

令和 6 年 6 月 9 日現在

機関番号：34428

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05464

研究課題名(和文) 1-メチルシクロプロペンと香り前駆物質を用いた芳香豊かなりんご鮮度保持手法の開発

研究課題名(英文) Development of storage box to keep the freshness of apples using 1-methylcyclopropene (1-MCP) with aroma precursors.

研究代表者

吉井 英文 (Yoshii, Hidefumi)

摂南大学・農学部・教授

研究者番号：60174885

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：発砲スチロール箱内にエチレン受容体結合阻害剤1-メチルシクロプロペン(1-MCP)を包接した-CD粉末被覆紙から1-MCPを徐放させ、エチレン発生を阻害し、りんごの鮮度保持のための包装箱開発を企図した。

本研究では、りんご(王林)を1-MCP包接-CD粉末被覆紙入り発砲スチロールを用いて、4℃、15日間20/15日間保蔵し、りんごの評価を実施した。1-MCP包接-CD粉末の量に応じて、りんごの硬さ、酸度などを改善できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

果実を輸出する際、冷蔵保存中は果実からのエチレン発生はほとんどないが、陸揚げされた際に発生するエチレンは果実の熟成を促進する。本研究は果実の鮮度保持のための梱包箱の開発で、果実の品質劣化を防ぎ食品ロスを抑止する技術として有用であると考えている。キイとなる技術はシクロデキストリンに包接したエチレン結合阻害剤1-メチルシクロプロペン(1-MCP)を、果実の包装箱の温度ステップ変化の際の水蒸気濃度変化に応じて徐放する特質を利用したものである。本手法はCD包接物質の水蒸気濃度に依存した徐放能を利用したもので、食品鮮度保持のために多くの応用が可能と考えている。

研究成果の概要(英文)：In the exporting apples to Southeast Asia, the temperature change at landing causes ethylene formation, which accelerates the ripening of the apples. In response to this temperature step change from 4C at transport ship to 20C at the land, we aimed to develop a packaging box that would inhibit ethylene formation by the release of 1-methylcyclopropene (1-MCP), which is an ethylene receptor binding inhibitor, from the 1-MCP included -CD powder-coated paper in the polystyrene box. 1-MCP was released from 1-MCP included -CD powder at the step change of moisture concentration in the polystyrene box due to the step temperature change. In this study, apples (Orin) storages were investigated in polystyrene box containing 1-MCP-encapsulated -CD powder-coated paper at 4C for 15 days and 20C for 15 days, and evaluated the apples. The hardness and acidity of the apples improved depending on the amount of 1-MCP-encapsulated -CD powder on the paper.

研究分野：食品工学

キーワード：1-メチルシクロプロペン りんご シクロデキストリン 徐放 発砲スチロール箱 エチレン 熟成 鮮度

## 1. 研究開始当初の背景

果物の品質は、エチレンの作用によって引き起こされる熟成、老化、および腐敗によって大幅に低下する。果物の収穫後の保存期間を延ばすエチレン制御技術の中で、1-メチルシクロプロペン(1-MCP)は、エチレン受容体に結合することで果物の保存期間を延ばす能力があることが実証されている。1-MCPは、分子カプセル化によって $\beta$ -シクロデキストリン( $\beta$ -CD)に包接することで粉末化されている。しかし、包接複合体粉末からの1-MCPの徐放挙動や、1-MCP徐放能を用いた包装箱の開発に関する研究は殆どなかった。Neohら<sup>1)</sup>は、1-MCPの $\beta$ -CDへの包接粉末を作製し、その粉末の1-MCP徐放特性及び昇温下での1-MCP徐放特性をガスクロマトグラフ(GC)と示差走査熱量計(DSC)を用いて検討した。また、1-MCP・ $\beta$ -CD包接複合体結晶粉末を包括したエレクトロスピンニングファイバーを作製し、このファイバーからの1-MCP徐放速度に及ぼす環境湿度の影響について検討した。Hermawanら<sup>2)</sup>は、シェラックをコーティング材料として使用して、コート紙上の1-MCP制御放出システムを1-MCP包接 $\beta$ -CD粉末を用いて作成し、そのコート紙からの1-MCP徐放挙動について検討した。しかし、1-MCP徐放性材料を用いてりんごの鮮度保持について検討した研究は全くないのが現状であった。

## 2. 研究の目的

りんご輸出する際の陸揚げ時の4℃から20℃に温度がステップ的に上昇したときに、りんごからエチレンが発生しりんごの熟成が進む。りんごを陸揚げする際の温度変化に対応して発生するエチレンにより、りんごの老化が進む。この陸揚げ時の温度変化に対応するエチレン発生を阻害するため、包装箱内の温度変化に対応する水蒸気濃度変化に対応して1-MCPを徐放して1-MCPをりんごに吸着させ、エチレン発生を阻害するりんごの鮮度保持包装箱の開発を企図した。1-MCP包接 $\beta$ -CD粉末塗布紙を用いたりんごの鮮度保持包装箱の開発のための基礎データの把握と1-MCP包接 $\beta$ -CD粉末塗布紙を用いたりんごの鮮度保持手法確立を目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 1-MCP包接 $\beta$ -CD粉末被覆紙の作製

被覆材料としてシェラック溶液を、シェラック粉末(日本シェラック工業株式会社、大阪)6gを99%エタノール50mLに溶解し作製した。15mLバイアル瓶にシェラック溶液0.5mL入れた後所定量の1-MCP包接 $\beta$ -CD粉末(IP)を入れ、超音波洗浄機ASU-2(アズワン株式会社、大阪)を用いて混合攪拌した。このスラリー混合物を、Vortex Genie 2で室温にて1分間攪拌し1-MCP包接 $\beta$ -CD粉末スラリーを作製した。このスラリー溶液を、100cm<sup>2</sup>の白い紙(コピー用紙)に被覆した。被覆に使用される紙は、90%を超えるセルロースを含んでいました。ローラーを使用して、1-MCPスラリーを紙にできるだけ均一分散させました。次に、1-MCP包接 $\beta$ -CD粉末被覆紙をドライヤーで3分間乾燥させて、エタノールを蒸発させた。1-MCP包接 $\beta$ -CD粉末被覆紙を、長方形幅2cm×長さ6cmの紙を8枚と2cmの四角形1枚に切断し、蓋に長方形の紙4枚と四角形1枚、底に長方形4枚を発泡スチロール箱に張り付けた。

### (2) りんごの貯蔵

青森から取り寄せたりんご(王林)を、IPを所定量被覆した紙を設置した発泡ポリスチレン箱(F30)に40個(上下20個ずつ)に入れ替えた。最初、発泡ポリスチレン箱を4℃の保存庫に

15日間保存した後、15日後に20-22 °Cの部屋に移動させ15日間保蔵した。所定日、1-MCP包接-CD粉末被覆紙に設置した蓋上部のセプタム設置箇所からシリンジを挿し込み空気を0.2 mL採取し、ガスクロマトグラフGC-2014を用いてエチレン濃度を測定した。ガスクロマトグラフの条件は、Hermawanら<sup>2)</sup>の報告した条件と同じとした。20 °Cで15日保存した発泡ポリスチレン箱は、農水省果樹研究所に送付して、りんごからのエチレン発生速度、硬度、酸度、糖度、傷果率を測定した。りんごの評価は、エチレン発生速度、硬度、酸度、糖度、傷果率は、Hermawanらの報告した方法と同じである。

#### 4. 研究成果

##### (1) 王林の1-MCP包接-CD粉末被覆紙(50mg、100mg)を用いた保蔵

発泡スチロール箱にりんごを保蔵する際、IP被覆紙(0、50、100mg)をいれた場合の箱内のエチレン濃度の変化を、図1に示す。1-MCP包接-CD粉末被覆紙がない場合、エチレン濃度は20 °Cに温度変化後急激に増加しはじめ、約5日で450ppmまで増加した。王林の4 °Cで15日、20 °Cで15日保存後、りんごの特質を測定した結果を、図2に示す。比較として、段ボールに貯蔵したりんごの特質も比較のために示す。エチレン発生速度は、段ボール箱の場合は粉末の量にかかわらず、エチレン発生速度が71-90 nL/gFW/hとほとんど同じであるに対して、発泡スチロール箱の場合はコントロールのときに136、50 mg IPのとき18、100mg IPのとき0 nL/gFW/hとエチレンが発生していなかった。それに応じて、りんごの硬度も発泡スチロール箱の場合硬さがコントロールで41 N、50mg IPで48 N、100mg IPで52 Nと非常に硬くなっていた。段ボールの場合は、コントロールで33 N、50 mg IPで44 N、100mg IPで43 Nと段ボール箱が1-

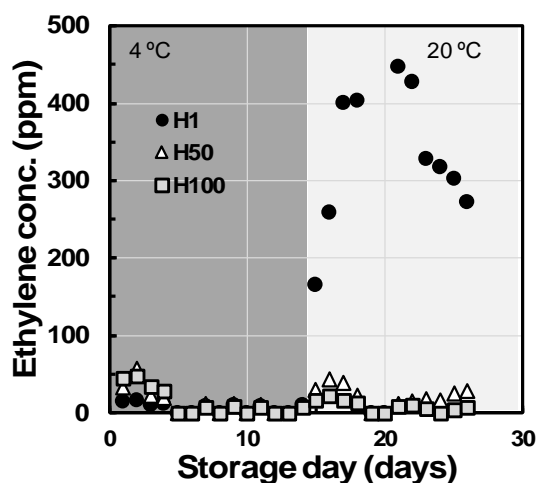


Fig. 1. Effect of 1-MCP-encapsulated CD powder-coated paper using 50 and 100 mg IP on ethylene formation in the polystyrene box. ●: Control, △: 50 mg IP, □: 100 mg IP

MCPを保持できないことでエチレン発生速度や硬度にほとんど影響がないことがわかる。発泡スチロール箱の場合は図3に示すように、1-MCPを箱内に保持できるためにエチレン発生速度や硬度に影響したと考えられる。酸度は、0mg、50mg IPのときあまり変化がなかったが、100mg IPのとき0.19と酸度が高くなっていた。りんごの傷果率は、コントロールが0.63と非常

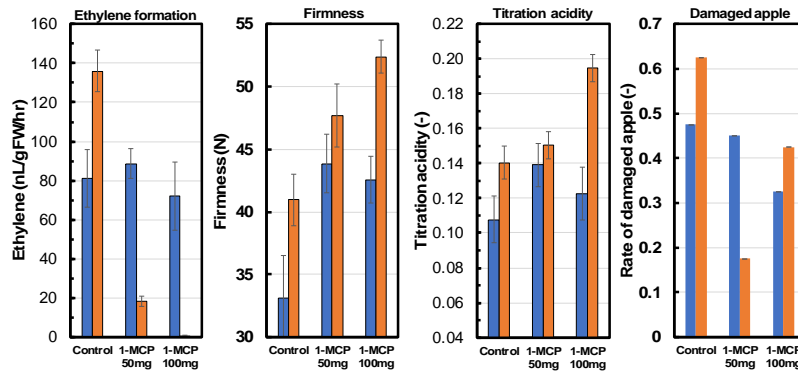


Fig. 2. Effect of 1-MCP-encapsulated CD powder-coated paper using 50 and 100 mg IP on the physical properties of apples (Orin) in the polystyrene box (orange bars) and the cardboard box (blue bars).

に大きい値であるのに、50mg IPのとき0.18と非常に小さくなったが、100mg IPのとき0.43とまた増加した。コントロールのときのりんごは内部が変色していたが、50mg IPのとき内部の変色はまったく見られなかった。この結果より、1-MCP量を少なくして、王林への影響について次の年度に実験した。

#### (2) 王林の1-MCP包接 -CD粉末被覆紙 (0、5、10、20、30mgIP) を用いた保蔵

図3に、IPが0-30mgの場合の被覆紙を用いた場合の発泡スチロール箱内のエチレン濃度変化挙動を示す。コントロールの場合、20 の変化させたのち5日後にエチレン濃度約400ppmまで増加した。その後20 の変化させたのち15日後に約150ppmまで減少した。30mgIPの場合は20 の変化させた後直線的にエチレン濃度が増加し0 の変化させたのち15日後にエチレン濃度が100ppmまで増加した。図4に、この少ない量のIPを用いた場合のりんごの特質を示す。エチレン発生速度は、30mgIPでも53 nL/g-FW/h から43 nL/g-FW/hとあまり変化がなかった。硬度は、IPが0から30mgIPと増加するにつれ40Nから45Nと増加した。酸度も同様にほとんどかわらなかった。段ボールに比較して、発泡スチロール箱のほうが硬さは維持できることが明らかである。また、30mgIPでりんごの褐変はほとんどないが、著しい鮮度保持効果がなかった。図4に、この少ない量のIPを用いた場合のりんごの特質を示す。エチレン発生速度は、30mgIPでも53 nL/g-FW/h から43 nL/g-FW/hとあまり変化がなかった。硬度は、IPが0から30mgIPと増加するにつれ40Nから45Nと増加した。酸度も同様にほとんどかわらなかった。段ボールに比較して、発泡スチロール箱のほうが硬さは維持できることが明らかである。また、30mgIPでりんごの褐変はほとんどないが、著しい鮮度保持効果がなかった。

本研究では、りんご(王林)の保蔵時の4 から約20 へのステップ温度変化時に発生するエチレンによるりんごの老化を、IPを被覆した紙を発泡スチロールに設置してステップ温度時に1-MCPを発生させることで阻害し、りんごの鮮度保持のための発泡スチロール箱の開発を目的とした。りんご(王林)の貯蔵は、段ボール箱に比較して発泡スチロール箱のほうが、りん

この硬度、酸度等が改善され、IP50mg添加の1-MCP包接 -CD粉末被覆紙設置発泡スチロール箱でリンゴの特質改善が見られた。

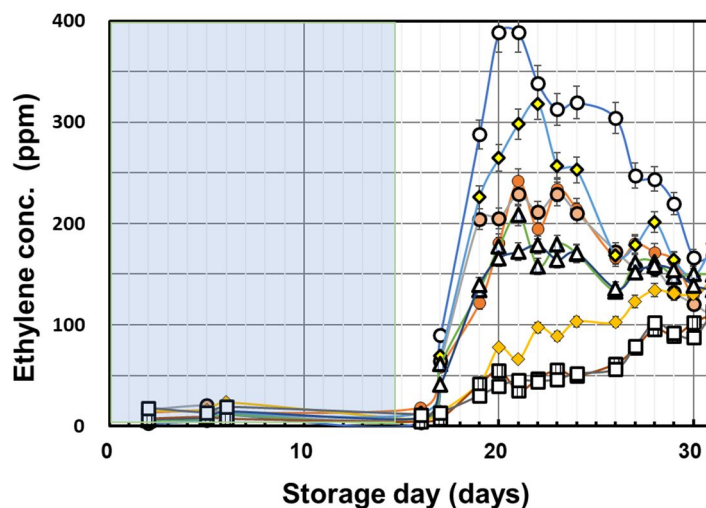


Fig.3 . Effect of 1-MCP-encapsulated CD powder-coated paper using 50 and 100 mg IP on ethylene formation in the polystyrene box. ●: Control, △: 50 mg IP, □: 100 mg IP

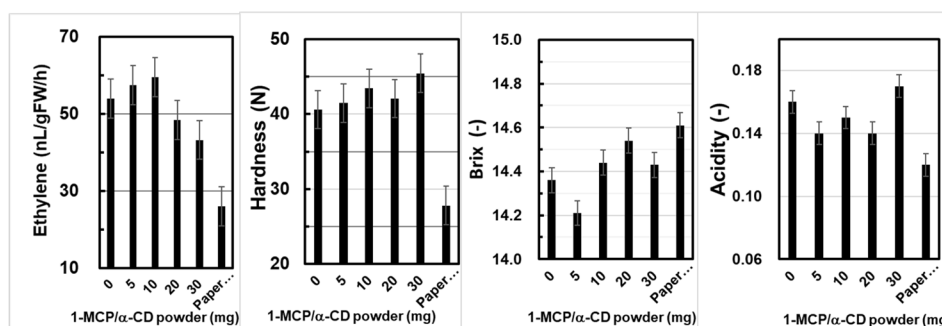


Fig. 4. Effect of 1-MCP-encapsulated CD powder-coated paper using 0-30 mg IP on the physical properties of apples (Orin) in the polystyrene box and cardboard box.

- 1) Tze Loon Neoh\*, Kousuke Yamauchi, Hidefumi Yoshii, and Takeshi Furuta. Kinetic Study of thermally stimulated dissociation of inclusion complex of 1-methylcyclopropene with  $\alpha$ -cyclodextrin by thermal analysis. *J. Phys. Chem. B.* 112, 49, 15914–15920 (2008) DOI: 10.1021/jp806233c.
- 2) Hermawan Dwi Ariyanto, Makoto Chiba, Keisuke Oguma, Miho Tatsuki, Hidefumi Yoshii. Release behavior of 1-methylcyclopropene coated paper-based shellac solution in response to stepwise humidity changes to develop novel functional packaging for fruit. *Packaging Technology and Science.* DOI: 10.1002/pts.2468

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 YOSHII Hidefumi	4. 巻 23
2. 論文標題 Technology Establishment for Formation of Functional Food Powder with Spray Drying and Molecular Inclusion.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japan Journal of Food Engineering	6. 最初と最後の頁 97～108
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11301/jsfe.22616	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 吉井 英文	4. 巻 97
2. 論文標題 噴霧乾燥機を用いた機能性食品粉末の作製	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 冷凍	6. 最初と最後の頁 461-464
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ariyanto Hermawan Dwi, Takashige Shisei, Adachi Shuji, Yoshii Hidefumi	4. 巻 27
2. 論文標題 Estimation of apparent glass transition temperature from the release of 1-methylcyclopropene included in $\alpha$ -cyclodextrin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Food Science and Technology Research	6. 最初と最後の頁 881～886
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3136/fstr.27.881	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Paramita Vita, Fitri Novia Sagitha, Dwi Ariyanto Hermawan, Pramudono Bambang, Yoshii Hidefumi, Kusumayanti Heny, Amalia Rizka	4. 巻 6
2. 論文標題 The influence of $\alpha$ -cyclodextrin on the stability and fatty acids of medium-chain triglycerides high oil load nanoemulsion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Today: Proceedings	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.matpr.2022.03.156	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 吉井英文
2. 発表標題 噴霧乾燥法および分子包接法による機能性食品粉末の創製技術の確立
3. 学会等名 日本食品工学会第23回(2022年度)大会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉井英文、立木美保、Hermawan Dwi Ariyanto
2. 発表標題 1-メチルシクロプロペ -シクロデキストリン粉末被覆紙を用いた りんごの鮮度保持梱包箱の開発
3. 学会等名 第38回シクロデキストリンシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshii Hidefumi
2. 発表標題 Development of a new functional packaging using 1-methylcyclopropene (1-MCP) in -cyclodextrin. (Keynote Lecture)
3. 学会等名 The 2nd International Conference on Chemical Engineering and Applied Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ariyanto Hermawan Dwi、Chiba Makoto、Oguma Keisuke、Tatsuki Miho、Yoshii Hidefumi
2. 発表標題 Effect of 1-methylcyclopropene included in - cyclodextrin on apple storage
3. 学会等名 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉井英文, Hermawan Dwi Ariyanto, 戸所健一, 鈴木基理人, 立木美保
2. 発表標題 1-メチルシクロプロペン徐放ポリスチレンボックスを用いたりんごの貯蔵について
3. 学会等名 日本食品科学工学会第68回大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Thi Van Anh Nguyen, Hidefumi Yoshii	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 20
3. 書名 Encapsulation of flavors in Functionality of Cyclodextrins in Encapsulation for Food Applications	

1. 著者名 Hermawan D. Ariyanto, Hidefumi Yoshii	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 14
3. 書名 Fruit Packaging with 1-Methylcyclopropene Included in Alpha-Cyclodextrin	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------



インドネシア	Diponegoro University			
--------	-----------------------	--	--	--