



Sesame Newsletter

September 2021 No. 36

日本ゴマ科学会会長あいさつ	2
大会実行委員長あいさつ	3
第36回日本ゴマ科学会大会	
プログラム	4
講演要旨	12
総説	
食品のおいしさの考え方とデータサイエンス (山野善正、次田隆志)	42
報告	
第4回国産ゴマ生産地の現地検討会 みまたんごま霧島会のゴマ栽培の取り組み (下石正秋)	54
企業めぐり	
三井物産株式会社 胡麻事業	56
本会記事	58

第36回日本ゴマ科学会
大会講演要旨掲載

日 本 ゴ マ 科 学 会
The Sesame Science Society of Japan

■セサミニュースレター第36号 目次

日本ゴマ科学会会長あいさつ 学会会長就任のご挨拶 (片山健至)	2
大会実行委員長あいさつ 第36回日本ゴマ科学会大会開催にあたって (山口雅篤).....	3
第36回日本ゴマ科学会大会プログラム 講演会プログラム	4
会場案内	6
オンライン大会接続マニュアル	7
第36回日本ゴマ科学会大会 講演要旨 特別講演1 南九州におけるゴマの栽培について (長江嗣朗)	12
特別講演2 ゴマリグナン生合成の解明と、分子から 考える「ゴマの来た道」(小埜栄一郎).....	19
特別講演3 セサミノール配糖体の分解の代謝生理学 (中山亨)	26
一般講演1 小学校におけるゴマの栽培活動を通し た食育学習(富永万智、武田珠美).....	31
一般講演2 ゴマ系統におけるセサミノール配糖体の 組成分析(金丸雅典 他).....	33
一般講演3 黒ゴマ種子の抗酸化成分：アントラセ サモンF(古本敏夫).....	35
ポスター講演1 Elucidation of the Molecular Responses of Sesame (<i>Sesamum indicum</i> L.) Leaves to Waterlogging Stress using Transcriptome Profiling (Ju-Young Choi 他)	36
ポスター講演2 ビニールハウスでのゴマの折りた たみ乾燥機システムを利用した品質改善と省力化 技術開発(Ki-Hyun Kim 他).....	38
ポスター講演3 Responses of Growth Characteristics of Sesame (<i>Sesamum indicum</i> L.) to Waterlogging Stress (Sun-Hee Woo 他).....	40
総説 食品のおいしさの考え方とデータサイエンス (山野善正、次田隆志)	42
報告 第4回国産ゴマ生産地の現地検討会 みまたんごま 霧島会のゴマ栽培の取り組み(下石正秋)	54
企業めぐり 三井物産株式会社 胡麻事業の紹介.....	56
本会記事	58

■会長あいさつ

学会会長就任のご挨拶

日本ゴマ科学会

会長 片山健至

香川大学農学部の片山です。2021（令和3）年4月から日本ゴマ科学会会長に就任いたしました。吉田元信前会長の後任として、昨年10月の奈良市における第35回大会時の総会において、ご選任いただき、この大役に取り組むことになりました。私自身は農学部において林産化学あるいは森林バイオマス化学を専門分野としてきました。1991年の海外留学を機に樹木のリグナン生合成を研究するようになり、そしてゴマリグナンの機能性と生合成に興味を持ち、本学会に入会し、故並木満夫元会長や田代亨元会長には大変お世話になりました。そこで、両先生と日本ゴマ科学会の皆様之恩返しをするつもりで、会長をお引き受けした次第であります。この重責を果たすために、役員会・評議員会の皆様、会員の皆様のご支援とご協力のもとに、全力を尽くしたいと思っております。よろしくお願いいたします。

さて、我国においては2020年の初めに新型コロナウイルス感染症が流行し始めて、すでに1年半を越えようとしています。お亡くなりになられた方々に謹んで哀悼の意を表するとともに、感染された方々やそのご家族、ご親族、関係者の皆様に対して、心からお見舞いを申し上げます。会員の皆様には感染防止に努めながら、それぞれの職務を全うされ、そして本学会活動に貢献されていますことに敬意を表します。昨年の第35回日本ゴマ科学会大会を、第2波と第3波の間隙を縫い、会場を大阪から奈良に移して開催にこぎつけた吉田前会長、和田武大前大会実行委員長、および田中洋治前運営委員長に感謝いたします。

コロナ禍の終息は楽観できません。ワクチンの接種が進む一方で、強力な変異株が出現し、第4波の後にそれを上回ると危惧される第5波が来る状況です。このような状況を見越して、そして学会活動と感染防止の両立のために、本年9月4日（土）に開催する第36回大会は宮崎県都城市南九州大学の山口雅篤先生（大会実行委員長）と長江嗣朗先生（同事務局）にお世話をいただいておりますが、本学会で初めてオンライン方式によって開催されます。初めてのことでご準備には大変なご努力とご苦勞をされている両先生に、深く感謝申し上げます。

さて、吉田前会長は2017年のご就任時に、本学会の活性化のためにアンケート調査を行い、その結果に基づいて、第一に広報活動の強化のためにホームページのリニューアルを行い、第二に国産ゴマ生産地の現地検討会を毎年の行事として開始し、第三にセサミニュースレターを学会誌としての内容に改善するために、論文・総説の掲載を充実し、第四にゴマ研究を活性化するために、研究助成制度を創設しました。

今後、これらの活動方針を継承・強化するとともに、本学会がより社会的信頼性を持って活動するために一般社団法人化の検討を始めるように、そして、セサミニュースレターの発信力を一層強化するためにJ-STAGEにアップできるようにしたいと考えています。

日々の研究を学生さんと共に行うこと並びに対面での種々の交流活動が、コロナ禍のために大きく損なわれていますが、一日でも早く立ち直り、本学会をSDGsおよびアフターコロナ社会に貢献できる存在に進歩させたいと考えています。重ねて皆様方のご協力をよろしくお願いいたします。

■大会実行委員長あいさつ

第 36 回日本ゴマ科学会大会開催にあたって

第 36 回日本ゴマ科学会大会実行委員会

委員長 山口雅篤（南九州大学環境園芸学部）

令和 3 年度の本大会は、9 月 4 日（土）に宮崎県都城市の南九州大学都城キャンパスでの環境園芸学部を主会場とするオンライン大会となりました。コロナ禍の中での皆様の安全を考慮しての苦渋の選択でした。本来ならば、参加者の皆様に宮崎の食・緑・文化を堪能していただきながらの大会を想定していましたが、残念でなりません。また、皆様には本学会での初めての Zoom によるオンライン大会を強いることになり、深くお詫び申し上げます。

宮崎での開催の企画は前会長の吉田先生の立案であり、先生は都城市に隣接する三股町での国内産ゴマ栽培の現地検討会とセットでの大会開催を望んでおられました。しかし、宮崎県には会員が少なく、そこで、本学の私達に依頼があり、不慣れではありますが大会の開催をお引き受けした次第です。私事ですが、定年まで約 2 年となり、最後の本学会と学術への貢献と考え、有意義な大会に向けて尽力していく所存です。皆様のご協力をお願い致します。

オンライン大会が学会で承認されてから、直ぐに Zoom でのオンライン大会のマニュアル等配布資料の作成に取り掛かりました。新会長の片山先生を中心に学会幹事の方々と大会事務局長の長江先生の助言と確認をいただきながら、予定していました全ての資料の作成を大会開催までに終え安堵した次第です。学会の幹事の方々に厚くお礼申し上げます。また、これらの資料が今後のオンライン大会での参考資料になれば幸甚に思います。

今大会の特別講演ですが 3 課題を予定しています。初めに南九州大学環境園芸学部の長江先生には、本学のフィールドセンターでのゴマ栽培の研究・教育と南九州でのゴマ栽培について話題提供していただきます。次に、サントリーグローバルイノベーション（株）の小埜様には、長年に渡って一貫して研究してこられたゴマリグナンの生合成経路について、酵素の観点から概説していただき、また、セサミン合成酵素に着目してゴマ属植物の系統進化にも言及していただきます。さらに、東北大学の中山先生（令和 3 年農芸化学会賞受賞者「植物特化代謝」）には、ゴマリグナンの分解経路について、特にゴマの発芽時とゴマを取り巻く環境中の微生物におけるセサミノール配糖体の分解経路について解説していただきます。

特別講演の他に一般講演 3 題とポスター発表 3 題を予定しています。オンラインでの不慣れな大会となりますが、皆様のご理解とご協力をお願い致します。では、多くの学会会員の皆様とゴマに興味をお持ちの皆様の大会の参加をお待ちしています。

第36回日本ゴマ科学会大会プログラム

日 時	2021年9月4日（土曜日）	
場 所	南九州大学環境園芸学部（大会実行委員会事務局） 〒885-0035 宮崎県都城市立野町 3764 番地 1 (オンライン配信会場ですので、大会当日に会場に来ることはできません)	
日 程	10:00～11:00 評議員会	オンラインA会場
	11:10～12:10 総会	オンラインB会場
	13:00～13:15 大会挨拶	オンラインC会場
	13:20～15:20 特別講演	オンラインC会場
	15:20～15:30 休憩	
	15:30～16:36 一般講演	オンラインC会場
	16:41～17:19 ポスター講演	オンラインC会場
	17:19～17:29 休憩	
	17:29～17:39 ポスター表彰	オンラインC会場
	17:39～17:49 閉会挨拶	オンラインC会場
	(時刻を変更する可能性がありますので、当日の通知にご注意ください)	
実行委員長	山口雅篤（南九州大学環境園芸学部）	

■講演会プログラム

13:00	開会の挨拶	大会実行委員長 山口雅篤
13:05	会長の挨拶	日本ゴマ科学会会長 片山健至

■特別講演

座長 片山健至（香川大）

13:20	南九州におけるゴマの栽培について	南九州大学環境園芸学部 長江嗣朗
14:00	ゴマリグナン生合成の解明と、分子から考える「ゴマの来た道」	サントリーグローバルイノベーションセンター株式会社 小笠栄一郎
14:40	セサミノール配糖体の分解の代謝生理学	東北大学大学院工学研究科 中山亨

■一般講演

座長 勝崎裕隆（三重大）

15:30	小学校におけるゴマの栽培活動を通じた食育学習	○富永万智 ¹ 、武田珠美 ² (¹ 宇城市立不知火中学校、 ² 熊本大学教育学部)
-------	------------------------	--

- 15 : 52 ゴマ系統におけるセサミノール配糖体の組成分析
金丸雅典¹、大村文乃¹、清本邦夫¹、山口雅篤²
(¹ 清本鉄工(株)、² 南九州大 環境園芸)
- 16 : 14 黒ゴマ種子の抗酸化成分：アントラセサモンF
○古本敏夫 (香川大学 農学部)

■ポスター講演

座長 小倉裕範 (奈良女子大)

- 16 : 41 Elucidation of the Molecular Responses of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Leaves to Waterlogging Stress using Transcriptome Profiling.
○ Ju-Young Choi¹, Sang-Heon Choi¹, Young-Hwan Ju¹, Hyun-Jin Jung^{1,7}, Swapan Kumar Roy^{1,6}, Soo-Jeong Kwon¹, Ki-Hyun Kim⁴, Hyen-Chung Chun³, Seong-Woo Cho⁵, Yoon-Sup So¹, Moon-Soon Lee², Yong-Gu Cho¹, Koki Homma⁷, Sun-Hee Woo^{1*}
(¹Dept. of Crop Science, Chungbuk National University, ²Department of Industrial Plant Science & Technology, Chungbuk National University, ³Crop Production Technology Research Div, National Institute of Crop Science, ⁴Division of Crop Research, Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, ⁵Dept. of Agronomy and Medicinal Plant Resources, Gyeongsang National University, ⁶IUBAT-International University of Business Agriculture and Technology, ⁷Graduate School of Agriculture, Tohoku University)
- 16 : 54 ビニールハウスでのゴマの折りたたみ乾燥機システムを利用した品質改善と省力化技術開発 (Technical Development for Quality Improvement and labour-saving Using Sesame Folding Dryer System in Vinyl House.)
○ Ki-Hyun Kim¹, Young-Sang Kim¹, Ik-Jae Kim¹, Sun-Hee Woo²
(¹Division of Crop Research, Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, ²Department of Crop Science, Chungbuk National University)
- 17 : 07 Responses of Growth Characteristics of Sesame (*Sesamum indicum* L.) to Waterlogging Stress.
○ Sang-Heon Choi¹, Ku-Hyun Kwon¹, Ju-Young Choi¹, Young-Hwan Ju¹, Tae-Woong Yun¹, Soo-Jeong Kwon¹, Swapan Kumar Roy^{1,4}, Ki-Hyun Kim³, Hyen-Chung Chun², Tae-Young Hwang¹, Jwakyung Sung¹, Sun-Hee Woo¹
(¹Dept. of Crop Science, Chungbuk National University, ²Crop Production Technology Research Division, National Institute of Crop Science, ³Division of Crop Research, Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, ⁴IUBAT-International University of Business Agriculture and Technology)

■会場案内

■大会オンライン会場

南九州大学環境園芸学部（大会実行委員会事務局）

〒 885-0035 宮崎県都城市立野町 3764 番地 1

TEL : 0986-46-1045 FAX : 0986-21-2113

会場ホームページ <https://www.nankyudai.ac.jp/index.html>

（オンライン配信会場ですので、大会当日に会場へ来ることはできません）

■懇親会

第 36 回大会では懇親会を開催致しません。

■参加費

無料

■参加申し込み

- ① 大会参加希望者は「第 36 回大会参加申込書」（本学会ホームページからダウンロード可能）に必要な事項を記入し、メールで大会運営委員長あて（nagae@nankyudai.ac.jp）に送付してください。
- ② 評議員は別途送付の「第 36 回日本ゴマ科学会大会 評議員会のご案内」に従って、評議委員会への出欠通知を大会運営委員長あてに送付してください。
- ③ 申し込み締め切りは 2021 年 8 月 28 日（土）です。当日申し込みはできませんのでご注意ください。

■オンライン大会への参加方法

第 36 回日本ゴマ科学会大会は Zoom ミーティングを利用して行います。大会参加申し込みをいただいた方には大会事務局からメールで「Zoom ミーティング ID」と「パスコード」を送付しますので、「第 36 回日本ゴマ科学会オンライン大会接続マニュアル」（7 ページ）に従って、Zoom ミーティングに接続してください。

■大会実行委員会

大会実行委員会事務局： 南九州大学環境園芸学部

〒 885-0035 宮崎県都城市立野町 3764 番地 1

TEL : 0986-46-1045 FAX : 0986-21-2113

大会実行委員長： 山口雅篤（南九州大学環境園芸学部 教授）

E-mail : yamaguch@nankyudai.ac.jp

大会運営委員長： 長江嗣朗（南九州大学環境園芸学部 教授）

E-mail : nagae@nankyudai.ac.jp

大会実行委員： 金丸雅典（清本鉄工株式会社 開発室 研究員）

E-mail : kanemaru-ma@kiyomoto.co.jp

第36回日本ゴマ科学会オンライン大会 接続マニュアル



1.使用機器と受信環境の確認

(1)使用機器について

- コンピュータ(PC) : ノートパソコンまたはデスクトップ(セキュリティソフトがインストールされたもの)
- ブラウザ : Google Chrome または Microsoft Edge
- イヤホン : 使用は任意です。使用される場合は音声の入出力(通話)ができるようにセッティングしてください。音声のトラブルを避けるためにはヘッドセットの利用が良好です。
- マイク : PC内部または外部のマイク
- カメラ : PC内蔵カメラまたは外部のウェブカメラ(複数のカメラの場合は、事前に切り替えをしてください)

(2)受信する場所

- 通信状況の安定している場所で接続ください。
- 複数のパソコンがある部屋では、ハウリングの恐れがあります。
- Wi-Fiよりも有線での接続が良好です。

1.使用機器と受信環境の確認

(3)Zoomでの接続方法

【手順①】Zoomアカウント

①. ブラウザを開き、ZOOMのサイトにアクセスしてください。<https://zoom.us/jp-jp/meetings.html>

② **ミーティングに参加する** をクリック

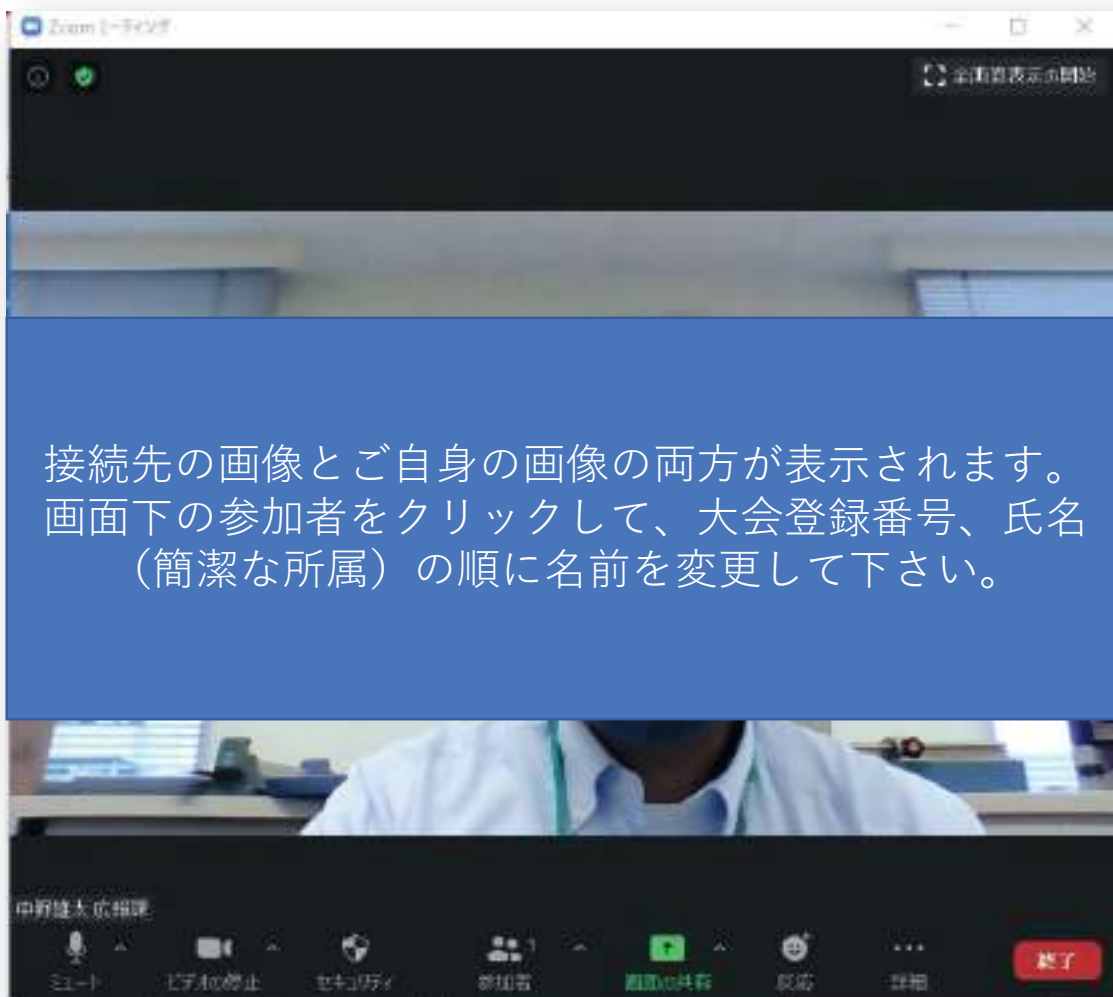


③下図の画面に切り替わりますので、IDを入力し、「参加」をクリック、次の画面にて「開く」をクリック



④下図の画面に切り替わりますので、パスコードを入力し、「ミーティングに参加する」をクリック、**待機画面**に切り替わります。





接続先の画像とご自身の画像の両方が表示されます。
画面下の参加者をクリックして、大会登録番号、氏名
（簡潔な所属）の順に名前を変更して下さい。

【音声】
ご自身の音声を相手に伝える設定です。大会中はオフにしてください。発言される際など必要に応じてオンにしてください。アイコンをクリックするとオンとオフを切り替えできません。

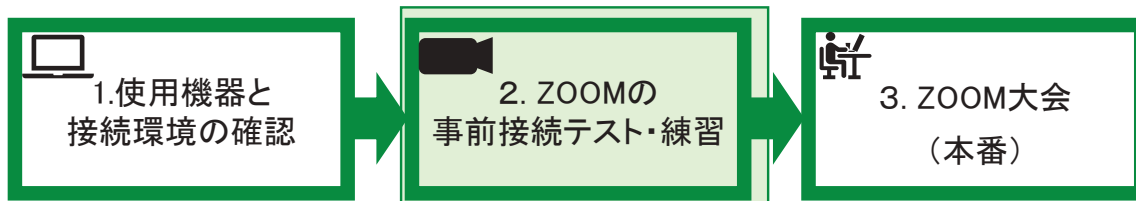
【画像】
ご自身の画像を相手に見せる設定です。大会中はオンにしてください。アイコンをクリックするとオンとオフを切り替えできません。

【名前の変更】
「参加者」をクリックすると参加者一覧が画面右に表示されますので、ご自分の名前にカーソルをあて「詳細>」をクリックし、「名前の変更」をクリックして「大会登録番号＋氏名（簡潔な所属）」に変更してください。

【終了方法】
終了ボタンをクリックしミーティングから退出をクリックすると画面が閉じます。

赤斜線がある場合は音声もビデオもオフの状態です。





	ZOOMミーティングID	パスコード
接続テスト・練習 8月28(土)、8月29日(日)		

2. ZOOMの事前接続テスト・練習

(1) 指定された日時に「1. 接続方法」にて接続テスト・練習用の上記IDとパスコードで接続してください。

(参加者の接続時間は約5分程度です。会議担当者、座長、発表者は約10分程度です)

- ◎「コンピュータでオーディオに参加」をクリック
※「許可を求めています」のポップアップが出たら、必ず「許可」をクリック
- ◎「ビデオを開始する」をクリック
※「許可を求めています」のポップアップが出たら、必ず「許可」をクリック
- ◎**接続テストでは「待機画面」は表示されず、直ぐに接続されます。**

(2) 画面が表示され、双方向で音声を確認できたら接続テスト終了です。練習は、会場(A, B, C)毎に実行委員が個別に指示しますので、順番がくるまでお待ちください。



	大会用ZOOMミーティングID	大会用パスコード
大会 9月4日(土)		

3. ZOOM大会

(1) 指定された日時に「1. 接続方法」にて大会用の上記IDとパスコードで接続ください。接続テスト・練習の場合とは、I.D.とパスワードが異なりますので、ご注意ください。

- ◎「コンピュータでオーディオに参加」をクリック
※「許可を求めています」のポップアップが出たら、必ず「許可」をクリック
- ◎「ビデオを開始する」をクリック
※「許可を求めています」のポップアップが出たら、必ず「許可」をクリック

(2) 開始時刻となりましたら、待機画面から画面が切り替わりますので、開始時間までお待ちください。

第 36 回日本ゴマ科学学会大会 講演要旨

■特別講演 1

南九州におけるゴマの栽培について

南九州大学環境園芸学部環境園芸学科

長江 嗣朗

1. はじめに

江戸時代におけるゴマは、エゴマ、アブラナ、ナタネ、ワタ等と同様に重要な油脂作物の一つあるいは食用として普及し、その栽培は徳川御三家である三河（愛知県）、紀伊（和歌山県）および水戸（茨城県）を中心に広く行われていた¹⁾。南九州でも、江戸時代すでにゴマの営利的な栽培が行われ、その時代に都城から大坂に積み出しを願い出た記録も現存している（図1）。

また、宮崎県の南部に位置する都城盆地では、南九州特有の気候であり、その環境下におけるゴマ栽培は恵まれた条件がある一方で、困難な条件もある。今回、都城盆地におけるゴマの流通に関する先人の功績と現在の南九州におけるゴマの栽培について、その気象条件とともに紹介する。

2. 江戸時代における都城でのゴマについて

宮崎県の都城盆地では江戸時代よりゴマが経済作物として栽培され、大坂に出荷が行われていた。当時、都城盆地からは経済作物としてゴマ以外でも幾つかの作物が出荷されていたが、輸送が困難であったことから、大淀川（図2）を活用した輸送経路が立案された。大淀川とは宮崎県と鹿児島県にまたがる一級河川で、宮崎市の平野部で日向灘に注いでいる。

しかし、実際は都城盆地から日向灘に至る途中の都城の観音瀬では高い岩盤に遮られる箇所があり船が通ることができなかったが、当時の権力者が岩盤を削ることで船の通過を可能にすることができた（図3）。

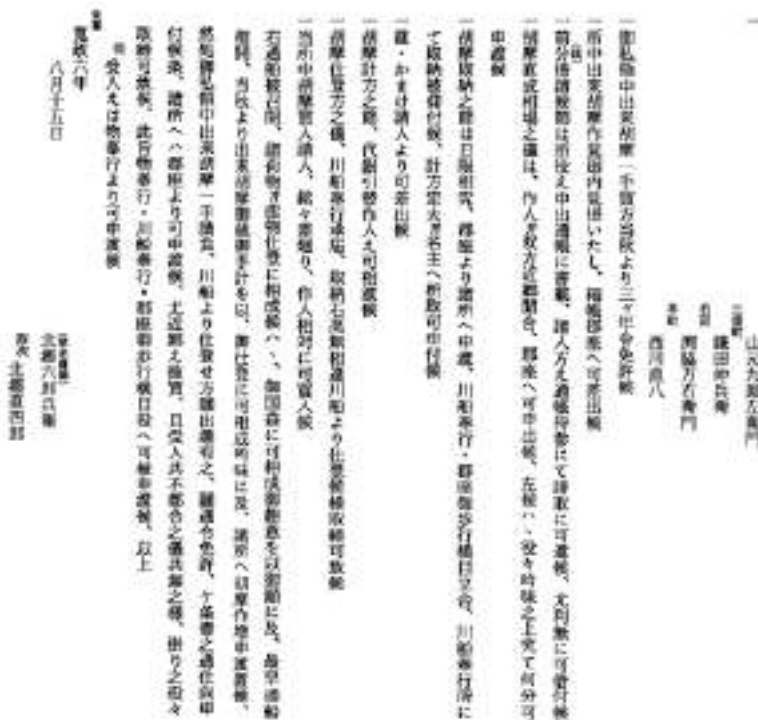


図1 江戸時代の胡麻流通に関する文書



図2. 宮崎県内を流れる大淀川（国土交通省国土地理院より長江による一部加工）

寛政6年、観音瀬より去川までの通船工事が完了し、都城より赤江湊までの通船が可能となると、先ず領内より川船によって上方大坂へ積出された商品は胡麻であった。しかしながら、この胡麻は領内の商人が自由な商業活動によって集荷し、個々に積送られたものではなかった^{2, 3)}。



図3. 大淀川の観音瀬周辺（阿蘇の噴火の溶岩）

一方、このゴマ栽培は長きにわたり行われておらず、近年ようやく栽培が再開されたが、なぜゴマ栽培が長期間行われなかったのかも興味深い。江戸時代すでに都城盆地からのゴマの積み出しは衰退しているが、その理由として観音瀬より去川までの荒瀬急流、その中での水周辺地域の生産力の発展、商品生産の展開度の未熟さにあったとされている⁴⁾。また、現代では安価な海外産のゴマが大量に輸入されたこと、またゴマ栽培は機械化が困難で、特に収穫作業が集中するため大面積での栽培が難しいことも生産面積の減少をもたらしたことが減少の大きな要因と思われるが⁵⁾、南九州特有の気候がゴマの栽培面積低下につながった一因である可能性も否定できないのではないだろうか。

3. 南九州におけるゴマの栽培の特徴と問題点

都城盆地内の地質は、第4紀新層及び火山灰第4紀古層から成り、特に後者が約77%を占めている。南九州一帯はシラス、ボラ、赤ホヤが広く分布した特殊土壤地帯である。シラスは灰砂土と呼ばれ、火山灰、軽石等からなっている⁶⁾。

都城盆地におけるゴマの営利栽培は、宮崎県三股町の支援を受けながら霧島会（三股町）が中心となって主に三股町内で栽培され、その栽培は無農薬・無化学肥料での安心・安全なゴマ生産が主である。

まず、ゴマの安定多収化するための条件として、作期に関しては、生育初期の湿害の回避と、播種後60～90日の開花中期頃の日射量が重要であり、これを安定的に確保するためには、播種期の早期への拡大が重要であることが明らかになっている⁷⁾。

黒ゴマ、白ゴマおよび金ゴマ種子を異なる温度で発芽試験を試みた2018年の筆者らの実験では、いずれのゴマも35°Cで最も発芽が促進された（表1）。このことは、ゴマ品種‘真瀬金’を播種した場合、胚軸長および幼根長の生長が気温35°Cでピークとなった熊崎⁸⁾の報告と一致している。しかしながら、発芽後の生育期間のことを考慮すると、実際にはゴマは春から初夏にかけて播種されることがほとんどである。南九州であっても5～6月には気温が30°C以上になることはあまりない（図4）。したがって、特に播種時期の30°C以上の高温を確保するためには、マルチ栽培が推奨される。このことは、Kumazaki et. al.⁹⁾によってゴマ栽培におけるマルチの有用性が認められていることから明らかである。

表1. 異なる温度下で播種したゴマ種子の発根率および根長（播種7日目）

	15°C		20°C		25°C		30°C		35°C	
	発根率 (%)	根長 *z (cm)	発根率 (%)	根長 (cm)	発根率 (%)	根長 (cm)	発根率 (%)	根長 (cm)	発根率 (%)	根長 (cm)
黒ゴマ	62.5	4.7 ± 0.3	93.8	2.1 ± 0.1	100	2.0 ± 0.0	100	1.4 ± 0.1	100	1.2 ± 0.2
白ゴマ	37.5	4.7 ± 0.3	100	2.1 ± 0.1	93.8	1.9 ± 0.1	100	1.2 ± 0.1	100	1.0 ± 0.0
金ゴマ	37.5	6.0 ± 0.4	100	2.6 ± 0.2	100	1.9 ± 0.1	100	1.1 ± 0.1	100	1.0 ± 0.0

*z；数値は平均±標準誤差を表す。

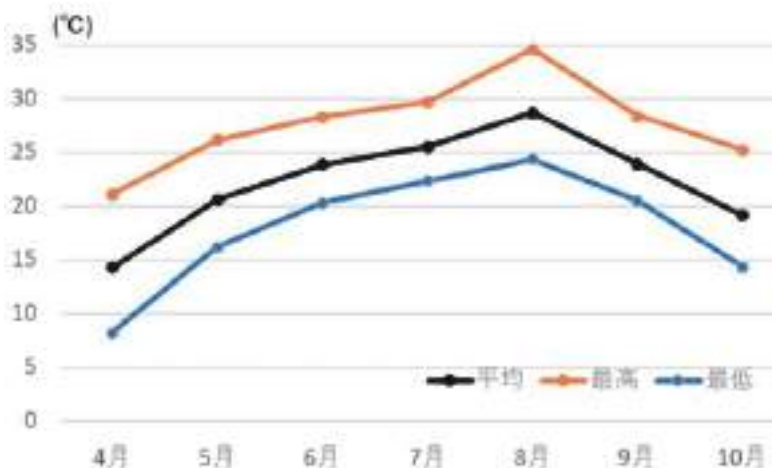


図4. 都城地域の2020年の月ごとの1日の気温（気象庁のデータを長江による作図）

また、家田ら¹⁰⁾ および田代ら¹¹⁾ は4月下旬から7月下旬まで約2週間おきに黒ゴマを播種したところ、1個体当たりから収穫できた種子重は5月播種がピークになることを報告している。一方、ゴマの播種をポットで行った結果、1cmの深さに浸水した場合、収量が低下することが報告されている¹²⁾。都城盆地では梅雨時の降水量が著しく大きく(図5)、このことがゴマの順調な幼植物体の成長に大きな問題点となっている可能性がある。したがって、南九州でも激しい降水がない年であれば家田ら¹⁰⁾ および田代ら¹¹⁾ の報告と同様に5月播種が望ましいと筆者は考えているが、たとえば2021年のように早い梅雨入りとなる場合はより慎重に播種時期を検討する必要があるだろう。また、南九州では雑草の繁茂が著しく、そのこともゴマの播種時期を検討する要因の1つと考えられる場合がある。

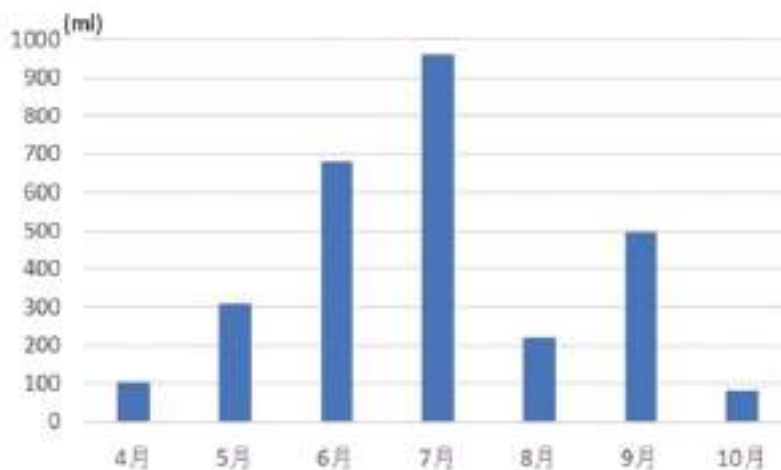


図5. 都城地域の2020年の月ごとの総降水量(気象庁のデータを長江により作図)

都城盆地内でゴマの栽培を行うには、播種時における比較的高温条件、激しい降水を含む種子の浸水を防ぐ必要が考えられることから、2019年に南九州大学環境園芸学部附属フィールドセンター内で実際にゴマの生産を試みた(図6)。



図6. 南九州大学環境園芸学部附属フィールドセンターにおけるゴマの栽培試験

実験には、圃場にそのまま播種する区（以下、畝無・マルチ無区）、畝を立てて播種した区（以下、畝有・マルチ無区）、畝を立てずにマルチを張った区（以下、畝無・マルチ有）および畝を立ててマルチを張った区（以下、畝有・マルチ有区）の4区を設けた。各処理区に黒ゴマ、白ゴマおよび金ゴマをそれぞれ16粒ずつ播種し、播種95日後に株の生存率および結実率を調査した（表2）。

その結果、畝を立てる効果およびマルチの効果が十分に認められる結果となった。本実験では、畝無・マルチ無で黒・白・金ゴマのいずれも著しく生存率および結実率が悪い結果となったが、これは播種後の降雨によって種子が流されたことが原因と考えられる。このことから南九州における畝立ておよびマルチは他の地域に比べてより大きな生産効果をもたらす可能性がある。実際、パキスタンでのゴマ栽培では畝を立てた方が増収できることが報告されていること¹³⁾からも、降水量の多い場所では作業効率と生産性を比較することも重要である。

表2. 南九州大学において種々の条件下で栽培したゴマの生存率および結実率（2019年）

	黒ゴマ		白ゴマ		金ゴマ	
	生存率 (%)	結実率 (%)	生存率 (%)	結実率 (%)	生存率 (%)	結実率 (%)
畝無・マルチ無	50	50	20	20	25	25
畝有・マルチ無	— *z	—	—	—	—	—
畝無・マルチ有	85	80	55	55	60	60
畝有・マルチ有	80	80	85	85	100	100

各処理区当たり、16粒をそれぞれ播種した。

*z；畝有・マルチ無区では虫による著しい食害のため、データを省略した。

さらに、南九州では早い年では7～8月、遅くには10月頃まで台風が上陸することがある。毎年のようにゴマの収穫のタイミングが台風の接近あるいは上陸に左右され、理想的な収穫日に実行することが困難な状況である。

なお、このような環境は南九州では共通の条件となっている。たとえば、鹿児島県の喜界町ではゴマの生産量が年によって大きく変動する(図7)。年によってゴマの生産量が著しく減少する最も大きな原因として、台風による被害が考えられている。このことから、南九州におけるゴマ栽培はその栽培期間中はもちろん、まずは播種のタイミングを十分に考慮する必要があると思われる。



図7. 鹿児島県喜界町における年次別ゴマの生産量と栽培面積（鹿児島県喜界町農業振興課のデータを長江により一部改変）

一方、2019年に筆者が都城盆地内の三股町において実際にゴマ生産者が栽培している圃場を幾つか調査した結果、ほとんどの場所でpH5～6であり、それ以外のpHを示す土壌は調査地点では確認できなかった（データ未掲載）。近藤ら¹⁴⁾は、ゴマの総さく果数はpH5.0において最大値を示したが、完熟さく果数はpHの上昇とともに減少すること、また総種子重はpH4.2からpH5.0の範囲内でほぼ同様な値を示すもののそれ以上のpHでは大きく低下することを報告している。このことから、都城盆地においてはゴマを圃場に播種する以前に、土壌のpHを調整することでゴマ生産の収量が増加する可能性が示唆された。

なお、ゴマの営利生産における施肥は、田代ら¹⁵⁾、熊崎⁸⁾、Sheu et. al.¹⁶⁾、石井ら¹⁷⁾の報告から増収への効果をもたらすことが認められているものの、先に述べたとおり都城盆地でのゴマ生産は主に無化学肥料で行っている。

国内産の無農薬・無化学肥料で生産されたゴマは付加価値を持ち、高い需要があることから、都城盆地の三股町内の生産では今後もその取り組みの継続は重要であると考えている。

以上のことから、ゴマの増収を目指すために、南九州特有の環境条件を十分に考慮した上で栽培計画を立てる必要がある。また、この特有の環境条件により適した品種の選定も今後は重要な課題となると思われる。特に、南九州では幼植物体時の気温や降水量の問題、栽培期間を通して台風による被害の影響を少なくすること、さらに連作障害についても検討していく予定である。

4. 謝辞

鹿児島県喜界町農業振興課の榮岳海氏には喜界町のゴマ生産について貴重なデータを、また元夕刊スポット新聞社の牧野氏には宮崎の河川の水運について資料をご提供いただきました。感謝申し上げます。

5. 引用文献

- 1) 小林貞作. 1986. ゴマの来た道. p.1-208. 岩波書店. 東京.
- 2) 都城市史編さん委員会. 2002. 庄内地理志. 都城市史 資料編 近世2. p.1-42. 都城市.
- 3) 川名 登. 2005. 近世日本の川船研究（下）—近世河川水運史—. p.838-845. 日本経済評論社. 東京.
- 4) 川名 登. 1987. 日向・大淀川の水運について. 千葉経済短期大学商経論集. 20 ; 1-37.
- 5) 安本知子・勝田眞澄・杉浦 誠・奥山善直・本田 裕・古明地通孝. 2003. 作物研報. 4 : 45-58.
- 6) 都城市役所 HP. <https://www.city.miyakonojo.miyazaki.jp/soshiki/12/4110.html>
- 7) 丹野和幸. 2021. ゴマ (*Sesamum indicum* L.)栽培の研究動向と多収条件に関する考察. 日作紀. 90(2) : 125-141.
- 8) 熊崎 忠. 2010. ゴマ (*Sesamum indicum* L.) の生育、収量の成立およびリグナンの蓄積に関する研究. 名城大農学報. 46 : 33-44.
- 9) Tadashi Kumazaki, Yasuko Uemoto, Atsuko Kondo, Tatsuya Hirano, Satoko Yasumoto, Masumi Katsura and Hiroyasu Michiyama. 2015. Influence of mulching with black polyethylene film on growth, flowering and yield components of Sesame cultivated at different seasons. Sci. Rep. Agri. Meijo University.51:17-26.
- 10) 家田利夫・野村弘司・田代 亨. 1999. ゴマの収量と品質に及ぼす成育環境の影響（第1報）播種時期との関係. 日作東海支部報. 127 : 5-6.
- 11) 田代 亨・家田利夫・金田真人・平野正真・橋口武史. 2011. ゴマ (*Sesamum indicum* L.) の収量と品質に及ぼす播種時期の影響. 日本作物学会講演会要旨集. 231 : 250-251.
- 12) Mensah, J. K., Obadoni, B. O., Eruotor, P. G. and Onome-Irieguna, F. 2006. Simulated flooding and

- drought effects on germination, growth, and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.). Afr. J. Biotechnol. 5:1249-1253.
- 13) Malik, M. A., Saleem, M. F., Cheema, M. A. and Ahmed, S. H. A. M. I. M. 2003. Influence of different nitrogen levels on productivity of sesame (*Sesamum indicum* L.) under varying planting patterns. Int. J. Agric. Biol. 5:490-492.
 - 14) 近藤智子・田代 亨・マッパオナ・吉田重方. 1995. ゴマ生育・収量・品質に及ぼす土壌酸度の影響 (日本土壌肥料学会中部講演要旨集 (その1)). 日本土壌肥料学会講演要旨集. 41 ; 343.
 - 15) 田代 亨・岡江優樹・平野正真・橋口武史. 2009. ゴマ (*Sesamum indicum* L.) の収量と品質に及ぼす施肥量の影響. 日本作物学会講演要旨集. 228 ; 60-61.
 - 16) Shehu, H. E., Kwari, J. D. and Sandabe, M. K. 2010. Effects of N, P and K fertilisers on yield, content and uptake of N, P and K by sesame (*Sesamum indicum*) . Int. J. Agric. Biol. 12:845-850.
 - 17) 石井良実・田代 亨. 2010. リン酸肥料がゴマの収量と品質に及ぼす影響. 日本作物学会関東支部会報. 25 : 76-77.

■特別講演 2

ゴマリグナン生合成の解明と、分子から考える「ゴマの来た道」

サントリーグローバルイノベーションセンター株式会社

小埜 栄一郎

1. はじめに

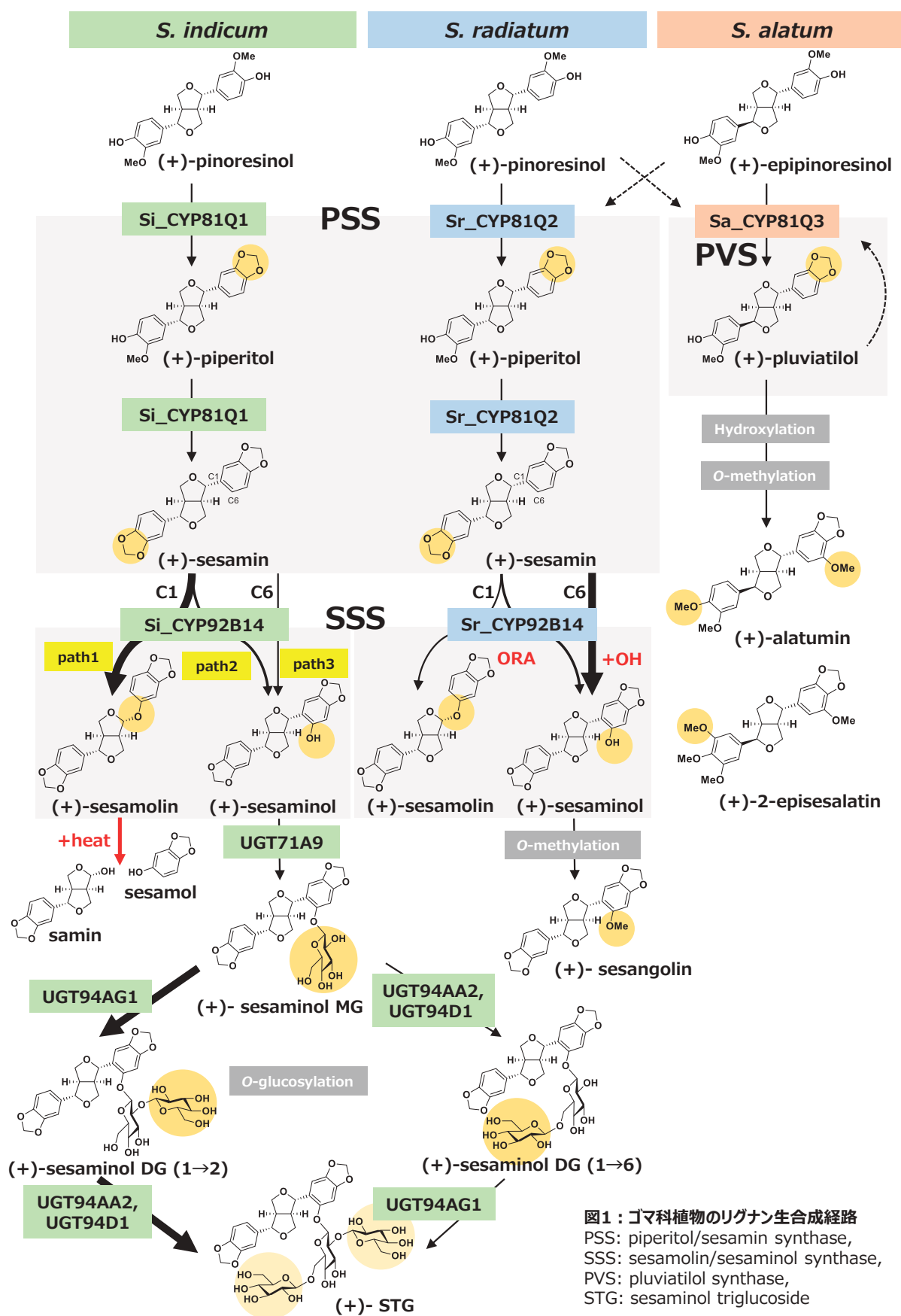
セサミンに代表されるゴマリグナンは多様な生物活性を有しているものの、同じフェニルプロパノイドから派生するフラボノイド類に比べるとリグナン生合成の理解は乏しい。しかし近年はポドフィラムのトランスクリプトーム解析やシロイヌナズナのメタボローム解析を通じてリグナン生合成酵素が単離されているが^(1,2)、我々のアプローチも含め、植物特化代謝（二次代謝）に関連する遺伝子の探索において指標は以下の2点に集約される。1）配列から推定される酵素機能（構造＝触媒保存性）と、2）同一代謝にリクルートされている酵素群は共発現（同所性）するという仮定に準拠している⁽³⁾。

かつて酵素精製により活性に基づいて分離／精製されていた酵素の知見が増えるにつれ、特定の酵素ファミリーに属する酵素によって触媒されていることが明らかになり、酵素遺伝子の配列情報を手掛かりに探索が可能となった。例えばシトクロム P450 モノオキシゲナーゼ (CYP) や UDP-糖依存的糖転移酵素 (UGT) がそれに当たる代表例である^(4,5)。更にゲノム／トランスクリプトーム解析が進みコンピューター中で候補遺伝子を絞り込むことが可能となった。そこでの重要な知見は、それらの酵素ファミリーは多くの植物ゲノム中に 100 コピーを超えるような多重化したスーパーファミリーを形成しており、配列情報だけでは標的候補を絞りきれないという新たな問題を生んだ。

しかしながら遺伝子発現解析が進むにつれ、リグナンに限らず植物特化代謝に関わる遺伝子は共発現するという傾向にあることが広く知られるようになった。言い換えれば植物は必要なときに必要な場所で酵素遺伝子を駆動させて生合成するように進化して来たという知見に基づいて遺伝子探索が可能となった。この2つの基準により標的生合成酵素遺伝子の絞込み効率も格段に向上した。

ゴマ科 (Pedaliaceae) の栽培ゴマ (*Sesamum indicum*) においてセサミンやその酸化された代謝物であるセサモリンやセサミノール配糖体は代表的なリグナン代謝物である⁽⁶⁾。残念ながら現在もゴマにとってリグナン類の具体的生理的役割は不明であるものの種子の登熟過程の特定の時空間において生合成されるように調節されている。セサミンが種子特異的な貯蔵タンパク質の一種である Steroleosin B と結合する事実から⁽⁷⁾、リグナン類がゴマ種子の貯蔵や発芽といった何らかの生理／生態学的な機能を有していることを示唆するが、現在もゴマにとってセサミンの具体的役割は不明である。疎水性の高いリグナン類はアマ、オリーブ、ベニバナ、サンショウなど油脂作物によく見られる植物特化代謝物であることから油脂貯蔵に共通する関連性も示唆される。さらにリグナンは植物のみならず昆虫、土壤微生物や腸内細菌によって代謝されることが近年相次いで報告されている^(8,9,10)。圃場や胡麻粕から単離されたリグナン代謝酵素を持つ微生物の存在は^(10,11,12)、ゴマリグナン代謝も植物体内で完結するのではなく、栽培環境や体内環境を形成するマイクロバイームというマイクロな生態学的視点から捉え直すきっかけとなっている。

ここでは上記の植物特化代謝の保存された特徴を基に同定されたゴマリグナン生合成酵素の機能解析を通じてリグナンがどのようにゴマ種子内で生成されるかを酵素活性から概説する。さらに同定されたリグナン生合成酵素遺伝子の一つであるセサミン合成酵素である CYP81Q の分子系統関係からアフリカを起源とする *Sesamum* 属の系統進化についても考察したい⁽¹³⁾。



2. ピペリトール／セサミン合成酵素の同定

栽培種のセサミン合成酵素 (Si_CYP81Q1) は、初期リグナンであるピノレジノールを基質とし、2つの芳香環に対してメチレンジオキシ環 (methylenedioxy bridge: MDB) を形成し、ピペリトールを経てセサミンに変換する PSS 活性を有する (図 1) ⁽¹⁴⁾。Si_CYP81Q1 はピノレジノールとピペリトールに対する同程度の基質特異性を有しており、過剰なピノレジノールを与えた場合に最初はピペリトールが優先的に生成し、その後徐々にセサミンの生成が上がってくることから、中間生成物 (ピペリトール) が、一旦基質ポケットから排出され、初期基質 (ピノレジノール) と同程度の親和性で再び酵素に取り込まれることを示唆する。また、阻害アッセイにおいて基質である (+) - 体のピノレジノールと同じ立体化学を有するリグナン類だけが阻害効果を発揮したことから、立体異性体の三次元構造を認識することが示された ⁽¹⁵⁾。次に、セサミンを作るゴマ野生種の *S. radiatum* から Sr_CYP81Q2 を特定し、同等の PSS 活性を確認した。基質のピノレジノールの対称的な構造を考えると、Si_CYP81Q1 および Sr_CYP81Q2 の共通祖先酵素はピペリトール合成反応という中間段階を経ずに最初から二段階反応を触媒する PSS として生じたという可能性が考えられる。

一方、*S. alatum* は例外的にセサミンを種子に蓄積しないゴマ野生種であるが、その代わりにメチル化フロフラン型リグナンであるアラツミンや 2- エピセサラチンを蓄積する。同種から単離された Sa_CYP81Q3 は種子で発現するものの (+) - 体のピノレジノールとは反応しない。しかし (+) - 体のエピピノレジノールと反応し、MDB を 1 つ形成してプルビアチロールを生成する ⁽¹⁶⁾。エピピノレジノールにも MDB を形成可能な芳香環は 2 つあるが、エピ体では MDB は 1 つしか形成できない。これは、Sa_CYP81Q3 はかつて他の PSS と同様に (+) - 体のピノレジノールを基質としていたのだが、その後 (+) - エピピノレジノールを受容するようになった際に、過去の基質特異性の名残が制約となって、異性化した方の芳香環に反応できないと推測される。未反応の芳香環はその後、水酸化やメチル化を受けてトリメトキシ環となり、この種に特徴的な 2- エピセサラチンに変換される。

このように単独の CYP の基質特異性の変化が新たな特化代謝への引き金になる場合も詳細に見ると、過去の PSS としての構造上の制約を受けていることと、さらにそれにより生成した新たな代謝物に対して酸化酵素やメチル化酵素がリクルートされていることが見てとれる ⁽¹⁷⁾。従って代謝進化は完全に自由に改変できるわけではなく、種毎にゲノム内に持ちあわせる酵素リソースは各酵素に固有の進化的な活性履歴があり、それによる触媒制約を背負っているのである。そう考えると特定の酵素遺伝子の多重化とその後の機能分化というのは、1 つの酵素で無限の活性を担うことができない物理化学的制約を克服するための生物学的打開策だと考えられる。

3. セサモリン／セサミノール合成酵素の同定

栽培ゴマにはセサモリンとセサミノールという 2 種の酸化されたセサミンが存在する。後者は水酸基を持ち、そこにグルコースが 3 つ転移したセサミノールトリグルコシド (STG) という水溶性リグナンとして存在する。セサミン合成酵素である Si_CYP81Q1 と共発現する Si_CYP92B14 はセサミンを酸化するが、セサミンの C1 位の酸化反応をきっかけに ORA と名付けた興味深い反応経路を経てセサモリンとセサミノールの 2 種の生成物を同時生成する ⁽¹⁸⁾。芳香環が切り離された反応中間体が C-O 結合する (path1) か、C-C 結合する (path2) かによって、セサモリンまたはセサミノールが生成する。重水素ラベル化セサミンの酵素反応生成物の解析によって ORA 反応において芳香環が一度基質から切り離された反応中間体を経ることが確認され、さらにセサモリンやセサミンによる CYP92B14 の反応阻害もこの反応を支持した。特筆すべきことに、セサミノールは ORA を介さずにセサミンの C1 位の隣の C6 位が直接水酸化されて生じる

(path3) という 2 つ目のルートも経由していた。つまり本酵素は 1 つの基質から 2 つの生成物を生じさせるのであるが、1) C1 位または C6 位の酸化、そして 2) C1 位酸化の場合は C-C または C-O カップリングの 2 箇所のオルタナティブポイントがあり、この 1 基質から 3 ルートを経て生じる 2 つの生成物は、酵素の特異性の曖昧さが生み出す多様性の好例と言えるだろう^(19,20)。また、Si_CYP92B14 はセサミノールやセサモリンの未反応側の芳香環は酸化しない。おそらく基質認識には酸化反応を受ける反対側の構造も関与していると考えられる。

前述のゴマ野生種の *S. radiatum* ではメチル化セサミノール (セサンゴリン) を種子に蓄積しており、セサモリンはほとんど蓄積していない。このことから、セサミンから選択的にセサミノールが生成してメチル化される代謝経路が予想される。そこで同種のセサミン合成酵素である Sr_CYP81Q2 と同調的に発現する Sr_CYP92B14 を評価したところ、予想されたように path1 でセサモリンを生成する活性はほとんど検出されず、主生成物としてセサミノールが得られた。その生成過程は path2 より path3 がメインであった。このように同じゴマ属で同じ基質と反応する CYP92B14 のオルソログ同士であっても、詳細なレベルでは反応機構が変化し、生成物比が異なった⁽²¹⁾。そこで、野生種型 (Sr) と栽培種型 (Si) の CYP92B14 オルソログ間に存在するアミノ酸多型、特に基質ポケットに配置されるアミノ酸はその酵素内触媒パスを規定していると予想されるため、両種の相互置換変異体を評価した。その結果、野生種型のアミノ酸に置換した栽培種型における T121V/A313S/S317A/T318V の 4 重変異体は C6 位の直接水酸化は変化がないものの、セサモリン合成を行う path1 が抑制され、path2 によるセサミノール合成型が増加し、野生種型の触媒反応に近づいた。一方、栽培種型に置換した野生種型の 4 重変異体ではセサモリン型への活性変化は認められなかった。この結果は、酵素進化が野生種型の path2 から栽培種型の path1 を獲得する方向で生じたことを示唆する。つまり野生種型への活性変化は先祖型への変化であり、いわば栽培種型に進化する際に獲得した path1 の機能を欠失した結果と考えられるが、逆方向の変化は機能獲得であるために 4 アミノ酸は酵素進化において必要条件ではあるが、十分条件を満たしておらず、野生種型の 4 重変異では path1 の獲得に至らなかったと解釈できる。前述の CYP81Q3 と同様に、CYP92B14 も過去の酵素活性歴による制約を受けて進化していることが示唆される。

栽培種型は path1 を介したセサモリン合成が優勢だが、ゴマにおけるセサミン・セサモリン自体の生理・生態学的役割は不明である。しかし、ゴマを利用する人間からしてみると、セサモリンは加熱により抗酸化活性が極めて高いセサモールとサミンに容易に分解されることから、セサモリンは抗酸化性物質の前駆体としてゴマ種子の保存や搾油された油脂の酸化劣化防止というメリットがある⁽²²⁾。我々の祖先がゴマを栽培化する過程で酸化劣化の少ない系統を繰り返し選抜してきた結果、栽培種では意図せずに path1 が強化された栽培種型の Si_CYP92B14 に進化してきたのかもしれない。

4. セサミノール配糖体化酵素の同定

セサミノールは反応性の高いフェノール性水酸基を持つが、野生種の *S. radiatum* ではメチル化を受けてセサンゴリンになるのに対して、栽培種ではグルコースが付加され、さらにそのグルコースの C2 位と C6 位にグルコースが付加された STG として存在している。配糖体は植物特化代謝物に頻繁に観察される構造であるが、専ら UGT スーパーファミリーの酵素が配糖体化反応に関与している⁽⁵⁾。基質であるセサミノールや同一代謝上の酵素遺伝子との同所性を基に UGT 遺伝子を評価したところ、STG の 3 つのグルコースは全て異なる UGT によって触媒されていることが分かった^(23,24)。UGT71A9 はセサミノールのアグリコンの芳香環の水酸基に対して最初のグリコシル化反応を触媒し、最初のグルコースに対して UGT94D1/UGT94AA2 は 6-O- β -グリコシル化を、UGT94AG1 は 2-O- β -グリコシル化を触媒する。UGT94AG1 と UGT94D1/UGT94AA2 は相同性が高く、配糖体糖に特異的に糖を転移する GGT (glycoside-specific UGT) に属し、

同じ基質であるセサミノールモノグルコシドに反応するが位置特性が異なる。また、一方の GGT 酵素によってグリコシル化されたセサミノールジグルコシドに対してもグリコシル化を触媒できる点は共通している。このように末端の特化代謝は比較的新しく形成されたゆえに支流に別れたり合流したりする網目状で、まだ 1 本の主流路に収束していない可能性が高い。またセサミノール配糖体に限らず、GGT の配糖体糖に対する 2 位または 6 位の位置特異性は例外もあるものの種を超えておおむね保存されており、陸上植物の種分化の初期において配糖体糖への位置特異性が先に確立され、その後それぞれの GGT 酵素群が固有の配糖体基質に特異性を発展させたのだと推察される。

STG 生合成に関わる GGT の反応速度論パラメーターに基づけば、2 糖目のグルコシル化は UGT94AG1 による 2 位が UGT94D1/UGT94AA2 による 6 位よりも優先的に起きると考えられる。これは酵素が基質と単独で相互作用したときの振る舞いを数値化したものであり、実際には細胞内は反応に促進的あるいは阻害的に働く分子に溢れていると考えられる。最近では、同一植物特化代謝上の酵素群が複合体（メタボロン）を形成し、局所的に細胞機能を区画化することで代謝効率を高めていると考えられている⁽²⁵⁾。メタボロン形成の利点は中間産物の毒性（自己中毒）回避や⁽²⁶⁾、基質濃縮、アロステリック調節の進化、そして生成物を次の酵素へ分子チャネリングすることによって、反応速度論だけでは語り尽くせない酵素間代謝の最適化が可能となる点である。現在もメタボロンを直接観察して評価することは技術的に困難だが、いくつかの CYP が小胞体膜状の足場となって、UGT を含むその他の可溶性酵素群と物理的に相互作用している例が報告されている^(25,27)。

STG に関わる UGT と CYP を酵母のツーハイブリッド系（Y2H）で相互作用を解析したところ、UGT71A9、UGT94AA2、UGT94AG1 が直接 CYP81Q1 と相互作用することが分かった⁽²⁴⁾。UGT 同士の相互作用は観察されなかったが、基質前駆体を与える上流酵素である CYP81Q1 の近傍に下流の UGT 酵素がリクルートされることで基質濃縮効果が期待された。CYP81Q1 は PSS という触媒としての役割に加え、修飾酵素群の足場の役割を担うことで代謝の最適化に寄与しているのだろう。視点を外に向けるとソルガムの青酸配糖体（CYP71E1/CYP79A1/UGT85B1）や動物の薬物代謝経路（CYP2B/CYP2C/CYP3A2/UGT1A/UGT1B1）において CYP と UGT が相互作用することが報告されており^(27,28)、この 2 種の酵素の触媒連携はゴマに限らず広く生物界で営まれているようである⁽²⁹⁾。植物特化代謝物の多くが O-配糖体で蓄積することから、今後益々この 2 種の酵素連携が明らかになると予想される。さらに特筆すべきことは、CYP92B14 の触媒活性が CYP81Q1 との共存により活性化するということである⁽¹⁸⁾。Y2H 系では CYP92B14 と CYP81Q1 の直接相互作用は観察されなかったが、生成物や代謝中間体によるアロステリック効果や相互作用促進といった未解明のメタボロン調節機構が介在している可能性が示唆される。

5. まとめ：暫定版ゴマの来た道とリグナン研究の展望

このようにゴマのリグナン生合成酵素の全貌を、遺伝子構造と同所性を基に特定することができた⁽³⁰⁾。セサミン合成酵素は、栽培ゴマのゲノム中に 1 コピーであるために⁽¹⁴⁾、この配列情報を使ってゴマの系統進化を推定した。栽培ゴマを含め 10 種のゴマ科からゲノミック PCR により CYP81Q 遺伝子を特定し、最尤法により分子系統樹を作成した（図 2）。その結果、CYP81Q は 4 つのグループに分類された。最外側にシソ目ハエドクソウのセサミン合成酵素の CYP81Q38 が配置され⁽¹⁰⁾、その次に 2n=26 の染色体数のゴマ科の系統が配置されるが、*S. alatum* と *S. capense* という 2 種の CYP81Q3 のグループが先に分岐し、それに次いで栽培種 *S. indicum* と *S. mulayanum* (*S. indicum* subsp. *malabaricum*) の CYP81Q1 が配置され、さらに内側に CYP81Q2 と CYP81Q4 のグループが配置される。特筆すべきは 2n=32 のグループが最深部に位置することから、これらが 2n=26 のグループから派生したということと、2n=64 である *S. radiatum* には 2 コピーの CYP81Q が存在しており、それらが Q2 と Q4 の異なるグループに属すること

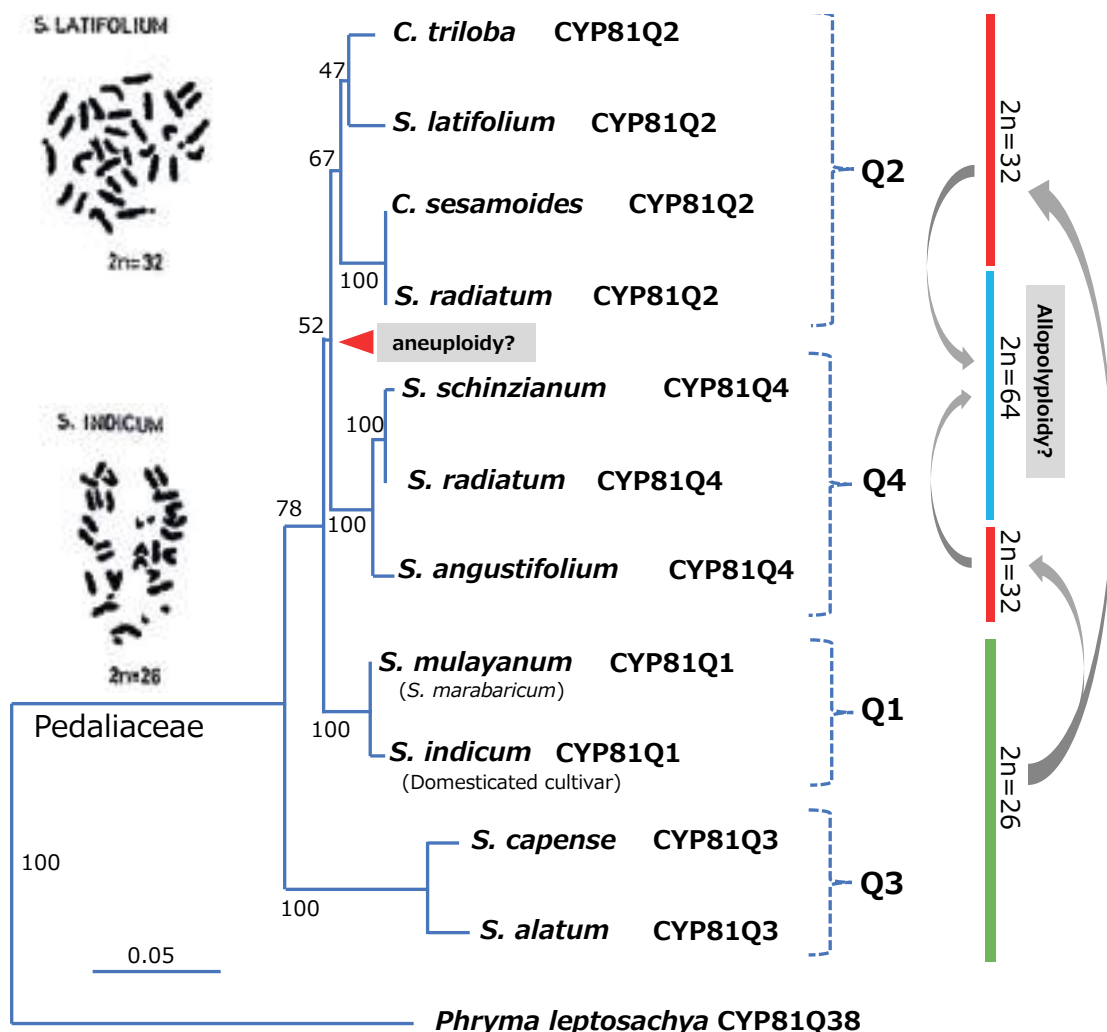


図2 : ゴマ科植物のCYP81Q遺伝子から推定された分子系統樹 (最尤法)
 PhyML ln(L)=-6244.6. 1545 sites (100 rep.). 染色体図はIhlenfeld HD. and Grabow-Seidensticker U.
Taxonomic Aspects of African Economic Botany, p53-60 (1979).より一部転載。S.; *Sesamum*, C.; *Ceratotheca*

である。この結果は *S. radiatum* が $2n=32$ の系統から全ゲノム重複 (autopolyploid) により $2n=64$ 型の染色体構造を持ったのではなく、Q2 ($2n=32$) のグループの種と Q4 ($2n=32$) のグループの種が交雑 (allopolyploid) することで進化したハイブリッド種であることを示唆している。この CYP81Q の分子樹形が種の系統樹を反映するかは今後のゴマ野生種のゲノム解析により精査する必要があるが、ゴマ属の系統進化や栽培化を理解する上での暫定的な道標となるだろう⁽³¹⁾。

6. 引用文献

- 1) Lau W., and Sattely, ES. *Science* 349, 1224-1228 (2015).
- 2) Yonekura-Sakakibara K., et al., *Plant Cell* 33, 129-152 (2021).
- 3) Chae L. et al., *Science* 344, 510-513 (2014).
- 4) Kawai Y. et al., *Plant J.*, 78, 328-342 (2014).
- 5) Yonekura-Sakakibara K. and Hanada K. *Plant J.* 66, 182-193 (2011).
- 6) Andargie M. et al., *Molecules* 26, 883 (2021).

- 7) Tera M. *et al.*, *Sci. Rep.*, **9**, 8631 (2019).
- 8) Bess EN. *et al.*, *Nat. Microbiol.*, **5**, 56-66 (2020).
- 9) Schroeder FC. *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **103**, 15497-15501 (2008).
- 10) Kumano T. *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **113**, 9087-9092 (2016).
- 11) Nair A. *et al.*, *PLoS ONE* **8**, e60538 (2013).
- 12) Sakurai A. *et al.*, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **82**, 1518-1521 (2018).
- 13) 小林貞作, ゴマの来た道. 岩波新書, 東京 (1986).
- 14) Ono E. *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **103**, 10116-10121 (2006).
- 15) Noguchi A. *et al.*, *Plant Biotech.* **31**, 493-503 (2014).
- 16) Ono E. *et al.*, *Plant Cell Physiol.* **59**, 2278-2287 (2018).
- 17) 小埜栄一郎ほか, バイオサイエンスとインダストリー **78**, 386-389 (2020).
- 18) Murata J. *et al.*, (2017) *Nat. Commun.* **8**, 2155 (2017).
- 19) 堀川学ほか, 化学と生物 **56**, 738-746 (2018).
- 20) 山本将之ほか, セサミニュースレター. **33**, 32-36 (2018).
- 21) Harada E. *et al.*, *Plant J.* **104**, 1117-1128 (2020).
- 22) Wan Y. *et al.*, *J. Sci. Food. Agric.* **95**, 2571-2578 (2014)
- 23) Noguchi A. *et al.*, *Plant J.* **54**, 415-427 (2008).
- 24) Ono E. *et al.*, *Plant J.* **101**, 1221-1233 (2020).
- 25) Nakayama T. *et al.*, *Front Plant Sci.* **10**, 821 (2019).
- 26) Li J. *et al.*, *Science*, **371**, 255-260 (2021).
- 27) Zhang Y. and Fernie, AR. *Plant Commun.* **2**, 100081 (2021).
- 28) Ishii Y. *et al.*, *Drug Metab. Pharmacokinet.* **22**, 367-376 (2007).
- 29) Jensen NB. *et al.*, *Nat. Commun.* **2**, 273 (2010).
- 30) 小埜栄一郎ほか, ファルマシア **57** (8) , 715-720 (2021).
- 31) Gormley IC. *et al.*, *Sys. Bot.* **40**, 259-268 (2015).

7. 謝辞

堀川学博士、村田純博士、白石慧博士、原田英里砂博士、野口秋雄博士、和氣駿之助教、山本将之講師、河瀬眞琴教授、山口雅篤教授、中山亨教授に厚く御礼申し上げます。

■特別講演 3

セサミノール配糖体の分解の代謝生理学

東北大学大学院工学研究科バイオ工学専攻

中山 亨

1. はじめに

ゴマリグナンの1種であるセサミノール (SML, 図1) はそれ自体で強い抗酸化活性を示し, ヒトの健康に好ましい様々な効果を示すことから, 健康食品素材や化粧品素材として注目を集めている [1]. SML は, ゴマ種子中では, 分岐三糖グルコース配糖体 (セサミノールトリグルコシド, STG; 図1) として蓄積する [1]. 最近, STG の生合成経路の全体像がほぼ明らかにされ, そこに関与するシトクロム P450 や糖スクレオチド依存性糖転移酵素 (UGT) 遺伝子も同定された [2]. このように近年, SML の健康増進効果やその配糖体の生合成についての理解が進む一方で, ゴマ種子中に含まれる SML 配糖体が種子の発芽とともにどのような代謝的運命をたどるのか, またそもそも SML 配糖体の蓄積がゴマ種子にとってどのような生理的意義をもつのかについて, 検討はあまり進んでいない [1]. 1995年に, ゴマ発芽にともないセサミノール二糖配糖体や未同定のリグナン配糖体が子葉に蓄積することが示されているが [3], そのさらなる詳細は不明のままである. 本講演では, この点に取り組んだ研究を紹介する.

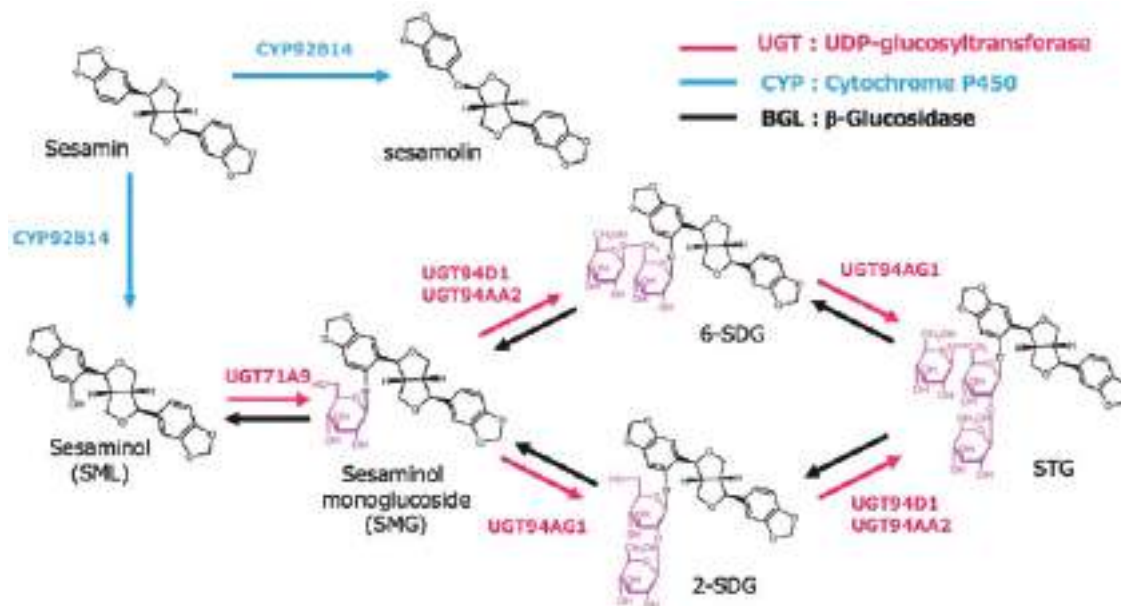


図1. ゴマリグナン配糖体の生合成と分解

2. ゴマ種子の発芽における STG およびその関連代謝物の動態

吸水させたる紙上にゴマ種子 (真瀬金) を静置し, 暗所にて 25°C で 5 日間インキュベートし, STG およびその関連化合物の組成の変化を経時的に追跡した (図2). その結果, 吸水前からゴマ種子中に含まれていたセサミン, セサモリン, STG の含量は吸水後一過的に増加し, セサミンとセサモリンは 1 日目を, ま

た STG は 2～3 日目をピークにして減少に転じた。一方, 吸水直後にゴマ種子中にほとんど検出されなかった SML の二糖グルコース配糖体 (2-SDG, 図 1) の含量が時間依存的に増大し, 5 日目に SML 配糖体の中で最多となった。

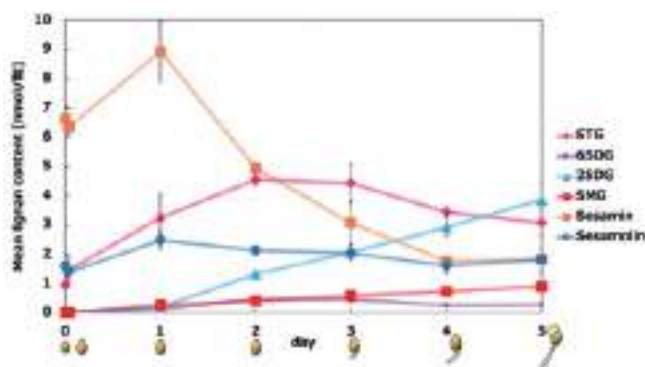


図 2. 発芽後のリグナン含量の推移

さらに, ゴマ種子中に存在しなかったエピセサミノンの分岐三糖グルコース配糖体 (ETG) が吸水後に出現し, 2～3 日目をピークにして減少する一方で, その二糖グルコース配糖体 (2-EDG) の含量が時間依存的に増大していった。この ETG と 2-EDG の挙動は, それぞれ STG と 2-SDG のものに類似していた。リグナンの嵩高い構造のため, STG, 2-SDG, および 2-EDG 分子中に含まれる β -1,2- グルコシド結合は難分解性とされ [4], これを分解できる β - グルコシダーゼ (BGL) は, これまでのところ, 限られたものしか知られていない [5, 6].

3. ゴマ種子発芽過程における SML 配糖体の合成と分解の活性の推移

種子発芽による上述のリグナン配糖体の組成変化は, 配糖体の生成と分解をそれぞれ司る UGT や BGL の活性のバランスが発芽過程で変化することによるものと考えられた。このことを確かめるため, 上述の発芽過程における両酵素活性の変化も経時的に追跡した。その結果, STG 生合成に関わる 3 種類の UGT 活性 (SML \rightarrow SMG, SMG \rightarrow 2-SDG, SMG \rightarrow 6-SDG, 図 1) はいずれも発芽後 1~2 日で急速に減少することがわかった。一方, 種子の発芽後に STG や 6-SDG の β -1,6- 結合を分解する BGL 活性 (β -1,6-BGL 活性) が増大し, 発芽三日目に最大となった。 β -1,2-BGL 活性や SMG 分解 BGL 活性は認められなかった。種子発芽にともなうこうした配糖体の生成と分解の活性の推移は, ゴマが発芽時に 2-SDG や 2-EDG を蓄積させる上述の結果を合理的に説明するものと考えられた。

4. 種子発芽時のセサミノール配糖体分解を司るゴマ BGL 遺伝子の同定

種子発芽時のセサミノール配糖体分解を司るゴマ BGL を同定するため, ゴマのゲノムデータベース等を用いて候補遺伝子 (SiBGL) を検索した。植物特化代謝物配糖体の分解には, 多くの場合, グリコシドヒドロラーゼ (GH) ファミリー 1 (GH1) の β グリコシダーゼが関与することが知られている。また近年, STG を効率よく分解して SML を生成する微生物が見いだされ, そこには GH ファミリー 3 (GH3) の BGL が関与することが示されている [5,6]。そこでこの検索では GH1 や GH3 に属する酵素 (SiBGL) を対象とした (図 3)。

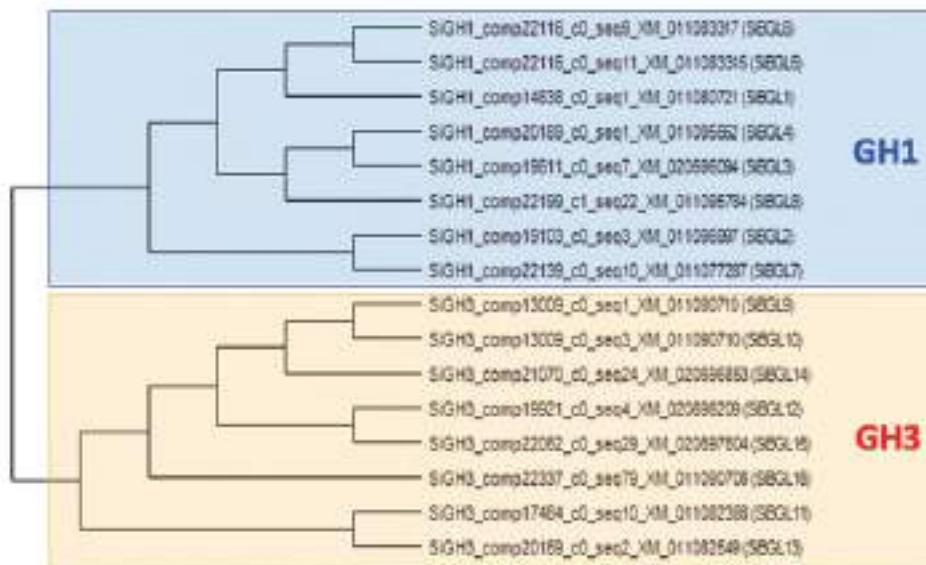


図 3. ゴマの SiBGL 群の系統関係

発芽ゴマ種子のトランスクリプトーム解析を行ってこれらの SiBGL 遺伝子の発現挙動を調べ、前節において述べた BGL 活性挙動に合致して発芽後に発現が上昇する遺伝子を検索した。その結果、4 種類の SiBGL 遺伝子 (GH1, 3 つ; GH3, 1 つ) が選抜された。それらの cDNA を単離して大腸菌の菌体内に異種発現させたところ、これらのうち 2 種類の GH1 SiBGL が可溶性タンパク質として発現したが、発現産物に酵素活性は認められなかった。

そこで次に、発芽ゴマ種子から、STG 分解に関わる BGL の単離精製を試みた。発芽後 3 日目のゴマ種子の抽出液を、陰イオン交換、陽イオン交換、ヒドロキシアパタイトなどの各種カラムクロマトグラフィーに順次供し、各クロマトグラフィーにおける酵素活性とタンパク質の溶出挙動がよく一致するタンパク質バンドを同定した。同タンパク質を LC/MS/MS 解析に供してその部分アミノ酸配列を決定した。決定されたアミノ酸配列に基づいて同タンパク質をコードする cDNA を取得した。現在この cDNA を大腸菌の菌体内に異種発現させ、発現産物の機能解析を試みている。

5. 微生物 BGL による SML 配糖体の分解とその構造的基盤

ゴマ絞りかす含有土壌から単離された KB0549 株 (*Paenibacillus* 属細菌) は、STG を SML にまで分解する能力をもつ土壌微生物であり、そのゲノム中には高い β -1,2-BGL 活性を示す二つの GH3 BGL 遺伝子 (*PSTG1*, *PSTG2*) がタンデムにコードされ、オペロンを形成している [5,6]。前述のように、STG の酵素的分解が困難であることの一因は、STG の β -1,2-グルコシド結合を含むグリコン部分の分岐構造や SML の嵩高い構造にあると考えられている。そこで、STG を効率よく分解する *PSTG1* のユニークな特異性を立体構造の上から理解するため、その立体構造モデルをホモロジーモデリングにより作製した。モデリングの鋳型には、好熱性グラム陰性細菌 *Thermotoga neapolitana* の BGL である TnBgl3B とグルコースの複合体の結晶構造 (pdb id: 2X41) を用いた。TnBgl3B は 721 アミノ酸残基からなり、753 アミノ酸残基からなる *PSTG1* との配列相同性は 44% である。TnBgl3B のグルコース複合体結晶構造などから推定されている 8 つのグルコース結合残基は、*PSTG1* の一次配列上に全て保存されていた。SwissDock を用い、*PSTG1* の立体構造モデルと TnBgl3B の結晶構造を標的として、*PSTG1* の基質分子 (STG, 6-SDG, 2-SDG) のドッキングシミュレーションを試みた。その結果、6-SDG が *PSTG1* モデルの推定活性部位付近に結合する解

が、自由エネルギーを指標としたスコア上位に得られた。この結果を TnBgl3B のグルコース複合体構造と重ね合わせた場合、6-SDG とグルコースが非常に近接して配置され、STG が PSTG1 によって分解される際、6-SDG とグルコースがこのような配置をとる可能性が示唆された。標的を TnBgl3B とした場合の同様な計算ではそのよう解は得られず、TnBgl3B の活性部位周辺は SML 配糖体基質に対して、大きな立体障害を持つことが示唆された (図 4)。以上のことから、PSTG1 のユニークな基質特異性は、STG の立体構造にフィットし嵩高い基質を収容しうる広い基質結合ポケット構造によって、少なくとも部分的には説明できるものと考えられた。

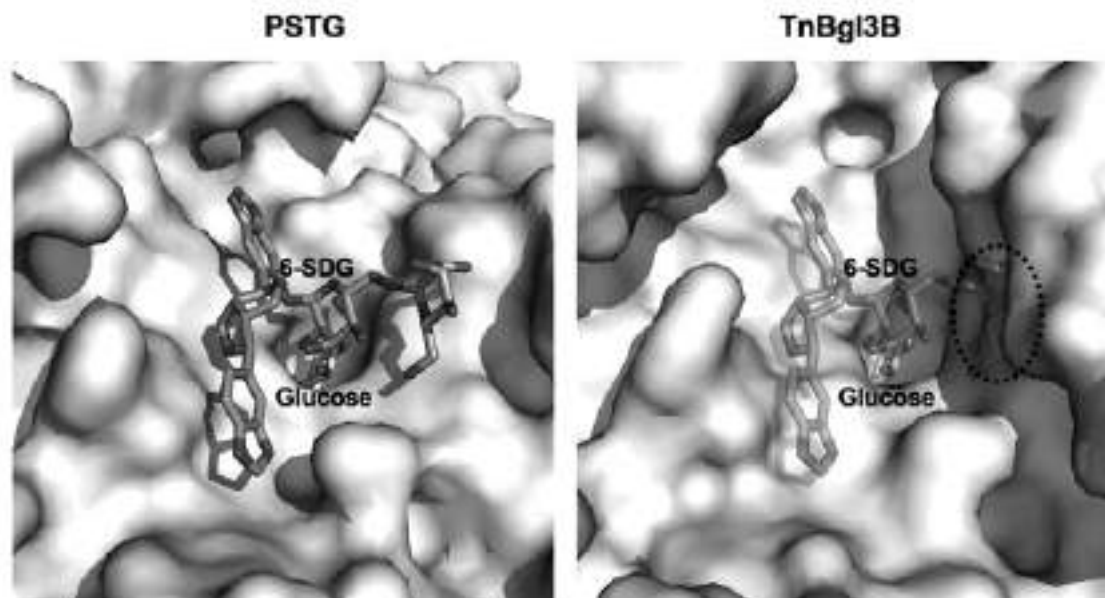


図 4. PSTG1 (左) および TnBgl3B (右) と基質分子 (6-SDG) のドッキングシミュレーション。リガンドと酵素分子の間の立体障害を点線丸で示す。

6. 結言

ゴマ種子中のセサミンや STG は、種子の発芽にともなって 2-SDG や 2-EDG に代謝され、難分解性の β -1,2-結合を含む配糖体の形で蓄積することがわかった。またそれらの蓄積に関わるゴマの新しい BGL 遺伝子を同定した。発芽後 5 日目までは β -1,2-BGL 活性は検出されなかったため、これらの難分解性配糖体とその後どのような代謝的運命をたどるのか、その解明は今後の課題である。上述のように STG 分子内の β -グルコシド結合を効率よく分解できる土壤微生物が存在し、また近年、リグナンのメチレンジオキシ環を特異的に分解する土壤微生物と酵素も報告されている [7]。これらのリグナン分解酵素はいずれも基質によって誘導される誘導酵素である。これらの結果は、特定の土壤微生物の増殖を介して、2-SDG や 2-EDG がゴマと土壤微生物の相互作用に利用される可能性を示唆している。SML 配糖体の代謝的運命について、今後、ゴマ植物体の中で完結させるのではなくゴマ植物体と他の生物との相互作用を含めたより広い視点で明らかにしていく必要があるかもしれない。

7. 謝辞

ゴマ種子中の STG 分解の研究は、小埜 栄一郎博士 (サントリーホールディングス)、堀川 学博士および村田 純博士 (サントリー有機科学研究所) のご協力の下、東北大学大学院工学研究科バイオ工学専攻応用

生命化学講座において工藤紫苑さん、高橋 征司博士、和氣 駿之博士らとともに実施いたしました。また、STGの微生物分解に関する研究は、清本鐵工株式会社、山口 雅篤教授（南九州大学）、山下 哲 准教授（金沢大学）との共同研究として実施されました。共同研究者の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] Andargie, M.; Vinas, M.; Rathgeb, A.; Möller, E.; Karlovsky, P. Lignans of sesame (*Sesamum indicum* L.): A comprehensive review. *Molecules* **26**, 883 (2021).
- [2] Ono, E.; Waki, T.; Oikawa, D. Murata, J.; Shiraiishi, A.; Toyonaga, H.; Kato, M.; Ogata, N., Takahashi, S.; Yamaguchi, M.; et al. Glycoside-specific glycosyltransferases catalyze regio-selective sequential glucosylations for a sesame lignan, sesaminol triglucoside. *Plant J.* **101**, 1221–1233 (2020).
- [3] Kuriyama, K.; Tsuchiya, K.; Murui, T. Generation of new lignan glucosides during germination of sesame seeds. *Nippon Nogeikagaku Kaishi* **69**, 685-693 (1995).
- [4] Katsuzaki, H.; Kawakishi, S.; Osawa, T. Sesaminol glucosides in sesame seeds. *Phytochemistry* **35**, 773–776 (1994).
- [5] Nair, A.; Kuwahara, A.; Nagase, A.; Yamaguchi, H.; Yamazaki, T.; Hosoya, M.; Omura, A.; Kiyomoto, K.; Yamaguchi, M.; Shimoyama, T.; et al. Purification, gene cloning, and biochemical characterization of a β -glucosidase capable of hydrolyzing sesaminol triglucoside from *Paenibacillus* sp. KB0549. *PLoS ONE* **8**, e60538 (2013).
- [6] Sakurai, A.; Hongo, S.; Nair, A.; Waki, T.; Oikawa, D.; Nishio, T.; Shimoyama, T.; Takahashi, S.; Yamashita, S.; Nakayama, T. Identification and characterization of a novel bacterial β -glucosidase that is highly specific for the β -1,2-glucosidic linkage of sesaminol triglucoside. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **82**, 1518–1521 (2018).
- [7] Kumano, T.; Fujiki, E.; Hashimoto, Y.; Kobayashi, M. Discovery of a sesamin-metabolizing microorganism and a new enzyme. *PNAS* **113**, 9087–9092 (2016).

■一般講演 1

小学校におけるゴマの栽培活動を通じた食育学習

○富永万智¹、武田珠美²

(¹宇城市立不知火中学校、²熊本大学教育学部)

【目的】

九州はゴマ栽培に適した環境下であり、昔は多くの家庭で栽培されていた。栄養機能性が高く、家庭だけではなく、学校給食においても4日に1度程度は、サラダや酢の物等にゴマが使われ、子どもたちにとってなじみのある食材と言える。子どもたちの嗜好に関しても、ゴマ嫌いの子はほとんどおらず、食物アレルギーに注意すれば、食育教材として適した作物であると考えられる。

令和3年度から完全実施となった新学習指導要領では、生命の有限性や自然の大切さ、挑戦や他者との協働の重要性を実感するための体験活動の充実が求められている。実際、多くの学校で栽培体験活動が行われている。しかしながら、実態としては時数があまりとれず、児童が栽培に関わることができるのは苗植えや収穫等の一部分であることが多い。ゴマは、播種後ほとんど手がかからず、また3か月ほどで収穫できることから、教科横断的な学習を計画すれば、児童が最初から最後まで栽培に関わることができ、達成感や食物生産の大変さを感じることができるのではないかと予想される。

本研究では、ゴマの栽培活動を通じた食育学習の可能性を具体的に検証することを目的とした。

【方法】

(1) 研究対象校および児童の実態

今回ゴマの栽培活動を通じた食育活動を行ったのは、熊本県上益城郡御船町にある全校児童200名程度の小さな小学校で、4年生19名とした。児童は山や田、川に囲まれた自然豊かな環境の中で生活し、農家世帯の児童も数名いる。しかしながら、休日にはショッピングモールに出かけたり、家でオンラインゲームの中で友達と遊んだりすることが多く、自然体験は減っている状況である。

(2) ゴマの栽培活動

栽培時期は気温によって播種時期を決めた。栽培方法は、2m×3mの学級園に苦土石灰及び化成肥料を播き、3つの畝を作り、黒のマルチをかける。牛乳パックに播種し、発芽後学級園に植え替える。30cm程度に伸びてきたら、支柱を立て補強する。収穫時期を見極め、収穫後の処理を検討した。

(3) 教科横断的な学習計画

理科は専科の学習で、理科では取り扱えないため、栽培及び収穫後の活用は総合的な学習の時間に行い、食育は体育及び学級活動で取り扱った。また、観察記録は図工、ゴマについての調べ学習は国語などとし、内容を検討した。

【結果】

(1) 栽培時期

5月中旬の最高気温は30℃を超え、平均気温も20℃程度であったことから、発芽することを予想し播種した。梅雨の時期には学級園に水が溜まることもあったが、特に大きな問題はなく成長を続け、9月末大型の台風24号が上陸する予報のため、未成熟なものもあったが収穫作業を行った。

(2) 栽培方法

学級児童19名それぞれが牛乳パックに土を入れたものに10粒ずつ播種し、観察した。早いもので5日、

遅いものでは10日程度で発芽した。全く発芽しなかったものもあった。大雨が降った際、雨に濡れる場所にあったため水が入りすぎたこと、土をかぶせすぎたことなどが考えられた。ある程度大きくなったところで間引き、10cm程度に育つまでは牛乳パックで育てた。10cm程度の苗を6月中旬に学級園に植え替えた。梅雨の時期は伸び悩んだが、梅雨明け気温が上がってくると成長が著しくなり、夏休みの間に1m20cm程度まで伸びた。夏休み中の水やりは行わなかった。さやがはじけ始めたものに袋をかぶせ、鎌で刈って収穫した。収穫後は教室内の風通しの良い場所で1か月間乾燥させ、さやが褐色になり開くのを待ち、さやを一つ一つ開いて種子を取り出した。取り出した種子は水で洗って汚れを落とし、天日干しした。

(3) 取り扱い授業とその内容

① 総合的な学習の時間

4年生の総合的な学習の年間のテーマを、「ありがとう大作戦～家族、ふるさとに感謝を～」と設定し、テーマを軸に学習を行った。5月のオリエンテーション時に、ゴマについての説明を行い、地域の方も庭で育てられていることなどを紹介し、ゴマへの関心を高めた。栽培は総合的な学習の時間に取り扱い、3月の二分の一人式や6年生を送る会の中で収穫したゴマの活用を行った。

② 体育及び学級活動

4年生の健康教育は二次性徴とその時期の健康的な生活についての学習が計画されている。バランスの取れた食事や正しい生活習慣について学ぶ中で、ゴマの栄養やバランスの取れた和食中心の食生活について学習した。

③ 図画工作

学習指導要領に示されている学習内容は「A(2)イ 絵や立体、工作に表す活動を通して、材料や用具を適切に扱うとともに、前学年までの材料や用具についての経験を生かし、手や体全体を十分に働かせ、表したいことに合わせて表し方を工夫すること。」であり、ゴマを細部までしっかり見て、水彩絵の具を使って表現した。

④ 国語

学習指導要領に示されている学習内容は、「A(1)ア 目的を意識して、日常生活の中から話題を決め、集めた材料を比較したり分類したりして、伝えあうために必要な事柄を選ぶこと。」であるため、ゴマについてタブレットで調べ、プレゼンを発表する学習を行った。ゴマの歴史、栄養、栽培、料理などいくつかのグループに分かれて学習を進め、それぞれのグループで協力しながらプレゼンを製作していた。

(4) 収穫後のゴマの活用

学級活動のクラス会議の中で収穫後の活用方法について話し合い活動を行い、保護者に育ててくれたことへの感謝を伝えるためのプレゼントを作る、6年生に感謝の気持ちを伝える会を催すということが決まった。総合的な学習の時間に、ゴマクッキーとゴマ塩おにぎりの調理実習を実施し、家族や6年生にふるまった。

【考察】

ゴマは種から育てても3か月で実らせることができ、栽培の技術や特別な機械がなくても栽培可能で、夏季休業中も大変な世話がいらぬこともあり、小学校で栽培するには適した作物であることが分かった。播種から収穫、利用と始めから終わりまですべてを児童の手で行うことができ、愛情や興味を持って取り組む姿が見られ、作物を生産することの大変さ、食べ物への感謝の気持ちを育てることができたと考える。

ゴマの栽培を通じて、国語、図画工作、総合的な学習の時間など教科横断的に幅広く学習することができ、十分に時間数を確保し、学習課程を網羅できる作物であることが明らかになった。

2年間ゴマの栽培を通じた食育学習を行い、同じ場所で栽培したが、連作障害は見られなかった。しかし、その後も同じ場所で続けたときに変化が見られるかどうかは不明なため、検証が必要である。また、ゴマは風に弱い作物であるため、台風が上陸しやすい九州においては注意が必要であり、天候の影響をどのように緩和していくかは工夫が必要である。

■一般講演 2

ゴマ系統におけるセサミノール配糖体の組成分析

○金丸雅典¹、大村文乃¹、清本邦夫¹、山口雅篤²(¹ 清本鉄工(株)、² 南九州大 環境園芸)

【背景・目的】 ゴマの種子は、水溶性のリグナン類として3種類のセサミノール配糖体 (SG) が多く含まれている (図1)。SGの微生物の発酵や酵素処理 (図2) での加水分解によって、機能性成分として利用可能なセサミノールを生産することができる¹⁾。この生産効率を上げるためには、安価なSG高含量のゴマ系統が求められる。そこで、安価な国外産や身近な南九州産のゴマ系統におけるSGの組成分析を行った。これまでのSGの組成分析の研究では、3種類のSGの全てについて定量分析はほとんど行われていない^{2,3,4)}。今回のSGの組成分析では全てのSGについて定量分析を試みた。

【材料・方法】 1) 材料 材料として、国外産のゴマ系統(特にミャンマー産の洗いゴマ)の37類と南九州産(都城市産、三股町産、綾町産および喜界島産の洗いゴマ)のゴマ系統の10種類の種子を用いた(表1)。

2) 方法 種子からのSGの抽出は次のように行った。①種子2.0gを粉碎し、ゴマカスを得た。②次に、このゴマカスに80%エタノールを加えてSGを抽出した。③さらに、抽出液に含まれる3種類のSG(STG、6SDGおよび2SDG)をHPLCで組成分析した。分析条件は次の通りであった。カラム: ODS系カラム(WakosilH5C18HG4.6mm × 250mm)、溶離液: A液(0.1%TFA、10%アセトニトリル)、B液(0.1%TFA、80%アセトニトリル) 溶離条件: B10 ~ 100% (40min)、温度: 35°C、流速: 1.0ml、検出波長: 280nm、注入量: 20 μl、HPLC: 日立ポンプL-2130、検出器L-2420。SGの定量分析用に、市販の標準SG(STG: セサミノールトリグルコシド、6-SDG: 1-6 セサミノールジグルコシドおよび2-SDG: 1-2 セサミノールジグルコシド)を用いて検量線を作成した。

【結果・考察】 1) 国外産のゴマ系統の分析結果 SGの総含量には幅広い変異が認められ、最も低含量の系統は32mg/100gであり、最も高含量の系統は628mg/100gであった(図3)。これらの結果のヒストグラムが図4であり、200 ~ 350mg/100gに多くの分布が認められた。SGの種類毎の総含量の平均値は、STGでは最も高く188mg/100gであり、6-SDGでは23mg/100gであり、2-SDGでは57mg/100gであった。これらの結果をSGの生合成経路に基づいて考察すると⁵⁾、最終産物であるSTGが最も高含量で、中間代謝物の6-SDGがやや低含量で2-SDGが低い含量であった。生合成経路はSMG(セサミノールモノグルコシド) → 2-SDG → STGが主要経路であり、6-SDGはSMGからの分岐経路で合成されるので、このような含量の差が生じたと推定される。2つの系統においては、6-SDGが2-SDGよりも含量が多い結果が得られた。6-SDGは市販のセルラーゼでも容易に加水分解されるので、これらの系統は高含量6-SDGの成分育種の素材として有望である⁶⁾。

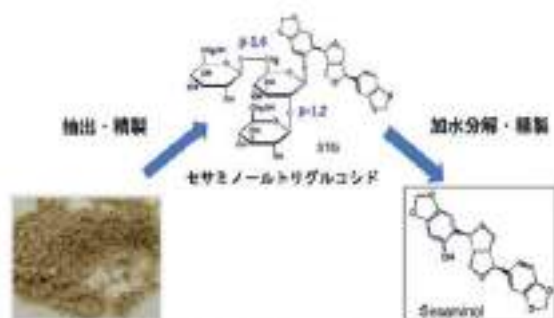


図2 STGの酵素処理によるセサミノールの生産

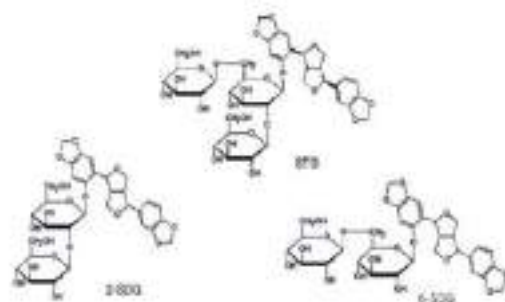


図1 ゴマの種子に含まれるセサミノール配糖体

2) 国内産ゴマ系統の分析結果 SGの総含量は、正規分布から大幅に偏った含量の少ない偏った分布(0~150mg/100g)が認められた(図6)。SGの種類毎の総含量の平均値は、STGでは最も高く66mg/100gで、6-SDGでは9.0mg/100gで、2-SDGでは33mg/100gであり、国外産と同様な傾向をしました。都城市や三股町では江戸時代からの関西への船荷での輸送の歴史があり、SG含量の共通傾向から、南九州での栽培に適した暖地型のゴマ系統の維持と普及が推定される⁷⁾。今後、鹿児島県産なども含めて、暖地型で高含量SG系統の検索を継続していきたい。

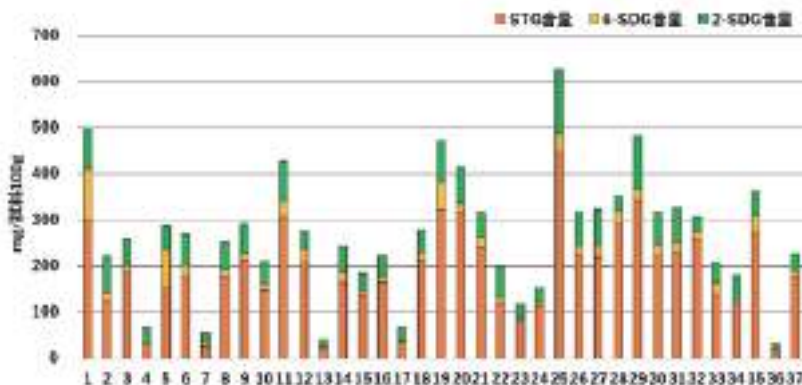


図3 国外産のゴマ系統におけるセサミノール配糖体類の定量分析

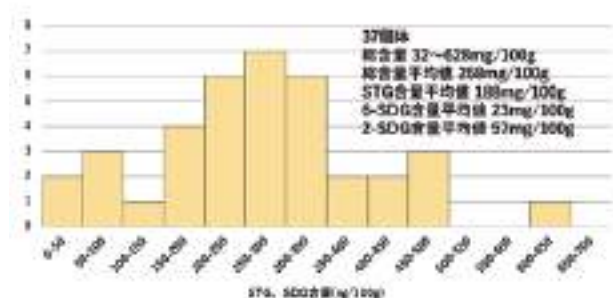


図4 国外産のゴマ系統におけるセサミノール配糖体類含量のヒストグラム

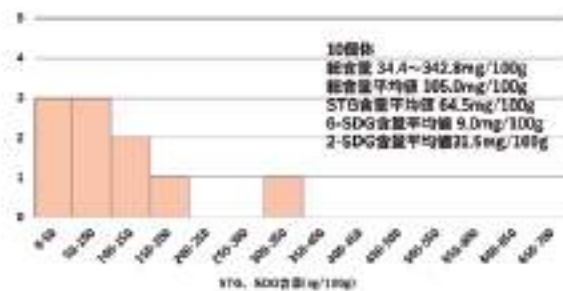


図6 国内産のゴマ系統におけるセサミノール配糖体類含量のヒストグラム

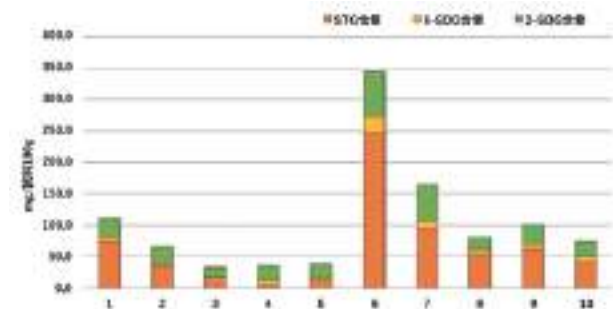


図5 国内産のゴマ系統におけるセサミノール配糖体類の定量分析

表1 ゴマ系統の種類

国外系統(37系統)	
E ヤンマー産	
白ゴマ	(No.1, 5, 11,12,14,19,21,25~36)
黒ゴマ	(No.3,6,7,8,9,15,16,18,20,23,24,37)
国内産(10系統)	
三股産	白ゴマ(No.1,2)、黒ゴマ(No.3)、
	金ゴマ(No.4)
都城市産	白ゴマ(No.5)、金ゴマ(No.6)
綾産	白ゴマ(No.8)、黒ゴマ(No.7)
嘉那島産	白ゴマ(No.9,10)

【引用文献】

- 1) A.Nair et al. (2013). PLoS ONE, 8, e60538.
- 2) 加藤晶子・大瀧直樹・山口雅篤(2015) 第240回日本作物学会講演会要旨集 108.
- 3) 加藤晶子・大瀧直樹・山口雅篤(2017) 第244回日本作物学会講演会要旨集 80.
- 4) A.A. MOAZZAMI, R.E. ANDERSSON, and A KAMAL-ELDIN1. (2006) J. Agric. Food Chem.54 (3), 633-638.
- 5) E.Ono et al. (2020) The Plant Journal 101 1221-1233.
- 6) 山口雅篤(2017) セサミニュースレター 第32回ゴマ科学大会 特別講演要旨 40.
- 7) 川名 登(2005) 近世河川運史 近世日本の川舟研究(下) 838-845. 日本経済評論社. 東京.

■一般講演3

黒ゴマ種子の抗酸化成分：アントラセサモンF

○古本敏夫（香川大学 農学部）

【背景・目的】

ゴマ(胡麻)は、ゴマ科(Pedaliaceae)、ゴマ属(*Sesamum*)に属する一年生の草本であり、油糧作物や食品としてその種子が利用されている。

近年、KimとParkは、黒ゴマ種子にはアントラセサモンF(anthrasesamone F)と呼ばれる新規な成分が含まれていることを明らかにした。この化合物は、ゴマの根や培養根で生産されていることが知られているアントラキノン系化合物(アントラセサモン類)と同じ炭素骨格を持っている。また、彼らはこのアントラセサモンFが白ゴマ種子には含まれていなかったことも報告している。

本講演では、この黒ゴマ種子に特徴的な成分と考えられるアントラセサモンFについて、種子における局在性や含有量の差異・変化などに関する分析結果を報告する。

【結果・考察】

1. DPPHラジカル消去活性

アントラセサモンFは、分子内にカテコール様構造を有していることから、抗酸化活性を持つことが予想された。試験の結果、ビタミンEアナログであるトロロックスよりも強いラジカル消去活性を持つこと、およびカテコール様構造を持たない類縁体(MPAQ)は活性を示さないことが明らかとなった。

2. 種皮色の違いによる差異

同じ時期と圃場で栽培、収穫した黒ゴマ、白ゴマ、金ゴマの種子を抽出し、HPLC分析に供した結果、黒ゴマ種子のみがアントラセサモンFを含有していることが確認された。

3. 種子における局在性

黒ゴマ種子を種皮部分と内乳・胚部分に分けて、それぞれの抽出物をHPLC分析に供した結果、ほとんどが種皮に局在していることが明らかとなった。

4. 種子成熟段階における含有量変化

成熟度が異なる黒ゴマ種子における含有量を分析した結果、種皮の着色後から蓄積が見られ始め、成熟が進むにつれて含有量が増加することが明らかとなった。また、ゴマの収穫時に行われる風乾処理によっても、含有量が増加することが確認された。

5. 加熱や光による含有量変化

異なる温度・時間で加熱処理した黒ゴマ種子における含有量の変化を分析した結果、170°Cでは有意な増減は見られなかったが、190°C以上では時間と共に含有量が減少することが明らかとなった。一方、明所、室温で5週間放置した場合は、含有量に有意な変化は見られなかった。

6. 市販の黒ゴマ種子における含有量

食品用として販売されていた黒ゴマ(煎りゴマ4品目、洗いゴマ1品目)について含有量を分析した結果、自ら栽培・収穫したものと比較してかなり低い含有量であった。

【引用文献】

- 1) K. S. Kim, S. H. Park. Anthrasesamone F from the seeds of black *Sesamum indicum*. Biosci. Biotechnol. Biochem., 72, 1626-1627 (2008).
- 2) T. Furumoto, K. Nishimoto. Identification of a characteristic antioxidant, anthrasesamone F, in black sesame seeds and its accumulation at different seed developmental stages. Biosci. Biotechnol. Biochem., 80, 350-355 (2016).

■ ポスター講演 1

Elucidation of the Molecular Responses of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Leaves to Waterlogging Stress using Transcriptome Profiling

Ju-Young Choi¹, Sang-Heon Choi¹, Young-Hwan Ju¹, Hyun-Jin Jung^{1,7}, Swapan Kumar Roy^{1,6}, Soo-Jeong Kwon¹, Ki-Hyun Kim⁴, Hyen-Chung Chun³, Seong-Woo Cho⁵, Yoon-Sup So¹, Moon-Soon Lee², Yong-Gu Cho¹, Koki Homma⁷ and Sun-Hee Woo^{1*}

¹Dept. of Crop Science, Chungbuk National University, Korea

²Department of Industrial Plant Science & Technology, Chungbuk National University, Korea

³Crop Production Technology Research Div, National Institute of Crop Science, RDA, Korea

⁴Division of Crop Research, Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, Korea

⁵Dept. of Agronomy and Medicinal Plant Resources, Gyeongsang National University, Korea

⁶IUBAT—International University of Business Agriculture and Technology, Bangladesh

⁷ Graduate School of Agriculture, Tohoku University, Japan

Introduction

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is a promising oil-rich seeds that have many potential health benefits and have been used in folk medicine for thousands of years. However, most field crops, including sesame, are highly sensitive to waterlogging, which can result in stunted growth and emerge as a major cause of the decrease in sesame production. To date, the molecular mechanisms underlying the responses to waterlogging in sesame remain unclear. Therefore, the present study was conducted to identify the genes related to the stage-specific responses of sesame growth in order to understand the molecular mechanism of sesame seeds against excessive waterlogging stress, and to explore the mechanisms underlying the dynamic metabolic pathways of the related genes.

Materials and methods

The seeds of sesame were collected from the Rural Development Administration, Korea. To observe the molecular alterations caused by waterlogging stress in sesame leaves, the present study was carried out in a glass greenhouse under paddy soil conditions. The seedlings were subjected to waterlogging condition maintaining 2 cm of soil surface at 2nd and 10th leaf stages, and treated for 5-days. Total RNA of the leaves was extracted using RNeasy Plant mini Kit. Through RNA sequencing, five top-enriched differentially expressed genes (DEGs) were considered to validate the reliability of the RNA libraries that were highly related to waterlogging stress.

Results

A total of 2,126 common genes were identified from both 2- and 10-leaf stages. Pathway analysis revealed that the top five metabolic processes related to waterlogging stress were starch and sucrose metabolism, photosynthesis, plant hormone signal transduction, glycolysis/gluconeogenesis, carbon fixation in photosynthetic

organisms. Of the 2,126 genes, a total of 37 genes were involved in starch and sucrose metabolism whereas sucrose-synthesizing gene was reduced under waterlogging stress. In addition, genes that produce glycogen by cleaving starch were reduced. In photosynthesis pathway, a total of 30 genes were involved. Reduced expression of the genes related to PS II RC was caused by waterlogging stress. In addition, the expression of plastocyanin, a protein that acts as an electron carrier, was reduced under waterlogging stress. In plant hormone signal transduction pathway, a total of 29 genes were investigated. In this experiment, genes that prevent auxin production and deficiency through the biosynthetic pathway that produces indole, a precursor of auxin, were increased by waterlogging stress. A total of 28 genes were involved in Glycolysis / Gluconeogenesis pathway. Due to the lack of oxygen caused by waterlogging stress, the expression of PDC and ADH-related genes using pyruvate as a substrate was increased. Glycolytic enzymes phosphoglucomutase and enolase-related genes were also reduced. A total of 24 genes involved in carbon fixation in photosynthetic organisms were investigated. Decreased expression of alanine-producing glutamate-- glyoxylate amino-transferase was identified in this study. In addition, fructose-1, 6-bisphosphatase-related genes were decreased as the pH of stroma decreased.

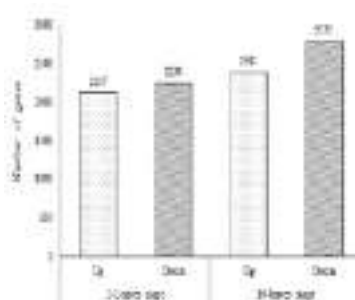


Fig. 1. Differentially expressed genes (DEGs) identified from 2- and 10-leaf stage.



Fig. 2. Venn diagram of DEGs expressed in 2- and 10-leaf stage.

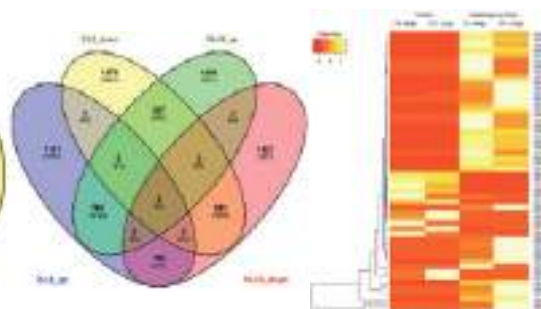


Fig. 3. Venn diagram of common and unique genes in each comparison group expressed in 2- and 10-leaf stage.

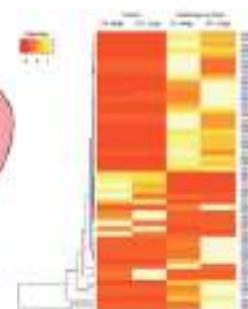


Fig. 4. Heat map analysis of DEGs from 2- and 10-leaf stage. The bar represents the scale of the expression levels of each gene (log₂ FPKM) in each sample, as indicated by red/yellow rectangles.

Acknowledgement

This work was supported by a grant from the Agenda project (No. PJ01228605) of the RDA, Republic of Korea
 *Corresponding Author E-mail: shwoo@chungbuk.ac.kr

■ポスター講演 2

ビニールハウスでのゴマの折りたたみ乾燥機システムを利用した品質改善と省力化技術開発

Technical Development for Quality Improvement and labour-saving Using Sesame Folding Dryer System in Vinyl House

Ki-Hyun Kim^{1*}, Young-Sang Kim¹, Ik-Jae Kim¹ and Sun-Hee Woo²

¹Division of Crop Research, Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, Korea

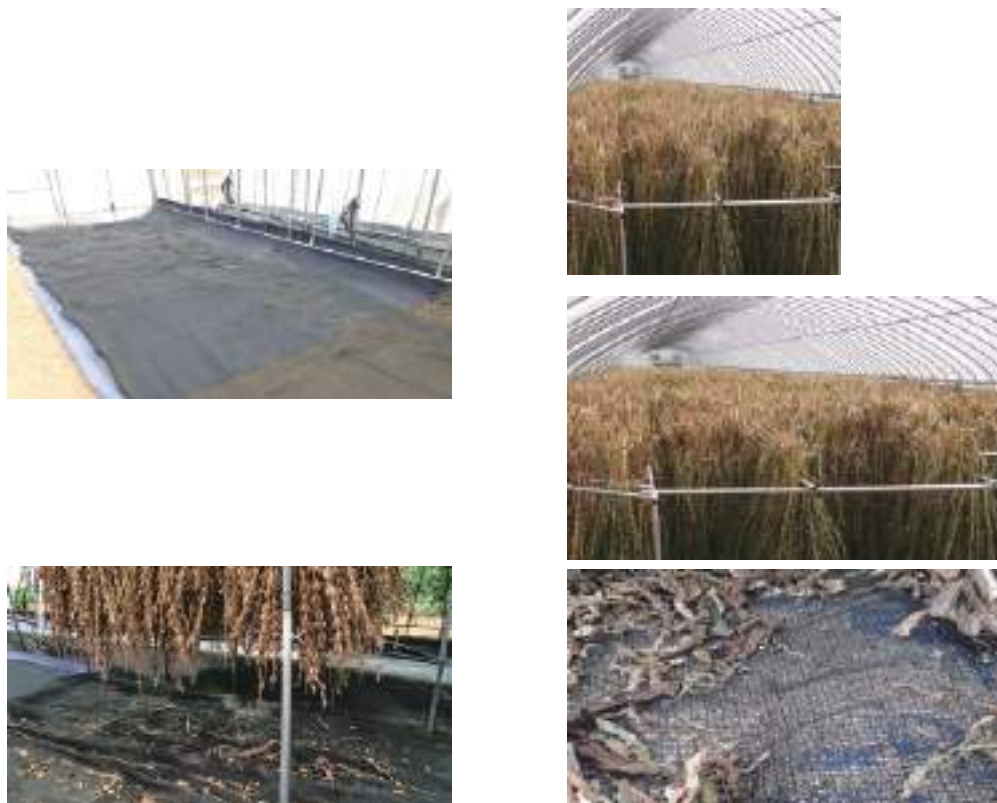
²Department of Crop Science, Chungbuk National University, Korea

[背景・目的]

ゴマは、収穫後、ほとんどが露地で乾燥される。乾燥中の台風と豪雨などによる乾燥不良が、病害虫の発生や品質の低下につながり、収穫量が減少した。また、一般に、3～4回にわたる脱穀作業は、余分な労働力を要するため、収穫後の乾燥・脱穀作業は、農家にとって大きな問題であった。本試験は、ゴマの収穫後、ハウス内の折りたたみ式農作物物干しでゴマを逆取付けすることによって自然に脱穀される脱穀と同様の効果を利用して、乾燥方法が改善される効果を究明するために実施したものである。

[方法・結果]

ゴマ収穫後の乾燥方法別の乾燥の特性を調査するために、忠清北道農業技術院内畑圃場と清原区付近の農家の畑でゴマを栽培した。公示品種はゴンバクゴマ (Gunbaek Sesame) を使用した。栽培方法はゴマ標準栽培法に準じ、播種は5月上旬、栽植距離 30 × 20cm で直播し、収穫は最下位のゴマが実った8月10日頃にした。収穫後は、30～35個の団を縛った施設ハウス内の折りたたみ式物干しに逆さまに取付けた。露地乾燥処理区は、収穫後、4つの段を互いに寄りかかようにして立てた後、ビニールで2/3程度を覆い、雨に当たらぬよう処理した。物干しの取付け間隔ごとに異なる乾燥特性を調査するために、取付け間隔は10～13cm から22～26cm までの4区間で処理し、取付け間隔に応じた乾燥所要日数、乾燥物量、腐敗率を調査した。乾燥方法別脱穀回数は、露地乾燥は3回、折りたたみ式物干し処理区は、1回脱穀した。脱穀完了後お脱穀量を調査した。乾燥中の損失量については、床に微細網を敷いて強風と降雨時、ゴマが損なわれないようにし、調査を実施する前に、床に落ちているゴマの重量を調査した。乾燥中の水分含有量と減耗率は、収穫後4日置きで16日目までに5回にわたる調査を実施した。水分含有量については、ゴマ茎の水分は、木材の水分簡易測定器 (testo606-1) を使用して調査した。減耗率は、処理別に35個ずつ束ねた5つの束を3回反復シラベリングして調査時期別の重量を測定した。



<ハウス型折りたたみ式農作物物干しを利用したゴマ省力乾燥システムの模式>

ゴマ収穫後の乾燥方法別の乾燥特性を調査した結果、折りたたみ式物干し処理区の乾燥所要日数は、減耗率とゴマ茎の水分含有量を基準に見ると、ゴマ収穫後、12日経過時80%、水分含有量は、12日経過した時点で12%、収穫後12日程度かかることが分かった。露地処理区の乾燥所要日数は減耗率は、収穫後16日経過時79%、水分含有量は、16日経過した時点で、12%、乾燥所要期間が16日程度かかることが分かった。折りたたみ式物干し乾燥処理が、4日程度乾燥日数が速いことが分かった。折りたたみ式物干し取付け間隔に応じた乾燥特性を調べた結果、取付け間隔が10~13cmの処理区は、取付け段数が7段、乾燥可能量は、5300株/セット、乾燥所要日数は25日程度かかった。通気性が悪く、腐敗率と病害虫による被害を受けた葉が13%発生した。取付け間隔が13~17cmの処理区は、取付け段数が6段、乾燥可能量は4,600株/セット、乾燥所要日数は16日程度かかり、腐敗率は5%発生した。取付け間隔が17~22cmの処理区は、取付け段数が5段、乾燥可能量は3,800株/セット、乾燥所要日数は12日程度で、腐敗及び被害を受けた葉は発生していなかったため、折りたたみ式物干しに最適な取付け間隔であった。

[謝辞]

本研究は農村振興庁アジェンダ研究事業「作付体系適応エゴマ品種別生産性評価」(課題番号: PJ012501052018)の支援により行われた。

* Tel. 043-220-5572, E-mail: ares1390@korea.kr

■ポスター講演 3

Responses of Growth Characteristics of Sesame (*Sesamum indicum* L.) to Waterlogging Stress

Sang-Heon Choi¹, Ku-Hyun Kwon¹, Ju-Young Choi¹, Young-Hwan Ju¹, Tae-Woong Yun¹, Soo-Jeong Kwon¹, Swapan Kumar Roy^{1,4}, Ki-Hyun Kim³, Hyen-Chung Chun², Tae-Young Hwang¹, Jwakyung Sung¹ and Sun-Hee Woo^{1*}

¹Dept. of Crop Science, Chungbuk National University, Korea

²Crop Production Technology Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Korea

³Division of Crop Research, Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, Korea

⁴IUBAT—International University of Business Agriculture and Technology, Bangladesh

Introduction

In Korea, crops are introduced into the paddy fields through crop rotation in order to increase the utilization of arable land and increase income. The cycle of returning from paddy to field has been continuously increasing since 2008. Recently, the cultivation area and production of sesame are also increasing every year, and accordingly, the cultivation of sesame in the rice fields is increasing drastically. However, most field crops, including sesame, displayed very sensitive to waterlogging stress, so there are concerns about a decrease in yield due to waterlogging stress when grown in paddy fields or soil with poor drainage. Therefore, this study was conducted to determine the growth characteristics of sesame seeds most sensitive to immersion stress.

Materials and methods

The seeds of sesame (*Sesamum indicum* L. var. Gunback) were collected from the RDA, Korea. Experiments were carried out in a greenhouse of paddy soil condition. The seedlings were exposed to waterlogging stress for 5-days at 2- and 10-leaf stage maintaining 2 cm flooding above the soil surface. For each experimental group, stem length, chlorophyll content (SPAD-502 plus, Konica Minolta, Japan), stem diameter, and leaf thickness were measured immediately after over-humidity treatment and every 24 hours after treatment, from day 0 to day 5. All growth characteristics were investigated based on the topmost leaf of the plant.

Results

As a result of investigating changes of stem length under waterlogging stress, the most significant difference was observed in the 2- and 10-leaf stages. Chlorophyll content was significantly decreased in all treatments regardless of growth stage. Leaf thickness was increased initially and temporarily decreased due to swelling. Though there was no statistical significance in the difference of stem diameter under waterlogging stress compared to untreated plants.

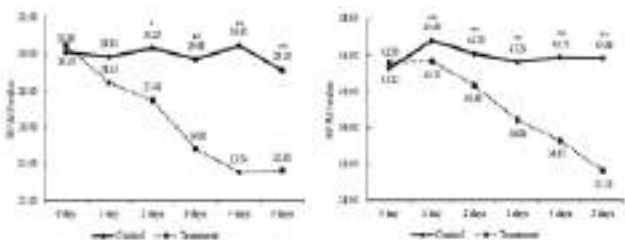


Fig. 1. Effect of waterlogging stress on chlorophyll content at 2- (left) and 10-leaf stage (right). The asterisks “*”, “**”, “***” indicates significant differences between untreated seedlings and waterlogging stress at $p < 0.05$ and $p < 0.01$ (t-test).

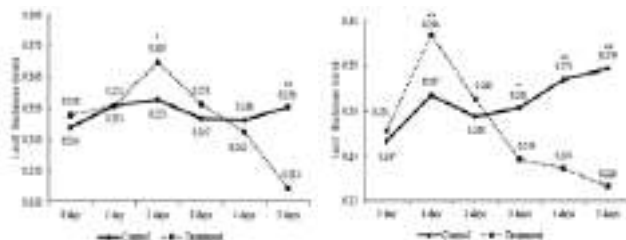


Fig 2. Effect of waterlogging stress on leaf thickness at 2- (left) and 10-leaf stage (right). The asterisks “*”, “**”, “***” indicates significant differences between untreated seedlings and waterlogging stress at $p < 0.05$ and $p < 0.01$ (t-test).

Acknowledgement

This work was supported by a grant from the Agenda project (No. PJ01228605) of the RDA, Republic of Korea

*Corresponding Author E-mail: shwoo@chungbuk.ac.kr

食品のおいしさの考え方とデータサイエンス

山野善正* 次田隆志**

1. はじめに

食は生の原点である。700 万年前に人類が誕生し、現人類の直接の祖先であるホモサピエンスは 20 万年前に誕生したといわれているが、爾来、わが人類は安定した食の確保を求めて世界に広がり、人口を増やしてきた。その過程において、人間のもの・現象に対する感覚は民族・文明とともに大きく変化し、それらを表現する言葉も変化してきた。現在、日本では、「男性では自分以外にまだ遭遇していない」という共感覚者を自任する岩崎純一（女性では複数の人と会っている）は、その著書¹⁾の中で、種々の感覚を一緒に知覚するという。例えば、色と匂いは切り離せない関係にあるという。また、色に限っても、日本人は縄文・弥生期には白、黒、赤、青しか認識せず、奈良時代にはこの 4 要素の占める領域が変化し、平安から江戸時代までに上記 4 色に緑と黄色が加わり、明治の開国後は現在用いられている色相により色を知覚（表現）してきたという。同書の内容は豊富で到底記述しきれないが、実際、日本人は今でも青と緑の区別をしない例がある。つまり、交通信号の緑を青信号というが、これは古来の感覚と表現の名残である。

同氏はまた、男性は明治後の洋風化の影響が大きく古来の感覚を失っているが、女性は男性とは異なる感覚を維持していると述べている。確かに、他の研究者が示しているように、国によって、食物の色により嗜好性が異なる等の例²⁾もあり、今後の研究の深化が望まれる。今回紹介する内容は、共感覚者の視点からはもちろん論じないが、現在の一般的な認識や表現を前提としてお断りしておく。ただし、今後、文化的・経済的な面で、また、その民族、地域の文化的な観点からの議論が必要になっ

てくると思われる。

本稿では著者の考える、おいしさの定義を整理する。おいしさの要素の知覚生理学的については簡単に要約するとどめ、主としてその評価法につき述べたい。本記事は総説的な内容であるため、他の記事と重なる部分も多いがその点をご容赦願いたい。

2. おいしさとは何か

2-1 おいしさの要素と五感

食べ物を口に入れるとき、安全性、栄養性が重要であることは言うまでもないが、おいしさもまた重要な要素であることは疑いもない。前二者は科学・技術の進歩により内容が変化することがあっても、科学的な探求により、その機能を数値として示すことはできると考えられる。しかし最後のおいしさは感覚の世界であるので、客観的にデータ化することはなかなか難しい点がある。それでも、知覚に関する生理的、文化的な面から研究が進み、その進歩は加速されつつある。おいしさの要素や定義は各研究者により大きく異なる。そこで、筆者がこの分野に関係してきた経験に基づき、科学的、文化的に使用されて来た表現を整理し、図 1 にこれらをまとめて示した³⁾。



図 1. おいしさの要素と五感の関係³⁾

* 一般社団法人おいしさの科学研究所理事長

** 岡山学院大学人間生活学部 教授

また、実際に食品を口にする際、食品の持つおいしさの3要素である、味、匂い、テクスチャーを感じる順序を図2に整理した³⁾。ちなみに、「美味しさ」でなく「おいしさ」とするのは、厳密にいうと前者は字の上で「味」だけになるからである。「香り」でなく「匂い」とするのは、後者の方が悪い匂いも含め広い意味を表しているからである。また、「テクスチャー」というカタカナを用いるのは、食感以外に、色・外観、温度、音等の物理的感覚を含む適切な日本語がないからである。



図2. おいしさ知覚の順序

2-2 おいしさの知覚に関する研究

上記に示した各要素のうち、味覚は、主として舌の上にある味蕾細胞にある受容体により知覚され大脳に伝達されることは周知の事実であり、例えば山本の著書^{4) 5)}を参考されたい。最近では、水溶性でない油脂の味と嗜好性に関する研究が進みつつある^{6) 7)}。舌の上での油脂の分解物である脂肪酸を知覚するとかあるいは食道などの消化管に受容体があるのでは等の研究である。

匂いに関しては、鼻に存在する嗅粘膜の受容体 (人間の場合約400) で知覚されるが、パーセプトロンのような仕組みで、匂いの違いをとらえ前頭葉に伝えられる。口中に入れる前の匂い (オルトネーザル) と口中で咀嚼中に感じるもの (レトロネーザル) がある。以上の2つの知覚は成分の化学的特性によるので、化学的なおいしさと言っている。

一方、物理的感覚であるテクスチャーであるが、いわゆる食感、力学的刺激を口中の皮膚のある圧点で感じるし、色や外観は目で、音は鼓膜で、温度は温点 (痛点) で知覚される。なお、トウガラシ等

の辛味は温点と同じ仕組みで知覚されるとされる。

2-3 化学的な要素と物理的な要素

上に述べた、化学的なおいしさ (味とにおい) と物理的なおいしさ (テクスチャー) のどちらが重要視されているかの調査は、早くからなされており現在もほとんど変わらないと想定されるので、そのデータを紹介したい。松本らは、種々の層 (食の専門家など) における調査⁸⁾を行っているが、それらをまとめたものを図示化して図3に示す。これによると概して液体状の食品は化学的な、また固体状食品は物理的なおいしさを重要視していることがわかる。

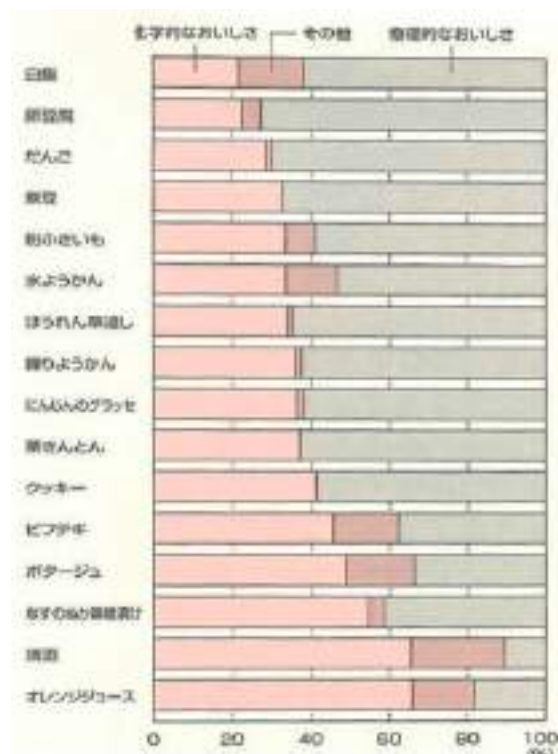


図3. 化学的おいしさと物理的おいしさ⁸⁾

3. おいしさの要素の数値化—評価法—

3-1 おいしさの要素の評価法

現時点でのおいしさの要素の評価法は、機器による (客観的) か、実際の人間による (主観的) かであり、それらを整理すると、図4のようになる。ただ、それぞれ、欠点や限界がある。課題については表1を参照されたい。これらについては今後改良、発展が期待される。



図4. おいしさ要素の評価法

表1. おいしさ評価における課題

味覚センサー	テクスチャー測定器	匂いセンサー	官能検査
<ul style="list-style-type: none"> 味覚受容体および伝達神経そのものではないので、各味覚成分のモデルが代表的なもので、すべての味覚成分の強度を正確にとらえていない。 マスキング現象などの相互効果の把握に限りがある。 味の持続性は原則として測定できない。 	<ul style="list-style-type: none"> 静的法では、一般に圧縮、引張操作を原則としているが、咀嚼や嚥下機能そのものを反映していない。 柱々にして、テクスチャー表現用語に合致する指標が得られない。 他の測定器、たとえば、動的粘弾性測定装置、粘度計なども、テクスチャーそのものの測定装置ではない。 測定温度の制御に限りがある。 	<ul style="list-style-type: none"> 嗅覚受容体そのものではないので、測定器によるが、GC/MS方式では、特定の匂い成分をとらえられない。 金属半導体方式では、限定された匂い要素に限られ限界がある。 オルトネーザルとレトロネーザルの違いを見るには、サンプル採取に工夫を要する。 	<ul style="list-style-type: none"> 日本における食材が多種に及ぶので、それぞれの食品に合致するおいしさを表す用語の選定に手詰まりを要し、パネルの養成が容易ではない。 不安定要素を抱える人間の状態を一定に保つのが困難である。 100%の結果はないので、統計処理することになり、おのずと信頼度に限界がある。

3-2 おいしさ要素の機器測定

現在、実際に使用されている方法を以下に列挙する。

(1) 味覚センサー

それぞれの味覚成分を特異的に吸着する高分子脂質膜を電極として、味覚成分の吸着による電位変化から、味の強度を比較する方法がよく用いられている。このセンサーの原理等については、発明者の都甲氏の書籍⁹⁾及び販売者の(株)インテリジェントセンサーテクノロジーの解説記事¹⁰⁾を参照されたい。この方法は、液体でも固体でも、電極に反応する水溶液状態にしなければならない点が問題であるが、工業的な品質検査等使い方を考えれば有効である。ちなみにテレビ番組で、我が国へのウイスキーの導入のドラマが放映されていた際に、スコッチと我が国のウイスキーについて分析したところ¹¹⁾、世界的にも折り紙付きとなっている日本のウイスキー

が本場スコッチのどれに近いかがよく示された。

(2) 匂い分析計

実用化が進んでいるのは、以下の二種類である。一つは、GC/MS分析を行い、試料のスペクトルの強度の比較を行い、強度変化の大きなもの(10~20)を選んで、それを多変量解析してサンプルの特性を比較する方法であり、もう一つは、いくつかの匂いの種類、例えば、エステル系、硫黄系等の成分を特異的に吸着する金属半導体による方法である。詳細については、前者はアルファ・モス・ジャパン(株)を、後者は(株)島津製作所の解説書を参照されたい。

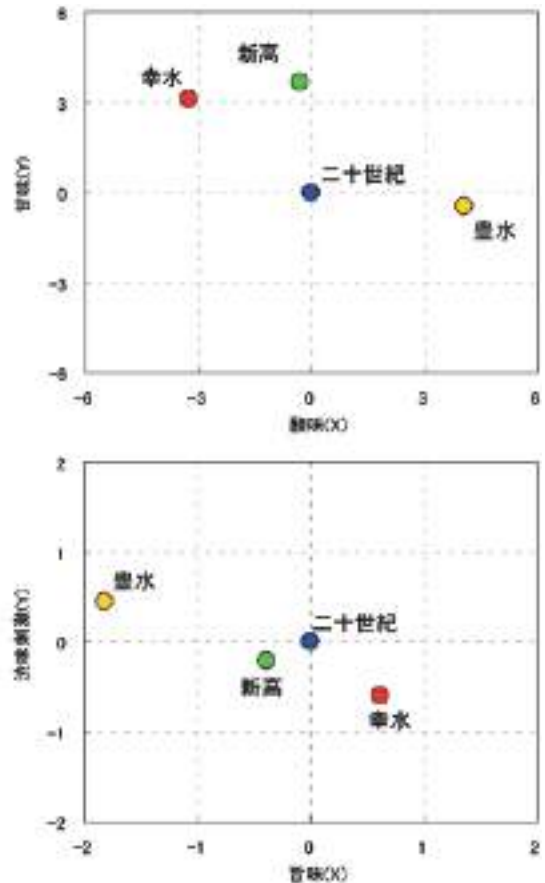
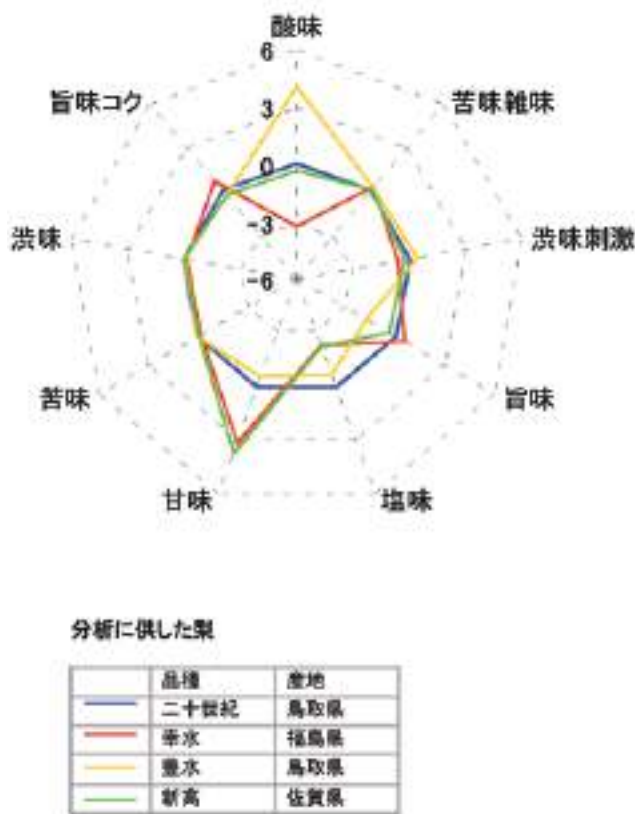
(3) テクスチャー測定機

①力学的な方法¹²⁾、②音響学的な方法¹³⁾、③組織観察¹⁴⁾、④画像解析¹⁵⁾等が用いられている。①及び②については、一般的なレオロジー関係の出版物の他、筆者監修の書籍¹²⁾を参照されたい。

3-3 おいしさ要素の機器測定の実例

3-2 で述べた3つの測定器を用いて市販の4種類の梨について測定した結果をまとめて以下に示した。図5に示すように味にはそれぞれの特徴があり、図6に示すように匂いについては、二十世紀と幸水が似ていることがわかる。また、硬さの違いは明白で、新高>二十世紀>豊水>幸水の順となっ

ている(図7)。さらに、図8及び図9に示すように、梨らしい香りがあるものが廉価であるという傾向にあるのは現代の果実に対する嗜好性の表れであるかもしれない。残念ながら、この一連の試験では官能検査を実施していないので、官能検査をしていれば、より興味ある結果が得られたと思われる。



(注) 二十世紀を0としたときの相対値

図5. 味覚測定結果

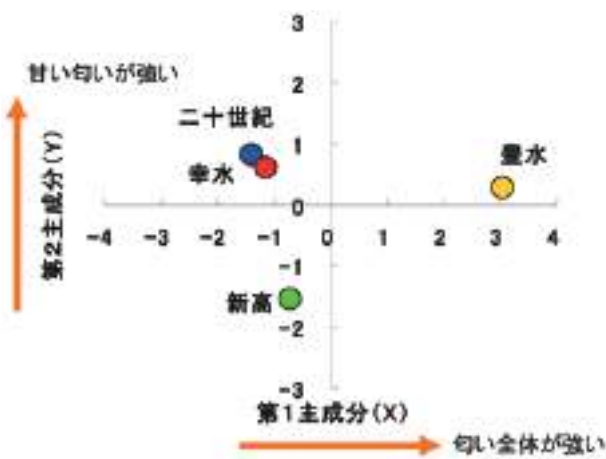


図6. 匂い測定結果

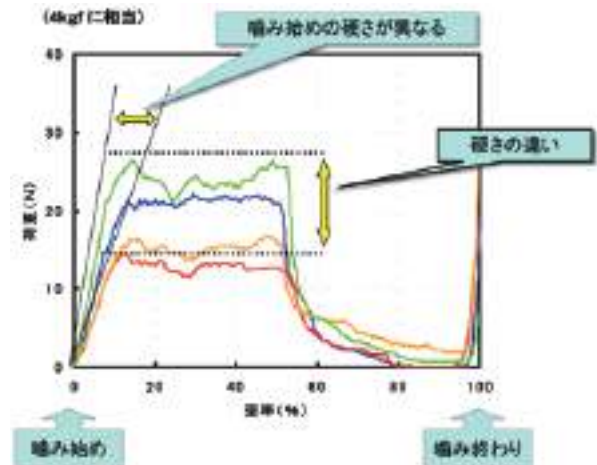


図7. テクスチャー測定結果

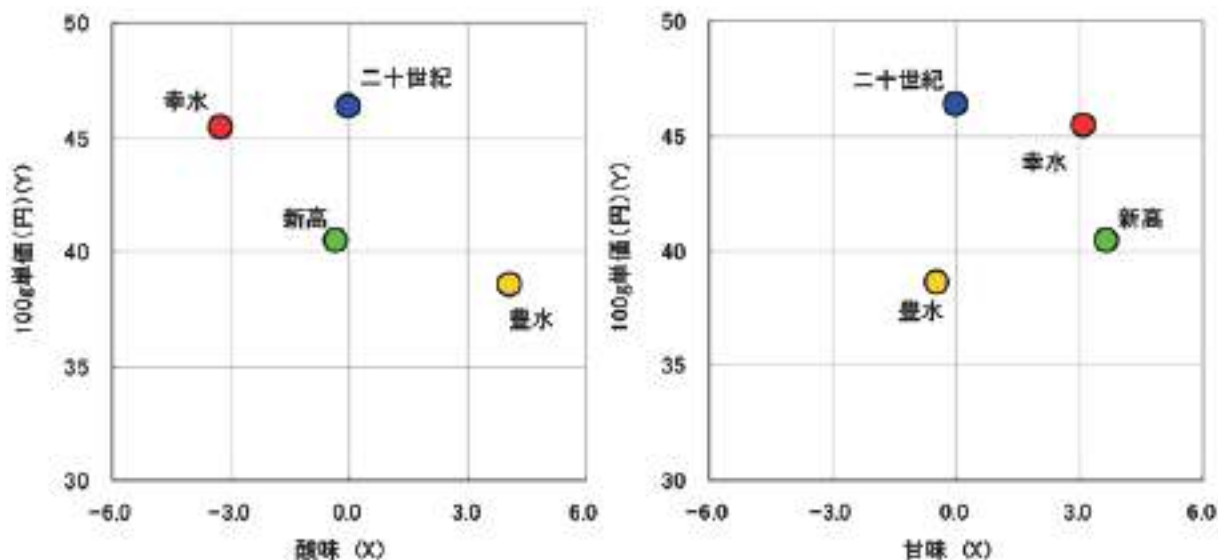


図 8. 味と価格

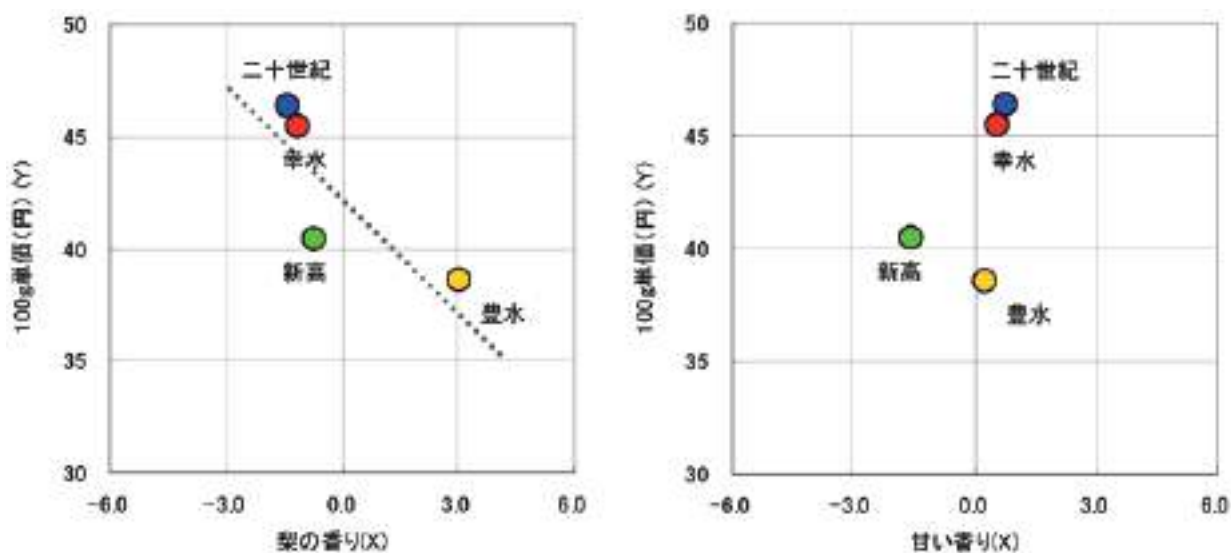


図 9. 匂いと価格

4. 官能検査

4-1 官能検査の種類とパネル

官能検査法としては、元武田薬品工業(株)の戸田準氏が整理したもの¹⁶⁾が分かりやすく、それによると、大きくは二つに分けられる。一つは、絶対評価ともいうべき目的でなされる分析型官能検査であり、もう一つは嗜好型官能検査である。前者は、特定の食品を扱う企業等で実施されている方法で、ある特定の食品に限って実施する、あるいは、多種類の食品を対象とする場合に食に関する専門家をパネルとして実施する場合である。どちらにしても、対象とする食品に対し相当程度の経験あるいは訓練が求められる。

分析型専門パネルとしては、ある食品企業が自社製品に特化して社内で訓練をして行う場合と、官能検査を実施している機関に依頼して行う方法がある。前者の特殊な例としては、ウイスキーのブレンドマイスターのようなものもある。後者の場合、外食やテイクアウト等を利用して偏った食事をしている人は、官能検査には適さないようである。筆者の研究所では、食経験の深いパネル、つまりワインソムリエ、野菜ソムリエ、フードスペシャリスト、料理研究家、料亭・レストラン等の料理人、大学の調理学・食品学の教員、元食品関連企業で品質管理に従事した男女30人以上の人達にパネルとしてお願いしており、高い評価を得ている。日本の食材の種類は非常に多

いことから、万能というわけにはいかないのですが、これらのパネルであっても、試料によって本番の前に訓練をする場合もある。

4-2 倫理審査

官能検査は一種の人体試験とも考えられるので倫理審査を要求される場合がある。多くの学会では、官能検査を含む論文を学会誌に投稿しようとする場合、ヘルシンキ宣言に基づいた倫理審査委員会において倫理審査を受けていることが必須となっている。筆者の研究所でも、医学、法律、女性を含む5人の委員からなる倫理審査委員会を具備しており、実際お世話になっている。

4-3 質問の形式

質問の形式については、一対比較法、閾値を調べる方法、評点をつける方法、順位を聞く方法等があるが、程度の差を聞く場合、差の大きさを決める必要がある。いずれにしろ後の統計解析を考えて質問形式を決定する。また、最近では、おいしさ要素の知覚の時間的な変化を調べる方法として、TI法及びTDS法が提案・採用されるようになってきている。TI法は、以前から、例えば、「キレ」あるいは「後味」等という表現でなされていたもので、甘味料等ではよく用いられていた方法である。TDS法は、複数のおいしさの要素（前述の3要素）の口中での知覚の時間的強度変化を追うもので、近年、かなり知られるようになり実施も進みつつある。しかし、TI法やTDS法を実施するためにはかなりの工夫と熟練を要する。

5. 機器測定及び官能検査結果のデータ解析

5-1 統計解析で扱うデータの種類

各種の機器測定や官能検査手法により、食品のおいしさに関わるさまざまなデータを得ることができる。しかし、得られたデータを見たただけでは、おいしさの本質を見いだすことは困難であるので、そのデータの中に隠れているおいしさに寄与する情報を目に見える形で取り出す必要がある。その手段となるのがさまざまな統計解析であり、どの統計解析法を用いるかは元となるデータがどのような性質の

ものであるかによって異なってくる。

図10に示すように、統計解析で扱うデータは質的データと量的データに大別される。質的データはカテゴリーデータとも呼ばれ、分類はできるがデータ間の間隔（差）に意味がない、つまり加減乗除ができないデータであり、名義尺度と順序尺度に分けられる。名義尺度はアンケート調査等において一般に用いられ、男を1、女を2のように名義的に数値化して使われるが、その数値間の差や順序に意味はないデータである。ただし、男が何人、女が何人というように人数のデータにすれば、量的データとして扱うことができる。

順序尺度もアンケート調査等においてよく用いられ、「好き」を1、「どちらでもない」を2、「嫌い」を3のように名義的に数値化して使われ、数値間の差に意味はないが、その順序には意味があるデータである。これによく似たもので、官能検査においてよく使われる評点法によって得られるデータがある。たとえば、ある食品の特定の味（たとえば甘味や苦味など）について、「弱い」「少し弱い」「対照と同じ」「少し強い」「強い」の5段階の評価尺度によって、対照試料と比較評価するという官能検査がよく行われる。さらに、このような方法で得られたデータを、「弱い」から「強い」を-2から+2または1から5の点数に変換し、その点数の平均値に基づいたt-検定などの統計処理をして評価した報告がよく見られる。この場合、評価尺度が等間隔であると判断されるのであれば、量的データと見なして加減乗除を伴った統計解析を行うことができるが、そうでないのであれば、その順序には意味がある質的データと見なし、それに対応した統計解析法を用いることになる。

量的データは、機器計測等によって得られ、連続的で加減計算ができるデータであり、間隔尺度と比例尺度に分類される。間隔尺度は、年号、時刻、温度等のように、その差には意味があるので加減計算は可能であるが、20°Cは10°Cの2倍の温度であるというような乗除計算はできないデータである。これに対して比例尺度は、身長、体重、エネルギー、時間等、絶対的ゼロ点があり、Aの食品のエネルギーはBの食品の2倍であるというような乗除計算が可能なデータである。



図10. 統計解析で扱うデータの種類

5-2 データの種類の違いに応じた統計解析手法

得られたデータをただ並べただけでは、供試試料間のおいしさの違いを見いだすことは困難なため、そのデータの中に隠れている情報を顕在化する重要な手段が統計解析である。その統計解析にはさまざまな方法があり、得られたデータがどのようなものであるかによって、パラメトリック手法とノンパラメトリック手法に分けられる。

機器測定等によって得られるデータのように、量的データで、しかもそれが正規分布に従う場合には、パラメトリック手法が用いられる。2群間の平均値の差の検定（t検定）や、分散分析等の統計解析法がこれに相当する。ただし、量的データであったとしても、正規性がないデータはノンパラメトリック手法によって解析することになる。食品のおいしさについて一般に行われる5段階評価等から得られるデータは、上述のように質的データの順序尺度データであることが多く、その統計解析にはノンパラメトリック手法を用いることになる。

ノンパラメトリック手法はいくつかの検定法が知られている。2つのグループ間で順序尺度データの差を検定する場合には、マン・ホイットニーのU検定が知られており、3つ以上の群で順位に差があるかどうかを検定する場合には、クラスカル-ウォリス検定が有効である。さらに、3つ以上の試料間に差があるかどうかを知るために、これに続いて多重比較による検定を行う。すべての試料間の対比較を行う検定法としては、Scheffe（シェッフエ）やSteel-Dwas（スティール・ドワズ）の検定法があり、対照群との対比較を行う検定法としては、Steel（スティール）やShirley-Williams（シャーリー・ウィリアムズ）の検定法がある。食品のおいしさについて行われる官能検査から得られるデータが順序尺度データであるならば、このようなノンパラメトリック

ク手法による統計解析法を用いることによって、試料間におけるおいしさの違いを客観的に評価することができる。

5-3 測定手法の実効性

4-1で紹介した各手法は、人の受容体や物理的刺激を模して測定したといえるが、感知部分は受容体そのものではないので、それぞれ課題がありすでに前述で指摘した（表1）。官能検査にも、もちろん課題がある。これらも同じ表に整理した。これらの課題を認識した上で使用すれば、それぞれの場面で有効なことはもちろんのことである。

5-4 おいしさ方程式の設定

現在のところおいしさに方程式はない。方程式というからには、要素（変数）の定義が明確で、求めるおいしさは、これら変数の関数として成立しなければならない。ところが、現在のところ、この要素（変数）①それぞれの食材・食品の特性、②食べる側の感覚と状態、及び③環境・条件が、普遍的に明確に定義できないのである。これらにより、最終的においしさは決まると考えられるが、これらがあまりに、多種多様なのである。それぞれについて以下に解説する。

日本に古来存在したもの、また外国から移入されたものを含め、食材・食品の種類は大変多い。これは、流通が自由であることと、四季と風土に恵まれた我が国だからこそ生じた現象であろう。

化学的成分はもちろんのこと、おいしさに関する特性もまた千差万別どころではないのである。したがって、すべての食品に共通した評価の要素と基準を決めるのは簡単にはいかない。例えば、味覚についていえば、舌にある味蕾で味覚成分をとらえ、大脳で知覚するというメカニズムについて研究がかなり進んでいるし、このメカニズムそのものはおそらく人類共通といってよいであろう。しかし、その知覚の強度は、先天的、後天的に異なる。また、人の現在の状態によっても、おいしさは変わる。年齢、体調、満腹か空腹か、直近の食経験等である。食べる環境、条件によってももちろんおいしさは影響される。食品の形態、包装や容器の形態、1単位の量等の直接的なものから、時間、場所、気候、その他の雰囲気等挙げればきりが無い。

6. 嗜好性調査

6-1 留学生を活用した外国人の嗜好性の調査¹⁸⁾

農畜水産物の輸出促進の動きが活発である。国内でも地域により嗜好性が異なるように、諸外国ではより嗜好性が異なる。日本人の嗜好性をそのまま移出するか、あるいは先方の嗜好性に合わせるか、いずれにしろ、あらかじめその国・地域の住民の嗜好性を把握しておくことは輸出に際して大いに有効である。

特定の食品をいきなりその地で試食させ嗜好性を調べるには大掛かりな手間を要する。以上のような背景のもとに、アジア地域各国からの留学生が多く在籍する新潟国際大学において、日本人 10 人、ミャンマー人 7 人、ベトナム人 11 人、カンボジア人 9 人、インドネシア人 10 人、タイ人 10 人の計 57 人を対象として、富有柿、平核無柿、次郎柿の 3 種類の柿について、それらの嗜好性についての調査を行った。調査方法としては、3 種類の柿それぞれの甘味、テクスチャー、総合の 3 項目について、「very dislike」、「dislike」、「average」、「like」、「very like」の 5 段階で評価し、さらに、「very dislike」を -2、「dislike」を -1、「average」を 0、「like」を 1、「very like」を 2 の点数に変換した。3 種類の柿に対する甘さ、テクスチャー、総合のそれぞれについて、国別の点数平均値を表 5 に示した。

この変換点数は 5 段階の評価を数値化したものであるから、必ずしも、その値の間隔に意味がある間隔尺度や値の比率に意味がある比例尺度のデータ（パラメトリックデータ）とはいえないものである。そこで、それぞれの評価項目ごとに各試料内のデータの等分散性の検定を行ったところ、いずれのデータも等分散であることが認められたので、これらのデータをパラメトリックデータと見なし、評価項目ごとに、国の違いと柿試料の違いについて対応のある二元配置分散分析を行った。さらに各データ間について Tukey による多重比較検定を行った。以下、評価項目ごとに統計解析の結果について述べる。

(1) 甘さ

1) 柿の種類別の検定

二元配置分散分析の結果、次郎柿については 5% 水準で国の違いによる有意差が認められたが、富有柿、平核無柿については有意差は認められなかった。

さらに、柿試料ごとに各国間の違いを比較検定したところ以下のような結果が得られた。

富有柿：ベトナム・日本間に 5% 水準で有意差あり
次郎柿：タイ・ミャンマー間、タイ・ベトナム間に 0.1% 水準で有意差あり
タイ・日本間、タイ・カンボジア間に 1% 水準で有意差あり
平核無柿：各国間に有意差なし

2) 国別の検定

二元配置分散分析の結果、タイについては 0.1% 水準で、インドネシアについては 5% 水準で、柿の種類の違いによる有意差が認められたが、他の国については有意差は認められなかった。さらに、国ごとに各柿試料間の違いを比較検定したところ以下のような結果が得られた。

日本：各柿試料間に有意差なし
ミャンマー：平核無柿・次郎柿間に 5% 水準で有意差あり
ベトナム：富有柿・次郎柿間に 0.1% 水準で、平核無柿・次郎柿間に 1% 水準で有意差あり
カンボジア：富有柿・次郎柿間に 0.1% 水準で、平核無柿・次郎柿間に 1% 水準で有意差あり
インドネシア：富有柿・次郎柿間、平核無柿・次郎柿間に 0.1% 水準で有意差あり
タイ：富有柿・次郎柿間、平核無柿・次郎柿間に 0.1% 水準で有意差あり

(2) テクスチャー

1) 柿の種類別の検定

二元配置分散分析の結果、次郎柿については 0.1% 水準で国の違いによる有意差が認められたが、富有柿、平核無柿については有意差は認められなかった。さらに、柿試料ごとに各国間の違いを比較検定したところ以下のような結果が得られた。

富有柿、平核無柿：各国間に有意差なし
次郎柿：ミャンマー・タイ間、カンボジア・ベトナム間、カンボジア・日本間、カンボジア・インドネシア間、カンボジア・タイ間に 0.1% 水準で有意差あり
ミャンマー・インドネシア間に 1% 水準で有意差あり

ミャンマー・ベトナム間、日本・タイ間に5%水準で有意差あり

2) 国別の検定

二元配置分散分析の結果、ベトナム、インドネシア、タイについては0.1%水準で、日本については5%水準で、柿の種類の違いによる有意差が認められたが、他の国については有意差は認められなかった。さらに、国ごとに各柿試料間の違いを比較検定したところ以下のような結果が得られた。

日本：富有柿・次郎柿間、平核無柿・次郎柿間に0.1%水準で有意差あり

ミャンマー：平核無柿・次郎柿間に1%水準で有意差あり

ベトナム：富有柿・平核無柿間、富有柿・次郎柿間、平核無柿・次郎柿間に0.1%水準で有意差あり

カンボジア：富有柿・平核無柿間に0.1%水準で、平核無柿・次郎柿間に1%水準で有意差あり

インドネシア：富有柿・平核無柿間、富有柿・次郎柿間、平核無柿・次郎柿間に0.1%水準で有意差あり

タイ：富有柿・次郎柿間、平核無柿・次郎柿間に0.1%水準で有意差あり

(3) 総合

1) 柿の種類別の検定

二元配置分散分析の結果、次郎柿については5%水準で国の違いによる有意差が認められたが、富有柿、平核無柿については有意差は認められなかった。さらに、柿試料ごとに各国間の違いを比較検定したところ以下のような結果が得られた。

富有柿、平核無柿：各国間に有意差なし

次郎柿：ミャンマー・タイ間、カンボジア・タイ間に0.1%水準で、カンボジア・インドネシア間に1%水準で、ミャンマー・インドネシア間、カンボジア・ベトナム間、カンボジア・日本間に5%水準で有意差あり

2) 国別の検定

二元配置分散分析の結果、タイについては0.1%水準で、ベトナム、インドネシアについては1%水準で、柿の種類の違いによる有意差が認められたが、他の国については有意差は認められなかった。さらに、国ごとに各柿試料間の違いを比較検定したところ以下のような結果が得られた。

日本：富有柿・次郎柿間、平核無柿・次郎柿間に0.1%水準で有意差あり

ミャンマー：平核無柿・次郎柿間に0.1%水準で、富有柿・次郎柿間に1%水準で有意差あり

ベトナム：富有柿・次郎柿間、平核無柿・次郎柿間に0.1%水準で有意差あり

カンボジア：富有柿・次郎柿間に1%水準で有意差あり

インドネシア：富有柿・次郎柿間、平核無柿・次郎柿間に0.1%水準で、富有柿・平核無柿間に1%水準で有意差あり

タイ：富有柿・次郎柿間、平核無柿・次郎柿間に0.1%水準で有意差あり

以上のように、評価項目ごとに、国の違いと柿試料の違いについて対応のある二元配置分散分析を行い、さらに各データ間について多重比較検定を行うことによって、表4に示すような調査データから、アジア地域各国人の柿試料に対する嗜好性の違いを見出すことができた。

表4. 6か国のパネルによる3種の柿試料に対する甘さ、テクスチャー、総合評価についての官能検査結果の国別点数平均値

国籍	甘さ			テクスチャー			総合		
	富有柿	平核無柿	次郎柿	富有柿	平核無柿	次郎柿	富有柿	平核無柿	次郎柿
日本	0.60	0.60	0.50	0.60	0.80	-0.10	0.70	0.80	0.10
ミャンマー	1.14	1.29	0.86	0.86	1.14	0.57	1.14	1.29	0.71
ベトナム	1.27	1.09	0.64	0.45	1.18	-0.18	1.09	1.09	0.09
カンボジア	1.22	1.00	0.44	0.67	1.44	0.89	1.22	1.00	0.78
インドネシア	1.10	1.20	0.20	0.50	1.10	-0.40	0.70	1.10	0.00
タイ	1.10	1.00	-0.40	1.00	1.00	-0.80	1.10	0.90	-0.50

6-2 てんぷら油におけるゴマ油の嗜好性

筆者の一人である山野は滋賀県の生まれであるが、関東（横浜）、香川と移転し、そして現在東京に在住している。江戸時代には、地域により、料理に使用される素材はもちろん、同じ料理でも、味付け等はかなり異なっていたのであるが、現在ではいわゆるグローバル化が進み、全国で同じような味付けの食事ができるようになった。その中で、てんぷらを揚げる油として、歴史的に東京ではゴマ油が用いられた。そこで、かなり古いデータではあるが、筆者らが複数の油及びそれらの混合油によるてんぷらの嗜好性について調べた結果¹⁹⁾の一部を紹介する。

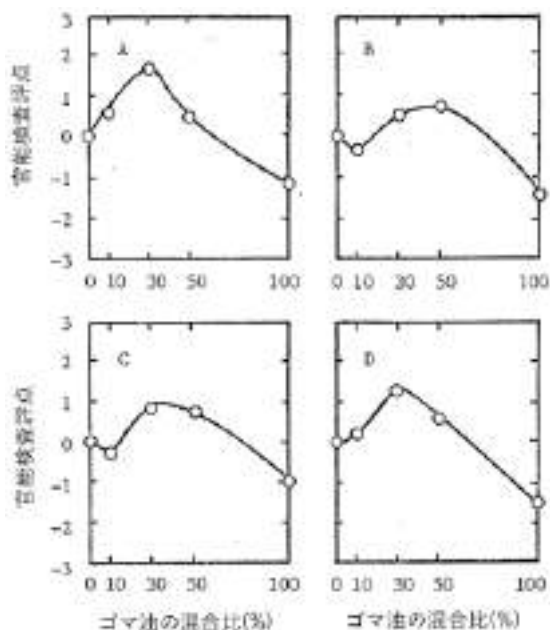
用いた油は、サフラワー、グレープシード、ヒマワリ、綿実、トウモロコシ、大豆、ゴマ、及び菜種油の8種類である。モデル試験とするため、薄力粉と水だけでバターを作り、玉杓子の穴から加熱油を注いで得られたカス上の衣として、官能検査試験に供した。香りの良さ、油の味、口当たり、総合評価について官能検査した結果、単独油の場合、表5に示したように、ゴマ油では香り、味が総合評価に最も強く寄与することが分かった。

表5. 各官能要素と総合評価との相関係数¹⁹⁾

油	香りの良さ	味	口あたり
サフラワー油	0.185	0.607***	0.383*
グレープシード油	0.459*	0.753***	0.754***
ヒマワリ油	0.216	0.724***	0.741***
綿実油	0.199	0.689***	0.617***
トウモロコシ油	0.518**	0.785***	0.777***
ダイズ油	0.530**	0.739***	0.433*
ゴマ天ぷら油	0.742***	0.768***	0.671***
ナタネ油	0.661***	0.767***	0.212

有意水準 (n=30) * $\alpha=0.05$, ** $\alpha=0.01$, *** $\alpha=0.001$

また、大豆油にゴマ油を混合して官能検査を行ったところ、図13に示すようにゴマ油を30%混ぜた場合が最もおいしいという結果が得られた。



A: 香りの良さ, B: 味, C: 口あたり, D: 総合評価

図13. 大豆油 / ゴマ油混合割合と官能検査結果との関係¹⁹⁾

この結果、高価であるが、ゴマ油を30%混ぜて揚げ物をするとおいしいと判明したので、筆者の自宅では日常の料理に活用している。

7. 今後の展望

新型コロナウイルスのワクチンの接種が進む中で、この記事執筆している。人類は歴史的に他の生物とかかわって生存する以上、ウイルスの感染は避けられないものであり、今後も密林等の開発が進むとほとんど必ず新しいウイルスの襲撃に出会うであろうし、その頻度は増すと思われる。

世間では、SDGsが強く叫ばれるが、本来我が国には“もったいない”という考え方があり、今更ながら自然との共生を大事にしたいと思う。

おいしさは食によりもたらされる快感であり、これが増すことにより健康寿命が延びれば医療費の軽減にもつながることから、本記事にかかわる研究の順調な発展が望まれる。

引用文献／参考文献

- 1) 岩崎純一, “音に色が見える世界”, PHP新書 (2009).

- 2) 川染節江, “おいしさの科学”, 山野善正, 山口静子編, 朝倉書店, pp.255-261 (1994).
- 3) 山野善正, “月刊フードケミカル 2018年7月号”, 食品化学新聞社, pp.40-42 (2018).
- 4) 山本隆, “脳と味覚 - おいしさを味わう脳のしくみ”, 共立出版 (1996).
- 5) 山本隆, “美の構造 なぜ「おいしいのか」”, 講談社選書 (2001).
- 6) 潮秀樹, 小南友里, 脂肪酸の味受容メカニズム, 山野善正監, “油脂のおいしさと科学”, エヌ・ティー・エス, p.3 (2021).
- 7) 松村成暢, 油脂の嗜好性と栄養整理, 山野善正監, “油脂のおいしさと科学”, エヌ・ティー・エス, p.15 (2016).
- 8) 松本伸子, 松元文子, 調理科学, 10 (2) 97-101 (1997).
- 9) 都甲潔, “味覚センサ”, 朝倉書店 (1993).
- 10) 株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー, “「おいしさ評価」のすべて”, 「知」の集積と活用^Rの場^Rおいしさ評価・分析プラットフォーム, pp.8-10 (2018).
- 11) “旨いウイスキーとは? 国産&スコッチを味覚分析”, 食品化学新聞, (2015.5.7).
- 12) 山野善正監, “進化する食品テクスチャー研究”, エヌ・ティー・エス (2011).
- 13) 西津貴久, 日本食品工学会誌, 21 (2) 53-62 (2020).
- 14) 田村咲江監, “食品・調理・加工の組織学”, 学窓社 (1999).
- 15) 合谷祥一, 有内尚子, 川染節江, 山野善正, 日本食品工業学会誌, 39 (9) 749-754 (1992).
- 16) 戸田準, 日本食品工業学会誌, 41 (3) 218-223 (1994).
- 17) 山野善正, “季刊おいしさの科学 冬号”, 食品研究社, pp.46-47 (2007).
- 18) 山野善正, “Agrio 第167号”, 時事通信社, pp.18-19 (2017).
- 19) 川染節江, 山野善正, 調理科学, 25 (3) 201-206 (1992).

第4回国産ゴマ生産地の現地検討会 みまたんごま霧島会のゴマ栽培の取り組み

下石正秋（農業生産法人(株)しも農園代表）

宮崎県三股町でゴマの栽培が始まったのは平成20年、県外企業や行政機関に勤務していたリタイヤ組が定年退職を機に、故郷の農業に新たな活力をと呼びかけ、賛同した12名で生産者団体「霧島会」を立ち上げた。

ゴマを選んだのは、江戸時代に当地がゴマの産地で、大阪へ換金作物として初めて出荷されたのが黒ゴマだったとの記述を目にしたこと、当地で深刻化していた鳥獣被害がゴマにはほとんど見受けられないとの事からだった。

更に、国内需給率が0.1%と、希少価値や市場性、話題性にも着目し、「産地復活！国産0.1%への挑戦」を掲げ、隣接する鹿児島県の生産地を見学し、初年度は50aの面積で栽培が始まった。

その後、県内では珍しい取り組みとしてTVや新聞等各種マスコミで取り上げられたことから、年々生産者と面積も拡大、近年は40名程度の生産者数、7ヘクタール程度の栽培面積で推移している。

この盛上がりを受け、平成24年には地元商工会が事務局となり、行政や町内商工業者、地元大学や各分野の専門家にも加わっていただき、ゴマを使った加工品開発やブランド化に取り組むプロジェクト委員会が組織された。

また併せて、加工品の原材料として地元事業者へ提供するため、平成26年には生産者の一人がゴマの調製、加工を担う施設を設置した。

現在「みまたんごま」のブランド名で、煎りごまや練りごま・ごま油をはじめ、町内外の菓子店や飲食店等でも数多くの加工品が提供され、全国へ発信している。

栽培に関しても地元大学や本県農業支援機関からの指導も受け、収量アップや品質向上、作業の軽減等に取り組んでおり、毎年の栽培記録簿をもとに栽培のこよみも作成、リスク分散のために梅雨前5月と梅雨明け7月の播種を行っている。

ただ、近年は梅雨時期の大雨、梅雨明け後は台風の影響を受けることが多く、当地においても厳しい栽培現場となっている。



刈取作業



ごま畑



霧島会発足メンバー

企業めぐり

三井物産株式会社 胡麻事業の紹介

弊社は、お客様への原料の安定供給をミッションに、長年に亘り、胡麻事業に従事して参りました。又、原料の調達のみならず、三井食品等の関係会社と連携し、胡麻にかかる製品販売も実施しております。川上から川下まで、弊社グループの総合力を発揮し、胡麻が持つ価値の最大化に向け、努力しております。

現在、胡麻に直接的に関わる弊社関係会社として、かどや製油(株)、頂志食品社、ETG 社の計 3 社御座います。

今回は、中国の胡麻メーカーの頂志食品社、胡麻の大手サプライヤーである ETG 社について、ご紹介致します。

【頂志食品】

頂志食品社は、頂新グループ傘下の在中国胡麻メーカーです。駐馬店、東莞の 2 か所に工場が所在しております。主に、同グループ企業である康師傅社の即席麺(中国シェア No.1)向けに原料供給を行っております。胡麻油の他、剥き胡麻、煎り胡麻、すり胡麻、練り胡麻等食品胡麻の取扱いも御座います。

弊社は、持ち株会社経由で、20% 出資を行う他、原料調達の役割も担っております。



駐馬店頂志
Zhumadian Tingzhi



東莞頂志
Dongguan Tingzhi



【ETG】

ETG社は、ドバイ（UAE）本社、アフリカに主軸を置く、印僑の農業コングロマリットです。農産物取引（集荷・保管・輸出入・加工）、農業資材（肥料・農薬・種子など）販売、食品製造販売を、計49ヵ国（内アフリカ28ヵ国）で展開しております。

弊社は、2018年にETG社出資開始し、現在32%出資株主となっております。食料本部のみならず、他本部と共同で出資（全社横断プロジェクトの位置づけ）、現在各本部から計4名が出向し、ETG社の企業価値向上に努めております。

ETG社は「農家と共に成長する。」を社訓の一つとし、農家の自立・成長を目的として、50年以上にわたり“食と農”関連事業を拡大してきました。ETG社はアフリカ諸国の様々な地域にFarm Gateを所有し、自社肥料等の販売や農家からの収穫物の購入を行っております。このFarm GateこそがETG社の原点であり、日々近隣農家との対話を通し互いの信頼を築き、安定的な農作物集荷が可能となっております。胡麻関連では、このFarm Gateの強みを生かし、小農家の収入増加を目的とした栽培指導、色胡麻対策の啓蒙活動等を実施し、お客様への胡麻原料の安定供給に向け、弊社からの出向者も含め、農家と共に現場で日々汗を流しております。



小農家への栽培指導の様子

色胡麻の注意喚起のチラシ



■ 日本ゴマ科学会 会則

昭和 61 年 9 月 26 日制定

平成元年 12 月 2 日改正

平成 5 年 11 月 26 日改正

平成 7 年 11 月 17 日改正

平成 12 年 11 月 18 日改正

平成 23 年 10 月 1 日改正

平成 24 年 10 月 6 日改正

第 1 条 本会は日本ゴマ科学会と称する。

第 2 条 本会はゴマに関する研究を奨め、その知識の普及を計ることを目的とする。

第 3 条 本会の事務所は原則として庶務幹事の在籍する場所におく。

第 4 条 本会に入会しようとするものは、住所・氏名・職業を明記して、本会事務所に申し込むこと。

第 5 条 本会会員は普通会員、名誉会員、賛助会員および学生会員とする。毎年、会員として、普通会員 3,000 円、賛助会員 1 口 (20,000 円) 以上、学生会員 500 円を納める。

第 6 条 ゴマの科学に功労のあったものを、総会の決議により名誉会員とすることができる。

第 7 条 本会は随時「セサミニュースレター (Sesame Newsletter)」(ゴマ学会通信)を発行し、会員に配付する。

第 8 条 本会は原則として毎年 1 回大会を開き、総会と講演会を行う。

第 9 条 本会に評議員会をおく。評議員は総会において選出する。

第 10 条 評議員の任期は 2 年とし、再任を妨げない。

第 11 条 本会に次の役員をおく。

会長 1 名

副会長 1 名

庶務幹事、会計幹事、編集幹事 各若干名

会計監査 2 名

役員は総会において選出する。

第 12 条 役員は原則として 2 年とする。

第 13 条 本会の事業年度は 4 月 1 日より翌年 3 月 31 日までとする。

第 14 条 本会則の改正には、総会において出席会員の 3 分の 2 以上の賛成を必要とする。

付則 1. 本会の略称と英名は下記とする。

略称：ゴマ学会

英名：The Sesame Science Society of Japan

■ Sesame Newsletter 投稿募集

本学会では、機関誌 *Sesame Newsletter* への原稿を募集します。各分野にわたり、多彩な投稿を期待申し上げます。

投稿要領 (平成 30 年 10 月 27 日改正)

1. 投稿は本会会員またはその紹介者に限る。
2. 投稿の内容は、研究論文・論文総説・資料・短報・論文抄録・業界通信・内外探索調査・紀行・研究機関や工場等訪問・学会や国際会議への出席または紹介・書評などとする。
3. 原稿 1 ページ目にはタイトル、著者名、所属、住所 (e-mail アドレスなど連絡先) を和文及び英文でつけること。
4. 投稿の内容により、研究論文には以下の 5~15 項までが適用される。論文総説・資料・短報には以下の 5~8、10~15 項までが適用される。
5. 編集幹事と若干名の委員より構成される編集委員会を組織する。
6. 編集委員会は投稿原稿 1 編につき 2 名の査読者を選んで審査を依頼し、その意見を参考にして掲載の可否を判断する。ただし、本会における特別講演などに基づく論文総説の投稿には 6 項は適用しない。
7. 編集委員会は、査読者の意見に基づき、著者に執筆内容の修正を求めることができる。
8. 原稿は和文または英文とし、原則として本文が和文の場合は英文の「Summary」を、英文の場合は和文の「要旨」をつける。なお、本文が英文の場合には、編集委員会が必要と判断して依頼した英文校閲の実費は著者負担とする。
9. 本文は、新しいページから始め、原則として要旨、緒言、材料および方法、結果、考察、謝辞、引用文献の順に見出しをつけて作成する。
10. 初校は原則として著者校正とする。校正では印刷上の誤り以外の字句修正、新たな文字数増、図版の修正などは、原則として行わない。
11. 校正刷は、受領後正確かつ速やかに校正の上、編集幹事へ返送する。
12. 別刷 (リプリント) 希望者は、原稿に記入また

は初校の際申込むこと。別刷は 50 部まで無料、それを超える部数希望のとき、表紙をつけるとき、表紙に表題等印刷するときは、著者の実費負担とする。このときも原稿に記入または初校の際申込むこと。

13. 原稿の提出はメール添付ファイル（Word ファイル）が望ましい。
14. 研究論文・論文総説・資料・短報の著作権はすべて日本ゴマ科学会に属する。
15. 原稿の送付先および問い合わせは、下記の通りである。

原稿送付先：

編集幹事 小倉裕範（奈良女子大）
ogura@cc.nara-wu.ac.jp

■入会申し込み

●・●ページの入会申込書にご記入いただき、以下の事務所まで郵送または FAX でお送りください。また本学会ホームページからダウンロードした入会申込書（Word ファイル）にご記入いただき、事務所まで電子メールでお送りいただくこともできます。会員情報の登録作業完了後に、入会確認のお知らせと会費の払い込み方法のご案内をお送りいたしますので、会費の納入をお願いいたします。

■日本ゴマ科学会事務所

庶務幹事 瀬尾幹子
かどや製油株式会社生産本部研究開発課
〒761-4101 香川県小豆郡土庄町甲 6188
電話 0879-62-1134（直通）
FAX 0879-62-1184（直通）
E-mail: mikiko.hasuike@kadoya.com

■日本ゴマ科学会令和 3 年度役員

会 長： 片山健至（香川大）
副 会 長： 平野正真（竹本油脂）
庶務幹事： 瀬尾幹子（かどや製油）
山本将之（富山大）
編集幹事： 小倉裕範（奈良女子大）
会計幹事： 武田珠美（熊本大）
監 事： 吉田元信（大阪総合保育大）
本倉 直（真誠）

日本ゴマ科学会 入会申込書

<賛助会員用>

貴会の趣旨に賛同し、賛助会員として入会を希望します。

申込年月日	西暦 年 月 日	会員番号	660-
入会年度	年度	申込口数	口
ふりがな			
法人・機関名			
ご担当者	氏名		
	所属(部署)	役職名	
	TEL:	(内線: 直通) FAX:	
	E-mail:		
所在地	(〒 -)		

- 1) 当学会の会計年度は4月～翌年3月です。
- 2) 年会費(賛助会員1口20,000円以上)は、入会申込書ご提出後に請求させていただきます。なお、請求書発行までに約1カ月を要しますので、ご了承ください。

<入会申込書送付先>

日本ゴマ科学会事務所

住所: 〒761-4101

香川県小豆郡土庄町甲 6188

かどや製油株式会社 生産本部 研究開発課 瀬尾幹子 宛

電話: 0879-62-1134(直通) ファックス: 0879-62-1184(直通)

E-mail: mikiko.hasuike@kadoya.com

賛助会員名簿

(令和3年7月現在)

伊藤忠食糧株式会社	株式会社波里
岩井の胡麻油株式会社	日清オイリオグループ株式会社
株式会社 MC アグリアライアンス	株式会社丹羽メディカル研究所
大阪ガスリキッド株式会社	株式会社浜乙女
株式会社大村屋	濱田屋
Ottogi 製油株式会社	株式会社紅乙女酒造
株式会社オニザキコーポレーション	株式会社豊年屋
カタギ食品株式会社	株式会社マコト
かどや製油株式会社	松本製油株式会社
兼松株式会社	丸美屋食品工業株式会社
キューピー株式会社	みたけ食品工業株式会社
清本鐵工株式会社	三井物産株式会社
九鬼産業株式会社	株式会社 Mizkan
サントリーウエルネス株式会社	吉美食品株式会社
株式会社真誠	理研ビタミン株式会社
全国胡麻加工組合	株式会社和田萬
竹本油脂株式会社	株式会社わだまんサイエンス
豊通食料株式会社	

2021年(令和3年)9月1日発行

セサミニュースレター No. 36

発行者 日本ゴマ科学会
会長 片山健至

発行所 〒761-4101 香川県小豆郡土庄町甲 6188
かどや製油株式会社 生産本部 研究開発課
日本ゴマ科学会事務所
Tel : 0879-62-1134 (直通)
Fax : 0879-62-1184 (直通)

印刷所 〒630-8144 奈良県奈良市東九条町 6-6
株式会社JITSUGYO
Tel : 0742-62-3377(代) Fax : 0742-50-2555

