

دانشگاه ساری نور

شیمی مواد غذایی ۲

(رشته مهندسی صنایع غذایی)

دکتر صدیف آزادمرد دمیرچی

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چند هزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشأن خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار	یازده
فصل اول. واکنش های قهوه ای شدن.....	۱
هدف کلی	۱
هدف های یادگیری.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱ قهوه ای شدن غیر آنزیمی.....	۲
۱-۱-۱ روش های جلوگیری از قهوه ای شدن غیر آنزیمی.....	۷
۲-۱ قهوه ای شدن آنزیمی.....	۹
۱-۲-۱ روش های کنترل قهوه ای شدن آنزیمی.....	۱۱
۳-۱ کاراملی شدن.....	۱۲
۴-۱ اکسایش اسید آسکوربیک.....	۱۳
خلاصه فصل اول.....	۱۵
خودآزمایی چهارگزینه ای فصل اول.....	۱۶
خودآزمایی تشریحی فصل اول.....	۱۶
فصل دوم. افزودنی های غذایی.....	۱۷
هدف کلی	۱۷
هدف های یادگیری.....	۱۷
مقدمه.....	۱۷
۱-۲ جنبه مفید افزودنی ها.....	۱۸
۲-۲ خطرات حاصل از افزودنی ها.....	۱۹

۲۰	۳-۲ تعادل بین مضرات و مزایای افزودنی‌ها.....
۲۰	۴-۲ طبقه‌بندی افزودنی‌ها.....
۲۱	۴-۲-۱ سیستم شماره‌گذاری بین‌المللی مواد افزودنی.....
۲۲	۵-۲ ویتامین‌ها.....
۲۴	۶-۲ اسیدهای آمینه.....
۲۵	۷-۲ اسیدهای چرب ضروری.....
۲۶	۸-۲ جایگزینی‌های چربی.....
۲۸	۹-۲ مواد معدنی.....
۲۹	۱۰-۲ مواد نگهدارنده.....
۳۰	۱۰-۲-۱ دی‌متیل دی‌کربنات.....
۳۰	۱۰-۲-۲ لیزوزیم.....
۳۱	۱۰-۲-۳ ناتامایسین.....
۳۲	۱۰-۲-۴ نایسین.....
۳۲	۱۰-۲-۵ نمک‌های نیترونی.....
۳۳	۱۰-۲-۶ اسید بنزوئیک و بنزوات‌ها.....
۳۴	۱۰-۲-۷ سوربات‌ها.....
۳۵	۱۱-۲ اسیدها.....
۳۵	۱۱-۲-۱ اسید فسفریک.....
۳۶	۱۱-۲-۲ فسفات‌ها.....
۳۶	۱۱-۲-۳ اسید سیتریک.....
۳۷	۱۱-۲-۴ اتیدرید اسید سوکسینیک.....
۳۷	۱۱-۲-۵ اسید آدیپیک.....
۳۸	۱۱-۲-۶ اسید استیک و سایر اسیدهای چرب.....
۳۸	۱۱-۲-۷ اسید سوکسینیک.....
۳۸	۱۱-۲-۸ اسید فرمیک.....
۳۹	۱۱-۲-۹ اسید مالیک.....
۳۹	۱۱-۲-۱۰ پارابن‌ها.....
۳۹	۱۱-۲-۱۱ اسید آسکوربیک.....
۴۰	۱۱-۲-۱۲ اسید گلوکونیک و گلوکونو- دلتا- لاکتون.....
۴۱	۱۲-۲ بازها.....
۴۲	۱۳-۲ شیرین‌کننده‌ها.....
۴۲	۱۳-۲-۱ شیرین‌کننده‌های مغذی.....
۴۵	۱۳-۲-۲ شیرین‌کننده‌های غیرمغذی.....
۵۰	۱۴-۲ تشدیدکننده‌های طعم.....
۵۱	۱۵-۲ امولسیون‌کننده‌ها (امولسیفایرها).....
۵۶	۱۶-۲ آنتی‌اکسیدان‌ها.....

۵۶	۱-۱۶-۲ آنتی اکسیدان های اولیه.....
۶۰	۲-۱۶-۲ آنتی اکسیدان های ثانویه.....
۶۱	۳-۱۶-۲ سینرژیسیم (هم افزایی).....
۶۲	خلاصه فصل دوم.....
۶۳	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل دوم.....
۶۴	خودآزمایی تشریحی فصل دوم.....
۶۵	فصل سوم. آنزیم ها.....
۶۵	هدف کلی.....
۶۵	هدف های یادگیری.....
۶۵	مقدمه.....
۶۷	۱-۳ نام گذاری آنزیم ها.....
۷۰	۲-۳ اکسیدوردوکتازها.....
۷۱	۳-۳ هیدرولازها.....
۷۸	۴-۳ ایزومرازها.....
۷۸	۵-۳ ترانسفراز.....
۷۸	۶-۳ مقدار آنزیم ها در مواد غذایی.....
۷۹	خلاصه فصل سوم.....
۷۹	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل سوم.....
۸۰	خودآزمایی تشریحی فصل سوم.....
۸۱	فصل چهارم. شیمی رنگ دانه ها.....
۸۱	هدف کلی.....
۸۱	هدف های یادگیری.....
۸۱	مقدمه.....
۸۲	۱-۴ رنگ های سنتزی.....
۸۵	۲-۴ رنگ های طبیعی.....
۸۶	۱-۲-۴ فلاونوئیدها.....
۸۷	۱-۱-۲-۴ فلاون ها.....
۸۹	۲-۱-۲-۴ آنتوسیانین ها.....
۹۱	۳-۱-۲-۴ چالکون ها.....
۹۱	۲-۲-۴ کلروفیل.....
۹۲	۳-۲-۴ کاروتنوئیدها.....
۹۷	۴-۲-۴ بتالاین ها.....
۹۸	۵-۲-۴ رنگ دانه های حاصل از میکروارگانیسم ها.....
۹۸	۱-۵-۲-۴ رنگ دانه موناسکوس.....

۹۹	۲-۵-۲-۴ بیلی پروتئین ها.....
۱۰۰	۳-۵-۲-۴ کو چیتال.....
۱۰۱	۶-۲-۴ هم.....
۱۰۱	خلاصه فصل چهارم.....
۱۰۲	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم.....
۱۰۲	خودآزمایی تشریحی فصل چهارم.....
۱۰۳	فصل پنجم. شیمی ویتامین ها.....
۱۰۳	هدف کلی.....
۱۰۳	هدف‌های یادگیری.....
۱۰۳	مقدمه.....
۱۰۴	۱-۵ واحد ویتامین.....
۱۰۴	۲-۵ ویتامین‌های محلول در آب.....
۱۰۴	۱-۲-۵ نیاسین.....
۱۰۵	۲-۲-۵ ویتامین C.....
۱۰۷	۳-۲-۵ ویتامین تیامین (B1).....
۱۰۸	۴-۲-۵ ریوفلاوین (ویتامین B2).....
۱۰۹	۵-۲-۵ اسید پنتوتنیک (B5).....
۱۱۰	۶-۲-۵ پیریدوکسین (B6).....
۱۱۱	۷-۲-۵ سیانوکوبالامین (B12).....
۱۱۴	۸-۲-۵ اسید فولیک.....
۱۱۴	۹-۲-۵ بیوتین.....
۱۱۷	۳-۵ شیمی ویتامین‌های محلول در چربی.....
۱۱۷	۱-۳-۵ ویتامین D.....
۱۱۸	۲-۳-۵ ویتامین K.....
۱۱۹	۳-۳-۵ ویتامین A.....
۱۲۲	۴-۳-۵ ویتامین E.....
۱۲۳	خلاصه فصل پنجم.....
۱۲۴	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل پنجم.....
۱۲۴	خودآزمایی تشریحی فصل پنجم.....
۱۲۵	فصل ششم. مواد معدنی.....
۱۲۵	هدف کلی.....
۱۲۵	هدف‌های یادگیری.....
۱۲۵	مقدمه.....
۱۲۶	۱-۶ مواد معدنی.....

۱۲۶	۲-۶ کلسیم
۱۲۶	۳-۶ فسفر
۱۲۷	۴-۶ منیزیم
۱۲۷	۵-۶ پتاسیم
۱۲۸	۶-۶ سدیم
۱۲۸	۷-۶ کلر
۱۲۹	۸-۶ آهن
۱۲۹	۹-۶ روی
۱۳۰	۱۰-۶ مس
۱۳۰	۱۱-۶ ید
۱۳۱	۱۲-۶ منگنز
۱۳۱	۱۳-۶ کبالت
۱۳۱	۱۴-۶ فلئور
۱۳۱	خلاصه فصل ششم
۱۳۲	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل ششم
۱۳۲	خودآزمایی تشریحی فصل ششم
۱۳۳	فصل هفتم. هیدروکلوئیدها/صمغ‌های غذایی
۱۳۳	هدف کلی
۱۳۳	هدف‌های یادگیری
۱۳۳	مقدمه
۱۳۵	۱-۷ دسته‌بندی صمغ‌ها
۱۳۶	۲-۷ صمغ‌های تراوشی
۱۳۶	۱-۲-۷ صمغ عربی
۱۳۸	۲-۲-۷ صمغ کتیرا
۱۳۸	۳-۲-۷ صمغ کارایا
۱۳۹	۴-۲-۷ صمغ قاتی
۱۳۹	۳-۷ صمغ‌های دانه‌ای
۱۴۰	۱-۳-۷ صمغ دانه خرنوب
۱۴۱	۲-۳-۷ صمغ گوار
۱۴۳	۴-۷ صمغ‌های موسیلاژی
۱۴۳	۱-۴-۷ موسیلاژ خردل زرد
۱۴۳	۲-۴-۷ موسیلاژ کتان
۱۴۴	۳-۴-۷ صمغ پسیلیوم
۱۴۶	۵-۷ فروکتان‌ها
۱۴۷	۶-۷ صمغ‌های جلبک‌های دریایی

۱۴۷	 آلزینات‌ها..... ۱-۶-۷
۱۴۹	 کاراگینان..... ۲-۶-۷
۱۵۲	 آگار..... ۳-۶-۷
۱۵۴	 صمغ‌های میکروبی..... ۷-۷
۱۵۴	 صمغ زانتان..... ۱-۷-۷
۱۵۶	 پولولان..... ۲-۷-۷
۱۵۷	 صمغ ژلان..... ۳-۷-۷
۱۵۸	 خلاصه فصل هفتم.....
۱۵۹	 خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هفتم.....
۱۵۹	 خودآزمایی تشریحی فصل هفتم.....
۱۶۱	 پاسخ خودآزمایی‌های چهارگزینه‌ای.....
۱۶۳	 کتابنامه.....

پیشگفتار

شیمی مواد غذایی از شاخه‌های مهم علوم و مهندسی صنایع غذایی است. امروزه با توجه به پیشرفت و گستردگی صنایع غذایی، محصولات غذایی متنوعی به بازار عرضه می‌شود. برای کنترل کیفی این محصولات و دانستن تغییراتی که در طی فراوری و نگهداری اتفاق می‌افتند، نیاز به علم شیمی مواد غذایی است.

شیمی مواد غذایی یکی از درس‌های مهمی است که در رشته علوم و صنایع غذایی تدریس می‌شود و در برنامه تحصیلی دانشجویان صنایع غذایی در مقاطع مختلف وجود دارد. این درس همچنین پیش‌نیاز درس‌های مهمی مثل تجزیه مواد غذایی، تکنولوژی لبنیات، تکنولوژی روغن و تکنولوژی غلات در مقطع کارشناسی است که نشانه اهمیت درس شیمی مواد غذایی در درک درس‌های فوق‌الذکر نیز است. درس شیمی مواد غذایی فقط در رشته علوم و صنایع غذایی وجود ندارد، بلکه در برنامه درسی رشته‌های مختلفی هم هست که با تغذیه یا تولید و فراوری مواد غذایی در ارتباط‌اند.

شیمی مواد غذایی قبلاً به صورت یک درس چهار واحدی ارائه می‌شد، ولی در حال حاضر به صورت دو درس «شیمی مواد غذایی ۱» و «شیمی مواد غذایی ۲» ارائه می‌شود که مکمل هم هستند. کتاب *شیمی مواد غذایی ۱* در سال ۹۴ توسط انتشارات دانشگاه پیام نور چاپ و منتشر شده است و در این کتاب مباحث مربوط به «شیمی مواد غذایی ۲» آورده شده است.

از تمامی همکاران گرامی در حوزه تدوین دانشگاه پیام‌نور به ویژه مدیریت محترم تدوین، سرکار خانم دکتر دیده‌بان، که زحمت ویراستاری علمی این کتاب را نیز عهده‌دار بودند و با نظرات ارزشمند و سازنده، موجب غنای این کتاب شدند صمیمانه

تشکر و قدردانی می‌کنم. از کارشناس محترم، سرکار خانم خدیجه علی‌نژاد رنجکش، که همکاری‌های ارزشمندی در چاپ این کتاب داشتند نیز صمیمانه تشکر می‌کنم. از داور گرامی و ویراستار ادبی محترم که با نظرات ارزشمند خود موجب بهبود و اصلاح مطالب این کتاب شدند، نیز صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم. اینجانب منتظر نظرات سازنده و ارزشمند همکاران گرامی، دانشجویان و خوانندگان عزیز هستم تا اشکالات احتمالی در چاپ‌های بعدی اصلاح شود.

دکتر صدیف آزادمرد دمی‌چی

استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه تبریز

بهار ۱۳۹۶

sodeifazadmard@yahoo.com/s-azadmard@tabrizu.ac.ir

فصل اول

واکنش‌های قهوه‌ای شدن

هدف کلی

از خواننده انتظار می‌رود پس از مطالعه این فصل بتواند انواع واکنش‌های قهوه‌ای شدن در محصولات غذایی را شرح دهد.

هدف‌های یادگیری

- انتظار می‌رود پس از مطالعه این فصل دانشجویان بتوانند:
۱. اهمیت واکنش‌های قهوه‌ای شدن را در صنایع غذایی توضیح دهند.
 ۲. قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی و آنزیمی را شرح دهند.
 ۳. روش‌های تسریع و جلوگیری از قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی و آنزیمی را توضیح دهند.
 ۴. جنبه‌های مفید و مضر واکنش‌های قهوه‌ای شدن را یاد بگیرند.

مقدمه

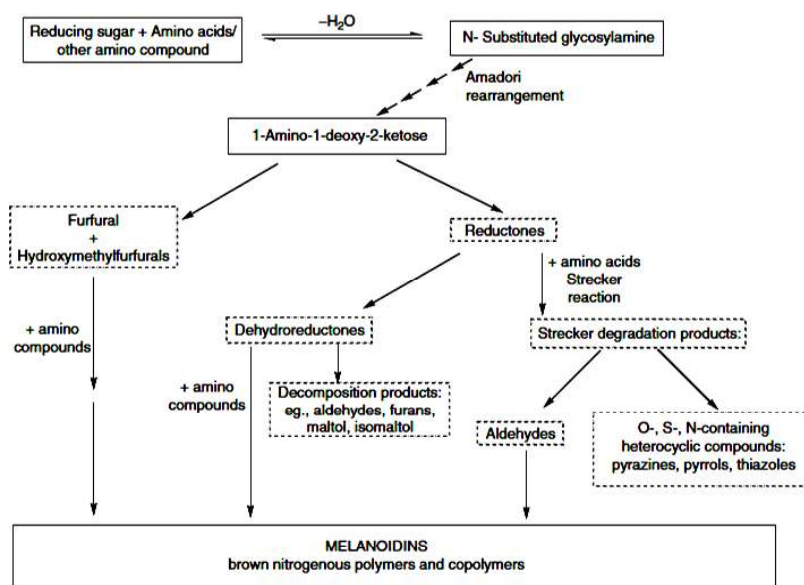
انواع مختلفی از واکنش‌ها در محصولات غذایی در طی نگهداری و فراوری رخ می‌دهند. دسته‌ای از این واکنش‌ها به نام واکنش‌های قهوه‌ای شدن در شیمی مواد غذایی مطرح هستند. واکنش‌های قهوه‌ای شدن با توجه به مواد اولیه شرکت‌کننده و شرایط واکنش و محصولات تولیدی به سه نوع تقسیم می‌شوند: ۱) واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی^۱، ۲) واکنش قهوه‌ای شدن آنزیمی^۲ و ۳) واکنش کاراملی شدن^۳. البته اکسیداسیون و محصولات تجزیه‌ای حاصل از آسکوربیک اسید نیز می‌تواند موجب

1. Nonenzymatic Browning
2. Enzymatic Browning
3. Caramelization

تولید رنگ قهوه‌ای شود (نورستن، ۲۰۰۵). این واکنش‌ها در محصولات و صنایع غذایی مفید یا مضرند که در این فصل به‌طور کامل درباره آن‌ها توضیح داده شده‌است. برای درک این واکنش‌ها بهتر است اطلاعات کافی از مواد اولیه شرکت‌کننده در این واکنش‌ها داشته باشیم که در کتاب شیمی مواد غذایی^۱ درباره این مواد توضیح داده شده‌است. برای مثال در واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی، قندهای احیاکننده شرکت می‌کنند. برای اینکه فرق قندهای احیاکننده و غیراحیاکننده را بدانیم بهتر است به فصل شیمی کربوهیدرات در شیمی مواد غذایی^۱ مراجعه کنیم.

۱-۱ قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی

واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی یا میلارد^۱ یکی از واکنش‌های مهم بین قندهای احیاکننده و پروتئین‌هاست. نام واکنش از نام لوئیس کامیلا میلارد^۲ گرفته شده‌است که در ۱۹۱۰ در مورد قهوه‌ای شده غیرآنزیمی تحقیق کرده است (دمن، ۱۹۹۹). فلوچارت کلی از این واکنش در شکل ۱-۱ آورده شده‌است.



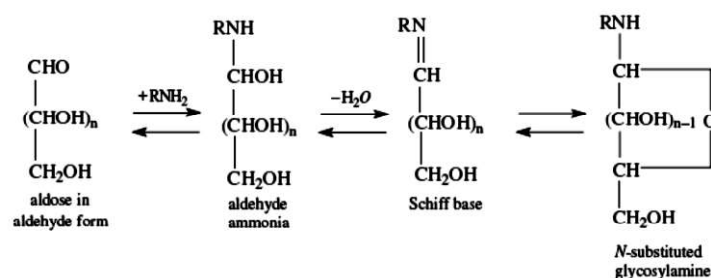
شکل ۱-۱. فلوچارت کلی از قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی. محصول نهایی ملانوئیدین است (همان). جزئیات این فلوچارت در متن به‌صورت کامل توضیح داده شده‌است.

واکنش‌های قهوه‌ای شدن ۳

در واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی، قند احیاکننده با آمین واکنش می‌دهد و بعد از طی واکنش‌هایی سرانجام به محصول نهایی، یعنی ملانوئیدین‌ها^۱، تبدیل می‌شود (همان).

برای سادگی درک می‌توان قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی را به چند مرحله تقسیم کرد (همان؛ بلیتز، ۲۰۰۹؛ داموداران و همکاران، ۲۰۰۷):

۱. افزوده شدن قند احیاکننده (کتوزی یا آلدوزی) و آمین به یکدیگر. برای انجام واکنش، آمین نباید پروتون‌دار باشد و به همین خاطر واکنش در pH بالا بهتر صورت می‌گیرد و در مقدار آب بالا برگشت‌پذیر است (شکل ۱-۲). محصولات این مرحله از واکنش، بی‌رنگ و بدون جذب در فرابنفش (حدود ۲۸۰ nm) است.

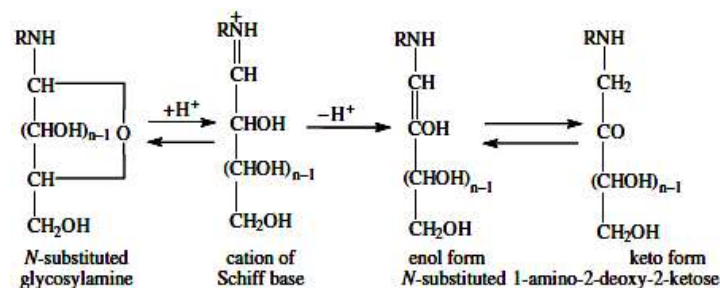


شکل ۱-۲. افزوده شدن قند احیاکننده (کتوزی یا آلدوزی) و آمین به یکدیگر

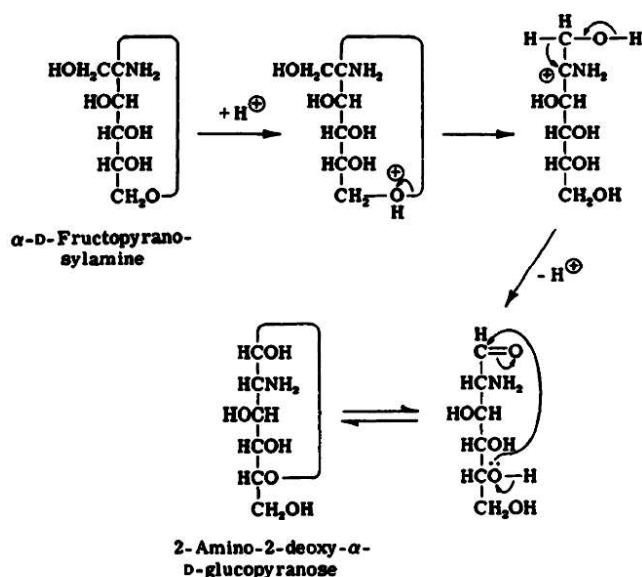
۲. نوآرایی مولکول طی نوآرایی آمادوری^۲ یا نوآرایی هینز^۳. در نوآرایی آمادوری ترکیب آلدئیدی به کتوز تبدیل می‌شود و کتوز آمین تولید می‌شود (شکل ۱-۳). در نوآرایی هینز نیز ترکیب کتوزی به آلدوز تبدیل و آلدوز آمین تولید می‌شود (شکل ۱-۴). محصولات نوآرایی، بی‌رنگ و بدون جذب در فرابنفش (حدود ۲۸۰ nm) است.

واکنش‌های نوآرایی در pH اسیدی بهتر صورت می‌گیرد. پروتون‌دار شدن اتم نیتروژن در کربن شماره یک در نوآرایی آمادوری اتفاق می‌افتد و پروتون‌دار شدن اکسیژن در کربن شماره ۶ در نوآرایی هینز صورت می‌گیرد.

1. Melanoidins
2. Amadori Rearrangement
3. Heyns Rearrangement



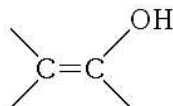
شکل ۳-۱. نوآرایی آمادوری و تبدیل گلیکوزیل آمین به ۱-آمینو-۲-داکسی فروکتوپیرانوز



شکل ۴-۱. نوآرایی هینز و تبدیل فروکتوزیل آمین به ۲-آمینو-۲-داکسی گلوکوپیرانوز

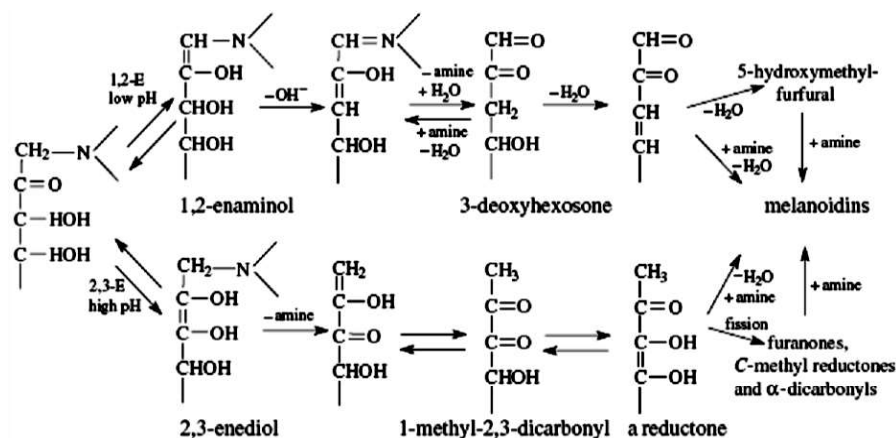
۳. انولیزه شدن^۱، دهیدراسیون (آب زدایی) و واکنش مجدد با اسیدهای آمینه. در این مرحله محصولات بی رنگ زردند و جذب قوی ای در فرابنفش دارند. تبدیل ترکیب کتونی به انول را انولیزه شدن می گویند. انول ترکیبی است که در آن گروه هیدروکسیل (OH) به کربنی متصل است که با یک پیوند دوگانه به کربنی دیگر متصل شده است (شکل ۵-۱).

واکنش‌های قهوه‌ای شدن ۵



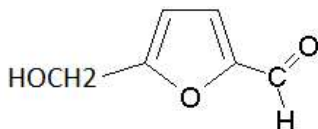
شکل ۱-۵. ساختار شیمیایی انول

۱،۲-انولیزه‌شدن در pH پایین و ۲،۳-انولیزه‌شدن در pH بالا صورت می‌گیرد (شکل ۱-۶). ۱،۲-انولیزه‌شدن یعنی در کربن‌های شماره ۱ یا ۲ گروه انول قرار دارد. در ۲،۳-انولیزه‌شدن هم انول روی کربن‌های شماره ۲ یا ۳ تشکیل می‌شود.



شکل ۱-۶. انولیزه‌شدن و دهیدراسیون و واکنش مجدد با اسیدهای آمینه. ۱،۲-انولیزه‌شدن در pH پایین و ۲،۳-انولیزه‌شدن در pH بالا صورت می‌گیرد.

هیدروکسی‌متیل‌فورفورال (شکل ۱-۷) محصول ۱،۲-انولیزه‌شدن است که با یک آمین ترکیب می‌شود و ملانوئیدین را تولید می‌کند. این ترکیب از اثر اسید سولفوریک بر قندهای شش کربنه نیز تولید می‌شود. قند شش کربنه، سه مولکول آب از دست می‌دهد و هیدروکسی‌متیل‌فورفورال تولید می‌شود (نورستن، ۲۰۰۵).

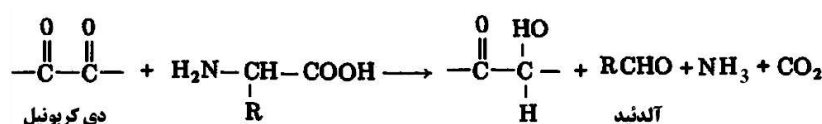


شکل ۱-۷. ساختار شیمیایی هیدروکسی‌متیل‌فورفورال

در ۳،۲- انولیزاسیون محصولات متفاوتی تولید می‌شود؛ همچون فورانون‌ها^۱، ردوکتون‌ها^۲ و دی‌کربونیل‌ها^۳. محصولات ۳،۲-انولیزاسیون نیز می‌توانند با یک آمین ترکیب شوند و ملانوئیدین را تولید کنند.

۴. تجمع ترکیبات تشکیل‌شده در مراحل قبلی با همدیگر یا با ترکیبات آمینی برای تشکیل رنگ‌دانه‌های قهوه‌ای و پلیمرها (بَسپارها).

تجزیه استریکر^۴ یک واکنش دیگر است که اتفاق می‌افتد. در تجزیه استریکر، دی‌کربونیل حاصل از ۳،۲-انولیزاسیون شرکت می‌کند. دی‌کربونیل با اسید آمینه از نوع آلفا واکنش می‌دهد و موجب تولید موادی مثل آلدئیدها، آمونیا و دی‌اکسیدکربن می‌شود (شکل ۸-۱).



شکل ۸-۱. واکنش تجزیه استریکر؛ واکنش بین دی‌کربونیل و اسید آمینه

آلدئیدهای تولیدشده در تجزیه استریکر، یک اتم کربن کمتر از اسید آمینه دخیل در واکنش دارند. حدود ۹۰ درصد دی‌اکسیدکربن تولیدی از اسید آمینه است. آلدئیدها با توجه به نوع اسید آمینه، آرومای قابل توجهی تولید می‌کنند. آلدئیدهای استریکری مهم از لحاظ آروما عبارت‌اند از: متیونال، فنیل استالید، متیل پروپانال و ۳-متیل بوتانال. ترکیبات دیگر تأثیرگذار بر آرومای مواد غذایی نیز در طول تجزیه استریکر تولید می‌شود مثل H_2S ، آمونیا، ۱-پیرولین و سیست آمین^۵ (نورستن، ۲۰۰۵).

باید در نظر داشت که به غیر از قندهای احیاکننده، سایر ترکیبات کربونیلی موجود در مواد غذایی نیز می‌توانند در واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی شرکت کنند مثل گوسیپول (ترکیب آلدئیدی موجود در پنبه‌دانه) یا مالون آلدئیدهای (محصول ثانویه اکسیداسیون چربی‌ها) موجود در غذاهای حاوی چربی یا روغن.

1. Furanones

۲. Reductone: ترکیبی است که در آن یک گروه کربونیل مجاور ساختار اندیول است. اندیول یعنی انولی که در ساختار آن دو گروه هیدروکسیل (OH) است.

۳. Dicarbonyls: ترکیبی که در ساختار آن دو گروه کربونیل وجود دارد.

4. Strecker Degradation

5. Cysteamine

واکنش‌های قهوه‌ای شدن ۷

قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی ممکن است مفید یا مضر باشد. جنبه‌های مفید این واکنش عبارت‌اند از: تولید رنگ پوسته نان، سس سویا، کارامل‌ها، تافی‌ها، شکلات‌های شیری؛ تولید ترکیبات با خاصیت احیاکنندگی قوی و آنتی‌اکسیدانی و شلاته کردن فلزاتی که در پایداری غذا در برابر اکسیداسیون شرکت می‌کنند. محصولات آمادوری و ردوکتون‌ها خاصیت احیاکنندگی و آنتی‌اکسیدانی دارند. ردوکتون‌ها آنتی‌اکسیدان‌های قوی‌تری از محصولات آمادوری هستند.

اما همان‌طور که ذکر شد، این واکنش جنبه‌های مضر نیز دارد که می‌توان به اتلاف و ازبین‌رفتن اسیدآمین‌ها اشاره کرد، به‌ویژه در مورد اسیدآمین‌ه ضروری لیزین که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لیزین وقتی بخشی از پروتئین است نیز می‌تواند در واکنش شرکت کند و از بین برود. تولید مواد جهش‌زا (در ماهی و گوشت‌های سرخ‌شده) و مزه تلخ در گوشت و ماهی کباب‌شده نیز از موارد مضر قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی است. کربونیل‌های تولیدشده می‌توانند موجب اتصالات عرضی پروتئین‌ها و در نتیجه موجب کاهش حلالیت و هضم آن‌ها شوند (آزادمرد دمیچی، ۱۳۹۱).

۱-۱-۱ روش‌های جلوگیری از قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی

روش‌های مختلفی برای جلوگیری از واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی به شرح زیر وجود دارد (همان):

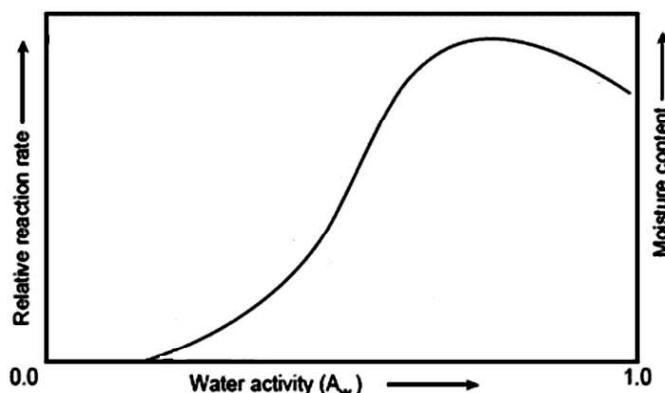
۱. **نگهداری در دمای پایین.** هر 10°C افزایش دما موجب ۳-۶ برابر افزایش سرعت واکنش می‌شود. نگهداری زیر 10°C - از قهوه‌ای شدن اکثر مواد غذایی تا مدت طولانی جلوگیری می‌کند. با افزایش دما به‌علت کاهش مقدار رطوبت سرعت واکنش افزایش می‌یابد.

۲. **استفاده از دی‌اکسیدگوگرد.** با افزایش غلظت دی‌اکسیدگوگرد اثر آن بیشتر می‌شود (برای مواد غذایی مختلف حد مجاز قید شده‌است). غلظت‌های بالا موجب تأخیر زیاد در شروع واکنش می‌شود، ولی وقتی قهوه‌ای شدن شروع شد واکنش به‌صورت معمول ادامه می‌یابد. سولفیت‌ها گروه‌های کربونیل را بلوکه می‌کنند که این بلوکه کردن ممکن است در موارد مختلفی اتفاق بیفتد: (۱) بلوکه کردن گروه‌های کربونیل قندهای احیاکننده، (۲) ترکیب شدن با ترکیبات کربونیل تولیدشده در مراحل بعدی میلارد مثل بلوکه کردن هیدروکسی‌متیل‌فورفورال که مانع از پلیمریزاسیون

آن‌ها می‌شود، ۳) بلوکه کردن دی‌کربونیل‌هایی که می‌توانند در تجزیه استریکر شرکت کنند.

۳. کاهش pH. اگر pH محیط از pH ایزوالکتریک اسید آمینه بیشتر باشد، تشکیل پیگمان‌ها با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد.

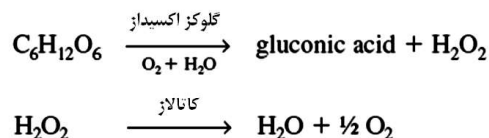
۴. دهیدراسیون و کاهش فعالیت آبی. در فعالیت آبی ۰/۷ و مقدار رطوبت ۱۵-۲۰ درصد سرعت واکنش بالاست (شکل ۱-۹).



شکل ۱-۹. سرعت واکنش میلارد در برابر فعالیت آبی

۵. جداسازی قند احیاکننده یا اسیدهای آمینه. در حقیقت دی‌اکسیدگوگرد ترکیبات کربونیل را از واکنش خارج می‌سازد. تخمیر نیز موجب کاهش قندهای احیاکننده مثل گلوکز می‌شود. استفاده از مخلوط آنزیم‌های گلوکزاکسیداز و کاتالاز موجب کاهش گلوکز (شکل ۱-۱۰) و در نتیجه موجب توقف واکنش می‌شود. راه دیگر استفاده از قندهای غیراحیاکننده همچون ساکارز یا قندهای الکلی است، که در واکنش شرکت نمی‌کنند. از نظر شرکت در واکنش میلارد، پنتوزها نسبت به هگزوزها (سرعت قهوه‌ای شدن ریبوز: گزیلوز: گلوکز، به ترتیب ۱:۶:۱۰۰) و هگزوزها نسبت به دی‌ساکاریدهای احیاکننده فعال‌ترند. لیزین و گلیسین نسبت به سایر آمینواسیدها فعال‌ترند. هر چه فاصله NH_2 از عامل کربوکسیل بیشتر باشد، فعالیت اسید آمینه بیشتر است. جداسازی لاکتوز قبل از خشک کردن شیر نیز یک راه کار است.

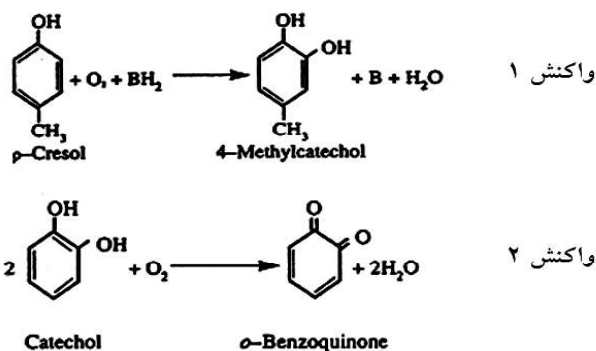
واکنش‌های قهوه‌ای شدن ۹



شکل ۱-۱۰. استفاده از سیستم آنزیمی گلوکز اکسیداز و کاتالاز برای جلوگیری از قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی. این سیستم برای کاهش اکسیژن از فضای بالاسری مواد بسته‌بندی شده هم کاربرد دارد.

۲-۱ قهوه‌ای شدن آنزیمی

پلی فنل اکسیداز^۱ (۲، ۱- بنزن دیول: اکسیژن اکسیدوردوکتاز، EC 1.10.3.1) می‌تواند نام‌های مختلفی داشته باشد و معمولاً تیروزناز^۲، پلی فنولاز^۳، فنولاز، کتچول اکسیداز^۴، کرسولاز^۵ یا کاتکولاز^۶ نامیده می‌شود. این نام‌گذاری‌ها بستگی به سوبسترای استفاده شده برای مطالعه آنزیم دارد یا سوبسترا به مقدار زیادی در گیاهی وجود دارد که به عنوان منبع آنزیم استفاده می‌شود. پلی فنل اکسیداز در گیاهان، حیوانات و بعضی از میکروارگانیسم‌ها به ویژه قارچ‌ها وجود دارد و در انجام دو واکنش متفاوت شرکت می‌کند (شکل ۱-۱۱). این آنزیم دارای دارای فلز مس است و می‌تواند به صورت یک ظرفیتی (فنلاز قارچ) یا دوظرفیتی (فنلاز سیب زمینی) وجود داشته باشد. مناسب ترین pH برای فعالیت این آنزیم ۶-۷ است (کرامت، ۱۳۸۷؛ فاطمی، ۱۳۸۱).



شکل ۱-۱۱. انجام دو واکنش متفاوت به وسیله پلی فنل اکسیداز

1. Polyphenol Oxidase
2. Tyrosinase
3. Polyphenolase
4. Catechol Oxidase
5. Cresolase
6. Catecholase