

آب

آب $\frac{2}{3}$ وزن بدن انسان را تشکیل می‌دهد. موجودات زنده دیگر نیز مقادیر زیادی آب در بافت خود ذخیره کرده‌اند که کم‌ترین آن ۶۵٪ و حداکثر تا ۹۵٪ بافت بدن آن‌ها خواهد بود.

مقدار آب در بعضی از مواد غذایی به شرح زیر است:

۸۷٪	پرتقال	۹۵٪	کاهو	۹۳٪	هندوانه	۹۴٪	گوچه‌فرنگی
۱۲٪	آرد گندم	۲۵٪	نان سفید	۸۷/۵٪	شیر	۸۷٪	آب سیب
۰٪	شورتینگ	۲٪	آب‌نبات	۳/۵٪	شیر خشک	۱۶٪	کره

سبزیجات همواره بیش‌ترین مقدار آب را دارند.

منابع اصلی تأمین آب بدن، غذاها و نوشیدنی‌ها می‌باشند، هم‌چنین در حین اکسایش مواد غذایی نیز مقداری آب تولید می‌شود. آب باران خالص‌ترین شکل آب در طبیعت است. اصولاً آب‌های طبیعی دارای مقادیری املاح و خصوصاً یون کلسیم (Ca^{2+}) می‌باشند. به آب محتوی یون کلسیم، منیزیم و آهن، آب سخت گفته می‌شود.

سختی بر دو نوع است:

۱- سختی دائم:

به طور عمده ناشی از وجود املاح سولفات کلسیم، منیزیم یا آهن در آب می‌باشد. این نوع سختی همواره در آب به‌صورت محلول وجود دارد و با حرارت دادن از آب خارج نمی‌شود.

۲- سختی موقت:

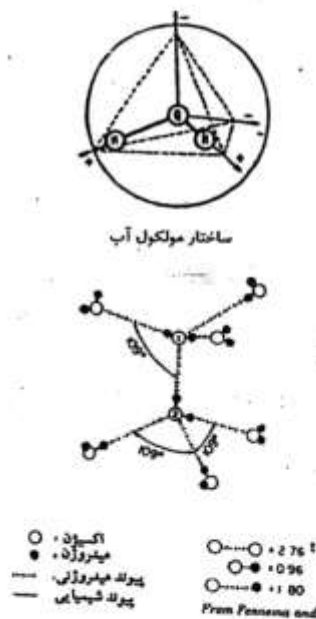
ناشی از بی‌کربنات کلسیم و یا منیزیم است که در حین حرارت دادن تبدیل به فرم کربنات شده و رسوب می‌کند.

شیمی مواد غذایی |

تشکیل رسوب کربنات کلسیم ناشی از آب‌های دارای سختی موقت در دیگ‌های بخار بسیار مضر است. زیرا رسوب این املاح بر روی جداره داخلی دیگ‌های بخار یا توجه به نارسا بودن آن‌ها سبب کاهش راندمان سوخت و استهلاک زیاد دستگاه‌ها می‌شود. برای برطرف کردن سختی موقتی می‌توان به آب، شیر آهک Ca(OH)_2 یا کربنات سدیم اضافه کرد. به وسیله افزودن کربنات سدیم یا فسفات سدیم به آب سختی دائم نیز برطرف می‌شود. البته عموماً در کارخانه‌جات جهت برطرف کردن سختی آب از رزین‌های تعویض یونی استفاده می‌شود. در این تکنیک‌ها سدیم که سختی‌زا نیست جایگزین کلسیم، منیزیم و آهن می‌گردد.

ساختمان آب:

مولکول آب از ۲ اتم هیدروژن و ۱ اتم اکسیژن تشکیل شده که این اتم‌ها تحت زاویه 104.5° آرایش پیدا کرده‌اند. به این ترتیب مولکول آب به صورت گرمای چهار وجهی است که اتم اکسیژن در مرکز چهار قطبی قرار دارد و دو بار منفی و دو بار مثبت زوایای چهار قطبی را تشکیل می‌دهند. به این صورت اکسیژن می‌تواند با دو مولکول آب و هر هیدروژن با یک مولکول آب پیوند هیدروژنی برقرار کند. مولکول آب از نظر الکتریکی حالت متعادل ندارد، یعنی در سمت اکسیژن بار منفی و در سمت اتم‌های هیدروژن مقداری بار مثبت وجود دارد. بنابراین مولکول آب حالت قطبی دارد و این حالت باعث ایجاد پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب می‌شود.



شکل ۱-۹. آرایش زوایای پیوندی و پیوندهای هیدروژنی در یخ

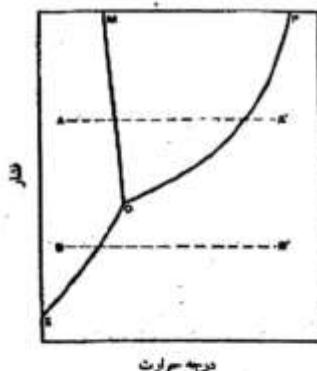
آب مایعی بیرنگ، بی‌بو و بی‌مزه می‌باشد که در فشار 760mm/Hg در دمای 100°C می‌جوشد و در صفر درجه سانتیگراد یخ می‌زند. خواص کالریک یا گرمایی آب نسبت به دیگر هیدریدهای خانواده اکسیژن بسیار بالاست. دلیل این خواص گرمایی غیر عادی ساختمان مولکولی آب و وجود پل‌های هیدروژنی بین مولکول‌های آب می‌باشد. به همین دلیل گرمای ویژه و نهان تبخیر آب بالاست و بنابراین آب

آب

می‌تواند به عنوان یک منبع حرارتی عمل نماید. پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب به حرارت حساس هستند و با اعمال حرارت شکسته شده و یا سرد کردن مجدداً تشکیل می‌شوند در 180°C - تمام پیوندهای هیدروژنی ممکن تشکیل می‌شوند یا اعمال حرارت و رسیدن به 50°C پیوندهای هیدروژنی از بین می‌روند، در آب جوش 100°C هنوز $\frac{1}{3}$ پیوندهای هیدروژنی وجود دارند و در بخار 100°C تمام پیوندهای هیدروژنی شکسته شده‌اند. تغییرات فشار هوا تاثیر مستقیمی بر روی نقطه جوش آب دارد. یعنی با افزایش فشار هوا نقطه جوش آب افزایش می‌یابد. در اتوکلاو و در دیگ‌های زودپز خانگی از این خاصیت استفاده می‌شود. همچنین با کاهش فشار هوا نقطه جوش آب کاهش می‌یابد. از این خاصیت در اواپراتورها جهت کاهش دمای تبخیر آب و کاهش سدمات حرارتی و کاهش هزینه فرآیند به جهت مصرف بخار کمتر استفاده می‌شود. مواد حل شده نیز روی نقطه جوش آب تاثیر مستقیم دارند و سبب افزایش آن می‌شوند، به همین ترتیب مواد حل شده سبب کاهش نقطه انجماد نیز می‌گردند. به طور خلاصه هرچه میزان مواد حل شده افزایش یابد، نقطه انجماد کاهش و نقطه جوش آب افزایش می‌یابد.

نمودار فازهای آب:

نمودار فازهای آب وابستگی بین فشار بخار آب و درجه حرارت و شرایطی را که آب به طور همزمان در فازهای مختلف دارد، نشان می‌دهد.



شکل ۹-۲. نمودار فازهای آب. OM منحنی ذوب، OP منحنی تبخیر، OS منحنی تصعید، O نقطه سه گانه است که در آن کلیه فازها در حالت تعادل با یکدیگر می‌باشند.

OM. نمایان گر تعادل در سیستم جامد - مایع

OP. تعادل در سیستم مایع - بخار

OS. تعادل در سیستم بخار - جامد

نقطه P بیان گر دمای بحرانی آب می‌باشد. درجه حرارت بحرانی دمایی است که در بالاتر از آن تحت هیچ فشاری یک گاز به مایع تبدیل نمی‌شود. دمای بحرانی آب 374°C است. هر نقطه‌ای در درون هر یک از این فازها نمایان گر یک شکل فیزیکی آب می‌باشد. اما نقاط روی هر یک از این خطها نشانگر حضور دو فاز توأمأ کنار هم و تبدیل آنها به هم می‌باشد.

شیمی مواد غذایی |

نقطه O که به نام نقطه سه گانه آب¹ موسوم است، نقطه منحصر به فردی است که فقط تحت شرایط فشار 4.58 mm Hg و دمای $+0.01^{\circ}\text{C}$ (تقریباً صفر درجه سانتی گراد) به وجود می آید. در این نقطه خاص هر سه فاز آب، یعنی یخ، آب و بخار به صورت توأم در کنار یکدیگر قرار دارند. بنابراین هر گاه فشار هوای اطراف یخ یا ماده غذایی منجمد شده را به زیر 4.58 mm Hg برسانیم و آن گاه آن را حرارت دهیم، یخ مستقیماً به فرم بخار درآمده یا به عبارتی تصعید می شود. این روش اساس خشک کردن تصعیدی یا انجمادی² می باشد. در این روش ابتدا ماده غذایی را منجمد می نمایند و در نتیجه کریستال های یخ به وجود می آید سپس در فشاری حدود 4.58 mm Hg آن را تا حدی گرم می کنند و یخ را مستقیماً به بخار تبدیل می کنند (تصعید می کنند). در نتیجه عطر و طعم ماده غذایی کاملاً حفظ می شود.

فعالیت آبی³ (a_w):

فعالیت آبی معیاری از آب قابل استفاده در یک سیستم برای واکنش های بیولوژیکی و شیمیایی است.

$$a_w = \frac{p}{P_0} = \frac{\text{فشار بخار ماده غذایی در دمای ثابت}}{\text{فشار بخار آب خالص در همان دما}}$$

$$a_w = \frac{N_{H_2O}}{N_s + N_{H_2O}}$$

$$0 \leq a_w \leq 1$$

طبق قانون راولت فعالیت آبی یک محلول، نسبت معکوس با تعداد مول های حل شده در آن دارد. افزایش غلظت مواد حل شده، افزودن کلونیدهای آب دوست مثل زل ها و یا فرآیندهای کاهش دهنده آب محصولات مثل انجماد یا خشک کردن، سبب کاهش a_w آن محصول می شود.

فعالیت آبی هم چنین با رطوبت نسبی هوای اطراف نیز رابطه دارد. این فرمول آسان ترین روش اندازه گیری فعالیت آبی

(a_w) می باشد.

چنانکه یک ماده در معرض هوا قرار جدا، بسته به محتوای رطوبتی خود به هوا رطوبت می دهد و یا از آن رطوبت می گیرد. تا این که پس از مدتی با هوا به تعادل رطوبتی خواهد رسید. یعنی حالتی که محصول نه رطوبتی به هوا می دهد، نه از آن رطوبتی می گیرد. این حالت به محتوای رطوبتی هوا، رطوبت نسبی متعادل (ERH) می گویند. محتوی رطوبتی محصول را در این حالت محتوای رطوبتی متعادل (EMC) می نامند.

در یک میزان رطوبت ثابت با افزایش دما ERH افزایش می یابد.

$$\begin{cases} \text{EMC} = \text{Equilibrium Moisture Content} \\ \text{ERH} = \text{Equilibrium Relative Humidity} \end{cases}$$

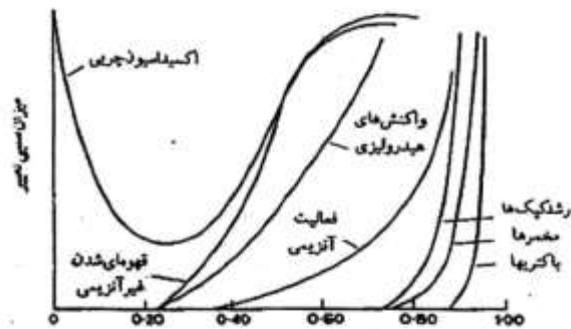
1. Tripple Point
2. Freeze Drying
3. Water Activity

آب

اصولاً برای هر یک از واکنش‌های بیولوژیکی، شیمیایی و آنزیمی یک حداقل a_w وجود دارد که در کمتر از آن این واکنش‌ها متوقف می‌شوند. حداقل a_w لازم برای فعالیت برخی از میکروارگانیسم‌ها به شرح زیر است:

نوع میکروارگانیسم	حداقل a_w لازم برای فعالیت
باکتری‌های معمولی	0.9
مخمرهای معمولی	0.88
کپک‌های معمولی	0.80
باکتری‌های نمک دوست	0.75
کپک‌های خشکی دوست	0.65
مخمر اسموفیل	0.60

بنابراین مشخص می‌شود که با کاهش a_w به مقادیر زیر 0.6 فساد میکروارگانیسمی به طور مطلق متوقف می‌شود.



شکل ۹-۲. فعالیت آب اثر فعالیت آب بر پایداری ماده غذایی

فعالیت اکثر آنزیم‌ها در a_w کمتر از 0.85 متوقف می‌شود. البته در این رابطه لیپاز یک استثنائی است که کاهش a_w را تا مقادیر $a_w = 0.1-0.3$ نیز تحمل می‌کند.

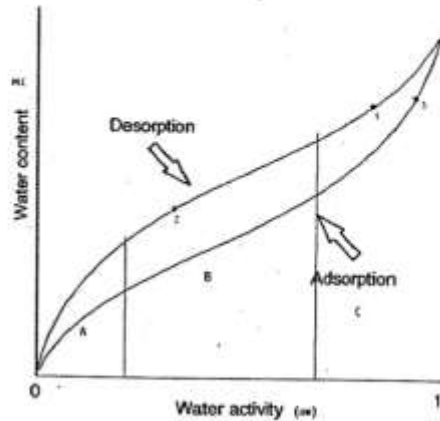
واکنش میلارد در a_w بین 0.6-0.7 یا محتوای رطوبتی 15-20% محصول در حداکثر خود است.

واکنش اتواکسیداسیون در $a_w < 0.2$ (لایه BET) ماکزیمم سرعت خود را داراست و از شدت این واکنش کاسته می‌شود. سپس با افزایش بیش‌تر a_w واکنش اتواکسیداسیون مجدداً با سرعت زیادی انجام می‌پذیرد.

بنابراین به سادگی قابل ملاحظه است که مواد غذایی با فعالیت آبی بین $a_w = 0.2-0.4$ بیش‌ترین پایداری را در مقابل تمام عوامل فساد دارا می‌باشند.

شیمی مواد غذایی |

منحنی ایزوترم یا هم دما:



شکل ۴-۹. منحنی جذب و دفع آب

هم دما یا ایزوترم، منحنی است که در رطوبت مشخص شده، رابطه تعادلی بین مقدار آب جذب شده توسط اجزای غذا و فشار بخار یا a_w را توصیف می‌کند.

بسته به این که در راه رسیدن به تعادل a_w بین محتوای رطوبت و محصول، آب توسط ماده غذایی جذب شود یا از دست داده شود، منحنی‌های هم‌دمای جذب یا دفع به دست می‌آید. هنگامی که یک ماده غذایی تا یک میزان a_w مشخص خشک شود، در مقایسه با زمانی که ماده غذایی کاملاً خشک شده و سپس در معرض جذب آب مجدد قرار گیرد تا به همان a_w برسد، منحنی جذب و دفع یکسانی ندارد یا به عبارتی این دو منحنی بر هم منطبق نیستند. همواره منحنی هم دمای دفع، اندکی بالاتر از هم دمای جذب قرار می‌گیرد، این موضوع نشان می‌دهد که فرایند جذب و دفع برگشت پذیر نبوده و یا به عبارتی در حین خشک کردن ماده غذایی یک‌سری تغییرات غیر قابل برگشت در ماده غذایی ایجاد خواهد شد. این فاصله یا اختلاف که بین دو منحنی قرار می‌گیرد، تشکیل یک حلقه را می‌دهد که از آن تحت عنوان حلقه هیسترسیس^۱ نام برده می‌شود.

هرچه قطر این حلقه بیش‌تر باشد، نشانه بدتر بودن شرایط خشک کردن می‌باشد و به عکس نزدیک بودن این دو منحنی به هم نشان دهنده شرایط مطلوب خشک کردن است.

مکان ایزوترم‌های جذب و دفع بستگی به دما دارد هرچقدر دما بالاتر باشد مکان روی نمودار پایین‌تر خواهد بود. در یک محتوای رطوبتی (EMC) مشخص، فعالیت آبی برای منحنی هم دمای دفع، کم‌تر از منحنی هم دمای جذب است، هم چنین در یک a_w مشخص، میزان محتوای رطوبتی هم دمای جذب، کم‌تر از هم دمای دفع است. از روی منحنی‌های هم دما می‌توان آب موجود در ماده غذایی را به سه دسته تقسیم بندی کرد.

۱- آب تک لایه - پیوسته - Longmuir - جذبی - متصل - Adsorption Layer

۲- آب چند لایه - جذب شیمیایی یافته

۳- آب آزاد، متحرک، موثین آب کندانس

۱ - Htsteresis Loop

آب

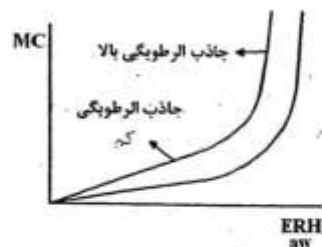
بخش مهمی از آب در ماده غذایی متصل به عوامل هیدروکسیل پلی ساکاریدها یا گروههای آمین و کربوکسیل در پروتئینها از طریق پیوند هیدروژنی می باشد. وقتی که تمام نقاط موجود دارای قابلیت ایجاد این پیوند توسط آب اشغال شدند، میزان رطوبت حاصله مقدار آب تک لایه نامیده می شود.

به طور کلی مقدار رطوبت تک لایه یا BET مقدار رطوبتی است که در آن ماده غذایی پایدارترین شکل خود را دارا می باشد. آب پیوسته آبی است که در درجه حرارتهایی تا 20°C منجمد نشده باقی می ماند و همچنین این آب نمی تواند به عنوان حلال به کار رود. میزان آب تک لایه یا آب غیر قابل انجماد بستگی به میزان پروتئین ماده غذایی دارد. به ازای هر یک گرم ماده پروتئین در حدود 0.4 گرم آب پیوسته در نظر گرفته می شود. میزان آب تک لایه برای بافت های حیوانی بین $10 - 8$ درصد، در سبزی ها کم تر از 6 درصد و در دانه کامل ذرت 34 درصد می باشد.

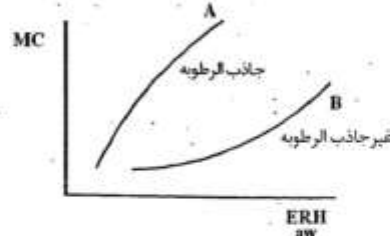
در هنگام خشک کردن ماده غذایی نباید به مقادیر رطوبتی محدوده BET وارد شد زیرا در این صورت بافت ماده غذایی دچار تغییرات برگشت ناپذیر خواهد شد. به عنوان مثال در این ناحیه فرآیند اتواکسیداسیون بسیار سریع می باشد. لایه های آب در قسمت چند لایه دارای اتصالات هیدروژنی با هم هستند.

لایه آب آزاد تمام خصوصیات آب معمولی را دارا می باشد، ولی به سبب وجود مواد حل شده در آن فشار بخار آن پایین تر از آب خالص است. این آب به سهولت منجمد می شود و نیز به سادگی در دسترس میکروارگانیسمها قرار می گیرد. آب آزاد آبی است که در ساختمان های موثین ماده غذایی کنشاس شده و یا در سلول های ماده غذایی به صورت مکانیکی گرفتار گردیده است. هر چه قطر لوله های موثین در یک ماده غذایی بالاتر باشد، a_w آن بالاتر و فشار لازم برای خارج کردن آب موجود در آن کم تر می باشد. جهت تعیین آب آزاد و پیوسته می توان از فشردن ماده غذایی بین کاغذ صافی و یا میزان رقیق شدن ماده رنگی و یا ساتریفوز و یا NMR طیف رزونانس مغناطیسی هسته استفاده کرد.

در منابع قدیمی تر میزان کل آب ماده غذایی (آب تام) به دو قسمت آب پیوسته (Bond water) و آب آزاد (Free water) تقسیم می شود. به این ترتیب خوش مزه و لذیذ بودن و آبخارتر بودن یک ماده غذایی بستگی به آب آزاد Free water دارد. غالباً ایزوترم جذب را برای مطالعه فرآورده های جاذب الرطوبه یا هیگروسکوپیک و ایزوترم دفع را برای بررسی فرآیند خشک کردن مطالعه می کنند.



شکل ۶-۹. منحنی جذب آب مواد غذایی با قند و نمک بالا



شکل ۶-۹ منحنی مواد جاذب الرطوبه و غیر جاذب الرطوبه

منحنی A که شیب تندی دارد نشان دهنده یک ماده جاذب الرطوبه می باشد. یعنی موادی که وقتی ERH محیط به مقدار کمی افزایش یابد، محتوای رطوبتی یا EMC آن ها به مقدار زیادی بالا می رود.

منحنی B یک محصول بی تفاوت نسبت به رطوبت یا غیر جاذب الرطوبه است. به این معنی که افزایش رطوبت نسبی محیط تاثیر چندانی در محتوای رطوبتی این محصول نمی گذارد.

شیمی مواد غذایی ۱

شکل ۶ نمایانگر محصولی است که خاصیت جذب موئینگی کمی دارد. یعنی حلوی شکر و نمک بالایی می‌باشد. در این مواد غذایی شیب منحنی در w پایین، کم است اما شیب منحنی در w بالا به طور سریع افزایش می‌یابد. یعنی میزان رطوبت ماده غذایی به یکباره افزایش می‌یابد.

از آنجایی که محصولات جاذب الرطوبه قبل از رسیدن به شرایط رطوبتی محیطی به منطقه بحرانی رطوبت خود می‌رسند چنین غذاهایی را باید در ظروف شیشه‌ای نفوذ ناپذیر به رطوبت یا پلاستیک غیر قابل نفوذ به رطوبت مثل P.V.C ضخیم بسته بندی کرد. یعنی بسته بندی مانع جذب رطوبت توسط ماده غذایی از هوا گردد.

برخی از محصولات جاذب الرطوبه نیستند و در شرایط معمولی نگهداری واکنش نامطلوبی در آن‌ها رخ نمی‌دهد. این نوع محصولات را می‌توان در ظروف پلی‌اتیلن بسته بندی کرد.

دسته دیگری از مواد غذایی وجود دارند که رطوبت نسبی تعادلی آن‌ها بالای شرایط رطوبت معمولی هوا است. بنابراین برای این دسته از مواد غذایی بسته بندی به عنوان یک عامل محافظت کننده در برابر از دست دادن رطوبت عمل می‌کند. پنیرهای فرآیند شده یا فرآورده‌های ناتوایی جزء این دسته هستند.

انجماد:

تبدیل یک مایع به حالت بلور همیشه در نقطه انجماد آن شروع نمی‌شود بلکه بلورها در دمای پایین‌تری به نام دمای بحرانی هستند. شدن^۱ شروع به پدید آمدن می‌کنند. این حالت را **فرا سرماش**^۲ می‌نامند.

آب فوق سرد آبی است که تا دمای زیر صفر سرد شده ولی حالت مایع دارد و بسیار ناپایدار است و با کوچک‌ترین حرکت یا افزودن گرمایی به آن دمای افزایش پیدا کرده و به صفر درجه سانتی‌گراد می‌رسد و به یخ تبدیل می‌شود.

جهت تشکیل بلورهای یخ وجود هسته‌های اولیه لازم است. هسته بلور تجمع مولکول‌هایی است که ممکن است رشد کنند و بلور بزرگتری را تشکیل دهند.

برای تشکیل هسته بلور دو مکاتیسم در نظر گرفته شده است.

(۱) هسته دار شدن همگون^۳

نتیجه نوسانات تصادفی دانسیته و وضعیت فضایی مولکول‌های آب می‌باشد. به عبارت دیگر هسته‌دار شدن همگون از تجمع تصادفی مولکول‌های آب در آرایش یخ تشکیل می‌گردد. معمولاً احتمال هسته‌دار شدن همگون بسیار کم است، مگر آن که فوق سرما به دماهای بسیار پایین برسد.

(۲) هسته‌دار شدن ناهمگون^۴

در این حالت ذرات کوچک جامد به عنوان هسته بلور عمل می‌کنند که بلور در اطراف آن‌ها رشد می‌کند. به عبارت دیگر هسته‌دار شدن ناهمگون عبارتست از جذب مولکول‌های حل شده بر سطح مواد جامد. احتمال هسته‌دار شدن ناهمگون در نزدیک نقطه انجماد (یعنی در دمایی بالاتر از CNT و پایین‌تر از دمای انجماد) ضعیف است.

رشد بلور بر خلاف هسته‌دار شدن در دمای نزدیک نقطه انجماد به آسانی صورت می‌گیرد و با کاهش دما رشد بلور کاهش می‌یابد.

1. CNT = Critical Nucleation Temperature

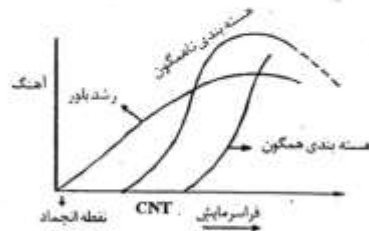
2. Supercooling

3. Homogenous - nucleation

4. Heterogenous nucleation

آب

به این ترتیب در دماهای خیلی پایین‌تر از نقطه انجماد (سوپر کول بالا) هسته‌های بلور زیادی تشکیل می‌شوند. اما سرعت رشد بلور کم است. بنابراین تعداد زیادی بلور یخ با ابعاد کوچک تشکیل می‌شوند. اما در دمای نزدیک نقطه انجماد هسته‌های کمی شکل می‌گیرند. ولی سرعت رشد بلور بالاست. پس تعداد کمی بلور تشکیل می‌شوند که ابعاد درشت و خشن دارند.



شکل ۷-۹. منحنی هسته‌بندی و رشد بلورهای یخ

فرایند هم‌زدن هسته دار شدن را تقویت می‌کند و به این ترتیب اندازه بلور کاهش می‌یابد. هر گاه سرعت انجماد آب بسیار زیاد باشد در این صورت به دمای معینی خواهیم رسید که در آن بلور تشکیل نمی‌شود بلکه ساختاری آمورف یا بی‌شکل (شیشه‌ای) تشکیل می‌شود. به این دما، دمای تغییر شکل شیشه‌ای^۱ می‌گویند که در مورد آب حدود 130°C - است. به این ترتیب هسته‌ها در حد فاصل دمای بین CNT و دمای تغییر شکل شیشه‌ای تشکیل می‌شوند. در دمای پایین‌تر از دمای تغییر شکل شیشه‌ای تشکیل بلور، رشد بلور و نیز پدیده کریستالیزاسیون مجدد رخ نمی‌دهند. کریستالیزاسیون مجدد^۲ به هر گونه تغییر در شکل، اندازه و آرایش بلورهایی یخ در طی نگهداری به صورت منجمد گفته می‌شود که یکی از عوامل موثر در کاهش کیفیت محصولات غذایی منجمد شده می‌باشد. بیش‌ترین دانسیته آب در 4°C می‌باشد. اما به واسطه انجماد به دلیل افزایش پیوندهای هیدروژنی و تشکیل یک ساختار شش گوشه حجم آن افزایش یافته و در نتیجه دانسیته آن کاهش می‌یابد. وقتی آب یخ می‌زند تقریباً 9٪ منبسط می‌شود. تغییرات حجم غذا در حین انجماد توسط میزان آب و غلظت مواد حل شونده معین می‌شود. محلول ساکارز با غلظت خیلی بالا منبسط نمی‌شود.

جدول تغییرات حجم آب و ساکارز محلول در جریان انجماد

افزایش حجم ضمن تغییر دما از 70°F تا 0°F (%)	ساکارز (%)
8.6	0
8.7	10
8.2	20
6.3	30
5.1	40
3.9	50
هیچ	60
-1.0 (کاهش)	70

1. Glassy Transition temperature
2. recrystallization

آنزیم‌ها

آنزیم‌ها ترکیباتی پروتئینی هستند که خواص کاتالیزوری جهت واکنش‌های حیاتی دارند. آنزیم‌ها از طریق کاهش انرژی اکتیواسیون (انرژی فعال‌سازی)^۱ سبب تسریع واکنش‌ها می‌گردند. برخی از آنزیم‌ها مثل رنین در ساخت فرآورده‌های غذایی اهمیت دارند. برخی از آنزیم‌ها نیز به عنوان اندیکاتور (نشان‌گر) واکنش‌ها به کار می‌روند. مثلاً غیرفعال شدن فسفاتاز قلیایی یا کاتالاز و پراکسیداز که به ترتیب نشان‌گر تکمیل عمل پاستوریزاسیون شیر و بلاچینگ سبزی‌ها می‌باشند.

نکته: مزایای اساسی آنزیم‌ها در سرعت بالا، اختصاصی عمل کردن و عمل در شرایط فرایند ملایم می‌باشد. آنزیم لاکتیک اسید دهیدروژناز^۲ تنها بر روی شکل L- اسید لاکتیک عمل می‌کند و آن را به اسید پیرویک^۳ تبدیل می‌کند. آنزیم سوکسینیک اسید دهیدروژناز^۴ بر روی اسید سوکسینیک عمل نموده و اسید فوماریک^۵ تولید می‌کند که دارای پیوند تراس است. اما این آنزیم قادر به تولید اسید مالئیک^۶ که همان فرمول را دارد اما در فرم سیس می‌باشد، نیست. از نظر ساختمانی برخی از آنزیم‌ها صرفاً پروتئینی هستند. اما برخی دیگر علاوه بر جزء پروتئینی دارای بخشی غیر پروتئینی مثل کربوهیدرات، فلز و یا فسفات نیز می‌باشند.

نکته: به ساختار آنزیم کامل **هولو آنزیم**، بخش پروتئینی **آپو آنزیم** و بخشی غیرپروتئینی **کوفاکتور**^۷ گفته می‌شود. هرگاه در ساختمان کوفاکتور یک ویتامین یا یک ترکیب آلی دیگر وجود داشته باشد، به آن **کوانزیم** اطلاق می‌شود. ویتامین‌های گروه B مثل نیاسین (NAD) یا ریبوفلاوین (FAD) خاصیت کوانزیمی دارند.

- اتصالات کوانزیم‌ها با آپوپروتئین سست و کم انرژی می‌باشد.

^۱ Activation energy

^۲ Lactic acid dehydrogenase

^۳ Pyruvic acid

^۴ Succinic acid dehydrogenase

^۵ Fumaric acid

^۶ Maleic acid

^۷ Cofactor

شیمی مواد غذایی ۱

- در ساختار برخی از آنزیم‌ها فلزات حضور دارند که به آن گروه پروستتیک گفته می‌شود. اتصالات این گروه با آب آنزیم بسیار قوی و از نوع کووالانسی می‌باشد و جدا شدن آن‌ها سبب غیرفعال شدن کامل آنزیم می‌گردد.
- مثل آهن در آنزیم لیپوکسی ژناز، کاتالاز، پراکسیداز یا مس در ساختار آنزیم فنلاز یا اسکوربیک اکسیداز، روی برای کربوکسی پپتیداز و کلسیم برای آلفا آمیلاز
- در مورد نحوه اثر آنزیم‌ها تئوری قفل و کلید کاربرد دارد. بر طبق این تئوری آنزیم مانند قفلی است که در جایگاه خاصی از آن به نام جایگاه فعال، سوبسترا^۱ به عنوان کلید قرار می‌گیرد.
- برخی از مواد وجود دارند که مانع اثر آنزیم‌ها شده و آنها را کند یا متوقف می‌کنند که به آن‌ها بازدارنده گفته می‌شود. بازدارنده‌ها در دو شکل رقابتی و غیر رقابتی عمل می‌کنند:

۱- بازدارنده‌های رقابتی

در این گروه بازدارنده ساختمانی شبیه سوبسترا دارد. بنابراین می‌تواند در محل فعال آنزیم قرار گرفته و آن را از دسترس سوبسترا خارج کند. با افزودن غلظت سوبسترای واقعی آنزیم از بازدارنده، جدا می‌شود.

۲- بازدارنده غیر رقابتی:

در این جا بازدارنده به مکانی غیر از محل فعال آنزیم متصل می‌گردد و با اعمال نیرو سبب می‌شود که شکل آنزیم در محل فعال تغییر کند. به طوری که سوبسترا دیگر نتواند به جایگاه فعال متصل شود.

سینتیک واکنشهای آنزیمی:

- واکنش‌های آنزیمی دارای سینتیک صفر یا مرتبه یک می‌باشند.
- وقتی غلظت سوبسترا نسبتاً بالا باشد غلظت کمپلکس آنزیم، سوبسترا در مقادیر ثابت حفظ می‌شود و سینتیک واکنش از مرتبه صفر می‌باشد، یعنی سرعت واکنش به غلظت سوبسترا بستگی ندارد.
 - در غلظت‌های پایین سوبسترا، سرعت واکنش به غلظت سوبسترا وابستگی داشته و از سینتیک مرتبه اول پیروی می‌کند. به طوری که بین غلظت آنزیم و سرعت واکنش رابطه خطی وجود دارد.
 - بین غلظت سوبسترا و سرعت واکنش رابطه هذلولی است. یعنی فقط تا حد معینی افزایش سوبسترا سبب افزایش واکنش می‌شود.
- PH اینیم اکثر آنزیم‌ها بین ۸ - ۴.۵ است. در PH بسیار بالا یا پایین به علت دناتوره شدن بخش پروتئینی، آنزیم غیرفعال می‌شود. برخی از آنزیم‌ها دارای PH اینیم بسیار بالا (آرژیناز $PH = 10$) یا بسیار پایین (پپسین $PH = 1.8$) می‌باشند.
- دمای اینیم اکثر آنزیم‌ها $30-40^{\circ}C$ است. در این محدوده آنزیم‌ها دارای $Q_{10} = 2$ می‌باشند. بالاتر از دمای $45^{\circ}C$ دناتوره شدن و غیرفعال گشتن آنزیم‌ها آغاز می‌شود.
- برخی از آنزیم‌ها را می‌توان با روش‌های کروماتوگرافی به صورت اجزاء مجزا تبدیل کرد که این اجزای با وجود ساختار کمی متفاوت همگی عملکرد و سوبسترای یکسانی دارند. به این اجزاء ایزو آنزیم یا ایزوزیم^۲ گفته می‌شود.

^۱ Substrate

^۲ Isozyme

آنزیم‌ها

طبقه‌بندی آنزیم‌ها

آنزیم‌ها را بر اساس نحوه عمل به شش گروه تقسیم می‌کنند:

۱- هیدرولازها^۱:

این گروه با استفاده از آب، پیوندها را هیدرولیز می‌کنند.

۲- اکسیدورددوکتازها^۲:

این گروه در واکنش‌های اکسیداسیون و احیا شرکت می‌کنند.

۳- ترانسفرازها^۳:

این گروه سبب انتقال گروه‌های شیمیایی مختلف مثل متیل، استیل، آلئیل، کتون و آمین از یک سوبسترا به سوبسترای دیگر می‌شوند.

۴- لیازها:

این گروه پیوندها را از طریق غیر از هیدرولیز می‌شکنند، مثل دکربوکسیلاز و آلدولاز^۴.

۵- ایزومرازها:

این گروه سبب ایزومریزاسیون سوبسترا می‌شوند، مثل راسماز^۵ و اپی مراز.

۶- لیگازها^۶:

این گروه سبب شکسته شدن یک پیوند پیروفسفات در ATP اتصالات کووالانسی می‌شوند.

الف) هیدرولازها:

این گروه بر اساس نوع پیوندی که هیدرولیز می‌کنند، به انواع استرازها، گلیکوزیدازها، پپتیازها و فیتازها تقسیم می‌شوند.

۸) استرازها:

استرازها سبب هیدرولیز پیوندهای استری شده و در نتیجه اسید و الکل تولید می‌کنند. شامل فسفولیپازها، کلاسترول استرازها، کربوکسیل استرازها و لیپازها می‌باشند.

لیپازها:

لیپازها در سطح میان آب و چربی عمل می‌کنند. بنابراین افزایش سطح مشترک آب و چربی توسط هموزنیازسیون سبب افزایش فعالیت آن‌ها می‌شود. فعالیت لیپاز در پتیرها و به ویژه پتیرهای آبی بسیار مطلوب است و ایجاد طعم می‌کند. اما در میوه‌ها و دانه‌های روغنی به ویژه میوه پالم کاملاً نامطلوب است. زیرا سبب افزایش عدد اسیدی می‌گردند.
نکته: در بین غلات، یولاف دارای بالاترین فعالیت لیپولیتیکی است.

¹ Hydrolases

² Oxidoreductases

³ Trans Ferases

⁴ Aldolase

⁵ Racemase

⁶ Ligases

شیمی مواد غذایی |

- برخی از لیپازها مثل لیپاز پانکراتیک دارای گزینش‌گری مکانی هستند و ترجیحاً اسیدهای چرب قرار گرفته در موقعیت‌های 1 و 3 گلسیرید را هیدرولیز می‌کند. و به این ترتیب محصول 2- مونو گلسیرید است. توسط این ویژگی لیپاز پانکراس می‌توان اسید چرب قرار گرفته در موقعیت 2 گلسیرید را شناسایی کرد.
- علاوه بر گزینش‌گری مکانی برخی از لیپازها گزینش‌گری به روی نوع اسید چربی که هیدرولیز می‌کنند نیز دارند مثلاً لیپاز حاصل از اسپریلوس عمدتاً اسیدهای چرب کوتاه زنجیر را هیدرولیز می‌کند.
- اما لیپاز پانکراسی و لیپاز شیر نسبت به اسیدهای چرب گزینشی عمل نمی‌کنند و انواع اسیدهای چرب استری شده در گلسیریدها را هیدرولیز می‌کنند.

فسفولیپازها:

- فسفولیپازها از انواع لیپازهایی هستند که سبب هیدرولیز پیوندهای استری در فسفولیپیدها می‌شوند این گروه بر حسب اینکه کدام اتصال را هیدرولیز کنند به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند.
- A₁: اسید چرب را در موقعیت آلفا جدا می‌کند
 - A₂: اسید چرب را در موقعیت بتا جدا می‌کند
 - B: اسید چرب‌ها را در موقعیت آلفا و بتا جدا می‌کند
 - C: اتصال بین گروه فسفات و گلیسرول را جدا می‌کند
 - D: اتصال بین گروه مشتقات و الکل را قطع می‌کند

(B) گلیکوزیدازها

1-B- آمیلازها:

- آنزیم‌هایی هستند که بر نشاسته اثر می‌کنند. شامل آلفا آمیلاز، بتا آمیلاز، گلوکوامیلاز، پولولاناز و سیکلودکسترین گلیکوزیل ترانسفراز.
- آلفا آمیلاز:** یک اندو آنزیم¹ است که معمولاً به کلسیم نیاز دارد. این آنزیم تنها اتصالات (4 → 1) α را به طور تصادفی می‌شکند، ولی می‌تواند محل شاخه جانبی را دور بزند.
- بتا آمیلاز:** یک اکزو آنزیم² است که نیازی به کلسیم ندارد. این آنزیم از سر غیر احیا زنجیره شروع به فعالیت نموده و تنها اتصالات (4 → 1) α را به صورت یکحرمیان می‌شکند یعنی مالتوز تولید می‌کند و فعالیت آن در محل شاخه جانبی (6 → 1) متوقف می‌شود.
- گلوکوامیلاز:** نیز یک اکزو آنزیم است که هم اتصالات (4 → 1) و هم (6 → 1) را می‌شکند. یعنی می‌تواند نشاسته را تبدیل به گلوکز نماید.
- یکی از مشکلات تبدیل آنزیمی نشاسته ذرت به گلوکز حضور آنزیم ترانس گلوکوزیداز³ در مخلوط α آمیلاز و گلوکوامیلاز است. ترانس گلوکوزیداز سبب اتصال گلوکزها به هم و تشکیل الیکوساکاریدها می‌شود. بنابراین بازده تولید گلوکز را کاهش می‌دهد.

نکته: پولولاناز و ایزو آمیلازها تنها اتصالات جانبی (6 → 1) α را می‌شکنند. بنابراین به آنها آنزیم‌های شاخه‌شکن می‌گویند. با این تفاوت که ایزو آمیلازها زنجیره‌های انشعایی با بیش از 2 واحد گلوکز را هیدرولیز می‌کنند. در حالی که پولولاناز بر روی زنجیره‌های انشعایی کم‌تر از سه واحد گلوکز هم عمل می‌کند.

¹ Endoenzyme

² Exoenzyme

³ Glucoamylase

⁴ Trans glucosidase

آنزیم‌ها

2-B- لاکتاز (D-β- گالاکتوزیداز)¹

این آنزیم لاکتوز را تبدیل به β گالاکتوز و α گلوکز می‌کند. در حیوانات عالی، مخمرها و گیاهان وجود دارد. فقدان آن سبب عدم تحمل نسبی لاکتوز در برخی افراد می‌شود. با استفاده از آن می‌توان از پدیده شنی شدن در بستنی و شیر تغلیظ شده جلوگیری کرد. حضور گالاکتوز سبب جلوگیری از هیدرولیز لاکتوز توسط لاکتاز می‌شود، اما گلوکز این اثر را ندارد.

3-B- آنزیم‌های پکتیکی²

آنزیم‌های پکتیکی سبب هیدرولیز مواد پکتیکی می‌شوند. در گیاهان و میکروارگانیسم‌ها حضور دارند. اما در منابع جانوری تنها در حلزون وجود دارد. این آنزیم‌ها نقش مهمی در صنایع تولید آب میوه دارند. این گروه شامل پکتین استرژها، پلی گالاکتورونازها و پکتات لیاز می‌باشد.

1-3-B- پکتین استراز

این آنزیم گروه‌های متوکسیل را از پکتین جدا نموده و تولید متانول و اسید پکتیک می‌نماید. پکتاز، پکتین متوکسیلاز، پکتین متیل استراز و پکتین دمتیلاز اسامی دیگر این آنزیم هستند.

پکتین استراز جهت فعالیت به یک گروه کربوکسیل آزاد بعد از یک گروه استری شده روی زنجیره گالاکتورونیک نیاز دارد. هر چه درجه استری شدن زنجیره کم‌تر باشد، میزان فعالیت آن بیش‌تر می‌شود. این آنزیم به اتصالات بین مولکول‌های پلی گالاکتورونیک اسید حمله نمی‌کند بلکه فقط گروه‌های متوکسیل را هیدرولیز نموده و در اثر این عمل متانول آزاد می‌کند. نکته: در هنگام تولید آب میوه‌های پالسی (مثل آب پرتقال) بلافاصله پس از استخراج آب میوه آن را فرایند حرارتی (HTST) می‌دهند، در این حالت این آنزیم غیرفعال شده و پکتین سالم باقی می‌ماند. در نتیجه آب میوه پالسی خواهد ماند.

2-3-B- پلی گالاکتوروناز³ (پکتیناز)

این آنزیم اتصالات (4 → 1) α واحدهای گالاکتورونیک اسید را هیدرولیز می‌کند و دو نوع اندو و اگزو دارد. اندو آنزیم به صورت تصادفی زنجیره را هیدرولیز می‌کند در حالی که اگزو آنزیم‌ها زنجیره را از سر غیر احیا هیدرولیز می‌کنند. همچنین برخی از انواع این آنزیم تنها بر روی سوبستراهای متیله شده (پکتین) عمل می‌کنند و بر این مبنا پلی متیل گالاکتوروناز نامیده می‌شوند، اما برخی دیگر سوبستراهای با گروه اسید کربوکسیلیک آزاد (اسید پکتیک) را هیدرولیز می‌کنند بنابراین پلی گالاکتوروناز نامیده می‌شوند.

3-3-B- پکتات لیاز:

این آنزیم بدون نیاز به آب و از طریق بتا الیمیناسیون (حذف β) پیوندهای گلیکوزیدی (4 → 1) α زنجیره گالاکتورونیک اسید را تجزیه می‌کند. از نوع اندو می‌باشد و از آسیرزیلوس نیگر به‌دست می‌آید. این آنزیم قادر به هیدرولیز پکتیک اسید نبوده و با افزایش گروه متیل و طول زنجیره فعالیت آن افزایش می‌یابد. همچنین در زنجیره پکتیکی می‌تواند ایجاد باند دو گانه کند.

C- پروتازها:

این گروه اتصالات پپتیدی را هیدرولیز می‌کنند. پروتازها به دو دسته اندو و اگزو تقسیم می‌شوند. اگزو پپتیدازها⁴ شامل کربوکسی پپتیدازها و آمینو پپتیدازها می‌باشد.

¹ -galactosidase β

² pectic enzyme

³ polygalacturonase

Exdopeptidases⁴

شیمی مواد غذایی |

- کربوکسی پپتیدازها پیوند پپتیدی اسیدهای آمینه را از انتهای کربوکسیلی (انتهای C) جدا می‌کنند.
 - آمینو پپتیدازها اسیدهای آمینه را از انتهای آمین (انتهای N) جدا می‌کنند به این ترتیب گزینش گری آگزوپپتیدازها بر مبنای اسید آمینه انتهای آن‌هاست.
- اندوپپتیدازها¹ پیوندهای پپتیدی را تصادفی می‌شکنند و عملکردی اختصاصی دارند. در این رابطه زنجیره جانبی اسیدهای آمینه، اندازه پروتئین و شکل ایزومری اسیدهای آمینه اهمیت دارد.
- آنزیم‌های پروتئولیتیک شامل چهار گروه می‌باشد:
- 1- پروتئازهای اسیدی 2- پروتئازهای سرینی 3- پروتئازهای سولفیدریلی 4- پروتئازهای دارای فلز

C-1- پروتئازهای اسیدی:

PH اپتیمم این دسته اسیدی می‌باشد. و شامل موارد زیر است:

الف) رنین² (کیموزین)

رنین شکل خالص آنزیم موجود در رنت³ (ماهی پنیر) می‌باشد. این آنزیم در حالت غیرفعال یا پیش‌ساز خود می‌باشد. نکته: برخی از آنزیم‌ها مثل رنین، پپسین⁴، تریپسین و کیموتریپسین⁵ ابتدا در فرم غیرفعال یا پیش‌ساز خود می‌باشند که در این حالت به آنها زیموزن گفته می‌شود و پس از تغییراتی به فرم فعال خود در می‌آیند.

- تبدیل پرورتین به رنین با افزودن اسید تسریع می‌شود.
- PH مناسب جهت فعالیت رنین 3.5 است.

انعقاد آنزیمی شیر توسط رنین فرآیندی دو مرحله‌ای است:

در مرحله اول که آنزیمی است آنزیم، اتصال میان فنیل آلانین و متیونین اسیدهای آمینه شماره 105,106 در ساختار کازین را هیدرولیز می‌کند و به این ترتیب اثر حفاظت‌کنندگی کازین از بین می‌رود. در مرحله دوم یعنی مرحله غیر آنزیمی میسل‌های کازینی توسط یون کلسیم، لخته می‌شوند.

ب) پپسین

این آنزیم در مخاط پوشش سطح معده و به صورت زیموزن یعنی پپسینوزن⁶ تولید می‌شود که در PH اسیدی معده به فرم فعال خود یعنی پپسین تبدیل می‌شود.

نکته: پپسین دارای ساختمان سوم می‌باشد. در حین تبدیل پپسینوزن به پپسین PH ایزوالکتریک از 3.7 به 1 تقلیل می‌یابد. هنگامی که گوساله شروع به تغذیه با علف می‌کند به جای رنین در بدنش پپسین تولید می‌گردد.

C-2- پروتئازهای سرینی:

این گروه شامل کیموتریپسین، تریپسین، الاستاز، ترومبین و سوبنلیسین می‌باشد. این دسته در جایگاه فعال خود باقی مانده سریل (اسید آمینه سرین) دارند. این گروه از آنزیم‌ها اندوپپتیداز می‌باشند. کیموتریپسین، تریپسین و الاستاز به صورت زیموزن در لوزالمعده (پانکراس) ترشح می‌شوند و توسط پروتئولیز محدود، به شکل فعال در می‌آیند.

¹ Endopeptidases

² Rennin

³ Rennet

⁴ Prorennin

⁵ Pepsin

⁶ Chymotrypsin

⁷ Pepsinogen

آنزیم‌ها

C-3 پروتئازهای سولفیدریلی:

جهت فعالیت این گروه از آنزیم‌ها که اکثراً منشأ گیاهی دارند وجود گروه سولفیدریل ضروری است. در این گروه کاتپسین جزء پروتئازهای حیوانی است.

از این دسته می‌توان به پاپاین¹ (آنزیم موجود در برگ و میوه درخت پاپایا)، برومیلین² (آنزیم موجود در میوه یا ساقه آناناس) و فیسین³ (آنزیم درخت انجیر) اشاره کرد.

- فیسین و برومیلین در ساختار خود کربوهیدرات دارند اما پاپاین فاقد کربوهیدرات است.
- PH بهینه این آنزیم‌ها نسبتاً وسیع بوده و بین 6-7.5 است. در مقابل گرما مقاوم هستند.

کاربرد تجاری پروتئازهای سولفیدریلی

۱- پایدار کردن و محافظت سرمایی از آب جو می‌باشد که از طریق پروتئولیز کنترل شده پروتئین‌های باقی مانده پس از مالت سازی انجام می‌شود.

۲- کاربرد دیگر این گروه ترد کردن گوشت است.

C-4 پروتئازهای فلزدار

این دسته جزء گروه اگزوپپتیدازها بوده و شامل کربوکسی پپتیدازها و آمینو پپتیدازها هستند و جهت فعالیت به یک فلز به عنوان کوفاکتور نیاز دارند و عوامل چنگالی کننده سبب توقف فعالیت آنها می‌شوند.

(D) فیتازها:

این آنزیم‌ها سبب هیدرولیز اسید فیتیک و تبدیل آن به اینوزیتول و فسفریک اسید می‌شوند.

(ب) اکسیدورودوکتازها:

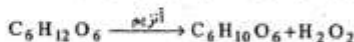
۱- فنولازها:

این آنزیم‌ها در واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی شرکت می‌کنند. در ساختار این آنزیم‌ها مس به عنوان گروه پروستتیک حضور دارد. کروسولاز^۴ مشتقات مونوفنل را تبدیل به ترکیبات ارتودی فنل می‌نماید.

کاتشولاز^۵ دو مولکول دی‌فنل را به دو مولکول ارتوکینون تبدیل می‌کند که موجب احیا مولکول اکسیژن به دو مولکول آب می‌شود.

۲. گلوکز اکسیداز

این آنزیم سبب اکسیداسیون D- گلوکز و تبدیل آن به دلتا گلوکونولاکتون و آب اکسیژنه در حضور اکسیژن مولکولی می‌شود.



گلوکونولاکتون حاصله در حضور آب به اسید D- گلوکونیک تبدیل می‌شود.

¹ papain

² Bromelain

³ Ficin

⁴ phytase

⁵ cresolase

⁶ catecholase

شیمی مواد غذایی |

- این آنزیم جهت حذف اکسیژن باقی مانده در Head space قوطی‌های کنسروی استفاده می‌شود.
- همچنین این آنزیم و کاتالاز جهت اکسید کردن گلوکز قبل از خشک کردن سفیده تخم‌مرغ به منظور جلوگیری از واکنش میلاارد به کار می‌رود.

۳- کاتالاز

این آنزیم سبب تبدیل دو مولکول آب اکسیژنه به آب و اکسیژن مولکولی می‌شود.



- کاتالاز در PH خنثی فعالیت خود را به سرعت در دمای 35°C از دست می‌دهد.
- کاتالاز در گیاهان باعث مصرف آب اکسیژنه تولید شده و نیز استفاده از آب اکسیژنه در اکسیداسیون فنل‌ها، الکل‌ها و دیگر دهنده‌های هیدروژن می‌شود.
- مقاومت حرارتی کاتالاز از پراکسیداز کمتر است.

۴- پراکسیداز:



- این آنزیم هم، سبب تبدیل آب اکسیژنه به آب می‌شود. اما در این واکنش H_2O_2 به عنوان پذیرنده هیدروژن و ترکیب AH_2 به عنوان دهنده اتم هیدروژن عمل می‌کند و بر خلاف عمل کاتالاز در این مرحله اکسیژن مولکولی ایجاد نمی‌شود.
- پراکسیدازها به دو گروه پراکسیدازهای فلاوپروتئینی و پراکسیدازهای آهن‌دار تقسیم می‌شوند.
- پراکسیدازهای آهن‌دار دو دسته هستند:
- ۱- پراکسیدازهای فری پروتوپورفیرین که دارای آهن به عنوان گروه پروستتیک هستند و پراکسیدازهای گیاهی در این گروه می‌باشند.
 - ۲- ردوپراکسیدازها که پراکسیدازهای بافت حیوانی و لاکتوپراکسیداز شیر در این گروه قرار دارد.
- پراکسیدازهای فلاوپروتئینی در میکروارگانیسم‌ها و بافت‌های حیوانی یافت می‌شوند و دارای گروه پروستتیک FAD می‌باشند.
- نکته: مقاومت حرارتی پراکسیداز از کاتالاز بیشتر است و غیر فعال شدن آن شاخص تکمیل بلاچینگ است. ضمن این که این آنزیم باعث بدطعمی محصولات منجمد شده هم می‌شود.

۵- لیپوکسی ژناز:

- این آنزیم سبب اکسیداسیون چربی‌های غیر اشباع دارای گروه سیس و سیس 1,4 پنتا دی ان^۱ می‌شود.
- علاوه بر این که هر دو پیوند غیر مزدوج باید ساختار سیس داشته باشند گروه متیلن بین دو پیوند غیر اشباع باید در موقعیت Wg باشد و هیدروژن جفا شده از گروه متیلن مرکزی باید در موقعیت A باشد.
- بر خواص ناتوایی و رئولوژیکی خمیر دخالت دارد. این آنزیم به طور غیر مستقیم سبب اکسیداسیون گروه‌های سولفیدریلی پروتئینی گلوتن می‌شود و باعث ایجاد پیوندهای دی‌سولفیدی می‌گردد.
- منابع اصلی لیپوکسی ژناز، حیوانات، لوبیای سویا است. این آنزیم دارای آهن می‌باشد. در هنگام تهیه شیر سویا وقتی لوبیای سویای خام، کوبیده شده و با آب مخلوط می‌شود طعم نامطلوبی دارد در این حال مخلوط کردن در آب‌جوشان آنزیم را غیر فعال نموده و طعم بد تشکیل نمی‌شود علاوه بر طعم بد این آنزیم می‌تواند سبب ناپودی کاروتن و ویتامین A، بیسکین و سایر رنگدانه‌ها نیز شود.

^۱ Cis-Cis-1,4-pentadiene

آنزیم‌ها

۶- گزانتین اکسیداز^۱:

این آنزیم گزانتین و هیپوگزانتین^۲ را به اسید اوریک تبدیل می‌کند. یک آنزیم گزینش‌گر نمی‌باشد. گزانتین اکسیداز موجود در شیر به گلبول‌های چربی متصل است. بنابراین وقتی که شیر چربی‌گیری می‌شود همراه چربی وارد خامه می‌شود. این آنزیم در برابر حرارت نسبتاً پایدار است ولی پایداری آن از پراکسیداز کم‌تر است.

۷- اسید اسکوربیک اکسیداز^۳:

این آنزیم سبب اکسیداسیون اسید اسکوربیک و تولید دهیدرواسکوربیک اسید می‌شود.

این آنزیم دارای مس می‌باشد.
$$H_2O + \text{اسید دهیدرواسکوربیک} \xrightarrow{\text{آنزیم}} \frac{1}{2}O_2 + \text{اسید اسکوربیک}$$

آنزیم‌های تثبیت شده^۴:

یکی از پیشرفت‌های مهم در صنایع غذایی ثابت نمودن آنزیم‌ها روی مواد جامد نامحلول خنثی یا حفظ فعالیت آنزیمی آنها می‌باشد. در این حالت آنزیم‌ها به آسانی از سیستم واکنش جدا می‌شوند به این ترتیب می‌توان واکنش‌های آنزیمی را به صورت مداوم انجام داد. برخی از روش‌های تثبیت آنزیمی شامل جذب سطحی روی پلیمرهای آلی، به تله انداختن آنزیم در پلیمرهای آلی، میکروانکپسوله کردن، تبادل یونی، اتصالات عرضی می‌باشد.

تمامی آنزیم‌های تثبیت شده فعال نیستند زیرا برخی غیر فعال شده و برخی فعالیت شیمیایی تاخیری دارند معمولاً حدود 30-50 درصد از فعالیت این آنزیم‌ها حفظ شده است.

آنزیم‌های تثبیت شده را می‌توان به دو طریق استفاده کرد:

الف) به صورت غیر مداوم: یعنی در راکتور آنزیم تثبیت شده با سوبسترا مخلوط شده و هم زده می‌شود. در انتها آنزیم از محصول جدا می‌شود.

ب) به صورت مداوم: در این حالت آنزیم از یک ستون به عنوان فاز مداوم یا ثابت قرار گرفته و سوبسترا از روی این ستون عبور می‌کند.

نکته: از موارد کاربرد آنزیم‌های تثبیت شده می‌توان به تولید HFCS توسط گلوکز ایزومراز تثبیت شده و نیز شیر کم لاکتوز توسط لاکتاز تثبیت شده اشاره کرد.

^۱ Xanthine oxidase

^۲ Hypoxanthine

^۳ Ascorbic acid oxidase

^۴ Immobilized enzymes