

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 4 月 25 日現在

機関番号：27103

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05912

研究課題名（和文）抗酸化物の相乗効果を活用した食品香りプロファイルの制御とその多面的評価

研究課題名（英文）Control of Food Aroma Profiles Using Antioxidant Synergies and Their Multifaceted Aroma analysis

研究代表者

石川 洋哉（Ishikawa, Hiroya）

福岡女子大学・国際文理学部・教授

研究者番号：00325490

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）：本研究では、食品の「香り」の劣化の主要因であるラジカル酸化反応を対象として、抗酸化物の併用による食品香り（今回は特にハーブ由来の香り）の劣化抑制を試みた。具体的には、ハーブ（レモングラス、ローズマリー）の香り特性を超高速GC及びにおい嗅ぎGCMS、PTR-TOF/MSにより確認し、各ハーブの「おいしさ」に寄与する香り成分を同定した。続いて、ロスマリン酸、ケルセチンなどの抗酸化物単独の香り劣化抑制効果を確認した。さらに、高い劣化抑制効果を示したロスマリン酸を中心に、各種抗酸化物との併用効果を明らかにし、相乗効果を示す組み合わせを明示した。本成果は高品質食品の創製に大きく寄与するものと考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

食品のラジカル反応による香りの劣化は、食品品質に重大なダメージを与える。これまで、酸化防止剤（抗酸化成分）による食品の品質保持は経験的に行われてきた。本研究において、抗酸化物の活用、特に抗酸化物間で生じる相乗効果を活用した食品の香り保持が極めて有効であることが示されたことから、科学的な知見に基づく効率的な食品の品質保持が可能になると期待され、今後の食品産業の発展に大きく貢献するものと考えられる。一方、本研究において、香りの劣化抑制に対する抗酸化成分の相乗・相殺効果の発現が明らかとなった。本成果により、機能性成分の相乗効果を活用した食品創製への展開も期待大であり、社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：In this study, targeting the aroma degradation by radical oxidation during food processing and storage, we attempted to inhibit the degradation of food aroma (herb-derived aroma) by using antioxidants in combination, and confirmed the behavior of aroma profile changes when antioxidants are used in combination. The combination effect was analyzed by Median effect analysis. The characteristics of the important aroma of the herbs (lemongrass and rosemary) were confirmed by ultrahigh-speed GC and sniffing GCMS, as well as PTR-TOF/MS. The degradation behavior of each aroma component under radical reaction was then clarified, and the inhibitory effects of antioxidants alone, such as rosmarinic acid and quercetin, were demonstrated. The combined effects of various antioxidants, with rosmarinic acid, which showed a high degradation inhibitory effect, and identified combinations that showed synergistic effects. This result would greatly contribute to the effective use of antioxidants.

研究分野：食品科学

キーワード：抗酸化物 相乗効果 香り劣化抑制

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

「香り」は、食品の「おいしさ」において第一義的に極めて重要な意味を持つ。食品の「香り」制御は極めて難しい。「香り」は多種・多様な成分により構成されるだけでなく、人が認知する閾値も異なり、濃度により「質」も変化する。食品の「香りの劣化」は、食品加工、貯蔵、調理等様々な場面で大きな問題となり、その対策が急務となっている。とくに、香りのラジカル酸化反応は、香り劣化の主要な要因であり、その抑制が極めて重要となる。品質劣化の原因となる香気プロファイルの変化を科学的根拠に基づいて制御することは、食品科学・工学的に極めて重要な意味をもつ。

食品の香気プロファイルを明らかにするためには、最新の分析技術の適用が不可欠である。近年、におい分析技術の発展は目覚ましく、これまで対応困難であった食品香気成分の動的プロファイルの全容解明の可能性が見えてきた。新たに開発された超高速 GC（フラッシュ GC ノーズ）は、測定時間が極めて短いため（従来の GC 分析の約 1/30）多検体測定が可能、データ解析により、食品の劣化要因となる香り成分の特定とその挙動解析が可能と考えられる。におい嗅ぎ GC-MS では、特定したにおい成分の「質・強度」を評価、PTR-TOF ではヒトの呼気中のターゲット香気成分の挙動を把握することが可能である。上記一連の分析を組み合わせた多面的かつ総合的な香りデータの解析により、これまで得られなかった詳細な食品の香気プロファイルを取得することが可能と考えられる。一連の香り分析は、真に「おいしい」食品を創造する上で極めて有用である。

さらに、本研究では、抗酸化成分の相互作用に起因する相乗効果に着目している。抗酸化成分の相乗効果に関しては過去に報告例が存在するが、相乗効果を「香り制御に応用」する点は極めて独創的である。さらに、相乗効果の算出方法、算出根拠を明確に論じた研究例は他には見当たらない。香りデータに基づく相乗効果解析も他に例がなく、新規性が極めて高い。さらに、機能性成分の相乗効果を活用した食品の開発への応用も可能であり、新たな機能性食品の創製への展開も期待大である。

以上、本研究は学術的な新規性が高く、且つ高品質・高機能な食品を安定して消費者に供給可能である点で実用性も極めて高く、次世代の食品開発へ多大な貢献が期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、抗酸化物の相乗効果を活用して食品の香り劣化を制御し、真に「おいしい」食品の創造を目指す。具体的には、ラジカル酸化反応に起因する食品香気プロファイルの劣化挙動を最新の香り分析装置（超高速 GC、におい嗅ぎ GC-MS）により多面的な香り分析により香気プロファイル変化挙動を確認するとともに、実食品への展開を想定し、食品香気のリアルタイムな香りの動的挙動を PTR-TOF などの最新の研究機器により明らかにすることを試みる。さらに抗酸化物を併用して食品香気の劣化抑制を試み、得られた情報を Median effect analysis（併用効果解析、独自適用）により解析し、香り劣化を相乗的に抑制する効率的な抗酸化物の組み合わせを見出し、抗酸化物の相乗効果を活用した香り制御技術の確立を試みた。

3. 研究の方法

(1) 対象化合物

ハーブは、レモングラス (*Cymbopogon citratus*)、ローズマリー (*Rosmarinus officinalis*) の乾燥葉を用いた。抗酸化物として、ケンフェロール、ミリセチン、ケルセチン、フェルラ酸、クロロゲン酸、カフェ酸、没食子酸、ロスマリン酸を用いた。

(2) 固相マイクロ抽出 (SPME) 法

試料中の揮発性成分を、SPME ファイバー (50/30 μm DVB/CAR/PDMS SPME Fiber, supelco 社製) にて、37°C で 30 分間吸着させ、におい嗅ぎ GC-MS および超高速 GC に供した。

(3) おい嗅ぎ GC-MS

マススペクトルは NIST データベースにより解析し、各成分の RI (Retention Index) 値の算出には、GC-MS 解析システムに導入された Aroma Office ソフト (Ver.3.0、西川計測 (株) 製) により行った。各化合物の同定はこのマススペクトルのフラグメントパターンと Aroma Office データベースにおける RI 値の一致性により行った。GC-MS による香気成分分析と同時にスニッフィングポートからにおい嗅ぎを行った。におい嗅ぎ評価は 5 段階 (0-4) で実施した。

- ・カラム：DB-5MS (Agilent 社製) (30 m \times 0.25 mm、膜厚 0.25 μm)
- ・カラム温度：40°C (10min) \rightarrow 150°C (3°C/min) \rightarrow 230°C (10min)
- ・イオン源温度：230°C
- ・イオン化電圧：70 eV

(4) PTR-TOF/MS

レトロネーザルアロマ香気成分計測は、コンパクト高感度プロトン移動反応 TOF 質量分析計 (PTR-TOF/MS 1000ultra, Ionicon Analytik Gesellschaft M.b.H 社製) を用いた。呼気中の acetone- ^{13}C (m/z 60) を内部標準とし、ハーブティー嚥下後の口腔内、鼻腔内に広がる香気成分を計測した。被験者は、ブランクとして、市販のミネラルウォーター 40mL を嚥下後、直ちに PTR-TOF/MS

のマウスピースあるいはノーズピースを当てて、通常呼吸（メトロノームに従い、吸い込み 2 秒、吐き 2 秒の 4 秒間隔）を 10 回行った。つづいて、60°C に加温したハーブティー 40 mL を嚥下後、直ちに PTR-TOF/MS のマウスピースあるいはノーズピースを当てて、同様に通常呼吸を 10 回行い、呼気中の香気成分を計測した。

(5) 電子嗅覚ノーズ 超高速 GC Heracels II

各成分の RI (Retention Index) 値の算出、化合物の同定は、GC に導入された Alpha Soft (Alpha M.O.S.社製) により行った。

・カラム

①MXT-5 (10 m×0.18 mm、膜厚 0.40 μm)、RESTEK 社製

②MXT-WAX (10 m×0.18 mm、膜厚 0.40 μm)、RESTEK 社製

・カラム温度：40°C (10s) →1.5°C/s→250°C (60s)

(6) Median effect analysis

本法は、以下の式 (Median effect equation) に基づく解析方法である。

$$\log(f_a/f_u) = m \log(D/D_m)$$

ここで、 f_a は阻害割合、 f_u は非阻害割合、 D は dose (濃度)、 D_m は Median effect (本実験では IC_{50}) を生じる濃度、 m は Hill 型の係数を示す。 $\log(D/D_m)$ (あるいは $\log D$) を横軸に、 $\log(f_a/f_u)$ を縦軸にプロット (Median effect plot) することにより、傾き m を求めることが出来る。抗酸化物単独及び併用時の Median effect plot から得られる m 値を基に、CI (Combination Index) 値を算出し併用効果を判定する ($CI < 1$ 相乗、 $CI = 1$ 相加、 $CI > 1$ 相殺)。なお、本解析には、Hulinks 社 CalcuSyn (ver. 2.0.) を用いた。

4. 研究成果

(1) GC-MS による同定

におい嗅ぎ GC-MS 分析により、レモングラスティーおよび、ローズマリーティー中の主要香気成分の同定を行った。レモングラスティーの測定結果を Fig. 1 に示した。

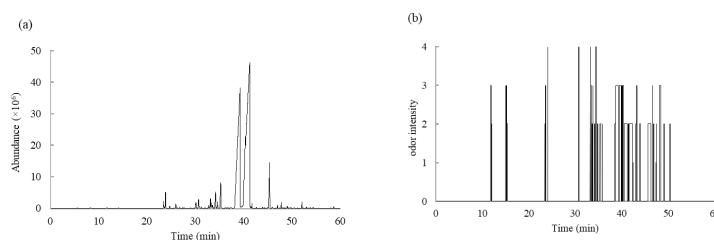


Fig. 1. The GC-MS-O analysis of lemongrass tea: a) total ion chromatogram, b) aroma gram.

全 122 ピークが検出され、そのうち 8 成分が匂い強度が強く、主要成分として同定された (Table 1)。

Table 1. The flavor components of lemongrass tea by GC-MS-O

No.	RT	RI	Area	Area (%)	Name	CAS No.	MW	Flavor note	Odor intensity
1	23.9	987	287190270	0.7	β-Myrcene	123-35-3	137.1252	grass, lemon	4
2	26.3	1020	17843153	0.0	D-Limonene	5989-27-5	137.1252	citrus	0
3	30.8	1094	251777506	0.6	Linalool	78-70-6	155.1358	sweet, floral	4
4	33.6	1144	61688110	0.2	Citronellal	106-23-0	155.1358	sweet, floral	2
5	39.4	1253	13592179651	33.4	Neral	106-26-3	153.1201	citrus, orange	3
6	41.4	1293	17768365751	43.6	Geranial	141-27-5	153.1201	citrus, orange	2
7	45.5	1378	1278316879	3.1	Geranyl acetate	105-87-3	197.1463	orange	2
8	47.4	1423	8555930	0.0	β-Caryophyllene	87-44-5	205.1878	fruity, spicy	1

ローズマリーティーについても、同様のにおい嗅ぎ GC-MS 測定を行った結果、1,8-Cineole をはじめとした 9 成分が主要成分として同定された (Table 2)。

Table 2. The flavor components of rosemary tea by GC-MS-O

No.	RT	PkRI	Area	Area (%)	Name	MW	CAS No.	Flavor note	Odor intensity
1	19.9	930	165254376	1.3	(R)-α-Pinene	137.1252	7785-70-8	sweet, spicy	2
2	23.9	987	63797652	0.5	β-Myrcene	137.1252	123-35-3	grass, lemon	2
3	26.8	1033	2534237185	19.7	1,8-Cineole	155.1358	470-82-6	sweet, spicy	3
4	28.1	1056	36154338	0.3	γ-Terpinene	137.1252	99-85-4	-	0
5	29.8	1083	37503735	0.3	Terpinolene	137.1252	586-62-9	-	0
6	33.4	1146	395050320	3.1	d-Camphor	153.1201	464-49-3	grass	2
7	34.9	1173	514914663	4.0	Borneol	155.1358	507-70-0	grass	2
8	40.9	1287	1914951915	14.9	Bornyl acetate	197.1463	76-49-3	-	2
9	47.2	1424	19120948	0.1	β-Caryophyllene	205.1878	87-44-5	-	0

(2) PTR-TOF/MS 分析による重要成分の確認

同定された成分をターゲット化合物として、PTR-TOF/MS 分析を行った。レモングラスティーの測定の結果、Fig. 2 に示すように口腔からのレトロネーザルアロマ(a)、鼻腔からのレトロネーザルアロマ(b)がそれぞれ検出され、口腔内からのレトロネーザルアロマで検出量が多い結果となった。ピークの前半はブランクのミネラルウォーターを示しており、後半はハーブティー中化合物を示している。

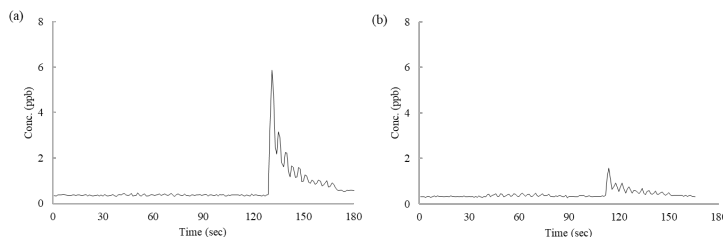


Fig. 2. The PTR-TOF-MS analysis of m/z 153.1201 (Neral, Geranial) of lemongrass tea: a) mouth, b) nose.

ピークトップより、濃度 (ppb) を算出したところ、呼吸数に伴って化合物の減少挙動が確認できた (Fig. 3)。レモングラスティーでは、GC-MS 分析より重要香気成分であると確認された Neral, Geranial がレトロネーザルアロマでも多く存在することが確認された。両成分はレモン様香気を呈することから、レモングラスティーの「おいしさ」に大きく寄与しているものと推察された。続いて m/z 137.1252 の β -Myrcene および Limonene が多く検出されており、これら成分のシトラス様香気も「おいしさ」に大きく寄与していることが示唆された。 m/z 155.1358 の Linalool および Citronellal と、 m/z 197.1463 の Geranyl acetate は検出量が少なかったが、におい嗅ぎ GC-MS ではにおい強度が 2-4 と比較的強く確認できており (Table 2)、官能評価においてもフローラル様香気を確認できていることから、Linalool および Citronellal の甘いフローラルな香気と、Geranyl acetate のオレンジ様香気は、口中での存在量は少ないにも関わらず、わずかな量でレモングラスティーの「おいしさ」に寄与し、深みを与えているものと推察された。

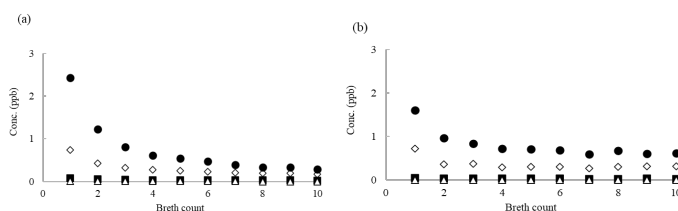


Fig. 3. The peak top of flavor components of lemongrass tea: a) mouth, b) nose. Symbols: ◇; m/z 137.1252 (β -Myrcene, Limonene), ●; m/z 153.1201 (Neral, Geranial), ■; m/z 155.1358 (Linalool, Citronellal), △; m/z 197.1463 (Geranyl acetate).

さらに、各成分の残存性を確認した結果、口腔内よりも鼻腔内において Linalool および Citronellal が特に残存性が高く、Neral, Geranial でもおよそ 40%残存することが確認された。鼻腔内での残存性が高い香気成分が存在することが示唆されたことから、レモングラスティー嚥下後の香りの残存感 (余韻) に強く影響していると考えられた (データは省略)。

ローズマリーティーでも同様に試験を行った結果、レモングラスティー同様に各成分のピークトップの減少が確認された。しかしながら、レモングラスティーほど残存率は高くなく、鼻腔内における camphor で約 27%が最高値であった。

以上より、レモングラスティーおよびローズマリーティーにおけるレトロネーザルアロマ中の主要香気成分挙動が明らかとなった。一連の結果は、レモングラス、ローズマリーの特徴香気成分の重要性を明示するものであり、ハーブの香りを生かした飲料開発においては、これら重要香気成分の劣化抑制が極めて重要であることを強く示唆するものであった。

(3) 各種抗酸化物によるハーブ香気劣化抑制効果

上記において重要成分とされた成分に対する各抗酸化物の劣化抑制効果を検証した。具体的には、ローズマリー精油およびレモングラス精油中の特徴香気成分を対象とし、劣化抑制効果を検討し、各抗酸化物の抑制効果を IC_{50} 値として Table 3 にまとめて示した。

Table 3. Inhibition effects of some antioxidants on the deterioration of rosemary aromas

Antioxidants	IC_{50} ($\mu\text{mol/mL}$)*			
	1,8-cineole	Linalool	γ -terpinene	β -caryophyllene
Rosmarinic acid	xy 1.01 \pm 0.19 bc	y 0.71 \pm 0.22 de	x 1.37 \pm 0.06 e	x 1.31 \pm 0.01 d
Caffeic acid	xy 2.46 \pm 0.43 bc	y 1.65 \pm 0.08 cd	xy 2.07 \pm 0.29 de	x 2.51 \pm 0.07 c
Gallic acid	x 6.97 \pm 1.29 a	x 7.13 \pm 0.67 a	x 8.21 \pm 0.47 a	x 9.49 \pm 0.42 a
Kaempferol	y 1.85 \pm 0.51 bc	y 1.87 \pm 0.35 bc	x 3.78 \pm 0.06 bc	x 3.91 \pm 0.29 b
Quercetin	z 0.56 \pm 0.07 c	z 0.49 \pm 0.07 e	x 1.32 \pm 0.16 e	y 0.91 \pm 0.02 d
Myricetin	y 2.81 \pm 0.13 b	y 2.44 \pm 0.05 bc	xy 3.23 \pm 0.64 c	x 4.24 \pm 0.15 b
Chlorogenic acid	y 1.46 \pm 0.20 bc	y 1.42 \pm 0.02 cde	x 2.78 \pm 0.25 cd	x 2.59 \pm 0.09 c
Ferulic acid	y 2.42 \pm 0.23 bc	y 2.81 \pm 0.28 b	x 4.39 \pm 0.28 b	x 4.19 \pm 0.12 b

*Mean \pm SD. The letters a-c show the significant difference among antioxidants, and x-z show the significant difference among flavors ($p < 0.05$).

その結果、ロスマリン酸の他ケルセチンなどの抗酸化物で高い劣化抑制効果が確認された。同様の抗酸化物を使用してレモングラス香気 (β -Myrcene、Citronellal、Neral、Geranial) の劣化抑制挙動を確認した結果、ロスマリン酸では顕著に高い劣化抑制効果が確認された。

(4)ハーブ香気劣化抑制に及ぼすロスマリン酸と各種抗酸化物の2成分併用効果の解析

上記抗酸化物の単独試験において高い効果を示したロスマリン酸を中心として、各種抗酸化物を組み合わせ、併用した場合のローズマリー香気劣化抑制効果を検討した (Table 4)。併用効果効果の解析には、食品分野において独自に適用を試みている Median effect analysis を用いた。その結果、カフェ酸、クロロゲン酸、フェルラ酸以外の4化合物との組み合わせにおいて、相乗効果の発現が確認された。この相乗効果を示した抗酸化物の中で特に興味深いのは、没食子酸とミリセチンがロスマリン酸と組み合わせることで強い相乗効果を示したことであった。没食子酸とミリセチンは、上記のように単一使用時に効果が弱い化合物であるにもかかわらず、ロスマリン酸と併用時には高い相乗効果を発現するという挙動が極めて特異的であり、単独時の効果が併用時の相乗効果に単純に反映されるものではないことが示唆するものであった。また、没食子酸とミリセチンは、いずれも分子内のピロガロール構造を有していたことから、ロスマリン酸との相乗効果には、ピロガロール構造が極めて有効であることも示された。

Table 4. The combination effects of rosmarinic acid and some antioxidants on the deterioration of rosemary aroma components ($f_a=0.5$).

Antioxidants	CI*, Combination effect**							
	1,8-cineole		Linalool		γ -terpinene		β -caryophyllene	
Caffeic acid	x 0.98±0.27 a	Add	x 0.97±0.19 bc	Add	x 1.05±0.15 a	Add	x 1.00±0.03 a	Add
Galic acid	y 0.26±0.14 b	Syn	x 0.79±0.12 c	Syn	x 0.80±0.03 abc	Syn	x 0.78±0.05 b	Syn
Kaempferol	y 0.48±0.14 b	Syn	x 0.86±0.00 c	Syn	x 0.77±0.13 bc	Syn	x 0.79±0.09 b	Syn
Quercetin	z 0.49±0.08 b	Syn	x 1.39±0.25 a	Ant	y 0.79±0.10 abc	Syn	y 0.84±0.08 b	Syn
Myricetin	y 0.46±0.20 b	Syn	x 0.75±0.07 c	Syn	x 0.68±0.07 c	Syn	x 0.66±0.06 c	Syn
Chlorogenic acid	x 0.91±0.23 a	Add	x 1.20±0.16 ab	Ant	x 0.91±0.25 abc	Add	x 1.04±0.08 a	Add
Ferulic acid	y 0.95±0.01 a	Syn	x 1.23±0.18 ab	Ant	y 0.96±0.15 ab	Add	xy 1.09±0.06 a	Ant

*The letters a-c show the significant difference among antioxidants, and w-z show the significant difference among off-odors ($p<0.05$).

**Synergy (Syn): mean±2SD<1, addition (Add): mean±2SD=1, antagonism (Ant): mean±2SD>1.

同様に、レモングラス香気劣化抑制に対する併用効果を解析した結果、ローズマリー香気を対象とした場合と類似した傾向が確認された(データは省略)。

一連の併用結果の傾向は、主成分分析からも確認された (Fig. 4)。

Fig. 4 は、ローズマリー、レモングラスの主要香気成分、計8成分に対するロスマリン酸と各種抗酸化物の併用効果 (CI 値) の傾向をまとめて解析したものである。その結果、没食子酸とミリセチンが PC1 軸の右側 (各香気成分に対するベクトルと逆方向) に大きく離れて位置することが示された。PC1 軸の右側に位置するほど CI 値が低い (相乗効果が大きい) ことを示すものであり、8 香気成分に対する劣化抑制を総合的に判断して、没食子酸とミリセチンがロスマリン酸との組み合わせで有効な化合物であることをあらためて示唆するものであった。

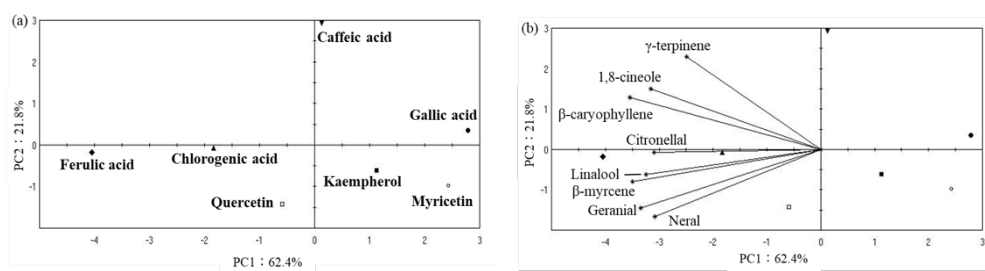


Fig. 4. PCA of the combination effects (CI values) of the antioxidants on the deterioration of rosemary and lemongrass aroma components ($f_a=0.5$). (a) Score plot, (b) loading plot.

以上、本研究で得られた食品香気劣化抑制に対する抗酸化物の相乗効果に関する一連の見解は、ハーブ香気保持に極めて有益なものと考えられ、本研究が今後の抗酸化物による高品質食品の創製の一助となることを期待する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 太田香穂、澤岷沙也加、宮野敬之、丸石優紀、小林弘司、石川洋哉
2. 発表標題 各種抗酸化物による精油中香気成分の劣化抑制効果
3. 学会等名 第59回 化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 太田香穂、澤岷沙也加、宮野敬之、丸石優紀、小林弘司、石川洋哉
2. 発表標題 各種抗酸化物の併用によるハーブ精油の劣化抑制効果
3. 学会等名 日本食品分析学会 令和4年度学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 太田香穂、澤岷沙也加、宮野敬之、丸石優紀、小林弘司、石川洋哉
2. 発表標題 ハーブ香気の劣化抑制に対するロスマリン酸と各種抗酸化物の相乗効果の評価
3. 学会等名 日本農芸化学会2023年度大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田 香穂、宮崎 真緒、立山 優香、宮野 敬之、小林 弘司、石川 洋哉
2. 発表標題 レモングラス精油の香気劣化抑制に対する α -トコフェロールと各種抗酸化物の相乗効果の解析
3. 学会等名 日本農芸化学会2021年度大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮崎 真緒、太田 香穂、宮野 敬之、小林 弘司、石川 洋哉
2. 発表標題 各種抗酸化物の併用によるレモングラス香気成分の劣化抑制効果の解析
3. 学会等名 2020年度日本フードファクター学会・日本農芸化学会西日本支部合同大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔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
研究分担者	金田 弘孝 (Kaneda Hirotaka) (50802493)	九州産業大学・生命科学部・教授 (37102)	

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