

بررسی کاربردهای سوکروز استر اسید چرب در صنایع مختلف

محمدحسین غلامی^۱، پریسا خدیوپارسی^{۲*}، رضا ضرغامی^۳، درسا ترابی^۴

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

۲- استادیار مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

۳- دانشیار مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

۴- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران

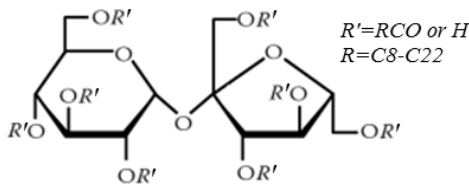
تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۰۴

پیام نگار: kparsi@ut.ac.ir

چکیده

سوکروز استر اسید چرب نوعی ماده فعال سطحی غیر یونی است، که با برخورداری از سازگاری مناسب با بدن آدمی و تجزیه پذیری در طبیعت، دارای کاربردهای وسیعی به ترتیب در صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی، دارو، شویندگی و ضد میکروبی، حشره کش‌ها و آفت کش‌ها در صنایع کشاورزی و نیز تولید ذرات نانو ساختار است. این ماده از مواد ارزان، در دسترس و تجدیدپذیری مانند شکر و اسیدهای چرب تولید می‌شود و به دلیل وجود هشت جایگاه استری شدن سوکروز، می‌توان دامنه گسترده‌ای از خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی را پدید آورد، که این تفاوت‌ها به طور عمده با تغییر درجه جانشینی و طول زنجیره اسیدهای چرب آن‌ها ایجاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: سوکروز استر، ماده فعال سطحی غیر یونی، کاربردها



شکل ۱. ساختار مولکولی عمومی سوکروز استر

۱. مقدمه

این ماده، همان‌طور که از نامش برمی‌آید، این ماده از استری شدن مولکول سوکروز، که همان قند متعارف خوراکی است، حاصل می‌شود، که از پرکاربردترین آن‌ها سوکروز استرهای بی‌اند، که با اسیدهای چرب کربوکسیلیک استری^۱ می‌شوند.

مولکول سوکروز استر را در شکل (۱) مشاهده می‌کنید:

که در آن، R زنجیره هیدروکربنی اسید کربوکسیلیک است، که ساختار و طول آن، بر خواص سوکروز استر تأثیر می‌گذارد. در

* تهران، دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده مهندسی شیمی، گروه مهندسی داروسازی

1. Sucrose Fatty Acid Esters

آنها این امکان را فراهم می‌آورند، تا هم در کاربردهای خوراکی و هم مراقبت شخصی یافت شوند؛

- سوکروز استرها و گلیکوزیدهای آلکیلی غیرسمی و نانباشتی‌اند؛

- خواص آن‌ها بر خلاف فعال کننده‌های سطحی آلکیل-PEG-غیریونی مشابهشان، نسبت به دما ناحساس‌اند.

تولید سوکروز مونو استرهای با زنجیره بلند اسید چرب یکی از عمده‌ترین و از جمله نخستین دستاوردهای بنیاد تحقیقات قند به‌شمار می‌آید [۳]. این استرها در ژاپن برای استفاده به عنوان افزودنی مواد غذایی در سال ۱۹۵۹ به سرعت تأیید شدند و در پی آن تاییدیه جهانی را برای کاربرد به عنوان ماده فعال سطحی غیریونی و امولسیون‌کننده در محصول‌های غذایی را پیدا کردند. مزیت عمده این ترکیب در سوخت‌وساز کلی و زیست تجزیه‌پذیری آن‌ها واقع شده است. به اضافه مونواسترهای شکر مانند مونولائورات^۳، ویژگی مشهودی در جلوگیری از رشد اشرشیاکلی^۴ و سایر باکتری‌ها دارند، که موجب به کارگیری آن‌ها در صنایع غذایی است.

۱.۲ خواص فعال سطحی سوکروز استر

خاصیت فعال کنندگی سطحی برای سوکروز استر امکان کاربرد در زمینه‌های مختلف را فراهم می‌آورد. از سوکروز استر اسیدهای چرب دارای ۱۲ اتم کربن و بیش‌تر انتظار می‌رود، که دارای خواص فعال سطحی باشند. رفتار آمفی‌فیلی^۵ ماده فعال سطحی بر پایه قند، از حضور گروه‌های آزاد آب‌دوست هیدروکسیل و زنجیره آب‌گریز آلکیل نتیجه می‌شود.

در غلظت مشخصی به نام غلظت بحرانی میسل^۶، مولکول‌های ماده فعال سطحی به هم می‌چسبند تا ذرات میسل را تشکیل دهند؛ این مقدار بسیار مهم است، چون نشان دهنده غلظت ماده فعال سطحی مورد نیاز برای حل کردن مولکول‌های آب‌گریز در آب است [۵]. روش گرماسنجی برای مشخص کردن CMC تا کنون برای برآورد کردن مقادیر بیش از ۲۰ ماده فعال سطحی بر پایه شکر استفاده شده است [۶]. مقدار CMC سوکروز استرها و سوکروز استرهای سولفات در جدول (۱) درج شده است، که این مقدار برای

3. Monolaurate
4. Escherichia Coli
5. Amphiphilic
6. Critical Micell Concentration (CMC)

شکل (۱)، نمودار کلی سوکروز استر نشان داده شده است، که در آن هر یک از جایگاه‌های هیدروکسیل می‌توانند استری شوند. به تعداد گروه‌های استری شده درجه استری شدن یا درجه جانشینی^۱ گفته می‌شود. در مورد سوکروز استرها اختلاف درجه جانشینی، منجر به تفاوت در خواص فیزیکی و شیمیایی می‌شود، که خود به ایجاد کاربردهای مهم و متفاوتی می‌انجامد. شناخت مکان‌گزینی کربوهیدرات‌ها برای بهره‌گیری از آن‌ها به منظور تولید مشتقات مورد نظر حائز اهمیت است [۱].

۲. ویژگی‌های سوکروز استر

سوکروز استرها خواص منحصر به فردی دارند، که سبب کاربرد وسیع آن‌ها در بخش‌های مختلف صنعت، به قرار زیر، شده‌اند:

- از جمله مواد فعال سطحی غیریونی به شمار می‌آیند؛
- با تغییر طول زنجیره و نوع اسید چرب آن و نیز جایگاه و درجه جانشینی، خواص آن‌ها از جمله میزان نسبت آب‌دوستی - چربی‌دوستی^۲ آن تغییر می‌کند، که با نیاز بهینه متناسب می‌شوند؛
- با بدن انسان سازگارند؛
- در دستگاه گوارشی قابل هضم‌اند و در بدن انباشته نمی‌شوند؛
- سوکروز استرها با پوست سازگارند و بدون و یا با میزان بسیار کمی تأثیر به سوزش یا تحریک می‌انجامند؛
- از لحاظ منابع آلودگی ایمن‌اند [۲]؛
- قابلیت استری شدن در هر هشت جایگاه را به منظور تولید چربی مصنوعی دارند؛
- زیست تخریب‌پذیر (تجزیه‌پذیر زیستی)‌اند و به محیط زیست آسیب نمی‌آورند؛
- از منابع ارزان و فراوان در دسترس، مانند نیشکر و چغندر و چربی‌ها و روغن‌های تری - گلیسیرید تولید می‌شوند؛
- با ایجاد تغییرهایی در ساختار مولکولی آن می‌توان اپوکسی‌ها، شوینده‌های قوی سولفونو و امولسیون‌کننده‌های قوی فسفوریله با قابلیت سازگاری با بدن و محیط زیست را تولید کرد.
- سوکروز استرها اغلب بدون بو و طعم، یا اندکی تلخ‌اند، که برای

1. Degree of Substitution (DS)
2. HLB (Hydrophylic-Lipophylic Balance)

جدول ۱. مقادیر CMC سوکروز استر و سوکروز

استر سولفات^[۳]

CMC (mol/L)	مواد فعال سطحی
	سولفونه کردن ۱-۰-۰-آسیل سوکروز
$6/5 \times 10^{-5}$	۱-۰-۰- لوریل-۶- سولفوسوکروز
$7/1 \times 10^{-5}$	۱-۰-۰- لوریل-۶- سولفوسوکروز
$4/8 \times 10^{-5}$	۱-۰-۰- میریستویل-۶- سولفوسوکروز
$5/2 \times 10^{-5}$	۱-۰-۰- میریستویل-۶- سولفوسوکروز
$4/7 \times 10^{-6}$	۱-۰-۰- استئارویل-۶- سولفوسوکروز
$5/6 \times 10^{-6}$	۱-۰-۰- استئارویل-۶- سولفوسوکروز
	سولفونه کردن ۰-۶-۰- آسیل سوکروز
$5/3 \times 10^{-5}$	۰-۶-۰- میریستویل-۴- سولفوسوکروز
$5/9 \times 10^{-5}$	۰-۶-۰- میریستویل-۱- سولفوسوکروز
$3/3 \times 10^{-6}$	۰-۶-۰- استئارویل-۴- سولفوسوکروز
$3/8 \times 10^{-6}$	۰-۶-۰- استئارویل-۱- سولفوسوکروز
	جابه‌جایی سوکروز ۰-۴-۶- سیکلیک سولفات
$4/8 \times 10^{-5}$	۰-۶-۰- پالمیتویل-۴- سولفوسوکروز
$1/1 \times 10^{-5}$	۰-۶-۰- استئارویل-۴- سولفوسوکروز
	نامحلول در آب
$1/5 \times 10^{-5}$	۰-۶-۰- هگزا دسیل آمینو-۴- سولفوسوکروز
	نامحلول در آب
	آسیل سوکروز
$1/5 \times 10^{-4}$	۰-۱- لوریل سوکروز
$9/1 \times 10^{-5}$	۰-۱- میریستویل سوکروز
	نامحلول در آب
$4/0 \times 10^{-4}$	۰-۶- لوریل سوکروز
$1/3 \times 10^{-4}$	۰-۶- میریستویل سوکروز
	نامحلول در آب
	مواد فعال سطحی موجود در بازار
$1/2 \times 10^{-3}$	$C_{11} H_{23} SO_3 Na$
$2/5 \times 10^{-3}$	$C_{11} H_{23} SO_3 Na$
$8/6 \times 10^{-3}$	$C_{11} H_{23} SO_3 Na$

آن‌ها از یک تا دو مرتبه کم‌تر از مواد فعال سطحی تجاری موجود است. همان‌طور که انتظار می‌رود، مقدار CMC با افزایش طول زنجیره آسیل، کاهش می‌یابد. سوکروز ۰-۶- استئارول و ۱-۰-۰- استئارول از بیش از ۱۴ زنجیره کربن آسیل مشتق شده‌اند و انتظار می‌رود، که پربازده‌ترین مواد فعال سطحی باشند، اما این ترکیب‌ها عموماً در آب نامحلول‌اند. حلالیت در آب این سوکروز

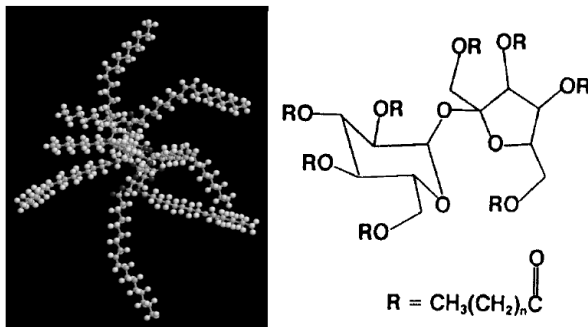
استرهای اسید چرب با معرفی یک گروه قطبی سولفات افزایش می‌یابد. در نتیجه، آسیل سولفو سوکروز مشتق شده در فعالیت سطحی با مقدار CMC افزایشی چشمگیر نشان می‌دهد. ماده فعال سطحی ۰-۶- هگزا دسیل آمینو-۴- سولفو سوکروز خواص فعالیت سطحی خیلی بالایی را بروز می‌دهد. تمامی این مواد فعال سطحی جدید آنیونی و آمفوتری بر پایه سولفوسوکروز که خواص سطحی بسیار بالایی را از خود نشان می‌دهند، مواد تجدیدپذیری‌اند که باید زیست‌تجزیه‌پذیر و از نظر زیست محیطی ایمن باشند و ممکن است از لحاظ اقتصادی نیز به صرفه باشند [۴].

خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی اغلب مشتقات خالص هنوز نیازمند بررسی‌اند و افزایش مقیاس آن‌ها باید برای کاربردهای مهم دیگر در صنایع دارویی و بهداشتی آرایشی، که نیازمند مواد خالص‌اند توسعه داده شود.

۲.۲ بررسی سم‌شناسی سوکروز استرها

اخیراً سوکروز استرها در حکم موادی با امکان روانساز به‌منظور قرص‌سازی، به جای منیزیم استئارات توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند، که ارزان‌ترند و خواص روانساز درخور توجهی دارند، اما سفتی قرص را با زمان‌های تجزیه پایین ضعیف می‌کنند، که این به خاطر کاهش میل ترکیبی^۱ برای آب است. از سوی دیگر، اخیراً مسئله‌ای در مورد منیزیم استئاراتی مطرح است که از حیوانات گرفته می‌شود، مبنی بر این که آیا به "انسفالوپاتی اسپونجیفرم گاوی"^۲ (بیماری جنون گاوی) آلوده شده است یاخیر. این معایب، به تلاش‌هایی انجامیده که استفاده از این ترکیب در بخش داروسازی را کاهش دهند. اگر حجم مصرف سوکروز استر به‌طور چشمگیری افزایش یابد، بررسی‌های کامل ایمنی مورد نیاز است و این در حالی است که اطلاعات سم‌شناسی محدودند. از آزمایش‌های انجام شده بر روی سوکروز استرها می‌توان به اولسترا^۳ (نوعی سوکروز پلی استر) اشاره کرد، که فاقد سمیت ژنتیکی^۴ در آزمایش‌های "ایمز سالمونلا"^۵، جهش ژنی سلول لنفی موش، سنتر DNA ناخواسته و آزمایش سیتوتوکسیک آزمایشگاهی یاخته رحم همستر چینی است. همچنین، S-570 یک سوکروز استر متشکل از استرهای مونو، دی، و

1. Affinity
2. Bovine Spongiform Encephalopathy (BSE)
3. Olestra
4. Genotoxicity
5. Ames Salmonella



شکل ۲. اولسترا - مدل فضایی و زنجیره ای و ساختار شیمیایی [۱۱]

۱.۳ کاربردهای دارویی

کاربرد سوکروز استرها به عنوان ماده فعال کننده سطحی در تهیه شکلهای گوناگون دارورسانی پوستی^۳، از جمله ماتریسها و غشاءها بررسی شده است، که تأثیرات آن بر رهایش داروی متوپرولول^۴ در این روشها توسط چزوکا^۵ و همکاران بررسی شده است. در این بررسی، سوکروز استرهای با طول زنجیر کوتاهتر و HLB بالاتر، افزایشی ۱۰ برابری را در میزان رهایش دارو بروز می دهند. سوکروز استرها می توانند عامل های امیدبخشی در سامانه های درمانی پوستی با کنترل رهایش دارو و جذب جلدی باشند [۱۲].

در چند سال اخیر، استفاده از وزیکول های ساخته شده با مواد فعال سطحی نسبت به لیپوزوم های متعارف - به عنوان دارورسانی مخاطی - توجه چشمگیری به خود اختصاص داده اند. این نوع وزیکول ها به عنوان نیوزوم^۶ها یا وزیکول های فعال سطحی غیر یونی نیز شناخته می شوند، که ساختار و خواص مشابه با لیپوزوم را دارند. در پژوهش های اخیر، از مخلوط مونو و دی استنارات به منظور تشکیل وزیکول استفاده شده است، که در محدوده pH ۵ تا pH ۷/۴ پایدارند و سمیتی برای سلول ها ایجاد نکرده است [۱۳].

همان طور که اشاره شد، سوکروز استرها به منظور تولید نیوزومها به کار می روند. در پژوهشی با به کارگیری آن ها پرونیوزومها به محض هیدراسیون توسط آب پوست در شکل دارویی سطح پوستی تحت شرایط انسداد به نیوزومها تبدیل می شوند. نیوزومها حامل های دارویی مناسبی برای کاربردهای انتقال پوستی و خوراکی محسوب

تری، در مطالعات دیگری هیچ تأثیر مرتبط درمانی بر ایجاد گونه های تومور یا بر تعداد کل تومورها به صورت گروهی در موشها مشاهده نشد. میدوری یوشیدا^۱ و همکاران نیز فقدان هر گونه سمیت را برای S-170 در موش های تحت آزمایش گزارش کرده اند [۲]. این نکته مهم است که میزان مجاز جذب سوکروز استرها بارها آزمایش شده و طی سال های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۴ میلادی از صفر تا ۲۰ mg/kg bw/day (میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز) افزایش یافته است. شاید این روند به خاطر داده های موجود در مورد سوخت و ساز، سمیت، و فعالیت سرطانزایی سوکروز استرها باشد. این استرها پیش از جذب به سوکروز و اسیدهای چرب هیدرولیز می شوند و میزان جذب و سوخت و ساز آن ها با درجه استری شدن نسبت عکس دارد [۷].

۳. کاربردها

در ایالات متحده امریکا، علاقه به تولید سوکروز استر اسیدهای چرب در سال ۱۹۵۲ آغاز شد که مؤسسه تحقیقات قند به خواص بالقوه فعالیت سطحی آن پی برد [۸]. سوکروز استرها در ژاپن پذیرفته شده و به آن ها به منظور استفاده به عنوان افزودنی های خوراکی هم برای قابلیت امولسیون کنندگی و هم پایداری گرمایی شان در سال ۱۹۵۹ به صورت کاملاً آزاد مجوز داده شد [۹].

اغلب سوکروز استرها بدون بو و مزه (یا کمی تلخ) هستند، که برای آن ها این امکان را فراهم می آورد تا کاربردهای گسترده ای در صنایع غذا و دارو بیابند. ترکیب آن ها با درجه جانشینی ۱ تا ۳ (مونو-دی- و تری استر) به عنوان امولسیون کننده در فرآورده های دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی و تهیه نانوذرات و در حکم عامل شوینده در کاربردهای شویندگی و ضد میکروبی استفاده می شوند.

پلی استرهای شکر به عنوان جایگزین چربی نیز کاربرد دارند. اولسترا مطابق شکل (۲) که توسط شرکت پروکتر و گمبل^۲ تولید شده است، یک استر اسید چرب چند عاملیتی است، که به عنوان چربی رژیمی (بدون کالری) استفاده می شود. خواصی شبیه تری گلیسریدها دارد، اما غیر قابل هضم است. با افزایش درجه جانشینی، هیدرولیز توسط آنزیم های چربی به علت بازماندگی استقرار اجزای اتم و نوع اسید جایگزین شده اسید چرب، کاهش می یابد [۱۰].

3. Transdermal Drug Delivery
4. Metoprolol
5. Csóka
6. Vesicle
7. Niosome

1. Midori Yoshida
2. Procter and Gamble (P&G)

در فرمول‌بندی نوین داخلی داروهای مصرف داخلی فراهم آورده است [۱۸].

در آزمایشی نیز که یوان^۶ و همکاران انجام دادند، استفاده از سوکروز استر به سبب برقراری برهمکنش‌هایی که با پروتئین ایجاد می‌کند، برای تخلیص پروتئین مورد توجه قرار گرفت. این پژوهش نشان داد، که در غلظت بهینه wt/vol ۰.۰۵٪ امولسیون ساز سوکروز استر با محدوده HLB ۶ تا HLB ۱۵، ریز ذرات کروی و مجزایی با بالاترین بازده کپسوله‌سازی را به وجود می‌آورد، که در نتیجه می‌توان از سوکروز استر به عنوان امولسیون ساز جایگزین در توسعه سامانه‌های ریز ذرات برای داروسازی از پروتئین و نیز ژن درمانی استفاده کرد [۱۹].

نیز طبق پژوهش گانم^۷ و همکاران، در نواحی مورد آزمایش غشاء مخاطی گونه و سقف دهان خوک، افزودن سوکروز لائورات سبب افزایش جذب لیدوکائین هیدروکلرید^۸ می‌شود [۲۰].

۳.۲ کاربردهای خوراکی

این ماده، که در صنایع غذایی به طور گسترده‌ای، از جمله به عنوان امولسیون کننده کاربرد دارد، با کد E-473 شناخته شده است.

سوکروز استرهای کامل استری شده، به‌منظور جایگزینی با چربی، مورد بررسی گسترده‌ای قرار گرفته‌اند. سوکروز استرهای جزئی استر شده، امولسیون کننده‌هایی سازگار برای فرآورده‌های غذایی به‌شمار می‌آیند [۸]. کاربردهای بسیاری از سوکروز استر در زمینه غذا مورد بحث قرار گرفته است، که در جدول (۲) درج شده‌اند [۲۱].

فعال کننده‌های سطحی شامل ترکیب‌های قندی و اسیدهای چرب استانداردهای کیفیت را برای کاربردهای خوراکی به خوبی پاسخ می‌دهند. سوکروز استرها به عنوان افزودنی خوراکی در خوراکی‌های متنوعی مانند بستنی، فرآورده‌های متعدد خامه‌ای و شیرینی‌ها، به دلیل قابلیت عالی آن‌ها در ایجاد امولسیون استفاده شده است. تأثیر برخی از انواع آن بر کاهش تولید گاز متان در روده گوسفند نیز به صورت آزمایشگاهی تأیید شده است [۲۲].

می‌شوند. حنان م. ال‌لیثی^۱ و همکاران از این روش برای تهیه شکل پوستی داروی وینپوستین^۲ استفاده کرده‌اند، که در حالت فرمول‌بندی و ترکیب بهینه شده (شامل سوکروز لائورات با طول زنجیره کوتاه‌تر و HLB بالا) میزان نفوذ دارو به داخل پوست تحت شرایط انسداد بعد از ۴۸ ساعت تقریباً بالا (۹۱٪) بود. میزان جذب وینپوستین از پرونیوزوم‌ها در مقایسه با قرص‌های خوراکی آن با فراوانی زیستی نسبی ۲۰۶٪ بسیار بیشتر بود. با بررسی‌های بیماری‌های بافتی^۳، در زمانی که سوکروز استر به‌کار گرفته شد، در قیاس با تاولهای پوستی با استفاده از توپین^۴ ۸۰٪، تنها سوزش ملایم ملایم مشاهده شد. بنابراین، نیوزوم‌های حاصل از سوکروز استر می‌توانند به عنوان حامل‌های دارویی بسیار امیدبخشی به حساب آیند، به ویژه آن‌که افزایش مقیاس آن‌ها ساده بوده و قابلیت رهایش کنترل شده دارو را دارند [۱۴].

یکی از کاربردهای سوکروز استرها، استفاده آن‌ها در فرمول‌بندی شکل‌های دارویی بر پایه چربی به عنوان ماده فعال کننده سطحی و حل‌کننده‌اند، که هنگامی که این شکل‌های دارویی در مسیر گوارشی انتقال دارو را انجام می‌دهند، موضوعی که اهمیت پیدا می‌کند، علاوه بر بررسی‌های سم‌شناسی یادشده، مسئله هضم شدن یا ماندگاری آن‌ها در دستگاه گوارشی به خصوص روده‌هاست، که این موضوع بر میزان فراوانی زیستی دارو در بدن تأثیرگذار است، و تا حد زیادی به طول زنجیر اسیدهای چرب استرکننده بستگی دارد [۱۵-۱۷]. حلالیت کم داروها در آب و آهنگ انحلال کم آن‌ها در محیط مایعات معده و روده ای معمولاً منجر به سازگاری ناکافی زیست‌محیطی می‌شود و این مشکل همچنان در عرصه صنایع داروسازی پا برجاست. انتشار داروهای جامد آب‌گریز در حامل‌های محلول در آب، به عنوان روشی برای افزایش انحلال، و در نتیجه افزایش سازگاری زیست‌محیطی مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهشی با بهره‌گیری از سوکروز استر به عنوان ماده امولسیون کننده، مشخص شد که نه تنها خصوصیات فاز جامد مدل دارویی (در اینجا جم‌فیبروزیل^۵) دستخوش تغییر محسوسی نشده، بلکه حلالیت آن افزایش یافته است. غلظت بهینه سوکروز لائورات برای این مدل دارویی ۵٪ تا ۱۰٪ تخمین زده شد، که ظرفیت بالقوه‌ای را

1. Hanan M. El-Laithy
2. Vinpocetine
3. Histopathology
4. Tween 80
5. Gemfibrozil

6. Yoan
7. Ganem
8. Lidocaine Hydro Chloride

جدول ۲. کاربردهای مختلف سوکروز استر در سال ۱۹۷۷ [۲۱]

نان و کیک	۳۱/۵٪
امولسیون کننده روغن و چربی (سفیدکننده، قهوه، کرم شکل گرفته، شیر نو ترکیب، روغن ترد کننده شیرینی، بستنی)	۲۲/۳٪
غذای جایگزین (کاری، دانه سویا، کاکائو، ترکیب کیک)	۱۳/۱۸٪
شیرینی سازی (بیسکویت، شکلات، آدامس، کیک برنجی، شکلات تخته‌ای)	۱۵/۳٪
دترجنت	۹/۳٪
سایر (دارو، آرایشی، صنایع شیمیایی)	۹٪

در سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا^۱ این ماده مجوزهای لازم را گرفته است (جدول (۳)):

FDA § 172.859: سوکروز استر مجوز مصرف به عنوان امولسیون کننده، پایدارکننده و ایجاد بافت را دارد؛

FDA § 172.869: سوکروز اولیگو استرها برای مصرف در شکلات و جایگزین کره ($20 \text{ g/Kg} \leq$) تأیید می‌شوند [۲۳].

جدول ۳. کاربردهای مجاز برای سوکروز استر در ایالات متحده [۲۳]

شیرینی سازی شیرینی و خامه شامل:	لبنی و غیر لبنی: فرآورده‌های لبنی شامل:
<ul style="list-style-type: none"> آب نبات و خامه‌های طعم دار مارشمالوها[†] شکلات شیرینی پزی شکر قهوه‌ای، تکه‌ای، پودری و خام 	<ul style="list-style-type: none"> شیر غیر لبنی (مانند شیر سویا) خامه یخ زده یا مایع سفیدگر قهوه لایه غذا که بر روی غذای دیگر پاشیده یا ریخته می‌شود فرآورده های غیر لبنی دیگر
آدامس‌های جویدنی شامل تمامی اشکال	<p>دسرهای لبنی منجمد و ترکیب‌ها، شامل:</p> <ul style="list-style-type: none"> بستنی شیر یخی شربت‌ها سایر دسرهای لبنی یخ زده و ویژه <p>فرآورده‌های دارای شیر:</p> <ul style="list-style-type: none"> قهوه و چای با اجزای لبنی افزوده شده
نانوایی	سایر:
<ul style="list-style-type: none"> پخت انواع فرآورده های شامل: فرآورده های آماده پخت و نیاز به آماده سازی قبل از مصرف 	<ul style="list-style-type: none"> فرآورده های غذایی دریایی روکش میوه‌ای

رفتار پیرولیزی و پایداری حرارتی خوششان و تعادل آب‌دوست- چربی‌دوست بسیار گسترده شان به کار می‌روند. حجم تولید کل سوکروز استرها به دلیل همین کاربردهای گسترده به بالغ بر میلیون‌ها تن در سال رسیده است [۲].

سوکروز استر تجاری با درجه خوراکی سوکروز مونو-استتاریک اسید یا SES است [۲۴]. S-170 نوعی از استرهای اسید چرب قندی (سوکروز استر یا SuE) نیز هست، که عمدتاً از شکل‌های تترا، پنتا، هگزا یا هپتا تشکیل یافته است. سوکروز استرهای حاوی S-170 به طور گسترده ای به عنوان افزودنی‌های خوراکی در آدامس‌های جویدنی، شکلات‌ها، مارگارین یا سس‌های پودری، به خاطر

1. Food and Drug Administration (FDA)

در یک پژوهش مقایسه‌ای از پایداری یخ‌گشایی^۱ مخلوط روغن نارگیل و ذرت با استفاده از سوکروز استرها و توپین‌های ۲۰، ۶۰ و ۸۰ به عنوان پایدارکننده انجام شده است. بیشترین پایداری روغن نارگیل با سوکروز مونو استئارات صورت گرفت و با سوکروز مونوپالمیتات به پایداری خوبی نیز ختم شد، در حالی که با توپین‌ها هیچ پایداری عمده‌ای مشاهده نشد [۲۵].

همچنین، یکی از کاربردهای دیگر سوکروز استر که در پژوهشی دیگر به اثبات رسیده، به عنوان ماده افزودنی به مخمر نان به منظور بهبود کیفیت و ماندگاری آن است [۲۶]. سوکروز استر هم‌چنین به عنوان نرمساز و عامل ضد ایستایی در پلاستیک‌ها به کار می‌رود. مونو استرها به عنوان یک جلوگیری کننده عالی از فساد میوه‌ها در دمای اتاق نیز ارائه می‌شوند [۲۷].

۳.۲ فسفریل‌دار شدن سوکروز استر

بوکانان^۲ و همکاران برای اولین بار گزارش فسفریل‌دار شدن سوکروز را ارائه کردند. در حالی که روش آن‌ها بسیار پیچیده و با مراحل زیادی بود. کیم و بهرمان^۳ سنتز سوکروز-۶-فسفات را تنها در دو مرحله گزارش دادند. اما عامل فسفریل‌کننده به‌کار رفته به طور انتخابی فقط گروه هیدروکسیل اولیه را فسفریل می‌کند. سوکروز استئارات فسفریل شده حلالیت و خواص امولسیون‌کنندگی زیادی نسبت به سوکروز استر بروز می‌دهد. بخصوص، در نواحی اسیدی و در حضور NaCl، سوکروز استئارات فسفریل شده گرانیروی چسب نشاسته را کاهش می‌دهد و از انحطاط آن جلوگیری می‌کند، در حالی که سوکروز استر آن را کاهش نمی‌دهد. بنابراین، نتیجه گرفته می‌شود، که فسفریل‌دار شدن روش مناسبی برای افزایش خواص عاملیت سوکروز استر است و سوکروز استئارات فسفریل شده به عنوان یک امولسیون‌کننده نو با توانایی ایجاد پیوند Ca^{2+} برای غذاهای نشاسته‌ای معرفی می‌شود [۲۸].

۴.۲ کاربرد شویندگی و ضد میکروبی

اسید لائوریک (C_{12}) فعال‌ترین اسید چرب اشباع در برابر بیش‌تر باکتری‌هاست. فعالیت بهینه در اسید پالمیتولئیک یافت می‌شود، نظر به این که اسیدهای چرب نا اشباع کوتاه زنجیره معمولاً

فعالیت کم‌تری دارند. پیوند دوگانه دوم خاصیت ضد میکروبی را افزایش می‌دهد، اما مکان قرارگیری آن مهم نیست. استریفیکاسیون اسیدهای چرب با الکل هیدراته، مانند متانول و اتانول، فعالیت آن‌ها را کاهش می‌دهد. در مقابل استریفیکاسیون، اسیدهای چرب با الکل‌های چند هیدراته مانند گلیسرول و سوکروز، تاثیر آن‌ها را افزایش می‌دهد. نیز باید گفت که گونه مونو استر از فرم پلی استر قوی‌تر است [۳]. به علاوه، این مواد برای محافظت از پروتئین‌های خوراکی در برابر تخریب (دنا توره شدن) حرارتی و نیز بازدارندگی در برابر رشد اشرشیاکلی و سایر باکتری‌ها به خوبی شناخته شده‌اند [۹]. کاتو و شیبازاکی^۴ نشان دادند که سوکروز استر اسید لاوریک قابلیت فعالیت ضد میکروبی علیه گونه مشخص باکتری‌های گرم مثبت و قارچ را دارد و نیز پی بردند که دی استر سوکروز بیش‌تر از مونو استر آن فعال است و در میان دی استرهای مورد آزمایش سوکروز دی کاپریلات بیش‌ترین فعالیت را بروز داد [۲۹].

در همین راستا، می‌توان به کاربرد آن در جلوگیری از تشکیل زیست‌نازک پرسه‌ها (زیست‌فیلم‌ها) اشاره کرد. زیست‌فیلم‌ها به عنوان توده‌های باکتریایی به‌هم چسبیده و شبکه‌ای به‌هم پیوسته تعریف شده‌اند. در طبیعت، ریزاندامگانها معمولاً به سطوح جامد، به خصوص در سطح مشترک مایع-جامد، می‌چسبند. زیست‌فیلم‌ها، عموماً در مقابل آنتی‌بیوتیک‌ها و برخی روش‌های فیزیکی بسیار مقاوم‌اند. این‌ها هم‌چنین از جهت بیماری‌های عفونی و واگیردار به عنوان یک مسئله جدی مورد توجه‌اند. در بهداشت غذایی نیز، زیست‌فیلم‌ها خطر بالقوه بسیار مهم و یک منبع آلودگی باکتریایی مواد خوراکی به‌شمار می‌آیند. به طور خاص باید گفت که استرهای اسید چرب سوکروز فعالیت ضد زیست‌فیلمی بسیار چشمگیری را بروز داده‌اند. سویچی فوروکاوا^۵ و همکاران پی بردند، که سوکروز استرهای با طول زنجیره بلند اسید چرب آزاد (C14-16) اثر بازدارندگی خود را در غلظت بسیار کم (۰.۰۱٪ (وزن/وزن) بروز دادند، اما بر رشد باکتری در این غلظت کم تأثیری نداشتند. فعالیت‌های سوکروز استرها به صورت مثبت با افزایش طول زنجیره اسید چرب آزاد رابطه دارد [۳۰].

بنابر گزارش‌های موجود، سوکروز استرها در صنایع شوینده و نیز رنگر با درجه جانشینی پایین به کار رفته‌اند [۳۱]. یکی از

1. Freeze Thaw
2. Buchanan
3. Kim and Behrman

4. Kato and Shibasaki
5. Soichi Furukawa

- سبب افزایش گرانی (ویسکوزیته) در غلظت‌های پایین الکترولیت می‌شوند.
- سوکروز استرها در تولید فرآورده های آرایشی بهداشتی شامل رژ لب، پودر فشرده، کرم مرطوب کننده، لوسیون بدن، لوسیون پایه طبیعی، امولسیون پاک کننده بدن کودک و خمیر دندان استفاده شده اند، که در زیر آورده شده اند [۲۳]:
- A.04، رژ لب (سیسترن A10E-C)
- A.08، پودر فشرده (سیسترن A10E-C)
- C.16، کرم مرطوب کننده روغن در آب (سیسترن SP30-C، سیسترن SP70-C)
- L.01، لوسیون بدن روغن در آب، بدون اتیلن اکساید، تهیه شده با فرایند سرد (سیسترن L70-C)
- L.14، لوسیون بر پایه طبیعی روغن در آب، بدون اتیلن اکساید، بدون روغن معدنی (سیسترن SP30-C، سیسترن SP70-C)
- S.04، امولسیون مالیدنی کودک (سیسترن SP70-C یا سیسترن L70-C)
- T.06، خمیر دندان (سیسترن L70-C)

۳.۶ حشره کش ها و آفت کش ها

سوکروز استرها به عنوان مواد مؤثر برای از بین بردن برخی حشرات و آفت ها در صنایع کشاورزی نیز می‌توانند به کار روند. به خصوص این که این مواد فعال سطحی غیر یونی از قابلیت تجزیه در طبیعت نیز برخوردارند. مثلاً سوکروز استرها استخراج شده از گونه های گوجه وحشی و سیب زمینی وحشی دارای خواص ضد شته [۳۴] و ضد قارچ [۳۵] هستند. همچنین، سوکروز استرها تولید شده توسط اورستس^۵ و همکاران توانایی از بین بردن مگس های سفید سیب زمینی را دارا هستند [۳۶].

۳.۷ تهیه نانوذرات

از جمله کاربردهای سوکروز استر که توسط هوانگ^۶ و همکاران گزارش شده، تهیه محلول نانو نقره است. ذرات نقره با قطری در اندازه های بین ۱۰ nm تا ۲۵ nm بهره گیری از یک روش ساده

کاربردهای استرهای اسید چرب سوکروز در ضد عفونی کردن، می‌تواند در تولید ریزحباب^۱ باشد، که مثلاً به یک بررسی اشاره می‌شود، که کوین ویبی سولی^۲ بر روی آلوده زدایی کاهو انجام داده است. در این بررسی، از سوکروز استر به منظور تولید ریزحباب ها با هدف پیش پاکسازی آلودگی ها بهره گرفته شده که در میان دو نوع سوکروز استر مورد آزمایش سوکروز مونو پالمیتات در غلظت ۱۰۰ mg/L بازدهی بالاتری داشت [۳۲].

از کاربردهای دیگر سوکروز استر مانند هر ماده فعال کننده سطحی می‌تواند کاربرد آن در تهیه محلول استخراج مواد مؤثر باشد، که یک نمونه انجام شده آن استخراج ماده مؤثره اسکویید رودوپسین^۳ توسط سوکروز استرهای مونولائورات و مونواستئارات است [۳۳].

۳.۵ کاربرد در فرآورده های آرایشی و بهداشتی

کاربرد سوکروز استر در زمینه آرایشی شامل آماده سازی و آرایش پوست، مو و مژه ها، ژل های روغنی آرایشی و فرمول بندیهای خوشبو کننده است. شرکت سیسترن^۴ فرمول بندیهای متعددی را بر پایه سوکروز استرها در زمینه خوراکی، شویندگی و آرایشی بهداشتی عرضه کرده است. سوکروز استرها به عنوان مواد فعال کننده سطحی غیر یونی در تدوین فرمول شستشوی سر و بدن به فرمول سنتی آنیونی و آمفوتری افزوده شدند. در شوینده های ملایم و سامانه های ۲ در ۱ سوکروز استرها:

- خواص تهاجمی مواد فعال کننده سطحی آنیونی را کاهش می‌دهند؛
- خواص حسی فرمول بندیهای را به طور چشمگیری از لحاظ لمس پوستی و نرمی بهبود می‌بخشند؛
- موجب امولسیون شدن چربی ها در ترکیب شوینده ها می‌شوند؛
- تأثیر بسیار اندکی در تغییر خاصیت کف کنندگی دیگر فعال کننده های سطحی رایج دارند؛
- در اثر نرم کنندگی در شامپو و نیز نرم کننده های اختصاصی مشارکت دارند؛

1. Microbubbles
2. Kevin Webby Soli
3. Squid Rhodopsin
4. Sisterna

5. Orestes
6. Huang

می‌روند، از هیدرولیز تری-گلیسریدهای طبیعی به دست می‌آیند. خواص کاربردی متفاوت سوکروز پلی استرها با تغییر در منبع اسید چرب حاصل می‌شوند. استفاده اسیدهای چرب، چربی شیر به همراه اسیدهای چرب از منابع دیگر، سوکروز پلی استرها با خواص کاربردی متغیری را تأمین می‌کند و کاربردهایی را به‌منظور ذخیره‌سازی چربی شیر فراهم خواهد کرد [۴۰].

۴. بازار تولید

فعال کننده‌های سطحی پایه هیدروکربنی نتیجه نهایی یک خط مشی تولیدی است، که بر پایه بیش‌ترین مصرف ممکن از منابع تجدیدپذیر بنا شده است. در حالی که استخراج و به‌کارگیری چربی‌ها و روغن‌ها برای تولید گوناگون فعال کننده‌های سطحی مختلف به‌منظور دامنه گسترده‌ای از کاربردها، دارای تاریخچه دیرینه‌ای است و به خوبی تدوین شده است، تولید فعال کننده‌های سطحی بر پایه چربی‌ها، روغن‌ها و هیدروکربنها در مقیاس بزرگتر صنعتی نسبتاً جدیدی است.

در سال ۱۹۶۲، سوکروز استر شروع به کار غیرمنتظره را در صنعت به عنوان یکی از مثال‌های سوکروشیمی داشت. در ۱۹۶۰، شرکت سابق رایوتو^۹، شرکت با مسئولیت محدود تولیدی شکر دای-نیپون^{۱۰}، یک واحد شبه صنعتی با تولید محصول ۳۰۰ تن در سال احداث کرد و تاکنون تقاضای افزایشی برای سوکروز استر به طور عمده در صنایع غذایی به عنوان محصول ایمنی وجود دارد که مواد خام آن شکر و چربی طبیعی خوراکی است، که به عنوان ماده فعال سطحی شبه طبیعی شناخته می‌شود. در سال ۱۹۶۷ یک کارخانه تمام صنعتی با فرآیند پیوسته و افزایش مقیاس یافته تا ۱۲۰۰ تن در سال وجود داشت. این فرآیند به عنوان فرآیند هاس-اسنل^{۱۱} شناخته شده که از دی متیل فرم آمید به عنوان حلال برای ترانس استریفیکاسیون سوکروز توسط متیل استر اسید چرب برای تولید سوکروز استر استفاده می‌کند [۲۱].

تولید جهانی سوکروز استرها حدود ۵۰۰۰ تن در سال تخمین زده شده است. در حال حاضر تولیدکنندگان عمده سوکروز استرها شرکت های دای-ایچی کوگیو سبیاکو^{۱۲} و میتسوبیشی^۱ در ژاپن،

محیط میسلی سوکروز استر با اضافه کردن محلول $AgNO_3$ به محلول میسلی سوکروز استر شامل هیدروکسید سدیم در شرایط محیطی بعد از گذشت ۲۴ ساعت زمان تشکیل شدند. مقدار ناچیزی از دی متیل فرم آمید^۱ در محلول سوکروز استر به عنوان یک عامل کاهنده به کار برده شد، در حالی که NaOH به عنوان یک کاتالیست عمل می‌کند. نانو ذرات تولید شده در سامانه میسلی سوکروز استر بسیار پایدار بودند، به طوری که هیچ رسوبی بعد از ۶ ماه از نگهداری دیده نشد [۳۷].

وای فون لئونگ^۲ و همکاران نیز تأثیر چهار نوع از استرهای اسید چرب سوکروز به عنوان امولسیون کننده های غیریونی را بر خواص فیزیکیوشیمیایی پراکندگی‌های نانویی^۳ فیتواسترول^۴ بررسی کردند. عکس‌برداری به کمک میکروسکوپ انتشار الکترونی^۵ نشان داد، که این نانوذرات به شکل کروی‌اند. عموماً، استرهای اسید چرب سوکروز P-1570، L-1695 و S-1570 برای استفاده در تهیه نانوذرات فیتواسترول با اندازه ذرات میانگین کوچک در یک توزیع یکنواخت با شفافیت بالا مناسب‌اند [۳۸].

انور^۶ و همکاران نیز موفق به سنتز نانوذره تیتانیم دی اکساید با استفاده از میسل حد واسط سوکروز استر طی فرآیند هیدروترومال شدند [۳۹].

۳. ۸ چربی مصنوعی

یکی از کاربردهای مهم دیگر سوکروز استرها در تهیه چربی مصنوعی حاصل از پلی استر کردن آن‌هاست. خوراک‌های کم چرب شده، که دارای طعم و بافت همناهای پرچرب خود هستند، برای مصرف کننده‌ها مطلوب‌اند. سوکروز پلی استرها^۷ جایگزین‌های چربی چربی قابلی در خوراک‌هایی‌اند، که توانایی تأمین این کیفیت‌ها را دارند، به طوری که هم (در بدن) جذب نمی‌شوند و هم چربی‌دوست و رژیمی‌اند. برای سنتز این سوکروز استرها شش تا هشت اسید چرب با گروه‌های هیدروکسیل سوکروز استری می‌شوند. استرهای متیل اسید چرب^۸ که به عنوان اسیدهای چرب واکنشگر به کار

1. Dimethyl Formamide (DMF)
2. Wai Fun Leong
3. Nanodispersion
4. Phytosterol
5. TEM
6. Anwar
7. Sucrose Poly Esters (SPE)
8. Fatty Acid Methyl Esters (FAME)

9. Ryoto
10. Dai-Nippon Sugar Mfg. Co. Ltd.
11. Hass-Snell
12. Dai-Ichi Kogyo Seiyaku

بسیار مناسبی برای مواد فعال سطحی غیر یونی نظیر پلی سوربات‌ها (توپین‌ها) هستند، که به عنوان نمونه در بسیاری از محصولات لبنی مانند بستنی‌ها و خامه‌های زده شده کاربرد دارند. افزایش این گونه موارد جایگزینی، لزوم انجام پژوهش‌های گسترده‌تر در به کارگیری سوکروز استرها در سایر ترکیب‌های محصول‌های غذایی، دارویی، آرایشی بهداشتی، شویندگی و دیگر زمینه‌ها را نشان می‌دهد.

۶. سپاسگزاری

از جناب آقای بابایی، پژوهشگر جهاد دانشگاهی دانشکده فنی دانشگاه تهران به دلیل راهنمایی‌های بی‌دریغشان در نگارش این مقاله قدردانی می‌شود. هم‌چنین به خاطر یاری امیدبخش جناب آقایان کاظمی و عباسپور کارشناسان ارشد مهندسی داروسازی دانشگاه تهران نهایت سپاس ابراز می‌گردد.

مراجع

- [1] Adamopoulos, L., "Understanding the Formation of Sugar Fatty Acid Esters", Master of Science Thesis, North Carolina State University, Wood and Paper Science, p.: 20-30, (2006).
- [2] Midori, Y., Shin-ichi, K., Dai, N., Akihiko, M., "Lack of toxicity or carcinogenicity of S-170, a sucrose fatty acid ester, in F344 rats", Food and Chemical Toxicology, 42: p. 667-676, (2004).
- [3] Kollinitsch, V., "Sucrose Chemicals", The International Sugar Research Foundation, (1970).
- [4] Linhardt, R. J., Bazin, H. G., Polat, T., "Sucrose Based Surfactants and Methods Thereof", U.S. Patent, United States, No. 6184196, (2001).
- [5] Linhardt R. J., Polat, T., Robert J., "Syntheses and Applications of Sucrose-Based Esters", Journal of Surfactants and Detergents, 4(4): p. 415-421, (2001).
- [6] Vulliez-Le Normand, B., Eisele, J. L., "Determination of Detergent Critical Micellar Concentration by Solubilization of a Colored Dye", Anal. Biochem.: p. 208-241, (1993).
- [7] Szűts, A., Szabó-Révész, P., "Sucrose esters as natural surfactants in drug delivery systems—A mini-review", International Journal of Pharmaceutics, 433: p. 1-9, (2012).
- [8] Casimir, A. C., "Carbohydrate Polyesters as Fat Substitutes", in Synthesis of Carbohydrate Fatty Acid Polyesters, Swanson, B. G., Casimir, A. C., Editor, CRC Press: United States of America. p. 9-35, (1994).
- [9] Ritthitham, S., "Synthesis of sucrose fatty acid esters as catalyzed by alkaline protease AL 89 and Candida antarctica lipase B in hydrophilic solvents", Ph.D, Aalborg University, Department of Biotechnology, Chemistry and Environmental Engineering, (2009).

کرودا^۲ و پروکتر و گمبل در ایالات متحده، سیسترن در هلند و کوگنیس^۳ در آلمان هستند. به نظر می‌رسد، که میزان مورد نیاز مصرف بسیار بالاتر از تولید کنونی بازار است، که خود مقدار کلان و قابل توجهی است. در هر حال، تقاضا و حجم بازار می‌تواند به طور چشمگیری افزایش یابد، در صورتی که فرایندهای سنتز (واکنشی)، به ویژه برای سنتز بالای محصول‌های مونو و دی استر، را بتوان بهینه سازی کرد، زیرا بهای این محصول (بین ۶ \$/kg تا ۱۰ \$/kg) به شدت به درجه استریفیکاسیون آن بستگی دارد [۳۱].

۵. نتیجه‌گیری کلی

سوکروز استرها در صنایع مختلف و مهمی از قبیل صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی، دارو، شویندگی و ضد میکروبی، صنایع کشاورزی (حشره کش‌ها و آفت کش‌ها) و نیز تولید ذرات نانو ساختار کاربردهای گسترده‌ای دارند، که در زندگی روزمره تأثیرگذارند. از آنجا که این مواد در بدن آدمی از سازگاری بالا و تجزیه‌پذیری پرمانه‌ای در طبیعت برخوردارند، جایگزینی سوکروز استرها با مواد فعال سطحی متداول در این صنایع می‌تواند تا حد زیادی کیفیت زندگی و محیط زیست را بهبود بخشد. با تغییر درجه جانشینی و طول زنجیره چرب در ساختار سوکروز استرها می‌توان به خواص متفاوتی از لحاظ تعادل آب‌دوستی- چربی‌دوستی، غلظت بحرانی میسل، اندازه و پایداری وزیکول‌ها، تجزیه‌پذیری و مانند آنها دست یافت، که گستره وسیعی از کاربردها را امکان‌پذیر می‌کند. بنابراین، تحقیق و توسعه در زمینه تولید مکان‌گزینی و اقتصادی این مواد توجیه‌پذیر است.

از آن جایی که میزان مجاز جذب سوکروز استرها در بدن، بنابر مراجع استاندارد دارویی و غذایی روند افزایشی داشته است، این امکان را فراهم می‌آورد تا با اطمینان بیش‌تری این مواد را با مواد فعال سطحی رایج در ترکیب‌های دارویی و غذایی جایگزین کرد. مثلاً، سوکروز استئارات و سوکروز پالمیتات برای ترکیب‌های به کار رفته در شکلهای دارویی خوراکی و سوکروز دی استئارات و سوکروز پلی استرها برای مسیره‌های دارورسانی پوستی پیشنهاد می‌شوند تا با مواد فعال سطحی قدیمی مانند منیزیم استئارات جایگزین شوند. هم‌چنین در بخش غذایی سوکروز استرها جایگزین

1. Mitsubishi
2. Croda
3. Cognis

- [10] Casimir, A. C., Swanson, B. G., "Absorbability and weight gain by mice fed methyl glucoside fatty acid polyesters: potential fat substitutes.", *Journal of Nutritional Biochememistry*, 2(12): p. 652-655, (1990).
- [11] Benvegnu, T., Plusquellec, D., Lemiègre, L., "Surfactants from Renewable Sources: Synthesis and Applications", in *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*, M.N.B.a.A. Gandini, Editor, Elsevier, p. 153-178, (2008).
- [12] Csóka, G., Marton, S., Zelko, R., Otomo, N., Antal, I., "Application of sucrose fatty acid esters in transdermal therapeutic systems", *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 65(2): p. 233-237, (2007).
- [13] Valdés, K., Morilla, M. J., Romero, E., Chávez, J., "Physicochemical characterization and cytotoxic studies of nonionic surfactant vesicles using sucrose esters as oral delivery systems", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 117: p. 1-6, (2014).
- [14] El-Laithy, H. M., Shoukry, O., Mahran, L. G., "Novel sugar esters proniosomes for transdermal delivery of vinpocetine: Preclinical and clinical studies", *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 77: p. 43-55, (2011).
- [15] Porter, C. J., Pouton, C. W., Cuine, J. F., Charman, W. N., "Enhancing intestinal drug solubilisation using lipid-based delivery systems", *Advanced Drug Delivery Reviews*, 60: p. 673-691, (2008).
- [16] Chen, M. L., "Lipid excipients and delivery systems for pharmaceutical development: A regulatory perspective", *Advanced Drug Delivery Reviews*, 60: p. 768-777, (2008).
- [17] Jannin, V., Musakhanian, J., Marchaud, D., "Approaches for the development of solid and semi-solid lipid-based formulations", *Advanced Drug Delivery Reviews* 60, p. 734-746, (2008).
- [18] Szűts, A., Láng, P., Ambrus, R., Kiss, L., Deli, M. A., Szabó-Révész, P., "Applicability of sucrose laurate as surfactant in solid dispersions prepared by melt technology", *International Journal of Pharmaceutics*, 410: p. 107-110, (2011).
- [19] Youan, B. C., Hussain, A., Nguyen, N. T., "Evaluation of Sucrose Esters as Alternative Surfactants in Microencapsulation of Proteins by the Solvent Evaporation Method", *AAPS PharmSci*, 5(2): p. 123-131, (2003).
- [20] Ganem-Quintanar, A., Quintanar-Guerrero, D., Falson-Rieg, F., Buri, P., "Ex vivo oral mucosal permeation of lidocaine hydrochloride with sucrose fatty acid esters as absorption enhancers", *International Journal of Pharmaceutics*, 173: p. 203-210, (1998).
- [21] Yamada, T., Kosaka, T., "New Plant and New Applications of Sucrose Esters", in *Sucrochemistry*, American Chemical Society: Ryoto Co. Ltd., 5-2, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku Tokyo 100. p. 84-96, (1977).
- [22] Hoshino, S., Wakita, M., "Effect of sugar fatty acid esters on rumen fermentation in vitro", *British Journal of Nutrition*, 58: p. 493-502 (1987).
- [23] Van Ingen, B., Managing Director Sisterna B. V. Sucrose esters, not a 'sweet' solution. (2012).
- [24] Glatter, O., Orthaber, D., Stradner, A., Scherf, G., Fanun, M., Garti, N., Clément, V., Leser, M. E., "Sugar-Ester Nonionic Microemulsion: Structural Characterization", *Journal of Colloid and Interface Science*, 241: p. 215-225, (2001).
- [25] Ariyaprakai, S., Tananuwong, K., "Freeze-thaw stability of edible oil-in-water emulsions stabilized by sucrose esters and Tweens", *Journal of Food Engineering*, 152: p. 57-64, (2015).
- [26] Barrett, A., Cardello, A., Maguire, P., Richardson, M., Kaletunc, G., "Effects of Sucrose Ester, Dough Conditioner, and Storage Temperature on Long-Term Textural Stability of Shelf-Stable Bread", *Cereal Chem.*, 79(6): p. 806-811, (2002).
- [27] Itoh, Y., Magae Y., "Effect of Sucrose Ester of Fatty Acids on Fruit Body Formation of *Pleurotus ostreatus*", *Nippon Nogei Kagaku Kaishi*, 72, (1998).
- [28] Yamagishi, Y., Hattori, M., Yoshida, T., Takahashi, K., "Improvement of the Functional Properties of Sucrose Stearate by Phosphorylation", *J. Agric. Food Chem.*, 52: p. 8039-8045, (2004).
- [29] Smith, A., Nobmann, P., Henehan, G., Bourke, P., Dunne, J., "Synthesis and antimicrobial evaluation of carbohydrate and polyhydroxylated non-carbohydrate fatty acid ester and ether derivatives", *Carbohydrate Research* 343: p. 2557-2566, (2008).
- [30] Furukawa, S., Akiyoshi, A., O'Toole, G. A., Ogihara, H., Morinaga, Y., "Sugar fatty acid esters inhibit biofilm formation by food-borne pathogenic bacteria", *International Journal of Food Microbiology*, 138: p. 176-180, (2010).
- [31] Ruiz, C. C., *Sugar-based surfactants: fundamentals and applications*, CRC Press/Taylor & Francis, (2008).
- [32] Soli, K. S., Yoshizumi, A., Motomatsu, A., Yamakawa, M., Yamasaki, M., Mishima, T., Miyaji, N., Honjoh, K. I., "Decontamination of fresh produce by the use of slightly acidic hypochlorous water following pretreatment with sucrose fatty acid ester under microbubble generation", *Food Control*, 21(9): p. 1240-1244, (2010).
- [33] Nashima, K., Mitsudo, M., Kito, Y., "Studies on cephalopod rhodopsin. Fatty acid esters of sucrose as effective detergents", *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Protein Structure*, 536(1): p. 78-87, (1978).
- [34] Neal, J. J., Tingey, W. M., Steffens, J. C., "Sucrose esters of carboxylic acids in glandular trichomes of *Solanum berthaultii* deter settling and probing by green

- peach aphid.", *J. Chem. Ecol.*, 16(2): p. 487-497, (1990).
- [35] Holley, J. D., King, R. R., Singh, R. P., "Glandular trichomes and the resistance of *Solanum berthaultii* (PI473340) to infection from *Phytophthora infestans*", *Can. J. Plant Path.*, 9(4): p. 291-294, (1987).
- [36] Orestes, T. C., Pomonis, J. G., Johnson, A. W., "Syntheses and Characterizations of Insecticidal Sucrose Esters", *J. Agric. Food Chem.*, 44: p. 1551-1557, (1996).
- [37] Huang, N. M., Lim, H. N., Radiman, S., Khiew, P. S., Chiu, W. S., Hashim, R., Chia, C. H., "Sucrose ester micellar-mediated synthesis of Ag nanoparticles and the antibacterial properties", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 353(1): p. 69-76, (2010).
- [38] Leong, W. F., Che Man, Y. B., Lai, O. M., Long, K., Nakajima, M., Tan, C. P., "Effect of sucrose fatty acid esters on the particle characteristics and flow properties of phytosterol nanodispersions", *Journal of Food Engineering*, 104(1): p. 63-69, (2011).
- [39] Anwar, N. S., Kassim, A., Lim, H. N., Zakarya, S. A., Huang, N. M., "Synthesis of Titanium Dioxide Nanoparticles via Sucrose Ester Micelle-Mediated Hydrothermal Processing Route", *Sains Malaysiana*, 39(2): p. 261-265, (2010).
- [40] Drake, M. A., Ma, L., Swanson, B. G., Barbosa Cánovas, G. V., "Rheological characteristics of milkfat and makfat-blend sucrose polyesters", *Food Research International*, 27: p. 477-481, (1994).