# A CIÊNCIA DOS ANTIOXIDANTES

*Os antioxidantes são compostos aromáticos que contêm, no mínimo, uma hidroxila. Podem ser sintéticos, amplamente utilizados pela indústria alimentícia, ou naturais, substâncias bioativas que fazem parte da constituição de diversos alimentos.*

Como o próprio nome diz, antioxidantes são substâncias capazes de agir contra os danos normais causados pelos efeitos do processo fisiológico de oxidação no tecido animal. Nutrientes (vitaminas e minerais) e enzimas (proteínas no corpo que ajudam as reações químicas) são antioxidantes. Acredita-se que os antioxidantes ajudam na prevenção do desenvolvimento de doenças crônicas, como o câncer, doenças cardíacas, derrame, Mal de Alzheimer, artrite reumatoide e catarata.

O estresse oxidativo ocorre quando a produção de moléculas prejudiciais, chamadas de radicais livres, está além da capacidade protetora das defesas antioxidantes. Os radicais livres são átomos quimicamente ativos ou moléculas que apresentam um número ímpar de elétrons na sua órbita externa. Exemplos de radicais livres são o ânion superóxido, o radical hidroxila, os metais de transição, como o ferro e o cobre, o ácido nítrico e o ozônio.

Os radicais livres contêm oxigênio conhecido como espécies reativas de oxigênio (ROS), que são os radicais livres biologicamente mais importantes. Os ROS incluem os radicais superóxidos e o radical hidroxila mais os derivados do oxigênio que não contém elétrons ímpares, como o peróxido de hidrogênio e o oxigênio singleto. Como têm um ou mais elétrons ímpares, os radicais livres são altamente instáveis; vasculham o organismo para se apropriar ou doar elétrons e, por esta razão, prejudicam as células, proteínas e DNA (material genético). O mesmo processo oxidativo também causa o ranço no óleo, a cor marrom em maçãs descascadas e a ferrugem no ferro.

## MECANISMO DE AÇÃO

Os antioxidantes podem ser classificados em primários, sinergistas, removedores de oxigênio, biológicos, agentes quelantes e antioxidantes mistos.

Os antioxidantes primários são compostos fenólicos que promovem a remoção ou inativação dos radicais livres formados durante a iniciação ou propagação da reação, através da doação de átomos de hidrogênio a estas moléculas, interrompendo a reação em cadeia.

O átomo de hidrogênio ativo do antioxidante é abstraído pelos radicais livres R• e ROO• com maior facilidade do que os hidrogênios alílicos das moléculas insaturadas. Assim, formam-se espécies inativas para a reação em cadeia e um radical inerte procedente do antioxidante. Este radical, estabilizado por ressonância, não tem a capacidade de iniciar ou propagar as reações oxidativas.

Os antioxidantes principais e mais conhecidos deste grupo são os polifenóis, como butil-hidroxi-anisol (BHA), butil-hidroxi-tolueno (BHT), terc-butil-hidroquinona (TBHQ) e propil galato (PG), que são sintéticos, e os tocoferóis, que são naturais. Estes últimos também podem ser classificados como antioxidantes biológicos.

Os sinergistas são substâncias com pouca ou nenhuma atividade antioxidante, que podem aumentar a atividade dos antioxidantes primários quando usados em combinação adequada. Alguns antioxidantes primários quando usados em combinação podem atuar sinergisticamente.

Os removedores de oxigênio são compostos que atuam capturando o oxigênio presente no meio, através de reações químicas estáveis, tornando-os, consequentemente, indisponíveis para atuarem como propagadores da autoxidação. O ácido ascórbico, seus isômeros e seus derivados são os melhores exemplos deste grupo. O ácido ascórbico pode atuar também como sinergista na regeneração de antioxidantes primários.

Os antioxidantes biológicos incluem várias enzimas, como glucose oxidase, superóxido dismutase e catalases. Estas substâncias podem remover oxigênio ou compostos altamente reativos de um sistema alimentício.

Os agentes quelantes/sequestrantes complexam íons metálicos, principalmente cobre e ferro, que catalisam a oxidação lipídica. Um par de elétrons não compartilhado na sua estrutura molecular promove a ação de complexação. Os mais comuns são o ácido cítrico e seus sais, os fosfatos e os sais de ácido etileno diamino tetra acético (EDTA).

Os antioxidantes mistos incluem compostos de plantas e animais que têm sido amplamente estudados como antioxidantes em alimentos. Entre eles estão várias proteínas hidrolisadas, flavonóides e derivados de ácido cinâmico (ácido caféico).

## ANTIOXIDANTES SINTÉTICOS E NATURAIS

Como já mencionado, os antioxidantes podem ser sintéticos, amplamente utilizados pela indústria alimentícia, ou naturais, substâncias bioativas que fazem parte da constituição de diversos alimentos.

Os antioxidantes sintéticos mais utilizados na indústria de alimentos são o BHA, BHT, PG e TBHQ. A estrutura fenólica destes compostos, permite a doação de um próton a um radical livre, regenerando, assim, a molécula do acilglicerol e interrompendo o mecanismo de oxidação por radicais livres.

Dessa maneira, os derivados fenólicos transformam-se em radicais livres. Entretanto, estes radicais podem se estabilizar sem promover ou propagar reações de oxidação.

O BHA é um antioxidante mais efetivo na supressão da oxidação em gorduras animais do que em óleos vegetais.

Como a maior parte dos antioxidantes fenólicos, sua eficiência é limitada em óleos insaturados de vegetais ou sementes. Apresenta pouca estabilidade frente a elevadas temperaturas, mas é particularmente efetivo no controle de oxidação de ácidos graxos de cadeia curta, como aqueles

contidos em óleo de coco e palma.

O BHT possui propriedades similares ao BHA, porém, enquanto o BHA é um sinergista para propilgalatos, o BHT não é. O BHA e o BHT podem conferir odor em alimentos quando aplicados em altas temperaturas em condição de fritura, por longo período.

O BHA e o BHT são sinergistas entre si. O BHA age como sequestrante de radicais peróxidos, enquanto o BHT age como sinergista, ou regenerador de radicais BHA.

O PG é um éster do 3,4,5 ácido triidroxibenzóico. Possui concentração ótima de atividade como antioxidante e quando usado em níveis elevados pode atuar como pró-oxidante. Seu poder para estabilizar alimentos fritos, massas assadas e biscoitos preparados com gorduras é baixo.

O TBHQ é um pó cristalino branco e brilhoso, moderadamente solúvel em óleos e gorduras e não se complexa com íons de cobre e ferro, como o galato. É considerado, em geral, mais eficaz em óleos vegetais do que o BHA ou o BHT; em relação à gordura animal, é tão efetivo quanto o BHA e mais efetivo do que o BHT ou o PG. O TBHQ é considerado também o melhor antioxidante para óleos de fritura, pois resiste ao calor e proporciona uma excelente estabilidade para os produtos acabados. O ácido cítrico e o TBHQ apresentam excelente sinergia em óleos vegetais.

O uso destes antioxidantes em alimentos é limitado. O TBHQ não é permitido no Canadá e na Comunidade Econômica Europeia. No Brasil, o uso destes antioxidantes é controlado pelo Ministério da Saúde que limita 200mg/kg para o BHA e o TBHQ, e 100mg/g para o BHT, como concentrações máximas permitidas.

Os antioxidantes naturais são moléculas presentes nos alimentos, em pequenas quantidades, que possuem a capacidade de interromper a formação de radicais livres. Desse modo, são capazes de reduzir a velocidade das reações de oxidação dos compostos lipídicos presentes em determinado produto.

Entre os antioxidantes naturais mais utilizados na indústria alimentícia podem ser citados os tocoferóis, os ácidos fenólicos e os extratos de plantas, como alecrim e sálvia.

Os tocoferóis, por serem um dos melhores antioxidantes naturais são amplamente aplicados como meio para inibir a oxidação dos óleos e gorduras comestíveis, prevenindo a oxidação dos ácidos graxos insaturados.

A legislação brasileira permite a adição de 300mg/kg de tocoferóis em óleos e gorduras, como aditivos intencionais com função de antioxidante.

Os tocoferóis estão presentes de forma natural na maioria dos óleos vegetais, em alguns tipos de pescado e, atualmente, são fabricados por síntese. Existem quatro tipos segundo a localização dos grupos metila no anel: α, β, γ, δ.

A atividade antioxidante dos tocoferóis é principalmente devida a capacidade de doar seus hidrogênios fenólicos aos radicais livres lipídicos, interrompendo a propagação em cadeia.

A atividade antioxidante relativa dos tocoferóis depende de vários parâmetros, incluindo temperatura, composição e forma da gordura (líquida, emulsão) e concentração de tocoferóis.

Com relação à temperatura, pesquisas revelaram que essa variável pode ter um efeito significativo no resultado de estudos de oxidação usando esses compostos. A atividade antioxidante relativa dos tocoferóis é $\delta > \gamma > \beta > \alpha$ em gordura de porco acima de 60ºC, mas essa ordem é alterada para $\alpha > \gamma > \beta > \delta$ entre 20°C e 40ºC. Verifica-se, também, que a atividade antioxidante relativa dos tocoferóis em diferentes gorduras armazenadas a 37 ºC é $\gamma = \delta > \alpha$, o que mostra o efeito do tipo de substrato.

O α-tocoferol pode atuar como antioxidante ou pró-oxidante, dependendo do sistema testado, da concentração, do tempo de oxidação e do método usado para acompanhar a oxidação; a concentração de tocoferol para otimizar a estabilidade oxidativa de óleo de soja é entre 400 e 600mg/kg.

Tendo como base a formação de hidroperóxidos em óleo de milho, o α-tocoferol exibe ótima atividade antioxidante em concentrações menores (100mg/kg) do que na correspondente emulsão óleo/água (250 a 500mg/kg).

Entretanto, baseando-se na de-

composição de hidroperóxidos, medida pela formação de hexanal, a atividade do α-tocoferol aumenta com a concentração, tanto no óleo quanto na emulsão.

Por outro lado, foram definidas concentrações ótimas de 100mg/kg para α, 250mg/kg para γ e 500mg/kg para δ tocoferóis para aumentar a estabilidade oxidativa de óleos de soja purificados e armazenados no escuro, à temperatura de 55ºC. Os tocoferóis apresentaram significantes efeitos pró-oxidantes em concentrações acima destes níveis.

Os ácidos fenólicos caracterizam-se pela presença de um anel benzênico, um grupamento carboxílico e um ou mais grupamentos de hidroxila e/ou metoxila na molécula, que conferem propriedades antioxidantes. São divididos em três grupos; o primeiro é composto pelos ácidos benzóicos, que possuem sete átomos de carbono. O segundo grupo é formado pelos ácidos cinâmicos, que possuem nove átomos de carbono, sendo sete os mais comumente encontrados no reino vegetal.

Os antioxidantes fenólicos funcionam como sequestradores de radicais e, algumas vezes, como quelantes de metais, agindo tanto na etapa de iniciação como na propagação do processo oxidativo. Os produtos intermediários formados pela ação destes antioxidantes são relativamente estáveis, devido à ressonância do anel aromático apresentada por estas substâncias.

Diversos estudos foram realizados para verificar o potencial antioxidante dos ácidos fenólicos, com o objetivo de substituir os antioxidantes sintéticos, largamente utilizados na conservação de alimentos lipídicos por aumentarem a vida útil de muitos produtos.

Em um estudo para avaliação do potencial dos ácidos caféico, protocatequínico, p-hidroxibenzóico, ferúlico e p-cumárico em banha, na concentração de 200mg/kg, utilizando o método Rancimat à temperatura de 90ºC, os ácidos caféico e protocatequínico apresentaram atividade antioxidante maior do que o α-tocoferol e o BHT na mesma concentração.

A atividade antioxidante da fração polar contida em óleo de oliva refinado foi testada nele mesmo através do método de Shall (estufa a 60ºC, na ausência de luz), determinando-se o índice de peróxido como indicador do processo oxidativo. O extrato contendo a fração polar era constituído praticamente por compostos fenólicos, em particular por ácidos fenólicos. Os resultados mostraram uma certa ação por parte da fração polar do óleo de oliva, mas esta foi inferior à do BHT, ambos utilizados na dosagem de 200mg/kg. Foi testada também a atividade antioxidante de cada ácido fenólico contido na fração polar, individualmente, utilizando a mesma metodologia. O ácido caféico mostrou uma atuação maior do que a do BHT, enquanto os ácidos protocatequínico e siríngico, apesar de terem apresentado atividade, foram inferiores ao BHT. Por outro lado, os ácidos o-cumárico, p-cumárico, p-hidroxibenzóico e vanílico demonstraram pouca ou nenhuma propriedade antioxidante.

Na tentativa de elucidar as diferenças de potencial existentes entre os ácidos fenólicos, foi realizada uma comparação quantitativa do comportamento cinético da inibição da oxidação de alguns ácidos benzóicos (ácidos p-hidroxibenzóico, vanílico, siríngico, e 3,4–diidroxibenzóico) e cinâmicos (ácidos p-cumárico, ferúlico, sinápico e caféico) quando aplicados em banha aquecida a 100ºC, com retirada de amostras em intervalos de tempo definidos para análise. Concluiu-se que, no caso dos ácidos benzóicos, a hidroxila presente na molécula do ácido p-hidroxibenzóico não conferiu a este nenhuma propriedade antioxidante. Já a metoxila presente com a hidroxila no ácido vanílico conferiu a ele uma pequena atividade antioxidante. No caso o ácido siríngico, que possui dois grupamentos de metoxila, a ação foi ainda maior. Com referência aos ácidos cinâmicos, a presença de metoxila adjacente à hidroxila, como ocorre no ácido ferúlico, aumentou o período de indução da oxidação duas vezes em relação ao controle. O período de indução foi ainda maior com a presença de duas metoxilas, como ocorre no ácido sinápico.

Entretanto, o maior potencial antioxidante foi encontrado quando havia duas hidroxilas nas posições 3 e 4, estrutura apresentada pelos

ácidos caféico e 3,4-diidroxibenzóico. Portanto, a atividade antioxidante dos compostos estudados apresentou a seguinte ordem: ácido caféico > 3,4-diidroxibenzóico > sinápico > siríngico > ferúlico > p-cumárico > vanílico.

Em estudos de ácidos fenólicos presentes em grãos de soja, quatro ácidos apresentaram atividade oxidante significativa quando aplicados em óleo de soja: ácidos clorogênico, caféico, p-cumárico e ferúlico, tendo este último a maior atividade antioxidante. A oxidação foi acompanhada através da determinação do índice de peróxido.

Muitas especiarias têm sido estudadas e tem-se observado que o alecrim e o orégano possuem forte atividade antioxidante. Vários compostos fenólicos têm sido isolados do alecrim (carnosol, rosmanol, rosmaridifenol e rosmariquinona) e do orégano (glucosídeos, ácidos fenólicos e derivados terpenos).

## NUTRIENTES, ENZIMAS, FLAVONÓIDES E MINERAIS ANTIOXIDANTES

Cada nutriente é único em termos de estrutura e função antioxidante. A vitamina E é um nome genérico para todos os elementos (até o momento, foram identificados oito deles) que apresentam atividade biológica do isômero α-tocoferol.

Um isômero tem duas ou mais moléculas com a mesma fórmula química e arranjos atômicos diferentes. O α-tocoferol, o mais conhecido e disponível isômero do mercado, tem maior biopotência (maior efeito no corpo). Por ser solúvel em gorduras, está em uma posição única para proteger as membranas das células, que são em sua grande maioria compostas de ácidos gordurosos, dos danos causados pelos radicais livres. Também protege as gorduras em lipoproteínas de baixa densidade (LDL ou colesterol "ruim") da oxidação.

A vitamina C, também conhecida como ácido ascórbico, é solúvel em água. Sendo assim, procura por radicais livres que estão em um meio aquoso (líquido), como o que está dentro das células. A vitamina C funciona sinergicamente com a vitamina E para eliminar os radicais livres. Também regenera a forma reduzida (estável) da vitamina E.

O betacaroteno também é uma vitamina solúvel em água e é amplamente estudada entre os 600 carotenóides identificados até o momento. É encarada como a melhor eliminadora do oxigênio singlete. O betacaroteno é excelente para procurar por radicais livres em uma concentração de oxigênio baixa.

O selênio é um elemento essencial. É um mineral que precisa ser consumido em pequenas quantidades e sem o qual o organismo não sobrevive. Ele forma o centro ativo de várias enzimas antioxidantes, incluindo a glutationa peroxidase.

Similar ao selênio, os minerais manganês e zinco são microelementos que formam uma parte essencial das várias enzimas antioxidantes.

As enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutationa peroxidase (GPx) servem como linha primária de defesa na destruição dos radicais livres.

A superóxido dismutase (SOD) é uma enzima que catalisa a dismutação do ânion radicalar superóxido em oxigênio molecular e peróxido de hidrogênio.

A SOD é uma metaloproteína que possui isoformas que diferem tanto na composição quanto na localização celular. Uma das isoformas contém cobre e zinco, estando presente no citoplasma de células eucarióticas e no espaço intermembranas mitocondrial. Outras isoformas contém manganês ou ferro, estando presentes na matriz mitocondrial e na maior parte dos procariotos.

Alterações no funcionamento da superóxido dismutase já foram relacionadas com diversas doenças degenerativas, tais como esclerose lateral amiotrófica, mal de Parkinson e Alzheimer.

A catalase é uma hemoproteína que catalisa a decomposição de peróxido de hidrogênio a oxigênio e água. Esta enzima contém quatro subunidades e cada uma possui um átomo de ferro em seu sítio ativo. A catalase, em animais, está presente em todos os tecidos e pode ser en-

contrada em grandes concentrações no fígado. Uma organela celular com altas concentrações de catalase é o peroxissomo, envolvido na degradação de cadeias longas de ácidos graxos, entre outros. Mutações no gene que codifica a catalase já foram associadas a diabetes mellitus, hipertensão e vitiligo.

As enzimas do tipo peroxidase removem espécies reativas utilizando-as na oxidação de outros substratos. A glutationa peroxidase oxida a glutationa reduzida (GSH), um tripeptídeo.

As diferentes isoformas da glutationa peroxidase possuem em comum um átomo de selênio na forma de seleno cisteína em seu sítio ativo, podendo ser compostas por quatro subunidades proteicas ou apenas uma. Tipos distintos desta enzima possuem uma ampla distribuição em tecidos animais, sendo encontrados, entre outros no citosol, em fluidos extracelulares, como leite e fluidos pulmonares, e em células que revestem o trato gastrointestinal.

Alguns estudos relacionam baixos níveis de glutationa peroxidase com maiores riscos cardiovasculares em casos de aterosclerose e problemas nas artérias coronárias.

Entre os antioxidantes presentes nos vegetais, os mais ativos e frequentemente encontrados são os compostos fenólicos, tais como os flavonóides. As propriedades benéficas desses compostos podem ser atribuídas à sua capacidade de sequestrar os radicais livres. Os compostos fenólicos mais estudados são o ácido caféico, o ácido gálico e o ácido elágico. Esses compostos, de considerável importância na dieta, podem inibir o processo de peroxidação lipídica.

O ácido elágico, encontrado principalmente na uva, morango e nozes, tem sido efetivo na prevenção do desenvolvimento do câncer induzido pelas substâncias do cigarro.

A curcumina, um composto fenólico usado como corante de alimentos, é um antioxidante natural derivado da cúrcuma (Cúrcuma longa) que tem sido extensivamente pesquisado. A curcumina sequestra os radicais livres e inibe a peroxidação lipídica, agindo na proteção celular das macromoléculas celulares, incluindo o DNA, dos danos oxidativos.

Os compostos fenólicos podem inibir os processos da oxidação em certos sistemas, mas isso não significa que eles possam proteger as células e os tecidos de todos os tipos de danos oxidativos.

Esses compostos podem apresentar atividade pró-oxidante em determinadas condições.

Existe na literatura muita controvérsia sobre o mecanismo de ação dos flavonóides. Os flavonóides atuam como antioxidantes na inativação dos radicais livres, em ambos os compartimentos celulares lipofílico e hidrofílico. Esses compostos têm a capacidade de doar átomos de hidrogênio e, portanto, inibir as reações em cadeia provocadas pelos radicais livres. Os flavonóides mais pesquisados são a quercetina, a miricetina, a rutina e a naringenina.

A quercetina está presente nas

frutas e vegetais e é o flavonóide mais abundante encontrado no vinho tinto. Entretanto, esse antioxidante pode reagir com ferro e tornar-se um pró-oxidante.

Em estudos, os flavonóides miricetina, quercetina e rutina foram mais efetivos do que a vitamina C na inibição dos danos oxidativos induzidos pelo $H_2O_2$ no DNA de linfócitos. A (-)-epicatequina e a rutina apresentaram atividade antioxidante sobre o OH· superior ao antioxidante manitol, um conhecido sequestrador de radicais hidroxila.

Outros flavonóides naturais, (-)-epicatequina e (-)-epigalocatequina, com propriedades antioxidantes e inibidores do processo de carcinogênese, são encontrados no chá verde e em menores concentrações no chá preto.

O estresse oxidativo tem sido frequentemente relacionado às fases de iniciação e promoção do processo de carcinogênese. As enzimas antioxidantes, dependentes de selênio e zinco, que antagonizam esse processo estão em níveis baixos nas células tumorais. Estudos tem demonstrado que os tumores apresentam menores concentrações da enzima superóxido dismutase dependente de zinco e cobre em comparação aos tecidos normais. Além do selênio, o zinco é frequentemente mencionado na literatura como um mineral antioxidante envolvido nos mecanismos celulares de defesa contra os radicais livres.

Níveis reduzidos de selênio, um elemento traço essencial para os seres humanos e animais, nas células e tecidos tem como consequência concentrações menores da enzima antioxidante glutationa peroxidase, resultando em maior suscetibilidade das células e do organismo aos danos oxidativos induzidos pelos radicais livres. Há na literatura evidências de que a deficiência de selênio é um fator importante de predisposição no desenvolvimento de tumores.

Os estudos epidemiológicos mostram a relação inversa entre os níveis de selênio no plasma e a incidência de câncer. Dados epidemiológicos também mostraram que o selênio pode interagir com as vitaminas A e E na prevenção do desenvolvimento de tumores e na terapia da Síndrome de Imunodeficiência Adquirida (AIDS). Entretanto, outros resultados mostraram que a suplementação com esse mineral antioxidante pode aumentar os processos de carcinogênese, recomendando cautela na administração de selênio para os seres humanos.

## OS ANTIOXIDANTES NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

O uso de antioxidantes na indústria de alimentos e seus mecanismos funcionais têm sido amplamente estudados.

O retardamento das reações oxidativas por determinados compostos foi, primeiramente, registrado por Claude Berthollet, em 1797 e, depois, esclarecido por Humphry Davy, em 1817.

O curso da rancificação de gorduras permaneceu desconhecido até que estudos demonstraram que o oxigênio atmosférico era o maior agente causador de oxidação do ácido graxo livre. Vários anos mais tarde, descobriu-se que a oxidação de triglicerídios altamente insaturados poderia provocar odor de ranço em óleo de peixe.

Em 1852, cientistas observaram que índios americanos do Vale de Ohio preservavam gordura de urso usando casca de omeiro. Esse produto foi patenteado como antioxidante 30 anos mais tarde.

O conhecimento atual das propriedades de vários produtos químicos para prevenir a oxidação de gorduras e alimentos gordurosos começou com estudos clássicos. Durante a I Guerra Mundial e pouco depois, cientistas testaram a atividade antioxidante de mais de 500 compostos. Essa pesquisa básica, combinada com a vasta importância da oxidação em praticamente todas as operações de manufatura, desencadeou uma busca por aditivos químicos para controlar a oxidação.

Das centenas de compostos que têm sido propostos para inibir a deterioração oxidativa das substâncias oxidáveis, somente alguns podem ser usados em produtos para consumo humano.

Na seleção de antioxidantes, são desejáveis as seguintes propriedades: eficácia em baixas concentrações (0,001% a 0,01%); ausência de efeitos indesejáveis na cor, no odor, no sabor e em outras características do alimento; compatibilidade com o alimento e fácil aplicação; estabilidade nas condições de processo e armazenamento, e o composto e seus produtos de oxidação não podem ser tóxicos, mesmo em doses muitos maiores das que normalmente seriam ingeridas no alimento.

Além disso, na escolha de um antioxidante deve-se considerar também outros fatores, incluindo legislação, custo e preferência do consumidor por antioxidantes naturais.

# LA CIENCIA DE LOS ANTIOXIDANTES

Como el nombre lo dice los antioxidantes son sustancias capaces de actuar contra el desgaste normal causado por los efectos del proceso fisiológico de la oxidación en el tejido animal. Nutrientes (vitaminas y minerales) y enzimas (proteínas en el cuerpo que ayudan a las reacciones químicas) son antioxidantes.

El estrés oxidativo se produce cuando la producción de moléculas dañinas llamadas radicales libres está más allá de la capacidad protectora de defensas antioxidantes. Los radicales libres son átomos químicamente activos o moléculas que tienen un número impar de electrones en su exterior orbital. Ejemplos de radicales libres son anión superóxido, radical hidroxilo, los metales de transición, como el hierro y el cobre, el ácido nítrico y el ozono.

Los antioxidantes se pueden clasificar en primarios, sinergistas, eliminadores de oxígeno, biológicos, agentes quelantes y antioxidantes mezclados.

Los antioxidantes primarios son compuestos fenólicos que promueven la eliminación o inactivación de los radicales libres formados durante la iniciación o propagación de la reacción a través de la donación de átomos de hidrógeno de estas moléculas, interrumpiendo la reacción en cadena. Los antioxidantes principales y más conocidos de este grupo son los polifenoles, tales como butil hidroxi-anisyl (BHA), butil-hidroxi-tolueno (BHT), terc-butil-hidroquinona (TBHQ) y galato de propilo (PG), que son sintéticos, y tocoferoles, que son naturales. Este último también puede ser clasificado como antioxidantes biológicos.

Los sinergistas son sustancias con poca o ninguna actividad antioxidante, que pueden aumentar la actividad de los antioxidantes primarios cuando se utiliza en combinación adecuada.

Eliminadores de oxígeno son compuestos que actúan por medio de la captura de oxígeno presente en el medio, a través de reacciones químicas estables, por lo que es, por tanto, no disponible para actuar como propagadores de autooxidación.

Los antioxidantes biológicos incluyen diversas enzimas, tales como glucosa oxidasa, la superóxido dismutasa y catalasa. Estas sustancias pueden extraer el oxígeno o compuestos altamente reactivos de un sistema alimentario.

Los agentes quelantes / secuestrantes complejar iones metálicos, principalmente cobre y hierro, que catalizan la oxidación de lípidos. Un par de electrones no compartidos en su estructura molecular promueve la acción de complejación. Los más comunes son el ácido cítrico y sus sales, fosfatos y sales de etileno diamino tetra acético (EDTA).

Los antioxidantes mixtos incluyen compuestos de plantas y animales que han sido ampliamente estudiados como antioxidantes en los alimentos. Entre ellas se encuentran varias proteínas hidrolizadas, flavonoides y derivados del ácido cinámico (ácido cafeico). Como ya se ha mencionado, los antioxidantes pueden ser o naturales o sintéticas.

Los antioxidantes sintéticos más utilizados en la industria alimentaria son BHA, BHT, TBHQ y PG. La estructura de estos compuestos fenólicos, permite la donación de un protón a un radical libre, regenerando así la molécula de la acilglicerol e interrumpiendo el mecanismo de oxidación por radicales libres. Los antioxidantes naturales son moléculas presentes en los alimentos en cantidades pequeñas, que tienen la capacidad de detener la formación de radicales libres. Por lo tanto, son capaces de reducir la velocidad de las reacciones de oxidación de los compuestos de lípidos presentes en un producto determinado. Entre los antioxidantes naturales más utilizados en la industria de los alimentos se pueden citar los tocoferoles, los ácidos fenólicos y extractos de plantas como el romero y salvia.

Como ya se ha mencionado, los nutrientes (vitaminas y minerales), enzimas (proteínas en el cuerpo que ayudan en las reacciones químicas), los flavonoides y minerales también son antioxidantes.

El uso de antioxidantes en la industria alimentaria y sus mecanismos funcionales han sido ampliamente estudiados. En la selección de los antioxidantes, son deseables las siguientes propiedades: eficacia a bajas concentraciones (0,001% a 0,01%); ausencia de efectos indeseables en el color, olor, sabor y otras características de los alimentos; compatibilidad con los alimentos y de fácil aplicación; estabilidad en los procesos y condiciones de almacenamiento, y el compuesto y sus productos de oxidación puede no ser tóxicos, incluso a dosis mucho mayores de lo que normalmente se ingieren con los alimentos.

Además, en la elección de un antioxidante también debe considerar otros factores, incluyendo el costo ley y preferencia del consumidor por los antioxidantes naturales.