#### ii) ハイドロゲルの医療応用およびバイオ肥料

この研究は、3D 細胞培養法にすぐに使用可能な細胞培養の開発を目指し、可能性のある新技術および材料の探索を目的として実施された。ガンマ線は、架橋鎖間のカラギーナンの絡み合いをもつ PVP 架橋ネットワークの形成を誘発した。ハイドロゲルは培地中で膨潤し、8 日目までその形状を保つことができた。細胞は集塊形成し、130 um~220 um の範囲の様々な直径でスフェロイド (3D 細胞) を形成した。κCA-PVP-PEG ハイドロゲルは 3D 細胞培養法用培地としての潜在性を示した。より長い時間、また、様々な培地条件下で、膨潤しながら形状を保持する能力の増大に関する、ハイドロゲルの形状保持強化についてのさらなる研究が実施されるべきである。

#### iii) PGP、SWA、およびバイオ肥料の相乗効果

2020 年 7 月頃に複数の実験を実施した。研究は次の 5 つのパラメータで実施した。すなわち、1) 対照群、2) SWA のみ、3) SWA とオリゴキトサン併用、4) SWA とオリゴカラギーナン併用、および 5) SWA と VitaGrow（市販の PGP）併用である。この研究ではカイラン (Chinese Kale) を使用した。草高については、SWA とオリゴキトサンの相乗作用が最も高い値を出し、20.85 cm であった。一方、根長については、SWA のみでの処理が最も高い結果を出した。

#### iv) PGP および SWA（プロセス開発を含む）

マレーシア原子力庁におけるオリゴキトサン生産の操作手順に関する 1 冊のガイドブックが作成されている。この「極秘文書」(Confidential Classified-Documents) は、マレーシア原子力庁でのオリゴキトサンの生産について、照射手順、QA・QC 段階でのすべての分析、および全体的な混合手順を扱っている。長期間の移動制限命令 (MCO) および条件付き移動制限命令 (CMCO) による 3 月~6 月の「在宅勤務モード」のため、カイランに対する異なる

る PGP（オリゴキトサン、オリゴカラギーナンおよび VitaGrow（国産市販 PGP））の効果を  
 見るための、カイランに対する 1 回のポット試験を行うことができたのみであった。ポット  
 試験は、カイランへの PGP の適用がカイランの生長と収量に与える影響は軽微であること  
 を示唆する結果であった。試験中の低日光や豪雨等の制御不可能な要因が、この低い生産性  
 の一因となった可能性がある。豪雨と雨はしばしば、植物へのダメージ、肥料の流出、PGP  
 の流出を引き起こした。

## 成果

### i) 放射線分解したキトサンの動物飼料応用（セラピア）

異なるレベルの低分子量 (LMw) キトサンがセラピアの体重増加、飼料転換率 (FCR)、  
 タンパク効率 (PER) および生存率に与える影響を考察する。

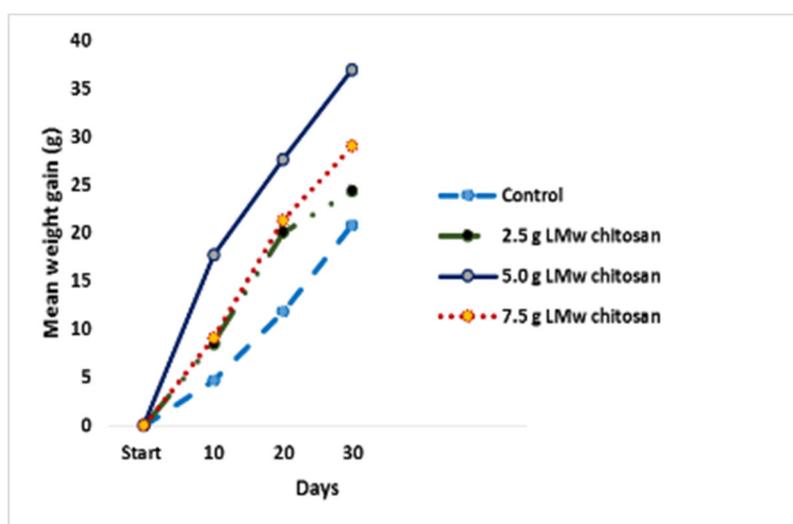


Figure 1. キトサン含有飼料を与えたセラピアの体重増加

30 日間の実験中、セラピアの体重増加には、LMw キトサンを含有する飼料を与えた場  
 合とキトサンなしの場合で有意な差があった。飼料に LMw キトサンを加えたすべての処理  
 において、体重増加の一般的傾向が観察された。この研究により、最良の成長は 5 g の LMw  
 キトサンを与えられたセラピアであり、次いで 7.5 g および 2.5 g のキトサンを与えられ  
 たセラピアであったことを示した。最も低い成長は、キトサン不使用の市販飼料を与えら  
 れたセラピアで観察された。

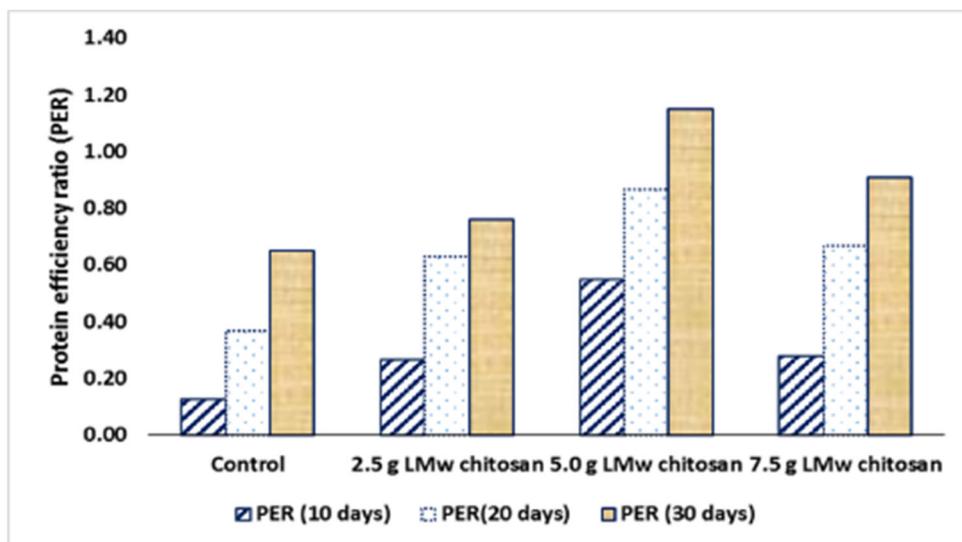


Figure 2. キトサン含有飼料を与えたティラピアの飼料転換率(FCR)

FCR の値により、5 g の LMw キトサンを与えられたティラピアが、市販の魚ペレット (1.69)、2.5 (1.62) および 7.5 (1.14) g の LMw キトサンを与えられたティラピアと比較して、1.00 g の魚を生産するために食べた飼料が少なかった (1.06 g) ことが明らかになった。30 日間行われたこの研究では、5.0 g の LMw キトサンを与えられたティラピアの FCR がティラピアの体重増加と正の相関を有していることが明らかになった。

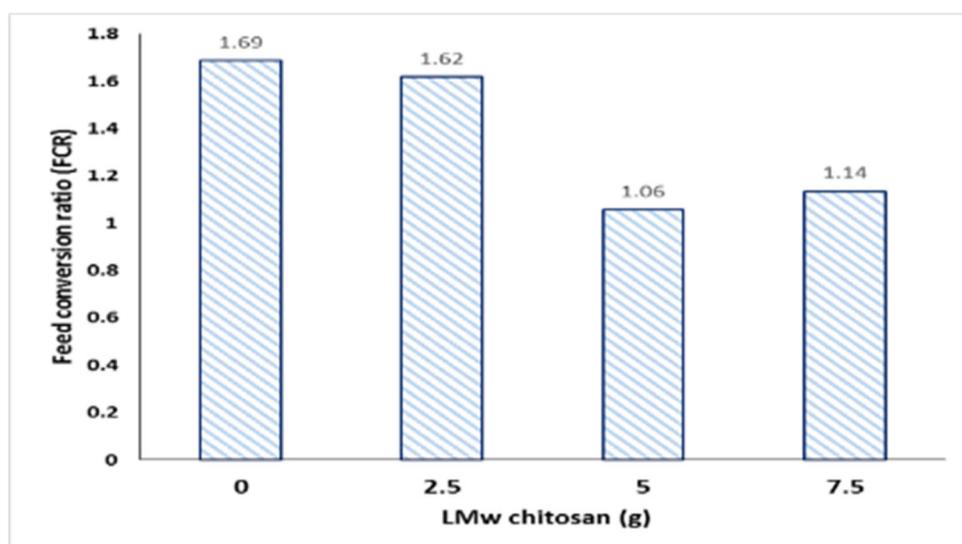


Figure 3. キトサン含有飼料を与えたティラピアのタンパク効率(FER)

実験飼料と対照飼料を与えられたティラピアにおいて、最良のタンパク効率 (PER) は 5 g の LMw キトサンの飼料によるものであった。この結果は、飼料に 5 g の LMw キトサンを加えることが PER を有意に改善し、したがって、消費されるタンパク質を最適化することを明らかにした。対照群および 7.5 g の LMw キトサン群における摂食試験での生存率は 50%

を超える死亡があったことを示したが、2.5 g および 5.0 g の LMw キトサン群では 100% の生存率が記録された。この結果は、市販テラピアの餌ペレットに加えるべきキトサンの最適レベルは、死亡を回避し、タンク内の適切な条件を維持するために、0.05% 未満であることを示すものであった。

ii) ハイドロゲルの医療応用およびバイオ肥料

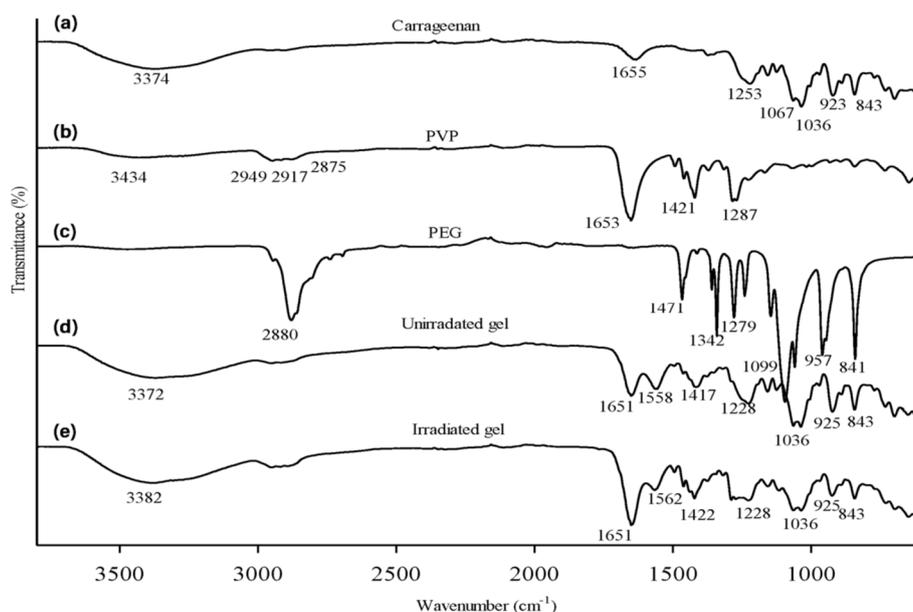


Figure 1. 照射および未照射  $\kappa$ CA-PVP-PEG の IR スペクトル

照射されていない  $\kappa$ CA-PVP-PEG ハイドロゲルの FTIR スペクトルを、照射したハイドロゲルと比較した場合、ピークパターンおよびピーク位置における影響は軽微であった。この知見は、 $\kappa$ CA と PEG 鎖が架橋 PVP 内で絡み合っ、相互貫入ネットワーク (IPN) を形成していることを示唆するものであった。ガンマ線による  $\kappa$ CA の照射は  $\kappa$ CA 高分子鎖上のラジカル形成を生じ、これらのラジカル形成部は PVP との側鎖のための開始点となる (Abad et al., 2003)。 $\kappa$ CA は照射によって急速に劣化することが知られているが、照射後のハイドロゲルの FTIR スペクトルが変化していないことは、PVP への  $\kappa$ CA のグラフティング、または IPN 形成は、 $\kappa$ CA の劣化を軽減したことも示していた。言い換えれば、PVP はガンマ線照射から  $\kappa$ CA を守ったとも言える。

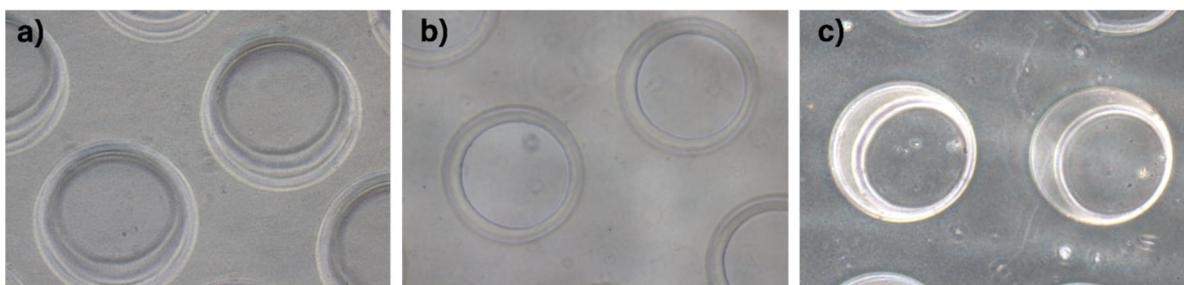


Figure 2. 細胞培地中 (a)1 日目、(b)5 日目、(c)10 日目における  $\kappa$ CA-PVP-PEG の表面におけるマイクロビールの形態

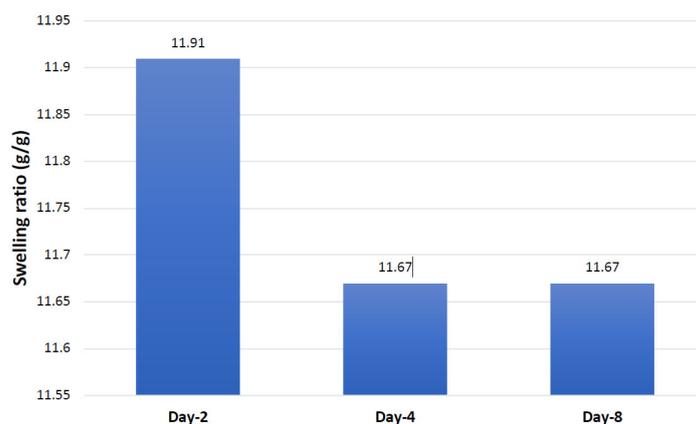


Figure 3. 2 日目、4 日目、8 日目における細胞培地中の  $\kappa$ CA-PVP-PEG ハイドロゲルの膨潤率

図 3 に示すように、膨潤率は 2 日目にわずかに高くなり、その後安定した。これは、 $\kappa$ CA-PVP-PEG ハイドロゲルネットワークからの水分子の外側移動によるものである可能性がある。細胞培地はより高い溶質を有しており、したがって、濃度勾配を生じるためである。しかしながら、4 日目には平衡に達し、膨潤率は 8 日目まで変わらずにそのままであり、さらなる膨潤または解膨潤は起こらなかったことが示された。このことはまた、8 日目までは  $\kappa$ CA-PVP-PEG ハイドロゲルは細胞培地中で物理的に無傷であったことも示唆していた。

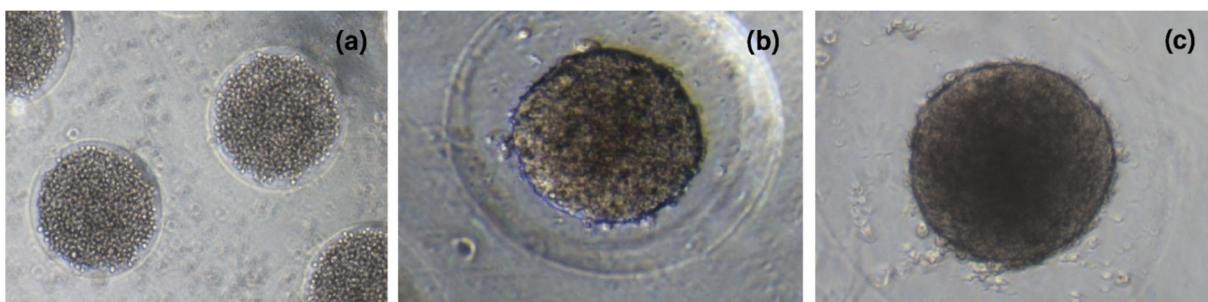


Figure 4. (a)1 日目、(b)5 日目、(c)10 日目における HTB43 スフェロイド形成

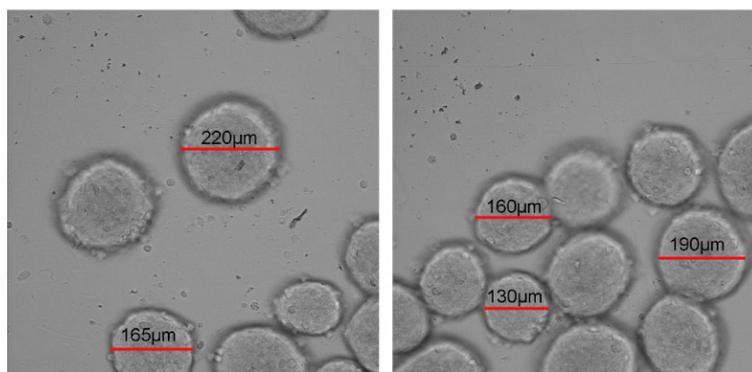


Figure 5. 10 日目に得られた HTB43 スフェロイドのサイズ範囲は 130~220  $\mu\text{m}$

図 4 は、Cell Reporter システム (Molecular Devices, USA) を用いて撮影された 10 日目のスフェロイドの画像である。 $\kappa\text{CA-PVP-PEG}$  ハイドロゲルから形成されたスフェロイドが、図 5 に示される 130~220  $\mu\text{m}$  の様々なサイズを呈していることが示されている。これらの異なるサイズは、播種過程中的各マイクロウェルによって受け取られた細胞の数が様々であることによる影響を受けている可能性がある。スフェロイドのサイズに影響を及ぼした可能性のあるその他の因子は、供給された栄養素の量とスフェロイドの振動時間である。 $\kappa\text{CA-PVP-PEG}$  ハイドロゲルは 3D 細胞培養のための潜在的な足場であるという目的を果たしている。

### iii) PGP、SWA、およびバイオ肥料の相乗効果

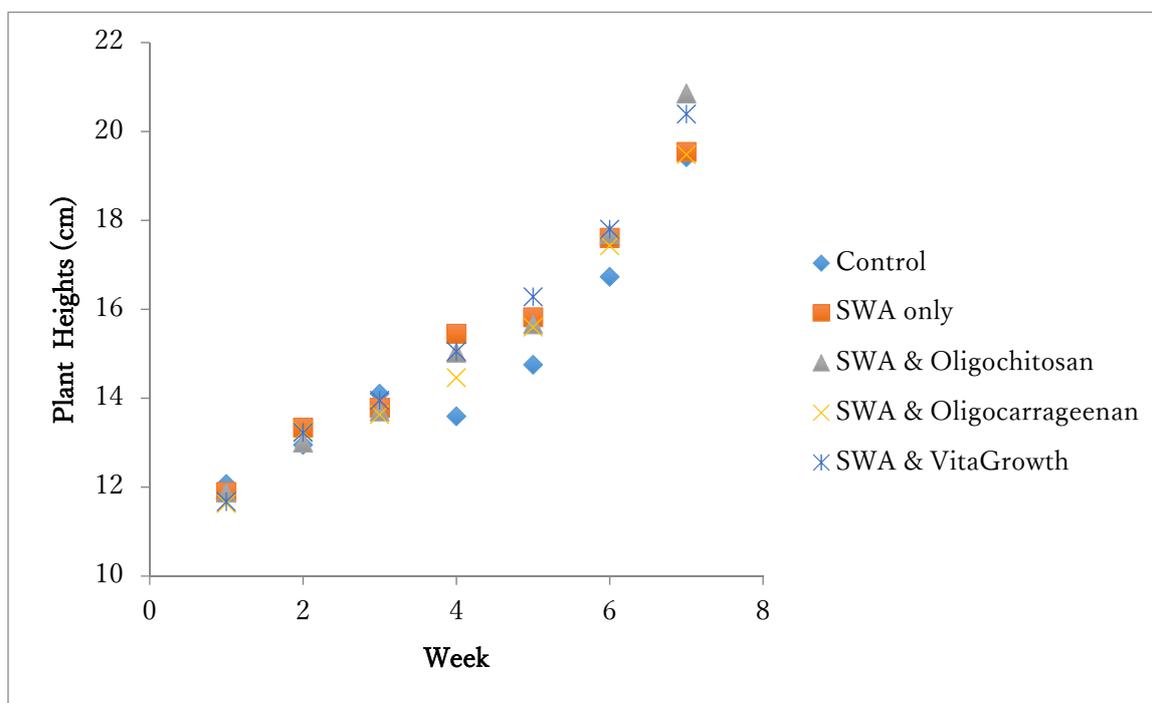


Figure 1. カイランの生長における SWA と PGP の相乗効果

図 1 は、植物（カイラン）の生長に対する SWA と PGP の相乗効果を示したものである。実験は 7 週間にわたって行われた。植物の生長データは毎週収集された。植物生長の初期段階である最初の 3 週間では、すべての処理において生長率は同じであった。成長率の差は 4 週目に始まり、対照群が、他の処理と比較して最も低い成長を示していた。7 週目には SWA とオリゴキトサンの相乗効果が高さ 20.85 cm と最も高い値を示した。

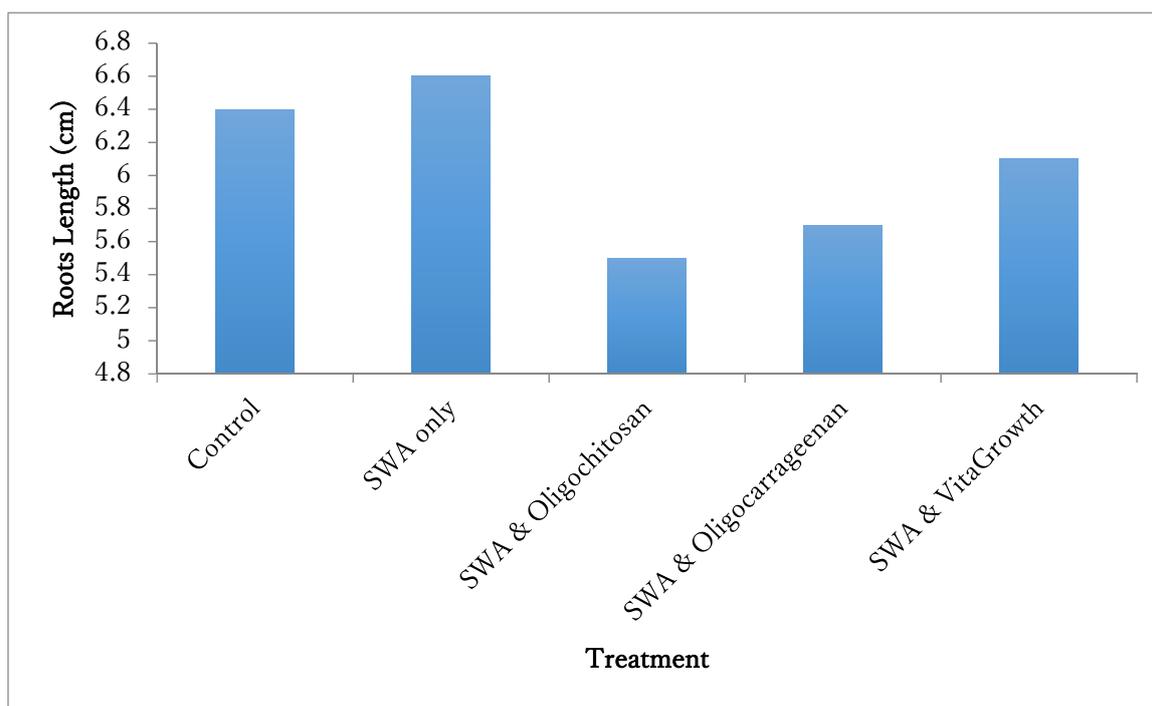


Figure 2: カイランの根長に対する SWA と PGP の相乗効果

図 2 は、植物（カイラン）の根長に対する SWA と PGP の相乗効果を示している。根長は収穫日（7 週目）に計測した。図に示すように、根長は SWA と PGP の相乗作用による影響は受けておらず、SWA のみによる処理の場合に最も高い値である 6.6 cm を示した。

iv) PGP および SWA（プロセス開発を含む）

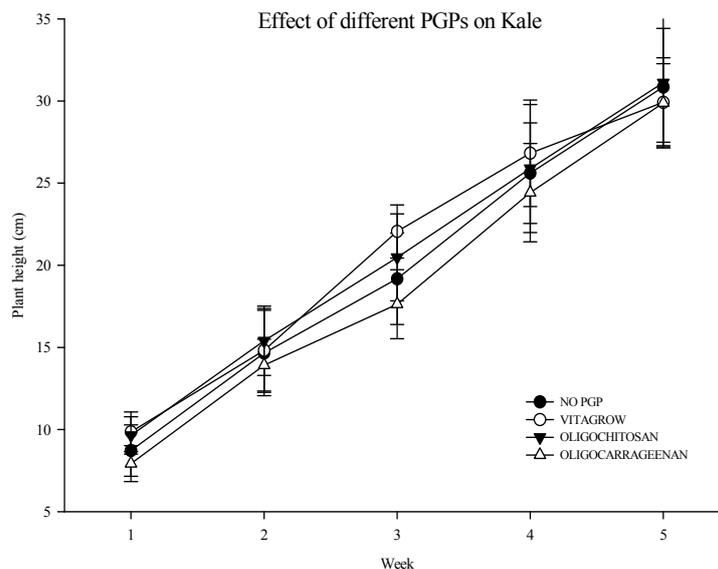


Figure 1.異なる PGP および対照群 (PGP なし) で処理したカイランの 1 週目～5 週目の生長

この実験は、PGP としてのオリゴカラギーナンの潜在性を観察し、また、市販の PGP (VitaGrow) と比較しての放射線分解多糖類 (オリゴカラギーナンとオリゴキトサン) の効率を測定するために行われた。ポット試験は、オリゴキトサン、オリゴカラギーナン、VitaGrow (国産市販 PGP)、および対照群 (PGP なし) という 3 つの異なる PGP の処理で、カイランに対して行われた。この実験中に適用された PGP の濃度は 100 ppm で固定された。

図 1 は、対照群 (PGP なし) と比較した場合の、PGP で処理された後の第 1 週～第 5 週までのカイランの生長に対する有意でない差を示している。オリゴカラギーナンで処理されたカイランは、第 1 週～第 5 週までの植物の生長率が最も低いことが示された。オリゴカラギーナンで処理されたカイランは、第 1 週～第 5 週まで同じように一貫して生長している。他の処理は、第 4 週の後、生長率の低下を示した。最終週では、すべての処理で、草高に有意でない差が示された。

Table 1. 異なる PGP 処理を行ったカイランの結果 (PGP なしの対照群を含む)

処理	N	平均草高 (cm)	総収量(g)	平均葉数(unit)
オリゴキトサン	10	31.11 ± 3.97 <sup>A</sup>	610.9	9.5 ± 0.97 <sup>a</sup>
PGP なし	10	30.85 ± 3.57 <sup>A</sup>	814.4	10.5 ± 1.35 <sup>a</sup>
VitaGrow	10	29.92 ± 2.71 <sup>A</sup>	652	9.4 ± 1.96 <sup>a</sup>
オリゴカラギーナン	10	29.88 ± 2.39 <sup>A</sup>	692.8	9.4 ± 1.07 <sup>a</sup>

表 1 は、平均草高、平均葉数および総収量に関する結果を示している。対照群と比較して、PGP による処理後の平均草高および葉数に関する結果の差は有意ではない。結果はまた、PGP がカイランの収量を増大させていないことも示している。しかし、オリゴカラギーナンは、VitaGrow およびオリゴキトサンと比べて高い収量を示している。この実験から得られた結果が思わしくないため、同じ実験デザインとパラメータでのポット試験を繰り返すことを計画している。

#### 今後の計画

##### i) 放射線分解したキトサンの動物飼料応用 (ティラピア)

ティラピア養殖は、マレーシアでは大きな発展の可能性がある。キトサンは生長促進剤として、また、細菌性の病気に対する魚の保護を強化するための免疫刺激剤として有用であることが判明していることから、今後の計画としては、分解キトサンを実際のティラピア養殖に導入することである。加えて、分解キトサンはその他の水生動物/陸上動物においてもさらに研究が行われることが計画されている。

##### ii) ハイドロゲルの医療応用およびバイオ肥料

1. 研究費申請と研究の完了が計画されている。
2. 将来的なカウンターパートとなり得る大学の研究者との協力: 大学の研究者から 3D 細胞に関する最新の情報と技術を得る。
3. 一部の細胞はある大きさに達するのにより長い培養時間を要するため、14 日間以上、培地中で保たれることができるような、細胞培養皿の新たな形成を見出す。
4. 資金供給を得て新しい細胞ラインを得る。乳がん細胞ライン等の潜在的な細胞ラインを得る。
5. 例えば Research Gate といった利用可能な「ソーシャル・ネットワーキングサイト」を通じ、関連分野の研究者の論文を請求する

##### iii) PGP、SWA、およびバイオ肥料の相乗効果

SWA と PGP が植物の生長に与えた相乗効果は有意であったとはいえ、根長についての結

果が予想と異なっていたことが判明した。これはポット試験を行った場所によるものである可能性がある。当該温室は大きな建物の陰にあり、かつ、大きな木の近くにあった。研究期間を通して、植物に十分な日光が当たっていなかったと考えられる。今後は、今年得られた結果を確認するために、実験を繰り返したいと考えている。

#### iv) PGP および SWA (プロセス開発を含む)

1. カイランへの PGP 使用のポット試験を繰り返す。実験のデザインとパラメータは前回の試験と同様とする。
2. データ収集は、発芽率、種子生存、草高、葉数、および総収量について行う。
3. 以下の確立：
  - i. オリゴカラギーナンの開発：研究では、異なる Na 塩溶質中のオリゴカラギーナンの可溶性および異なる EtOH 含有量がオリゴカラギーナンの安定性に与える効果を扱う。
  - ii. 異なる貯蔵条件がオリゴカラギーナンの安定性に与える効果。
  - iii. 2 年間でオリゴカラギーナンの作業手順のスケールアップ。

### 7) チャリト・T・アラニラ、フィリピン原子力研究所 (PNRI)

#### R&D テーマ

- ハイドロゲルの医療応用
- PGP および SWA (プロセス開発を含む)

#### 概要

##### i) ハイドロゲルの医療応用

CMC 顆粒と KC/PEO/PEG ハイドロゲル被覆材の生体内 (in vivo) 止血効果評価を、4 つのラット出血モデルで行った。すなわち、大腿出血、大動脈出血、深い創傷、および尾側腎摘除 (caudal pole nephrectomy) の 4 モデルである。KC/PEO/PEG 被覆材は出血時間のコントロールにおいて市販の Celox ガーゼよりも効率的であり、生存率は 100%であった。CMC 顆粒は、出血時間のコントロールにおいて Celox 顆粒と同程度の効率であったが、生存率はより良好であり、接着、炎症、顆粒沈着は少なく、剥離が容易であった。

##### ii) PGP および SWA (プロセス開発を含む)

キャッサバ澱粉/PAAc 超吸水材の微生物生分解研究が、85 日間、微生物酸化分解測定装置を用いてモニターされた。PAAc ハイドロゲルへの澱粉の組み入れはその生分解性を大きく改善した。減耗を最小限にしての完全無作為化法を用いたポット実験をレタスで行った。草高、葉の数、根長、根の数、および生体重等の生理学的パラメータを記録した。カラギーナン PGP 技術の適用は、バナナ、サトウキビ、カカオ等の作物に拡大された。

#### 成果

##### i) ハイドロゲルの医療応用

この研究では、開発された止血剤を Sprague-Dawley ラットにおいて試験した。KC/PEO/PEG 被覆材および CMC 顆粒を、圧迫し続けずにラットに塗布し、7 日間または 14

日間観察した。市販のキトサンベース剤である Celox (CLX) との比較を行った。観察した主要転帰は、出血時間、再出血発生率、動物の生存、ならびに肉眼的および顕微鏡的变化であった。KPP-D 群は、すべての出血モデルについて出血時間が最も短く、その他すべての処理群よりも有意に短かった。KPP-D 群はまた、最も高い生存率を示し (100%)、肉眼的な異常は見られなかった。CMC-G 群は CLX 製品と同等の出血時間を示したが、生存率は CLX の 96%と比較して 98%と良好であった。再出血の発生率は CLX 処理群において高く、さらに、顆粒接着の発生率も高く、死亡転帰に影響を与えていた。知見は、外傷による著しい出血の処置、および術中症例 (intraoperative cases) における KPP-D の有効性を示している。一方、CMC-G は外傷に対して、より適していた。

#### ii) PGP および SWA (プロセス開発を含む)

キャッサバ S-PAAc SWA (38% DN、15 kGy で 10%澱粉/20%AAc) は、純 PAAc (50% DN、15 kGy で 20%AAc) および対照群と比較して、85 日で 42%の率で、最も高い生分解性を有していた。使用した対照群はセルロースで、これは 3 週間内で約 10%の生分解を示し、その後は一定した漸増を示した。このゆっくりとした分解はセルロースの結晶構造によるものである可能性がある。S/PAAc SWA は 3 週間で最初の生分解曲線を示したが、これは (相互浸透ゲルモデルの場合のように) 架橋ネットワーク内にトラップされた澱粉によるものである可能性がある。その後は、着実かつ速い増大が観察された。純 PAAc の生分解は、微生物分解をより受けやすい可溶性画分からの低分子量フラグメントによるものである可能性がある。放射線加工によって誘発された澱粉の組み入れは、環境にやさしい SWA 製品にとって有用な、SWA の生分解率の向上をもたらしていた。

#### 今後の計画

##### i) ハイドロゲルの医療応用

豚モデルを使用した別の臨床前研究の提案を提出する前に、技術の受け手または産業パートナーのためにソースを明らかにする必要がある。次に、PNRI の事業開発ユニット (Institute's Business Development Unit) と協力して技術振興が行われる。

技術の受け手からの関心表明書 (letter of interest) を受け取り次第、豚の出血モデルにおける効率的な評価の提案が、承認と資金提供の獲得のため、科学技術省 (DOST : Department of Science and Technology) に提出される予定である。

##### ii) PGP および SWA (プロセス開発を含む)

n. For the field experiments, suggested crops to be used were okra, lettuce and cucumber.

SWA について、オクラとスイートコーンを使用したポット実験を継続する。フィールド実験については、使用が示唆される作物はオクラ、レタスおよびキュウリであった。

#### 8) フィリヤトーン・スワンマラ、タイ原子力研究所 (TINT)

##### R&D テーマ

- PGP および SWA (プロセス開発を含む)

## 概要

均一なサイズと形の SWA ビーズが成功裏に調製され、単純化されたプロセスと、エンドユーザーへの実際的な応用を提供している。SWA ビーズはその元々の乾燥重量の 450 倍も高い膨潤度を示す。SWA ビーズの生産には 3 つの主要なエネルギー消費プロセス（切断、乾燥、破碎）を必要としないため、コストと時間の両方を低減する。

## 成果

TINT の研究者らは、キャッサバ澱粉ビーズへのアクリル酸の放射線誘導グラフト重合を通じて、新しい世代の SWA——SWA ビーズ——を成功裏に調製した。新たに設計されたプロセスにより、均一なサイズ（1~2 mm）と形状（球形ビーズ）で SWA を作製することが可能となった。SWA ビーズの球形は肥料の形状に似ており、したがって、実際の農業応用により実践的なものになっている。また、SWA ビーズは、植え付けプロセスの開始時に種子とともに播くことができる。調製された SWA ビーズはその元々の乾燥重量の 450 倍も高い膨潤度を提供する。

この SWA ビーズの新しくデザインされたプロセスはまた、元々の SWA ハイドロゲルの生産プロセスに伴う主要な問題点を克服することができる。エネルギーと時間を消費する 3 つの主要なプロセス（切断、乾燥および破碎）がなく、SWA ビーズの生産プロセスは、したがって、エネルギー、時間、そして最重要な点として、費用の大幅な削減をもたらす。

Table 1. SWA ハイドロゲルの従来の製造法と SWA ビーズのための新たな製造法の間  
の同量を製造する場合における相違点

	SWA	SWA ビーズ
製品量	1,000 Kg	1,000 Kg
材料準備に要する時間	1 日	2 日
照射線量	20 kGy	10 kGy
切断・乾燥に要する時間	40 日 (50 Kg / 2 日)	No need (2 日間の自然乾燥)
粉碎・サイズ分類に要する時間	10 日 (100 Kg / 日)	不要
製造に要する総時間	43 日	5 日
モノマー溶液	完全活用 (同時照射)	再利用可 (照射されない)
必要な人員	より多い	より少ない
エネルギー (熱)	より多い (Air oven @ 60°C)	より少ない

## 今後の計画

- ・ SWA ビーズ内に封入された肥料の仕込み・放出効率について研究する。
- ・ (1) 元の SWA ハイドロゲルによる過去の結果と比較し、(2) 特定の植物それぞれについて

て SWA ビーズに最適な含有量を決定するために、SWA ビーズのフィールド試験を実施する。

- ・ SWA ビーズの商業生産の実現可能性調査を実施する。
- ・ SWA ビーズ生産をスケールアップする。
- ・ 動物飼料用の分解キトサンについては 2021 年に実施予定である。

## 9) グェン・ゴック・ドゥイ、ベトナム原子力研究所 (VINATOM)

### R&D テーマ

- ・ 放射線分解したキトサンの動物飼料応用
- ・ ハイドロゲルの医療応用
- ・ 環境修復

### 概要

サイズ～41.8 nm のセレンのナノ粒子(SeNPs)を、安定剤としてオリゴキトサン (OCS) を使用し、ガンマ線照射法によって合成した。粉末状の SeNPs/OCS 製品もまた、噴霧乾燥技術によって高純度で調製した。OCS と SeNPs/OCS 製品は、ガンマ線照射したマウスの総白血球数を回復することができた。

ゼラチン/CM-キトサンとゼラチン/CM-キチンの混合物からの細胞足場が、線量～25 kGy のガンマ線による放射線架橋によって調製された。

### 成果

SeNPs は、4°C で、異なる貯蔵期間 (0、30、45 日) についてそれぞれ 41.8 nm、50.9 nm および 51.9 nm と算出された平均直径をもつ球形の形態であった。27°C で、SeNPs のサイズは 4°C のときよりも速く増大し、41.8 nm (0 日) から、30 日と 45 日の貯蔵期間についてそれぞれ 115.1 nm と 125.8 nm に増大した。噴霧乾燥によって得られた SeNPs/OCS 粉末は橙色で、高純度であった。SeNPs の粒子サイズは、SeNPs/OCS 溶液が粉末形態になると、41.8 nm から 43.8 nm にわずかに増大した。照射されたマウスの 3 つすべての群 (これらのマウスは OCS、SeNPs/OCS、およびリン酸緩衝食塩水 (PBS) の経口補給をも受けた) における総白血球 (WBC) レベルは、照射後 10 日間間に有意に低下した。しかしながら、OCS と SeNPs/OCS を 20 日間経口補給した照射マウスにおける総 WBC の回復はすでに観察されていた。SeNPs/OCS の経口補給は、OCS を与えられたマウスのそれよりも WBC 回復が良好であった。20 µg.day<sup>-1</sup> の用量で OCS を補給された照射マウスについては、総 WBC は 20 日後に通常レベルまで完全に回復した。特に、SeNPs/OCS を与えられた試験群では、総 WBC の回復時間は 20 日未満であった。

CM-キトサンと CM-キチンは、同じように、ゼラチン由来足場材の特徴の有意な改善を示した。ゼラチン/CM-キトサンとゼラチン/CM-キチンから調製された足場はともに、膨潤度～7-9 g/g (PBS 中)、圧縮率～46-66 kPa、孔隙率～70-73%、孔サイズ～100-300 nm となった。これらはまた、コラゲナーゼ酵素における許容可能な生分解性、および、～97%の RGR

での脂肪由来幹細胞 (hADSC) についての非細胞毒性を示し、これらはすべて hADSC 培養足場材のための基本的な要求事項を満たしていた。

#### 今後の計画

大規模な電子ビーム照射複合生物学的方法による織物染色排水処理に関する研究。

水産養殖における免疫システムを増大させるための添加剤として使用するためのオリゴキトサンの、パイロットスケール生産。

家畜および水産養殖におけるオリゴキトサンの商品化。

### セッション 8: COVID-19 パンデミック下における本年の活動に関する討議

2020 年 3・4 月から 10 月にかけての放射線施設および研究活動の状況の変化について、参加者から報告があった。各参加国における状況は以下の通り。

- **バングラデシュ**

COVID-19 に係る状況は芳しくなく、2020 年 10 月時点では未だ多くの制限が継続している。バングラデシュ原子力委員会 (BAEC) が所有する放射線施設は利用可能であるが、研究活動はパンデミックの影響により限定されている。実験は冬以降に開始できるものと期待している。

- **中国**

春の時点では照射施設は利用不可であったが、現在 (2020 年秋) は再開している。

- **インドネシア**

放射線施設は利用可能である。しかし、COVID-19 の影響により一部セッションの活動は低下している。

- **日本**

放射線施設は数か月にわたり閉鎖され、PCR 検査に関連する一部の物資も調達が困難になっていた。2020 年 10 月時点においては、通常の状態に復帰している。

- **カザフスタン**

スケジュールの都合により本セッションは欠席。

- **マレーシア**

パンデミックにより、3 月から 6 月にかけてマレーシアでは完全なロックダウンが実施され、全ての施設が閉鎖された。10 月時点では、マレーシアは未だに COVID-19 に関する困難を抱えており、部分的なロックダウンが行われている。一部の施設は引き続き閉鎖されている。

- **モンゴル**

スケジュールの都合により本セッションは欠席。

- **フィリピン**

3 月の全体的なロックダウンの間、全てのオフィスおよび施設が閉鎖された。6 月からは、職員は 15 日/月はオフィスに出勤可能となった。10 月時点では、電子ビーム施設は利用可

能である。ガンマ線施設は改良のため停止中であるが、他の小規模なガンマ線照射器が代替として利用可能である。

- タイ

3月から5月にかけて、放射線施設は利用可能であったが、ロックダウンにより利用者はいなかった。6月からは通常の状態に復帰している。

- Viet Nam

ベトナム政府は COVID-19 の拡大を十分にコントロールしている。放射線施設は利用可能である。