# شیمی مایوگلوبین به عنوان عامل اصلی رنگی موجود در گوشت

**دکتر فرزانه وهاب‌زاده**
استادیار دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

**چکیده:**

*شیمی مولکول های عامل ایجاد تولید رنگ در گوشت شیمی پیگمنت‌های دارای عامل هیم یعنی به‌طورکلی مایوگلوبین و هیموگلوبین می‌باشد. تعداد واکنش‌هایی که این مولکول‌ها در آنها شرکت می‌نمایند، محدود است ولی شرایط متعددی می‌توانند باعث انجام یک یا بیشتر این واکنش‌ها گردند. ایجاد رنگ بنفش قرمز، قرمز، و قهوه‌ای در گوشت تازه براثر به‌وجود آمدن دی اکسی-، اکسی-، و مت- مایوگلوبین می‌باشد، درحالی که رنگ صورتی گوشت‌های تهیه شده‌ای مانند کالباس براثر پیگمنت ناتیریک اکساید مایوگلوبین می‌باشد. اهمیت مایوگلوبین و تولید و تبدیل مشتقات این پیگمنت مورد بحث قرار می‌گیرد.*

**مقدمه:**

مایوگلوبین(۲) Mb پیگمنت اصلی گوشت، دارای اهمیت زیادی هم برای کارشناس علوم گوشتی و هم برای تولیدکننده گوشت (هرنوع) است. نوع و فرم این پروتئین در محصولات گوشتی یکی از مهمترین عوامل تعیین‌کننده رنگ محصول است که رنگ خود در رد یا قبول محصول توسط مصرف‌کننده نقش مهمی را داراست. در نتیجه شناسایی و درک ساختمان مولکولی این پیگمنت و واکنش‌های شیمیایی که می‌تواند در آنها شرکت نماید کمکی مطلوب به کنترل رنگ و تهیه محصول مرغوب گوشتی است.

**تعریفی مختصر درباره مایوگلوبین و هیموگلوبین(۳) Hb و حضورشان در گوشت:**

در پیدایش و تکامل موجودات، انتقال از زندگی غیرهوازی به‌زندگی هوازی یک قدم مهم محسوب می‌شود، زیرا موجود زنده به منبع عظیمی از انرژی دست یافته است.

در مهره‌داران جریان مداوم و کافی اکسیژن به‌توسط دو مکانیزم اساسی تامین می‌شود:

۱- پیدایش سیستم توزیع و گردشی به‌منظور رساندن اکسیژن به سلول‌های مختلف بدن.

۲- پیدایش مولکول‌های عامل نقل و انتقال اکسیژن، Mb و Hb، برای برطرف نمودن محدودیت حاصله از حلالیت کم اکسیژن در آب.

به‌طور مثال شخصی با اکسیداسیون غذایی به‌ارزش ۳۰۰۰ K cal در روز مقدار ۶۰۰ L (۲۷ mol) اکسیژن $O_2$ مصرف نموده و در حدود ۴۸۰ L (۲۲ mol) کاربن دی‌اکساید $CO_2$ تولید می‌نماید. ظرفیت و توانایی Mb و Hb در حمل و انتقال اکسیژن و همچنین رنگ ایندوپروتئین بستگی به وجود گروه غیر پالی پپتایدی(۴) به‌نام هیم (۵) دارد که این گروه خود از یک بخش آلی و یک اتم آهن تشکیل شده است. بخش آلی به‌نام پروتو پرفرین(۶) به پانزده صورت مختلف ایزومر دارد، ولی فقط یک نوع آن (پروتوپرفرین IX) در سیستم‌های بیولوژیکی دارای فعالیت است. بخش بدون رنگ پروتئین به‌نام گلوبین(۷) می‌باشد. گروه هیم و موقعیت اتم آهن در آن در رابطه با تشکیل باندهای شیمیایی در تصویر ۱ نشان داده شده است. در این تصویر نمونه‌ای از Mb براساس نقشه الکترونی نیز ملاحظه می‌شود. هیموگلوبین یک تترامرگلابیولارهیم پروتئین(۱۱) بوده و به‌طور اعظم در گلبول‌های قرمز خون قرار دارد و Mb که بخش کلی آن در قسمت‌های ماهیچه‌ای فایبرهای قرمز(۱۲) مهره‌داران قرار گرفته یک منومرگلابیولارهیم پروتئین(۱۳) است و نقش ذخیره نمودن $O_2$ را در ماهیچه‌های استخوانی داراست و با این که فقط ۳۰ واحد(۱۴) از ۱۵۷ واحد آمینواسیدهای موجود در Mb با Hb مشابهت ساختمانی و پایه‌ای(۱۵) دارند (با پالی پپتاید زنجیره‌ای با نام‌های $\alpha$ و یا $\beta$، Hb دارای دو زنجیر پالی پپتاید از نوع $\alpha$ و دو زنجیر از نوع $\beta$ می‌باشد) ولی Mb با داشتن نوع یکسان حلقه‌های مارپیچی و غیر مارپیچی(۱۶) در ساختمان دومی(۱۷) پروتئین و همچنین ساختمان سومی(۱۸) پروتئین به‌حد بسیار زیادی با Hb شباهت دارد. تفاوت اصلی ساختمانی Mb و Hb در پخش گروه‌های R (گروه مشخص‌کننده هر آمینواسید) در قسمت سطحی این دو پروتئین می‌باشد و بسیاری از این گروه‌ها در ارتباط زنجیرهای $\alpha$ و $\beta$ و به‌وجود آمدن ساختمان چهارمی(۱۹) Hb سهم دارند، لذا Mb که یک منومر می‌باشد، به‌علت فقدان این

گروه‌ها نمی‌تواند جایگزین یک زنجیر $\alpha$ و یا $\beta$ در ساختمان مولکولی Hb گردد. البته Mb و Hb هردو دارای ضریب جذب نوری(۲۰) مشابهی (نسبت به هر مول گروه هیم) هستند درنتیجه درصورت مساوی بودن مقدار این دو پیگمنت در قسمت سطوحی یک قطعه گوشت هردو به‌مقدار یکسان باعث رنگ آن قطعه می‌شوند. ذکر این نکته ضروری است که قسمت اعظم Hb در ضمن کشتار حیوان و در طی مراحل مختلف بعد از آن تا زمان تولید یک محصول ازبین می‌رود، درحالی که Mb که در قسمت‌های داخلی ساختمانی گوشت قرار دارد در آن باقی می‌ماند. یعنی آهن Mb که ۱۰% کل آهن حاضر در حیوان زنده را تشکیل می‌دهد، مقدار ۹۵% کل آهن در یک قطعه گوشتی را شامل می‌شود. لذا Mb پیگمنت اصلی تعیین‌کننده رنگ گوشت می‌باشد و مقدار آن به عواملی چند بستگی دارد: سن و نوع حیوان، نوع ماهیچه مورد نظر، طرز بهره‌برداری از گوشت در مراحل بعد از کشتار، عوامل ژنتیکی و بعضی عوامل محیطی همگی در تعیین مقدار Mb نقشی را دارا هستند.

**شیمی مرکز آهن و مشتقات مایوگلوبین در گوشت:**

آهن یکی از عناصر رده چهارم جدول تناوبی و از گروه فلزات واسطه‌ای می‌باشد و دارای مدار انرژی پرنشده پایین‌تر از مدار تعیین‌کننده ظرفیت الکترونی بوده و انتقال الکترون‌ها از اربیتال‌های پرشده به اربیتال‌های خالی 3d می‌باشد که عاملی مهم در جذب نور مرئی است و درنتیجه در تعیین رنگ یک مشتق حاصله از واکنش Mb،اتم آهن با داشتن هشت الکترون ظرفیتی و به‌علت خاصیت کم الکترونگاتیویته می‌تواند با از دست دادن دو یا سه الکترون به‌صورت آهن دوظرفیتی و یا آهن سه‌ظرفیتی درآید. در تشکیل یک مولکول تاثیر گروههای اطراف ایندوفرم آهن بر این الکترون‌های باقی مانده نشان‌دهندهٔ طرز شرکت آهن دو یا سه ظرفیتی در واکنش‌های مختلف می‌باشد. به‌منظور تشکیل باند بین آهن دو یا سه‌ظرفیتی با شش گروه موجود در اطراف آن برطبق نظریهٔ زمینه کریستالی(۲۱) پنج اربیتال 3d به دو گروه برحسب سطح انرژی خود تقسیم می‌شوند و نوع گروه شرکت‌کننده در تشکیل باند با اتم آهن در Mb تعیین‌کنندهٔ سطح انرژی هستند که الکترون‌ها در اربیتال‌های 3d آهن قرار می‌گیرند. تصویر ۲ ساختمان الکترونی اربیتال d را در مشتقات مختلفه نشان می‌دهد. همان‌طوری که در تصویر ۲ ملاحظه می‌شود اسپین نهایی(۲۲) هرمشتقی به توسط تعداد الکترون‌های منفرد آن مشخص می‌شود و مولکول‌هایی با خاصیت اسپین بالا(۲۳) دارای تعداد بیشتری الکترون‌های منفرد بوده و پارامگنتیسم (۲۴) از مشخصات این مشتقات می‌باشد. از طرفی مولکول‌هایی بدون الکترون منفرد دایامگنتیک(۲۵) نامیده شده و شامل مشتقات آهن دوظرفیتی با اسپین پایین(۲۶) هستند. تصویرهای ۳ و ۴ سطوح انرژی و مداری موجود و باندهای حاصله در مشتق اکسی‌مایوگلوبین(۲۷) $O_2Mb$ را نشان می‌دهد. آهن دو ظرفیتی در مشتق دی اکسی مایوگلوبین(۲۸) deoxy Mb در موقعیت اسپین بالا بوده و مولکول پارامگنتیک می‌باشد و در اثر تشکیل باند بین آهن دوظرفیتی این مشتق و مولکول اکسیژن با دو الکترون منفرد مولکول دایامگنتیک $O_2Mb$ به‌وجود می‌آید و همان طوری که ملاحظه می‌گردد کل پخش الکترون‌ها در مشتق $O_2Mb$ در سطح انرژی پایین‌تری نسبت به هرکدام از مولکول‌های شرکت‌کننده در این واکنش یعنی آهن دوظرفیتی و مولکول $O_2$ است و این خود دلیلی بر پایداری مشتق حاصله می‌باشد. همچنین سمبل $\Delta$ تفاوت انرژی بین دو سطح انرژی موجود در اربیتال‌های d در یک مشتق را نشان می‌دهد و نور مرئی می‌تواند الکترون‌ها را در این مسیر انتقال دهد و درحقیقت طول موج نور جذب شده و در نتیجه طول موج نور عبور داده شده عاملی مهم در تعیین رنگ قرمز مشتق $O_2Mb$ می‌باشد. در تصویر ۴ تشکیل دو نوع باند در مولکول $O_2Mb$ قابل توجه است. باند سیگما که با واگذاری الکترون از گروه واقع شده در موقعیت ششم هیم به اتم آهن در مرکز هیم به‌وجود می‌آید. نوع دیگر باند شیمیایی در تصویر ۴ باند پای که گاهی باند متقابل(۲۹) نیز نامیده می‌شود، است. در تشکیل این باند الکترون از اتم آهن به اربیتال‌های $\pi$ و یا $\pi^*$ گروه مورد نظر در موقعیت ششم عامل هیم واگذار می‌شود. اکسیژن با خاصیت الکترونگاتیویته بالا (در مقایسه با آهن) طالبی ضعیف در تشکیل باند سیگما در مولکول $O_2Mb$ است. پخش الکترون از اتم نیتروژن آمینو اسید His (در موقعیت پنجم آهن گروه هیم) تولید دانسیته الکترونی بیشتری در اطراف آهن دوظرفیتی مولکول $O_2Mb$ نموده و کشش الکترون‌ها به سمت آهن و سپس اکسیژن منجر به‌قدرت باند پای در تشکیل مولکول پایدار $O_2Mb$ می‌گردد. نکته قابل ذکر این که برای تشکیل باند پای عنصرآهن می‌باید دانسیته الکترونی بیشتری را دارا بوده و درنتیجه قابلیت واگذاری الکترون‌ها را به گروه مورد نظر داشته باشد. آهن دوظرفیتی برای تشکیل این باند مناسب می‌باشد، بار نسبتا" کم هسته‌ای که باعث بسط دادن اربیتال‌های d گردیده و همراه تعداد نسبتا" بیشتر الکترون در این اربیتال‌ها در مقایسه با آهن سه‌ظرفیتی عوامل موثر در تشکیل باند پای می‌باشند و آهن سه‌ظرفیتی در یک باند قوی پای نمی‌تواند تشکیل نماید و به‌همین علت است که مت‌مایوگلوبین(۳۰) met Mb که مشتقی از Mb با آهن سه ظرفیتی می‌باشد نمی‌تواند با اکسیژن ترکیب گردد. در حقیقت واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء در تبدیل Mb و یا $O_2Mb$ به met Mb در موجود زنده دائم در حال انجام است ولی در گوشت تازه برای حفظ رنگ قرمز ($O_2Mb$ و deoxy Mb) و جلوگیری از ایجاد رنگ قهوه‌ای (met Mb) می‌باید شرایط اتمسفری محل نگاهداری گوشت را طوری تغییر داد تا آهن در Mb به‌صورت دو ظرفیتی باقی بماند و در صورت عدم وجود مواد و سیستم‌های احیاءکننده، وقتی که مشتق met Mb به‌وجود آید برگشت آن به مولکول قرمز رنگ $O_2Mb$ امکان‌پذیر نمی‌باشد درنتیجه اگر گوشت تازه در تحت پوشش خلاء(۳۱) قرار بگیرد و فشار کشش اکسیژنی بسیار پائین بوده در این شرایط تمام Mb به‌صورت deoxy Mb درمی‌آید و رنگ بنفش متمایل به قرمز حاصل می‌شود، از طرفی اگر گوشت تازه در تحت اتمسفری با سطح اکسیژن بالا نگاهداری شود، مقدار dexoy Mb پایین بوده و $O_2Mb$ یا رنگ قرمز گوشت حاصل می‌گردد. درحقیقت اگر بتوان تمام Mb در گوشت تازه را به‌صورت $O_2Mb$ درآورده، عنصر اکسیژن خود از اکسیده شدن این مشتق جلوگیری خواهد کرد، مولکول $O_2Mb$ همان‌طوری که اشاره شد، دایامگنتیک بوده و واکنش آن به‌سمت مولکول‌های پارامگنتیک نامطلوب و کم است.

حداکثر حد به‌وجود آمدن met Mb در گوشت تازه در فشار اکسیژنی حدودا" ۴mmHg (برابر با ۳%–۲ اکسیژن در فشار اتمسفر) وقتی که ۵۰% از Mb به‌صورت $O_2Mb$، ۵۰% دیگر به‌صورت deoxy Mb است می‌باشد. تبدیل آهن دوظرفیتی Mb به آهن سه‌ظرفیتی و تشکیل met Mb واکنش بسیار مهمی در شیمی مایوگلوبین محسوب می‌شود، همراه اکسیده شدن آهن در این واکنش عنصر دیگر که اکسیژن است می‌باید احیاء گردد در این واکنش که اتکسیداسیون(۳۲) نامیده می‌شود، اکسیژن به‌عنوان تنها

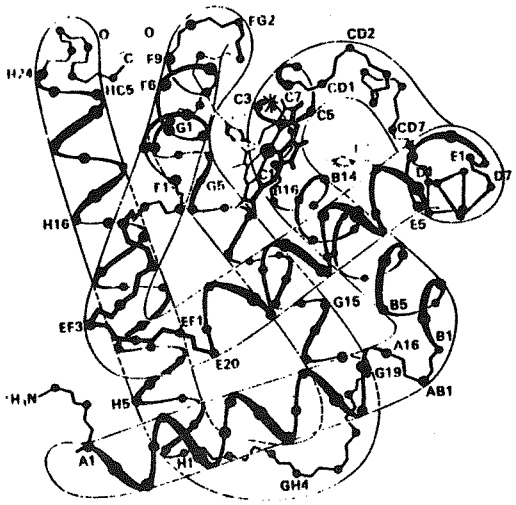
عنصر احیاءشده محسوب می‌گردد. در حالی که این واکنش به‌عنوان یک واکنش ساده یک الکترونی انتقال از مرکز آهن هیم به اکسیژن باند شده در موقعیت ششم آهن هیم در نظر گرفته نمی‌شود چنانکه از نظر ترمودینامیکی چنین انتقال یک الکترونی به‌علت منفی بودن پتانسیل نهایی این واکنش‌های اکسیداسیون احیاء نامطلوب می‌باشد. درحقیقت در تئوریهای مربوط‌به واکنش‌های پروتئین‌هایی با گروه هیم انتقال یک الکترون از آهن به‌گروههایی مانند اکسیژن و سایر گروه‌هایی که نتیجتا" تولید مشتقاتی با اسپین پایین می‌نمایند انجام نمی‌گیرد و آنچه که صورت می‌گیرد احیا دو الکترونی اکسیژن به ظرفیت اکسیداسیون پراکساید می‌باشد و پتانسیل نهایی واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء در این حالت مثبت بوده و از نظر ترمودینامیکی انجامش امکان‌پذیر است. درحقیقت این که انتقال یک الکترونی در اتکسیداسیون Mb نامطلوب است خود نشان دهندهٔ موثر بودن Mb و Hb به‌عنوان عوامل حمل و انتقال اکسیژن می‌باشد. اگر جدایی سوپراکساید $O_2^-$ از Mb به صورت مطلوبی انجام‌پذیر می‌بود تشکیل باند شیمیایی بین Mb و $O_2$ فقط برای یک لحظه کوتاه انجام می‌گرفت، ولی از آن‌جایی که اکسیژن می‌باید توسط دو الکترون احیاء گردد و آهن دوظرفیتی Mb تنها تهیه‌کننده یک الکترون در انجام این واکنش است، لذا از نظر شیمیای واکنش بین Mb و $O_2$ به صورت زمانی طولانی‌تری صورت می‌گیرد. به‌عنوان مثال نیمه عمر (۳۳) اتکسیداسیون Mb گا و در PH ۶/۵ در C ۲۴° به‌مقدار ۲۶/۵ ساعت می‌باشد.

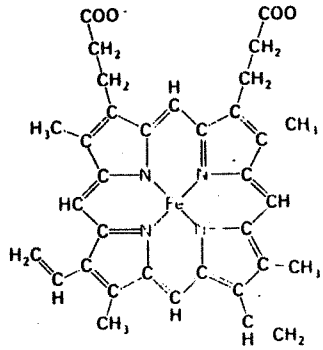
نکته قابل توجه این است که مولکول‌هایی با خاصیت احیاءکنندگی ازقبیل اسکوربیت (۳۴) می‌توانند باعث اتکسیداسیون Mb بشوند، زیرا این قبیل مولکول ها تهیه‌کننده الکترون دیگر (دوم) در واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء اشاره شده در قبل می‌باشند. نقش اسکوربیت و موادی نظیر آن به‌عنوان اکسیدکننده یا احیاءکننده در مشتقات Mb بستگی به مقدار آن در یک سیستم دارد. از مشتقات متداول دیگر Mb می‌توان ناتیریک اکساید مایوگلوبین (۳۵) NOMb را نام برد که در اثر واکنش بین ناتیرایت ($NO_2^-$) و آهن دوظرفیتی مولکول deoxy Mb (یا همان Mb) بدون حضور اکسیژن صورت می‌گیرد هم‌چنین این مشتق در اثر واکنش بین met Mb و سدیم ناتیرایت $NaNO_2$ درحضور ماده احیاءکننده‌ای مانند اسکوربیت نیز به‌وجود می‌آید. باندهای سیگما و پای هردو در تشکیل مشتق NOMb سهیم می‌باشند و با این‌که میزان جدا گردیدن گروه ناتیریک اکساید NO از Mb بسیار آهسته‌تر از جدا شدن مولکول $O_2$ از Mb در مشتق $O_2Mb$ می‌باشد ولی NOMb در موقعیت اصلی (۳۶) در زمان تشکیل، مشتقی ناپایدار محسوب می‌شود زیرا اکسیژن معمولا در حد بسیار بیشتری از NO بوده و در صورت جدایی NO در مشتق مربوطه، جایگزین آن می‌شود و همچنین اکسیژن و سایر اکسیدانت‌ها می‌توانند با مولکول NO ترکیب شده و عامل ناتیریت $NO_3^-$ حاصله قابلیت باند شدن به Mb را ندارد. مولکول NOMb یک مشتق رایج آهن دو ظرفیتی با خاصیت پارامگنتیک است و با سایر مولکول‌های پارامگنتیک ترکیب می‌شود و به منظور جلوگیری از اکسیده شدن NOMb می‌باید پروتئین را از حالت و ماهیت اولیه ساختمانی و شیمیایی آن خارج نمود (۳۷) و رنگ صورتی پایدار محصولات گوشتی مانند کالباس بدین وسیله تامین می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که عامل NO خاصیت ترانس (۳۸) را در مولکول NOMb به‌وجود می‌آورد یعنی در اثر عمل حرارت دادن و تغییر ماهیت پروتئین، آمینواسید His در موقعیت پنجم گروه هیم توسط عامل NO دیگری اشغال می‌شود و مشتق حاصله دای ناتیریک اکسایدهیم (۳۹) یک مولکول دایامگنتیک بوده و در برابر اکسیده شدن و یا تعویض گروهها پایدارتر می‌باشد. مشتق نامبرده در برابر نور در حضور اکسیژن بسیار حساس می‌باشد، لذا قرار دادن این محصولات گوشتی در تحت پوشش خلاء می‌باید انجام بگیرد.

کاربن مانکساید CO نیز با Mb ترکیب شده و مشتق حاصله کاربکسی مایوگلوبین (۴۰) CO Mb یک مولکول دایامگنتیک بوده و با این که طیف جذب نور مرئی (۴۱) آن مشابه با $O_2Mb$ و NOMb است، ولی پیوند موجود در این مولکول بیشتر دارای مشخصات باند سیگما می‌باشد. این مشتق رنگ قرمز به یک محصول گوشتی می‌دهد و آزمایش‌هائی بر روی استفاده از این گاز به‌عنوان عاملی در بهبود و نگهداری رنگ قرمز گوشت تازه، انجام گرفته است. مابقی مشتقات آهن دوظرفیتی Mb در گروه فروهیموکروم (۴۲) قرار دارند. درحقیقت مولکول دای ناتیریک‌اکسایدهیم نیز جزء این گروه محسوب می‌شود. در اثر تغییر ماهیت شیمیایی و ساختمانی پروتئین، گروه هیم در برابر گروههای مختلفی قرار می‌گیرد و در اثر واکنش با یک عامل نیتروژن‌دار (۴۳) (شامل بخش تغییر ماهیت‌داده گلوبین (۴۴) نیز می‌شود) در موقعیت پنجم و یا ششم گروه هیم، مشتق فروهیموکروم به‌وجود می‌آید. این مشتقات دارای رنگ نارنجی، صورتی، قرمز بوده و بسیار سریع اکسیده می‌شوند و در اثر به‌وجود آمدن مشتق فری هیموکروم، رنگ‌های اشاره شده از بین می‌روند. تحقیقات بسیاری در مورد استفاده از موادی که در تهیه مشتقات فروهیموکروم به‌کار می‌روند به‌عنوان جایگزین $NaNO_2$ در تهیه محصولات گوشتی انجام شده است، زیرا گزارش‌های زیادی دال بر سرطان‌زایی مواد نایتروسامین (۴۵) و حتی سرطان‌زایی در اثر خود $NaNO_2$ ارائه گردیده است. ماده نیتروژن‌دار جایگزین عامل NO می‌باید دارای خاصیت تشکیل باند پای بوده و مشتق حاصله آن با Mb دایامگنتیک بوده و واکنش آن با یک مولکول پارامگنتیک مطلوب نباشد پس پایداری آهن دوظرفیتی حفظ گردد و استفاده از هیچیک از مشتقات مورد بررسی، نتیجه موفق‌آمیزی نداشته است. البته خاصیت یک ماده جایگزین $NaNO_2$ در یک محصول گوشتی در مورد جلوگیری از رشد و تولید زهر باکتری به نام *Clostridium botulinum* می‌باید جداگانه مورد بررسی قرار گیرد و این موضوع در هدف این مقاله نمی‌باشد.

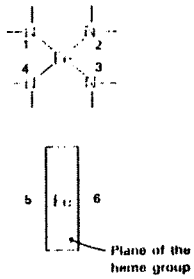
تغییرات رنگی دیگری هم در گوشت تازه و هم در گوشت تهیه‌شده با $NaNO_2$ صورت می‌گیرد. به‌عنوان مثال رشد بعضی گروهها ی باکتری‌ها منجر به تولید و تجمع هیدروژن پراکساید گردیده و به‌دنبال جایگزینی عامل هایدروکسیل در ساختمان پروتوپرفرین و اکسیداسیون تدریجی آن مشتق سبزرنگی به‌نام کلومایوگلوبین (۴۶) ChMb به‌وجود می‌آید. همچنین استفاده بیش از لزوم $NaNO_2$ (بیش از ۵۰۰ مول برحسب یک مول Mb) در تهیه مواد گوشتی منجر به تولید مشتق سبزرنگی به نام ناتیری همین (۴۷) می‌گردد. تولید این مشتقات سبزرنگ همگی بر اثر شکستن ساختمان رزنانس حلقه اصلی پروتوپرفرین می‌باشد. در پایان تصویر ۵ به‌طور خلاصه تمام واکنش‌های احتمالی در یک سیستم گوشتی را نشان می‌دهد.

بقیه درصفحه ۳۰

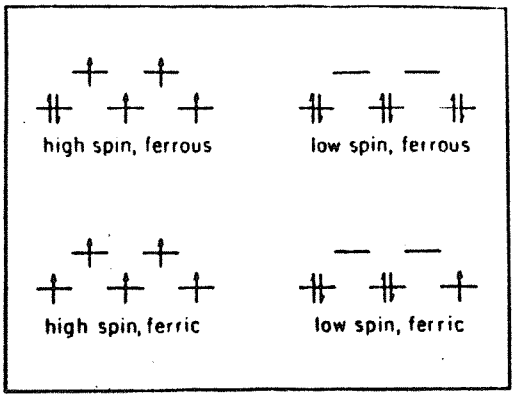



Heme
(Fe-protoporphyrin IX)

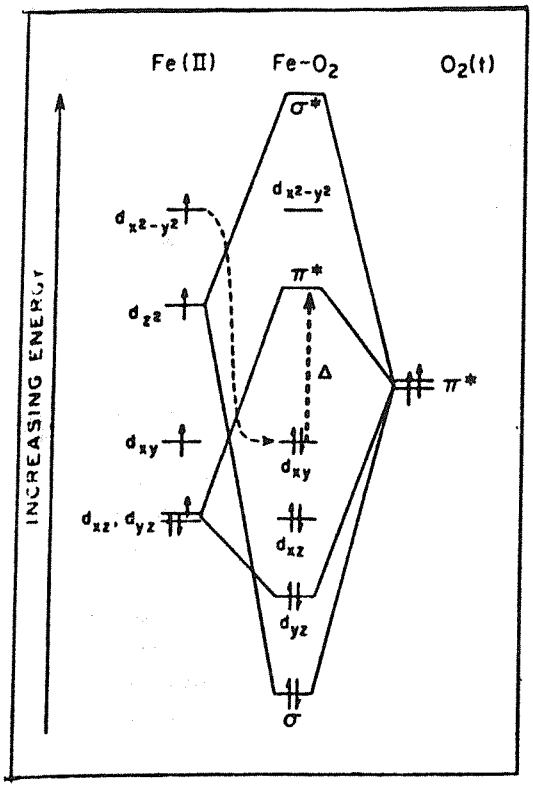



تصویر ۱ــ نمونه‌ای از مایوگلوبین براساس نقشه الکترونی آن ، گروه هیم با علامت * مشخص شده است . سمت راست تصویر گروه هیم واتم آهن در آن را نشان می‌دهد که این اتم می‌تواند شش باند تشکیل دهد. چهار باند با نیتروژن چهار گروه پاپیرول(۸) تشکیل می‌شود که در صفحه هیم قرار دارند . دو باند در دو طرف گروه هیم تشکیل می‌شود و گروه هیم در موقعیت پنجم(۹) به‌توسط نیتروژن آمینو اسید هیستدین His به گلوبین یا مابقی پروتئین متصل است و موقعیت ششم(۱۰) برای تشکیل باند با سایر گروه‌ها مانند O2) مناسب می‌باشد .



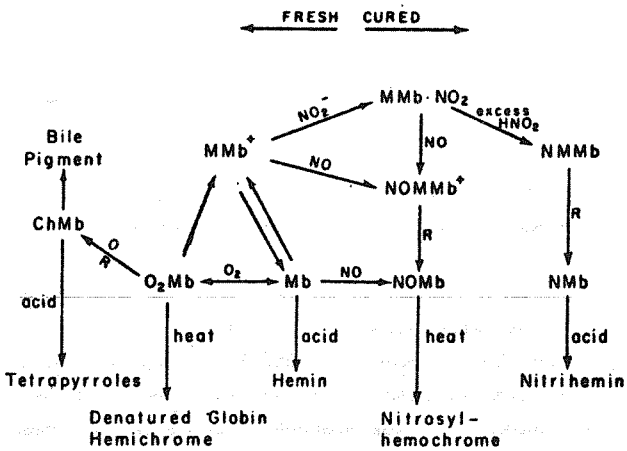

تصویر ۲ــ در مشتقات مختلف آهن در یک محیط هشت وجهی، الکترون‌ها در اربیتال‌های d یا به‌صورت منفرد و یا به‌صورت زوج قرار می‌گیرند و این برحسب نوع گروه در تشکیل باند با اتم آهن می‌باشد .

A

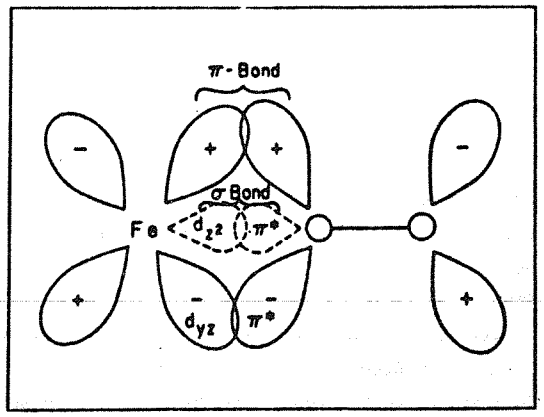



تصویر ۳ــ تشکیل یک مشتق دایامگنتیک بر اثر باند حاصله بین آهن دوظرفیتی با اسپین بالا و مولکول اکسیژن با دو الکترون منفرد، سمبل Δ نشان‌دهندهٔ انتقال احتمالی الکترونی به‌واسطه جذب نور مرئی است.

B




تصویر ۵ــ واکنش‌های مابوگلوبین در یک سیستم گوشتی.




تصویر ۴ــ دو مدار الکترونی پایین در مشتق $O_2Mb$ (تصویر ۳) نشان داده شده است. اربیتال $dz^2$ آهن و اربیتال $\pi^*$ اکسیژن باند سیگما را تشکیل می‌دهند. درحالی‌که اربیتال dyz آهن و اربیتال $\pi^*$ اکسیژن باند پای را به‌وجود می‌آورند.

## پاورقی

1– Pigment
2– Myoglobin
3– Hemoglobin
4– Nonpolypeptide
5– Heme
6– Protoporphyrin
7– Globin
8– Pyrrole
9– 5th position
10– 6th position
11– Tetrameric, globular heme protein
12– Red muscle fibers
13– Monomeric, globular heme protein
14– Amino acid residue
15– Homologous
16– Helical and nonhelical
17– Secondary structure
18– Tertiary structure
19– Quaternary structure
20– Extinction coefficient
21– Crystal field theory
22– Net spin
23– High spin
24– Paramagnetism
25– Diamagnetic
26– Low spin
27– Oxymyoglobin
28– Deoxymyoglobin
29– Back-bonding
30– Metmyoglobin
31– Vacuum-package
32– Autoxidation
33– Half-life
34– Ascorbate
35– Nitric oxide myoglobin
36– In situ
37– Denaturation
38– Trans effect
39– Di-Nitric oxide-heme
40– Carboxymyoglobin
41– Visible spectrum
42– Ferrohemochrome
43– Nitrogenous compound
44– Denatured-globin
45– Nitrosamine
46– Cholemyglobin
47– Nitrihemin

## منابع


1– Cassens, R,G., Greaser, M. L., Ito, T., and Lee, M. 1979. ***Reactions of nitrite in meat.*** Food Technol. 33(7): 46.

2– Castro, C.E. 1971. ***Theory of hemeprotein reactivity.*** J. Theor. Biol. 33: 475.

3– Clark, D. S., Leutz, C.P., and Roth, L.A. 1976. ***Use of carbon monoxide for extending shelf-life of prepackaged fresh beef.*** Canadaian Inst. Food Sci Technol.J. 9(3): 114.

4– Daun, H., Solberg, M., Franke, W.,and Gilbert, S. 1971. ***Effect of oxygen enriched atomosphers on storage quality of packaged fresh meat.*** J. Food Sci.36: 1011.

5– Fox, J.B. Jr.and Ackerman, S.A. 1968. ***Formation of nitric oxide myoglobin: mechanisms of the reaction with various reductants.*** J. Food Sci 33: 364.

6– Giddings, G.G. 1977. ***The basis of color in muscle foods.*** Crit. Rev. Food Sci Nutr. 8:81.

7– Hotchkiss, J.H. and Vecchio, A. J. 1985. ***Nitrosamines in Fried-out bacon fat and its use as a cooking oil.*** Food-Technol. 39(1): 67.

8– Livingston, D.J. and Brown, W.D. 1981. ***The chemistry of myoglobin and its reactions.*** Food Technol. 35(5): 244.

9– Reith, J. F. and Szakaly, M. 1967. ***Formation and stability of nitric oxide myoglobin.*** II. studies on meat. J. Food Sci. 32: 194.

10– Tarladgis, B.G. 1962. ***Interpretation of the spectra of meat pigments.*** I.- cooked meats. J. Sci. Food Agric. 13: 481.

11– White, A. Handler, P., Smith, E. L., Hill, R.L.,and Lehman, I. R. 1978. ***Principles of Biochemistry 6th ed.*** Mc Craw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo, Japan.