

Lykopen	Tomater
Betakaroten	Morötter
Lutein	Gröna ärtor
Zeaxantin	Apelsiner
Astaxantin	Lax

KAROTENOIDER

Karotener och Xantofyller som Antioxidanter i färgglada frestelser

Kostens källor till lykopen, β -karoten, lutein, zeaxantin och astaxantin belyses med koppling till struktur, biokemi och antioxidanteffekt.

Se även: *Flavonoider som antioxidant*

Rapport till Cancer- och Allergifonden inom projektet

Biokemisk granskning av konsumentprodukter

	lykopen	β -karoten	lutein	zeaxantin	astaxantin
Tomater	+++	+	-	-	-
Vattenmelon	++	-	-	-	-
Blodgrape	++	+	-	-	-
Morötter	-	+++	+	-	-
Gröna ärtor	-	+	++	-	-
Broccoli	-	+	++	-	-
Apelsiner	-	-	+	++	-
Majs	-	-	+	++	-
Äggula	-	-	+	++	-
Lax	-	-	-	-	+++
Räkor	-	-	-	-	+

Viktiga källor

Tabellen ger en översikt av vardagliga källor till fem centrala karotenoider.

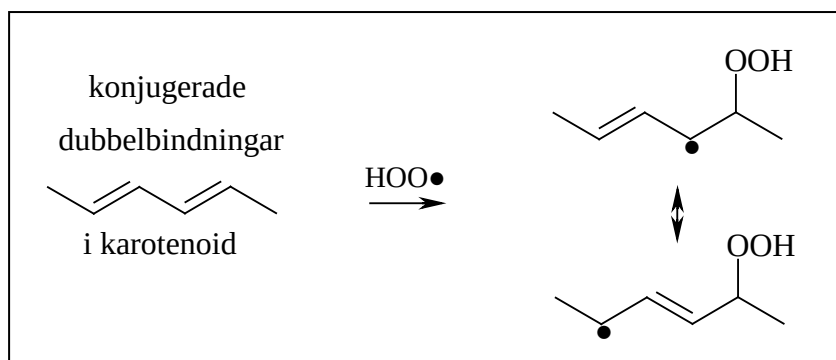
Specifika källor: För lykopen, zeaxantin och astaxantin finns relativt få viktiga källor enligt tabellen. Betakaroten och lutein finns däremot i ovanjordiska gröna delar av de flesta grönsaker. Särskilt betakaroten finns även i många frukter med orange fruktkött som klementiner och mango.

Speciella egenskaper: Karotenoider avviker till struktur och funktion markant från andra antioxidanter. De bildas endast av växter. Av dessa skäl behöver alla få dem i väl avvägda proportioner med kosten.

Hälsomål: För att täcka behovet av viktiga karotenoider behövs enligt tabellen medvetna kostval som tar hänsyn till var de enskilda ämnena återfinns. Liknande hänsyn är angelägna för flavonoider som tas upp i en parallell rapport. Detta ger ett mer komplett antioxidantskydd än ett oplanerat högt intag av frukt och grönt.

Läsguide: Denna sida samt bildsidorna är lättillgängliga och kan läsas separat. Övriga sidor ger en mer biokemisk beskrivning av karotenoiderna. Rapporten får fritt spridas med angivande av källa. Alla bildfoton har tagits av författaren. Bredare grunder om antioxidanter ger följande nätpublicerade rapporter:

[Syreradikaler och oxidativ stress](#)
[Antioxidanter för skydd mot syreradikaler](#)
[Fenoler och polyfenoler som antioxidanter](#)



Funktion och effekter

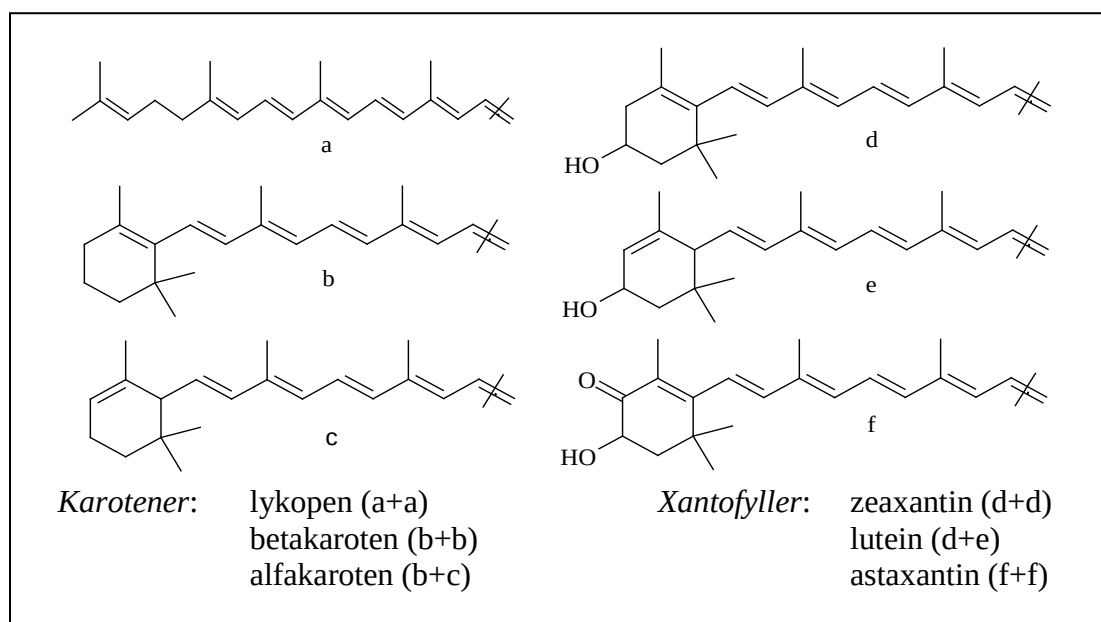
Karotenoider med sina konjugerade dubbelbindningar har som figuren visar en annan verkningsmekanism jämfört med välkända fenoliska antioxidanter som tokoferoler och flavonoider.

Verkningssätt: Karotenoider reagerar med peroxyradikaler så att dessa adderas till någon av de konjugerade dubbelbindningarna. Den då bildade kolcentrerade radikalen resonansstabiliseras oftast av flera konjugerade dubbelbindningar. Vid förhöjt syretryck adderas syre till denna radikal. Den nybildade peroxyradikalen reagerar lättare vidare, minskar antioxidanteffekten och medför i värsta fall ökad radikalbildning.

Pionjärer: Mekanismen för antioxidanteffekten klarlades vetenskapligt 1984 i en mycket citerad [artikel av Burton och Ingold](#) i Toronto, Kanada. Forskningen utfördes på β -karoten. Antioxidanteffektens beroende av ett lågt tryck av syre betonades starkt.

Rökare och β -karoten: Separata tillskott av karotenoider kan alltså förväntas ha sämst effekt i syrerika vävnader som lungorna. Tillskott av β -karoten har visats ge negativ effekt för lungcancer men positiv för prostatacancer. Detta hindrar förstås inte att ett balanserat intag av karotenoider i kombination med andra antioxidanter har en positiv effekt även i syrerika vävnader.

Epoxider: Enzymatisk bildning av reaktiva epoxider skulle kunna befaras vara ett problem för karotenoider. Kolvätet 1,3-butadien är klassat som cancerogent via epoxidering. Isopren, metyl-1,3-butadien, betraktas däremot som en ofarlig monomer för karotenoider och finns även i utandningsluft. Epoxidringar finns i vissa karotenoider som violaxantin utan att negativa hälsoeffekter påvisats.



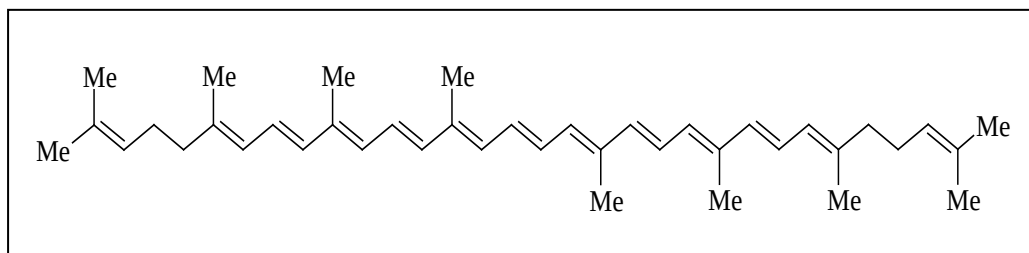
Kemisk struktur

Karotenoider skiljer sig helt från fenoliska antioxidanter. De är uppbyggda av två isoprenbaserade enheter med 20 kolatomer vardera.

Karotener och xantofyller: Karotenoider som är rena kolväten kallas karotener. Bland dessa märks främst lykopen och β -karoten. Många karotenoider har även syreinhållande funktionella grupper på de yttre sexringarna. De betecknas då xantofyller och har markant mer polära egenskaper än karotener. Astaxantin och zeaxantin har två lika och lutein två olika molekyhalvor.

Växtpigment: Hundratals enskilda karotenoider har identifierats från växter. De många konjugerade dubbelbindningarna absorberar effektivt ljus vilket gör karotenoiderna färgade. De ger gula till röda färger åt många bär och frukter. Även grönsaker innehåller karotenoider, men för dem maskeras färgen av det gröna klorofyllet. Djur och människor kan inte själva syntetisera karotenoider utan är beroende av upptag med födan.

Antioxidantverkan: Karotenoiders antioxidanteffekt beror av de konjugerade dubbelbindningarna. Eftersom kolkedjan med dubbelbindningarna är typisk för alla karotenoider är också antioxidantreaktionerna likartade. Däremot påverkar övriga strukturskillnader fördelningen inom cellorganeller, celler och vävnader. Kombinationseffekten av olika karotenoider blir därför viktig.



Lykopen

Lykopen är den mest välkända icke-cykliska karotenoiden och har på senare år blivit alltmer uppmärksammas för positiva hälsoeffekter.

Kemisk struktur: Molekylen är regelbundet uppbyggd av åtta sammankopplade enheter av isopren (metyl-1,3-butadien). Vid biosyntesen införs stegvis allt fler konjugerade dubbelbindningar i *trans*-form. Dessa ger lykopen dess markant röda färg.

Tomat, blodgrape och vattenmelon: Källorna till lykopen är få men just dessa tre karakteristiskt rödfärgade frukter innehåller höga halter. Genom att lykopen är vattenolös kan upptaget bli högre i kombination med fett från exempelvis en salladsdressing.

Rörlighet i fett: Den icke-cykliska fettlösliga kolvätestrukturen gör att lykopen rör sig lätt bland fettsyrorernas kolvätekedjor i biologiska membraner. Lykopen kan också tränga in lättare än cykliska karotenoider i lipoproteiner och fettrika cellers inre delar.

Antioxidanteffekt: Liksom för andra karotenoider kan en bra antioxidanteffekt mot syreradikaler och lipidperoxidation förväntas främst i celler och vävnader med lågt syretryck.

Hälsoeffekter: Lykopen har epidemiologiskt visats ha förebyggande effekt mot prostatacancer som är den vanligaste cancerformen bland män. Studier indikerar också en förebyggande effekt mot andra prostatabesvär liksom mot vissa andra cancerformer.

Hudskydd: Höga blodhalter av lykopen har visats ge visst skydd för huden mot starkt solljus. En förklaring är att karotenoider eliminerar effekter av singlettsyre genom att reagera med detta.



Tomater

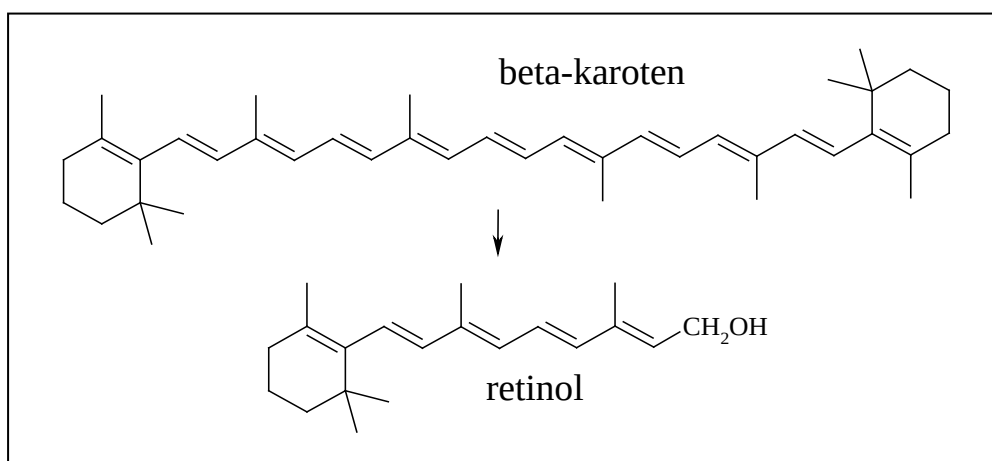
Efterhand som alltfler positiva hälsoeffekter kopplats till lykopen har också ökad vikt lagts vid tomater som kostkomponent.

Värmebehandling: Lykopen tål värmebehandling relativt bra och finns kvar i produkter som värmebehandlats industriellt eller vid matlagning. Flera studier indikerar att upptaget är minst lika stort från t ex tomatsås och ketchup som från färska tomater. Upptaget från tomater ökar med lämpligt fettinnehåll i måltiden. Tomater innehåller även β -karoten samt askorbinsyra och tokoferoler som till större del förstörs vid pizzabakning och annan upphettning vid matlagning.

Ketchup: Tomater är genom ett lågt sockerinnehåll ett utmärkt livsmedel med hänsyn till problem med diabetes och övervikt. Sötade varianter av tomater som ketchup är hälsomässigt olämpliga oavsett om de innehåller tillsatt socker eller sötningsmedel som håller sötsuget uppe.

Tomatodling: Sydeuropeisk tomatodling har baserats på bekämpningsmedel som medför både miljöproblem och bekämpningsmedelsrester i tomaterna. Efterfrågan och tillgång på ekologiskt odlade tomater från Medelhavsområdet ökar nu snabbt. Svensk och annan nordeuropeisk odling i växthus sker utan kemisk, men vid behov med biologisk bekämpning. Ofta odlas tomater då i näringslösningar vilket kan påverka smak och antioxidaninnehåll.

Tomatsorter: Tomater har utsatts för ovanligt mycket förädlingsarbete som lett till att allt från körsbärstomater till bifftomater nu erbjuds kommersiellt. Det är därför lätt att hitta sorter efter personlig smak. Bland olika färgvarianter är det angeläget att välja de rödaste med högst innehåll av lykopen.



Betakaroten

Betakaroten är ett kolväte med 40 kolatomer uppbyggt från åtta isoprenenheter och med elva konjugerade dubbelbindningar i *trans*-form. Enzymatiskt spaltas β -karoten till två molekyler av retinol som utgör vitamin A.

Antioxidantverkan: Betakaroten har antioxidanteffekt vid lågt partialtryck av syre som finns i många viktiga delar av organ och celler på grund av respiration och annan syreförbrukning. Detta förklaras av att när peroxyradikaler adderas till karotenoider bildas väl resonansstabiliserade kolcentrerade radikaler. Vid låga syretryck är dessa stabila, men vid högre tryck reagerar de enligt formeln $R\bullet + O_2 \rightarrow ROO\bullet$ till nya peroxyradikaler som ger fortsatt lipidperoxidation.

Skyddseffekt: Den långkedjiga och lipofila strukturen gör att β -karoten lätt tas upp i membraner och blodfetter och skyddar dessa mot lipidperoxidation. Vid högt syretryck som i lungorna kan ingen positiv effekt förväntas av β -karoten eller vitamin A. Märkligt nog har ändå omfattande och omtalade studier gjorts av samband mellan kosttillskott och just lungcancer för rökare. Negativa resultat från dessa ledde tyvärr till att inte bara tillskott av β -karoten utan även nyttan av mer naturliga intag av karotenoider ifrågasattes på felaktiga grunder.

Bladpigment: I cellerna i växternas gröna delar finns talrika kloroplaster som är de cellorganeller i vilka fotosyntesen sker. I dessa fyller β -karoten, klorofyll och andra pigment en viktig roll som ljussamlare för fotosyntesen. Vid denna bildas syre och därför behövs samverkande antioxidanter för att motverka oxidation av känsliga ämnen i kloroplasterna. Gröna växter tillför alltså växtätande djur och människor flera antioxidanter utöver β -karoten.



Morötter

Morötter innehåller exceptionellt mycket β -karoten och karotener har uppkallats efter det latinska namnet på morot, *Daucus carota*.

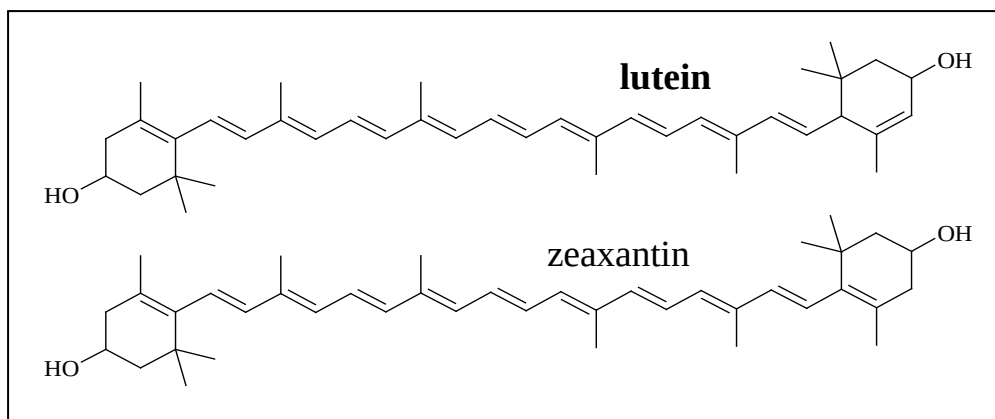
Karotener: Utöver β -karoten (beta-karoten) innehåller morötter även α -karoten (alfa-karoten). Halten β -karoten är vanligen 50-100 $\mu\text{g/g}$ och halten α -karoten är mindre än hälften så hög. Från β -karoten bildas två retinol (vitamin A), medan α -karoten ger endast en retinol från den ena molekyhalvan. Proretinol används ibland som beteckning för främst β -karoten. Karotenhalten är kopplad till färgen och högst hos färdigvuxna orange till röda morötter.

Rivna morötter: Karotenerna finns inlagrade i moroten, och vårt upptag av dem kan vara mindre än 10 % från hela morötter. Finrivning ökar upptaget betydligt och oljedressing ännu mer. Upphettning kan däremot orsaka en viss bildning av *cis*-isomerer med förlorad vitamineffekt.

Antioxidantverkan: Effekterna mot radikaler i syrefattiga vävnader kan antas vara likartade för α - och β -karoten som för lykopen. Morötter ger möjlighet att enkelt förstärka det antioxidantskydd som karotener ger och samtidigt säkra en enzymatiskt reglerad optimal tillförsel av A-vitamin.

Ekologisk odling: Morötter odlas med fördel i Sverige och kan jämförelsevis enkelt ställas om till bekämpningsmedelsfri ekologisk odling. De är då även ett bra miljöalternativ. Morötter passar också att odla i den egna trädgården.

Röd paprika: Ett alternativ med högt innehåll av β -karoten är röd paprika som bilden visar. Tyvärr innehåller paprika ofta rester av bekämpningsmedel.



Lutein

Av de talrika syreinhållande karotenoider som benämns xantofyller har lutein och zeaxantin särskilt stor betydelse.

Bladpigment: Klorofyll finns alltid tillsammans med både β -karoten och lutein i gröna växtdelar. Fotosyntesen har alltså utvecklats med dessa karotenoider som nödvändiga komponenter i de membranrika kloroplaster där fotosyntesen sker. De flesta andra xantofyller som zeaxantin förekommer mer oregelbundet i gröna växter. När klorofyll bryts ner på hösten framträder ofta karotenoidernas färger i löv och blad. Lutein finns till skillnad från andra karotenoider även i bröd som kan vara en viktig källa.

Kemisk struktur: Xantofyller har till skillnad från karotener polära alkoholiska OH-grupper i ytterringarna. Lutein skiljer sig strukturellt från zeaxantin endast genom att dubbelbindningen i en av ringarna inte är konjugerad med de övriga. Vid biosyntesen bildas xantofyller från karotener. Lutein bildas från α -karoten till skillnad från zeaxantin som bildas via β -karoten.

Effekter: Efter upptag och spridning till vävnader med låga partialtryck av syre får xantofyller en viktig roll som antioxidanter på liknande sätt som karotener. I blod finns xantofyllerna i lipoproteinerna LDL och HDL som transporterar dem ut till och in i celler. Samtidigt skyddar xantofyllerna lipoproteinerens yttre skikt mot oxidation.

Membraner: Molekyl längden för xantofyller motsvarar ungefär bredden av ett cellmembran. De kan därför gå in i membraner med de hydrofila OH-grupperna utåt på var sin sida om membranet. Detta ger skydd mot oxidation av de viktiga fleromättade fettsyroras dubbelbindningar i membranets inre.



Gröna ärtor

Eftersom lutein finns generellt i gröna växtdelar påverkar viktmängden av olika grönsaker vårt totala intag.

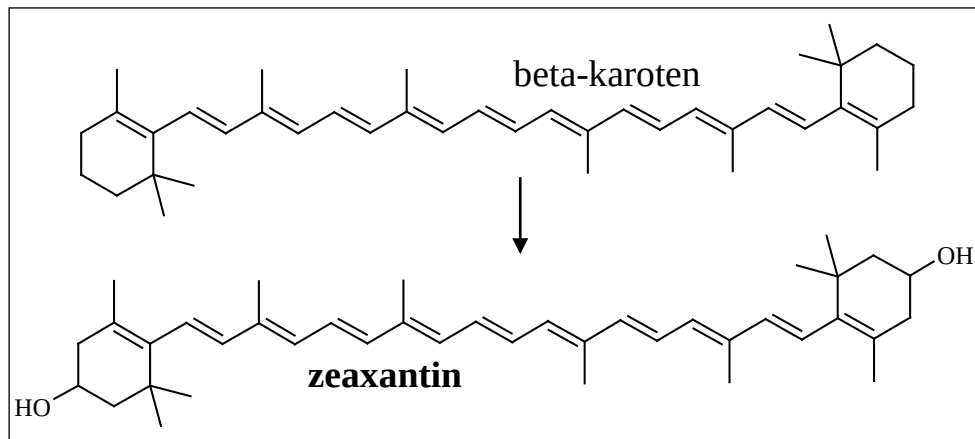
Gröna ärtor: Ärtor är liksom bönor frön från kvävefixerande växter och kända som viktiga vegetariska proteinkällor. Gröna ärtor innehåller mycket av och blir lätt en huvudkälla för lutein. Dessutom har de högt innehåll av gamma-tokoferol jämfört med andra grönsaker som oftast innehåller mer alfa-tokoferol. Även gröna bönor och majs är bra källor till lutein.

Gröna växter: Gröna växtdelar är utsatta för hög oxidativ stress. De har därför ett starkt antioxidantförsvar med även askorbinsyra, tokoferoler och flavonoider. Dessa antioxidanter skyddar samtidigt de för växten nödvändiga karotenoiderna.

Broccoli: Innehållet av lutein i broccoli är typiskt högt men varierande. Broccoli ger även β -karoten, askorbinsyra, α -tokoferol och flavonoler som kempferol.

Sallat: Olika varianter av bladsallat ger ett begränsat tillskott av antioxidanter beroende på liten viktmängd sallat och ofullständigt upptag. Vissa bladgrönsaker som spenat, persilja och grönkål innehåller mycket högre halter av karotenoider och flavonoider än de vanliga sorterna av sallat.

Konsumentförsvar: Till skillnad från frukter och bär måste man räkna med att växternas blad och skott innehåller mer eller mindre toxiska ämnen som skydd mot en överkonsumtion som hotar växtens överlevnad. För de grönsaker som används som livsmedel överväger vanligtvis positiva effekter klart.



Zeaxantin

Den gulfärgade xantofyllen zeaxantin har samma grundstruktur som β -karoten.

Biosyntes: I växter omvandlas β -karoten i två steg till zeaxantin. Mellanprodukt är då kryptoxantin som har endast en OH-grupp och kan bilda retinol från den andra halvan av molekylen.

Jämförelse med lutein: Biosyntesen av lutein sker i stället från α -karoten. Trots stora likheter i struktur bildas alltså lutein och zeaxantin på olika sätt. Zeaxantin överväger i vissa växter och växtdelar. Ett intressant exempel är att gul paprika innehåller mycket av både zeaxantin och lutein, medan lutein dominerar i grön och β -karoten i röd paprika.

Jämförelse med β -karoten: Endast de två OH-grupperna skiljer zeaxantin från β -karoten men de förklarar typiska skillnader mellan xantofyller och karotener. Karotener rör sig mer fritt i blodfettets och fettrika cellers inre lipofila miljöer. Xantofyllernas polära OH-grupper styr dem till membraner och gränsytor mot vatten i blodplasma och cytoplasma.

Skydd för ögat: Zeaxantin skyddar tillsammans med lutein ögats viktiga gula fläck, makula, mot oxidation och därmed mot makuladegeneration som är en vanlig orsak till blindhet. Xantofyllerna bromsar även utvecklingen av grå starr som också orsakas av oxidationsskador.

Enzymatisk oxidation: Ringarnas två dubbelbindningar kan enzymatiskt och reversibelt oxideras till violaxantin med två epoxidringar och oklar biologisk funktion.



Apelsiner

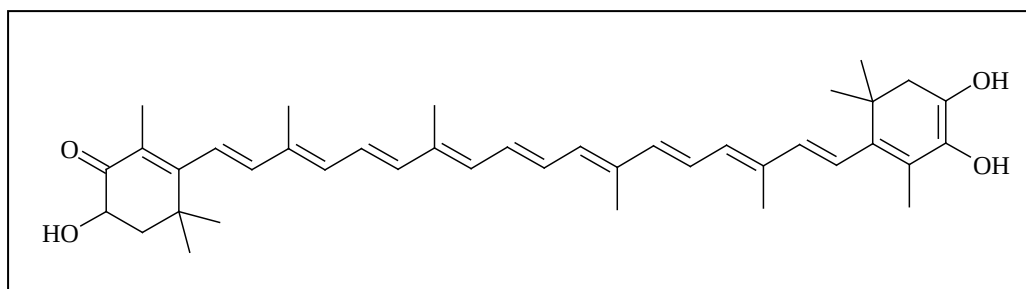
Tre dominerande källor till zeaxantin är apelsiner, ägg och majs som alla även bidrar med lutein.

Citrusfrukter: Apelsiner innehåller inte bara zeaxantin utan även de närstående xantofyllerna kryptoxantin och violaxantin. Dessa kommer före respektive efter zeaxantin i den enzymatiska biosynteskedjan. Vanlig småcitrus som satsumas, mandariner och klementiner har balansen av karotenoider förskjuten mot mindre zeaxantin och mer β -karoten jämfört med apelsiner.

Ägg: Äggulan är mer renodlat gulfärgad av zeaxantin. Gulans skydd för nytt liv baseras på zeaxantin och tokoferoler vilket understryker dessa antioxidanternas stora betydelse. Högt innehåll av triglycerider och membrankomponenten lecitin medför micellbildning efter matspjälkning vilket ger ett särskilt effektivt upptag till blod av zeaxantin.

Majs: Även majsornens gula färg kommer från zeaxantin. Majsens släktnamn *Zea* har fått ge namn åt zeaxantin. I majs och andra växter är zeaxantin liksom lutein ofta esterbundet till karboxylgrupper. Det frigörs dock vid matspjälkning. Majskornet är inte skyddat av fröskal. Det behöver ett starkt antioxidantskydd även med hänsyn till det höga innehållet av lättoxiderat fleromättat fett av typ omega-6 i majsolja.

Färgämne: Zeaxantin kan extraheras eller syntetiseras och användas som gult färgämne. I fri form bryts det lättare ner av värme, ljus och luftsyre med minskat hälsovärde som följd. På liknande sätt används β -karoten ännu mycket mer som färgämne i olika livsmedel.



Astaxantin

Astaxantin framställs av en mikroalg och sprids i ekosystemens näringskedjor. Ämnet ger bl a räkor och laxfiskar deras röda färg.

Kemisk struktur: Kolskelettet är detsamma som för β -karoten, men på ringen tillkommer en ketogrupp och en alkoholisk OH-grupp. Dessa isomeriseras lätt till en endiolgrupp med den struktur som ritats in för den högra ringen.

Antioxidantmekanismer: På samma sätt som andra karotenoider ger astaxantin en antioxidanteffekt vid låga syretryck. Denna effekt kopplar till kolkedjan med dess konjugerade dubbelbindningar. Samtidigt kan de två endiolgrupperna ge en antioxidanteffekt av samma typ som för askorbinsyra. En oparad elektron vid ett endiolsyre delokaliseras över nästan hela molekylen, vilket effektivt stabiliserar radikalen.

Antioxidantfunktion: Endiolgrupperna och radikaler från dem har en hydrofil karaktär, medan kolvätekedjan är lipofil. Astaxantin kan därför orientera in sig i cellmembranerna och ger då en antioxidanteffekt såväl inuti membranerna som i ytskiktet mot omgivande vatten. Astaxantin skyddar även mot skadeeffekter av UV-strålning.

Ekologi: Astaxantin är ekologiskt intressant genom sin förekomst i en specifik grönalgart, *Haematococcus pluvialis*. Spridning i olika näringskedjor medför antioxidant skydd och rödfärgning för vattenlevande skaldjur och laxfiskar, men även för en del fåglar.

Astaxin: Under detta namn renframställs och säljs astaxantin som kosttillskott. Astaxin producerades först av ett svenskt företag genom odling av mikroalgen under ljusstress som gör att den bildar mycket astaxantin.



Lax

Ekologiskt är fisk en föda som människan anpassats till och som i motsats till många andra livsmedel inte starkt förändrats av människan. Just lax blir genom högt innehåll av fiskfettsyror och antioxidanter särskilt värdefull.

Odlad lax: Lax får fiskfettsyror och antioxidanter via sin föda i näringskedjan. Innehållet i odlad lax kan därför styras och ökas via fodret. Konsumtionen av odlad lax har ökat snabbt och är nu större än för vild lax. Norge är klart ledande på laxodling som snabbt blivit en av landets viktigaste näringar. Med höga krav på fodret kan miljögiftshalterna hållas lägre än i Östersjölax.

Fiskfettsyror: De viktiga omega-3-fettsyrorerna EPA och DHA utgör vardera ca 1 % av laxfiléernas vikt och 10 % av deras fettinnehåll. Ett laxmål täcker väl ett par dagars behov av EPA och DHA.

Antioxidanter: En laxportion kan innehålla ca 5 mg α -tokoferol och ca 0,5 mg av superantioxidanten astaxantin. Antioxidanterna skyddar laxens fleromättade fettsyror mot lipidperoxidation. Innehållet av astaxantin ger laxen dess röda färg.

Rökt och grillad lax: Rökning baserad på lövved tillför dimetoxifenoler från röken och ökar fiskens antioxidantinnehåll ytterligare. Hemmagrillning av fet fisk bör ske med försiktighet eftersom fetterna kan ge bildning av hälsofarliga polycykliska ämnen vid stark upphettning.

Foder: Vegetariskt foder kan ge odlad fisk en sämre sammansättning av fetter. En tillsats av astaxantin kan dölja fodermanipulering. Problem med miljögifter i fisken kan uppstå särskilt om småfisk från förorenade vatten används som foder.