

الئوفومها در صنایع غذایی: تکنولوژی تولید، کاربردها و اثرات سلامتی بخش

سولماز عابدین زاده

دکترای تخصصی علوم و صنایع غذایی، سازمان ملی استاندارد، کرج

بهزاد معصومی *

استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده پرستاری، دانشگاه علوم پزشکی لارستان

محمدعلی تربتی

استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده تغذیه و علوم غذایی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز

چکیده

این مقاله مروری به بررسی جامع و تحلیلی از پیشرفت‌های اخیر در زمینه تولید و استفاده از الئوفومها در صنایع غذایی می‌پردازد. الئوفومها، که فوم‌های دارای فاز پیوسته روغنی هستند، به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد ساختاری و پایداری بالا، توجه زیادی در صنعت غذا به خود جلب کرده‌اند. در این مطالعه، تأثیر عوامل مختلف نظیر نوع و ترکیب روغن، غلظت و نوع سورفکتانت‌ها، و شرایط دمایی بر پایداری و خصوصیات عملکردی الئوفومها به‌طور دقیق بررسی شده است. علاوه بر این، مقاله به ارزیابی تأثیرات بالقوه الئوفومها بر سلامت مصرف‌کنندگان پرداخته و روش‌های آزمونی که برای ارزیابی و پایش کیفیت این ترکیبات مورد استفاده قرار می‌گیرد را نیز مرور می‌کند. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که با انتخاب مناسب نوع روغن و بهینه‌سازی شرایط فرآیندی، می‌توان کیفیت و پایداری الئوفومها را بهبود بخشید و همچنین از بروز مشکلات سلامتی مرتبط با مصرف آن‌ها جلوگیری کرد. این مقاله با ارائه دیدگاهی جامع، پایه‌ای را برای تحقیقات آینده در این حوزه فراهم می‌آورد.

کلیدواژه‌ها: الئوفومها، پایداری فوم، سورفکتانت‌ها، نوع روغن، سلامتی، صنایع غذایی

مقدمه

چربی‌های اشباع و جامد به عنوان یکی از اجزای کلیدی در بسیاری از مواد غذایی فرآوری شده نقش بسیار مهمی در بهبود طعم، بافت، نرمی و ایجاد احساس سیری ایفا می‌کنند. این چربی‌ها به طور گسترده در صنایع غذایی برای بهبود کیفیت محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، وجود اسیدهای چرب ترانس و اشباع در این چربی‌های جامد می‌تواند تأثیرات منفی بر سلامتی داشته باشد و خطر ابتلا به بیماری‌های مختلفی از جمله بیماری‌های قلبی، چاقی، و دیابت را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. با توجه به این مخاطرات، تحقیق و توسعه در جهت کاهش یا جایگزینی این چربی‌ها با گزینه‌های سالم‌تر به منظور حفظ سلامت مصرف‌کنندگان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این موضوع به یکی از چالش‌های اساسی در حوزه تغذیه و صنایع غذایی تبدیل شده و نیازمند توجه بیشتری از سوی محققان و تولیدکنندگان مواد غذایی است (Lee et al. 2022). بنابراین، به دلیل آگاهی و توجه بیشتر مصرف‌کنندگان به سلامت، تولید محصولات با کیفیت و ایمنی بهتر ترویج می‌شود. یکی از موثرترین راهکارها برای دستیابی به این هدف، بازفرمولاسیون ترکیب چربی در محصولات غذایی است. در این روش، چربی‌های حیوانی که به طور سنتی در محصولات مختلف استفاده می‌شوند، با انواع دیگر لیپیدها جایگزین می‌شوند. این تغییر به کاهش محتوای چربی‌های اشباع و کلسترول در این محصولات منجر می‌شود و آنها را برای مصرف انسانی سالم‌تر و مناسب‌تر می‌سازد. با این بازنگری در ترکیب چربی‌ها، امکان تولید محصولاتی با پروفایل تغذیه‌ای بهتر فراهم می‌شود که هم به سلامت عمومی جامعه کمک می‌کند و هم به نیازهای مصرف‌کنندگان برای رژیم‌های غذایی سالم‌تر پاسخ می‌دهد (Fameau and Saint-Jalmes 2020).

اولئوژل یک ساختار چربی سازمان‌یافته است که دارای ویژگی‌های ساختاری منحصربه‌فردی مانند همبستگی، شکل‌پذیری و استحکام است، در حالی که چربی اشباع کمتری نسبت به چربی‌های سنتی دارد. این ماده به دلیل داشتن مقدار کمی چربی و ویژگی‌های منحصربه‌فرد، به عنوان یکی از اصلی‌ترین "روغن‌های شکل‌دهنده" در تولید محصولات پختنی مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر این، با توجه به تحقیقات پیشرفته و سیستم‌های چندعاملی که برای بهبود عملکرد آنها توسعه یافته‌اند، اولئوژل به عنوان یک رسانه حامل برای اجزای عملکردی نیز شناخته می‌شود. در فرآیند تولید اولئوژل‌ها، از موادی به نام اولئوژلاتورها استفاده می‌شود که برای تبدیل روغن‌های مایع به ژل، مانند مونو و دی‌گلیسریدها، الکل‌های چرب و موم‌ها به کار می‌روند. در حال حاضر، به دلیل هزینه پایین، قابلیت ژل‌سازی مناسب و در دسترس بودن استرهای مومی گیاهی، استفاده از آنها به عنوان اولئوژلاتورها به‌طور فزاینده‌ای در حال گسترش است. این روند نشان‌دهنده پتانسیل بالای اولئوژل‌ها در صنایع غذایی و نیاز به توسعه بیشتر در این حوزه است (Papadaki et al. 2020).

توسعه الئوژل‌ها به عنوان یک تکنیک نوآورانه، به دلیل ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی منحصربه‌فردشان، در سال‌های اخیر به سرعت مورد توجه قرار گرفته است. ساختار سه‌بعدی و پایدار الئوژل‌ها نه تنها به عنوان یک جایگزین مناسب برای چربی‌ها، بلکه به عنوان حامل مولکول‌های زیست‌فعال آب‌گریز نیز شناخته می‌شود. با این حال، ناپایداری الئوژل‌ها در طول دوره‌های ذخیره‌سازی یک چالش اساسی است که تاکنون به طور کامل برطرف نشده است. به همین دلیل، بهبود پایداری و کنترل دقیق پیوندهای کریستالی در این ساختارها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Matsuo and Ueno 2021).

روش‌های سنتی در فرآیند تولید الئوژل‌ها، مانند تبلور استاتیک، نتوانسته‌اند به طور کامل نیازهای عملکردی مورد انتظار را برآورده کنند. استفاده از میدان‌های موج ایستاده اولتراسونیک به عنوان یک رویکرد نوین، امکان اصلاح پیکربندی الئوژل‌ها و بهبود

خواص آنها را فراهم کرده است. با این حال، تأثیرات مختلف عوامل فرآیندی مانند طول موج امواج اولتراسونیک، نرخ سرمایش، و نوع الئوژلاتور بر روی تشکیل باندهای میکروکریستالی هنوز به طور جامع بررسی نشده است (Alhasan, Tehrani, and Varidi 2024).

در نتیجه، شکاف دانشی مهمی در زمینه بهینه سازی شرایط تولید و بهبود پایداری الئوژل ها وجود دارد. این مطالعه با هدف بررسی جامع این موضوعات و ارائه راهکارهای نوین برای غلبه بر چالش های موجود، طراحی شده است. تلاش برای درک بهتر مکانیزم های مؤثر در تشکیل و پایداری الئوفوم ها می تواند به توسعه راهکارهای بهینه برای بهبود عملکرد این مواد در کاربردهای مختلف منجر شود و به نیازهای رو به رشد در صنایع غذایی و دارویی پاسخ دهد.

مواد و روش ها

در این مطالعه، ابتدا به بررسی تأثیر نوع روغن بر ویژگی ها و عملکرد الئوفوم ها پرداخته شد. به این منظور، از مجموعه ای از روغن های مختلف با ترکیبات گوناگون استفاده گردید، که شامل روغن های گیاهی و روغن های حاوی انواع مختلفی از اسیدهای چرب بودند. این انتخاب ها به منظور دستیابی به درک بهتری از تأثیر ترکیب شیمیایی روغن ها بر خواص فوم های حاصل انجام شد. سپس، در مرحله بعد، غلظت های مختلفی از سورفکتانت ها (عامل های فعال سطحی) به الئوفوم ها اضافه گردید تا اثر این ترکیبات بر پایداری فوم و کیفیت نهایی محصول به طور دقیق مورد ارزیابی قرار گیرد. این بررسی به منظور کشف ارتباط میان غلظت سورفکتانت و بهبود یا کاهش پایداری و کیفیت الئوفوم ها انجام شد (Alhasan, Tehrani, and Varidi 2024). همچنین، اثر دماهای مختلف تولید بر خواص رئولوژیکی و پایداری نهایی الئوفوم ها به طور جامع مطالعه شد تا مشخص شود چگونه شرایط حرارتی می تواند بر رفتار و خصوصیات نهایی این ترکیبات اثرگذار باشد. در مجموع، این مراحل تحقیقاتی با هدف دستیابی به درکی جامع از تأثیر عوامل مختلف فرآیندی بر ویژگی های نهایی الئوفوم ها صورت گرفت تا امکان بهینه سازی فرآیند تولید و بهبود کیفیت محصول فراهم شود (Metilli et al. 2021).

آماده سازی الئوفوم

ذرات کریستالی در الئوفوم ها نقش اساسی در پایداری آنها ایفا می کنند، به ویژه از طریق استقرار و تثبیت حباب های هوا در سطح و در حجم فوم. یکی از پارامترهای کلیدی در این پایداری، اندازه ذرات کریستالی است که می تواند به طور مستقیم بر خواص نهایی فوم تأثیر بگذارد. فرآیندهای تولید، از جمله نرخ برش و نرخ سرمایش، می توانند ویژگی های این ذرات را تنظیم کنند و بهینه سازی این پارامترها می تواند منجر به بهبود پایداری و کیفیت الئوفوم ها شود (Gunes et al. 2017).

در یک مطالعه، برای ارزیابی تأثیر تغییر نسبت وزنی بین الکل های چرب و اسیدهای چرب (زنجیره بلند) بر ویژگی های الئوفوم، دو نسبت وزنی ایده آل $R=8:2$ و $R=7:3$ مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که این دو نسبت بهترین عملکرد را از نظر پایداری فوم، حجم گیری و استحکام فوم ارائه می دهند. نسبت های وزنی به طور قابل توجهی بر اندازه کریستال ها و تعداد ذرات کریستالی موجود در الئوژل تأثیر گذاشت، به طوری که کریستال های مخلوط به ایجاد و تثبیت فوم ها کمک شایانی کردند. در نهایت، مشخص شد که سختی و پایداری الئوژل به طور مستقیم با ویژگی های الئوفوم های حاصل از آن مرتبط است و این یافته ها نشان دهنده اهمیت تنظیم دقیق نسبت های وزنی و پارامترهای فرآیندی در بهینه سازی عملکرد الئوفوم ها می باشد (Callau et al. 2020).

بهینه سازی الئوژل

هدف از بهینه‌سازی التوژل، تولید التوژل‌های خوراکی با بالاترین ظرفیت پیوند روغن (OBC) و ویژگی‌های بافتی و رئولوژیکی است که قابل مقایسه با مارگارین صنعتی باشند. برای دستیابی به این هدف، آزمایش‌های متعددی با استفاده از روغن آفتابگردان با اولئیک بالا و می‌ورول انجام شد. نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که التوژل‌هایی که تحت شرایط بهینه‌سازی چندهدفه تولید شده بودند، قادر به ارائه سطح سختی مشابه با مارگارین و ویژگی‌های رئولوژیکی نزدیک به آن بودند. این فرآیند به ما این امکان را می‌دهد که التوژل‌هایی با ویژگی‌های مطلوب و عملکردی نزدیک به مارگارین تولید کنیم و به این ترتیب، گزینه‌ای قابل قبول و با کیفیت برای جایگزینی مارگارین در محصولات خوراکی ارائه دهیم (Thakur et al. 2022).

یک مطالعه به منظور بهینه‌سازی فرآیند تشکیل التوژل با استفاده از صمغ زانتان (XG)، سدیم کاربونات (CN) و صمغ گوار (GG) با بهره‌گیری از تکنیک‌های خشک کردن در فر و خشک کردن انجمادی انجام شد تا ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی مطلوبی با استفاده از روش‌شناسی سطح پاسخ به دست آید. نتایج مدل‌سازی رگرسیون نشان داد که مقادیر بازیابی با استفاده از تکنیک خشک کردن در فر نسبت به تکنیک خشک کردن انجمادی کمتر بوده و بهترین ساختار التوژل با استفاده از ۴ گرم CN در هر ۱۰۰ گرم، ۰/۹۸ گرم GG در هر ۱۰۰ گرم و ۰/۴۳ گرم XG در هر ۱۰۰ گرم به دست آمد. همچنین، نتایج نشان داد که با استفاده از مقادیر بهینه، ویژگی‌های مشابه با روغن آفتابگردان و کوتاه‌سازی صنعتی به دست می‌آید، به طوری که مقدار ۹۴/۵ گرم در هر ۱۰۰ گرم برای تولید التوژل‌ها منطقی است (Abdolmaleki et al. 2020).

برای پایش کیفیت التوفوم‌ها، از روش‌های متنوعی بهره‌برداری می‌شود. این روش‌ها شامل آزمون‌های رئولوژی برای ارزیابی خواص مکانیکی و پایداری فوم‌ها، میکروسکوپی الکترونی برای تحلیل ساختار و اندازه حباب‌ها، و آزمون‌های شیمیایی برای بررسی پایداری اکسیداتیو و شیمیایی ترکیبات تشکیل‌دهنده فوم هستند. علاوه بر این، آزمون‌های حسی نیز برای ارزیابی کیفیت حسی و پذیرش مصرف‌کنندگان اجرا می‌شود. این رویکرد جامع، امکان تحلیل دقیق جنبه‌های مختلف کیفیت التوفوم‌ها را فراهم می‌آورد (Qiu et al. 2021).

نتایج و بحث

پایداری فوم

پایداری فوم به سه مکانیزم اصلی مرتبط است: (۱) هم‌جوشی، (۲) تخلیه، و (۳) زبری دیفوزی. تخلیه فوم به جریان مایع در فضاهای بینابینی حباب‌ها اشاره دارد که تحت تأثیر نیروی گرانش و فشار مویرگی قرار می‌گیرد. این فرایند منجر به تشکیل سلول‌های چندوجهی کم‌آب می‌شود. به طور کلی، با افزایش ویسکوزیته مایع، تخلیه کندتر می‌شود (Hashemi et al. 2023).

پس از تشکیل فوم، هم‌جوشی به عنوان فرآیندی شناخته می‌شود که احتمال وقوع آن در لایه نازک مایع، زمانی که حباب‌ها کم‌آب یا پیر می‌شوند، بیشتر است. با افزودن ذرات و سورفکتانت‌ها، می‌توان هم‌جوشی را کاهش داد. هم‌جوشی در واقع بازآرایی گاز میان حباب‌ها است که منجر به افزایش اندازه حباب‌ها می‌شود. این فرایند ممکن است به دلیل تفاوت فشار لاپلاس یا شکست لایه نازک مایع که باعث ترکیب دو حباب مجاور می‌شود، رخ دهد. در نهایت، زبری دیفوزی با تشکیل فوم با گازی که نفوذپذیری کمتری دارد یا مدول فشرده‌سازی سطحی بیشتری دارد، مهار می‌شود (Grizopoulou et al. 2020).

در یک مطالعه، به منظور درک بهتر پایداری آلیوفومها، از غلظت‌های مختلف مونواسیلگلیسرول (۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ درصد وزنی) بهره‌برداری شد تا آلیوفومها از طریق هم‌زدن آلیوفومها ساختاردهی شوند. افزایش غلظت مونواسیلگلیسرول به بهبود کیفیت فومها منجر شد. به‌طور خاص، حباب‌های محکم‌تری ایجاد شد و الاستیسیته بین سطحی فوم افزایش یافت. همچنین، با افزایش غلظت، توزیع اندازه حباب‌ها به صورت متراکم‌تر و یکنواخت‌تر در آلیوفومها مشاهده شد. نتایج حرارتی مطالعه نشان می‌دهند که ساختار فوم با غلظت‌های بالاتر مونواسیلگلیسرول، مقاومت بیشتری در برابر حرارت نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، برای تخریب این ساختار فومهای مقاوم‌تر، نیاز به حرارت بیشتری وجود دارد. این یافته‌ها به ما این امکان را می‌دهند که با تنظیم غلظت مونواسیلگلیسرول، کیفیت و پایداری آلیوفومها را بهبود بخشیم و ویژگی‌های مطلوب‌تری در کاربردهای مختلف به دست آوریم (Du et al. 2021).

پایدارسازی پیکرینگ توسط ذرات کریستالی

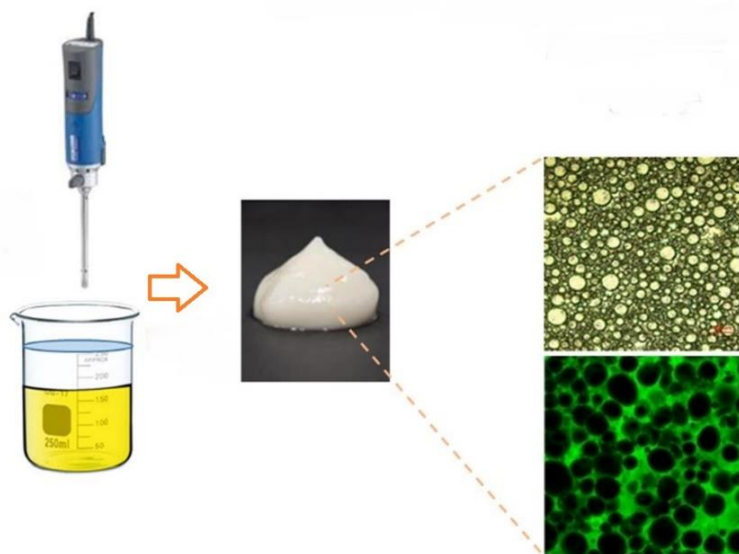
پایدارسازی قطرات امولسیون می‌تواند از طریق چندین مکانیسم کلیدی درک شود:

ایجاد موانع فیزیکی با ذرات کلئیدی: این روش به عنوان امولسیون‌های پیکرینگ شناخته می‌شود و به نام دانشمندی که اولین بار این فرآیند را بررسی کرده است، نام‌گذاری شده است. در این روش، ذرات کلئیدی که در سطح قطرات امولسیون قرار می‌گیرند، به عنوان موانع فیزیکی عمل کرده و از هم‌جوشی قطرات جلوگیری می‌کنند. این ذرات با ایجاد یک لایه فیزیکی بر روی سطح قطرات، به تثبیت امولسیون و جلوگیری از فروپاشی آن کمک می‌کنند. این مکانیسم پایدارسازی امولسیون‌ها به نام "امولسیون‌های پیکرینگ" نسبت به نام والتر رمزدن (Walter Ramsden) در سال ۱۹۰۳ مستند شده است (Hossain, Deeming, and Edler 2021).

توسعه فیلم‌های بین‌سطحی استریک: این روش شامل استفاده از هیدروکلوئیدها و پروتئین‌های محلول در آب برای ایجاد فیلم‌های نازک و استریک در سطح قطرات امولسیون است. این فیلم‌ها به عنوان لایه‌های محافظ در اطراف قطرات عمل کرده و کشش‌های بین‌سطحی را کاهش می‌دهند. این عمل به افزایش پایداری امولسیون کمک کرده و از ترکیب قطرات جلوگیری می‌کند (Grossi et al. 2023).

کاهش کشش‌های بین‌سطحی با سورفکتانت‌های با وزن مولکولی کم: سورفکتانت‌ها موادی هستند که کشش‌های بین‌سطحی را کاهش می‌دهند. این مواد با جذب به سطح قطرات امولسیون و کاهش کشش‌های بین‌سطحی، به تثبیت امولسیون و جلوگیری از فروپاشی آن کمک می‌کنند. سورفکتانت‌های با وزن مولکولی کم به دلیل ساختار شیمیایی خود به راحتی در سطح قطرات امولسیون جذب شده و عملکرد بهینه‌ای در کاهش کشش‌های بین‌سطحی دارند. این سه مکانیسم به طور کلی به بهبود پایداری امولسیون‌ها کمک کرده و از تغییرات ناخواسته در ترکیب و کیفیت امولسیون جلوگیری می‌کنند (Hossain, Deeming, and Edler 2021).

فوم‌های روغنی (آلیوفومها) که بر پایه ژل‌های روغنی پایدار شده‌اند، در سطح حباب‌های هوا و در بخش عمده‌ای از روغن، پایداری قابل توجهی دارند. یکی از پارامترهای حیاتی در پایداری آلیوفومها، اندازه ذرات کریستالی است (شکل ۱). فرآیند تشکیل، که شامل سرعت برش و سرعت خنک‌سازی می‌شود، می‌تواند به تنظیم خواص این فومها کمک کند. تغییر نسبت وزنی بین الکل‌های چرب و اسیدهای چرب با زنجیره بلند بر روی آلیوفومها تأثیرگذار است (Rana et al. 2022).



شکل ۱- اندازه ذرات کریستالی در پایداری آلیوفومها

کریستال‌های مخلوط نقش مهمی در ایجاد و پایداری فومها دارند. این کریستال‌ها با بهبود ساختار داخلی فوم، به افزایش پایداری و سختی آن کمک می‌کنند. همچنین، سختی و پایداری ژل روغنی به طور مستقیم با ویژگی‌های بعدی آلیوفومها ارتباط دارد، به طوری که خواص فومها تحت تأثیر ویژگی‌های ژل روغنی قرار می‌گیرد. تفاوت در پایداری فومها می‌تواند به خوبی از طریق توزیع اندازه حباب برای آلیوفومهای تهیه شده تحت غلظت‌های مختلف مونولیسیرید منعکس شود (Du et al. 2021).

عوامل مؤثر بر پایداری آلیوفومها

زمان و دما

کنترل دما می‌تواند به ایجاد کریستال‌های تری‌گلیسیرید با نقطه ذوب بالا در فاز پیوسته تری‌گلیسیریدهای با نقطه ذوب پایین کمک کند. این سیستم سپس با هوادهی به تولید فومهای روغنی با پایداری بالا منجر می‌شود. تحقیقات نشان داده‌اند که محتوای چربی جامد در حدود ۲۰-۳۰٪ برای فومسازی بهینه است. در طی فرآیند تولید و ذخیره‌سازی، ویژگی‌های مخلوط کریستال-روغن تحت تأثیر زمان و دما قرار می‌گیرند. برای فرموله کردن الئوژل‌ها، پروتکل‌های تمپرینگ مختلف تنظیم شده و ساختار میکروسکوپی آنها با استفاده از روش‌های کالری‌سنجی اسکن دیفرانسیلی، رئولوژی، و تفرق اشعه ایکس مورد بررسی قرار می‌گیرد. مطالعات نشان داده‌اند که رابطه زمان-دما تأثیر زیادی بر ویژگی‌های فوم دارد. به عبارتی دیگر، تنظیم دقیق زمان و دما در فرآیند تولید، می‌تواند به بهبود خصوصیات فومهای روغنی، از جمله پایداری، ساختار میکروسکوپی، و ویژگی‌های رئولوژیکی کمک کند (Tirgarian and Farmani 2023).

تنش تسلیم

تشکیل شبکه کریستالی در سیستم‌های مایع می‌تواند منجر به تغییرات قابل توجهی در رفتار رئولوژیکی آنها شود. هنگامی که شبکه‌های کریستالی در یک سوسپانسیون کریستال-مذاب تشکیل می‌شوند، سیستم به مایعات برشی نازک تبدیل می‌شود. این

به معنای کاهش ویسکوزیته سیستم تحت فشار برشی است، که می‌تواند موجب تغییر در جریان و شکل‌پذیری مایع شود. شبکه‌های کریستالی به عنوان ساختارهای داخلی که مقاومت در برابر تغییرات شکل را فراهم می‌آورند، می‌توانند به ظهور تنش تسلیم منجر شوند. این تنش تسلیم به معنای نیروی مورد نیاز برای شروع تغییر شکل در سیستم است و به طور مستقیم با ویژگی‌های شبکه کریستالی مرتبط است (Fameau and Saint-Jalmes 2020).

مطالعات تجربی نشان داده‌اند که با افزایش نرخ برش، تنش تسلیم نیز افزایش می‌یابد. این رفتار به دلیل تغییرات در ساختار کریستالی سیستم ناشی از نرخ برش بالاتر است. افزایش نرخ برش می‌تواند به دو شکل بر تنش تسلیم تأثیر بگذارد: اولاً، با افزایش نسبت ابعادی کریستال‌ها که به تجمع آنها منجر می‌شود و ثانیاً، با کوچک‌تر شدن اندازه کریستال‌ها. در نتیجه، کریستال‌ها به طور بیشتری درون مایع معلق می‌شوند و ساختار شبکه کریستالی تحت فشار برشی تغییر می‌کند، که به نوبه خود باعث افزایش تنش تسلیم می‌شود. این تغییرات در ساختار کریستالی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر خواص مکانیکی و رئولوژیکی سیستم‌های کریستال مذاب از جمله بر رفتار جریان، استحکام و قابلیت شکل‌پذیری آنها، داشته باشد (Fameau and Saint-Jalmes 2020).

زاویه تماس

زاویه تماس به عنوان زاویه‌ای تعریف می‌شود که در مرز بین سه فاز مختلف (فاز پیوسته، فاز پراکنده، و ذرات جامد) تشکیل می‌شود. این زاویه، که معمولاً در سیستم‌های امولسیون و فومی مورد بررسی قرار می‌گیرد، اطلاعات مهمی در مورد نحوه تعامل فازهای مختلف و چگونگی تثبیت سیستم‌های کلوئیدی ارائه می‌دهد. اگر زاویه تماس کمتر از ۹۰ درجه باشد، امولسیون‌های آب در روغن (O/W) تشکیل خواهند شد. این به معنای آن است که فاز پیوسته عمدتاً روغن و فاز پراکنده عمدتاً آب است. مطالعات نشان داده‌اند که زاویه تماس تأثیر بسزایی بر رفتار فوم‌سازی دارد. به عبارت دیگر، تغییرات در زاویه تماس می‌تواند به طور مستقیم بر ثبات حباب‌های هوا تأثیر بگذارد. اگر زاویه تماس به گونه‌ای تنظیم شود که برای ایجاد فوم‌های پایدار مناسب باشد، می‌تواند به بهبود ساختار و پایداری حباب‌ها در فوم‌ها کمک کند. به همین دلیل، کنترل دقیق زاویه تماس به عنوان یک پارامتر کلیدی در طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های فومی و امولسیونی ضروری است (Qiu et al. 2021).

کاربردهای غذایی

بیشتر محصولات غذایی به عنوان سیستم‌های کلوئیدی پیچیده شناخته می‌شوند که شامل فازها و رابط‌های متعددی هستند که به دلیل تماس نزدیک فازهای پراکنده و پیوسته به وجود می‌آیند. یکی از این سیستم‌ها، کف‌ها هستند، که در آنها حباب‌های هوا در یک فاز پیوسته پخش و تثبیت می‌شوند. این سیستم‌ها به دلیل توانایی بالقوه‌شان در بازسازی محصولات غذایی با کالری کمتر، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه انجام شده است تا از پتانسیل‌های کف‌های خوراکی بهره‌برداری شود (Tan et al. 2023).

علاوه بر جنبه‌های تغذیه‌ای، فوم‌ها به دلیل بافت خاص و احساس منحصر به فردی که در دهان ایجاد می‌کنند، در علم آشپزی نیز محبوبیت یافته‌اند. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که فوم‌ها به عنوان یک عنصر جذاب و نوآورانه در تهیه غذاهای مختلف به کار روند. با این حال، تحقیقات در زمینه فوم‌های غذایی به اندازه امولسیون‌ها و ژل‌های خوراکی مورد توجه قرار نگرفته‌اند. این کمبود توجه به

تحقیق ممکن است به دلیل پیچیدگی‌های خاص در تولید و پایداری کف‌ها باشد، که نیاز به بررسی و توسعه بیشتر دارد تا به‌طور کامل از پتانسیل‌های آنها در صنعت غذایی بهره‌برداری شود (Zhan et al. 2022).

هدف اصلی از این دستاورد، بررسی پایداری مرزهای هوا و روغن برای ایجاد فوم‌های غیر آبی با استفاده از روغن‌های گیاهی خوراکی و امولسیفایرهای مجاز غذایی است. این تحقیق به دنبال توسعه روش‌هایی است که بتوانند حجم زیادی از حباب‌های هوا را در یک فاز پیوسته هیدروفوب (روغن مایع) پراکنده کنند تا فوم‌های اولئوژل با ثبات بالا تولید نمایند (Alhasan, Tehrani, and Varidi 2024).

به عبارت دیگر، چالش اصلی در این زمینه، توانایی پراکندن و تثبیت حباب‌های هوا در یک فاز پیوسته هیدروفوب مانند روغن مایع است. این فرآیند نیازمند استفاده از امولسیفایرهای مؤثر و تنظیم دقیق شرایط تولید است تا بتوان به یک فوم اولئوژل پایدار دست یافت. تلاش برای غلبه بر این چالش می‌تواند به توسعه محصولات غذایی جدید و نوآورانه با ویژگی‌های منحصر به فرد منجر شود (Ribourg-Birault et al. 2024).

نانوایی

محصولاتی مانند روغن‌های مایع، کره، و مارگارین که در آنها چربی به عنوان فاز پیوسته عمل می‌کند، به خوبی شناخته شده‌اند و به طور گسترده‌ای به عنوان اجزای چربی در پخت و پز استفاده می‌شوند. در این محصولات، فاز چربی معمولاً ترکیبی از چربی‌های جامد (در دمای اتاق) و روغن‌های مایع (در دمای اتاق) است. در این محصولات، شبکه بلوری چربی نقش مهمی در تثبیت امولسیون ایفا می‌کند. این شبکه بلوری که در ساختار چربی ایجاد می‌شود، به تثبیت و نگهداری ساختار امولسیون کمک می‌کند. به عبارت دیگر، شبکه بلوری چربی به عنوان یک عامل پایداری عمل کرده و موجب می‌شود که اجزای مختلف امولسیون به طور یکنواخت و پایدار باقی بمانند، که این امر به بهبود ویژگی‌های عملکردی و کیفیت نهایی محصول کمک می‌کند (Mohan et al. 2022).

یکی از روش‌های مؤثر برای کاهش چربی در محصولات غذایی، جایگزینی بخشی از چربی با یک گاز خوراکی است. این نوع ساختار غذایی حباب‌دار شامل محصولاتی مانند بستنی، موس، و خامه زده شده است. با این حال، ثبات این محصولات معمولاً کمتر از روغن‌ها و چربی‌های کف دار است، که به دلیل ایجاد و تثبیت حباب‌های هوا در این محصولات است. از این رو، توسعه محصولات چربی پیوسته هوا دهی شده با پایداری بالا به شدت ضروری است (Rana et al. 2022).

علاوه بر این، برخی از مصرف‌کنندگان تمایل دارند از مصرف محصولات حاوی مواد مصنوعی مانند قندها، اسیدهای چرب، و امولسیفایرهای مصنوعی خودداری کنند. به همین دلیل، روش‌های نوآورانه برای تثبیت الفوفوم‌ها بدون استفاده از افزودنی‌های مصنوعی معرفی شده است (Wettlaufer and Flöter 2022). یکی از این روش‌ها شامل استفاده از کریستال‌های چربی و کنترل دمای چربی/روغن است که امکان تولید محصولات پایدار بدون نیاز به افزودنی‌ها را فراهم می‌آورد. با توجه به نیاز به جایگزینی چربی‌های ترانس و اشباع، تحقیقات در زمینه تولید محصولات غذایی با شبیه‌سازی چربی‌های طبیعی نیز در حال انجام است. در این راستا، استفاده از مواد طبیعی و اثبات شده در عملکرد آنها در محصولات غذایی توصیه می‌شود. این تحقیقات به دنبال توسعه گزینه‌های سالم‌تر و پایدارتر برای جایگزینی چربی‌های مضر در محصولات غذایی هستند (Qiu et al. 2022).

جایگزینی چربی در محصولات نانوائی

به منظور بهبود کیفیت تغذیه‌ای محصولات نانوائی، در حال حاضر، استفاده از روغن کلزا در شکل اولئوژل‌های سازمان‌دهی شده توسط موم‌های مختلف مانند موم زنبور عسل، کندیلیا و موم برنج مورد استقبال قرار گرفته است. این فرآیند شامل ترکیب روغن کلزا با موم‌ها به منظور ایجاد یک ساختار اولئوژل پایدار است. در این ساختار، روغن کلزا با استفاده از موم‌ها به حالت جامد در می‌آید و بنابراین به شکل یک ماتریس جامد در می‌آید که توانایی حفظ و تثبیت ارزش‌های غذایی روغن را دارا است. این روش به طور همزمان کمک می‌کند تا از روغن کلزا در فرمتی استفاده شود که دارای یکپارچگی جامد است، که به حفظ ارزش‌های غذایی و تغذیه‌ای آن کمک می‌کند. در نتیجه، این تکنیک باعث بهبود کیفیت تغذیه‌ای محصول نهایی می‌شود و به علاوه، امکان استفاده از روغن کلزا را در محصولات غذایی به صورت پایدارتر فراهم می‌آورد (Winkler-Moser et al. 2019).

جایگزینی چربی در محصولات گوشتی

در تهیه سوسیس‌های خشک تخمیری، چربی بافت حیوانی به طور سنتی به عنوان یکی از اجزای اصلی استفاده می‌شود و نقش مهمی در تأثیرگذاری بر طعم، بافت و ویژگی‌های نهایی محصول ایفا می‌کند. این چربی به دلیل ویژگی‌های خاص خود به سوسیس‌ها هویتی منحصر به فرد می‌بخشد. با این حال، تلاش‌ها برای کاهش میزان چربی اشباع در محصولات غذایی، جایگزینی این چربی با گزینه‌های دیگر را به یک چالش بزرگ تبدیل کرده است. در یک مطالعه جدید، ۱۶ درصد از چربی حیوانی با امولسیون‌های ژلی بر پایه ذرت یا روغن کلزا جایگزین شد. این مطالعه به دنبال تولید سوسیس‌های تخمیری با چربی کمتر و بهبود پروفایل اسیدهای چرب، به ویژه افزایش اسیدهای چرب غیراشباع و کاهش چربی‌های اشباع شده، بود (Ren et al. 2022).

در تحقیق دیگری، امولسیون‌های ژلی حاوی روغن سویا با استفاده از تثبیت‌کننده‌ها، مواد عملکردی و ژل‌کننده‌ها بررسی شدند و در سوسیس بولونیا به کار رفتند تا ۵۰ و ۱۰۰ درصد چربی حیوانی را جایگزین کنند. نتایج این تحقیق نشان داد که امولسیون ژل حاوی آرد چیا توانست میزان قابل توجهی از اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه را افزایش دهد و محتوای اسیدهای چرب اشباع را تا ۴۱ درصد کاهش دهد. این نتایج به وضوح نشان‌دهنده توانایی بالای امولسیون‌های ژلی در بهبود کیفیت تغذیه‌ای محصولات غذایی و ارائه گزینه‌های سالم‌تر در برابر چربی‌های اشباع شده هستند. این پیشرفت‌ها می‌توانند به کاهش مشکلات بهداشتی مرتبط با مصرف چربی‌های اشباع شده و بهبود سلامت عمومی کمک کنند (de Souza Paglarini et al. 2019).

تأثیر الئوفوم‌ها بر سلامت

بررسی‌ها نشان می‌دهند که نوع روغن و ترکیبات به کار رفته در الئوفوم‌ها می‌توانند تأثیر مستقیمی بر سلامت مصرف‌کنندگان داشته باشند. روغن‌های حاوی اسیدهای چرب غیراشباع، به دلیل تأثیر مثبتشان بر سلامت قلب و عروق، می‌توانند گزینه مناسبی برای تولید الئوفوم‌های سالم‌تر باشند. این اسیدهای چرب به بهبود عملکرد قلب و کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی و عروقی کمک می‌کنند و به همین دلیل، انتخاب آنها در تولید الئوفوم‌ها می‌تواند به ارتقاء سلامت عمومی مصرف‌کنندگان منجر شود (Ribourg-Birault et al. 2024). مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که مصرف اسیدهای چرب امگا-۳ و سایر چربی‌های غیراشباع چندگانه موجود در روغن‌های گیاهی می‌تواند به کاهش التهاب و بهبود عملکرد عروق خونی کمک کند، که این امر به نوبه خود به کاهش ریسک بیماری‌های قلبی منجر می‌شود (Mozaffarian et al. 2006).

در مقابل، استفاده از روغن‌های حاوی اسیدهای چرب اشباع و ترانس می‌تواند خطرات سلامتی را افزایش دهد. این نوع چربی‌ها به افزایش سطح کلسترول بد (LDL) و کاهش سطح کلسترول خوب (HDL) در خون کمک می‌کنند که به نوبه خود می‌تواند خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی را افزایش دهد. (Soleimanian et al. 2024). بر اساس مطالعات انجام‌شده، مصرف طولانی‌مدت محصولات حاوی چربی‌های ترانس به طور مستقیم با افزایش ریسک بیماری‌های قلبی و عروقی در ارتباط است (Micha et al. 2017). به همین دلیل، انتخاب مناسب ترکیبات و توجه به کیفیت مواد اولیه در تولید الیوفوم‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این انتخاب نه تنها بر کیفیت محصول نهایی تأثیر می‌گذارد، بلکه بر سلامت مصرف‌کنندگان نیز تأثیرگذار است.

همچنین، تحقیقات نشان داده‌اند که کاهش مصرف چربی‌های اشباع و جایگزینی آن‌ها با چربی‌های غیراشباع می‌تواند به کاهش ریسک بیماری‌های قلبی کمک کند. مطالعات اخیر نشان داده است که کاهش مصرف چربی‌های اشباع به طور مستقیم با کاهش مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی و عروقی در ارتباط است (Astrup et al. 2011). به علاوه، استفاده از روغن‌های غنی از آنتی‌اکسیدان‌ها می‌تواند به کاهش اکسیداسیون چربی‌ها و افزایش پایداری محصولات کمک کند، که این موضوع نیز به نوبه خود از اهمیت بالایی برخوردار است.

در نهایت، اهمیت استفاده از ترکیبات پایدار و سالم در تولید الیوفوم‌ها نه تنها به بهبود کیفیت محصول کمک می‌کند بلکه می‌تواند به کاهش بیماری‌های مرتبط با رژیم غذایی ناسالم منجر شود. این موضوع به ویژه در دنیای امروز که مصرف محصولات فراوری شده افزایش یافته است، از اهمیت بیشتری برخوردار است. انتخاب ترکیبات سالم و مناسب در تولید محصولات غذایی می‌تواند به حفظ سلامت مصرف‌کنندگان کمک کرده و از بروز بیماری‌های مزمن مرتبط با رژیم غذایی ناسالم جلوگیری کند.

روش‌های پایش کیفیت الیوفوم‌ها

برای ارزیابی کیفیت الیوفوم‌ها، روش‌های متنوعی به کار می‌روند که هر یک به جنبه‌های مختلفی از کیفیت محصول می‌پردازند و اطلاعات دقیق و جامعی را در اختیار تولیدکنندگان قرار می‌دهند.

اولین روش، آزمون‌های رئولوژی است که به بررسی ویژگی‌های مکانیکی و جریان فوم‌ها می‌پردازد. این آزمون‌ها به تحلیل رفتار فوم‌ها تحت تأثیر نیروهای مختلف، مانند فشار و کشش، کمک می‌کنند. رئولوژی می‌تواند اطلاعاتی درباره ویسکوزیته و قابلیت جریان فوم‌ها ارائه دهد و نشان دهد که چگونه فوم‌ها به تغییرات خارجی پاسخ می‌دهند. این اطلاعات برای اطمینان از عملکرد مناسب و پایداری فوم‌ها در شرایط مختلف کاربردی است (Jabarkhyl et al. 2020).

دومین روش، استفاده از میکروسکوپی الکترونی برای بررسی ساختار حباب‌ها است. این روش به بررسی دقیق ابعاد و توزیع حباب‌ها در فوم می‌پردازد و به تحلیل نحوه توزیع و ثبات حباب‌ها در فاز پیوسته کمک می‌کند. میکروسکوپی الکترونی می‌تواند جزئیات دقیقی از ساختار میکروسکوپی فوم‌ها را ارائه دهد و به شناسایی مشکلات ساختاری یا عدم یکنواختی در فوم‌ها کمک کند (Saha et al. 2020).

سومین روش، آزمون‌های اکسیداسیون هستند که به ارزیابی پایداری شیمیایی فوم‌ها و عمر مفید آنها می‌پردازند. این آزمون‌ها به بررسی مقاومت فوم‌ها در برابر تغییرات شیمیایی و اکسیداسیون در طول زمان کمک می‌کنند و اطلاعاتی درباره مدت زمان

نگهداری و کیفیت طولانی مدت محصول ارائه می دهند. این اطلاعات برای پیش بینی رفتار محصول در شرایط نگهداری و استفاده طولانی مدت بسیار مهم است (Ribourg-Birault et al. 2024).

در نهایت، آزمون های حسی به ارزیابی ویژگی های حسی فوم ها، مانند طعم، بافت، و عطر، پرداخته و پذیرش مصرف کنندگان را بررسی می کنند. این آزمون ها شامل ارزیابی های حسی توسط گروه های تست مصرف کنندگان است که می تواند به تولید کنندگان بازخورد ارزشمندی درباره کیفیت کلی محصول و میزان پذیرش آن توسط بازار هدف ارائه دهد. ترکیب این روش ها به تولید کنندگان کمک می کند تا کیفیت نهایی التوفوم ها را به طور جامع ارزیابی کنند و به بهبود ویژگی های محصول بر اساس نیازهای مصرف کنندگان و استانداردهای صنعتی بپردازند (Metilli et al. 2021).

نتیجه گیری

این مقاله مروری به بررسی اولئوفوم (oleofoam)، پایداری آن و عواملی که بر استحکام آن تأثیر می گذارند، می پردازد. همان طور که در مطالعات پیشین مشاهده شده است، مشکلاتی مانند تخلیه (drainage)، هم آمیختگی (coalescence)، و درشت شدن پراکنده (diffusive coarsening) از جمله مسائلی هستند که بر پایداری اولوفوم تأثیر می گذارند. تخلیه به جریان مایع از میان حباب ها، هم آمیختگی به ترکیب حباب های مجاور، و درشت شدن پراکنده به افزایش اندازه حباب ها به دلیل تجمع گازها مربوط می شود. برای کاهش این مشکلات، می توان اقداماتی نظیر افزایش ویسکوزیته حجمی مایع، افزودن ذرات و سورفکتانت ها، و استفاده از گازی با نفوذپذیری کمتر یا فشردگی سطحی بیشتر در تشکیل فوم را به کار برد.

علاوه بر این، مقاله به تأثیر زمان، دما، نرخ سرمایش و نرخ برش بر پایداری فوم نیز پرداخته است. در غلظت های بالاتر مونوگلیسیرید، مشاهده شده که افزایش ظرفیت پیوند روغن (OBC) و استحکام شبکه در استفاده از HIU با نرخ ۰.۱ درجه سانتی گراد در دقیقه، تأثیر بیشتری دارد. همچنین، برای کاهش خطرات سلامتی ناشی از چربی ها، به ویژه چربی های اشباع شده که در صنعت نانوائی (چربی پالم) و صنعت گوشت (چربی پشت خوک) رایج هستند، روش های مختلفی برای جایگزینی این چربی ها با چربی های کمتر اشباع شده (چربی های چندغیراشباع) که کیفیت مشابهی دارند، مورد بحث قرار گرفته است. این جایگزینی می تواند به بهبود کیفیت تغذیه ای محصولات غذایی و کاهش خطرات سلامت مرتبط با چربی های اشباع شده کمک کند.

منابع و مآخذ

- Abdolmaleki, Khadije, Leyla Alizadeh, Kooshan Nayeibzadeh, Seyede Marzieh Hosseini, and Reyhane Shahin. 2020. "Oleogel production based on binary and ternary mixtures of sodium caseinate, xanthan gum, and guar gum: Optimization of hydrocolloids concentration and drying method." *Journal of texture studies* 51 (2):290-299.
- Alhasan, Fayza Hussein, Mostafa Mazaheri Tehrani, and Mehdi Varidi. 2024. "Producing superior oleofoams: Unraveling the impact of oil type, surfactant concentration, and production temperature on foam stability and functional characteristics." *Food Chemistry: X* 21:101033.
- Astrup, Arne, Jørn Dyerberg, Peter Elwood, Kjeld Hermansen, Frank B Hu, Marianne Uhre Jakobsen, Frans J Kok, Ronald M Krauss, Jean Michel Lecerf, and Philippe LeGrand. 2010. "The role of reducing intakes of saturated fat in the prevention of cardiovascular disease: where does the evidence stand in 2010?" *The American journal of clinical nutrition* 93 (4):684-688.
- Callau, Marion, Koudédji Sow-Kébé, Nina Jenkins, and Anne-Laure Fameau. 2020. "Effect of the ratio between fatty alcohol and fatty acid on foaming properties of whipped oleogels." *Food Chemistry* 333:127403.
- de Souza Paglarini, Camila, Guilherme de Figueiredo Furtado, Alice Raissa Honorio, Letícia Mokarzel, Vitor Andre da Silva Vidal, Ana Paula Badan Ribeiro, Rosiane Lopes Cunha, and Marise Aparecida Rodrigues Pollonio. 2019. "Functional emulsion gels as pork back fat replacers in Bologna sausage." *Food structure* 20:100105.
- Du, Liyang, Qinbo Jiang, Shaoyang Li, Qi Zhou, Yaoqiang Tan, and Zong Meng. 2021. "Microstructure evolution and partial coalescence in the whipping process of oleofoams stabilized by monoglycerides." *Food Hydrocolloids* 112:106245.
- Fameau, Anne-Laure, and Arnaud Saint-Jalmes. 2020. "Recent advances in understanding and use of oleofoams." *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4:110.
- Grizopoulou, Sofia, Maria Karagiorgou, Vassilis Karageorgiou, Ping Shao, Dimitrios Petridis, and Christos Ritzoulis. 2020. "Spontaneous Oleofoams from Water-in-Oil Emulsions." *Journal of the American Oil Chemists' Society* 97 (3):243-252.
- Grossi, Matteo, Baochen Fang, Jiajia Rao, and Bingcan Chen. 2023. "Oleofoams stabilized by monoacylglycerides: Impact of chain length and concentration." *Food Research International* 169:112914.
- Gunes, DZ, Mathieu Murith, Julie Godefroid, Cindy Pelloux, Hélène Deyber, O Schafer, and O Breton. 2017. "Oleofoams: Properties of Crystal-Coated Bubbles from Whipped Oleogels Evidence for Pickering Stabilization." *Langmuir* 33 (6):1563-1570.
- Hashemi, Behnaz, Elham Assadpour, Fuyuan Zhang, and Seid Mahdi Jafari. 2023. "Oleo-foams and emulsion-foams as lipid-based foam systems: a review of their formulation, characterization, and applications." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*:1-24.
- Hossain, Kazi M Zakir, Laura Deeming, and Karen J Edler. 2021. "Recent progress in Pickering emulsions stabilised by bioderived particles." *RSC advances* 11 (62):39027-39044.
- Jabarkhyl, Saifullah, Mostafa Barigou, Mandar Badve, and Shiping Zhu. 2020. "Rheological properties of wet foams generated from viscous pseudoplastic fluids." *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 64:102304.
- Lee, Wan Jun, Chaoying Qiu, Junle Li, and Yong Wang. 2022. "Sustainable oil-based ingredients with health benefits for food colloids and products." *Current Opinion in Food Science* 43:82-90.
- Matsuo, Kazuki, and Satoru Ueno. 2021. "Formation and physical analysis of oleogels composed of edible oils and high-melting fat crystals." *Journal of Oleo Science* 70.1390-1398(10)
- Metilli, Lorenzo, Aris Lazidis, Mathew Francis, Stephanie Marty-Terrade, Joydeep Ray, and Elena Simone. 2021. "The effect of crystallization conditions on the structural properties of oleofoams made of cocoa butter crystals and high oleic sunflower oil." *Crystal Growth & Design* 21 (3):1562-1575.
- Micha, Renata, Jose L Peñalvo, Frederick Cudhea, Fumiaki Imamura, Colin D Rehm, and Dariush Mozaffarian. 2017. "Association between dietary factors and mortality from heart disease, stroke, and type 2 diabetes in the United States." *Jama* 317 (9):912-924.
- Mohan, Athira, Kim Harrison, David ML Cooper, Michael T Nickerson, and Supratim Ghosh. 2022. "Conversion of pulse protein foam-templated oleogels into oleofoams for improved baking application." *Foods* 11 (18):2887.
- Mozaffarian, Dariush, Martijn B Katan, Alberto Ascherio, Meir J Stampfer, and Walter C Willett. 2006. "Trans fatty acids and cardiovascular disease." *New England Journal of Medicine* 354 (15):1601-1613.

- Papadaki, Aikaterini, Nikolaos Kopsahelis, Denise MG Freire, Ioanna Mandala, and Apostolis A Koutinas. 2020. "Olive oil oleogel formulation using wax esters derived from soybean fatty acid distillate." *Biomolecules* 10 (1):106.
- Qiu, Chaoying, Mengting Lei, Wan Jun Lee, Ning Zhang, and Yong Wang. 2021. "Fabrication and characterization of stable oleofoam based on medium-long chain diacylglycerol and β -sitosterol." *Food chemistry* 350:129275.
- Qiu, Chaoying, Shaolin Wang, Ying Wang, Wan Jun Lee, Junning Fu, Bernard P Binks, and Yong Wang .۲۰۲۲ . "Stabilisation of oleofoams by lauric acid and its glycerol esters." *Food Chemistry* 386:132776.
- Rana, Areeba, Waqar Ahmed, Saima Naz, Muhammad Inam-Ur-Raheem, Muhammad Kashif Iqbal Khan, Muhammad Abid, Muhammad Asim Shabbir, and Rana Muhammad Aadil. 2022. "Recent advances in oleofoam stability and its application." *The age of clean label foods*:135-159.
- Ren, Yuqing, Lu Huang, Yinxiao Zhang, He Li, Di Zhao, Jinnuo Cao, and Xinqi Liu. 2022. "Application of emulsion gels as fat substitutes in meat products." *Foods* 11 (13):1950.
- Ribourg-Birault, Lucie, Anne Meynier, Simon Vergé, Emeline Sallan, Alice Kermarrec, Xavier Falourd, Claire Berton-Carabin, and Anne-Laure Fameau. 2024. "Oleofoams: The impact of formulating air-in-oil systems from a lipid oxidation perspective." *Current Research in Food Science* 8:100690.
- Saha, S, B Saint-Michel, V Leynes, BP Binks, and V Garbin. 2020. "Stability of bubbles in wax-based oleofoams: decoupling the effects of bulk oleogel rheology and interfacial rheology." *Rheologica Acta* 59:255-266.
- Soleimani, Yasamin, Rachel Tanti, Nicole Shaw, and Alejandro G Marangoni. 2024. "Novel Strategies for Structuring Liquid Oils, Their Applications, and Health Implications." In *Advances in Oleogel Development, Characterization ,and Nutritional Aspects*, 39-76. Springer.
- Tan, Tzyi Horng, Eng-Seng Chan, Maslia Manja, Teck-Kim Tang, Eng-Tong Phuah, and Yee-Ying Lee. 2023. "Production, health implications and applications of oleogels as fat replacer in food system: A review." *Journal of the American Oil Chemists' Society* 100 (9):681-697.
- Thakur, Dhruv, Anurag Singh, Pramod Kumar Prabhakar, Murlidhar Meghwal, and Ashutosh Upadhyay. 2022. "Optimization and characterization of soybean oil-carnauba wax oleogel." *Lwt* 157:113108.
- Tirgarian, Behraad, and Jamshid Farmani. 2023. "A novel approach for the development of edible oleofoams using double network oleogelation systems." *Food Chemistry* 426:136634.
- Wettlaufer, Till, and Eckhard Flöter. 2022. "Wax based oleogels and their application in sponge cakes." *Food & Function* 13 (18):9419-9433.
- Winkler-Moser, Jill K, Julie Anderson, Jeffrey A Byars, Mukti Singh, and Hong-Sik Hwang. 2019. "Evaluation of beeswax, candelilla wax, rice bran wax, and sunflower wax as alternative stabilizers for peanut butter." *Journal of the American Oil Chemists' Society* 96 (11):1235-1248.
- Zhan, Fuchao, Mahmoud Youssef, Bakht Ramin Shah, Jing Li, and Bin Li. 2022. "Overview of foam system: Natural material-based foam, stabilization, characterization, and applications." *Food Hydrocolloids* 125:107435.

Oleofoams in the food industry: production technology, applications and health effects

Solmaz Abedinzadeh

Doctorate in Food Science and Industry, National
Standard Organization, Karaj

Behzad Masoumi¹

Assistant Professor, Department of Food Science
and Technology, School of Nursing, Larestan
University of Medical Sciences

Mohammad Ali Torbati

Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Nutrition and Food Science, Tabriz
University of Medical Sciences, Tabriz

Abstract

This review article deals with a comprehensive and analytical review of recent developments in the field of production and use of oleofoams in the food industry. Oleofoams, which are foams with a continuous oily phase, have attracted much attention in the food industry due to their unique structural features and high stability. In this study, the effect of various factors such as the type and composition of oil, the concentration and type of surfactants, and temperature conditions on the stability and performance characteristics of oleofoams have been investigated in detail. In addition, the article evaluates the potential effects of oleofoams on consumers' health and reviews the test methods used to evaluate and monitor the quality of these compounds. The results of the studies show that by choosing the right type of oil and optimizing the process conditions, it is possible to improve the quality and stability of oleofoams and prevent health problems related to their consumption. By providing a comprehensive perspective, this article provides a foundation for future research in this field.

Keywords: oleofoams, foam stability, surfactants, type of oil, health, food industry

¹ Corresponding Author