

令和 5 年 6 月 10 日現在

機関番号：83804

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K13815

研究課題名（和文）メロンにおける2種の機能性成分増加と保存性向上に関する処理・貯蔵技術の研究

研究課題名（英文）Treatment and storage technology for increasing two functional components and improving storability of muskmelon

研究代表者

豊泉 友康 (Toyoizumi, Tomoyasu)

静岡県農林技術研究所・新商品開発科・上席研究員

研究者番号：60598960

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、メロンにおける2種の機能性成分を同時に高める処理技術と、機能性成分増加と保存性向上を両立する処理・貯蔵技術の確立を目指したものである。研究の結果、MA包装下での20・24時間処理が、果肉中のGABA・Cit合成酵素を活性化させ、2種機能成分を同時に増加させることを明らかにした。加えて、この処理は、一部のエステル類の香気分量を増加させ風味を高めることも見出した。また、MA包装下での5 処理は、果実の呼吸代謝を抑制し保存性を高めること、更に低温によりGABA合成酵素を活性化させGABA含量を増加させることも明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超高齢社会の現代において、高血圧症に代表される生活習慣病を予防する目的で、少量の喫食で十分な機能性成分を摂取できる素材開発が注目されている。この背景の下、本研究は、メロンのMA包装下での20・24時間処理が、低酸素・乾燥等により果肉中のGABA・Cit合成酵素を活性化させ、2種機能成分を同時に増加させることを見出した。また、MA包装下での5 処理は、低酸素等により果実の呼吸代謝を抑制し保存性を高めること、更にGABA合成酵素を活性化させGABA含量を増加させることも見出した。従って、以上の条件をメロンの加工・流通時に活用することで、少量の摂取でも高血圧症予防効果が高い素材開発ができる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to establish a processing technology that simultaneously enhances two types of functional components in Earl's melons, and a processing and storage technology that achieves an increase in functional components and an improvement in preservability. The 20/24 h treatment activated the γ -aminobutyric acid (GABA)/citrulline (Cit) synthase in the fleshed pulp through environmental stress, increasing the two functional components simultaneously. The treatment increases the aroma, through the upregulation of some esters and enhances flavor. In addition, the 5 long-term storage treatment in MA packaging suppressed the respiration metabolism in fruits and improved the storage stability by lowering the oxygen and increasing the carbon dioxide levels in the treatment environment. Cold stress activated GABA synthase in the pulp and increased GABA content.

研究分野：食生活学

キーワード：メロン 低酸素・高二酸化炭素 -アミノ酪酸（GABA） グルタミン酸脱炭酸酵素（GAD） シトルリン（Cit） 官能検査 香気成分 MA (Modified Atmosphere)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省の調査によると、日本人の疾病の総患者数で最も多いのは高血圧性疾患で、その患者数は 993 万人にも達しており、他の生活習慣病の中でも、圧倒的に患者数が多い(2017 年)。この予防に関し、塩分摂取量の削減や食物繊維の積極的な摂取に加え¹⁾、最近では血圧上昇を抑える機能が低い食品の利用も注目されている。

申請者は食物繊維の摂取源として重要な青果物中で、アールスメロンに、ノルアドレナリン分泌に作用し血圧上昇を抑える γ -アミノ酪酸 (GABA) と一酸化窒素産生を促し血圧降下を示すシトルリン (Cit) が、農産物全般と比べ、それぞれ 5~100 倍 (140 mg/100 g)²⁾ と 2~28 倍 (110 mg、スイカ除外) と高含有されることを見出した。この成果から、臨床での高血圧予防に有効な GABA と Cit 含量 (12.3 と 201 mg/日) を、それぞれメロン 1/64 と 1/4 切れ (果肉 10 と 180 g 相当) から摂取でき、少量で予防効果が得られることも確認できた。

穀物や青果物は収穫後も代謝機能を保持しているため、機能性成分に関わる酵素を食品加工で誘導することで、その含量を数倍高めることができる。例えば玄米や大豆の GABA は、低酸素下に置くことで急速に細胞内へ Ca^{2+} が流入し、グルタミン酸脱炭酸酵素 (GAD) が活性化され、蓄積量が 5 倍高まる (24 時間処理)。一方、食用ではないが、スイカ葉の Cit では、25℃ の加温でオルニチンアミノ基転移酵素 (OCT) が活性化され、蓄積量が 50 倍高まる。メロンは、これらの基質であるグルタミン酸 (Glu) やアルギニン (Arg) を高含有する。そのため、加工により 2 種の機能性成分の同時誘導ができれば、更に高蓄積すると考えられるが、その研究報告はない。

このような背景の下、申請者は、予備的にメロンを 28℃ で 24 時間処理することで、GABA と Cit 含量を 1.4 倍以上高められ、この温度において同時誘導できることを確認した。従って、上述の低酸素と高温処理を併せて検証することで、メロンの高血圧予防効果を更に高める最適条件を解明できる (課題)。そこで本研究は、2 種の機能性成分と、関連基質であるアミノ酸・糖・核酸と酵素活性との関係性を評価し、代謝物含量の増加とその機序を明らかにすると共に、メロンの健康増進効果を高める、喫食前の処理技術の確立を目指す。

一方、低酸素・高温処理したメロンは、処理によるストレスで、果肉からのエチレン生成量が増加する。そして、これがエチレンレセプター (ER) と結合し追熟が促進され、甘さと苦みに関与するエタノール由来のエステルとテルペン類のククルピタシン B を増加させ、風味を変化させる。更にエチレンはポリガラクトロナーゼの細胞壁分解酵素を活性化させ、果肉の軟化を誘発する。これら果実品質の変化はメロンの商品性にとって極めて重要であり、課題 の最適化の際に考慮が必要である。そのため、処理条件と、風味および硬さとの関係性を評価し、課題 の結果と併せ、短時間でかつ 2 種の機能性成分含量を増加する最適条件を解明する (課題)。これにより、品質を保持しつつ極少量の喫食で高血圧予防効果を示す加工条件を食品企業に提案でき、新素材開発に繋がる。

課題 により機能強化したメロンの常温での保存性が、無処理と同等であれば、通常の流通ラインでの利用が容易となる。ただ、高温処理一般はエチレン生産を誘導し、風味と硬さの観点から、無処理 (9 日) よりも保存性が短縮する。この改善策として、果実のエチレン産生が高まる前に、ER に結合するエチレン作用阻害剤³⁾ : 1-MCP、および低酸素・高二氧化碳素により代謝を抑え保存性を高める MA 包装の利用が有効になり得る。従って、これら保存技術を常温貯蔵前に活用することで、9 日以上保存も実現できると考えた。ただし、メロンでの MA 包装単独と 1-MCP との併用の効果は不明のため、この解明と共に、機能性を高めたメロンへの応用性を検証する (課題)。

2. 研究の目的

本研究は、上述の3つの課題を解決し、メロンにおける2種の機能性成分を同時に高める処理技術と、機能性成分増加と保存性向上を両立する処理および貯蔵技術を確認し、新素材開発、消費者の健康増進へと展開するため、以下を目的とした。

実験1：低酸素下での処理温度の違いが2種の機能性成分含量へ与える影響の解明

実験2：低酸素下での処理温度の違いが風味と硬さへ与える影響の解明と処理条件の最適化

実験3：機能性成分増加と保存性向上を両立する処理と貯蔵技術の確認

3. 研究の方法

実験1では、アールスメロンを低酸素・高二氧化碳条件下にできる青果物用フィルム(MA)で包装後に、10から35℃で24および48時間処理し、果肉中のGABA・Cit・タンパクを構成する16種のアミノ酸含量、3種の糖(グルコース・フルクトース・スクロース)含量およびグルタミン酸脱炭酸酵素(GAD)活性をHPLC法等で測定した。また、処理後の包装内の3種ガス(エチレン・酸素・二氧化碳)環境濃度は、ガスセンサーを用いて測定した。なお、比較のため、処理前区および大気環境下で同様に処理した区も設定した。

実験2では、実験1で得た条件を参考に、果実をMAで包装後に10から30℃で24時間処理し、果肉の風味、甘さおよび硬さ等を官能検査で評価した。更に、風味・甘さに関連する3種の糖・16種のアミノ酸・香気成分を、HPLC・GC法で測定した。

実験3では、MA包装による貯蔵効果を解明するため、果実をMAで包装後に5℃で10から30日間処理し、果肉の風味およびGABA・Cit・風味に関連する16種アミノ酸の含量、果皮・果肉の色等を、官能検査やHPLC法等で評価した。また、処理後の包装内の3種のガス環境濃度は、実験1と同様の手法で測定した。

MA包装・未包装下での各処理区のアミノ酸含量、糖含量、GAD活性、色やガス濃度等の平均値は、統計解析ソフト(エクセル)を用いて、有意水準5%でDunnettまたはSteel検定(両側)により多重比較した(vs未処理区)。また、上記指標について、MA包装下での各処理区の平均値は、有意水準5%でStudent's t検定(両側)により比較した(vs未包装区)。更に、各指標間の関連性は、主成分分析により評価した。

4. 研究成果

(1) 実験1

MA包装下で10から35℃で24時間処理したメロンのGABA含量は、処理温度の上昇に伴い増加し、20、30および35℃区では処理前区と比較して有意に増加した。更に、MA包装下での20および30℃処理した区のGABA含量は、未包装区と比較して、それぞれ有意に増加した(図1、一部省略)。また、48時間処理区のGABA含量は、24時間処理区より高値を示したが、有意な増加はなかった。更に、GABA合成に関わるGADの酵素活性は、GABA含量の変動と似た傾向を示した。一方、Cit含量は、MA包装下で20・24時間処理した区のみ、処理前区と比較して有意に増加した(図2、一部省略)。また、これら指標に加え、重量変化やガス濃度等の結果を含めた多変量

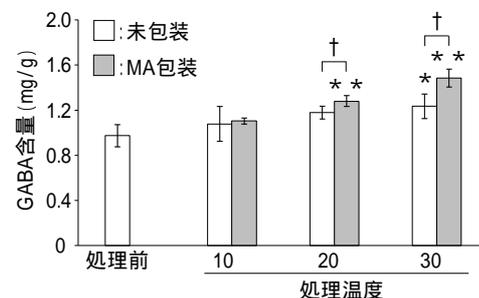


図1 メロンにおけるMA包装の有無・処理温度の違いがGABA含量に及ぼす影響(24時間処理)

*または**：処理前区と比較して、5または1%水準で有意な差が認められた(Dunnett検定、両側)。†：未包装区と比較して、5%水準で有意な差が認められた(Student's t検定、両側)。

との関係性を評価したところ、GABA 含量の増加には、低酸素・高二酸化炭素および加温によるストレス影響に加えて、GAD を介した合成誘導が寄与することを確認できた。一方、Cit 含量の増加には、加温による乾燥ストレスの影響および Arg からの合成誘導の寄与が考えられた。

以上から、メロンの MA 包装下での 20 から 35 処理条件は、低酸素・高二酸化炭素および乾燥ストレスにより、果肉中の GABA・Cit 合成酵素を活性化させ、2 種機能成分を同時に増加させることが明らかとなった。

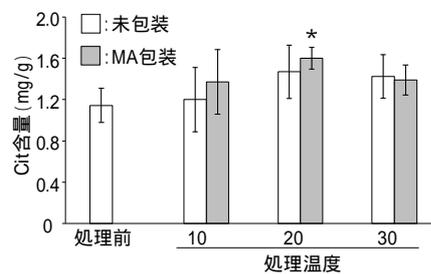


図2 メロンにおける MA 包装の有無・処理温度の違いが Cit 含量に及ぼす影響(24 時間処理)

*: 処理前区と比較して、5%水準で有意な差が認められた(Dunnett 検定、両側)。

(2) 実験 2

MA 包装・未包装下で処理したメロン果肉の風味・甘さは、未処理区(5)より有意に高まった。この内、10 下の MA 包装区のみは、未包装区より風味・甘さが有意に高まった(図3)。

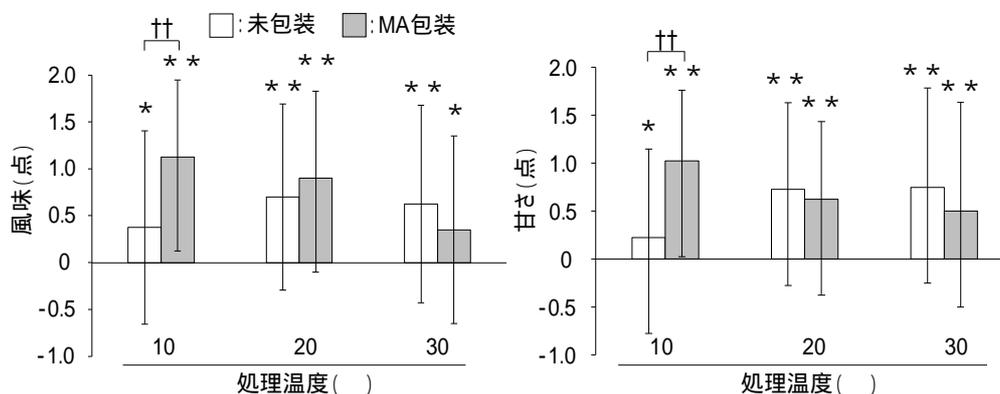


図3 メロンにおける MA 包装の有無・処理温度の違いが官能に及ぼす影響

風味は、-2点:悪い、-1点:やや悪い、0点:同等、1点:やや良い、2点:良い、の基準で、未処理区と比較評価した。甘さは、-2点:弱い、-1点:やや弱い、0点:同等、1点:やや強い、2点:強い、の基準で、未処理区と比較評価した。

*または** :未処理区と比較して、5または1%水準で有意な差が認められた(Mann-Whitney U 検定、両側)。††:未包装区と比較して、1%水準で有意な差が認められた(Mann-Whitney U 検定、両側)。

また、MA 包装・未包装区では、果肉の甘さに関わる 3 種の糖の変化はなかったが、甘味系アミノ酸であるアラニン・グリシンや果実様の香調を有す酢酸エチル等の含量が有意に増加した。更に、MA 包装区のみは、別の果実様の香調を有すプロピオン酸エステル・酢酸イソブチル等のエステル類が特異的に増加した。一方、硬さは、MA 包装・未包装のいずれの処理条件においても低下した。

以上から MA 包装下での 20 処理は、メロンの 2 種機能性成分含量の増加に加えて、甘味系アミノ酸・果実様の香気成分含量も増加させ風味も高めることから、有用な加工条件と判断した。

(3) 実験 3

MA 包装下での 5 処理は、未包装区と比較して、メロンの追熟に伴う果皮の黄化 (b^* 値)・風味の変化を抑えた。また、果肉中の GABA 含量は、いずれの処理日数においても未処理区(0 日目)より有意に増加したが、MA 包装の有無および処理日数の違いによる差はなかった(図4、一部省略)。MA 包装内のガス環境は、処理日数の違いによる差はなかったが、いずれも低酸素・

高二酸化炭素状態であった。これら指標に加え、重量変化やアミノ酸含量等の結果を含めた多変量との関係性を評価したところ、低酸素・高二酸化炭素および低温によるストレスが果実の呼吸代謝を抑制し、色や風味の変化を30日間抑えること、一方でGADの合成誘導によりGABA増加が寄与することが確認できた。

以上から、MA包装および5℃低温との併用処理は、メロンの品質を30日間維持させることに加え、GABA含量の増加面においても有用な加工条件であった。

(4) 総括

本研究により、メロンのMA包装下での20・24時間処理が、低酸素・高二酸化炭素および乾燥ストレスにより、果肉中のGABA・Cit合成酵素を活性化させ、2種機能成分を同時に増加させることを明らかにした。加えて、この処理は、果肉の甘さに関連する3種の糖には影響しなかったが、一部の果実様の香調を有すエステル類の含量を特異的に増加させ風味を高めることも見出した。また、MA包装下での5℃処理は、処理環境を低酸素・高二酸化炭素下にすることで果実の呼吸代謝を抑制し保存性を高めること(30日貯蔵可)更に低温ストレスによりGABA合成酵素を活性化させGABA含量を増加させることも明らかにした。従って、以上の条件をメロンの喫食前や流通前に活用できれば、高血圧症予防効果を更に高めることに加え、風味または保存性の向上が期待できる。

引用文献

- 1) Borgi *et al.*, Fruit and vegetable consumption and the incidence of hypertension in three prospective cohort studies. *Hypertension*, 67, 288-293 (2016).
- 2) Toyoizumi *et al.*, Differential GABA concentration gradients are present in the edible parts of greenhouse melon (*Cucumis melo* L.) during all four seasonal croppings. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 83, 330-338 (2019).
- 3) 児島ら, メロン「市場小路」における1-MCP処理による日持ち性と果実特性の変化. *新大農研報*, 2019.

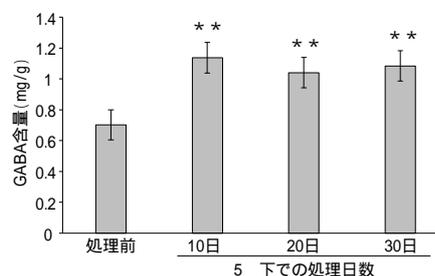


図4 MA包装したメロンの5℃下の処理日数の違いがGABA含量に及ぼす影響

** : 処理前区と比較して、5%水準で有意な差が認められた (Dunnett 検定, 両側)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ikegaya Atsushi, Yamazaki Shigehiro, Yamaga Ittetsu, Kosugi Toru, Toyoizumi Tomoyasu, Nagafuji Akihiko, Saika Takehiro, Arai Eiko	4. 巻 46
2. 論文標題 Controlled atmosphere maintains the quality of certain fresh produce in mixed cargo shipments	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Food Process Engineering	6. 最初と最後の頁 1~14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jfpe.14297	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 Toyoizumi Tomoyasu, Ikegaya Atsushi, Kosugi Toru	4. 巻 -
2. 論文標題 Surface disinfection influences the antioxidant capacity and GABA content of saline treated brown rice (<i>Oryza sativa</i> L.)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cereal Chemistry	6. 最初と最後の頁 1~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cche.10544	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 Kosugi Toru, Toyoizumi Tomoyasu, Ohba Seiji, Hamabe Naoya, Kamiya Michiaki, Nakajima Teruko	4. 巻 69
2. 論文標題 Evaluation of DPPH activity, H-ORAC, antioxidant capacity and total polyphenol content in agricultural products of Shizuoka Prefecture	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi	6. 最初と最後の頁 163~174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3136/nskkk.69.163	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 Ikegaya Atsushi, Ohba Seiji, Toyoizumi Tomoyasu, Arai Eiko	4. 巻 21
2. 論文標題 Quality Evaluation of Strawberries Grown in Various Regions by Singaporeans and Japanese	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Fruit Science	6. 最初と最後の頁 883~895
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15538362.2021.1939832	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 Ikegaya Atsushi, Kosugi Toru, Toyoizumi Tomoyasu, Nagafuji Akihiko, Yamazaki Shigehiro, Arai Eiko	4. 巻 34
2. 論文標題 Ingenuity in packaging maintains the quality of fresh fruits and vegetables in mixed cargo exported by sea	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Packaging Technology and Science	6. 最初と最後の頁 693 ~ 708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pts.2604	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 Toyoizumi, T., Kosugi, T., Toyama, Y., and Nakajima, T	4. 巻 19
2. 論文標題 Effects of high-temperature cooking on the gamma-aminobutyric acid content and antioxidant capacity of germinated brown rice (<i>Oryza sativa</i> L.)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CYTA - Journal of Food	6. 最初と最後の頁 360-369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/19476337.2021.1905721	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 Ikegaya, A., Ohba, S., Nakajima, T., Toyoizumi, T., Ito, S., and Arai, E.	4. 巻 8
2. 論文標題 Practical long term storage of strawberries in refrigerated containers at ice temperature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Food Science & Nutrition	6. 最初と最後の頁 5138-5148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/fsn3.1817	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 Ikegaya, A., Toyoizumi, T., Kosugi, T., and Arai, E	4. 巻 23
2. 論文標題 Taste and palatability of strawberry jam as affected by organic acid content	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Food Properties	6. 最初と最後の頁 2087-2096
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10942912.2020.1843484	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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 豊泉友康、小杉徹、宗野有雅
2. 発表標題 温室メロンにおける鮮度保持用フィルムによる貯蔵処理が2種の機能性成分の増加に及ぼす影響
3. 学会等名 (公社)日本食品科学工学会 令和4年度 関東支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小杉徹、豊泉友康、池ヶ谷篤
2. 発表標題 在来種を含むジャガイモの -アミノ酪酸 (GABA)、還元糖、およびグルタミン酸脱炭酸酵素 (GAD) 活性の解明
3. 学会等名 (公社)日本食品科学工学会 令和4年度 関東支部大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

メロンの機能性を高める貯蔵条件の解明 https://www.agri-exp.pref.shizuoka.jp/photo00359.html メロンの2種の機能性成分を同時に高める加工条件 https://www.agri-exp.pref.shizuoka.jp/photo00331.html 農林水産物データベース http://www.fsc-shizuoka.com/dMNUNYyzb5/agriculture_detail.php

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
---------	---------