

# Karotenoider i tomater

Carotenoids in tomatoes

*Linn Svensson och Johanna Söderberg*



Självständigt arbete • 15hp • Grundnivå C  
Program: Livsmedelsagronom

Uppsala 2010

## Karotenoider i tomater

Carotenoids in tomatoes

*Linn Svensson och Johanna Söderberg*

**Handledare:** Peter Hylmö, Sveriges Lantbruksuniversitet, Skara

**Examinator:** Lena Dimberg, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala

**Omfattning:** 15hp

**Nivå och fördjupning:** Grundnivå C

**Kurstitel:** Självständigt arbete i livsmedelsvetenskap

**Kurskod:** EX0426

**Program/utbildning:** Livsmedelsagronom

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2010

**Omslagsbild:** Linn Svensson och Johanna Söderberg

**Bild i arbetet:** Linn Svensson och Johanna Söderberg

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** Karotenoider, lykopen,  $\beta$ -karoten, lutein, odling, nutritionella aspekter



Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för Naturresurser och Lantbruksvetenskap  
Institutionen för Livsmedelsvetenskap

## **Abstract**

*The tomato is an important crop worldwide, and in recent years it has received great attention due to its rich content of carotenoids, which in studies indicate to have health benefiting properties. Many studies have been done in this area of research and in how to optimize the carotenoid content in tomatoes and tomato products. The objectives of this essay were to summarize present data in this field. The results were as follows:*

*There are nine different carotenoids identified in tomatoes. Lycopene and  $\beta$ -carotene are the ones that have been given the greatest attention. Lycopene is the carotenoid that seems to have the strongest effect in preventing cancer and cardiovascular diseases. The composition of tomatoes, in regard to carotenoids, is affectable by light, radiation, temperature and harvest, as is storage, geography and climate. It is possible to modify the bioavailability by different kinds of processing. Lycopene and lutein absorbance benefits from heating while  $\beta$ -carotene levels seams to decrease.*

*With all of this positive data it is most likely that the tomato will be a subject for further refining and gen modification in the future.*

## Sammanfattning

*Tomaten är en av världens största livsmedelsgrödor och har på senare tid uppmärksammats för sitt rika innehåll av karotenoider, vilka i studier kunnat kopplas till positiva hälsoeffekter. Dessa resultat har i sin tur lett till att vidare forskning för optimering av karotenoidinnehåll i tomater och tomatprodukter har bedrivits. Syftet med detta arbete var att sammanställa befintlig data inom området. Resultaten var följande:*

*Det finns nio stycken identifierade karotenoider i tomater. Lykopen och  $\beta$ -karoten är de som har fått störst uppmärksamhet. Lykopen är den karotenoid som anses ha den starkaste preventiva effekten vad gäller cancer och kardiovaskulära sjukdomar. Tomatens innehåll och komposition av karotenoider påverkas av ljus, strålning, temperatur och skördetidpunkt men även av lagring, geografi och klimat. Karotenoidernas biotillgänglighet går att påverka genom olika former av processning. Absorptionen av lykopen och lutein gynnas genom värmebehandling medan  $\beta$ -karoten upptaget försämras.*

*Om studier inom forskningen fortsätter att bekräfta dessa positiva resultat är det högst troligt att tomaten i framtiden kommer att bli ett aktuellt ämne för vidare förädling och genmodifiering.*

## **Ett stort tack till**

Åke Truedsson som har hjälpt oss att hitta svar på en del av de frågor som uppkommit under arbetets gång, samt bidragit med sina erfarenheter kring tomatodling.

Vår handledare, Peter Hylmö, som har gett oss tips och råd under arbetets gång.

# Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	8
1.1 Syfte .....	8
2. Metod, material och avgränsningar .....	9
3. Tomatens historia .....	10
4. Tomatplantan och dess släkte.....	10
5. Karotenoider.....	11
5.1. Karotenoidernas antioxidativa egenskaper.....	11
5.2. Karotenoider i tomater.....	12
5.2.1 Lycopen.....	13
5.2.2. $\beta$ -Karoten.....	13
5.2.3. Lutein.....	13
6. Odling och konsumtion av tomater .....	14
7. Hur sort, odling och lagring kan påverka karotenoidinnehåll i tomater.....	15
7.1. Sortval och genetiska faktorer.....	15
7.2. Geografins och klimatets påverkan .....	17
7.3. Odlingssubstrat och gödsling .....	18
7.4. Mognad och skördetid .....	18
7.5. Lagring .....	19
8. Nutritionella aspekter av karotenoider .....	20
8.1. Faktorer som påverkar absorptionen av karotenoider .....	20
8.1.1. Måltidens komposition och livsmedlets struktur.....	21
8.1.2. Värmebehandling, bindning till proteinkomplex och konfigurationsförändringar.....	21
8.2. Karotenoider med provitamin A aktivitet.....	22
8.3. Karotenoidernas positiva hälsoeffekter .....	23
8.4. Karotenoidernas negativa hälsoeffekter .....	24
9. Dagens förädling av tomater samt genmodifiering (GM) .....	24
10. Diskussion .....	25
11. Slutsats .....	28
12. Referenser.....	29



# 1. Introduktion

Tomaten (*Solanum lycopersicum*) har länge varit en viktig livsmedelsgröda. Ända sedan aztekindianerna påbörjade förädlingen av tomatplantan 700 f. Kr (Truedsson 2001) har produktionen ökat och idag odlas tomaten över hela världen och har utvecklats till att bli en av våra viktigaste livsmedelsgrödor. (Sánchez-Moreno *et al.* 2005)

På senare år har intresset för tomatgrödan växt då nyvunnen kunskap om tomatens hälsofrämjande egenskaper gett en ny syn på tomatens potential som livsmedelsgröda. Dessa hälsofrämjande effekter har via undersökningar visat sig vara starkt kopplade till tomatens rikliga innehåll av karotenoider. Den karotenoid i tomat som fått störst uppmärksamhet är lykopen. Denna karotenoid finns i överlägset högst koncentration i just tomat och studier av denna har visat sig indikera preventiva effekter för uppkomst av cancer och kardiovaskulära sjukdomar. Dessa resultat har i sin tur lett till fortsatta studier av andra karotenoider i tomat såsom  $\beta$ -karoten och lutein vilka visat sig erhålla andra egenskaper. (Levin och Cheshire 2008)

Allt eftersom fler undersökningar överensstämmt och visat på ett positivt samband mellan hög lykopenhalt och minskad sjukdomsrisk har intresset för att optimera karotenoidinnehåll samt biotillgänglighet av karotenoider i färska och processade tomater ökat. Odlingsfaktorer så som ljus, temperatur och gödning har studerats och likaså processfaktorers påverkan för karotenoidinnehållet och absorptionen. Ett intresse för hur det genom traditionell förädling och alternativt genom genmodifiering är möjligt att ta fram en tomat med optimalt näringsinnehåll har vuxit fram. Om man genom vidare förädling, optimala odlingsbetingelser eller genmodifiering kan öka tomatens karotenoidinnehåll samt att karotenoidernas positiva hälsoeffekter bekräftas, skulle tomaten samt tomatprodukter i framtiden kunna klassas som Functional Food (Kuti och Konuru 2005).

## 1.1 Syfte

Syftet med denna litteraturstudie har varit att undersöka vilka karotenoider som finns i tomater och vilka odlingsbetingelser som skulle kunna påverka karotenoidinnehållet i dessa. Processningens påverkan på karotenoidinnehåll och biotillgänglighet i tomatprodukter har studerats och vidare har karotenoidernas nutritionella egenskaper utretts.



## 2. Metod, material och avgränsningar

Denna uppsatts är en litteraturstudie över karotenoider i tomater. Vid upplägget av arbetet har vi utgått från följande frågor:

- Vilka karotenoider från tomat är kända och vilka har nutritionellt värde för människan?
- Vilka funktioner har karotenoider i människokroppen?
- Vad är känt om huruvida olika växtbetingelser kan påverka sammansättningen i tomaten med avseende på karotenoider?
- Skiljer sig det nutritionella värdet mellan olika karotenoider med avseende på:
  - Biologisk aktivitet?
  - Biotillgänglighet?
  - Oxidationskänslighet?
  - Retinolekvivalenter (RE-värde)?
- Vad har skett och vad kan väntas ske inom förädling och genmodifiering (GM) med avseende på tomatens sammansättning och karotenoider?

Vid insamling av material har artiklar över utförda studier på tomater och dess karotenoider från databaser på SLU-bibliotekets hemsida använts. Litteratur från Uppsala Stadsbibliotek har också nyttjats. Även uppslagsverk såsom Nationalencyklopedin samt internetsidor med säkra källor har använts. För mer detaljerade uppgifter om det material som valts ut som källor till arbetet se referenslista på s 29f.

För att avgränsa arbetet har vi:

- Valt att koncentrera oss på de tre mest kända karotenoiderna i tomater; lykopen,  $\beta$ -karoten och lutein.
- Valt att avstå från att i mer detalj gå in på tomatens innehåll av andra hälsofrämjande substanser vilka inte går under benämningen karotenoider

### 3. Tomatens historia

Tomatplantan härstammar ursprungligen från Sydamerika, Mellanamerika och Mexiko och har från början förekommit som ett aggressivt, klättrande ogräs. Förädlingen från ogräs till en tomatplanta med mer kontrollerad tillväxt påbörjades troligen av aztekindianerna i Mexiko runt 700 f. Kr. (Truedsson 2001)

Tomatplantan spreds över världen och kom troligen till Europa i samband med en expedition till Mexiko 1519. Av de Europeiska länderna var det framförallt Italien som tog till sig den nya grödan och fortsatte förädling mot större frukter. Flera av de resterande europeiska länderna, däribland Storbritannien, var väldigt skeptiska till tomaten som livsmedelsgröda och menade på att intag av råa tomater kunde leda till en ögonblicklig död. Tomatplantan fick därmed ett oförtjänt dåligt rykte som varade fram till slutet av 1700-talet och det skapades under denna tid flera mindre smickrande latinska namn som anspelade på djävulen. Idag tror man att bakgrunden till denna felaktiga uppfattning av tomat som hälsovådlig beror på att den tillhör släktet *Solanaceae* där flera giftiga arter såsom tobak, spikklubba, bolmört och besksöta ingår. (Truedsson 2001)

I Italien där man, till skillnad från övriga Europa, fattade starkt tycke för grödan fick den det vackra namnet ”pomo d’oro” som betyder ”guldäpple”. I svenska trädgårdsböcker omnämndes inte tomaten förens i mitten av 1800-talet och benämndes då ”kärleksäpple” och ansågs vara ett afrodisiakum. (Truedsson 2001)

Allt eftersom tomatens popularitet ökade världen över uppfanns nya användningsområden och flera tomatbaserade produkter infördes. De senaste 20 åren har många nya raffinerade produkter slagit igenom på marknaden och blivit storsäljare. Dagens ökade intresse för andra matkulturer har bidragit till ett större urval av tomatbaserade produkter. Idag hittar vi den italienska tomatsåsen, den spanska gazpachon och den amerikanska tomatketchupen över hela världen. (Tetrapak 2010)

### 4. Tomatplantan och dess släkte

Tomatplantans placering inom olika släkten och arter samt dess namngivning har diskuterats och ändrats genom tiderna. År 1753 bestämde Carl von Linné att tomatplantan skulle ingå i släktet *Solanum* och ha artnamnet *Solanum lycopersicum*. Därefter, år 1768, flyttade en man vid namn Philip Miller tomatplantan till ett eget släkte *Lycopersicon*, varvid han bröt mot vedertagna botaniska namngivningsregler och kallade den för *Lycopersicon esculentum*. Efter detta, år 1881, införde botanikern Hermann Karsten den tekniskt korrekt framtagna namnkombinationen *Lycopersicon lycopersicum*, vilken aldrig blev riktigt vedertagen. Idag är fortfarande tomatens taxometriska placering diskuterad, men övervägande kallas tomatplantan nu för *Solanum lycopersicum* och sägs tillhöra familjen *Solanaceae*, vilket är den s.k. potatisväxtfamiljen. Detta är en stor familj där ca 2000 arter ingår vilka är indelade i 90 olika släkten. Dock används även namnet *Lycopersicon esculentum* i litteraturen och även det andra namnet *Lycopersicon lycopersicum* är accepterat. (Tomatsidan 2009)

Tomatplantan är nära släkt med bl.a. potatisen, auberginen, chilipepparn och paprikan. Det är en ettårig ört och botaniskt sett är den ätliga tomaten, som är plantans frukt, ett bär. Tomaten placeras dock inom grönsakerna då dess smak inte är söt. (Tomatsidan 2009) Nedan, i Tabell 1, följer en sammanfattad och mer detaljerad indelning av tomatplantan:

**Tabell 1.** Tomatplantans botaniska indelning

Domän	Euraryota
Rike	Växtriket
Division	Fröväxter
Underdivision	Gömfröväxter
Klass	Trikolpater
Ordning	Solanales
Familj	Potatisväxter, Solanceae
Släkte	Potatissläktet, <i>Solanum</i> , Skattor
Art	Tomat
Vetenskapligt namn	<i>Solanum lycopersicum</i>

## 5. Karotenoider

Karotenoider förekommer både i växter och djur och är lipofila färgpigment som ger frukt, bär och grönsaker dess röda, gula och orange färgtoner samt medverkar i fotosyntesen. I naturen finns ett stort antal olika naturligt förekommande karotenoider. Av dessa är 600 stycken strukturbestämda och av dessa 600 påträffas ca 10% i växter. (Nationalencyklopedin, 2010) Karotenoiderna förekommer tillsammans med klorofyll i de gröna växtvävnadernas kloroplaster men de återfinns även i kromoplasterna i andra växtvävnader såsom i blommans kronblad. De är derivat från mevalonsyra och klassificeras därför kemiskt som terpenier. Karotenoider brukar delas in i karotener vilka består av kol och väte och xantofyller som förutom kol och väte även innehåller syre. (Coultate 2009)

### 5.1. Karotenoidernas antioxidativa egenskaper

Utöver karotenoidernas medverkan i fotosyntesen hos växter samt dess pigmentering av växt och djurvävnad har karotenoiderna även ett flertal andra egenskaper i växter och djur. Den egenskap som fått störst uppmärksamhet är dess antioxidativa verkan. Genom denna skyddar karotenoiderna växt- och djurvävnad från fria radikaler. Fria radikaler finns naturligt i både växter och djur men kan bildas ytterligare genom yttre faktorer såsom UV-strålning, hög temperatur och kontakt med vissa kemikalier. (Olsson 1999)

Karotenoidernas antioxidativa verkan innebär att de tillhör gruppen antioxidanter. Antioxidanter består av en rad kemiskt olika ämnen och kan därför inte sägas vara en enhetlig ämnesgrupp. Det som förenar dem är att de är reaktiva molekyler med antioxidativ förmåga. Deras kemiska struktur varierar således och de kan bestå av antingen aromatiska ringar, dubbelbindningar och/eller exciterade elektroner. (Fogelfors 2001) Definitionen på en antioxidant är ”ett ämne som i låga koncentrationer avsevärt fördröjer eller förhindrar oxidation av ett annat ämne”. (Fogelfors 2001, s.322) Oxidation sker när en reaktiv molekyl med en oparad elektron, en s.k. fri radikal, reagerar med en annan molekyl och tar en av dess elektroner för att para ihop denna med sin ensamma valenselektron. När detta sker kan skada uppstå på den utsatta djur- eller växtvävnaden. Antioxidanten förhindrar oxidation genom att själv reagera med den fria radikalen och bilda en stabil molekyl. (M. Olsson 1999) Detta hämmar uppkomsten eller minskar skadan av fria radikaler vilket leder till minskad vävnadsskada/oxidation. (Nationalencyklopedin 2010)

## 5.2. Karotenoider i tomater

Som nämndes i inledningen har karotenoidernas positiva hälsoeffekter uppmärksammas på senare tid, och genom tomatens höga innehåll av flera av dessa substanser har även tomatgrödan fått större uppmärksamhet. (Levin och Cheshire 2008)

I tomater finns i nuläget nio stycken identifierade karotenoider. (Truedsson 2010: muntl.) Med stor sannolikhet döljer sig dock många fler vilka ännu inte har påträffats. De flesta studier som gjorts är gjorda på lykopen,  $\beta$ -Karoten och lutein. Andra karotenoider vilka förekommer i tomater men inte undersökts till lika stor grad är; fytoen, fytofluen,  $\alpha$ -karoten, neurosporen, zeaxantin och  $\beta$ -kryptoxantin. (Levin och Cheshire 2008)

Som tidigare beskrivits är det karotenoiderna som ger de gula, orangea och röda färgtonerna hos flera blommor och frukter. Detta gäller även tomater. Under mognaden sker förändringar i tomatfruktens karotenoid- och klorofyllinnehåll, varpå frukten ändrar färg från grön till röd (detta gäller vår traditionella röda tomat). Tomatens karotenoidinnehåll kan förutom mognadsstadium variera med flera andra faktorer såsom sortval, odlingsbetingelser och lagring. (Kozukue och Friedman 2003) Dessa faktorer påverkan kommer att beskrivas ytterligare under rubriken *Hur sort, odling och lagring kan påverka karotenoidinnehåll i tomater.*

I denna litteraturstudie kommer fokus framförallt att läggas på de tre mest kända karotenoiderna i tomat, d.v.s. karotenerna lykopen och  $\beta$ -karoten samt xantofyllen lutein.

### 5.2.1. Lykopen

Tomaten är den livsmedelsgröda som innehåller högst halter av karotenoiden lykopen. (Levin och Cheshire 2008) Det är lykopen som ger upphov till den röda färgen hos mogna röda tomater och studier har visat på att lykopenhalten är direkt relaterad till tomatens röda färg. (Brandt *et al.* 2006) Därmed kan lykopeninnehållet variera med olika tomatsorter. En röd tomatsort kan innehålla 50 mg lykopen/kg medan en gul tomatsort endast innehåller 5 mg lykopen/kg. (Levin och G. Cheshire 2008)

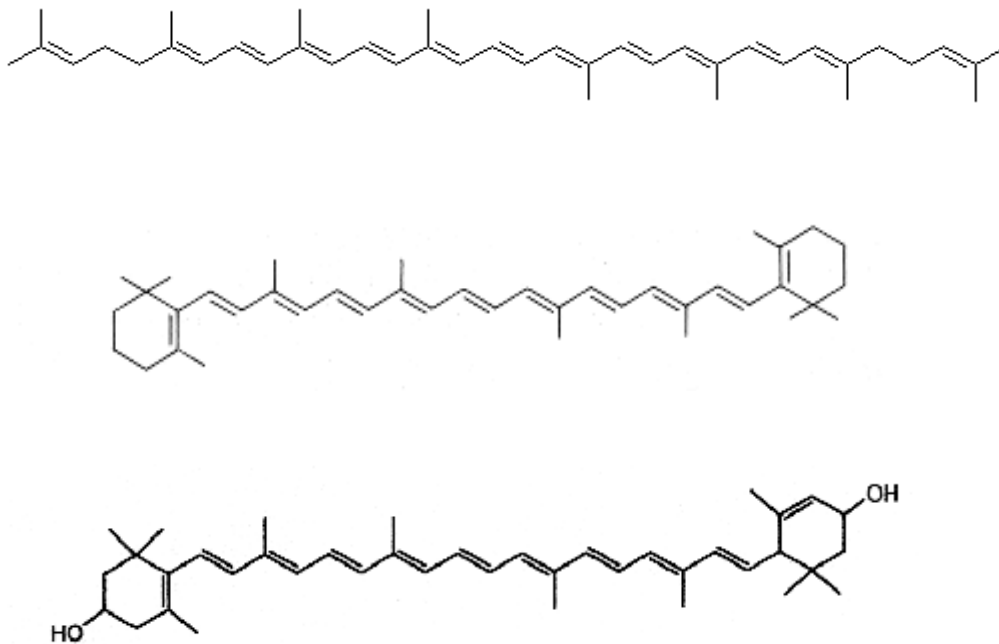
Lykopen ingår i gruppen karotener och är den karotenoid med enklast kemisk struktur. Den har en symmetrisk rak kedja med 13 dubbelbindningar (se Figur 1) vilka bidrar till att lykopen har den kraftigaste antioxidativa effekten av alla karotenoider. (Brandt *et al.* 2006). En lykopenmolekyl kan neutralisera upp till 13 stycken fria radikaler. (Levin och Cheshire 2008) I färska tomater förekommer lykopen i de flesta fall i total transkonfiguration, vilket ger den raka kedjan. Denna konfiguration kan förändras vid processning, vilket i sin tur kan påverka biotillgängligheten av lykopenet. (Karakaya och Yilmaz 2007) Detta fenomen kommer vidare att tas upp i rapporten under rubriken *Nutritionella aspekter av karotenoider*.

### 5.2.2. $\beta$ -Karoten

$\beta$ -karoten ingår i gruppen karotener och har en kemisk struktur bestående av en lång kolkedja med en ringstruktur i vardera änden (se Figur 1) (Fogelfors 2001). Förutom  $\beta$ -karotens antioxidativa förmåga fungerar denna karotenoid även som provitamin till vitamin A. Det är  $\beta$ -karoten som ger grödan gula och orangea färgnyanser (Abrahamsson *et al.* 2008).  $\beta$ -Karoten är en värmekänslig karotenoid och minskar i mängd vid värmeprocesser. (Sánchez-Moreno *et al.* 2005)

### 5.2.3. Lutein

Lutein är precis som  $\beta$ -karoten uppbyggd av en kolkedja med en ringstruktur i vardera änden. Dock binder en syremolekyl till varje ringstruktur i lutein vilket gör den till ett xantofyll (se Figur 1). Den ger en gul färgnyans till grödan och tros förutom sin antioxidativa förmåga också ha en funktion som skyddande filter för fotokänsliga celler och förhindra skador som kan uppstå vid kontakt av UV-strålning. (Coulter 2009)



Figur 1. Struktur för lycopene,  $\beta$ -karoten och lutein

## 6. Odling och konsumtion av tomater

Tomat räknas till en av världens största livsmedelsgrödor (Sánchez-Moreno *et al.* 2005) och de två senaste decennierna har tomatproduktionen i världen fördubblats. (Ahrne *et al.* 2009) Den årliga genomsnittliga konsumtionen i världen är 17 kg tomat per kapita. (Brandt *et al.* 2006) Dock varierar konsumtionen i de olika länderna p.g.a. flera anledningar såsom nationens klimatbetingelser för odling och nationens mattradition.

Enligt *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT)* producerades i världen år 2008 hela 129 649 883 ton tomater där Europa bidrog med 20 403 445 ton av hela produktionen. I dag är Kina den världsledande producenten av tomater och de producerade år 2008 hela 33 811 702 ton (se Tabell 2.). Därefter följer USA, Indien, Turkiet, Egypten och Italien. Trots att Italiens produktion endast är en femtedel av Kinas är det enligt statistik italienarna som konsumerar mest tomater med 68,88 kg/kapita/år. Kina intar endast 20,46 kg/kapita/år. År 2008 producerade Sverige 16 200 ton och konsumtionen av tomater låg år 2005 på 21,25 kg/kapita/år. (FAOSTAT 2009)

**Tabell 2.** Tomatens produktionskvantitet i ton år 2008 samt tomatkonsumtion 2005 jämfört mellan olika länder. (Tabell sammansatt utifrån statistik från FAOSTAT 2009)

Land	Produktionskvantitet (ton) (2008)	Konsumtion (kg/kapita/år) (2005)
Kina	33 811 702	20,46
USA	12 575 900	35,63
Italien	5 976 912	68,88
Sverige	16 200	21,25

## 7. Hur sort, odling och lagring kan påverka karotenoidinnehåll i tomater

Det finns flera olika betingelser vid sortval, odling och lagring av tomater som har påverkan på det slutliga karotenoidinnehållet i den mogna tomaten. För att uppnå kvalitet har lantbrukaren olika styrmedel så som sortval, odlingsförutsättningar (jordart och lokalt klimat), odlingsåtgärder (tid för sådd, strategi för gödning, bevattning och tidpunkt för skörd) och lagringsförhållanden till sitt förfogande. Inom det här området pågår idag intensiv forskning för att kunna odla fram en tomat med optimalt näringsinnehåll. (Fogelfors 2001)

### 7.1. Sortval och genetiska faktorer

Det finns flera olika sorters tomater med olika egenskaper såsom form och färg. Dessa skillnader beror till största del på tomatplantans genotyp. Genom traditionell förädling av tomatplantan har nya sorter av tomater tagits fram. Dels för att passa det geografiska område där den ska odlas men också för ett estetiskt vackert utseende, högre avkastning, längre hållbarhet och god kvalitet. (Truedsson 2001) Traditionell förädling av tomatplantan för ett högre innehåll av karotenoider har idag inte utförts, dock ökar intresset p.g.a. deras hälsofrämjande effekter. Detta är också ett aktuellt ämne för genmodifiering. (Levin och Cheshire 2008)

Odlingsfaktorer och lagring kan påverka karotenoidinnehållet i tomaten, men i grunden är det valet av sort dvs. tomatens genom som avgör vilka förutsättningar plantan har att producera karotenoider (Olsson 1999). I en finsk studie från 1990 har man undersökt karotenoidinnehållet i olika morotssorter och sett att innehållet skiljer sig mellan sorterna. Även om denna studie är utförd på morötter och inte tomater skulle det vara troligt att tomater på liknande sätt kan skilja sig i karotenoidinnehåll mellan sorter. (Brugård Konde *et al.* 2006)

Det är inte bara karotenoidinnehållet som ger tomaten dess färg utan även tomatens klorofyllinnehåll och skalfärg påverkar tomatens färgnyans. Klorofyll ger grön färg och skalfärgen kan variera mellan att vara ofärgad eller gul. Genom kombination av dessa färgpigment kan tomatfrukten anta olika färgnyanser. Det finns allt från vita tomater, vilka helt saknar färgande substanser, och har ett ofärgat skal, till gröna tomater vilka endast innehåller klorofyll som färgpigment. Helt röda tomater har ett gult skal och innehåller endast karotenoiden lykopen. Har tomaten istället gulorange nyanser innehåller denna tomat  $\beta$ -karoten. Om alla tre färgpigment kombineras fås en spräcklig tomat (Truedsson 2001) . Nedan i Tabell 3 förklaras vilka pigment som påverkar tomatens färgnyanser och hur.

**Tabell 3.** Tomatfärg beroende på färgande pigment och skalfärg (Modifierad tabell från Truedsson 2001, s 17)

Tomatfärg	Färgande pigment	Skalfärg
Vit	Inga färgande substanser	Ofärgad
Gulvit	Inga färgande substanser	Gul
Gul	$\beta$ -karoten	Gul eller ofärgad
Orange	$\beta$ -karoten	Gul
Rosaröd	Lykopen	Ofärgad
Röd	Lykopen	Gul
Grön	Klorofyll	Ofärgad
Gulgrön	Klorofyll, $\beta$ -karoten	Gul
Svartröd	Klorofyll, lykopen	Gul
Svartviolett	Klorofyll, lykopen	Ofärgad

Tomatens form och storlek kan också variera beroende på tomatsort. Bifftomater är exempelvis stora runda tomater, medan cocktailtomater tillhör de små runda. Det finns även tomater med en mer avlång plommonliknande form, likaså finns sorter med päronform, hjärtform och även mer platta tomater. Tomatens skal kan också variera mellan att vara slätt eller veckat. (Truedsson 2001) Huruvida dessa form- och storleksskillnader skulle ha någon betydelse för karotenoidinnehållet är dock oklart.

Det är inte bara själva tomatfrukten som varierar i utseende mellan sorterna utan även plantans utseende i stort, såsom; buskighet, höjd, bladform (Truedsson 2001) och bladvinkel. Dessa faktorer kan också ha indirekt betydelse för plantans karotenoidinnehåll då flera växters  $\beta$ -karoteninnehåll kan styras genom påverkan av ljusintensitet och fotosyntes. (Fogelfors 2001)



## 7.2. Geografins och klimatets påverkan

Då klimat och temperaturförhållanden varierar geografiskt har olika tomat sorter naturligt utvecklats och tagits fram via förädling. De optimala klimatbetingelserna för tomatplantan varierar därför med sort, varför olika sorters tomatplantor odlas i olika delar av världen. En av de viktigaste faktorerna vad gäller geografins betydelse för tomatplantan är temperaturen. För att kunna odla tomater även i kallare klimat har tomat sorter som tål lätt frost förädlats fram, men även metoder för att odla tomat i växthus har utvecklats. (Truedsson 2001)

Även om det är tomatplantans genotyp som avgör vilka grundförutsättningar den har att producera karotenoider är det inte säkert att valet av sort är den viktigaste faktorn för hur stor karotenoidproduktionen blir. Vilken fenotyp tomatplantan uttrycker kan påverkas mycket av miljöfaktorer såsom klimat och geografiskt läge. (Aherne *et al.* 2009)

En studie gjord på samma sorters körsbärstomater, odlade i Spanien respektive Irland visar på att de irländska tomaterna hade högst innehåll av lykopen och lutein men lägre  $\beta$ -karoteninnehåll jämfört med de spanska. Detta trots att de tillhörde precis samma sort av tomat. (Aherne *et al.* 2009) Likaså har Svenska Livsmedelsverket gjort en studie på karotenoidinnehåll i tomater från olika länder. Denna visar bl.a. att innehållet av  $\beta$ -karoten, lykopen och lutein per 100 g tomat kan variera mycket från land till land (se Tabell 4). Tomater från Sverige innehöll 600  $\mu\text{g}$   $\beta$ -karoten, Storbritannien 415 $\mu\text{g}$ , Finland 660  $\mu\text{g}$  och USA 280  $\mu\text{g}$ . Vad gäller lykopeninnehållet låg amerikanska tomater i topp med 3920  $\mu\text{g}$  lykopen/100 g tomat medan finska tomater innehåller 3100  $\mu\text{g}/100$  g och tomaterna från Storbritannien 2937  $\mu\text{g}/100$  g. Luteinförekomsten varierade också; Finland hade 100  $\mu\text{g}$  lutein/100 g tomat i sina tomater, USA 80  $\mu\text{g}/100$  g och Storbritannien 78  $\mu\text{g}/100$  g tomat. (Brugård Konde *et al.* 2006)

I samtliga undersökningar bör man dock ha i åtanke att det kan finnas andra omgivande faktorer förutom geografi och klimat som skulle kunna påverka. Likaså borde fler studier utföras för att titta på variationer från år till år. (Brugård Konde *et al.* 2006)

**Tabell 4.** Karotenoidinnehåll ( $\mu\text{g}/100$  g tomat) i tomater odlade i olika länder (Tabell sammansatt utifrån information av Brugård Konde *et al.* 2006)

Land	Lykopen	$\beta$ -karoten	Lutein
Sverige	-	600	-
Finland	3100	660	100
Storbritannien	2937	415	78
USA	3920- 9270	280	80

Tomatplantans syntes av lykopen har enligt undersökningar visat sig vara mycket beroende av temperaturintervallet under odling. En fördelaktig temperatur bör ligga mellan 22 och 25°C. (Kacjan Maršić *et al.* 2010) Av en studie gjord i Ungern på Szent István University framgår det att tomater vilka odlats där temperaturen överstigit 30°C får en lägre lykopenhalt. Enligt denna artikel ska också stark direkt strålning kunna ha en negativ effekt på lykopeninnehåll i tomater om strålningen överstiger 2990  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  i 1,5 till 4 timmar (Genom att multiplicera detta tal med en omvandlingsfaktor på 54 för solljus får vi strålning i SI enheten Lux, vilken blir 161 460 Lux (Allcat Instruments 2010)). (Brandt 2006) Ljuset tycks även kunna påverka  $\beta$ -karotenhalten i tomaten. Undersökningar tyder på att halten  $\beta$ -karoten ökar med ökad ljusintensitet. Dock bör ytterligare studier utföras för att säkerhetsställa detta fenomen. (Olsson 1999) Inga studier i hur halten av lutein skulle kunna påverkas av temperatur och ljus har påträffats.

Geografiska klimatskillnader innebär inte bara skillnader i temperatur, soltimmar, ljusintensitet och strålning utan även nederbörd är en viktig aspekt. Inga undersökningar med nederbörd i fokus har dock påträffats. Likaså kan klimatet inom ett geografiskt område variera med årstiden. I en undersökning gjord av finskan Heinonen 1989 undersöks skillnader i karotenoidinnehåll i tomater vid fem olika tidpunkter under ett år. Resultaten visar att  $\beta$ -karoten- och luteinnivåerna var högst på vinter och lägst på sommaren medan lykopeninnehållet visade motsatt resultat. I denna studie har dock ingen hänsyn tagits till att det ofta odlas olika sorters tomater på vinter och sommar d.v.s. skillnaden skulle även kunna bero på genetiska skillnader mellan sorterna. (Brugård Konde *et al.* 2006)

### 7.3. Odlingssubstrat och gödsling

Odlingsförutsättningarna vid tomatodling varierar med substratet dvs. jordart och gödslingsstrategi. För ett optimalt odlingssubstrat för tomater bör jorden vara väldränerad, mullrik och hålla fukt bra. Ett bra pH ligger runt 6,0-7,0 (Odlar.nu 2010). Ett antal studier har visat att odlingssubstratets mineralhalt har stor betydelse för den mogna tomatens innehåll av olika mineraler. (Rappe *et al.* 2008) Likaså kan mineralhalten i jorden påverka antioxidanthalterna och däribland karotenoidinnehållet. (Olsson 1999)

### 7.4. Mognad och skördetid

Under tomatens mognad bryts klorofyll ner och karotenoider ackumuleras. I och med detta ändras tomaten färg från grön till t.ex. röd eller gul (se Figur 2). Enligt en studie innehåller tomatfrukten från blomning fram till 40 dagars ålder inga detekterbara halter av karotenoider ( $\beta$ -karoten och lykopen), dock sjunker klorofyllhalten successivt under denna tid. Först efter 50 dagar syns en markant skillnad, där innehållet av karotenoider nu dominerar över klorofyllet som näst intill försvunnit helt. (Kozukue och Friedman 2003)

Privata tomatodlare och mindre tomatodlingsföretag skördar tomaterna allt efter som de mognar, vilket kan bli runt 2-3 ggr per vecka. (Truedsson 2001) Tomater tillhör dock de klimakteriska frukterna vilket innebär att de kan fortsätta sin mogning, med hjälp av mognadshormonet etylen, även efter skörd. Detta gör det möjligt att skörda tomaterna innan de är färdigmognade, vilket idag tillämpas på de tomater som exporteras och därför behöver

transporteras längre sträckor. De sista mognadsdagarna på plantan är mycket viktiga för tomatens slutliga näringsinnehåll. För att veta huruvida mognad på planta eller eftermognad via artificiell etylenprocess kan påverka tomatens karotenoidinnehåll behövs dock vidare studier. (Rappe *et al.* 2008)



*Figur 2.* Vid tomatfruktens mognad sker en färgförändring p.g.a. nedbrytning av klorofyll och ackumulering av karotenoider.

## 7.5. Lagring

Som nämnts under rubriken *Mognad och Skörd* fortsätter tomatens mognadsprocess efter skörden. I de fall tomaterna skördas innan de uppnått sin färdigmogna röda färg kan lagringstemperaturen ha stor betydelse för tomatens slutliga karotenoidinnehåll. Amerikanska rön visar att det för karotenoidinnehållet är viktigt att tomaterna får färdigmogna i en rumstempererad lagringsmiljö (Brugård Konde *et al.* 2006). Om tomaterna kyls innan de mognat klart kommer tomaternas karotenoidinnehåll att vara betydligt lägre och en färdigmogning genom höjning av temperatur efter kylningen har ingen effekt. Skillnaden i karotenoidinnehåll mellan de tomater som kylts och de som fått mogna klart i rumstemperatur kunde vara så mycket som 20 µg mot 5 100 µg. Vid en långvarig lagring bör tomater inte lagras i temperaturer över 10°C, varpå detta kan leda till stora karotenoidförluster. (Brugård Konde *et al.* 2006)

Utöver temperatur och lagringstid påverkar även närvaro av ljus, syre och klorofyll karotenoidnedbrytningen. (Brugård Konde *et al.* 2006) I en studie gjord på tomatskal löst i etanol och förvarad antingen i mörker eller i ljus kan man efter 28 dagar se en minskning av totala halten lykopen i de skaldelar som vid lagringen utsatts för ljus. Vad gäller β-karoten syns ingen betydande skillnad i halt mellan lagring i ljus och i mörker. I samma studie undersöks även hur närvaro av klorofyll kan påverka nedbrytningen av karotenoider under lagring vid ljus. Här tillsätts delar av tomatstjälken för att öka klorofyllnärvaron. I detta fall visade det sig att närvaro av klorofyll gav en tydligt snabbare nedbrytning av lykopenet. Vad gäller β-karoten går det också att se en viss ökning i nedbrytning, dock en ganska liten. (Calvo och Santa-María 2008)

## 8. Nutritionella aspekter av karotenoider

Däggdjur, däribland människan kan inte bilda karotenoider själva utan dessa måste tillföras via födan. De livsmedel som är de bästa källorna till karotenoider är frukt och grönt däribland tomater. Förutom växter kan även en del mikroorganismer och svampar syntetisera karotenoider. Av de idag 600 kända karotenoiderna är 14 stycken normalt förekommande i den mänskliga vävnaden. Av dessa 14 kan tomater bidra med nio stycken och tomat är den viktigaste källan till sju av dessa. (Levin och Cheshire 2008).

Tomaten består av 93,5% vatten och är därmed inte särskilt energität. Däremot innehåller den många viktiga näringsämnen vilka är av nutritionellt värde för människan. (Truedsson 2001). I detta avsnitt kommer absorption av karotenoider och karotenoidernas funktion i kroppen, såsom RE-värde, samt positiva hälsoeffekter med karotenoider att tas upp.

### 8.1. Faktorer som påverkar absorptionen av karotenoider

Efter det att karotenoiderna tillförts kroppen via födan absorberas dessa i tunntarmens epitelceller. Därefter transporteras karotenoiderna i kylomikroner via lymfa och blod till olika målorgan. Levern är det huvudsakliga målorganet och lagringspoolen men det finns även andra mindre pooler som t.ex. ögat. Karotenoiderna har olika lagringspooler;  $\beta$ -karoten transporteras framförallt till levern där bl.a. omvandling till vitamin A äger rum. Lykopen transporteras också till levern där den lagras för senare transport via LDL till kroppens vävnader och organ. De platser i kroppen med högst lykopenhalt är bl.a. blodet, lungorna, binjurar, testiklar och prostata.(Levin och Cheshire 2008) Lutein lagras framförallt i ögats bakre del, i gula fläcken vilket är centrum för färg- och dagsljusseende. (Johansson 2004)

Tomater finns i flera former; färska, saltorkade, i ketchup, tomatpuré, soppa och på burk i olika former som krossade, passerade eller hela. (Levin och Cheshire 2008) Beredning och processning av tomater till tomatprodukter kan påverka karotenoidinnehåll, karotenoidbiotillgänglighet och därmed absorption både positivt och negativt. Karotenoider är generellt sätt relativt ömtåliga molekyler och är p.g.a. sin reaktivitet känsliga för syre d.v.s. oxidation, värme, ljus och lågt pH. (Brugård Konde *et al.* 2006) Absorptionen av karotenoiderna påverkas av; måltidens komposition, livsmedlets grad av finfördelning/struktur, värmebehandling av livsmedlet och därmed karotenoidernas konfiguration och bindning till proteinkomplex. (Abrahamsson *et al.* 2008)

### 8.1.1. Måltidens komposition och livsmedlets struktur

Måltidens komposition kan påverka absorptionen av karotenoider. Den mest undersökta faktorn vad gäller närvaro av andra komponenter och dess påverkan på karotenoidupptaget är närvaro av fett vid måltidsintag. Flera undersökningar tyder på att fett i maten underlättar absorptionen av karotenoider. Ett exempel som visar detta är en studie utförd i Australien. Här undersöktes lykopenupptag vid intag av tomater tillagade i eller utan olja, och resultatet visar en betydligt högre lykopenhalt i blodet efter intag av tomaten som tillagats i olja. (Levin och Cheshire 2008)

Även livsmedlets struktur kan påverka biotillgängligheten av karotenoider. En finfördelning av tomaten ger en ökad absorption då detta bl.a. leder till en sönderdelning av fiber i tomaten vilka annars kan omsluta karotenoidmolekylen och hindra absorptionen. (Levin och Cheshire 2008)

### 8.1.2. Värmebehandling, bindning till proteinkomplex och konfigurationsförändringar

Värmebehandling av tomatprodukter kan leda till nedbrytning av de proteinkomplex som karotenoiderna normalt är bundna till och vid högre temperaturer även till konfigurationsförändringar d.v.s. isomerisering av karotenoiderna, varvid dessa övergår från trans- till cis-form. Dessa förändringar kan även ske vid påverkan av syre, ljus och lågt pH. (Brugård Konde *et al.* 2006) Vid nedbrytning av proteinkomplex ökar den kemiska extraktionsförmågan av vissa karotenoider. Detta innebär att det vid provtagning på karotenoidinnehåll i färska och värmebehandlade tomater ofta fås en högre koncentration av karotenoider i de värmebehandlade än i de färska. I en studie undersöktes värmebehandlad (90°C), pastöriserad tomatjuice med avseende på dess karotenoidinnehåll. Denna juice jämfördes med en tomatjuice som inte var värmebehandlad. Resultatet visade att värmebehandling har en positiv verkan på mängden extraherat lykopen och lutein. Däremot minskar mängden  $\beta$ -karoten. (Sánchez-Moreno *et al.* 2005) En annan studie visar att så länge grönsaker inte behandlas i en temperatur över 100°C sker ingen betydande förlust av karotenoidinnehållet. Dock minskar innehållet betydligt vid en upphettning över 100°C. (Brugård Konde *et al.* 2006)

Det som sker vid en kraftig värmebehandling är delvis en viss nedbrytning av karotenoider, men också en isomerisering av alla transkonfigurationer till cis-form. Denna isomerisering har negativ effekt på provitamin A karotenoider såsom  $\beta$ -karoten då den sänker provitamin A aktiviteten. (Brugård Konde *et al.* 2006) Vad gäller lykopen kommer en del förluster av denna karotenoid att ske vid värmebehandling med högre temperatur, dock ökar biotillgängligheten hos lykopen vid konfigurationsförändringen från trans till cis. (Karakaya och Yilmaz 2007).

Definitionen för karotenoidbiotillgänglighet är; den mängd av intagna karotenoiden som efter födans nedbrytning är tillgänglig för absorption i tarmen (Aherne *et al.* 2009). Att värmebehandlade tomatprodukter kan innehålla mer biotillgängliga karotenoider än färska är ett fenomen som brukar påpekas av ”ketchupälskare”. (Brugård Konde *et al.* 2006)

Nedan i Tabell 5 och 6 följer en jämförelse av lykopeninnehåll i tomater v.s. ketchup samt en sammanfattande tabell över vilka faktorer som kan påverka kroppens karotenoidupptag. (Brugård Konde *et al.* 2006)

**Tabell 5.** Jämförelse av lykopeninnehåll i tomater v.s. ketchup ( $\mu\text{g}$  lykopen/100 g produkt) från studier utförda i Finland och USA. (Modifierad tabell från Brugård Konde *et al.* 2006)

Land	Färsk tomat	Ketchup
Finland	3100	9900
USA	3920-9270	17230

**Tabell 6.** Faktorer som kan påverka absorption av karotenoider i människokroppen (Modifierad tabell från Brugård Konde *et al.* 2006)

Faktorer som kan påverka kroppens karotenoidupptag	Effekt
Struktur/finförelning	Absorptionen är generellt högre i finfördelade livsmedel
Värmebehandling (<100°C)	Nedbrytning av proteinkomplex vilket leder till ökad biotillgänglighet
Värmebehandling (>100°C)	Nedbrytning av karotenoider. Isomerisering av trans - dubbelbindningar till cis-form. Detta ger en sänkt provitamin A aktivitet
Måltidens fetthalt	Ökat upptag då karotenoider är lipofila och fett stimulerar bildandet av fettmiceller

## 8.2. Karotenoider med provitamin A aktivitet

Provitamin A karotenoider är benämningen på de karotenoider som i människokroppen kan omvandlas till vitamin A. Gemensamt för dessa karotenoider är att de alla innehåller minst en  $\beta$ -ring. Exempel på karotenoider med denna förmåga är  $\beta$ -karoten vilken har  $\beta$ -ringsystem på båda sidor om molekylen,  $\alpha$ - och  $\gamma$ -karoten samt  $\beta$ -Apo-8'-karotenal vilka endast har ringsystem på ena sidan molekylen. Dessa karotenoider omvandlas med hjälp av enzym i tunntarmens mucosa till vitamin A. Detta innebär att människan kan tillgodogöra sig sitt vitamin A behov inte bara genom intag av A vitamin via animaliska livsmedel utan även genom ett intag av vegetabiliska livsmedel rika på provitamin A karotenoider. (Coulter 2009)

Vid bestämning av vitamin A aktiviteten hos olika livsmedel uppkommer svårigheter. Detta beror på att absorptionen av karotenoiderna och deras omvandling till vitamin A inte alltid ser likadan ut eller sker med samma effektivitet. Idag säger FAO/WHO att 6µg av β-karoten eller 12µg av andra aktiva karotenoider ungefär ska motsvara 1µg retinol d.v.s. vitamin A. Detta system/beräkningsätt vilket infördes 1967 kallas för omvandling till retinolekvivalenter och anses av många vara på tok för förenklat. Anledningen till denna skepsis är bl.a. att effektiviteten på omvandlingen till A-vitamin beror av storleken på intaget av β-karoten men källan för karotenoidintaget har också stor betydelse för tillgodogörandet. I råa grönsaker har människokroppen i vissa fall endast förmågan att tillgodogöra sig ca 10% av karotenoiderna medan upptaget är ca 50% i tillagade grönsaker. Likaså beror upptaget på andra faktorer vilka tidigare nämnts så som exempelvis närvaro av fett. (Coultate 2009)

År 2001 skapade *US Institute of Medicine* ett alternativt system. Detta kallades för beräkning av retinolaktivitetsekvivalenter. Här sattes kvoten för β-karoten till 12:1 och kvoten för andra aktiva karotenoider till 24:1. Detta innebär att 12 mg β-karoten eller 24 mg andra aktiva karotenoider ska motsvara aktiviteten av 1 mg retinol. Detta system har dock inte hittills använts i Storbritannien eller EU. (Coultate 2009)

I sin naturliga miljö är karotenoider relativt stabila föreningar. Vid hög temperatur eller stark strålning kan dock isomerering ske och en del av trans-dubbelbindningarna övergår till cis. Med ökat antal cis-dubbelbindningar minskar färgintensiteten på tomaten. Isomerisering av karotenoider innebär också förändringar i bioaktiviteten. β-karoten vilket är den karotenoid med högst provitamin A effekt kan, om utsatt för isomerisering från trans-form till cis-form, minska betydligt i effektivitet att omvandlas till vitamin A. 13-cis-β-karoten och 9-cis-β-karoten är exempelvis bara hälften så effektiv i omvandlingen till vitamin A som den normala trans-isomeren. (Coultate 2009)

### **8.3. Karotenoidernas positiva hälsoeffekter**

Tomater är näringsrika och innehåller förutom karotenoider även andra antioxidanter så som vitamin C, tokoferoler och flavonoider. De är även en bra källa till folsyra. Alla dessa substanser sägs vara cancerpreventiva och förebygga hjärtsjukdom. Vad gäller karotenoider är lykopen den karotenoid som främst associeras till att förebygga dessa sjukdomar men även andra karotenoider som α- och β-karoten har delvis visat effekt. Då karotenoidernas cancerpreventiva effekter diskuterats är den cancerform som oftast nämns prostatacancer. (Levin och Cheshire 2008) Eftersom lykopen transporteras via blodet är det möjligt att genom blodprov mäta koncentrationen av lykopen i serum. Undersökningar på samband mellan lykopenhalt och prostatacancer samt lykopenhalt och hjärtsjukdom har utförts. Dessa studier visar på att det finns ett starkt samband mellan högre koncentration av lykopen i serum och en lägre risk för den icke ärftliga varianten av prostatacancer samt en lägre risk för kardiovaskulära sjukdomar. Undersökningar har också utförts på lykopeninnehåll i fettvävnad vilka visat samma resultat som de undersökningar som gjorts på serum. (Karakaya och Yilmaz 2007)

En kortare studie över lykopens påverkan på hjärtkärlsjukdom hos män har visat att försökspersoner som under två veckor fått en lykopenfri diet sänkt sitt lykopenplasmavärde med 50% varvid LDL-oxidationen ökade med 25%. Likaså har man i en studie (Levin och Cheshire 2008) sett att vid en lykopenrik diet minskade LDL syntesen med ca 73% och LDL nedbrytningen ökade med ca 34% varvid detta tillsammans gav en minskad kolesterohalt i blodet på ca 40%. Inom detta område har många studier utförts med liknande resultat (Levin och Cheshire 2008).

$\beta$ -Karoten och lutein har också studerats ur syfte att kunna förebygga ateroskleros. Dock har dessa undersökningar inte kunnat visa någon betydande effekt på att minska plackbildning och därmed förträngda kärl. (Levin och Cheshire 2008) Enligt boken *The Red Bodyguard* har läkare uttalat sig om att lykopen och tomater skulle kunna fördröja uppkomst av hjärtsjukdom på flera sätt såsom genom att minska inflammation, inhibera kolesterolsyntes och förbättra immunförsvaret. (Levin och Cheshire 2008)

#### **8.4. Karotenoidernas negativa hälsoeffekter**

Även om majoriteten av de studier som gjorts på karotenoider har visat på ett samband mellan intag och positiva hälsoeffekter finns det även studier vilka gett negativa resultat. Dessa studier är framförallt gjorda på  $\beta$ -karoten. En studie gjord i Finland har visat att då rökare fick tillskott av relativt stora mängder  $\beta$ -karoten ökade risken för dessa att insjukna i lungcancer. Gemensamt för alla studier som visat negativa hälsoeffekter är att försökspersonerna fått  $\beta$ -karoten i form av kosttillskott d.v.s. i pillerform. Doserna har också varit förhållandevis höga och en trolig anledning till den ökade sjukdomsutvecklingen är att dessa höga doser på något sätt bidrar till bildandet av fler fria radikaler. Lungorna är en syrerik miljö varför oxidation och radikalbildning lätt kan uppstå. Detta tillsammans med rökarens naturligt lägre nivåer av andra antioxidanter, p.g.a. rökningen, skulle kunna förklara den ökade risken för insjuknande. Hittills har inga negativa effekter setts i de fall att intaget av karotenoider skett via naturliga livsmedel. (Abrahamsson 2008)

### **9. Dagens förädling av tomater samt genmodifiering**

Som tidigare nämnts har det länge bedrivits traditionellt förädlingsarbete på tomatplantan. Denna förädling bedrivs bl.a. på längre hållbarhet, motståndskraftighet och resistens mot skadedjur och sjukdomar. Traditionell förädling mot ett högre karotenoidinnehåll har ännu inte utförts men med nya rön om karotenoidernas positiva hälsoeffekter har ämnet blivit aktuellt. (Levin och Cheshire 2008)

Traditionell förädling är dock en långsam och tidskrävande process varvid genmodifiering skulle kunna vara ett aktuellt alternativ. Med hjälp av genmodifiering går det att påverka tomatplantans genom och uppnå resultat som idag inte går att få med hjälp av traditionell förädling. (Levin och Cheshire 2008)



Det först genmodifierade livsmedlet var en tomat vilken kom ut på marknaden år 1994. Ett amerikanskt företag hade då lyckats att modifiera den gen som kodar för mognadsenzymet (Levin och Cheshire 2008) polygalakturonas, vilket gör tomaten mjuk. Resultatet blev en krispig tomat med fullt utvecklad smak och längre hållbarhet. Denna kallades "Flavr Savr". Tomatens nya egenskaper underlättade långa transporter, då risken för övermognad och skador kraftigt reducerades. (GMO Compass 2006) Denna genmodifierade tomat fick dock inte det genomslag man hoppats på då konsumenterna inte gärna ville köpa ett genmodifierat livsmedel som de trodde kunde påverka dem negativt vid ett långvarigt intag. De menade att ingen ännu studerat de negativa hälsoeffekter detta livsmedel kunde uppvisa efter år av konsumtion. Trots att inga bevis fanns som skulle kunna tyda på att tomaten kunde vara farlig drogs denna tillbaka från marknaden 1998. (Levin och Cheshire 2008)

Forskning inom detta område pågår dock fortfarande och år 2002 meddelande Purdue University i Indiana att de lyckats framställa en tomat med hjälp av genmodifiering som hade förbättrade kvaliteter, vilka inte angavs mer detaljerat. Man väntas kunna lansera denna tomat på marknaden tidigast år 2010. (Levin och Cheshire 2008)

## 10. Diskussion

Enligt litteraturen finns det idag nio stycken identifierade karotenoider. Fokus har i arbetet lagts på karotenoiderna lykopen,  $\beta$ -karoten och lutein. Detta med anledning av att det visats sig finnas dåligt med information och undersökningar utförda på de resterande sex karotenoiderna. Utöver dessa nio karotenoider finns det med stor sannolikhet även ytterligare, ännu inte upptäckta karotenoider i tomater. Ett frågetecken som uppkommit under arbetets gång är vilken substans det är som ger tomaten dess skalfärg. Denna kan vara antingen gul eller ofärgad och påverkar tomats slutgiltiga färg. Då det i övrigt är karotenoider samt klorofyll som ger tomats kött dess färg skulle även det pigment som färgar skalet kunna tillhöra gruppen karotenoider. Vilken karotenoid detta i så fall skulle kunna vara är ännu för oss oklart.

Hela tomatplantans utseende varierar mellan sorterna, bl.a. buskighet, höjd, bladform och bladvinkel kan skilja sig. Det finns möjlighet att dessa faktorer indirekt kan ha betydelse för plantans karotenoidinnehåll. Detta då flera växters  $\beta$ -karoteninnehåll kan styras genom påverkan av ljusintensitet och fotosyntes. Dessa rön innebär att de nämnda faktorerna skulle kunna vara aktuella för förädling, i det fall att de visar sig påverka karotenoidinnehållet i tillräckligt stor mån.

Ljus är en viktig aspekt vid tomatodlingen med avseende på karotenoidinnehåll. En allt för skarp strålning verkar negativt på lykopeninnehåll i tomater. Däremot är en god ljusintensitet positivt för produktionen av  $\beta$ -karoten. Här gäller det för odlaren att hitta rätt ljusintensitet för en optimal produktion av  $\beta$ -karoten utan att produktionen av lykopen blir lidande. Teorier om att ljus med olika våglängd skulle kunna påverka syntesen av karotenoider diskuteras. Stämmer detta skulle växthusodlare genom modifiering och optimering av ljusets våglängd kunna påverka tomaterna till en ökad syntes av karotenoider.

Utöver ljusförhållanden är temperatur en av de viktigaste förutsättningarna för att tomaten ska växa och producera karotenoider. Temperaturen får inte överstiga 30°C då detta resulterar i en lägre lykopenhalt. En fördelaktig temperatur bör ligga mellan 22 och 25°C. Beroende på var odlingen äger rum, d.v.s. på vilken breddgrad tomaterna odlas kan problemen med att hålla temperaturintervallet se lite olika ut. I norden går problemet att lösa genom växthusodling. På varmare kontinenter kan problemet bli svårare att lösa. Med årstiden varierar även temperaturen inom ett odlingsområde. Lykopenproduktionen verkar gynnas under de varmare perioderna av året medan  $\beta$ -karoten och lutein toppar under de kallare månaderna. I denna undersökning hade de dock inte tagit hänsyn till vilken tomatsort som odlats under de olika delarna av året, men stämmer skillnaderna i lykopen-,  $\beta$ -karoten- och luteinproduktion ger detta odlaren ett dilemma; vilken karotenoid vill vi ha mest av? Vilken temperatur är att föredra?

Då tomaten är en klimakterisk frukt och således kan skördas vid olika mognadsstadier uppkommer frågan om tidpunkten för skörd skulle kunna påverka det slutliga karotenoidinnehållet. Bör tomaten ur karotenoidsynpunkt få lov att färdigmogna på plantan eller går det lika bra att skörda tidigt och sedan låta den eftermogna? Enligt en studie (se avsnitt 7.5.) gjord på tomatskal löst i etanol visade det sig att närvaro av klorofyll gav en klar ökning av lykopennedbrytningen under lagring. Dessa resultat kan innebära att en tidig skörd, där tomaten först förvaras omogen för senare eftermognad skulle kunna ge en lägre lykopenhalt. Detta då den omogna tomaten innehåller högre halter av klorofyll och ännu inte hunnit syntetisera alla karotenoider.

Tomaten som livsmedelsgröda har uppmärksammats inom hjärt-kärlsjukdom- och cancerforskning då flera av tomatens näringsämnen anses ha hälsofrämjande och preventiva egenskaper för dessa sjukdomar. Anledningen till detta är till stor del tomatens rika innehåll av karotenoider, men även av andra substanser. Vilka substanser som har störst betydelse är oklart, men genom studier på plasmakoncentrationer av karotenoiden lykopen har dock ett tydligt samband mellan positiva hälsoeffekter och högt plasmalykopenvärden kunnat ses. Lykopen är den karotenoid som anses ha störst preventiv effekt på prostatacancer. Anledningen till detta skulle kunna vara att det är just prostatan som utgör en av lykopens lagringspolar.

Lykopen har i undersökningar (se avsnitt 8.3) visats kunna öka LDL-nedbrytningen samt minska LDL-syntesen och LDL-oxidationen i kroppen. Dessa faktorer leder tillsammans till ett sänkt kolesterolvärde. Resultat kan ses som en förklaring till varför lykopen minskar risken för hjärt-kärlsjukdomar då framförallt oxiderat LDL- kolesterol ökar risken för ateroskleros. Liknande undersökningar har även utförts på andra karotenoider, men resultaten har inte visat på ett lika tydligt samband som för lykopen. Detta visar också att de olika karotenoiderna har olika nutritionellt värde för människan.

Då det talas om nutritionellt värde hos tomater och tomatbaserade produkter är en viktig aspekt hur finfördelning, beredning och processning av tomater kan påverka karotenoidinnehåll, karotenoidbiotillgänglighet och därmed absorption. Livsmedelsprocesser kan styra detta i både positiv och negativ riktning. Vid beredning av tomater kan ett tillskott av fett eller olja gynna karotenoidabsorptionen. Anledningen till detta är förmodligen karotenoidernas fettlösliga egenskaper. Dessa gör att karotenoiderna löser sig i fett och därmed kan tas upp tillsammans med andra fettlösliga substanser med hjälp av gallsaltmicellerna.

Olika karotenoider är olika känsliga för påverkan av syre, ljus, temperatur och lågt pH. Lykopen och lutein är karotenoider vilka ur absorptionssynpunkt kan gynnas av en viss upphettning varvid biotillgängligheten ökar.  $\beta$ -Karoten däremot, missgynnas av höga temperaturer då både nedbrytning och minskning av provitamin A aktivitet sker. Detta innebär att en värmebehandlad, processad tomatprodukt kan innehålla högre halter av biotillgängliga karotenoider än färska tomater. Dock gäller detta i så fall ett ökat lykopenupptag. Är målet att få i sig  $\beta$ -karoten är troligen intag av färska tomater att föredra.

Det finns många aspekter att tänka på då målet är att odla fram en tomat med optimalt näringsinnehåll. I detta arbete har vi utgått ifrån att det optimala ur näringssynpunkt är en hög halt av karotenoider. Tomaten innehåller dock många andra substanser som i studier visat sig vara hälsofrämjande, exempelvis; tokoferol, vitamin C och tomatin. Vad som händer med dessa ämnen då förädling, odling och processning anpassas efter karotenoidernas preferenser är dock oklart. Ett exempel är tomatin, vilken förekommer i högst halt i omogna gröna tomater och nivåerna sjunker under tomatens mognad. Denna glykoalkaloid har bl.a. uppmärksammats för sin förmåga att kunna sänka LDL-kolesterol. Detta innebär att konsumenten här ställs inför ett dilemma; är gröna eller röda tomater att föredra? Det finns studier som tyder på att vi bör äta både gröna och röda tomater för att få i oss både tomatin och lykopen. (Kozukue och Friedman 2003)

En annan aspekt att tänka på är huruvida ett högt intag av karotenoider är lämpligt för alla individer. Med dagens tomater med ”naturliga” karotenoidnivåer är det nog svårt att överdosera karotenoidintaget, men om det i framtiden exempelvis via GM går att ta fram tomater med extra högt innehåll kommer frågan om vad ett rekommenderat dagligt intag bör vara förmodligen att uppkomma. Något som belyser vikten av detta är den studie vilken angavs under avsnitt 8.4. där tillskott av  $\beta$ -karoten gavs till rökande individer.

Sammanfattningsvis kan man säga att det finns många studier utförda på karotenoider vilka indikerar goda hälsoeffekter, och att det finns många faktorer med vilka man kan påverka karotenoidinnehåll både vid odling och vid processning. Dock bör man komma ihåg att tomatens positiva egenskaper även kan bero på andra i tomaten förekommande substanser och att hälsofördelarna inte nödvändigtvis måste gå hand i hand med en ökad koncentration av intaget. Intresset för hälsa ökar och i framtiden kommer vi förmodligen att se mycket mer av både undersökningar, analyser och förädlingsarbete inom detta område. Kanske kommer tomaten att i framtiden p.g.a. sitt karotenoidinnehåll få lov att klassas som ett *Functional Food* eller vem vet kanske kommer ett nytt hälsosamt ämne att identifieras i tomat som till och med överträffar karotenoidernas goda egenskaper?

## 11. Slutsats

De nio karotenoider från tomat som idag är kända är; lykopen,  $\beta$ -karoten, lutein, fytoen, fytofluen,  $\alpha$ -karoten, neurosporen, zeaxantin och  $\beta$ -kryptoxantin. Dessa har olika nutritionellt värde för människan, varvid lykopen, med sin starka antioxidativa förmåga, och  $\beta$ -karoten, med sin kraftfulla provitamin A aktivitet, utmärker sig mest. Lykopen är den karotenoid som har visat sig ha störst preventiv effekt på cancer och kardiovaskulära sjukdomar.

Det går att påverka sammansättningen i tomaten med avseende på karotenoider genom olika växtbetingelser så om ljus, strålning, temperatur och skörd, men även omgivande faktorer så som lagring, geografi och klimat har betydelse. Efter skörd är det möjligt att påverka karotenoidernas biotillgänglighet genom olika former av processning. Lykopen och lutein gynnas av värmebehandling medan  $\beta$ -karoten vid upphettning påverkas negativt.

I framtiden kommer med största sannolikhet det traditionella förädlingsarbetet på tomater att fortgå och utvecklas. Likaså kan genmodifiering skapa nya möjligheter inom framtagandet av nya tomatsorter med andra egenskaper än de som finns idag. Om karotenoidernas positiva hälsoeffekter även bekräftas i framtida studier är sannolikheten stor att det inom överskådlig tid kommer att lanseras en GM-tomat med höjda karotenoidnivåer.

## 12. Referenser

### Publicerade källor:

Abrahamsson L, Andersson A, Becker W och Nilsson G, 2008: *Näringslära för högskolan*. 5e upplagan, Slovenien: Liber AB (s. 261-263, 266)

Aherne S. A., Jiwan M. A., Daly T. and O'Brien N. M, 2009: Geographical Location has Greater Impact on Carotenoid Content and Bioaccessibility from Tomatoes than Variety. *Plant Foods Human Nutrition*. 64. (s. 250, 255)

Brandt S, Pék Z, Barna É, Lugasi A and Helyes L, 2006: Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86. (s. 568-571)

Brugård Konde. Å, Staffas. A, Dahl. P och Becker. W, 2006: Livsmedelsverkets Rapportserie; Rapport 12/96. *Karotenoider i livsmedel i Sverige*. Svenska Livsmedelsverket. Elektroniskt tillgänglig: <http://www.slv.se/sv/Settings/Sok-Siteseeker/?quicksearchquery=lykopen> Senast ändrad: 2009-06-03

Calvo. M. M and Santa-María G, 2008: Effect of illumination and chlorophylls on stability of tomato carotenoids. *Science Direct – Food Chemistry*. 107. (s. 1363-1370)

Coulter T, 2009: *FOOD The chemistry of its components*. 5<sup>th</sup> edition, UK: RSC publishing (s. 218, 220, 225-227, 338-339)

Fogelfors H, 2001: *Växtproduktion i jordbruket*. Borås: Natur och kultur/LTs förlag (s. 106-107, 322-323, 326, 330)

Johansson U, 2004: *Näring och Hälsa*. Danmark: Studentlitteratur (s. 112, 266)

Kacjan Maršić N, Šircelj H and Kastelec D, 2010: Lipophilic Antioxidants and Some Carpoetric Characteristics of Fruits of Ten Processing Tomato Varieties, Grown in Different Climatic Conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58:1 (s. 395)

Karakaya S and Yilmaz N, 2007: Lycopene content and antioxidant activity of fresh and processed tomatoes and in vitro bioavailability of lycopene. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87 (s. 2342-2343)

Kozukue N and Friedman M, 2003: Tomatine, Chlorophyll,  $\beta$ -carotene and lycopene content in tomatoes during growth and maturation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 83 (s. 195, 198-199)

Kuti J and Konuru H, 2005: Effects of genotype and cultivation environment on lycopene content in red-ripe tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85 (s. 2021)

Levin. R and Cheshire. G, 2008: *The Red Bodyguard*. UK: Icon Books (s. 1, 13-15, 25, 28, 48-49, 50-51, 81, 83-85, 126-128)

Olsson M, 1999: Fakta trädgård Nr3. *De livsviktiga antioxidanterna*. SLU. (s. 1-4)

Rappe G. M., Sjögren A och Åkesson H, 2008: *Optimering av näringsinnehållet av svenskproducerad mat - micronäringsämnen i tomat, ägg och vete*. Institutionen för livsmedelsvetenskap. SLU (s. 3)

Sánchez-Moreno C, Plaza L, Begoña de Ancos, Pilar Cano M, 2005: Nutritional characterization of commercial traditional pasteurised tomato juices: carotenoids, vitamin- C and radical-scavenging capacity *Food Chemistry Science Direct*. 98 (s. 749, 753)

Truedsson Å, 2001: *Tomater*. Finland: Natur och kultur/LTs förlag (s. 16-18, 50, 83)

#### Elektroniska källor

Allcat Instruments (senast uppdaterad: ej angivet) *PPF ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) to Lux conversion* (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.allcat.biz/mesurez/anglais/default/news.php> (2010-05-13)

Food and agriculture organization of the United Nations (FAOSTAT) (senast uppdaterad 2009) (Elektronisk) Tillgänglig: <http://faostat.fao.org> (2010-05-05)

GMO Compass (senast uppdaterad 2006) *Fruits and vegetables-Tomatoes* (Elektronisk) Tillgänglig: [http://www.gmocompass.org/eng/grocery\\_shopping/fruit\\_vegetables/15.genetically\\_modified\\_tomatoes.html](http://www.gmocompass.org/eng/grocery_shopping/fruit_vegetables/15.genetically_modified_tomatoes.html) (2010-05-04)

Nationalencyklopedin (senast uppdaterad 2010) *Karotenoider* (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.ne.se/karotenoider> (2010-04-22)

Odlan.nu – Din trädgård på nätet (senast uppdaterad: ej angivet) *Tomat* (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.odla.nu/vegt/tomat.shtml> (2010-04-23)

Tetrapak (senast uppdaterad: ej angivet) *Tomatbaserade produkter* (Elektronisk) Tillgänglig: [http://www.tetrapak.com/se/livsmedel/food/tomato\\_products/Pages/default.aspx](http://www.tetrapak.com/se/livsmedel/food/tomato_products/Pages/default.aspx) (2010-05-13)

Tomatsidan (senast uppdaterad 2009) *Tomatinfo* (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.tomatsidan.se/tomatinfo/Info.htm> (2010-04-20)