**التغيرات الحاصلة للدهون والزيوت:**

1. **امتصاص الروائح:** تمتص الدهون والزيوت الروائح لانها تذيب الغازات المحتوية عليها ويحدث هذا النوع من التلف عند ترك الدهن او الزيت في عبؤة مفتوحة**.**
2. **التزنخ:** هناك اكثر من نوع من انواع التزنخ تحدث في الدهون والزيوت الغذائية وهي:
* **التزنخ التأكسدي (الاكسدة الذاتية):**

 **(Autoxidation) rancidity Oxidation**

 ان المصدر الرئيس للزناخة في الاغذية هو الاكسدة الذاتية للدهون والتي تعرف بانها الاكسدة التلقائية لمادة ما عند تماسها مع الاوكسجين الجزيئي.

 وعلى الرغم من ان بدء عملية الزناخة وتغير الطعم يعدان اول نتيجة مهمة لعملية الاكسدة الذاتية للدهون الا انه يعقب ذلك تأثر لون المادة الغذائية نتيجة لتسارع التفاعلات البنية. كما وتتأثر القيمة الغذائية وحتى تنتج احياناً بعض المواد السامة، ويتأثر القوام ايضاً نتيجة لحدوث بعض التفاعلات الجانبية بين البروتينات ونواتج اكسدة الدهون. وبكلام اخر يعد تلف الدهون نتيجة لاكسدتها احد العوامل المهمة التي تؤثر في جميع نواحي تقبل المستهلك للمادة الغذائية.

 ان المحتوى العالي من الاحماض الدهنية غير المشبعة الطويلة السلسلة PUSFA الداخلة في تركيب الزيوت والدهون تجعلها حساسة جداً للاكسدة اذ انها اكثر المكونات الدهنية تعرضاً للاكسدة الذاتية حيث تتكون جذور حرة، مما يؤثر على نوعية وثباتية الدهن او الزيت ويقلل من عمره الخزني نتيجة التدهور والتلف الحاصلين بسبب الاكسدة التزنخية Oxidative rancidity (Gray, 1978). فالزيوت التي تحتوي على نسبة عالية من حامض الستياريك والبالمتيك لاتعاني من تفاعل الاكسدة الذاتية اما اذا كانت تحتوي على حامض دهني ذو اصرة مزدوجة واحدة فان تفاعل الاكسدة يتم ببطء شديد جداً عند درجة الحرارة الاعتيادية بينما اذا احتوى الزيت على احماض دهنية ذات اصرتين مزدوجتين او اكثر فان الزيت يتأكسد وتتحول طبقة رقيقة منه الى في الهواء الى طبقة مطاطية ثم صلبة.

 على الرغم من ان تفاعلات الاكسدة الذاتية تتم بين الدهون والاوكسجين فقط الا ان عدد من المسالك المحتملة يزداد ازدياداً كبيراً في اثناء حدوث هذه التفاعلات، وحتى لو اخذنا ابسط الانظمة المتكون من حامض دهني واحد فقط والاوكسجين فان عدد المركبات الوسطية يكون كبيراً جداً وبعد ذلك نحصل على النواتج النهائية وسرعان ما يصبح النظام معقداً جداً.

 لا تزال الميكانيكية التي اقترحها العالم فارمرFarmer قبل اكثر من 65 سنة معتمدة في هذا المجال وهي تشمل تكوين الهيدروبيروكسيدات Hydroperoxides كمركبات وسطية وتتضمن هذه الميكانيكية:

 الخطوة الاولى تتم بتنشيط activated عدد قليل من جزيئات الدهنLH بفعل الحرارة والضوء او مادة معدنية تعمل كعامل مساعد catslyst وبذلك تتحلل هذه الجزيئات الى جذور حرة غير مستقرة L• و H• اذ ان تكوين هذه الجذور الحرة لا يقتصر فقط على الدهون بل يمكن ان يحدث ايضاً في اي مادة عضوية. فالجذور الحرة تختفي بعد ذلك بسرعة باعادة اتحادها لتكوين LH وLL وH2 وH2O. الا انه بوجود الاوكسجين الجزيئي يكون الاحتمال الاكبر اتحاد الجذر الحر L•. وتستمر سلسلة التفاعلات وتتكون جذور حرة جديدة بصورة مستمرة دون الحاجة الى منشط ابتدائي Initial activator، اذ تتحول جزيئات اخرى من الدهون الى هيدروبيروكسيدات، ولا تتوقف هذه التفاعلات الا عند اتحاد الجذور الحرة مع جذور حرة اخرى او مع مثبطات (مضادات الاكسدة Antioxidation) ويؤدي ذلك الى تكوين مركبات مستقرة تتراكم في النظام الغذائي (Aidos, 2002). كما وتدخل الهيدروبيروكسيدات بسلسلة من التفاعلات مؤدية الى تكوين جذور حرة اضافية ونواتج نهائية مستقرة التي تشمل المركبات الكاربونيلية القصيرة السلسلة والتي تكون مسؤولة عن الزناخة وعن تفاعلات اخرى جانبية مؤدية في النهاية الى تلف الدهون في المادة الغذائية.



(

**شكل (40): مخطط خطوات الاكسدة الذاتية في الدهون والزيوت**

لا تتساوى جميع مناطق الجزيئة الدهنية في درجة تعرضها لعملية التنشيط، فمثلاً تكون مجموعة المثيل المجاورة للاصرة المزدوجة حساسة جداً تجاه ذلك، ولقد استنتج العالم فارمر انه بامكان حامض الاوليك تكوين جذور حرة ممثلة باربعة هجائن رنانة resonant كما هو موضح فيما يأتي:

 8 9 10 11

 R1 – CH2 – CH=CH – CH2 –R2

R1 – CH2 – CH=CH – C•H –R2 (1)

R1 – C•H – CH=CH – CH2 –R2 + H• (2)

R1 – CH= CH–C•H – CH2 –R2 (3)

R1 – CH2 – C•H–CH = CH –R2 (4)

 اي انه تم تكوين اربعة هيدروبيروكسيدات تحتوي على مجاميع OOH- ترتبط بالمواقع 8 و9 و10 و11 وقد امكن الكشف عن هذه الهيدروبيروكسيدات الاربعة خلال الاكسدة الذاتية للاولييت.

 كذلك ينتج حامض اللينولييك ثلاثة نظائر من الهيدروبيروكسيدات (9 و11 و13) وحامض اللينولنيك ستة نظائر (9 و11 و12 و13 و14 و16) وتكون الاكسدة الذاتية لحامض اللينولييك اسرع بكثير مقارنة بحامض الاوليك لوجود اصرتين مزدوجتين في حامض اللينوليك تعملان على تنشيط مجموعة المثيل الواقعة بينهما.

 وتعد الهيدروبيروكسيدات من النواتج الاولية المهمة في الاكسدة الذاتية للدهون. اذ ان الهيدروبيروكسيدات بحد ذاتها تكون غير متطايرة وعديمة الطعم والرائحة ويقاس تكوين وتراكم الهيدروبيروكسيدات بواسطة قيمة البيروكسيد الذي يعطي مؤشراً على تقدم عملية الاكسدة الذاتية للدهون، لكن ليس بالضرورة على ظهور الزناخة.

 تكون الهايدروبيروكسيدات غير مستقرة نسبياً وتبدأ بالتحلل عند زيادة تركيزها في النظام، واحد التفاعلات المحتملة هو تحللها الى جذور اللالكوكسي alkoxy والهيدروكسي hydroxyl وكما موضح فيما يأتي:

 OH• + R1– CH –R2 R1– CH –R2

 OOH O•

 يعقب ذلك تكوين الديهايدات ذات سلاسل قصيرة، فمثلاً تنتج بيروكسيدات الاولييت Oleate peroxides الديهايدات تحتوي على 8 و9 و 10 و11 ذرة كاربون.

 R2• + R1– CH R1– CH –R2

 O• O

 ويجب الانتباه الى الجذر الحر الجديد R2 في المعادلة الانفة حيث سيبدأ بسلسلة خاصة به من التفاعلات، وقد يتأكسد الالديهايد الى حامض او كحول مختزل او قد يتفاعل مع المجاميع الامينية.

 قد يختزل جذر الالكوكسي الى كحول بتفاعله مع جزيئة دهن اخرى معطياً جذراً حراً.

 R3• + –R2 R1– CH R3H + R1– CH –R2

 O• OH

 قد يتأكسد جذر الالكوكسي الى كيتون بتفاعله بواسطة جذر حر اخر، ويطلق على هذا التفاعل بتفاعل الانهاءtermination reaction .

 R3H + –R2 R1– CH R3• + R1– CH –R2

 O• O

 ان احد نواتج الاكسدة الذاتية للدهون هو تكوين مواد لزجة شبيهة بالصمغ او حتى تكوين بوليمرات صلبة (راتنجات)، ومن الامثلة على هذه البوليمرات تجفيف الزيوت التي تكون درجة تشبعها عالية واستعمالها في الاصباغ. وقد تحدث عملية البلمرة من خلال الاتحاد المباشر للجذور الحرة او من خلال تفاعلات اخرى وكما يأتي:

– CH– R2 R1– CH R3 – OOH + R1– CH= CH– R2

 OH 3OR

**تأثير عوامل المحيط:**

ان عملية الاكسدة الذاتية في الدهون والزيوت تُحفز بعوامل عدة، منها:

1. **انزيم اللايبواوكسيديز:** موجود في العديد من الاغذية، الذي يعمل كعامل مساعد في إضافة الأوكسجين الى الأحماض الدهنية فتزداد اللزوجة والكثافة ويقل الرقم اليودي، والعوامل التي تساعد على هذا التفاعل هو الطاقة الضوئية وخاصة الأشعة فوق الحمراء او الأشعة الذرية فتتجمع طاقة تكفي لانفصال بروتون من السلسلة الهيدروكاربونية للحامض الدهني غير المشبع فتتكون مركبات حرة وفعالة تسمى جذور حرة Free radical وبمساعدة هذا الأنزيم الذي يضيف الأوكسجين الى الأحماض فتتكون البيروكسيدات ثم تتجزأ هذه البيروكسيدات الى أحماض دهنية قصيرة السلسلة ثم تتحد مع الهيدروجين فتكون الهيدروبيروكسيدات .

يوجد هذا الانزيم في بذور النباتات الزيتية والبقوليات والحبوب والاوراق، واذا لم يبطل نشاط هذا الانزيم بفعل عملية السلق الخفيف bleaching فانه سوف يسبب تكوين النكهة غير المرغوب فيها في الخضروات المجمدة والمجففة خاصة البازلاء.

 2. **تركيز الاوكسجين:** ومن العوامل الاخرى تركيز الاوكسجين اذ تزداد سرعة الاكسدة بوجود الاوكسجين، ومن الطرق العملية المألوفة للحد من اكسدة الاغذية الدهنية وتلفها ( النقل والقهوة والمعجنات) هو ابعاد الهواء عنها اما بتفريغ العبؤة او بتعبئتها تحت النتروجين او باستعمال عبؤات تكون نفاذيتها للاوكسجين واطئة.

1. **درجة الحرارة والضوء:** تعمل درجات الحرارة العالية على تسارع تكوين الجذور الحرة وبذلك تسرع من حدوث الاكسدة الذاتية وان تأثير الضوء لا يعد مهماً الاكسدة الذاتية للدهون مالم تكون هناك عوامل محسسة ومع وجود العوامل الاخرى يتسبب في ارتفاع معدلات سرعة تفاعل الاكسدة. فالاشعة فوق البنفسجية تمتص بقوة بواسطة المركبات غير المشبعة خاصة اذا كانت الاواصر المزدوجة مقترنة.
2. **الرطوبة:** ان الرطوبة في حالة زيادتها او نقصانها تكون ذات تاثير كبير في سرعة حصول الاكسدة اذ تتطور الزناخة عند هذه المستويات، ووجد ان الثباتية القصوى للدهون تكون عند المستويات المتوسطة للرطوبة. ويعتقد انه تتكون طبقات احادية monolayers من الماء حول الطور الدهني تعمل على حمايته من خلال :
3. تفاعل او تداخل الطبقة الاحادية مع العوامل المعدنية الاخرى.
4. تأخير او منع انتقال الاوكسجين الى الطور الدهني.
5. اضفاء الاستقرار على البيروكسيدات بواسطة الاواصر الهيدروجينية.

 ونلاحظ اهمية ذلك عند تجميد اللحوم والاسماك حيث ان الماء ينعزل على هيئة طبقة رقيقة حول الطور الدهني (طبقة احادية) بهيئة بلورات ثلجية وبذلك يحافظ عليها من التزنخ.

1. **الايونات المعدنية:** ان وجود الأيونات المعدنية لاسيما الحديد Fe+2/Fe+3 والنحاس Cu+/Cu+2 يُعد من اقوى العوامل المساهمة في زيادة سرعة الاكسدة للدهون والزيوت اذ تعمل هذه الآيونات على تقصير فترة التحفيز نتيجة تحلل الهيدروبيروكسيدات وبالتالي تسارع تكوين الجذور الحرة الناتجة وزيادة سرعة تفاعل الاكسدة (Richardson *et al*.,1997). كما تساهم في المساعدة في عملية الانهاء وتعمل كمثبطات في هذه الحالة.

 قد يكون مصدر تلوث الاغذية بايونات العناصر الثقيلة من اجهزة التصنيع والانابيب ومواد التغليف او من المحيط، واهم العوامل هي المكونات التي توجد بصورة طبيعية في الاغذية مثل مواد البورفورينات المحتوية على المعادن (مركبات الهيماتين) والتي تشتمل على الهيموكلوبين والمايوكلوبين والسايتوكرومات.

1. **الاشعة المؤينة:** اجريت دراسات في مجال حفظ الاغذية باستعمال الاشعة ذات الطاقة العالية (اشعة بيتا واشعة كاما) خلال الخمسينات والستينات من هذا القرن، ومن النتائج الملفتة للنظر ان استعمال الاشعة ادى الى زيادة الزناخة التأكسدية للمواد الغذائية نتيجة تعرضها للاشعاعات، وقد تم تفسير ذلك بان تلك الاشعاعات تعمل على تحفيز تكوين الجذور الحرة.

ووجد ايضاً ان الدهون عالية التشبع والمتوقع ان تظهر استقراراً عالياً تجاه الاكسدة الذاتية قد تأثرت كثيراً نتيجة معاملتها بالاشعاعات المتأينة. وبينت الدراسات ان الزناخة لا تتطور خلال معاملة المواد الغذائية بالاشعاع ولكنها تتطور عند خزن تلك الاغذية فيما بعد.

* **التزنخ التحللي (التحلل المائي): Hydrolytic rancidity**

هو اصطلاح عام يطلق على الدهون او الزيوت التي تغيرت صفاتها الكيميائية والفيزيائية وتغير طعمها ورائحتها وذلك نتيجة التحلل المائي للدهون المشبعة بوجود أنزيم اللايبيز والفوسفولايبيز الى احماض دهنية وكليسيرول بسبب زيادة الرطوبة وارتفاع درجة حرارة الخزن وقد تحدث هذه العملية بسبب بعض الأحياء المجهرية التي تنمو على الدهن وبوجود رطوبة كافية يتحلل ويحدث أساساً في الخلية حيث ينفصل حامض البيوتريك ذو الرائحة الكريهة ويمكن القضاء على هذا الأنزيم بالمعاملة الحرارية (السلق او البسترة) ويعتبر ارتفاع الحموضة علامة مهمة لهذا النوع من التزنخ.

* **التزنخ الكيتوني:Ketonic rancidity**

ان اهم انواع الاحياء المجهرية المحللة للدهون التي تسبب المشاكل خاصة في اللحوم ومنتجاتها هي بكتيريا *Pseudomonas* و *Bacillus* ، كما يحدث بسبب وجود الفطريات*Penicillium glanucum* و *Aspergillus* spp.التي تهاجم الدهون المحتوية على احماض دهنية قصيرة السلسلة.

 هناك انواع خاصة من الدهون معرضة لهذا النوع من التزنخ اكثر من غيرها مثل زيت جوز الهند وزيت النخيل اذ تحتوي على كميات لا بأس بها من المركبات النيتروجينية، وهذه المركبات لابد من وجودها ووجود الماء لتكون مناسبة لنمو الاحياء المجهرية. اذ تتحطم الدهون (الكليسيريدات الثلاثية) بوجود كمية قليلة من الهواء والرطوبة منتجة في البداية احماض دهنية حرة التي تخضع فيما بعد الى الاكسدة من نوع بيتاoxidation- β (وهي الاكسدة التي تؤكسد بها البكتيريا الاحماض الدهنية المشبعة التي تزال فيها ذرتان من الكاربون) مع تكوين الكيتونات المثيلية والكحولات الاليفاتية ويلاحظ التعفن والمذاق السيء (روائح وطعوم مميزة) الذي يميز المنتجات المتزنخة. ويمتاز هذا النوع من التزنخ برائحة خاصة لذا يسمى التزنخ العطري Parfume rancidity.

من الجدير بالذكر ان الاحماض الدهنية المتكونة من الانشطار التحللي للدهون مثبطة لعدد من الاحياء المجهرية، كما ان البيروكسيدات المنتجة اثناء اكسدة الاحماض الدهنية غير المشبعة تكون سامة لها وبهذا يمكن ان نلاحظ ان العدد الميكروبي لاي منتوج دهني متزنخ سوف ينخفض مع زيادة تطور التزنخ.

* **تفاعلات تأكسدية اخرى:**

يتفاعل الاوزون بسهولة مع الاواصر المزدوجة عند درجات الحرارة المنخفضة لتكوين مركبات تعرف بالاوزونيدات Ozonides، ويمكن توضيح التفاعل في المعادلة التالية:

 O – O

– CH= R2 , R1 – C C– R2 R1– CH O3 + R1– CH= CH– R2

 H O H 3O

 الاوزونيد

 يمكن ان تحلل الاوزونيدات بالماء الحار في جو من الهيدروجين ومع بيروكسيد الهيدروجين.

 عند اذابة حامض الاوليك في حامض الخليك يتكون الاوزونيد بسرعة عند درجة حرارة الثلج واذا تحلل بالماء الحار تتكون مركبات عديدة منها الازيلياك شبه الالديهايد وحامض الازيلياك، ان التحلل تحت جو من الهيدروجين يمنع التأكسد الثانوي وتكون النواتج الازيلياك شبه الالديهايد. من الجهة الاخرى فان اضافة بيروكسيد الهيدروجين والتسخين يؤدي الى انتاج حامض الازيلياك وهذه الطريقة هي المتبعة تجارياً لانتاج حامض الازيلياك من احماض الاوليك والبالمتوليك الموجودة في الدهون الحيوانية.

 تتاكسد الاحماض الدهنية غير المشبعة ايضاً بواسطة العديد من العناصر المؤكسدة المعروفة والشائعة مثل حامض الكروميك وحامض النتريك والبيروسيدات وبرمنغنات البوتاسيوم. وتقود الاكسدة الطويلة الى انكسار الاصرة غير المشبعة لتكوين احماض احادية وثنائية القاعدة والديهايدات ومنتجات اخرى.

 يتفاعل حامض النتريك بشدة مع الاحماض غير المشبعة وتنكسر الاصرة المزدوجة فتتكون احماض مختلفة احادية القاعدة مثل الفورميك Formic والكابروييك من تفاعل النتريك مع الاوليك وثنائية القاعدة مثل حامض الاديبيك Adipic والبايمليك Pimelic والسوبريك Suberic.



  

 Pimelic Suberic

 يؤدي تأكسد البيراسيد في درجات الحرارة الواطئة الى تكوين مركبات الاوكسجين الاضافي Epoxy. ان تأكسد مركبات الاوكسجين الاضافي الناتج من الاكسدة مع بيروكسيد الهيدروجين في حامض الخليك الثلجي يمكن ان ينتج من تكوين حامض البيراسيد Peracetic. ثم تؤدي اكسدة البيراسيد الى تكوين مركبات الاوكسجين الاضافي.



 فأكسدة البيراسيد كحامض الاوليك وحامض الالياديك تنتج حوامض اوكسجينية تنصهر عند 52 م˚ و 58.5 م˚ على التوالي، وان التحلل المائي لهذه الاحماض ينتج احماض الستياريك ثنائي الهيدروكسيل والتي تنصهر عند 96 م˚ 132 م˚ على التوالي.

 يمكن استعمال حامض الكروميك في الانشطار التاكسدي للاحماض غير المشبعة دون هجرة الاصرة المزدوجة، فأنه يؤكسد حامض الستياريك احادي الهيدروكسيل عند ذرة الكاربون رقم 12 الى حامض الستياريك الكيتوني عند ذرة الكاربون رقم 12 ويشطر الستياريك ثنائي الهيدروكسيل عند الاصرة التي تربط ذرات الكاربون المتصلة بها مجاميع الهيدروكسيل.

 ان برمنغنات البوتاسيوم القاعدية توفر طريقة لاكسدة الاحماض الدهنية غير المشبعة حيث يتم التفاعل بسهولة ويمكن السيطرة عليه، يؤدي التأكسد اولاً الى انتاج احماض هيدروكسيلية ثم مركبات الانشطار، وتحت ظروف محددة يمكن عزل الاحماض الهيدروكسيلية بكميات جيدة. فاذا عزلت هذه الاحماض من حامض الاوليك والالياديك فأن حامض الستياريك ثنائي الهيدروكسيل من حامض الاوليك ينصهر عند درجة حرارة 132 م وذلك الناتج من الالياديك ينصهر عند 96 م˚ وان درجات الانصهار هذه عكس الدرجات المستحصلة من اكسدة البيراسيد وهذا يقود الى الاستنتاج بان الظروف القاعدية تؤدي الى تغير البناء.

**المواد المضادة للاكسدة: Antioxidant**

وهي عوامل تُعطل او تُثبط الاكسدة الذاتية عند تواجدها ولو بتراكيز قليلة في الانظمة الغذائية الدهنية والزيتية وتدعى هذه العوامل بمضادات الاكسدة، ومن الناحية النظرية تعمل هذه المواد باتجاهات عدة، فمثلا تتنافس بعض هذه المواد على ربط الاوكسجين قبل غيرها او قد تؤخر عملية البدء او التنشيط عن طريق منع تكوين الجذور الحرة او تثبيط العوامل المساعدة، الا ان اهم عمل تقوم به المواد المضادة للاكسدة هو منعها تكاثر الجذور الحرة اثناء خطوة التكاثف اذ تقوم بدور الواهب للهيدروجين الذي يرتبط مع الجذور الحرة المتكونة. توجد جميع هذه الميكانيكيات في الانظمة الغذائية.

 ان الجذر الحر للمادة المضادة للاكسدةA• يكون غير فعال، اي انه لا يتمكن من البدء بسلسلة من عملية التكاثر او تكوين الجذور الحرة وبدلاً من ذلك فأنه يدخل في تفاعلات الانهاء
(Babinska *et al*.,2006).

A• +A• A –A او A• + ROO• ROOA

 وقد تتكون المادة المضادة للاكسدة مرة اخرى في الوسط اذا وجدت مادة اخرى ثانوية تهب الهيدروجين BH وكما مبين فيما يأتي:

A• + BH AH + B•

AH + LOO LOOH + A

 AH + L LH + A

**AH=** **مواد مانعة للاكسدة، LOO•، L•= الجذور الحرة**

**A = الجذور الحرة للمادة المانعة للاكسدة**

**LH, LOOH = مركبات كاربونية مستقرة (كحولات، الديهايدات، كيتونات)**

**شكل (6) : مخطط ميكانيكية عمل مضادات الاكسدة**

 تعمل المواد المضادة للاكسدة على اطالة فترة التحفيز، اذ تتناسب فترة الاطالة طردياً مع تركيز المادة المضادة للاكسدة والى حد معين. الا ان التراكيز الزائدة من المادة المضادة للاكسدة تكون غير فعالة وقد يكون لها تأثير عكسي احياناً.

 من الصفات المرغوبة في مضادات الاكسدة هي قابليتها على التحمل Carrythrough التي تعبر عن قابلية البقاء اثناء عمليات القلي او التحميص وتحسين نوعية الخزن في الاغذية المحضرة من الدهون الثابتة. والخاصية الاخرى المرغوبة هي ان يكون فعالاً بتـــــــــراكيز واطئة 0.001 - 0.01 % وان لا يضيف صفات غير مرغوبة للنظام الذي يستعمل فيه حيث لا يؤثر في مواصفات المادة الغذائية )طعم، لون، الرئحة (ولا يتفاعل مع مكوناتها، كما لا يتداخل مع عبوات تخزين المادة الغذائية وله قابلية المزج مع المادة الغذائية وسهولة التطبيق وان يكون ملائماً للاستعمال وامين التداول ومنخفض الكلفة. يتمتع بثابتية عالية أثناء مرحل تصنيع المادة الغذائية وتخزينها، أن يكون مضاد التأكسد ومنتجات تأكسده غير سامة حتى لو أضيفت بجرعات أعلى من تلك التي يمكن إضافتها عادة للطعام.

**تصنيف مضادات التأكسد حسب آلية عملها:**

 هناك العديد من التصنيفات التي يمكن أن تندرج ضمنها مضادات التأكسد، فقد صنف Ingold مضادات التأكسد تحت مجموعتين:

- مضادات تأكسد أولية) كسر السلسلة( تتفاعل مع الجذور الليبيدية لإنتاج منتجات ثابتة.

 -مضادات تأكسد ثانوية )وقائية (تؤخر وتثبط تفاعل سرعة البدء.

 صنفت أيضاً مضادات التأكسد إلى خمس مجموعات) :مضادات تأكسد أولية، كاسحات الأوكسجين، مضادات تأكسد ثانوية، مضادات تأكسد إنزيمية، عوامل التمخلب( ويعد التصنيف التالي الأكثر شمولاً.

 فمثلاً مضادات التأكسد أولية تثبط الجذور الليبيدية الناتجة عن تفكك الكيل هيدروبيروكسيد وتمنع من استمرارية تفاعلها لتشكيل المنتجات الانشطارية، أهم هذه المركبات:

 تُعد المركبات الفينولية الطبيعية والمخلقة احد الاصناف الرئيسة للمواد المضادة للاكســـــــــــــدة والتي منها مشتقات الكايتكول والتانينات والكوسيبول وحامض الكاليك والتوكوفيرولات.

 ينتشر حامض الكاليك بشكل واسع في المملكة الخضراء على شكل تانينات tanninsويوجد حامض الكاليك في الشاي .

 تنحل الكالات البسيطة مثل ايتيل وبروبيل وبوتيل غالات بالماء والدسم، أما الكالات الأكثر تعقيداً فهي غير منحلة بالماء ومنحلة في الدسم والزيوت. ودرست الخواص المضادة للتأكسد لحامض الكاليك من قبل العالم Golumbie و Mattilوكشفا أنها تسلك سلوك مضادات التأكسد الأولية .





 والسيسامول وهو مشتق فينولي طبيعي يعد المكون الرئيسي لزيت السمسم، يحمي المنتجات الطبيعية من التأكسد، كما يحمي الجسم من الضرر والتلف الذي تسببه الجذور الحرة، ويسلك أيضاً سلوك مضاد فطري، ويستعمل في المستحضرات الصيدلانية**.**



C7H6O3 Sesamol

 امــا الفينولات المــصنعة فــــــهيButylhydroxyanisole (BHA) وButyl hydroxytoluene (BHT) وPropylogallate (Pg). وجميعها تدخل بــــــــــــــــــصورة مباشرة في عملية تثبـــــــيط تكويــــــــــــــن وتــــــــــــــــــــــــــكاثر الـــــــــــــــــــــجذور الحرة وتـــــــــمنع تسلسل التفاعلات اللاحقة (Baiao and Lara, 2005).

 يعد مضاد التأكسد BHA فعالاً في الدهون ذات المنشأ الحيواني، والأطعمة المحتوية على منتجات حيوانية، وهو ثابت أثناء عمليات تصنيع الأطعمة المخبوزة – ربما يعود ذلك لثباته في الوسط القلوي الخفيف – كما يعد مركباً متطايراً لذا يرغب في استعماله بالأطعمة المخبوزة عكس الأطعمة المطهية جيداً.

 يعتبر BHAمضاد تأكسد جيد للزيوت الطيارة إذ يحافظ على نكهتها ولونها، ويمنع BHA عملية تأكسد الاحماض الدهنية ذات السلسلة القصيرة الموجودة في زيوت جوز الهند وبذر النخيل المستعملة في المنتجات الحبيبية القوام والحلويات.

 يستعمل TBHQTertiary butylhydroquinoneوهو مركب عضوي اروماتي فينولي كمضاد تأكسد جيد في الزيوت النباتية والحيوانية خاصة زيوت القلي والزيوت المهدرجة.





**شكل (41): TBHQ Tertiary butylhydroquinone C10H14O2**

 ومن المركبات الفينولية الطبيعية الاخرى المستعملة كمضادات اكسدة مركب حامض الـنورديهايدروكيوراتيك Nordihydroguaretic acid ويختصر NDGA هو مضاد تأكسد طبيعي تعد أهم مصادره بعض النباتات الصحراوية الموجودة بالمكســــــــــــــــيك وأمريكا مــــنها نبات bush (*Larrea divaricate*) creosote يستعمل كمضاد تأكسد في الدهون الزيوت ويقلل من الأضرار الناتجة عن تأكسد الخلايا بفضل سلوكه المثبط للجذور الحرة، والايثوكسيكواين Ethoxyquin والتي تستعمل بالدرجة الاساسية في حفظ اللحوم.

  

 **شكل (43):حامض الـنورديهايدروكيوراتيك شكل (44): الايثوكسيكواين**

 استعملت المركبات الفينولية الطبيعية كمضادات الاكسدة منذ القديم فمثلاً تدخين اللحوم والاسماك مع اضافة التوابل لها، اذ تساهم هذه المعاملات في تأخير الزناخة ولو جزئياً ومن المضادات الطبيعية للاكسدة التوكوفيرولات ولهذه المواد فعالية فيتامين E داخل الجسم.

 ان كافة مضادات الاكسدة التي ذكرناها تسمى بمضادات الاكسدة الاولية، اذ انها تتدخل هذه المواد بصورة مباشرة مع عملية تكوين او تكاثر الجذور الحرة وتمنع سلسلة التفاعلات اللاحقة. وهناك مواد اخرى لها تأثير مباشر ضعيف على الاكسدة الذاتية للدهون، لكنها تتمكن على نحو كبير من تسريع فعل مضادات الاكسدة الاولية ويطلق على هذه المواد المعاونات Synergists او مضادات التأكسد المخلبية تقوم عوامل التمخلب وبمساهمة الازواج الالكترونية بتشكيل معقد مع المعادن المعززة لعملية التأكسد مثل معدن الحديد والنحاس، ومن احسن الامثلة عليها حامض الليمون(الستريك) Citric acid وحامض الاسكوربيك Ascorbic acid ويعتقد ان الفعل غير المباشر لهذه الاحماض يعود الى كونها مركبات تزيل الأوكسجين من المنظومات المغلقة والى قابليتها على تكوين مركبات معقدة مع الايونات المعدنية التي تساعد في عملية اكسدة الدهون وذلك لاحتوائه على مجاميع كاربوكسيلية ومجموعة هيدروكسيل تعمل على تكبــــــــــــــــيل او ربط الايونات المعدنية. وأملاح ايثــــــــــــــــــــــــــــلين ثنائي أميــــــــــــــــــــــن رباعي حامض الخـــــــــــــــــــــــليك EDTA ethylenediaminetetraacetic acid  الذي يحتوي اربع مجاميع هيدروكسيل ومجموعتان من امين.

 



شكل (45): EDTA ethylenediaminetetraacetic acid

 استعمل الليسيثين الخام مادة مضادة للاكسدة وقد يعود جزء لا بأس به من فعاليته في هذا المجال الى وجود التوكوفيرولات في المادة الخام، اما الليسيثين النقي فيكون اقل فعالية بوصفه مادة اولية مضادة للاكسدة لكنه قد يعمل معاوناً وذلك لقابلية مجموعة حامض الفوسفوريك الموجودة في تركيبه على ربط الايونات المعدنية. اضافة الى تفاعله مع البيروكسيدات الدهنية لتكوين مركبات بوليميرية داكنة تحتوي على الفسفور بطريقة المواد الوسطية الذائبة بالدهن.

 وتشمل مضادات الاكسدة ايضاً مضادات التأكسد البيولوجية وتتضمن عدة إنزيمات مثل اوكسيديز الكلوكوزGlucose oxidase enzyme (GOx)، هذا الانزيم ينتج من الاعفان ويستخلص عادة من عفن  *[Aspergillus](https://en.wikipedia.org/wiki/Aspergillus%22%20%5Co%20%22Aspergillus) [niger](https://en.wikipedia.org/wiki/Aspergillus_niger%22%20%5Co%20%22Aspergillus%20niger)* و*Penicillium notatum* ويستطيع هذه الإنزيم إزاحة الأوكسجين أو المركبات شديدة الفعالية من الأطعمة، كما انه يعمل كمضاد بكتيري ايضاً، وتضم هذه المجموعة التوكوفيرولات ، ويمكن تصنيف هذه المركبات ضمن مضادات التأكسد الأولية.

 كما تعد الطحالب ولب وقشور الحمضيات وبودرة الكاكاو والأعشاب والبهارات وأزهار الشوفان والزيتون والبرتقال الهندي والمستخلصات النباتية والثوم وثمار الصويا من أهم مصادر مضادات التأكسد الطبيعية.

**توليفات مضادات التأكسد:**

 يستعمل مزيج من مضادات التأكسد في الزيوت والدهون لتامين منتجات أفضل لتلية حاجات ومتطلبات المستهلك فالجمع بين مضادي تأكسد يزيد من ثباتية المنتج مما لو أضيف كل منهما على حدا، فمثلا يستخدم مزيج من TBHQ أوبروبيل غالات مع BHA أو BHTوبإضافة حامض الليمون لزيادة مدة التخزين الزيوت والدهون، ولزيادة ثباتية البضائع المخبوزة الداخل في تركيبها الزيوت والدهون، اخذين بالحسبان فائدة استعمال حامض الليمون في هذا المزيج باعتباره ممخلب للمعادن.

**أهم الفوائد المميزة لاستعمال مزيج من مضادات التأكسد:**

1- مزج مضادات التأكسد مع بعضها يؤمن فعالية أعلى وفوائد أفضل مما لو وضع كل مضاد على حدا .

2- يؤمن حدود وضوابط أفضل لتطبيقات مضادات التأكسد.

3- يوفر تعاون بين مزيج مضادات التأكسد والاحماض.

4- يؤمن امتزاج أفضل بين طور مضاد التأكسد وطور الدهون والزيوت.

5- تغيير بسيط باللون يمكن أن تسببه بعض مضادات التأكسد لو أضيفت لوحدها.

6-مزيج مضادات التأكسد اكثر ملائمة للاستعمال من مضاد التأكسد الصرف.

**تقييم فعالية مضادات التأكسد:**

 توجد عدة طرائق لتعيين مدى فعالية مضادات التأكسد بالدهون والمنتجات الحاوية على مواد دهنية، ومن أهم هذه الطرائق:

1. **اختبارات مدة التخزين :**

 يعتبر هذا الاختبار احد الاختبارات العملية لتقدير فعالية مضاد التأكسد، تحفظ فيه عينة الاختبار بنفس شروط حفظ المنتجات التجارية، وتقيم باختبارات حسية وكيميائية متكررة ودورية لتعيين بدئ عملية التأكسد.

-**2 اختبارات امتصاص الأوكسجين:**

 تعتمد الطريقة على تعيين كمية الأوكسجين المستهلك خلال عملية التأكسد ويمكن تعيين ذلك ببساطة بحساب مقدار التغير بوزن العينة.

**-3 اختبار التخزين بالفرن :**

 توضع العينة بفرن حراري بدرجة تتراوح بين60 – 63 م لتسريع تشكل البيروكسيد وتجرى عدة اختبارات حسية)تغير الطعم واللون والرائحة (وكيميائية )تعيين قيمة البيروكسيد وغيرها ( لتعيين مقدار التزنخ.

**-4 طرائق الأوكسجين الفعال:**

 تعد هذه الطريقة من أكثر الطرائق انتشاراً، تحدد ثباتية الدهون تجاه التأكسد لتقيم قوة عمل مضاد التأكسد، ويتم ذلك بضخ الأوكسجين ضمن عينة مسخنة حرارياً لتسريع التأكسد، تحدد قيمة البيروكسيد بمدد زمنية متكررة لمعرفة بدء عملية التأكسد، تعد الطريقة طريقة تقويم سريعة.

**-5 اختبار: (2,2-diphenyl-1 –picrylydrazyl) DPPH**

 ويعتمد مبدا هذا التفاعل على التغير اللوني لجذر كاشف الــــ DPPH من اللون البنفسجي الشديد الى اللون الاصفر الفاتح ويستعمل لهذا الغرض مطياف ما فوق البنفسجي والمرئي

UV/VISIBLE وتقاس الامتصاصية عند طول الموجة nm 515 ويتم التفاعل بالشكل التالي:



**مركب 2,2-diphenyl-1 –picrylydrazyl**

 **-6 اختبار توليد القدرة الارجاعية:**

 هو اختبار يقاس فيه القدرة الارجاعية لمضاد التأكسد على تحويل ايون الحديدوز الى الحديديك ويتم تحديدها من خلال الكاشف فــــينانثرولين وتقاس الامتصاصية عــند الطول .560 nm

**الانزيمات المحللة للدهون:**

 وهي تعمل على الاصرة الأستيرية الموجودة بين الكليسرول والأحماض الدهنية او بين الكليسرول ومجموعة الفوسفات مثل انزيمات الفوسفولايبيز او الاصرة الموجودة بين الكليسرول والكولين او الفوسفات والكولين مثل انزيم الليثينيز كذلك انزيم اللايبيز الذي يعمل على استحلاب المواد الدهنية حتى يجعلها تذوب في الماء.

 التصنيف الأدق لهذه الانزيمات يعتمد على نوع الحامض ونوع الكحول اللذين يؤلفا الاستر. وبعض هذه الانزيمات تتصف بالدقة بالنسبة لمجموعة من المركبات والبعض الآخر يتصف بالدقة المطلقة، ويقع تحت هذا القسم ما يلي:

1 - الأنزيمات المحللة للدهون الحقيقية True Lipases وهي التي تلامس تحلل (أو تركيب) الدهون إلى احماض دهنية (وزنها الجزيئي عالي) وكليسرول، تحلل الانزيمات الدهون غير الذائبة واسترات الاحماض الدهنية مائياً الى كليسرول واحماض دهنية حرة في الوسط القاعدي، وتُعرف العملية بالصوبنة والاملاح الناتجة بالصابون، لذلك يقترن اسم الصوبنة بالتحلل المائي للدهون.

 ومن أمثلتها انزيم اللايبيز، عند وجود كمية ثابتة من الانزيم فان نشاط اللايبيز وسرعة التفاعل الانزيمي يزداد مع زيادة المساحة السطحية للدهن المستحلب، اذ تكون سرعة التحلل المائي اكبر في المستحلبات الدقيقة التشتت مثل الحليب المجنس والكريم المجنس.

 تتم عملية تحلل الاواصر الاسترية بفعل انزيم اللايبيز الذي يتوافر بكثرة في جميع الانسجة المحتوية على الدهون. اذ يحدث التحفيز الانزيمي عند السطح البيني Interface للطورين لمستحلب الزيت – الماء ومن وجهة النظر التقنية البحتة، فان اهم مايترتب على فعل انزيم اللايبيز في الاغذية هو تطور طعم لاذع نتيجة لتحرر الاحماض الدهنية الحرة، فضلاً عما تساهم به الاحماض الدهنية القصيرة السلسلة والمتطايرة (مثل حامض البيوتريك) في اضفاء رائحة خاصة في الاغذية. ويطلق على هذا النوع من التلف التزنخ التحللي والذي يحدث عادة في الكريم والزبد والنقل Nuts وفي الزيتون وهي واحدة من اهم المشاكل التي تواجه صناعة زيت الزيتون اذ يؤدي الى زيادة محتواه من الاحماض الدهنية الحرة خاصة عند الخزن.

 يعد وجود الاحماض الدهنية الحرة في الزيوت المستعملة للاكل شيئاً غير مرغوب فيه وتتوجب ازالتها في عملية التصفية Refining مما يؤدي الى خسارة في الريع. وهناك بعض الحالات التي يكون فيها التحلل المائي مرغوباً فيه كما في انتاج الجبن الازرق Blue cheese اذ يعزى طعمه المميز الى تحرر الاحماض الدهنية القصيرة السلسلة نتيجة لفعل لايبيز العفن في دهن الحليب.

تختلف اللايبيزات المأخوذة من مصادر مختلفة في درجة تخصصها اذ تظهر اللايبيزات تخصصاً عالياً بالنسبة لطول سلسلة الاحماض الدهنية ودرجة التشبع وموقع الاحماض الدهنية من جزيئة الكليسرول والحالة الفيزيائية لمادة التفاعل.

 تتكون المركبات الوسطية (الكليسريدات الثنائية والاحادية) خلال التحلل واخيراً ينتج الكليسرول، كما يلي:



 وبصورة عامة تحلل اللايبيزات الكليسيرات الثلاثية التي فيها احماض دهنية ذات 4 – 10 ذرات كاربون بسرعة اكبر من تلك المحتوية على الاحماض دهنية ذات سلاسل اطول.

 تقوم اللايبيزات بازالة الاحماض الدهنية طويلة السلسلة (C12 – C18) والاحماض الدهنية غير المشبعة الاكثر شيوعاً (C18) بنفس السرعة تقريباً. اما المركبات الوسطية (الكليسيريدات الثنائية والاحادية) المتكونة نتيجة التحلل المائي فلها اهمية كبيرة في التصنيع الغذائي وتستعمل كمواد مستحلبة.

 اما انزيم اللايبوكسديز Lipoxidase فيساعد في اكسدة دهون الخضروات خاصة، اما في اللحوم فتوجد مادة يطلق عليها الهيماتينHematin تساعد في اكسدة الدهون فيها.

2- الاستريزات البسيطة Esterases وهي التي تحليل الروابط الاسترية (أو تركيب) الاسترات البسيطة التي تتألف من الأحماض الدهنية والكحولات ذات السلسلة الكربونية القصيرة، أي التي لها وزن جزيئي منخفض نسبياً.

3- الأنزيمات المحللة لاسترات الفوسفات Phosphatases وهي التي تحلل استرات حامض الفوسفوريك إلى كحول وفوسفات غير عضوية هي عبارة عن خليط من الايونين HPO4--, H2PO4-- وذلك يعتمد على درجة pH الوسط، ولهذا السبب يستعمل الرمز Pi اختصاراً للدلالة على الفوسفات الناتجة. تسمى هذه المجموعة بانزيمات الفوسفولايبيز Phospholipase وهي الانزيمات التي تحول الاحماض الدهنية الفوسفورية (الفوسفولبيدات)  إلى [الأحماض الدهنية](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D9%85%D8%B6_%D8%AF%D9%87%D9%86%D9%8A) .وحامض الفوسفوريك، ويوجد هناك أربع فئات رئيسية، هي A، B،C وD، تتميز عن بعضها في نوع ردود الفعل التي تحفزها:

 -[فسفولايبيز A ويقسم](https://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D9%81%D8%B3%D9%81%D9%88%D9%84%D9%8A%D8%A8%D8%A7%D8%B2_%D8%A3%D9%84%D9%81%D8%A7&action=edit&redlink=1) إلى قسمين هما:

(أ) - [فسفولايبيز A1](https://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D9%81%D8%B3%D9%81%D9%88%D9%84%D9%8A%D8%A8%D8%A7%D8%B2_%D8%A3%D9%84%D9%81%D8%A7&action=edit&redlink=1)  يكسر سلسلة الحامض الدهني الاول.SN-1

 (ب)- [فسفولايبيز A2](https://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D9%81%D8%B3%D9%81%D9%88%D9%84%D9%8A%D8%A8%D8%A7%D8%B2_%D8%A3%D9%84%D9%81%D8%A7&action=edit&redlink=1) يكسر سلسلة الحامض الدهني الثاني SN-2 من سلسلة الأسيل محرراً [حامض الأرجيدونيك](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D9%85%D8%B6_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B1%D8%A7%D9%83%D9%8A%D8%AF%D9%88%D9%86%D9%8A%D9%83). ويعمل على الفوسفولبيدات وبالاخص جزيء [الليسيثين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%84%D9%8A%D8%B3%D9%8A%D8%AB%D9%8A%D9%86) اذ يحلله الى الأحماض الدهنية والا[ليزوليسيثين](https://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D9%84%D9%8A%D8%B2%D9%88%D9%84%D9%8A%D8%B3%D9%8A%D8%AA%D9%8A%D9%86&action=edit&redlink=1) والأحماض الدهنية. ويتواجد بشكل عام في [سم النحل](https://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D8%A7%D9%86%D8%B2%D9%8A%D9%85_%D8%B3%D9%85_%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%AD%D9%84&action=edit&redlink=1) والثعابين

* -[فسفولايبيز-B](https://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D9%81%D8%B3%D9%81%D9%88%D9%84%D9%8A%D8%A8%D8%A7%D8%B2_%D8%A8%D9%8A&action=edit&redlink=1) يكسر سلسلة الحامض الدهني الاول SN-1 او الثانيSN-2 على حد سواء وهو يسمى ايضاً انزيم لايزوفوسفولايبيز(lysophospholipase). والشائع ان يعمل هذا الانزيم على الليسيثين.
* -[فسفولايبيز C](https://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D9%81%D8%B3%D9%81%D9%88%D9%84%D9%8A%D8%A8%D8%A7%D8%B2_%D8%B3%D9%8A&action=edit&redlink=1)  - يوجد منه سته انواع هي بيتا β وكاما γ ودلتا δ وابسيلون εوايتا ζ وزيتاη ويتواجد في الثديات، يقوم بكسر الاصرة الفسفورية قبل مجموعة الفوسفات، وتحرير [ثنائي الكليسريد](https://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D8%AB%D9%86%D8%A7%D8%A6%D9%8A_%D8%A7%D9%84%D8%BA%D9%84%D9%8A%D8%B3%D9%8A%D8%B1%D9%8A%D8%AF&action=edit&redlink=1) (diacylglycerol) ومجموعة [الفوسفات](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%88%D8%B3%D9%81%D8%A7%D8%AA) المتضمنة مجموعة الراس، يلعب هذا الانزيم دوراً مركزياً في وتحرير المرسل الثاني [اينوزيتول](https://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D8%A7%D9%8A%D9%86%D9%88%D8%B2%D9%8A%D8%AA%D9%88%D9%84&action=edit&redlink=1) (inositol) ثلاثي الفوسفات.
* [فسفولايبيزD](https://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D9%81%D8%B3%D9%81%D9%88%D9%84%D9%8A%D8%A8%D8%A7%D8%B2_%D8%B3%D9%8A&action=edit&redlink=1) - يسمى انزيم اللايبوفوسفوداي ايستريز وكذلك الليسثينيز او انزيم كولين فوسفاتيز يقوم هذا الانزيم بكسر الاصرة الفسفورية بعد مجموعة الفوسفات، ويحرر [حامض الفسفاتيديك](https://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D8%AD%D9%85%D8%B6_%D8%A7%D9%84%D9%81%D8%B3%D9%81%D8%A7%D8%AA%D9%8A%D8%AF%D9%8A%D9%83&action=edit&redlink=1) [والكحول](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%AD%D9%88%D9%84). يتواجد في مجموعة واسعة من الكائنات الحية كالحيوانات والنباتات والفايروسات والبكتيريا والخمائر. يوجد منه ثلاثة انواع هي الفا α وبيتا β وكاما γ.



1. الأنزيمات المحللة للبيروفوسفات Pyrophosphateses وهي التي تحلل روابط البيروفوسفات dipolyphosphate (بين جزيئتين من حامض الفوسفوريك) إلى اورتو فوسفات (أحادية).



**البيروفوسفات**  dipolyphosphate

**تأثيرات الاكسدة في الانظمة الغذائية:**

1. **النكهات المؤكسدة Oxidized flavors:** ان اول تأثير لاكسدة الدهون في الاغذية هو تطور رائحة ونكهة غير مرغوب بها، وقد امكن التعرف على التركيب الكيميائي لعدد كبير من النواتج المسؤولة عن الزناخة عند اكسدة الدهون وفي اغلب الاحيان تكون هذه النواتج عبارة عن مركبات كاربونيلية قصيرة السلسلة تتكون عند تحلل البيروكسيدات. اذ ان الطبيعة النهائية للتقويم الحسي تعتمد على النظام الغذائي قيد الدراسة، فمثلاً يشبه طعم المواد الغذائية المحتوية على نسبة واطئة من الرطوبة بالزيت القديمold او الدهني tallowy like، اما اكسدة الدهون في الاغذية المحتوية على نسبة عالية من الماء كالحليب فيؤدي الى انتاج نكهة غير مرغوب بها تسمى cardboard mlike او نكهة الحليب المؤكسد.
2. **ارتداد النكهة Flavor reversion**: وهو احد اغنواع التلف التأكسدي ذات الاهمية الكبيرة في بعض الزيوت النباتية مثل زيت فول الصويا، اذ يكون زيت فول الصويا المكرر حديثاً عديم الطعم. الا ان تخزينه تحت ظروف غير اعتيادية (تعرض للهواء ودرجات الحرارة العالية) يؤدي الى ظهور نكهة غير مرغوب فيها يطلق عليها بنكهة البقول (فولي) beany او نكهة السمك fishy او المعدني Metallic.

ان مصطلح الارتداد والذي يعني ان الزيت المكرر يرجع الى نكهته الاولى قبل ان يكرر(نكهة الزيت الخام) غير صحيح، والسبب يعود الى ان النكهة الجديدة المتكونة التي رجع اليها الزيت هي نتيجة مركبات جديدة تختلف عن المركبات المسؤولة عن نكهة الزيت الخام.

 ان سبب ارتداد النكهة يعود الى اكسدة حامض اللينوليك وتحصل عادة في زيوت بذور الكتان وفول الصويا والعصفر لمحتواها العالي من الدهون غير المشبعة وانتاج الالديهايدات غير المشبعة.

1. **التأثير على اللون:** تؤثر الاكسدة بصورة غير مباشرة في لون الاغذية، فمثلاً تتحطم صبغات الكاروتينويدات في الاغذية نتيجة لتكاثر الجذور الحرة خلال اكسدة الدهون كما تحصل تفاعلات ميلارد البنية بين البروتينات والمركبات الكاربونيلية الناتجة عن اكسدة الدهون. كما هو الحال في اصفرار الاسماك الدهنية المجمدة وهذا ما يعرف بصدأ الاسماك.
2. **التأثير في القوام Effect on texture:** ان التفاعل بين البروتينات ونواتج تحلل الدهون يؤدي الى حدوث تغيرات في القوام، بسبب انتاج الجذور الحرة كما تتمكن عدة مجاميع في جزيئة البروتين من ان تتحول الى جذور حرة عند فقدانها لذرة هيدروجين تعطيها الى جذر حر من اصل دهني. كما تتحد الجذور الحرة الناتجة من البروتينات بواسطة جسور الترابط المتقاطعة وهذا يؤدي الى اعطاء صلابة للمنتوج.
3. **انتاج المركبات السامة Toxicity componed:** تتكون مركبات سامة نتيجة الاكسدة تؤدي الى حالات تسمم كثيرة، وتعتبر الدهون المؤكسدة أو المتزنخة سامة إلى حد كبير وهي تنتج من إعادة استعمال الزيوت في عمليات القلي وبوجود الهواء مما يتسبب في فقد الفيتامينات الموجودة به بالإضافة إلى تكوين معقدات، وإلى أكسدة الزيوت وتكوين مواد ضارة بالصحة والذي ينتج عنها إثارة الغشاء المخاطي المعوي، والإسهال وقد يكون لها نشاط سرطاني على المدى الطويل.

 فمثلاً يوجد حامض الايريوسيك Erucic acid بتركيزات مرتفعة في الشلغم. وهو عبارة عن حامض دهني غير مشبع يحتوي على 22 ذرة كربون ورابطة زوجية واحدة. يسبب هذا الحامض عند وجوده بتركيزات منخفضة تصل إلى 15% مشكلات خطيرة في القلب كالتهاب عضلة القلب والذي يؤدي إلى عدم القدرة على استعمال الأوكسجين بكفاءة.