

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00816

研究課題名(和文)メイラード反応生成香気のアロマトンに対する生理機能および作業能率向上効果の解明

研究課題名(英文) Investigation of effects of odor generated from the Maillard reaction on human physiology and performance of a task

研究代表者

大畑 素子(OHATA, Motoko)

日本大学・生物資源科学部・講師

研究者番号：60453510

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：食品のメイラード反応で生成する2,3-dimethylpyrazine (3DP)と2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone (DMHF) の人に対する香気刺激によって、交感神経活動の抑制による副交感神経活動の亢進が認められ、生体が鎮静することが示された。中枢神経系も鎮静し、それによって怒りや敵意、緊張や不安などの主観的な感情が有意に軽減することが明らかとなった。それらの生理応答によって、緊張を伴うような作業の能率が向上することも確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

DMHF および3DPは、我が国ではすでに食品添加物として認可されている。多くの食品の嗜好性維持向上に貢献している一方で、これまで香気刺激による生理作用の発現に関しては知見が極めて少なかった。DMHF および3DPの脳機能の鎮静作用に加えて、本研究で自律神経活動および主観的感情を評価したことにより、全身における鎮静を統合的に評価することに成功した。食品成分の生理的機能性は摂取する側の効果に着目されがちであるが、調理従事者の嗅覚刺激による鎮静作用によって、緊張を伴うような調理操作の能率向上が示された。おいしさと機能性を兼ね備えた高付加価値な食品香料として提案することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the effect of the odors generated by the glycine/glucose Maillard reaction and the potent odorants 3DP and DMHF on the human mood and integrative physiological activity. The score of certain subjective moods, especially anger-hostility and tension-anxiety were decreased significantly after inhalation of the Maillard reaction sample and DMHF, and fatigue-inertia mood was also significantly decreased by DMHF, suggesting a sedative effect of these odors on mood. The parasympathetic nervous system dominates through suppression of the sympathetic activity. The physiological relaxing effect of these odors was also confirmed by decreased oxyhaemoglobin in the prefrontal cortex.

研究分野：食品科学

キーワード：メイラード反応生成香気 香気刺激 人における生理作用 主観的気分評価 鎮静作用 自律神経活動 中枢神経活動 作業能率向上

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

加熱を伴う調理や加工工程では、食品中のカルボニル化合物とアミノ化合物の非酵素的なメイラード反応が頻繁に起こる。メイラード反応によって、物性が変化するだけでなく、褐色色素成分や多種類の香気成分が生じ、食品の品質や嗜好に大きく影響する。メイラード反応で生成する香気成分に関するこれまでの研究の多くは、生成メカニズムやコントロール、嗜好性への影響に焦点化されており、ヒトに対する生理作用はほとんど報告されていなかった。ところが我々の研究チームは、メイラード反応生成香気はヒトの脳の鎮静状態に影響し、気分においても緊張や疲労を緩和する作用があることをこれまでに見出してきた。すなわち、メイラード反応生成香気の吸入による 波 (脳機能の鎮静状態を示す) の増加と 波 (大脳機能の覚醒状態を示す) の減少を明らかにし、これに関係する香気成分として、香ばしいナッツ様の香気を持つ 2,3-ジメチルピラジン (以下 3DP) と甘いキャラメル様の香気を持つ 2,5-ジメチル-4-ヒドロキシ-3(2H)-フラノン (以下 DMHF) の同定に成功している。

### 2. 研究の目的

先行研究において明らかとなった大脳機能の鎮静化には様々なメカニズムが考えられるが、3DP や DMHF の香気刺激直後、2 分以内という非常に早い段階で鎮静化が見られたことから、嗅覚器から直接大脳辺縁系に電気信号が伝達され、大脳が鎮静したと考えた。さらに、緊張や疲労の主観的な気分も緩和したことから、大脳の鎮静化に伴って自律神経の中樞である視床下部にも影響があったと考えており、3DP や DMHF によって特に交感神経活動が抑制されたのではないかと仮説を立てた。そこで本研究では、メイラード反応で生成した香気成分のヒト自律神経および中枢神経系に対する作用を解析し、さらに香気刺激による単純作業能率の向上効果を検討して、食品の加熱香気として重要な 3DP および DMHF の新たな機能性を解明することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 試薬および試料

3DP および DMHF はフードグレードのものをシグマアルドリッチジャパン株式会社より購入した。グリシン・グルコースメイラード反応生成物は、炭酸ナトリウムバッファーを用いて 1.0mol/L のグリシン溶液と 1.0mol/L のグルコース溶液を調製して混合後、pH を 9 に調整した。90 で 30 分間オイルバスにて加熱し、冷却したものをメイラード反応物試料とした。

#### (2) 被験者および香気成分濃度

被験者は男女 15 名ずつ選出した。全測定の前後に、POMS (Profile of Mood States) を用いて主観的な気分評価を実施した。3DP は蒸留水で希釈し 0.9mg/L の濃度とし、DMHF も蒸留水で希釈し 58mg/L の濃度で実施した。それぞれ 10ml をアンバーバイアル瓶に分注し蓋を閉め、一定時間静置して平衡した。なお一連の研究はすべてヒト臨床試験倫理審査を受け承認されており、被験者のインフォームドコンセントを得ている。

#### (3) 縮瞳率の測定によるヒト自律神経活動の解析・評価

本研究では対光反射を利用して、瞳孔対光測定装置 (イリスコーダデュアル C10641、浜松ホトニクス株式会社) を用い、ゴーグルを装着して瞳孔径の変化を測定することで自律神経活動を測定した。副交感神経が優位 (鎮静) では瞳孔の縮瞳率が上昇する。香気吸入にお

ける瞳孔直径を測定し、それぞれ空気吸入条件と比較して縮瞳率を算出した。

#### (4) 指先皮膚温の測定によるヒト末梢循環機能の解析・評価

交感神経活動による末梢血管の収縮あるいは拡張を測定する最も一般的な方法のひとつに、末梢皮膚温の測定がある。クリップ型温度センサー（LT8A、グラム株式会社）を人差し指に装着し指先皮膚温を測定した。この時、交感神経活動による皮膚温変化の影響を受けない前額部皮膚温も同時に測定し、その差を算出した。

#### (5) フリッカー試験による脳疲労の評価

ハンディフリッカー（HF-11、株式会社ナイツ）の指標である 30～70Hz で点滅する緑色発光ダイオードのちらつきを判定した。香気吸入後、視標を注視し、視標のちらつきを感じた周波数（フリッカー値）を計測した。高周波数でちらつきを感じた場合はより脳の疲労がなく、低周波数でちらつきを感じた場合は脳が疲労をしていることを示す。

#### (6) 近赤外光脳機能イメージング（NIRS）による脳機能の評価

被験者の前頭前野に NIRS（OEG-16、株式会社スペクトラテック）のプローブを装着し、香気吸入前、香気吸入中および香気吸入後の酸素化ヘモグロビン量（oxy-Hb）を測定した。

#### (7) 単純作業能率の評価

本項目については論文公表前であり、本報告では可能な限りの記載としている。香気吸入による単純作業能率に対する影響を検討し、空気吸入のそれと比較した。また、唾液中のストレスマーカー濃度も測定した。被験者からの唾液採取および測定は 2019 年 8 月までに行っており COVID-19 による影響は全く受けていない。

## 4. 研究成果

### (1) メイラード反応試料、3DP、DMHF の香気刺激による主観的な気分への影響

メイラード反応物試料の香気刺激によって、「怒り 敵意」および「緊張 不安」の項目において有意に評価得点が減少した。3DP の香気刺激は、主観的な気分への影響は見られなかった。DMHF の香気刺激によって、「怒り 敵意」、「疲労 無気力」および「緊張 不安」の項目において有意に評価得点が減少した。グリシン・グルコース系メイラード反応物の香気は、怒りの感情や緊張感を緩和することが示され、それに関与している活性香気成分として DMHF であることが示唆された。一方で、3DP 単一成分での香気刺激によっては直接的な気分への影響はほとんどないということが判明した。

### (2) メイラード反応試料、3DP、DMHF の香気刺激による自律神経活動への影響

メイラード反応生成物、3DP、DMHF いずれの香気刺激においても縮瞳率の有意な上昇が確認された。すべての香気刺激によって副交感神経活動が亢進していることが示された。また、指先皮膚温はすべての試料の香気刺激によって有意に上昇していることが確認された。交感神経活動が抑制され血管が弛緩されたことにより血流量が増加し、指先皮膚温が上昇したと考えられた。したがって、いずれの香気刺激によって、交感神経活動が抑制されたことで副交感神経活動が亢進したことが判明し、それにより生体が鎮静化することが示唆された。

### (3) メイラード反応試料、3DP、DMHF の香気刺激による中枢への影響

フリッカー値は、いずれの香気刺激によっても変化がなく、脳の疲労には関連しないことが示された。他方、全額の血中 oxy-Hb 濃度の変化を測定したところ、コントロールである空気吸入時と比較していずれの香気吸入によって有意に濃度が低下し、大脳が鎮静化することが示された。メイラード反応生成物の香気刺激と比較して 3DP および DMHF はより oxy-

Hb 濃度が低く、単一成分の香気刺激によってより明確に鎮静化が明らかとなった。

#### (4) 単純作業能率の評価

香気吸入による単純作業能率に対する影響を検討したところ、空気吸入時と比較して有意に作業量が増加していることが示され、単純作業能率向上の可能性が示唆された。香気吸入における単純作業の前後で集中力の顕著な上昇と退屈感や不安感の顕著な低下が見られ、香気吸入による気分や感情への影響が作業能率に関係したと考えられた。一方、ストレスマーカー濃度においては差が認められなかった。

以上をまとめると、グリシン・グルコース系メイラード反応で生成する香気成分である 3DP および DMHF の香気刺激は、ヒトの自律神経活動に影響を与え、交感神経活動を抑制し副交感神経活動を亢進することで生体を鎮静化させることが判明した。また、中枢神経活動にも影響を与え、前頭前野における血中酸素化ヘモグロビンの濃度を有意に低下させ、大脳を鎮静化させることが明らかとなった。このような生理応答によって、特に DMHF は気分にも影響し、緊張感や不安感の有意な軽減に貢献することが示された。一方で 3DP は気分に対する直接的な影響が無いにも関わらず、生理的に影響することが判明した。また、メイラード反応で生成する香気成分の嗅覚刺激による鎮静作用によって、緊張を伴うような調理操作の能率向上が示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ohata Motoko, Zhou Lanxi, Yada Yukihiro, Yokoyama Issei, Arihara Keizo	4. 巻 84
2. 論文標題 2,3-Dimethylpyrazine (3DP) and 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone (DMHF) generated by the Maillard reaction in foods affect autonomic nervous activity and central nervous activity in human	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 1894 ~ 1902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09168451.2020.1775066	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 大畑素子、横山 啓成、有原圭三	4. 巻 57
2. 論文標題 メイラード反応生成香気成分が有する新たな可能性への挑戦	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 化学と生物	6. 最初と最後の頁 722-727
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 大畑素子	4. 巻 4
2. 論文標題 メイラード反応生成香気機能性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 44-46
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 無
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 大畑 素子	4. 巻 278
2. 論文標題 食品の加熱香気を示す生理作用ーおいしい香りの新たな機能性と其の可能性ー	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 香料	6. 最初と最後の頁 41-51
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 無
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 大畑 素子	4. 巻 53
2. 論文標題 おいしい香りの新たな機能性とその利用の可能性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 食品と開発	6. 最初と最後の頁 18-20
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 無
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 Motoko Ohata, Issei Yokoyama, Keizo Arihara	4. 巻 13
2. 論文標題 Functionality and Capability of Odorants Generated by the Maillard Reaction in Foods	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Maillard Reaction Society Highlights	6. 最初と最後の頁 9-16
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 無
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 -

[学会発表] 計3件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 大畑素子、横山 啓成、周 蘭西、矢田幸博、有原圭三
2. 発表標題 グリシン・グルコース系モデルメイラード反応生成香気ヒト自律神経活動および中枢神経活動に及ぼす影響
3. 学会等名 日本味と匂学会第51回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大畑素子
2. 発表標題 食品の加熱香気示す生理作用の解明-美味しい香りの新たな機能性を求めて-
3. 学会等名 日本食品科学工学会平成30年度関東支部大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大畑素子、横山啓成、矢田幸博、有原圭三
2. 発表標題 メイラード反応生成香気成分DMHFの香気刺激によって誘発される生理作用
3. 学会等名 日本農芸化学会2021大会シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 有原圭三（監修）	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 379
3. 書名 グリケーションの制御とメイラード反応の利用	

〔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	矢田 幸博  (YADA Yukihiro)  (60751790)	筑波大学・グローバル教育院（HBP/HX）・教授   (12102)	

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