

علم و فناوری سلولز

ژان-لوک ورتز، الیویر بدو و ژان پیر مرسییر

۱۵۲۴ ۵۱۸

۹۶، ۶، ۴

www.ketab.ir

ترجمه:

دکتر علی عبدالخانی

دانشیار دانشگاه تهران

مهندس فرشته فدوی کارتیجی



شماره مسلسل ۹۱۲۵

شماره انتشار ۳۸۴۲

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	ورتز، ژان-لوک Wertz, Jean- Luc
عنوان و نام پدیدآور	علم و فناوری سلولز/ ژان لوک ورتز، الیویر بدو، ژان پیرمرسیه؛ ترجمه علی عبدالخانی، فرشته فدوی کارتیجی.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	۴۱۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۳۸۴۲.
شابک	978-964-03-7062-9
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
داشت	Cellulose Science and Technology, 2014.
یادداشت	عنوان اصلی:
موضوع	کتابنامه.
موضوع	سلولز
شماره افزوده	سلولز - شیمی
شناسه افزوده	Bédué, Olivier بدو، اولیویر
شناسه افزوده	Mercier, Jean P. مرسیر، ژان-پی.
شناسه افزوده	علی، ۱۳۵۸ - مترجم
شناسه افزوده	فدوی کارتیجی، فرشته، ۱۳۶۵ - مترجم
شناسه افزوده	دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات
رده بندی کنگره	۹۶-۴۸۳/۶۵ TP ۲۴۸
رده بندی دیویی	۵۶۱/۸
شماره کتابشناسی ملی	۴۷، ۶۹۶

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مولفان، مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل های pdf، لوح فشرده، برونپسی در وبگاهها، سایتها، مجلهها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می شود و تنبیهی سختی برای ناشر محفوظ است.

ISBN-978-964-03-7062-9



9 789640 706229

عنوان: علم و فناوری سلولز

تألیف: ژان-لوک ورتز- الیویر بدو- ژان پیر مرسیر

ترجمه: دکتر علی عبدالخانی- مهندس فرشته فدوی کارتیجی

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: ۱۳۹۶

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مترجمان است»

بها: ۲۸۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرش مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - تارنما: <http://press.ut.ac.ir>

پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

فهرست

ت	فهرست	۱
ذ	پیشگفتار اول	۱
ر	پیشگفتار دوم	۱
ز	پیشگفتار مترجمان	۱
ش	مقدمه	۱
ص	تقدیر و تشکر	۱
۱	فصل اول: موانع سلولز	۱
۱	۱-۱ مقدمه	۱
۱	۱-۱-۱ ساختار مولکولی	۱
۳	۲-۱-۱ شیمی گلوکز	۳
۵	۳-۱-۱ پلیساکاریدها و دیساکاریدهای مرتبط	۵
۱۰	۲-۱ ساختار این کتاب	۱۰
۱۲	۳-۱ منابع	۱۲
۱۵	فصل دوم: بیوسنتز سلولز	۱۵
۱۵	۱-۲ مقدمه	۱۵
۱۶	۲-۲ برخی اصول گیاهشناسی	۱۶
۱۶	۱-۲-۲ طبقه‌بندی گیاهان سبز	۱۶
۱۹	۲-۲-۲ سلول‌های گیاه	۱۹
۲۳	۳-۲ بیولوژی مرتبط با سلولز	۲۳
۲۳	۱-۳-۲ از ژن‌ها تا پروتئین‌ها	۲۳
۲۴	۲-۳-۲ کلونسازی DNA و PCR	۲۴
۲۵	۴-۲ کمپلکس‌های پایانه‌ای	۲۵
۳۰	۵-۲ پلیمریزاسیون گلوکز به وسیله آنزیم‌های سلولز سنتاز	۳۰
۳۰	۱-۵-۲ سوبسترای سلولز سنتاز	۳۰
۳۳	۲-۵-۲ آنزیم‌های سلولز سنتاز	۳۳
۳۶	۳-۵-۲ الگوهای پلیمریزاسیون	۳۶

۳۹.....	۴-۵-۲ پلیمریزاسیون سلولز در <i>Acetobacter xylinum</i>
۴۴.....	۵-۵-۲ پلیمریزاسیون سلولز در گیاهان
۵۷.....	۶-۲ اجتماع زنجیرها و تشکیل میکروفیبریل‌ها
۵۸.....	۱-۶-۲ <i>Acetobacter xylinum</i> اجتماع زنجیرها در
۵۹.....	۲-۶-۲ اجتماع زنجیرهای سلولزی در گیاهان
۶۵.....	۷-۲ چگونگی سنتز سلولز به‌صورت non-in-vivo
۶۵.....	۱-۷-۲ سنتز in vitro
۶۹.....	۲-۷-۲ سنتز شیمیایی
۷۱.....	۸-۲ منابع

فصل سوم: ساختار و ویژگی‌های سلولز..... ۷۷

۷۷.....	۱-۳ مقدمه
۷۷.....	۲-۳ ساختار سوپرمولکولی
۷۷.....	۱-۲-۳ بلورینگی مواد سلولزی
۷۹.....	۲-۲-۳ پلی مورف‌های کریستال
۷۹.....	۳-۲-۳ سیستم مختصات
۸۱.....	۴-۲-۳ سلولز I
۹۴.....	۵-۲-۳ سلولز II
۹۹.....	۶-۲-۳ سلولز III و IV
۱۰۱.....	۷-۲-۳ قلیا سلولزها
۱۰۲.....	۸-۲-۳ خلاصه‌ای از ساختارهای کریستال
۱۰۳.....	۳-۳ ساختار مورفولوژیکی
۱۰۳.....	۱-۳-۳ مقدمه
۱۰۵.....	۲-۳-۳ میکروفیبریل‌ها
۱۱۴.....	۳-۳-۳ دیواره‌های سلولی گیاه
۱۲۵.....	۴-۳-۳ سلولز باکتریایی
۱۲۶.....	۴-۳ ویژگی‌ها
۱۲۷.....	۱-۴-۳ ویژگی‌های مکانیکی
۱۲۹.....	۲-۴-۳ ویژگی‌های فیزیکی و کریستال‌های مایع

۳-۴-۳ ویژگی‌های زیست محیطی ۱۳۵

۴-۴-۳ نانوکامپوزیت‌ها ۱۳۵

۵-۳ منابع ۱۳۸

فصل چهارم: واکسیدگی و انحلال سلولز ۱۴۵

۱-۴ مقدمه ۱۴۵

۲-۴ واکسیدگی بین کریستالین ۱۴۶

۱-۲-۴ آب ۱۴۶

۲-۲-۴ مایعات آلی ۱۵۵

۳-۴ واکسیدگی درون کریستالی ۱۵۸

۱-۳-۴ هیدروکسیدهای اترقلیایی ۱۵۸

۲-۳-۴ اسیدهای حربی ۱۶۹

۳-۳-۴ آمین‌ها ۱۷۱

۴-۳-۴ آمونیاک ۱۷۶

۵-۳-۴ هیدرازین ۱۷۷

۴-۴ انحلال ۱۷۸

۱-۴-۴ حلال‌های غیرمشتق‌کننده ۱۷۹

۲-۴-۴ حلال‌های مشتق‌کننده ۲۰۱

۵-۴ منابع ۲۱۰

فصل پنجم: هیدرولیز آنزیمی سلولز ۲۱۷

۱-۵ مقدمه ۲۱۷

۲-۵ سلولازها ۲۱۸

۱-۲-۵ ارگانیزم منشأ ۲۱۸

۲-۲-۵ فعالیت اندو و اگزو ۲۱۸

۳-۲-۵ ساختار مدولی ۲۱۹

۴-۲-۵ سازوکار ۲۲۶

۵-۲-۵ نامگذاری ۲۲۶

۳-۵ سیستم‌های سلولاز غیر کمپلکس ۲۲۷

۲۲۸	۱-۳-۵ انحلال سلولز طبیعی
۲۲۹	۲-۳-۵ <i>Trichoderma reesei</i> (Hypocrea jecorina)
۲۳۹	۳-۳-۵ <i>Humicola isolens</i>
۲۴۱	۵-۳-۴ سینتیک و فعالیت
۲۴۵	۵-۳-۵ همافزایی
۲۴۶	۴-۵ کمپلکس‌های چندآنزیمی
۲۴۶	۱۰-۴-۵ مفهوم سلولوزوم
۲۴۶	۲-۴-۵ انواع مولوزوم
۲۴۷	۳-۴-۵ ی متصل‌شونده به کربوهیدرات در اسکافولدین
۲۴۸	۴-۴-۵ برهمکنش بین ذرات - دمن چسبنده
۲۵۲	۵-۴-۵ مثال‌هایی از سلولوزوم
۲۶۲	۶-۴-۵ سلولوزوم‌های ط
۲۶۳	۵-۵ منابع
۲۷۱	فصل ششم: تخریب غیربیولوژیک سلولز
۲۷۱	۱-۶ مقدمه
۲۷۲	۲-۶ هیدرولیز اسیدی
۲۷۲	۱-۲-۶ سازوکار و سینتیک‌ها
۲۷۴	۳-۶ تخریب قلیایی
۲۷۴	۱-۳-۶ تأثیر قلیا بر مونوساکاریدها
۲۷۵	۲-۳-۶ تأثیر قلیا بر سلولز
۲۷۸	۴-۶ تخریب اکسیداتیو
۲۷۹	۱-۴-۶ اکسیداسیون توسط هیپوکلریت سدیم
۲۸۰	۲-۴-۶ اکسیداسیون به وسیله اکسیژن اتمسفر و هیدروژن پروکسید
۲۸۲	۵-۶ تخریب حرارتی
۲۸۴	۶-۶ تخریب مکانیکی و تابشی
۲۸۴	۱-۶-۶ تخریب مکانیکی
۲۸۶	۲-۶-۶ تخریب تابشی
۲۸۸	۷-۶ منابع

۲۹۱	فصل هفتم: مشتقات سلولزی
۲۹۱	۱-۷ مقدمه
۲۹۳	۲-۷ استرهای سلولز
۲۹۳	۱-۲-۷ استرهای غیر آلی سلولز
۲۹۹	۲-۲-۷ استرهای سلولزی آلی
۳۰۴	۳-۲-۷ خلاصه مطالب
۳۰۵	۳-۲-۷ اترهای سلولز
۳۰۵	۱-۳-۷ آلکیل اترهای سلولز
۳۰۶	۲-۳-۷ یوکی متیل سلولز
۳۰۸	۳-۳-۷ هیروکسی آلکیل اترهای سلولز
۳۱۱	۴-۳-۷ سیانواتیل سلولز
۳۱۱	۵-۳-۷ سایر اترهای سلولز
۳۱۲	۶-۳-۷ خلاصه
۳۱۳	۴-۷ ایجاد اتصال های عرضی سلولزی
۳۱۳	۱-۴-۷ پرداخت شیمیایی منسوجات و پلیمرها
۳۱۴	۲-۴-۷ عوامل ایجاد اتصال های عرضی
۳۱۷	۵-۷ پیوندزنی سلولز
۳۱۸	۶-۷ منابع
۳۲۱	فصل هشتم: سوخت ها و مواد شیمیایی حاصل از زیست توده
۳۲۱	۱-۸ استفاده از بایومس سلولزی در تولید انرژی و مواد تجدیدپذیر
۳۲۱	۱-۱-۸ زیست توده
۳۲۲	۲-۱-۸ بایوریفاینری و گرم شدن جهانی
۳۲۴	۳-۱-۸ بایواتانول و بابودیزل
۳۲۵	۴-۱-۸ مسیرهای تبدیل
۳۲۵	۲-۸ تبدیل بیوشیمیایی زیست توده سلولزی
۳۲۷	۱-۲-۸ هیدرولیز آنزیمی
۳۳۱	۲-۲-۸ هیدرولیز اسیدی
۳۳۵	۳-۸ تبدیل شیمیایی حرارتی زیست توده سلولزی

۳۳۵	۱-۳-۸ روش‌های اولیه تبدیل شیمیایی حرارتی
۳۳۶	۲-۳-۸ گازسازی
۳۴۲	۳-۳-۸ پیرولیز سریع
۳۴۳	۴-۳-۸ ارتقاء هیدروترمال
۳۴۴	۴-۸ مجموعه‌های زیست پالایشگاهی
۳۴۶	۵-۸ منابع

۳۴۹	فصل نهم: شش‌اندازها
۳۴۹	۱-۹ زیست‌تولید سلولزی: نفت خام آینده؟
۳۴۹	۱-۱-۹ کاهش برنامه‌ریزی‌شده در میزان آلاینده‌های گازهای گلخانه‌ای (GHG)
۳۵۱	۲-۱-۹ تولید جهانی سوخت‌های زیستی
۳۵۲	۳-۱-۹ هزینه‌ها و بازده‌های اتانول زیستی
۳۵۵	۴-۱-۹ فناوری‌های تبدیل زیست‌تولید سلولزی
۳۵۵	۲-۹ بیوسنتز سلولز
۳۵۶	۳-۹ نانوفیبرهای سلولزی
۳۵۸	۴-۹ مایعات یونی به‌عنوان حلال‌های جدید
۳۵۹	۵-۹ پروژه‌های R&D جهانی
۳۵۹	۶-۹ منابع

۳۶۱	واژگان تخصصی
۳۸۳	واژه‌نامه

پیشگفتار اول

سلولز فراوان‌ترین پلیمر موجود در طبیعت است. به دلیل اهمیت این پلیمر برای انسان؛ تلاش‌های تحقیقاتی زیادی به همراه تعداد بی‌شماری گزارش و اختراع، ظرف ۱۵۰ سال اخیر به این پلیمر زیستی اختصاص یافته است؛ بنابراین ظهور هر از چندگاه و دوره‌ای کتاب‌هایی در زمینه، چشم‌اندازهای اصلی توسعه علم سلولز لازم است تا افرادی که خواهان دستیابی به اطلاعات جامعی در این زمینه‌اند، بتوانند به آن دست یابند؛ بدون آنکه ناگزیر باشند درگیر تحقیقات و منابع اولیه موجود در این موضوع شوند. در همین زمینه، کتاب علم و فناوری سلولز نگاشته شده که خلاصه‌ای از پیشرفت‌های اساسی علم سلولز طی بیست سال اخیر است. طی این مدت اخیر پیشرفت‌های شایان ملاحظه‌ای در رابطه با تعیین نقش بیولوژیکی ساریز در طبیعت، کشف سازوکار بیوسنتز و چگونگی تخریب بیولوژیکی آن صورت گرفته که در این کتاب به آن پرداخته شده است. در تعیین ویژگی‌های ساختاری سلولز در سطح مولکولی و سوپرمولکولی نیز پیشرفت‌های زرمی حاصل شد. ویژگی‌های ساختاری سلولز که در اینجا به تفصیل بحث شده‌اند، در همه جنبه‌های مربوط به علم سلولز مفاهیم بنیادی دارند. در خلال فصل‌های این کتاب که به ترتیب شامل بیولوژی، شیمی فیزیکی، فناوری سلولز هستند، در نظر گرفتن مورفولوژی خاص سلولز و اثرات آن بر فرایندهای مختلف، یک زمینه برای مطالعه‌های مثبت کتاب به شمار می‌آید. شکی نیست که این کتاب به عنوان مرجعی برای افرادی که در زمینه مواد سلولزی فعال هستند و نیز برای افرادی که به استفاده از زیست‌توده یا تولید مواد استاندارد زیست از منابع پایدار غیر از منابع غذایی علاقه‌مند هستند، مفید خواهد بود.

هنری چانزی

پژوهشگر مرکز ملی پژوهش‌های علمی فرانسه

فوریه ۲۰۰۹

پیشگفتار دوم

طی سده‌ها زیست‌توده به لحاظ تأمین غذا (برای انسان‌ها و حیوانات) و منابع غیرغذایی (ساختمان، کشتی، منسوجات، کاغذ، انرژی و...) نقشی اساسی در توسعه و تکامل بشر داشته است. زیست‌توده حتی در منابع نفت، گاز و ذغال سنگ هم یافت می‌شود، در حال حاضر بسیاری از سهامداران به قطع وابستگی خود به این سوخت‌های فسیلی تمایل دارند و در حال جایگزین کردن بخشی از آن به‌وسیله منابع انرژی تجدیدپذیر هستند.

زیست‌توده یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر است، اما معضلات خاص خود را دارد. اگرچه عصر سوزاندن زیست‌توده برای تأمین انرژی مربوط به ابتدای پیدایش بشریت است، همچنان یک دهم از منابع اولیه انرژی به این شیوه فراهم می‌شود که البته اغلب به قیمت قطع ناپایدار جنگل‌ها تمام خواهد شد. اگرچه سوخت‌های بیولوژیکی را می‌توان از قندها، نشاسته، روغن‌های گیاهی تهیه کرد، با این شیوه، در صورتی که تهیه این سوخت‌ها بدون رعایت موازین لازم انجام گیرد، تولید در رقابت مستقیم با بازار مواد غذایی خواهد بود.

به همین دلیل است که تولیدکنندگان انرژی، توجه زیادی را به منابع لیگنوسلولزی و امکان استفاده از آن در تولید انرژی‌های مدرن به‌وسیله فرآیندهای زیستی و مواد شیمیایی معطوف کرده‌اند. اما همه این متخصصان می‌دانند که رسیدن به چنین سطحی آسان نیست. از آنجایی که سلولز فراوان‌ترین پلیمر زیستی موجود در طبیعت محسوب می‌شود، به‌وسیله طبیعت به‌نحو مطلوبی تثبیت شده و از این رو تخریب ساختار آن کار دشواری است.

به همین دلیل من با همکاری ژان لوک ورتز، الیویر ژان و ژان پی، مرسیر به نگارش کتاب علم و فناوری سلولز اقدام کرده‌ایم. تجربه این همکاران طی دورهٔ فزایندهٔ دانش به معرفی این پلیمر زیستی فوق‌العاده و استثنایی، یعنی سلولز، کمک شایانی کرده است.

ژان میشل جیرس

مدیر اجرایی موسسه تحقیقاتی توسعه پایدار و محیط زیست

پیشگفتار مترجمان

نیاز به توسعه و تولید سوخت‌های جایگزین از منابع تجدیدشونده برای حمل و نقل از دو عامل اساسی ناشی می‌شود:

۱- پدیده گرم شدن جهانی و

۲- کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی.

سناریو شدت منفی که به‌طور مداوم به‌وسیله جوامع علمی و رسانه‌ای در مورد آینده قابل پیش‌بینی انرژی‌های فسیلی پررنگ می‌شود، سبب افزایش روزافزون نگرش مثبت به زیست‌توده شده است. زیست‌توده لیگنوسلولزی به‌عنوان یک منبع تجدیدشونده دارای ظرفیت فوق‌العاده برای تبدیل به انرژی، مواد زیستی و مواد شیمیایی است. سلولز فراوان‌ترین پلیمر طبیعی موجود بر روی زمین محسوب می‌شود. این پلیمر به‌لحاظ فراوانی و هم به‌لحاظ ویژگی‌های فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی اهمیت تجاری بسیار دارد. بخش سلولز در تهیه فراورده‌های مختلف در صنایع غذایی، بهداشتی، دارویی، نظامی، پوشاک و جایگزین ناپذیر است؛ اما تبدیل سلولز به فراورده‌ای با ارزش افزوده بالا به‌دلیل ساختار پایدار و ماهیت درشت‌مولکولی آن، فرایند پیچیده‌ای محسوب می‌شود. تهیه محصولات سلولزی نیازمند گستره وسیع از بخش بیولوژی، شیمی، فیزیک سلولز به همراه آموختن روش‌های فرآوری آن است. پاسخ به نیازهای مختلف صنایع سلولزی ارتباط تنگاتنگی با توانایی محیط‌های آموزشی به جذب دانشجویان علاقه‌مند در چنین فراهم کردن امکانات آموزشی مدرن و با کیفیت دارد. با وجود اهمیت تجاری این بیوپلیمر، در حال حاضر هیچ کتابی به زبان فارسی برای آگاهی دانشجویان، علاقه‌مندان و صنعتگران سلولز وجود ندارد. در این ارتباط تاکنون چندین کتاب در ارتباط با ویژگی‌های سلولز به زبان انگلیسی نوشته شده است. در میان کتاب‌های منتشرشده، کتاب حاضر جدیدترین مورد است که برخلاف کتاب‌های قبلی، در آن ساختار و ویژگی‌های سلولز به‌طور جامع بحث شده است. بیوسنتز، ساختار و تخریب آنزیمی سلولز به همراه مشتقات سلولزی و روش تبدیل آن به سوخت زیستی در این کتاب بررسی خواهد شد. در نگاشتن این کتاب طیف وسیعی از خوانندگان در نظر گرفته شده‌اند. این کتاب راهنمای جامعی برای دانش‌پژوهان و مهندسان چوب، پلیمر و علاقه‌مندان به شیمی قندها و بیولوژی آنها خواهد بود.

دکتر علی عبدالخانی

مهندس فرشته فدوی

مقدمه

کتاب حاضر، علم و فناوری سلولز، در پاسخ به افزایش گرایش به سمت توسعه سوخت‌های زیستی و محصولات دارای منشأ زیستی، در نتیجه تغییرات آب و هوایی و کاهش منابع نفت خام، نگاشته شده است. در حقیقت زمان مناسبی برای نگارش کتاب جامعی فرا رسیده است که مهم‌ترین جنبه‌های علمی و فناوریانه این پلیمر زیستی را پوشش دهد. این کتاب به‌ویژه به‌عنوان مرجعی برای دانشمندان و مهندسان پایه (که با مواد بیولوژیکی و سنتزی سر و کار دارند) مفید خواهد بود.

در درازۀ طولی همه گیاهان، کریستال‌های سلولزی در میکروفیبریل‌هایی در مقیاس نانو و غوطه‌ور در یک ماتریس پیچیده سازماندهی شده‌اند. بنابراین علاوه بر دارا بودن ظرفیت استفاده به‌عنوان ماده خام تولید رخت‌های زیستی، این نانوفیبرهای سلولزی با مدول الاستیسیته‌ای نزدیک به مدول الاستیسیته الیاف کتان، دارای ظرفیت بسیاری برای تولید مواد کامپوزیت جدید هستند.

در خلال فصل‌های این کتاب جدیدترین دانش در زمینه سلولز به همراه گزارش دقیق آخرین پیشرفت‌های تحقیقاتی تشریح شده است. به‌ویژه تحت شرایط خاص و مناسب، مولکول سلولز را در زمینه گسترده‌تری از سایر پلی‌ساکاریدها سازمان داده‌ام و به سه موضوع مهم بیوسنتز سلولز، ساختار و هیدرولیز آنزیمی در مهم‌ترین بخش این کتاب توجه کرده‌ایم. برای آنکه مطالب کتاب تا حد امکان در دسترس باشند، برخی از مراجع اینترنتی نیز در بین منابع هر فصل ذکر شده‌اند.