مروری بر تولید روغن تک سلولی از ضایعات مواد غذایی

A review on single cell oil production from food waste

نهایه نجفی[۱]، پیمان رجایی[۲]

دریافت : ۱۴۰۰/۰۹/۱ پذیرش:۱۴۰۱/۱/۱۵

چکیده

روغن تک سلولی SCO[۳]یک منبع جایگزین مناسب برای روغن ها است، زیرا می توان از آن به عنوان مواد اولیه در تولید سوخت زیستی و همچنین به عنوان گزینه مناسب در تولید اسیدهای چرب ضروری مناسب برای تغذیه انسان و یا به عنوان مکمل در خوراک دام استفاده نمود. با این حال قابلیت استفاده از SCO به دلیل قیمت بالای مواد اولیه مورد استفاده در آن محدود است. فرآیند تخمیر با استفاده از پسماندهای کشاورزی و صنعتی ارزان قیمت می‌تواند این مشکل را برطرف کند که برای تولید SCO قابل اجرا هستند. استفاده از این محصولات جانبی به عنوان منبع اصلی کربن در تخمیر نه تنها به طور قابل توجهی هزینه های کلی تولید SCO را کاهش می‌دهد، بلکه باعث می‌شود تصفیه جریان های زباله تولید شده، در نتیجه اثرات منفی بر محیط زیست کاهش یابد. از آنجا که محصولات جانبی زیست تخریب پذیر مختلف کشاورزی و صنعتی را می‌توان در تخمیرهای میکروبی استفاده کرد. هدف این بررسی طبقه بندی و مقایسه بقایای کشاورزی قابل استفاده بر اساس در دسترس بودن آنها است. روغن های تک سلولی لیپیدهایی هستند که از باکتری ها، قارچ ها، مخمرها، جلبک های متقاطع میکروسکوپی و پروتیست ها. این لیپیدها بسته به ترکیب اسیدهای چرب خود کاربردهای متفاوتی دارند. SCOها با محتوای اسیدهای چرب اشباع بالا برای تولید بیودیزل مناسب هستند، در حالی که SCOهای غنی از اسیدهای چرب اشباع نشده برای تغذیه انسان و حیوان مناسب هستند.

کلمات کلیدی: روغن تک سلولی، میکروارگانیسم ها، بقایای کشاورزی، بیودیزل .

مقدمه

به منظور کاهش هزینه‌های مربوط به بازیافت زباله، استفاده از پسماندهای موجود به عنوان مواد اولیه برای تولید محصولات جدید بکار گرفته می‌شود. امروزه بخش زیادی از زباله‌های زیست تخریب پذیر سوزانده می‌شود. یا به عنوان ماده اولیه در بیوگاز یا تولید سوخت زیستی استفاده می‌گردد. با این حال، به لطف راه حل‌های فن آوری جدید، ضایعات را می‌توان به عنوان مواد اولیه برای تولید محصولات با افزودنی بالا مورد استفاده قرار داد. یکی از این محصولات روغن تک سلولی است. روغن

[۱] دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم وصنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران
[۲] استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران
نویسنده مسئول مکاتبه کننده: prajaei@gmail.com

های تک سلولی روغن‌هایی هستند که از قارچ‌های روغنی، مخمرها، باکتری‌ها، جلبک ها و پروتیست ها مشتق می‌شوند. این روغن‌ها را می‌توان برای مصارف حیوانی و انسانی، در داروسازی و به عنوان ماده اولیه در تولید سوخت‌های زیستی استفاده نمود. (راون و همکاران، ۲۰۱۱)

خواص شیمیایی و بیوشیمیایی این روغن‌ها مشابه روغن‌های حاصل از گیاهان و حیوانات است با این حال، مزایای SCO شامل تنوع بالای آنها است، گونه‌های میکروارگانیسم روغنی توانایی تجمع مقادیر زیاد لیپیدها در سلول‌ها، رشد سریع تر زیست توده در مقایسه با گیاهان و حیوانات را دارند و در عین حال هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهند. (هوانگ و همکاران،۲۰۱۳).علاوه بر این، تولید SCO جایگزین مناسبی برای روغن‌های گیاهی است زیرا تولید SCO سازگارتر با محیط زیست است (تیلمن، ۱۹۹۹)، مصرف آب کمتری دارد، تولید به زمین بسیار کوچکتری نیاز دارد، تاثیر منفی قابل توجه کمتری بر تغییرات آب و هوا دارد یکی دیگر از مزایای SCO توانایی استفاده از طیف گسترده ای از محصولات فرعی کشاورزی زیست تخریب پذیر در کشت‌های تولید SCOمی‌باشد. SCO مورد استفاده در تولید مکمل‌های غذایی، غذاهای کودک و داروها با تخمیرهای میکروبیولوژیکی تولید می‌شوند که قندهای تصفیه شده به عنوان اصلی‌ترین بستر آنها می‌باشد.(ورمولن و همکاران،۲۰۱۲)

منبع کربن با توجه به اینکه ۶۰ تا ۷۵ درصد از کل هزینه تولید را تشکیل می‌دهد هزینه کل تولید به طور قابل توجهی با استفاده از قندهای تصفیه شده در تخمیر افزایش می‌یابد. افزایش هزینه‌های استفاده قندهای تصفیه شده باعث می‌شود تولید SCO سودآور نباشد. در نتیجه، این بخش‌ها نیاز دارند به استفاده از بسترهای ارزان‌تر برای تولید SCO، مانند محصولات جانبی سایر صنایع، محصولات زائد، فاضلاب و پسماندهای تولید استفاده از ضایعات .که در تولید SCO باعث کاهش کل هزینه‌های تولید نفت و اثرات زیست محیطی منفی تصفیه زباله را کاهش می‌دهد. ضایعات کشاورزی و مواد غذایی مناسب به عنوان بسترکشت SCO توسط میکروارگانیسم استفاده دارد، که اغلب در سیستم‌های تولید استفاده نمی‌شود یا استفاده از آنها در تولید سازمان همکاری شانگهای منجر به ارزش افزوده بالاتری خواهد شد، راه حل‌ها در بررسی‌های دیگر در مورد استفاده از ضایعات مناسب در کشت میکروارگانیسم‌های مولد SCO، تمرکز اطلاعات عمدتاً بر روی میکروارگانیسم های استفاده شده است، امروزه دسترسی به گونه‌های مختلف میکروارگانیسم‌ها نسبتا ساده است، اما در دسترس بودن مواد زائد مناسب بسیار خاص است. در این مقاله صنایعی که این ضایعات را تولید می کنند به منظور تسهیل در انتخاب بهتر و بیشتر محصولات جانبی مناسب، دسته بندی و مقایسه می شوند.ا(سپلاوینس و همکاران۲۰۱۸)

مزایای SCO بر چربی‌های گیاهی و حیوانی

طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها را می‌توان برای تولید SCO استفاده کرد. تا کنون صدها مورد میکروارگانیسم‌هایی بیش از ۶۰ جنس به عنوان سویه مناسب برای SCO شناسایی شده‌اند. جمعیت جلبک‌های میکروسکوپی در عرض ۶-۲ ساعت، مخمرها و قارچ‌های میکروسکوپی ۱-۳ ساعت و جمعیت باکتری‌ها در عرض ۰.۵-۲ ساعت دو برابر می‌شود. بنابراین،

راکتورهای میکروبی در چرخه سنتز روغن ۱۲ تا ۷۲ ساعت برای باکتری‌ها و۵-۱۰ روز برای مخمر، قارچ ها و جلبک‌ها زمان نیاز دارد، در حالی که امکان برداشت محصولات کشاورزی فقط یک یا دو بار در سال وجود دارد.

میکروارگانیسم‌ها در ماده خشک چند برابر بیشتر از گیاهان و حیوانات هستند. ۲۰-۸۰٪ برای میکروارگانیسم ها، ۵-۳۵٪ برای گیاهان، ۲-۳۰٪ برای ماهی.ترکیب SCO ها از کیفیت بالاتری نسبت به روغن های مشتق شده از گیاهان یا ماهی برخوردارند. به عنوان مثال، غلظت اسیدهای چرب امگا ۳ با کیفیت بالا EPA[4] و DHA[5] از کل محتوای روغن SCOها می-تواند تا ۴۰٪ برسد، در حالی که برای گیاهان وماهی به ترتیب ۴/۹ و ۳ درصد است. میکروارگانیسم‌ها می‌توانند از منابع مختلف کربن برای مواد مغذی استفاده کنند. در نتیجه، استخراج استفاده از انواع مختلف مواد زائد حاوی کربن یا کربوهیدرات زیست تخریب پذیر امکان پذیر است. ، بنابراین به طور قابل توجهی هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهد. میکروارگانیسم‌های اتوتروف (جلبک‌های میکروسکوپی، باکتری‌های فتوسنتزی) توانایی رشد با استفاده از CO2 به عنوان منبع کربن را دارند. (اسپیلاوینس و همکاران ۲۰۱۸).

انواع ضایعات

مناسب‌ترین پسماندهای کشاورزی را برای تولید SCP[6] می‌توان در چند گروه دسته بندی کرد مونوساکارید ، دی ساکارید، پلی ساکارید. تولید SCO باضایعات مانند ملاس، بقایای غلات، فاضلاب‌های مختلف نشاسته‌ای و غیره انجام می‌شود. محصولات جانبی کشاورزی منابع غنی از مونوساکاریدها و دی‌ساکاریدها هستند که می‌توانند مستقیماً از آنها استفاده شوند. تخمیر میکروبی با بازده SCO بالا از، مزیت اصلی این ضایعات است. این محصولات نیازی به پیش درمان ندارند که به نوبه خود به طور قابل توجهی هزینه کل تولید SCO را کاهش می‌دهد. (اسپیلاوینس و همکاران ۲۰۱۸).

ملاس

در طی فرآوری چغندرقند و نیشکر، محصولات جانبی مانند گل، باگاس، کاه و ... فیلتر می‌شوند و در طی فرآیند تولید شکر، ملاس تولید می‌شوند (FAO،۱۹۸۷). به ازای هر تن شکر تولیدی، تقریباً ۳۲۰ کیلوگرم ملاس تولید شده، حدود ۶۰ میلیون تن ملاس تولید شده در سال ۲۰۱۷ (FAO ،۱۹۸۷)بسته به بازده سالانه و تغییرات قیمت بازار، حدود ۹۰ درصد ملاس در تولید الکل صنعتی استفاده می‌شود. از آنجایی که SCO یک محصول با ارزش افزوده بالاتر از اتانول است. عملیات تخمیر سازگار با تولید SCO می‌تواند با تولید الکل برای ملاس به عنوان ماده خام رقابت کند. ملاس معمولا حاوی مقادیر زیادی کربوهیدرات قابل تخمیر (۴۵-۶۰٪) است. ملاس نیازی به پیش تصفیه ندارد . استفاده از ملاس در کشت میکروارگانیسم های مولد SCO به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. بسته به روش های مورد استفاده در استخراج ، گونه های گیاهی

ملاس معمولا حاوی عناصر معدنی و مقادیر کمی پروتئین و لیپید هستند (رن و همکاران، ۲۰۱۳). غلظت SCO بسیار بالا توسط کشت باکتری *Gordonia sp* و *Rhodococcus opacus* گزارش شده است. زمانی که ملاس به عنوان منبع اصلی کربوهیدرات استفاده می‌شد. (گودا و همکاران، ۲۰۰۸). SCO به دست آمده از کشت میکروجلبک غنی از اسیدهای چرب غیراشباع و تراکم سلولی بالا است (رن و همکاران، ۲۰۱۳) (جدول ۱)

ضایعات فاضلاب آبجوسازی

اکثر فاضلاب‌های آبجوسازی در طول تولید، بسته بندی،شستشو و تخلیه آبجو، به طور کلی مصرف آب بسیار بالایی دارند. در تولید ابجو حجم کل فاضلاب تولید شده در هر ۱ لیتر آبجو تولید شده خوب مدیریت شده ۲ لیتر است، در حالی که در آبجوسازی‌های متوسط از ۳ تا ۶ لیتر به ازای هر لیتر آبجو تولیدی، فاضلاب تولید می‌شود. از آنجایی که پساب آبجوسازی در سایر موارد استفاده مجدد نمی‌شود حجم عظیم فاضلابی که در کارخانه‌های آبجوسازی تولید می‌شود باید از قبل درمان شود که به نوبه خود هزینه‌های کلی کارخانه آبجوسازی را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. اگر پیش تصفیه مناسب نباشد، بار سیستم‌های تصفیه آب محلی را به شدت اضافه می کند. فاضلاب آبجوسازی حاوی سلولز، قند، آمینو اسیدها، غلات مصرف شده، پروتئین ها، لجن، مخمر، مواد جامد معلق مخمر و بقایای آبجو است، اگر این فاضلاب ها حاوی ترکیبات بازدارنده رشد میکروارگانیسم‌ها نباشند، پس از آن فاضلاب آبجوسازی برای کشت SCOمناسب است. تحقیقات تکمیلی و یافتن میکروارگانیسم‌های مناسب‌تر فاضلاب آبجوسازی برای اطمینان از تصفیه کارآمدتر این فاضلاب ها ضروری است تا بازده تولید SCO بالاتری بدست آید.(اسپالوینس و بلومبرگ۲۰۱۹).

آب نیشکر

آب نیشکر یک نوشیدنی محبوب در آمریکای جنوبی و سایر مناطق است. نیشکر به طور گسترده ای رشد می‌کند ، آب میوه به خودی خود یک منبع ارزان در نظر گرفته می‌شود. قندها و مقدار متغیر آب میوه در هنگام فشار دادن ریخته شده و قابل استفاده مصرف انسان نیست از آنجایی که آب نیشکر دارای مونوساکارید و دی ساکارید بالایی است مقدار (۱۵ درصد وزنی) آب نیشکر ماده اولیه مناسبی برای تولید SCO است بدون نیاز به پیش تیمار اضافی. جهت تولید SCO مناسب برای تولید سوخت زیستی از مخمر *Rhodosporidium* از آب گیاه سورگوم شیرین در تولید شکر استفاده می‌شود در سال ۲۰۱۷، ۵۷ میلیون تن سورگوم شیرین برداشت شد. که در مقایسه با برداشت سالانه نیشکر و چغندرقند مقدار ناچیزی است اما از آنجایی که آب سورگوم شیرین به عنوان یک ماده خام برای تولید اتانول ارزیابی می شود، تولید SCO به عنوان یک جایگزین رقابتی نیز در حال بررسی است (لیانگ و همکاران، ۲۰۱۰).

جدول ۱:گزارش‌های اخیر از سلول خشک به دست آمده از منابع غنی مونوساکاریدها و دی ساکاریدها و محتوای چربی با ضایعات غنی از مونوساکارید ها و دی‌ساکارید به عنوان بستر برای تخمیر میکروبی را گزارش می‌کند(اسپالویسن و بولمبرگا۲۰۱۹).

Table 1: Recent reports of dry cell obtained from rich sources of monosaccharides and disaccharides and fat content with wastes rich in monosaccharides and disaccharides as a substrate for microbial fermentation (Spalavisen and Bolmberga 2019).

Substrate	Microorganisms	DCW ($g\ L^{-1}$)	LC (%)
Sugarcane molasses	*Rhodococcus opacus*	-	93
	Gordonia sp.	-	96
	Cunninghamella echinulata	12.1	32
	Mortierella isabellina	9.5	54
	Trichosporon fermentans	28.1	62.4
	Schizochytrium sp.	35.32	41.2
Molasses	*Candida lipolytica*	-	59.9
	Candida tropicalis	-	46.8
	Rhodotorula mucilaginosa	-	69.5
Sugar beet molasses and sucrose	*Rhodococcus opacus*	18.4	38.4
Cheese whey	*Mortierella isabellina*	32.0	25.3
	Thamnidium elegans	18.1	3.3
	Mucor sp.	21.7	3.2
Sweet whey	*Rhodococcus opacus*	-	84
Brewery effluents	*Rhodotorula glutinis*	5.22	12.5
Sugarcane juice	*Rhodosporidium toruloides*	0.44 g/L/h (pilot scale)	
Sweet sorghum juice	*Schizochytrium limacinum*	9.4	73.4

منابع غنی از نشاسته

ضایعات غنی از نشاسته، مانند بقایای فرآوری غلات و سبزیجات زباله‌های مواد غذایی، بخش بزرگی از زباله‌های کشاورزی و خانگی قابل تجزیه زیستی را تشکیل می‌دهند. اگرچه این مواد زائد در مقادیر زیادی در دسترس هستند، اما باید قبل از استفاده آنها در کشت‌های میکروبی هیدرولیز شوند که به نوبه خود باعث افزایش هزینه کل تولید SCO می‌گردد. هزینه‌ها را می‌توان با جایگزینی تیمارهای هیدرولیز شیمیایی با هیدرولیز آنزیمی با استفاده از میکروارگانیسم‌های آمیلولیتیک در پیش تخمیرها برای هضم نشاسته موجود در مواد زائد کاهش داد. ضایعات مواد غذایی در جهان سالانه حدود ۱.۳ میلیارد تن است. ترکیب ضایعات غذایی بسته به منبع متفاوت است ، اما معمولا حاوی ۳۰-۶۰٪ کربوهیدرات (بیشتر نشاسته)، ۶-۱۰٪ پروتئین هستند بنابراین، پس از هیدرولیز مناسب، می‌توان از این باقیمانده ها برای تولید SCO استفاده کرد. اگرچه میزان ضایعات

غذایی تولید شده بخش بزرگی از این پسماندها با بقایای زیست تخریب ناپذیر مخلوط می‌شوند(سایر بقایای شهری)، بنابراین در دسترس بودن بقایای مواد غذایی واقعی به میزان قابل توجهی کمتر است. اگر خانوارهای محلی و زنجیره های کسب و کار ضایعات مواد غذایی را جداگانه و موثر دسته بندی کنند جمع آوری این باقیمانده‌ها سازماندهی می‌شود، سپس مقادیر ضایعات غذایی در دسترس محلی می‌تواند برای تولید SCO در مقیاس صنعتی کافی باشد. با استفاده از ضایعات مواد غذایی هیدرولیز شده.بالاترین عملکرد تولید SCO با کشت مخمر روغنی به دست آمده است. .(جانراویندار و همکاران، ۲۰۱۸).

جدول ۲. گزارش‌های اخیر از منابع غنی نشاسته از وزن سلول خشک به دست آمده و محتوای چربی با استفاده از ضایعات غنی از نشاسته به عنوان بستر برای تخمیرهای میکروبی(اسپالویسن و بولمبرگ۲۰۱۹).

Table 2. Recent reports of starch-rich sources obtained from dry cell weight and fat content using starch-rich waste as a substrate for microbial fermentations (Spalvisen and Bolmberga 2019).

Substrate	Microorganisms	DCW ($g\ L^{-1}$)	LC (%)
Food waste hydrolysate	*Schizochytrium mangrovei*	14	16
	Chlorella pyrenoidosa	20	20
	Galdieria sulphuraria	3.5	-
	Chlorella vulgaris	20	35
	Yarrowia lipolytica	20.9	49.0
	Rhodotorula glutinis	14	47
	Cryptococcus curvatus	9.4	29
	Chlorella pyrenoidosa	31.7	14.1
Potato processing waste-water	*Aspergillus oryzae*	3.5	
Corn steep water and corn gluten water	*Rhodotorula glutinis*	26.4	28.9
Corn starch wastewater	*Rhodotorula glutinis*	40	35
Cassava starch hydrolysate	*Rhodosporidium toruloides*	22.0	63.4
Corn starch hydrolysate and defatted soybean meal	*Mortierella isabellina*	29.5	31.1

فاضلاب فرآوری سیب زمینی

سیب زمینی یکی از محبوب‌ترین غذاهای اصلی در بسیاری از نقاط جهان است. صنایع تبدیلی از آن به عنوان منبع مهم کربوهیدرات استفاده می‌کنند. مقدار فاضلاب در حین تولید چیپس سیب زمینی، سیب زمینی کامل پوست کنده، و بسیاری دیگر از محصولات سیب زمینی در سال ۲۰۱۷، از ۳۸۸ میلیون تن سیب زمینی (فائو، ۲۰۱۹) تقریباً ۳۰ میلیون تن فاضلاب در سطح جهانی برداشت شدند و صنعت جهانی فرآوری سیب زمینی ایجاد شد. پساب سیب زمینی سرشار از نشاسته و

پروتئین است و این پساب ها COD[۷] بالا ۱۰۰۰۰-۱۱۰۰۰ و BOD[8] ۶۷۳۰-ppm۴۰۰۰ و مواد جامد معلق مقادیر ۵۱۵۰-۱۸۰۰۰ ppm هستند. در نتیجه، صنعت فرآوری سیب زمینی خطری برای محیط های محلی ایجاد می‌کند اگر این فاضلاب‌ها بدون تصفیه تخلیه شوند. فن آوری محلول‌هایی مانند غربالگری، ته نشینی، شناورسازی، حوضچه‌های خاکی، لجن فعال، تصفیه‌بی هوازی، میکرواسترینینگ، انعقاد شیمیایی و بسیاری موارد دیگر توسعه یافته و به طور فعال برای تصفیه فاضلاب پردازش سیب زمینی استفاده می‌شود. با این حال، استفاده موثر از این پساب ها به ندرت گزارش شده است و تحقیقات بیشتری در مورد میکروارگانیسم مناسب مورد نیاز است.(مانیراج ۲۰۱۳)

فاضلاب فرآوری نشاسته ذرت

در سال ۲۰۱۷، تولید جهانی نشاسته ذرت ۷۰ میلیون تن بود که نتیجه آن تولید بیش از دو برابر مقدار فاضلاب نشاسته ای غنی از نشاسته است، انتشار آن در آب‌های طبیعی می‌تواند باعث شود آلودگی محیط زیست گردد. به دلیل کربوهیدرات بالا نشاسته ذرت پساب آن را می‌توان در تخمیرهای میکروبی استفاده کرد، مناسب بودن استفاده از این پساب در تولید SCO، بررسی شده است. از آن به عنوان منبع کربن یا به عنوان یک منبع نیتروژن درکشت مخمر روغنی *Rhodotorula glutinis* استفاده می شود .

محصولات کم هزینه

بسترهای کم هزینه مانند کاساوا و نشاسته ذرت و کنجاله سویا به طور گسترده در فرآیندهای تخمیر صنعتی، که در آن نشاسته استفاده می‌شود

ترکیبات به عنوان منبع کربن و بقایای سویا به عنوان منبع نیتروژن استفاده می‌شود با استفاده از *Rhodosporidium toruloides* روی کاساوا غلظت بالای زیست توده نشاسته و SCO گزارش شده است. استفاده از هیدرولیز نشاسته ذرت و کنجاله سویای بدون چربی به عنوان بستر ترکیبی، غلظت بسیار بالای زیست توده گزارش شده است ، اگرچه محتوای غلظت لیپید در SCO تا ۶۵٪ گزارش شده است، می‌تواند با منابع غنی از پلی ساکارید ساختاری بالاتر رود. (وانگ و همکاران، ۲۰۱۲).

بقایای غلات

گندم، ذرت و برنج ۴۳ درصد از کالری غذای جهان را تشکیل می‌دهند (FAO، ۲۰۱۹). غلات بیشترین محصول کشاورزی است و در طول فرآوری غلات مقدار زیادی باقیمانده تولید می‌شود. که به طور گسترده در دسترس هستند با توجه به مقادیر زیاد، استفاده از بقایای غلات در کشت میکروارگانیسم ها از اهمیت اقتصادی و اکولوژیکی بالایی برخوردار هستند. در فرآوری غلات

باقیمانده آن سرشار از لیگنوسلولز هستند، بنابراین استفاده از این باقیمانده ها به عنوان منبع کربن برای تخمیر میکروبیولوژیکی بسیار پیچیده است به دلیل نیاز به پیش تصفیه مکانیکی، شیمیایی یا بیوشیمیایی گسترده باعث افزایش کلی هزینه‌های تولید می‌شود. علاوه بر این، در طول پیش تصفیه، ترکیبات بازدارنده رشد میکروارگانیسم ها مانند فورفورال، وانیلین، هیدروکسی بنزالدئید، سیرنگالدئید، و آزاد می‌شوند در تولید SCO با وجود این چالش ها، استفاده از بقایای غلات در سازمان همکاری شانگهای تولید به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است و محققان موفق به دستیابی به میزان بالایی شده اند. غلظت زیست توده میکروبی و SCO در محیط های مشتق شده از بقایای غلات مانند کاه، بقایای ذرت و پوسته غلات بالاترین بازده تولید SCO برای بسترهای باقیمانده غلات با استفاده از مخمرهای -*Trichosporon genus* –*Trichosporon cutaneum*- -*Trichosporon dermatis*vh دارد (یو و همکاران، ۲۰۱۴)،

ضایعات میوه و سبزیجات

ترکیب بقایای فرآوری میوه به قسمت های میوه بستگی دارد. مواد زائد مانند میوه درخت خرما، باقی مانده آنها به طور گسترده برای استفاده از آنها در میکروبیولوژیک‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته اند. در سال ۲۰۱۷ تولید میوه خرما بالغ بر ۸ میلیون تن (فائو، ۲۰۱۹) بوده که حداقل ۱۰ درصد آن به صورت ضایعاتی به شکل هسته خرما و میوه‌های خراب خرما بودند. صنعت فرآوری گوجه‌فرنگی درحین پوست‌گیری مقدار زیادی باقیمانده تولید می‌کند. گوجه فرنگی ها تقریباً ۱۰-۴۰٪ از حجم کل گوجه فرنگی های فرآوری شده ضایعات دارند. با توجه به اینکه حدود ۷۰ درصد از کل گوجه فرنگی تولیدی فرآوری شده است ، سالانه حدود ۳۲ میلیون تن بقایای گوجه فرنگی تولید می‌شود. (فائو، ۲۰۱۹). بقایای گوجه فرنگی سرشار از لیگنوسلولز، پروتئین و لیپید است و این باقیمانده‌ها همچنین منبع خوبی از ویتامین ها و عناصر معدنی هستند. بنابراین، اگر این باقیمانده ها به دلیل حمل و نقل نتوانند در تغذیه دام استفاده شوند، می‌توانند به عنوان محیط غنی برای میکروارگانیسم های تولید کننده SCO استفاده شوند. نتایجی که تاکنون با استفاده از *Cunninghamella echinulata* گزارش شده است نشان می دهد که بقایای گوجه فرنگی یک بستر موثر برای تولید SCO است. (چندراسکاران وبهکالی، ۲۰۱۳).

فرآوری ضایعات شکر

باقی مانده‌های اصلی فراوری قند غنی از باگاس و کاه هستند. در حین در فرآوری، تقریباً ۲۵۰ کیلوگرم باگاس و ۶۰ کیلوگرم کاه از یک تن نیشکر فرآوری شده تولید می‌شود که منجر به تولید سالانه حدود ۴۶۰ میلیون تن باگاس و ۱۱۰ میلیون تن کاه می‌شود. (فائو، ۲۰۱۹). باگاس به طور گسترده ای به عنوان سوخت و به عنوان ماده اولیه برای تولید سوخت زیستی یا تولید کاغذ استفاده می شود .از آنجایی که مقدار باقی مانده‌های غنی از فیبر تولید شده توسط صنعت فرآوری شکر است برای استفاده های بزرگ کارآمد تر هستند و تولید محصولات با ارزش افزوده بالاتر می‌کنند. (پونتاوی و همکاران، ۲۰۱۸).بالاترین بازده SCO با استفاده از بگاز است هیدرولیزها با استفاده از مخمر *Trichosporon fermentans* گزارش شده است .

جدول ۳. منابع غنی پلی ساکاریدهای ساختاری (ضایعات کشاورزی). گزارش های اخیر به دست آمده است وزن سلول خشک و محتوای لیپید(با استفاده از ضایعات غنی از پلی ساکاریدهای ساختاری به عنوان بسترهای تخمیر میکروبی)

Table 3. Rich sources of structural polysaccharides (agricultural waste). Recent reports have been obtained dry cell weight and lipid content) using wastes rich in structural polysaccharides as substrates for microbial fermentation)

Substrate	Microorganisms	DCW ($g\ L^{-1}$)	LC (%)
Wheat straw hydrolysate	*Cryptococcus curvatus*	17.2	33.5
	Rhodotorula glutinis	13.8	25.0
	Rhodosporidium toruloides	9.9	24.6
	Lipomyces starkeyi	14.7	31.2
	Yarrowia lipolytica	7.8	4.6
Rice straw hydrolysate	*Trichosporon fermentans*	28.6	40.1
Corn stover hydrolysate	*Rhodotorula graminis*	-	34
	Trichosporon cutaneum	17.35	23.5
	Mortierella isabellina	14.08	34.5
Corncob hydrolysate	*Trichosporon cutaneum*	38.4	32
	Cryptococcus sp.	12.6	60.2
	Trichosporon dermatis	24.4	40.1
	Yarrowia lipolytica	16.6	19.4
Rice hulls hydrolysate	*Mortierella isabellina*	-	64.3
Wheat bran	*Rhodococcus opacus*	-	56
	Gordonia sp.	-	41
Barley hull hydrolysate	*Trichosporon cutaneum*	17.5	38.2
Orange waste	*Gordonia sp.*	1.88	80
Apple pomace	*Rhodococcus opacus*	-	83
	Gordonia sp.	-	70
Date waste	*Rhodococcus opacus*	-	57
	Gordonia sp.	-	61
Tomato waste hydrolysate	*Cunninghamella echinulata*	11.8	48
Tomato peel waste	*Rhodococcus opacus*	-	73
	Gordonia sp.	-	52
Sugarcane bagasse hydrolysate	*Trichosporon fermentans*	31	39.9
	Rhodosporidium toruloides	19.0	53.6
	Yarrowia lipolytica	13.7	78.5
	Yarrowia lipolytica	11.42	58.5
Sugarcane top hydro-lysate and crude glycerol	*Rhodosporidiobolus fluvialis*	24.3	75.0
Olive mill waste	*Rhodococcus opacus*	-	20
	Gordonia sp.	-	29
Olive oil wastewater	*Lipomyces starkevi*	0.054	29.5

ضایعات فرآوری زیتون

فرآوری زیتون و تولید روغن زیتون منبع درآمد مهمی برای مردم محلی است اقتصاد در منطقه مدیترانه بسته به فرآیند مورد استفاده، از هر تن زیتون فرآوری شده ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ لیتر فاضلاب تولید می‌شود. فاضلاب‌های فرآوری زیتون غنی از کربوهیدرات‌ها، پلی‌ساکاریدها، پلی‌فنل‌ها، ترکیبات نیتروژن و پلی‌الکلها هستند. بنابراین این فاضلاب‌ها حاوی مقادیر COD بسیار بالا حدود ۱۰۰۰۰۰ ppmو BODحدود ۴۰۰۰۰ ppm هستند. که نیاز به درمان دارند. اغلب، این فاضلاب‌ها در مزارع، در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها تخلیه می‌شوند و یا در دریاها وتالاب های ذخیره می‌شوند. دفع این فاضلاب ها باعث می‌شود آلودگی خاک، آب های محلی، آب های زیرزمینی و همچنین ایجاد آلودگی بو کنند در حال حاضر موثرترین راه حل درمان بیولوژیکی با استفاده از فرایندهای بی‌هوازی، هوازی و هضم همزمان برای پساب فرآوری زیتون می‌باشد. از آنجایی که فاضلاب فرآوری زیتون حاوی ترکیبات فنلی است که برای جلوگیری از رشد میکروبی، لازم است این پساب ها رقیق می‌شوند تا بتوانند به طور موثر در تولید سازمان همکاری شانگهای استفاده می‌شود با این حال، حتی پس از رقیق کردن این فاضلاب‌ها، غلظت SCO و زیست توده حاصله کم بوده است (یوسف و همکاران، ۲۰۱۰).

منابع غنی از پروتئین یا چربی

روغن‌ها و چربی‌ها می‌توانند به عنوان منبع کربن در تخمیرهای میکروبیولوژیکی استفاده شوند، سویه میکروارگانیسم مورد استفاده قادر به استفاده از این لیپیدها است برای استفاده کارآمد از روغن‌ها و چربی‌های زائد، مکانیکی: (همگن‌سازی اولتراسونیک، برش بالا، امولسیون کننده ها و غیره) یا محلو های امولسیون سازی شیمیایی: (پلی سوربات‌های مختلف) مورد نیاز است. در طول آماده سازی اگرچه امولسیون سازی لیپیدی قبل از تیمار به عنوان هیدرولیز پلیمر، هنوز هم هزینه کلی تولید را در مقایسه با منابع غنی از مونوساکارید و دی ساکارید افزایش می‌دهد. علاوه بر منبع کربن، میکروارگانیسم‌ها به نیتروژن، اسیدهای آمینه، اسیدهای چرب و عناصر میکرو و ماکرو برای اطمینان از رشد و تولید بهینه نیاز دارند. برای تجزیه پروتئین های فیبری موجود در زباله‌ها و استفاده از آنها به عنوان منبع نیتروژن و اسیدهای آمینه در تخمیرها، این ترکیبات پروتئینی باید با استفاده از تکنیک های فیزیکی، شیمیایی یا بیوشیمیایی قبل تیمار شدن هیدرولیز شوند (اسپیلاوینس و همکاران ۲۰۱۸).

ضایعات روغن پخت و پز

روغن‌های پخت و پز به طور گسترده در سراسر جهان برای تهیه غذای خانوارها، غذاخوری ها و همچنین در مقیاس صنعتی استفاده می‌شود. در طول پخت و پز، ترکیبات مضر مانند محصولات پراکسیداسیون لیپیدی، آلدئیدها و غیره در روغن‌ها آزاد می‌شوند بنابراین لازم است روغن پخت و پز را به طور مرتب تعویض کرده و زباله‌ها دور ریخته شوند. روغن‌های پخت و پز هر سال بیش از ۱۰ میلیون تن در جهان تولید می‌شود این روغن ها دو تا سه برابر ارزان تر از روغن های گیاهی هستند.

بنابراین، استفاده از آنها هم در تولید بیودیزل و هم به عنوان یک ماده در خوراک دام پیشنهاد می‌شود مزایای اقتصادی آن قابل توجه است (کیاکالاییه و همکاران، ۲۰۱۳).

جدول ۴. منابع غنی از پروتئین یا چربی. گزارش‌های اخیر از وزن سلول خشک به دست آمده و محتوای چربی با استفاده از پروتئین یا ضایعات غنی از چربی به عنوان بسترهای تخمیر میکروبی

Table 4. Sources rich in protein or fat. Recent reports obtained dry cell weight and fat content using protein or fat-rich wastes as microbial fermentation substrates

Substrate	Microorganisms	DCW ($g\ L^{-1}$)	LC (%)
Olive oil	*Rhodococcus opacus*	0.21	19
	Gordonia sp.	0.56	13
Sesame oil	*Rhodococcus opacus*	0.45	67
	Gordonia sp.	1.21	50
Castor oil	*Rhodococcus opacus*	0.38	58
	Gordonia sp.	0.41	49
Cotton oil	*Rhodococcus opacus*	0.32	38
	Gordonia sp.	0.48	50
Peanut oil	*Rhodococcus opacus*	0.23	52
	Gordonia sp.	0.35	40
Maize oil	*Rhodococcus opacus*	0.63	40
	Gordonia sp.	0.85	40
Sun flower oil	*Rhodococcus opacus*	1.06	44
	Gordonia sp.	1.18	52
Rapeseed oil	*Yarrowia lipolytica*	-	-
Monosodium glutamate wastewater	*Rhodotorula glutinis*	2.44	9.04
Monosodium glutamate wastewater	*Rhodotorula glutinis*	25	20

نتیجه گیری

در این بررسی بیشتر ضایعات کشاورزی قابل استفاده در تولید SCO مورد بحث قرار گرفته اند. منابع غنی از مونوساکاریدها و دی ساکاریدها نیاز به حداقل پیش تصفیه دارند که به این ضایعات مزیت‌های فنی و اقتصادی بیشتری نسبت به سایر انواع پسماند می‌دهد. با این حال، این ضایعات در حال حاضر به طور گسترده در سایر فرآیندهای تخمیر و به عنوان مواد اولیه در خوراک دام استفاده می‌شود بنابراین، هر ماده زائد باید با توجه به امکان سنجی اقتصادی آن مورد ارزیابی قرار گیرد. استفاده از منابع غنی از نشاسته، پروتئین یا لیپید و هیدرولیزهای آنها در تولید SCOدر مقایسه با مونوساکارایدها و دی‌ساکاریدها و یا در تخمیرها از مواد غنی از فیبر استفاده می‌شود. مواد زائد بسترتولید SCOها مانند ضایعات مواد غذایی، پساب‌های فرآوری نشاسته سیب زمینی و ذرت و ضایعات روغن‌های پخت و پز هستند که سالانه در مقادیر زیادی در تمام نقاط جهان تولید می-شود. به منظور کاهش منفی اثرات زیست محیطی و بهبود کارایی تولید SCO، تحقیقات تکمیلی برای توسعه روش‌های

کارآمدتر هیدرولیز و سم زدایی زباله مورد نیاز است. ضایعات غنی از پلی ساکاریدهای ساختاری در مقادیر زیادی در سراسر جهان موجود است. بنابراین از ضایعات به عنوان منبعی برای تولید سایر محصولات با ارزش افزوده استفاده می‌کنند. این ضایعات نیاز به پیش تیمارهای گسترده و مهار رشد میکروبی در طول هیدرولیز دارند. در تولید SCO موارد کلیدی عبارتند از: بازار هدف برای روغن نهایی . کدام سویه میکروارگانیسم پروفایل اسیدهای چرب لازم را برای هدف تولید می‌کند. بازار در دسترس بودن ضایعات محصول . هزینه‌های پیش تصفیه زباله، نوع محصول قبل از استفاده از آن در تخمیر. هزینه‌های حمل و نقل مواد زائد.حداکثر تراکم سلولی قابل حصول در بستر. غلظت SCO نهایی درزیست توده پس از تخمیر. تخمین اینکه آیا شرایط کشت می‌تواند کارآمد باشد یا خیر. نگهداری، مصرف انرژی و گرما، کارایی زیست توده و تفکیک زباله، و روش های استخراج SCO-استخراج روغن از زیست توده و حذف ناخالصی ها. با توجه به استفاده از ضایعات مختلف به عنوان بستر برای تولید SCO در آینده نیاز به بررسی و مقایسه ضایعات مختلف صنعتی ضروری است.

منابع: Reference

1-**Browne, J., Nizami, AS., Thamsiriroj, T. & Murphy, JD. 2011**. Assessing the cost of biofuel production with increasing penetration of the transport fuel market: A case study of gaseousbiomethane in Ireland. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 4537–4547.

2-**Chandrasekaran, M. & Bahkali, AH. 2013**. Valorization of date palm (Phoenix dactylifera) fruit processing by-products and wastes using bioprocess technology - Review. Saudi Journal of Biological Sciences 20(2), 105–120.

3-**Johnravindar, D., Karthikeyan, O.P., Selvam, A., Murugesan, K. & Wong, J.W.C. 2018**. Lipid accumulation potential of oleaginous yeasts: A comparative evaluation using food waste leachate as a substrate. Bioresource Technology 248, 221–228.

4-**Liang, Y., Sarkany, N., Cui, Y., Yesuf, J., Trushenski, J. & Blackburn, J.W. 2010**. Use of sweet sorghum juice for lipid production by Schizochytrium limacinum SR21. Bioresource Technology 101(10), 3623–3627.

5-**Muniraj, I. K., Xiao, L., Hu, Z., Zhan, X. & Shi, J. 2013**. Microbial lipid production from potato processing wastewater using oleaginous filamentous fungi Aspergillus oryzae. Water Research 47(10), 3477–3483

6-**Ren, L., Li, J., Hu, Y., Ji, X. & Huang, H. 2013**. Utilization of cane molasses for docosahexaenoic acid production by Schizochytrium sp. CCTCC M209059. Korean J. Chem. Eng. 30(4),787–789

7-**Spalvins ,K. Blumberga,D.2019**. Single cell oil production from waste biomass: review of applicable agricultural by products. Agronomy Research 17(3), 833–849

8-**Talebian-Kiakalaieh, A., Amin, N.A.S. & Mazaheri, H. 2013**. A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil. Applied Energy 104, 683–710.

9-**Vermeulen, S.J., Campbell, B.M. & Ingram, J.S.I. 2012**. Climate Change and Food Systems. Annual Review of Environment and Resources 37,195–222

10-**Wang, Q., Guo, F.J., Rong, Y.J. & Chi, Z.M. 2012**. Lipid production from hydrolysate of cassava starch by Rhodosporidium toruloides 21167 for biodiesel making. Renewable Energy 46,164–168.

11-**Yousuf, A., Sannino, F., Addorisio, V. & Pirozzi, D. 2010**. Microbial conversion of olive oil mill wastewaters into lipids suitable for biodiesel production. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58(15), 8630–8635.

12-**Yu, X., Zeng, J., Zheng, Y. & Chen, S. 2014**. Effect of lignocellulose degradation products on microbial biomass and lipid production by the oleaginous yeast Cryptococcus curvatus.Process Biochemistry 49(3), 457–465.

A review on single cell oil production from food waste

Nahayeh Najafi[9], Peyman Rajaei[10]

Accepted:2021/11/22 Received:2022/04/05

Abstract:

SCO single cell oil is a suitable alternative source for oils, because it can be used as a raw material in the production of biofuels and also as a suitable option in the production of essential fatty acids suitable for human nutrition or as a supplement in animal feed. . However, the usability of SCO is limited due to the high price of the raw materials used in it. The fermentation process using inexpensive agricultural and industrial wastes can solve this problem, which are applicable for the production of SCO. The use of these by-products as the main source of carbon in fermentation not only significantly reduces the overall costs of SCO production, but also causes the treatment of produced waste streams, thus reducing the negative effects on the environment. . Because various agricultural and industrial biodegradable by-products can be used in microbial fermentations. The purpose of this review is to classify and compare usable agricultural residues based on their availability. Single-cell oils are lipids from bacteria, fungi, yeasts, microscopic cruciferous algae, and protists. These lipids have different uses depending on their fatty acid composition. SCOs with high saturated fatty acid content are suitable for biodiesel production, while SCOs rich in unsaturated fatty acids are suitable for human and animal nutrition.

Keywords: single cell oil, microorganisms, agricultural residues, biodiesel.

[9] PhD student, Department of Food Science and Industry, Faculty of Agriculture, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

[10] Assistant Professor, Department of Food Science and Industry, Faculty of Agriculture, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

Corresponding author: prajaei@gmail.com