

100

2605

INSTITUUT VOOR BEWARING EN VERWERKING VAN TUINBOUWPRODUCTEN,

Haagsteeg 6, Wageningen.

Tel.: 0 8370 - 2045.

Instituut voor bewaring en  
verwerking van tuinbouwproducten  
Haagsteeg 6 - Wageningen

RAPPORT NO. : 1510 (intern).

ONDERWERP : Een samenvatting van de literatuur  
betreffende de kleurvorming bij tomaten.

UITGEBRACHT AAN : Werkgroep Kwaliteit van de tomaat.

SAMENGESTELD DOOR : Mej.Ir.Ch.E.M.Berkholst.

(Publikatie uitsluitend met  
toestemming v.d.Directeur).

1210 400

## INHOUDSOPGAVE.

### Inleiding

1. <u>De chemie van de kleurvorming</u>	
1.1. De kleurcomponenten	pag. 1
1.2. De structurele opbouw van de carotenoiden	2
1.3. Nomenclatuur	6
1.4. De regulatie in de synthese	8
1.4.1. De genetische invloed	8
1.4.2. De beïnvloeding door milieufactoren	16
1.4.2.1. De temperatuur	16
1.4.2.2. De atmosfeer	20
1.4.2.3. Het licht	21
1.4.2.4. Ioniserende bestralingen	23
1.4.2.5. De voedingstoestand	24
2. <u>De fysiologie van de kleurvorming</u>	
2.1. Plaatsen van carotenoidsynthese	24
2.2. Kleuring en rijping	26
3. <u>Practische aspecten van de kleuring</u>	
3.1. Evaluatie van de kleur	29
3.2. Mogelijkheden van opkleuring	30
3.3. De afbraak van de kleur	34
3.4. De kleurmeting	35

### Referenties

---

## Een samenvatting van literatuur betreffende de kleurvorming bij tomaten.

door Mej.Ir.Ch.E.M.Berkholst.

### Inleiding.

Een literatuuronderzoek over de chemie en de fysiologie van de kleurvorming bij tomaten werd verricht met het doel een bijdrage te leveren ter verbetering van de presentatie van het produkt in ruimere zin. In eerste instantie werd hiermede bezinning beoogd over de gebruikelijke bewaringsmethodiek. In uitbreiding hierop werd aan de mogelijkheden voor de toekomst gedacht als, het dusdanig stimuleren van de kleurontwikkeling, dat fysiologisch jongere en daarvoor steviger vruchten ter consumptie kunnen worden aangeboden en dat de industriële verwerking van eigen tomaten een aanmoediging krijgt. Verder het nemen van maatregelen ter voorkoming van de vorming van bepaalde oxydatieprodukten van carotenen, die afbreuk zouden doen aan de goede smaak.

### 1. De chemie van de kleurvorming.

#### 1.1. De kleurcomponenten.

Analyses van de kleurstoffen in de tomaat, leren de aanwezigheid van (gele) xanthophylen, rode-, oranje en gele carotenen en een geel flavonoïde. De literatuur doet overwegend blijken van belangstelling voor de carotenen. Deze voorkeur moet wellicht, deels, worden toegeschreven aan het relatief geringe voorkomen van de xanthophylen ( $C_{40}H_{56}O_2$ ) en een zekere mate van starheid gedurende de ontwikkeling van de vrucht. Voor onrijp-groene-, halfrijpe- en rijpe tomaten werden respectievelijk de volgende hoeveelheden per 100 gram vers weefselgewicht gemeten: 0,02 - 0,03 - 0,06 mg xanthophyl tegen corresponderende fracties van lycopoen en betacaroteen van 0,11 - 0,84 - 7,85 mg respectievelijk 0,16 - 0,43 en 0,73 mg (32). Aan de andere kant is daar het nog niet bevredigend opgeloste vraagstuk over de relatie tussen het lycopoen en het betacaroteen. In de tomaat, heeft een invloedrijk agens als de temperatuur, op het complex van xanthophylen slechts een zeer geringe responsie (11).

Ook voor het gele flavonoïde blijkt, uit de literatuur, de belangstelling slechts matig te zijn. Wellicht is dit evenzeer te wijten aan een zekere mate van probleemloosheid.

Het gele, alkalisch oplosbare, flavonoïde zit vooral gelocaliseerd in de cuticula en de overmatig dikke celwanden van de epidermis. Slechts kleine hoeveelheden kleurstof (circa ééntiende deel) konden uit het vruchtvlees worden geïsoleerd (52). De potentie tot de vorming van de kleurstof is, voor zover het de schil betreft, genetisch bepaald bevonden. In dominante vorm doet specifiek het allel *y*, de capaciteit van de schil voor de vorming van het flavonoïde vertienvoudigen. Het gehalte in het vruchtvlees blijft ongewijzigd.

Er is wel een opmerkelijkheid gelegen in het flavonoïde, waaraan door Piringer en Heinze (45) een kort onderzoek gewijd werd. Voor de vorming van de kleurstof blijkt licht noodzakelijk te zijn. In de synthese wordt een regulerende werking ondervonden van een fytochroom pigment, dat een gelijksoortig werkingsspectrum heeft als het pigment, dat processen reguleert als o.m. de kieming van slazaad en de bloemaanleg van Cocklebur (45). Rood licht, dat het fytochroom pigment in biologisch actieve vorm brengt, stimuleert de vorming van het flavonoïde. Infrarode straling en donker bewerken een invert effect; zij remmen de vorming. De drempelwaarde voor kleurstofvorming van het licht van een gloeilamp (procentueel meer rood stralend dan zonlicht), varieert tussen 0,0005 en 0,005 fc per uur of 0,03 en 0,3 fc per minuut gedurende de gevoelige periode, d.w.z. voor rijpgroen afgeplukt fruit, 5 dagen lang. De schillen van *y*-tomaten of van licht afgesloten *Y*-vruchten zijn transparant. Bij vruchten van de commerciële rassen (met het dominante gen *R*, zie pag. 7 e.v.) zijn transparante schillen echter nooit kleurloos en wel door de afzetting van carotenoiden (52, 56).

Een eenvoudig hulpmiddel voor de indicatie van de schilkleur, zouden volgens Groth (25) de kleine vlekjes vormen op de rugzijde van de vrucht. In het geval van een gele schil zijn het "golden specks", bij transparantie "silver specks".

#### 1.2. De structurele opbouw van de carotenoiden.

Tijdens de rijping ziet men de consumptietomaten een kleurverandering doormaken van groen over geel en oranje naar oranjerood of dieprood.

Analyses door Dalal en medewerkers (8) wezen op een scherpe daling in het chlorophyl gehalte van de tomaat, kort na het bereiken van het rijp-groene stadium. Deze fase kenmerkt zich tevens door een sterke stijging in het gehalte aan betacaroteen. Dit verschijnsel was reeds in vroege jaren bekend.

Gesteund door de bevinding van het chlorophyl-vergezellend voorkomen van betacaroteen in het blad, heeft men aanvankelijk gemeend, dat er een bepaald verband bestond tussen het chlorophyl en het betacaroteen in de vrucht. Met name de phytolgroep ( $C_{20}H_{40}O$ ) in het chlorophyl achtte men de precursor van het betacaroteen.

Door Kuhn en Grundmann in 1932 (uit 32) en door Dalal et al. in 1965 is echter aangetoond, dat de tomaat te weinig phytol in de vruchten bezit, om deze verbinding te kunnen bestempelen tot uitgangsmateriaal van het betacaroteen noch ander carotenofide. Een in dit verband interessante waarneming is die van Smith en Smith (uit 40), die tomaten bij uitsluiting van licht tot rode kleurvorming zagen overgaan na een stadium van albinisme. In licht ontwikkelde vruchten maken een chlorophylstadium door, alvorens tot rode pigmentatie over te gaan.

Met de bedoeling na te gaan of de synthese van betacaroteen dan mogelijk dezelfde weg volgt als die van chlorophyl, verrichtten Baker en Tomes (2) een bepaling van de chemische componenten in kwestie, in mutanten met dwerggroei (d-gen) en met de zogenaamde hoogpigmentige vruchtkleuring (hp-gen). Beide mutanten kenmerken zich door de vorming van donkergroen blad als gevolg van een overvloedige chlorophylvorming. In hp-tomaten bleek het niveau der carotenofiden inderdaad hoger te liggen dan in normaal-rode vruchten. Van de d-factor werd daarentegen geen invloed waargenomen op het gehalte aan betacaroteen noch ander carotenofide. Het onderzoek door Ramirez en Tomes (50) leverde evenmin het absolute bewijs op, van een gelijksoortige synthese van chlorophyl en de plastidale carotenofiden.

Hier werden Rutgers en de chlorophylbevattende Dirty-Redtomaten vergeleken:

rijpingsstadium	chlorophyl-a	chlorophyl-b
Rutgers groene tomaten	23,14 ± 2,73 mg %	10,08 ± 2,81 mg %
" turning "	4,90 ± 2,32	4,10 ± 1,17
" rijprode "	0,00	0,00
Dirty red groene tomaten	26,14 ± 0,33	9,63 ± 1,90
" turning "	7,52 ± 0,94	7,03 ± 1,10
" rijpe "	7,81 ± 1,44	4,07 ± 1,65

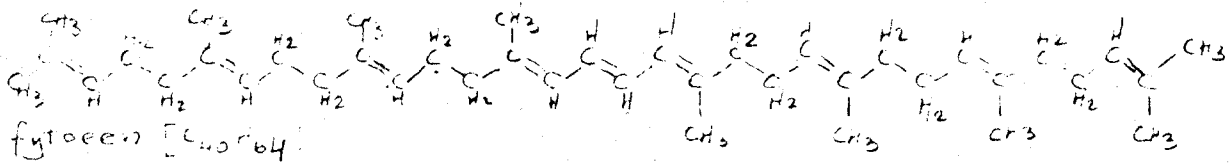
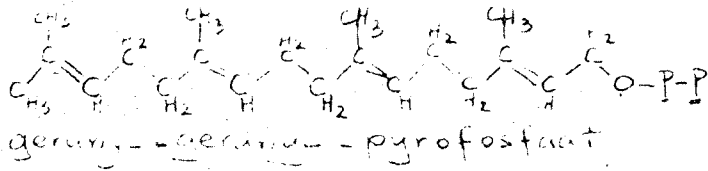
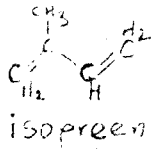
Gedurende de vruchtontwikkeling en rijping gedroeg het chlorophylasepatroon der rassen zich conform het chlorophylpatroon: in jonge vruchten veel chlorophylase, in rijpe vruchten geen, resp. zeer gering in Dirty-Red. De conclusie werd toen gemaakt, dat in Dirty-Redtomaten de vorming van het chlorophyl zich langer voortzet. Een belangrijke waarneming was, dat inkruizing van de Dirty-Redfactor in de normaal-rode Rutgers, in roodrijpende  $F_2$ -vruchten een reductie bewerkte in het totaal aantal carotenoiden (niet-tegenstaande de totale verdwijning van het chlorophyl).

Fytoëen en lycopreen waren de grote verliezers, gevolgd door fytoflueen en gammacaroteen. Merkwaardig genoeg bleef het gehalte van betacaroteen vrijwel gelijk.

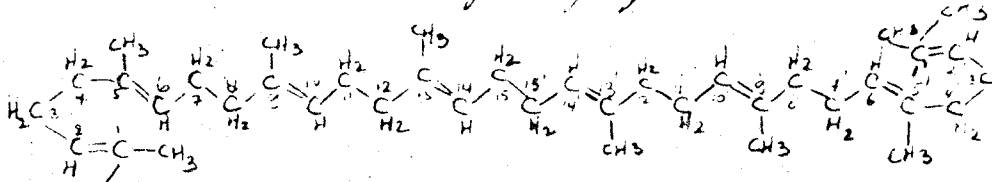
Het feit, dat het zoeken naar een parallel of samenhang in de synthese van chlorophyl en carotenoiden, geen bevredigende resultaten heeft afgevoerd voor het verkrijgen van inzicht omtrent de biochemie der carotenoiden, is aanleiding geweest, om de synthese van carotenoiden als een zelfstandig proces te beschouwen.

In recente overzichten beschrijven Goodwin (22) en Grob (24) het proces als zijnde drietraps verlopend:

- 1e. de vorming van het actieve isopreen uit substraten, waarvan  $\alpha$ -zijnzuur de elementair carotinogeen werkzame verbinding genoemd wordt. Glucose en vetzuren zijn andere koolstofbronnen, die echter eerst een omzetting moeten ondergaan tot acetyl-CoA alvorens betrokken te kunnen worden in de synthese.
- 2e. de voltrekking van de ketenopbouw. Door kop-staart verbindingen van actieve isopreenmoleculen vormt zich het geranyl-geranylpyrofosfaat, dat door een staart-staart dimerisatie overgaat in het fytoëen.

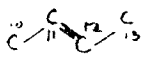


3<sup>e</sup> de inzet van de hydrogenatie-trappen, die resulteert in gekleurde verbindingen, want in carotenoiden wordt het chromofore systeem gevormd door de reeks van geconjugeerde dubbele bindingen



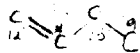
fytoeen - gebruikelijke structuurformule - kleurloos, fluoresceert in UV-licht

↓ -2H



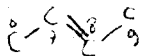
fytoflaveen (C<sub>40</sub>H<sub>62</sub>), kleurloos, fluoresceert

↓ -2H



zetacaroteen (C<sub>40</sub>H<sub>60</sub>), bleek citroengeel

↓ -2H



neurosporeen, intermediair tussen oranje en rood

↓ -2H



Lycopreen, rood

Bij het informerend onderzoek heeft men zich bediend van schimmels, die men getypeerd zag door een hoog carotenoïde productie (*Phycomyces blakesleeanus*, *Mucor hiemalis*) en die bovendien gemakkelijk in cultuur gehouden konden worden m.b.v. synthetische stoffen. Er zijn echter aanwijzingen om aan te nemen, dat de voorgestelde synthese eveneens opgaat voor hogere planten, o.a. de tomaat. Door tomaatschillen te incuberen in een gemerkte acetaatoplossing, bewerkstelligden Decker en Uehleke (10) de vorming van (gemerkt) lycopeen. Deze methodiek wordt zelfs als zeer rendabel aangemerkt voor de bereiding van lycopeen. Wells et al. (75) isoleerden plastiden uit de tomaatvrucht en constateerden na overbrenging in een medium van geranyl-geranylpyrofosfaat, de vorming van plastidaal fytoëen.

### 1.3. Nomenclatuur.

Voor een juist begrip over de, in dit verslag gebruikte, terminologie, volgen hier enkele uiteenzettingen, die overgenomen werden uit de artikelen 3, 19, 20, 32 en 44.

Per definitie noemt men de carotenoïden, in vet en vet solvents oplosbare, uit isopreen opgebouwde,  $C_{40}$ -verbindingen, waarin de bouwstenen zodanig verbonden zijn, dat de twee methylgroepen het dichtst bij het centrum van het molecule, in de koolstofpositie 1:6 staan, terwijl deze koolstofpositie voor de andere laterale methylgroepen 1:5 is.

De carotenoïden zijn in twee groepen onder te brengen: de zuivere koolwaterstoffen of polyenen en de zuurstofbevattende derivaten, de xanthophylen of zuurstofhoudende polyenen.

De isomere polyenen van de samenstelling  $C_{40}H_{56}$  noemt men carotenen (een uitzondering hierop vormt het zetacaroteen).

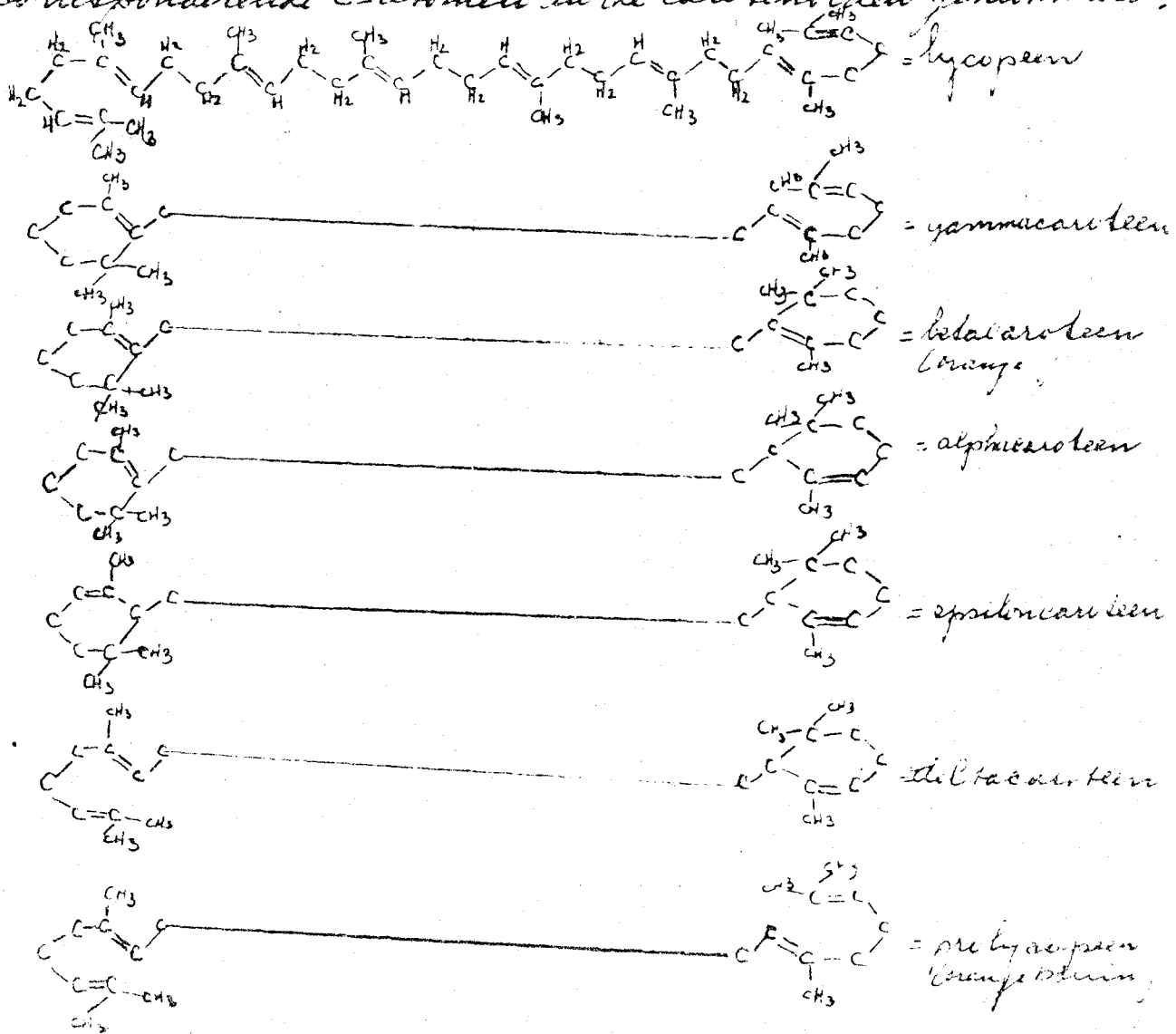


Binnen de groep der carotenen leeft men een verscheidenheid aan in de ruimtelijke configuratie, men telt:

- acyclische - of alifatische verbindingen (bv. lycopeen)
- monocyclische " (bv. gammacaroteen)
- bicyclische " (bv. epsiloncaroteen)

De endstructuren van het lycopeen, betacaroteen en epsiloncaroteen noemt men respectievelijk psi-, beta- en alpha iononen.

De nummering van de koolstofatomen <sup>als</sup> toegepast in de fytochemie wordt algemeen erkend. In overeenkomende volgorde worden corresponderende C-atomen in de carotenoiden genummerd.



1.4. De regulatie in de synthese.

Het fytoëen wordt algemeen beschouwd als de basissubstantie van alle carotenoiden. Slechts over de volgorde van isomerisatie binnen de carotenen wordt een soort specificiteit vermoed en bestaat er, met betrekking tot de tomaat, onzekerheid aangaande de rangorde van het lycopen ten opzichte van het betacaroteen. Het laat zich echter aanzien, dat de ene hypothese de andere niet uitsluit en dat de genetische structuur de volgorde van synthese bepaalt. De bestaande denkbeelden vinden toelichting in de volgende paragrafen.

1.4.1. De genetische invloed.

Het effect van de genen op de pigmentatie is groot. Het vormt een ideaal verschijnsel voor agrarische toepassing, want de verscheidenheid is groot, waardoor een sortering in vruchtkleur verkregen kan worden, die waarschijnlijk nooit te bewerkstelligen zal zijn door manipulaties met milieufactoren.

We kennen: a groenvruchtige soorten, behorend tot

Lycopersicon peruvianum,  
L. hirsutum,  
L. minutum,  
L. chilense;

b oranjevruchtige soorten, behorend tot

L. pimpinellifolium (v.d. Galapagoseilanden),  
L. cheesemani;

c roodvruchtige soorten, behorend tot

L. pimpinellifolium (v.h. Zuidamerikaanse),  
continent  
L. esculentum.

In de bovengenoemde soorten wordt de leidende rol vervuld door de genen R, T, B,  $mo_B^+$ , At en Gh naar de inventarisatie door Rick en Butler (51) en waaraan naderhand konden worden toegevoegd: Hp (63, 67), Del (31, 68) en Crimson (64). Elk van de bovengenoemde genen is onafhankelijk en, hetzij in dominante dan wel recessieve vorm, in elke tomaat vertegenwoordigd.

Aangezien de tomaat van nature in hoge mate zelfbevruchtend is, zullen de planten in populaties overwegend homozygoot zijn voor een groot deel der genen.

Op genetische gronden en enigermate geleid door op het oog lijkende structuurverwantschap, poneerden Lincoln en Porter (37) als eersten een hypothese omtrent de volgorde van de hydrogenatie en daaropvolgende cyclisaties van de polyenen in de tomaat.

		fytoëen
		- 2H
		fytoflueen
		- 2H
		zetacaroteen
prolycopeen		- 2H
	- 2H	neurosporeen
deltacaroteen		- 2H
		lycopeen
		gammacaroteen
		betacaroteen
		alphacaroteen
		?
		epsiloncaroteen

De bovengegeven volgorde van reacties zou naar later onderzoek heeft aangetoond ook op kinetische basis aanvaardbaar zijn (22). De voorrangplaatsing van het lycopeen ten opzichte van het betacaroteen spruit voort uit de bevinding (uitvoerig beschreven op pag.10), dat onder invloed van de dominante vorm van het allel b, de hoeveelheid lycopeen met eenzelfde hoeveelheid afneemt als betacaroteen toeneemt.

In de z.g.n. groenvruchtige rassen wordt het allel Gh (voor ghost) in recessieve vorm aangetroffen. Verondersteld wordt, dat het gen de omzetting van het fytoëen naar het lycopeen blokkeert.

In ghosttypen is het fytoëen het belangrijkste polyeen: ruim 95 % van het totaal; lycopen nog geen 1 %. Het ghost-allel zal verder buiten de bespreking blijven.

In de roodvruchtige rassen is lycopen het hoofdpigment. We kennen binnen deze groep verschillende genotypen.

In normaalrode canning tomaten, zoals b.v. Rutgers, kan het rijpe fruit, onder optimale condities, een gehalte aan polyenen bezitten tot ongeveer 20 mg per 100 gram vers weefselgewicht. Van dit totaal maakt het lycopen tot ongeveer 50 % deel uit. Voor zover het kleurdragende stoffen zijn, neemt het betacaroteen na het lycopen, de belangrijkste plaats in (tot ca. 5 %). Porter en Lincoln (37) waren meer kwalitatief in de mededelingen ter ondersteuning van hun hypothese. De hier en volgend verstrekte gegevens werden overgenomen uit 21, 31, 51.

Het genensymbool voor Rutgers is:

RR TT bb mo<sub>B</sub><sup>+</sup>mo<sub>B</sub><sup>+</sup> AtAt DelDel HpHp Crimsongenen

In rijpe vruchten van dit ras werden, de zogenaamde intermediaire verbindingen, gamma- en alphacaroteen in sporenconcentraties aangetroffen; zetacaroteen varieerde van sporadische tegenwoordigheid tot nihil, terwijl neurosporeen, deltacaroteen en prolycopen in het geheel niet aantoonbaar waren.

Aan de factor R wordt de productiestuwing toegeschreven van de algemene polyeenprecursor naar het lycopen toe. Relatief hoge concentraties van fytoëen en fytoflueen heeft men in de vruchten aangetoond. T wordt eveneens geacht de synthese te reguleren van de algemene precursor tot aan het lycopen.

Een ander symbool voor normaalrode vlezigheid is:

RR TT bb mo<sub>B</sub>mo<sub>B</sub> AtAt DelDel HpHp Crimson

Onder invloed van de recessieve factor mo<sub>B</sub> heeft een geringe meervorming plaats van het betacaroteen ten koste van het lycopen. Het allel wordt in de literatuur (51) een modiërend gen van B genoemd, omdat het geen aanleiding zou geven tot de schepping van een bepaald phaenotype. Chemische analyses van de vruchten moeten de aanwezigheid van de factor aantonen. In rijpe vruchten van een door Kargl en medewerkers (31) niet nader genoemd ras van dit type, werd een meerwaarde bepaald aan betacaroteen van 5 % en een minderwaarde aan lycopen van 6 % ten opzichte van Rutgers.

Het intermediaire gamma-caroteen nam van vrijwel nihil in Rutgers tomaten tot tot ruim 1 % van het polyenentotaal.

Alle roodvlezige vruchten zijn in het bezit van de dominante factoren R en T.

Binnen de roodoranje-vlezige tomaten komt men de volgende typen tegen:

RR TT bb mo<sub>B</sub><sup>+</sup>mo<sub>B</sub><sup>+</sup> AtAt deldel HpHp Crimson

het zogenaamde "delta type", waarvan een eerste beschrijving werd aangetroffen daterend van 1960, van de hand van Kargl en medewerkers (31). In tomaten van dit genotype werd een totaal aan polyenen gemeten van dezelfde orde van grootte als dat van normaal rode tomaten.

Verschilpunten ten opzichte van Rutgers fruit (31, 51, 68):

de aanwezigheid van:

neurosporeen (ongeveer 3 % van het totaal aan polyenen),  
zetacaroteen (ongeveer 7 %),  
deltacaroteen (ongeveer 15 %),  
epsiloncaroteen (sporenconcentraties).

de reductie van:

lycopeengehalte (ongeveer 20 %).

Het gehalte van betacaroteen was vrijwel gelijk gebleven. Dit type is tot dusverre het enige waarin men epsiloncaroteen heeft kunnen aantreffen.

RR TT bb mo<sub>B</sub><sup>+</sup>mo<sub>B</sub><sup>+</sup> AtAt deldel hphp Crimson

het zogenaamde "hoog-delta type".

Het recessieve allel hp is in staat de totale hoeveelheid aan polyenen toe te doen nemen, zonder een specifieke voorkeur te doen gelden voor bepaalde carotenen (68).

Onder invloed van het gen del wordt de synthese gedreven in de richting van het deltaxacaroteen, waardoor het lycopeen niet het gehalte van normaal-rode tomaten bereikt (nu ongeveer 18 % van het totaal aan polyenen). Het deltaxacaroteen lag in het hoog-delta-type ongeveer 0,4 mg per 100 gram vers weefselgewicht hoger dan zijn waarde in fruit van het delta-type.

Het betacaroteen nam niet significant toe.

In aller eerder genoemde typen ontbreekt het prolycopeen.

RR TT BB mo<sub>B</sub><sup>+</sup>mo<sub>B</sub><sup>+</sup> AtAt DelDel HpHp Crimson

het zogenaamde "intermediair-beta-type". Het dominante allel B heeft een uitermate belangrijk aandeel gehad in de opstelling van de hypothese volgens Lincoln en Porter (37). Dit gen manifesteerde zich in kruizingen van de consumptietomaat (*Lycopersicon esculentum*) met een ras binnen het soort *Lycopersicon hirsutum*. Onder invloed van B bleek een versterkte synthese van beta-caroteen te hebben plaatsgevonden ten koste van het lycopeen.

De analyses reveleerden het volgorde (31, 67, 68):

- een totaal polyenengehalte gelijk aan dat van normaalrode tomaten;
- een reductie van het lycopeengehalte tot ongeveer 30 % van het polyenentotaal;
- een toename in het betacaroteengehalte tot ongeveer 50 %;
- een toename van het gammacaroteen van sporenaanwezigheid in Rutgers tomaten tot ongeveer 4 % in het intermediair-beta-type.

Tegenover de normaalrode tomaten en het nog te bespreken "hoog-beta-type", neemt de hier besproken vorm een intermediaire positie in, wat betreft het betacaroteen.

Dit laatste is het gevolg van de tegenwerking van de dominante factor mo<sub>B</sub><sup>+</sup>.

RR TT BB mo<sub>B</sub><sup>+</sup>mo<sub>B</sub><sup>+</sup> AtAt DelDel hphp Crimson

genoemd type kreeg geen naam (67). We kunnen het enigszins beschouwen als een variant op het eerder besproken hoog-delta-type. Door de aanwezigheid van is de sluis voor de stroom van lycopeen naar betacaroteen wijder geopend. De verplaatsing van carotenen is mogelijk wat soepeler gegaan dank zij de aanwezigheid van de hp-factor, die een kwantitatief effect op de vorming van polyenen wordt toegekend, zonder kwalitatieve werking.

De aanwezigheid echter van de dominante vorm van het B modifierende agens, heeft bewerkt, dat we het type in kwestie onder de groep van intermediair-beta moeten rangschikken. Een lycopeengehalte werd gemeten van bijna 26 % van het totaal aan polyenen. Het gehalte aan betacaroteen bedroeg ongeveer 53 %; aan gammacaroteen circa 3 %.

Van de oranjevlezige tomaten zijn de volgende genotypen bekend:

RR TT BB mo<sub>B</sub> mo<sub>B</sub> AtAt DelDel HpHp Crimson

het zogenaamde hoog-beta-type. Hierin krijgt B versterking van de recessieve factor mo<sub>B</sub>.

Chemische analyses van rijpe vruchten toonden het volgende (31, 68):

- een concentratie aan polyenen, dat overeenkomt met die van Rutgers fruit;
- een reductie van het lycopeengehalte tot circa 4 %;
- een promotie van het betacaroteengehalte tot ruim 80 %.

RR tt bb mo<sub>B</sub><sup>+</sup> mo<sub>B</sub><sup>+</sup> AtAt DelDel HpHp Crimson

het zogenaamde "tangerine-type", waartoe rassen behoren als Golden Jubilee (31, 51, 61, 68) en Orange King (61).

Chemische analyses leidden tot de volgende conclusies:

- dat, behoudens een incidentele bevinding (31), het totaal gehalte aan polyenen overeenkomt met dat van Rutgers tomaten;
  - dat het lycopeen in sporenconcentraties aanwezig is, dan wel geheel ontbreekt;
  - dat prolycopeen aanwezig is in de orde van 20 % van het polyenentotaal.
- De indruk wordt hier gewekt, dat de vorming van het prolycopeen een wat trager verloop heeft, aangezien de, veronderstelde, basissubstantie fytoëen, maar ook het fytoflueen in dubbelgrote hoeveelheid aanwezig zijn in vergelijking met normaalrode tomaten.

Het gehalte van betacaroteen zag men gereduceerd tot ongeveer 1 %.

Onder invloed van de factor t heeft een synthese plaats in de richting van het prolycopeen. Om het genotype van oranjekleurige tomaten te kunnen indentificeren zijn analyses van de carotenen een vereiste.

In de groep van geelvlezige tomaten werden literatuurgegevens aangetroffen over diverse genencombinaties.

RR TT bb mo<sub>B</sub><sup>+</sup> mo<sub>B</sub><sup>+</sup> atat DelDel HpHp Crimson

beschreven als het "apricot-type". Onder invloed van het at gen is een reductie opgetreden in de vorming van alle polyenen, merkwaardig genoeg echter niet in dat van het betacaroteen.

Een totaal gehalte aan polyenen werd becijferd (21, 31) variërend tussen 0,7 en 1,6 mg per 100 gram vers weefselgewicht. De lycopenefractie varieerde tussen 2 en 12,5 %, hiervan.

rr TT bb mo<sub>B</sub><sup>+</sup>mo<sub>B</sub><sup>+</sup> AtAt DelDel HpHp Crimson

het zogenaamde "laag-totaal-type". Van dit genensymbool zijn de rassen Snowball en Golden Queen (31, 37).

De factoren r en at hebben met elkaar gemeen, dat zij de synthese van polyenen in hun totaal remmen. Onder invloed echter van r reduceert zich ook het gehalte aan betacaroteen. Van deze kleurcomponent werd 0,14 mg per 100 gram vers weefselgewicht aangetroffen; van lycopenen en gammacaroteen slechts sporen.

De geringe dichtheid van gekleurde stoffen geven de vruchten een bleke kleur.

Bleekgeel-oranje-vlezige tomaten van het ondervolgende genensymbool werden als kruizings produkt verkregen uit de Golden Jubilee en het eerder genoemde laag-totaal-type (23).

rr tt bb mo<sub>B</sub><sup>+</sup>mo<sub>B</sub><sup>+</sup> AtAt DelDel HpHp Crimson

Ook hier is het de geringe hoeveelheid aan gekleurde bestanddelen die oorzaak heeft aan de bleke vruchtkleur. Aan prolycopen (o.i.v. t gevormd) en van betacaroteen, werd respectievelijk 0,21 en 0,28 mg per 100 gram vers weefselgewicht aangetroffen.

Het totaal aan polyenen bedroeg 0,96 mg %.

Verschillende experimentele genencombinaties zijn gevormd, die het niet brachten tot enige commerciële betekenis en daarom ook slechts aanduiding kregen door de vermelding van de ouders (21):

- |                        |  |
|------------------------|--|
| geel-apricot           | : van Rutgers verschillend door de combinatie rr atat, is een laag-totaal-type (0,2 à 0,3 mg % polyenen).      |
| geel-tangerine-apricot | : van Rutgers verschillend door de combinatie rr tt atat, is eveneens een laag-totaal-type (1 à 1,1 mg %).     |
| tangerine-apricot      | : van Rutgers verschillend door de combinatie tt atat, is een matig-totaal-type (2,0 à 3,5 mg % aan polyenen). |



Tot de groep, die meer dan 20 mg polyenen vormt per 100 gram vers weefselgewicht, behoren de "hoogpigmentige" en de "Crimsonkleur" tomaten. Naast het hoge vermogen tot polyeenvorming, kenmerken de genotypen zich door de gunstige verhouding, die zij weten te geven aan de dominerende rode en oranje pigmenten. Graham (23) heeft uitgerekend, dat de verhouding lycopeen tot betacaroteen onder ideale voorwaarden in de praktijk, voor normaalrode canningtomaten de waarde van 12,7:1 kan bereiken, maar in het algemeen om en nabij 11:1 ligt. Bij hoogpigmenttomaten werd een verhouding gevonden van 16,7:1; voor Crimson-tomaten 21,8:1 (65). Voor de "hoog-Crimson", een kruisingsprodukt van hoogpigment- en Crimsonkleurtomaten, werd een verhoudingswaarde berekend van 26,5:1 (23, 65).

RR TT bb mo<sub>B</sub><sup>+</sup>mo<sub>B</sub><sup>+</sup> AtAt DelDel hphp Crimson

aldus is het genensymbool voor de donkerrode hoogpigment tomaten. Een bekende vertegenwoordiger van deze groep is de Webb speciaal (37, 61, 62). Ligt bij dit type de lycopeen-betacaroteen verhouding lager dan die van de Crimson, het totaal carotenoidengehalte daarentegen ligt hoger. Zo bedroeg voor de Illinois - 1252 en de Y-13, het totaal aan de 2 pigmenten  $11,7 \pm 0,23$  respectievelijk  $9,44 \pm 0,48$  mg per 100 gram vers weefselgewicht. Voor gelijktijdig gecultiveerde planten van het normaalrode-type, Campbell 146, bedroeg de waarde in twee opeenvolgende jaren gemiddeld 6,52 en 6,57 mg (63, 65).

RR TT bb mo<sub>B</sub><sup>+</sup>mo<sub>B</sub><sup>+</sup> AtAt DelDel HpHp Crimson

is het symbool voor de zogenaamde Crimsonkleur tomaten, die een meer helderrode kleur bezitten. Butler (uit 65) ontdekte het nieuwe kleurtype in 1962 in afstammelingen van kruizingen met een wild ras afkomstig uit de Filippijnen. Op het oog werd reeds een gunstige verhouding vermoed tussen de gehalten aan lycopeen en betacaroteen. Analyses reveleerden een hoger polyeenengehalte dan bij normaalrode tomaten.

In veldproeven, tezamen met de eerdergenoemde hoogpigment en Campbell-146 tomaten, produceerden Crimson tomaten: Illinois Acc. 344 en 345, respectievelijk  $7,17 \pm 0,19$  en  $6,38 \pm 0,19$  mg % lycopeen en betacaroteen, terwijl de onderlinge presentieverhouding 21,8 bedroeg.

Het Crimsongenotype heeft men nog niet exact kunnen vaststellen. Butler acht het goed mogelijk, dat een dominant en een recessief gen het Crimson-karakter bewerken.

Veel praktische waarde wordt gehecht aan de in 1963 door Graham geïntro-duceerde combinatie van Crimson- en hoogpigment genen, de zogenaamde "hoog-Crimson" (23, 64).

In dit nieuwe type vindt onder gunstige omstandigheden een verdubbeling plaats van de rode pigment, terwijl het gehalte aan betacaroteen even laag ligt als die van normaalrode tomaten, zodat een lycopeen/betacaroteenquotient berekend werd van 26,65. Analyses door Thompson (64), verricht toonden een totaal aantal carotenoiden overeenkomend met die van hoogpigment tomaten.

#### 1.4.2. De beïnvloeding door milieufactoren

##### 1.4.2.1. De temperatuur

De vroegste gegevens hierover aangetroffen, dateren van 1913 (uit McGillivray, 43). Rijpgroen geplukte canningtomaten kleurden bij constante temperaturen het roodst tussen 18° en 23°C.

Sindsdien zijn de experimenten vele malen herhaald en voor diverse rassen (o.a. door Vogele, McGillivray, Takahashi en Nakayama).

Een zekere spreiding in de voor rode kleurvorming optimaal bevonden temperatuur is hierbij op te merken. Voor deze spreiding moeten in hoofdzaak de ruime intervallen tussen de experimentele temperaturen verantwoordelijk gesteld worden.

Samenvattend kan gezegd worden, dat de temperatuur voor de meest intensieve rode kleurvorming bij normaalrode tomaten het traject van 20° - 25°C beslaat.

Hogere- en lagere temperaturen doen het totaal aan carotenoiden afnemen. De temperatuursgevoeligheid van het lycopeen is groter dan die van het beta- en het alphacaroteen en ligt anders, zoals eveneens blijkt uit het ondervolgende schema, dat bewerkt werd naar de gegevens van Goodwin en Jamikorn (18).

temperatuur	lycopeen	betacaroteen	alphacaroteen
	in % van hun maximaal voorkomen in tomaten		
	12 dagen na een turning pluk		
0° C	8,3	46,5	54,8
15°	100,-	93,9	100,-
30°	95,4	100,-	88,1
37°	6,0	77,4	50,5

De bovenstaande gegevens, versterkt met de bevinding van dezelfde onderzoekers, dat de vroegste aanwezigheid van het lycopeen, die van betacaroteen nákomt, getuigt van een bestaansafhankelijkheid van het betacaroteen ten opzichte van het lycopeen. Dit is nu in tegenspraak met de hypothese volgens Lincoln en Porter.

Door het onderzoek van Tomes (68) is het duidelijk geworden, dat er op z'n minst twee mogelijkheden zijn van vorming van het betacaroteen. Het onderzoek aan tomaten uit teelttemperaturen van 23,5° en 32° C heeft namelijk naar voren gebracht, dat onder invloed van de hoge temperatuur minder lycopeen wordt aangetroffen, maar dat onderscheidend gedrag bestaat wat betreft het betacaroteen:

- a in Rutgers (normaalrode vruchten)-, hoogpigment en Golden Jubilee (tangerine) tomaten ondergaat de hoeveelheid betacaroteen geen verandering;
- b bij vruchten van het intermediair- en hoog-beta type (gekaracteriseerd door het bezit van het locus B, dat bekend staat om het stimulerend effect op de vorming van betacaroteen ten koste van lycopeen) ondergaat het betacaroteengehalte een reductie;
- c in fruit van delta- en hoog-delta rassen bestaat de tendens tot een gelijkblijven van de hoeveelheid betacaroteen.

In voortgezet onderzoek (31) werd ervaren, dat de onderscheiding van de tomaten volgens de bovenstaande groeperingen op basis van de temperatuursgevoeligheid van het betacaroteen, niet doorbroken wordt bij een indeling op grond van structurele kenmerken in de kleurcomponenten:

rassen	verbindingen		aantal dubbele bindingen		iononringen	
	acyclische	alicyclische	7	7	alpha	beta
normaalrode tomaten:						
Rutgers (bb mo <sub>B</sub> mo <sub>B</sub> )	88,1 %	11,9 %	81,5 %	18,5 %	-	-
(bb mo <sub>B</sub> <sup>+</sup> mo <sub>B</sub> <sup>+</sup> )	94,8	5,2	83,7	16,4	-	-
Golden Jubilee (tt)	98,3	1,7	28,1	71,9	-	-
intermediair:						
(BB mo <sub>B</sub> <sup>+</sup> mo <sub>B</sub> <sup>+</sup> )	41,2	58,8	-	-	0 %	100 %
hoogbeta:						
(BB mo <sub>B</sub> mo <sub>B</sub> )	20,7	79,3	-	-	0	100
delta (deldel)	43,8	56,2	-	-	73,9	26,1

De aanwezigheid wordt verondersteld van 2 enzymsystemen, die de vorming van carotenen reguleren. Eén systeem, dat acylische verbindingen reguleert en één dat tot de vorming van alicyclische polyenen leidt. Verder wordt uit het bovenstaande verondersteld dat in het alicyclische-componenten-regulerende-enzymstelsel een genetische vastgestelde voorkeur kan bestaan voor de vorming van beta- dan wel voor alpha iononen.

Tot zover de huidige kennis omtrent de carotenogese.

In het voorgaande werd gerefereerd, dat bij constante temperaturen, de temperatuur voor maximale rode kleurvorming het traject 20° - 25°C omvat. Met wisselende rijpingstemperaturen liggen de grenzen voor een optimaal effect enigszins anders. Normaalrode tomaten door Hall (26) in het "turning" stadium blootgesteld aan een temperatuur van 32,2°C kleurden roder dan vruchten, die bij 20°C gerijpt waren, mits de hoge temperatuur korter dan 24 uur werd aangehouden. Een langer verblijf bij de hoge temperatuur deed de vruchten uit vergelijking minder rood kleuren.

Een 24-urige blootstelling van tomaten aan temperaturen van 32,2°, 40° en 42°C had een vergelijkend effect op de vruchtkleur. Een daaropvolgende opslag bij 20°C deed de rode kleur weer toenemen met de tijd. Het kleuringsmechanisme wordt dus niet onhelstelbaar vernietigd.

Opmerkelijk was ook, dat de rode kleurontwikkeling in de vruchten, onder de diverse rijpingstemperaturen, parallel loopt. Dit impliceert, dat het patroon van de kleurvorming evenmin veranderd is.

Denisen (19) stelde rijpgroene tomaten bloot aan wisselende temperaturen, met het volgende resultaat.

temperatuurcyclus		gemiddelde	rijpingsduur	lycopeengehalte in
12 uren	12 uren	temperatuur	(op basis van ver-	mg per 100 gram
en			dwijning groene kleur	vers weefselgewicht
bij:	bij:		in rug en gemak van pluk)	
15°	35°	25°	20 dagen	3,37
20°	30°	25°	13	3,47
15°	25°	20°	18	5,09
25°	35°	30°	16	1,74

Van de beproefde temperatuurcycli, was die van 15° en 25° de meest gunstigste voor de gewenste kleurvorming. Als tweede gold de cyclus van 15° en 35°. Ondanks een vrijwel gelijk lycopeengehalte onder de 20° en 30° behandeling ontwikkeld, waren de vruchten verre van attractief door de rode en oranje vlekken. Een mooie rode kleur van tomaten wordt niet alleen bewerkt door een hoog lycopeengehalte, maar ook door een egale menging van lycopeen en betacaroteen.

Saure en medewerkers (54) bekeken tevens de pigmentatie van aan de plant verbonden gebleven vruchten.

Als proefrassen dienden de John Bear, een groen-kraag ras, en Gem, met een uniforme kleur, als raskenmerk.

In dit onderzoek werden turning tomaten afgeplukt casu quo met de gehele plant naar de proefruimten gebracht. Een dagtemperatuur van 23,9° en een nachttemperatuur van 15,6° sorteerden in de reeks van experimentele temperaturen het gunstigste effect; turning vruchten behoefden gemiddeld 9 dagen om rijp te worden. Voor de combinatie van 15,6° en 7,2° hadden tomaten van John Bear 15 dagen, van Gem 12 dagen nodig om rijp te worden. Onder deze behandeling moesten zelfs veel vruchten verwijderd worden noch vóór zij gerijpt waren, wegens aantasting door schimmel, of omdat zij inmiddels te zacht geworden waren. De vruchten van de dag- en nachttemperatuur van 37,8° en 29,9° bleven gelig. Genoemde onderzoekers kwamen voorts tot de belangrijke conclusie, dat afgeplukte- en aan de plant gebleven vruchten een gelijke temperatuursreponsie bezitten ten aanzien van de kleur.

Samenvattend kan gezegd worden, dat in het geval van wisselende temperaturen, een hogere temperatuur dan  $25^{\circ}\text{C}$  de gewenste kleurontwikkeling niet in de weg staat, mits deze gevolgd wordt door een lage, waarbij het dagelijks gemiddelde om en bij de  $20^{\circ}\text{C}$  moet liggen. Nooit mag echter worden verontachtzaamd, dat er nog andere kwaliteitsaspecten bestaan dan de vruchtkleur, die temperatuurgevoelig zijn. De vruchten van verschillende ontwikkelingsstadia aan de plant, kunnen een uiteenlopende ontvankelijkheid bezitten voor hogere temperaturen. Met dit verschijnsel moet rekening gehouden worden, indien men een maximale roodkleuring van de vruchten aan de plant bewerkt wil zien. Hood (30) betrok alle vruchten van de plant gelijktijdig in het onderzoek. De kastemperaturen werden aangepast aan de bewolkingsgraad. Bij een bewolkte, matig bewolkte en heldere hemel, leverden dagtemperaturen van respectievelijk  $18,3^{\circ}$  -  $20,6^{\circ}$  en  $22,8^{\circ}\text{C}$  (nachttemperaturen van  $13,3^{\circ}$  -  $15,6^{\circ}$  casu quo  $17,8^{\circ}\text{C}$ ) een totale oogst van vruchten, die goed van kleur waren en het minst getroffen door een ongelijkmatige kleuring als groenkraag en "blotchy". Een nadelig effect van deze temperatuurserie was evenwel het hoge percentage van misvormd fruit. Dit aantal was met 33 % te reduceren door dagtemperaturen aan te houden (al naar de bewolkingsgraad) van  $20,6^{\circ}$  -  $22,8^{\circ}$  en  $25^{\circ}\text{C}$  met corresponderende nachttemperaturen als eerder genoemd. De kleurvorming was nog ruim voldoende, waardoor deze temperatuurserie de kastelers in Ohio ter applicatie werd aanbevolen. De temperatuursgevoeligheid kan zeer verstrekkende gevolgen hebben. De veldteelt van de grootse creatie, de hoogpigment tomaten, is hierdoor teruggebracht tot zeer beperkte schaal. Dit type is namelijk sterk bladverliezend. De grotere blootstelling van de vruchten aan zonlicht en de hogere opwarming als gevolg van de insolatie der straling, doet de vruchten slecht kleuren. Dit ongunstig effect heeft aanleiding gegeven tot de creatie van de hoog (pigment)-Crimson tomaat, waar hoge verwachtingen van gekoesterd worden.

#### 1.4.2.2. De atmosfeer

De structuele opbouw van polyenen wordt gekenmerkt door een veelvuldig optreden van reducties. In samenhang hiermede is er de behoefte van zuurstof.

In zuurstofvrije ruimten kon geen kleurontwikkeling worden vastgesteld (12). Denisen verkreeg de ondervolgende, significant verschillende resultaten.

bewaar- lycoppeenwaarden per 100 gram vers vruchtgewicht  
temperatuur bij luchtbewaring casu quo zuurstof (60 %) bewaring

20°C	3,99 mg	6,73 mg
35°C	1,16	1,76

Gezien de voortgang van de dissimilatie van vruchten in bewaarruimten, is een goede ventilatie een eis te noemen. Takahashi en Nakayama (60) deden namelijk de ervaring op, dat in rijpgroene tomaten in bewaring bij 1 % CO<sub>2</sub> de lycoppeenvorming stagneerde.

In deze vruchten werd na 10 dagen een gehalte gemeten van 0,08 mg per 100 gram vers vruchtgewicht, tegen een ongeveer 40-voudige hoeveelheid lycoppeen in controles.

#### 1.4.2.3. Het licht

Eén van de oudste gegevens omtrent de caroteenvorming in tomaten onder invloed van licht, dateert van 1913. Duggar (uit 56) nam toen waar, dat wanneer licht aan onrijpgroene vruchten wordt onthouden, in de roodvruchtige rassen de pigmentontwikkeling normaal voortgang vindt bij voortgezet verblijf in donker. Diverse onderzoekers hebben in latere jaren de bevinding getoetst, o.m. Smith (56), Denisen (11), Takahashi en medewerkers (58). Het bleek hen, dat zich omstandigheden kunnen voordoen, die het maken van exacte conclusies over de invloed van licht bemoeilijken. Als gevolg namelijk van insolatie der lichtstralen in het omhullend materiaal van de vruchten, kan de temperatuur binnen oplopen. Takahashi et al. noteerden binnen de omhulsels temperatuur-verschillen ten opzichte van de heersende buitentemperatuur, variërend tussen 2° en 11°C, naargelang de hoogte van de buitentemperatuur. Desondanks kunnen de volgende conclusies gemaakt worden:

a in het donker ontwikkelde en gerijpte vruchten bezitten een lager carotenoidengehalte ten opzichte van controle objecten (40, 56, 58);

b de gevoeligheid voor een belichting komt het sterkst tot uitdrukking in rijpende vruchten, d.w.z. in de conditie vanaf het stadium van rijpgroenheid en minder bij een rijping aan de plant;

c de lichtgevoeligheid manifesteert zich het sterkst in de verandering van het gehalte aan betacaroteen (11, 58). De volgende gegevens zijn ontleend aan het werk van Takahashi en medewerkers.

Pigmentgehaltenes van ingehulde tomaten, die aan de plant rijpten

type omhulsel	betacaroteen		lycopeen		lichtintensiteit
	mg	%	mg	% (x)	%
geen	1,15		48		100,-
zwart vinyl	0,40		36		0,0
rood "	1,05		48		26,4
wit "	1,40		59		38,4
transparant "	1,20		44		72,8

(x) naar alle waarschijnlijkheid een factor 10 te hoog gecalculeerd.

Uit de resultaten werd de conclusie getrokken, dat een 30 %-fractie van natuurlijk daglicht voldoende zou zijn voor een maximale pigmentatie. Op grond van andere proefnemingen lijkt te mogen worden aangenomen, dat het hier een lichtintensiteit betrof, variërend van 26.000 - 96.000 lux.

De invloed van de plant op de carotenofdevorming werd buiten beschouwing gelaten. Gezien de gunstige invloed, die er van een rijping aan de plant uitgaat, moet worden aangenomen, dat voor de vruchtdragende planten de lichtintensiteit niet hoog genoeg kan zijn wanneer het om de vruchtkleur gaat.

d van beperkte spectraalgebieden in het zichtbare licht, kon door Takahashi en medewerkers (58) geen specifiek effect worden waargenomen.

Onderzoek door Boukin (5) reveleerde een zeer opmerkelijke responsie op de blootstelling aan ultra-violette straling:

behandelingen	betacaroteen		lycopeen	
	in mg	%	in mg	%
Market-wonder tomaten bij				
proefinzet	0,068	36,5	0,078	1,2
na rijping bij 15°-18°C	0,191	100,-	6,650	100,-
na rijping bij 35°-36°C	0,370	176,-	0,118	1,6
idem + 10 min. U.V. per dag	0,597	283,-	0,930	12,7
idem + 20 min. "	0,820	386,-	1,480	20,-



Het effect van U.V.-straling is zeer belangrijk gebleken. In Fergana en Stalinabad, landstreken in Centraal Azië met hoge temperaturen, ondergaat het lycopengehalte in de tomaten slechts een reductie van ongeveer 50 %, dank zij de ruime U.V.-fractie in het daglicht. Het is heel goed mogelijk, dat de bevinding van Smith (56), dat kastomaten slechts 1/3 van het carote-nofidentotaal in veldtomaten bezitten, aan U.V.-werking te wijten is. e in het donker gerijpte tomaten zijn pink-rood gekleurd.

Piringer en Heinze (45) en Groth (25) schrijven de kleurverschuiving naar het roze toe aan de combinatie van transparante cuticula en het rode vruchtvlees. De waarnemingen echter van Smith (56) van rose-gekleurd lycopen in de epidermale cellen in het geval van donkerbewaring, doen vermoeden, dat ook dit caroteen een kwalitatieve wijziging heeft ondergaan. Wellicht is dit terug te brengen tot een verandering in de kristalstructuur.--

#### 1.4.2.4. Ioniserende bestralingen

In bestralingsproeven met gamma's van de dosis 419 krad namen Burns en Desrosier (7) een sterke vermindering waar in het gehalte aan lycopen en gammacaroteen; het gehalte aan betacaroteen in de tomaten bleef hierbij onveranderd.

Behandeld in het rijp-groene stadium, handhaafde de reductie in de kleurcomponenten der vruchten zich gedurende de verdere rijping. Een soortgelijke bevinding, maar dan door visueel vergelijk van het vruchttuiterlijk, werd gedaan door Staden (57). Een dosering werd toegepast van 200 krad bij rode en 150 krad bij oranje vruchten. Het aangehouden verschil in de dosering had haar grondslag in de ervaring, dat het kleuringsmechanisme in jongere vruchten gevoeliger is. Het ziet er nu naar uit, dat de grotere gevoeligheid meer betrekking heeft op het apparaat van pigmensynthese, de chromoplast, dan de kleurcomponenten zelf. Het stralingseffect was het duidelijkst bij het bleke ras, Moneymaker, zwakker bij de groene rassen Ailsa Graig en Extase.

Van electronen (1,7 Mev)-bestralingen bleek aan Staden eerst de dosis van 150 krad een vergeling van de vruchtkleur te bewerkstelligen, zowel bij de rassen Ailsa Graig, Extase en Moneymaker.

1.4.2.5. De voedingstoestand

De verschuiving van het C/N-quotient van de plant naar lagere waarden brengt in de tomatenteelt het grote gevaar van holle vruchten met zich mee. Aan een hoge N-toestand kleven nog andere bezwaren. Takahashi en Nakayama (59) constateerden het hoogste lycopeengehalte in de vruchten bij een stikstofdeficiënte cultuur. In fosfor-deficiënte vruchten daarentegen werd zowel minder lycopeen als betacaroteen aange troffen.

2. De fysiologie van de kleurvorming.

2.1. Plaatsen van carotenoïdsynthese

De carotenoïden zijn niet uniform binnen de vrucht verdeeld. Uitgedrukt in milligrammen per 100 gram vers weefsel, is het gehalte aan carotenoïden in het huidje en de epidermale laag het hoogst. De massale aanwezigheid echter van het resterende deel van de vruchtwand, zoals blijkt uit het ondervolgende schema, is doorslaggevend voor het carotenofide gehalte van de gehele vrucht.

Verdeling der belangrijkste carotenoïden in morfologische secties van rijpe canning tomaten.

ras	(refe- rentie	weefselfragment	procentueel voorkomen	lycopeen + betacaroteen in mg %	betacaroteen in mg %
Bonnybest	(56)	cuticula + epidermale laag		138,03	
"	"	overig vlezig gedeelte		14,16	
Stokesdale	(41)	pericarp (incl. cuticula + epidermale laag; excl. tussenschotten, etc.)	53,9	13,20	0,43
"	"	tussenschotten	28,8	7,20	0,28
"	"	loculaire fractie (incl. placentae)	17,3	8,16	1,68

De morphologische secties kunnen in aandeel van vruchtopbouw variëren, zowel met het ras, als binnen het ras met de vruchtafmeting. Hobson (29) constateerde bij Immuna (kas) tomaten, die hun waarde hebben liggen in het consumptieve vlak, tweemaal zoveel hokvulling als bij de boven aangehaalde canningtomaten, ten koste van de fractie aan tussenschotten. Een soortgelijke verhouding werd door ons aangetroffen in de Nederlandse (kas) tomaat Moneymaker. Wat de invloed van de vruchtafmeting betreft, illustrerende gegevens hierover werden overgenomen van McLollum (42):

Procentueel voorkomen van morphologische secties in Stokesdale tomaten van verschillende afmetingen.

Afmeting in grammen	aantal	pericarp	tussenschotten	loculaire fractie
100-200	10	44,0 $\pm$ 1,35	33,8 $\pm$ 1,63	22,2 $\pm$ 1,25
25-50	10	59,0 $\pm$ 1,76	33,7 $\pm$ 1,38	7,3 $\pm$ 1,46

Selectie op uniformiteit in de vruchtafmeting wordt dan noodzakelijk wanneer het gaat om de bepaling van het totaal gehalte aan carotenoiden in de vrucht, b.v. in het geval van een responsie-keuring op bepaalde behandelingen. De ons verschaft kennis is voorts van nut bij de bereiding van tomatepuree's.

In hogere planten wordt de carotenoidsynthese voorgesteld plastidaal gebonden te zijn (hetgeen een penetratie in het huidje van de tomaat niet in de weg schijnt te staan). Van betacaroteen is een voorkomen bekend in de (groene) chloroplasten. De eerder aangehaalde waarneming van Goodwin en Jamikorn van de vorming van betacaroteen nog vóórdat lycopreenesignaleerd kon worden, wekt daarom géén bevreemding, want onrijpe vruchten bevatten chloroplasten. De van carotenoiden geel tot rood gekleurde chromoplasten moeten daarentegen nog gevormd worden, óf wel uit chloroplasten, dán wel uit de voorlopers van chloroplasten, de proplastiden. In tomaten is soms het gehalte aan betacaroteen in de rugzijde van de vrucht een weinig hoger. Met name in de groene rassen komt dit verschijnsel tot uiting. Hierin moet een associatie gezien worden met het verschijnsel van groenkraag (40). Het lycopreen kan alleen in de chromoplast gevormd worden. Het is typisch vruchtgebonden. Nimmer nog werd deze kleurcomponent in blad aangetroffen.

Tussen chloro- en chromoplasten bestaat een structuurverschil. Het hoofdonderscheid, in biochemisch opzicht, bestaat in de verscheidenheid van synthetiserend vermogen. In een bloemextract van de *Rudbeckia Neumannii* heeft men een keur van carotenoiden aangetroffen, die men in het bladextract niet heeft kunnen aantreffen en omgekeerd. Wel is het veelal zo, dat men in bladextracten dezelfde carotenoiden aantreft als in onrijp jonge vruchten (24). De omzetting van chromophoor tot chloroplast heeft men nooit eerder waargenomen en behoort waarschijnlijk tot de onmogelijkheden.

## 2.2. Kleuring en rijping.

Het is gebruikelijk om de kleurvorming bij tomaten als richtlijn te nemen voor de vruchtrijping. Eerder werd de bevinding aangehaald, van aanwezigheid van een hoger carotenoid-gehalte in het pericarp dan in de hoksubstantie van rijpe tomaten. Slechts bij jongere vruchten, d.w.z. tot 4 dagen na het turning stadium wordt een hoger carotenoidgehalte aangetroffen in het loculaire weefsel. Het zijn de placentae waarin men, in verreweg de meeste gevallen, de geelkleuring van de vrucht zich heeft zien inzetten. Spoedig daarna groeit in de vruchtwand het carotenoidtotaal naar de hoogste waarde. Hierbij doorloopt de vrucht verschillende kleurschakeringen, die uitgezet tegen de tijd een sigmoïde kromme doen ontstaan.

Lyons en Pratt (38) constateerden bij een sterke beperking van het aantal vruchten aan de plant, het volgende tijdsverloop van het kleuringsproces:

<u>rijpingsstadia</u>	<u>omschrijving (1a)</u>	<u>doorlopen tijd</u>
rijpgroen	gele noch oranje kleur aan de vrucht	42 dagen na bestuiving
breaker	spoortje, circa 5 % oranjekleuring tot 33 1/3 %	44 " " "
light pink	33 1/3 % en 66 2/3 % oranjekleuring	46 " " "
pink	66 2/3 % en 90 % kleuring	
dark pink	90 % kleuring	48 " " "
table ripe	oranjerood tot rijprood	50 " " "
canning ripe	intens rood, maar stevig van consistentie	
soft ripe	overrijp	

De waarnemingen werden verricht aan de cultivar VC 243-20<sup>1</sup> kastomaten. Yamaguchi en medewerkers (78) deden de observaties eveneens aan vruchten, die aan de plant verbonden bleven, met dit verschil, dat er geen restricties op het vruchtaantal werden toegepast en het veldproeven waren met het ras Improved Pearsons. Hun bevindingen waren; dat de door Lyons en Pratt gemeten snelheden van kleuring minimumwaarden waren. Een verlaging van de snelheid tot 4 dagen kon optreden en wel tot en met het stadium van eetrijsheid. Het bereiken van het stadium van canning rijpheid b.v. kon fluctueren van 8 tot 11 dagen (begin september) van 12 tot 19 dagen (eind oktober). Het verschijnsel schijnt meer toegeschreven te moeten worden aan de lager wordende luchttemperatuur en niet zozeer aan de latere volgorde van productie.

Bij een kasteelt van de Immuna en de Potentate constateerde Hobson (28) een verschil in kleuringssnelheid, van 2 dagen, hetgeen te interpreteren is als ras-effect. De meest stevige Potentaat heeft meer tijd nodig om te rijpen, dan de zachtere Immuna. Van een consequente doorvoering van dit verband kan echter niet gesproken worden, want de standaard tomaat Campbell 146 rijpt langzamer af dan de pigmentrijker en steviger Crimson.

Behalve dat de invloed van ras, ook dat van milieu, de kalenderleeftijd van de vrucht niet indicerend doet zijn, zijn er nog andere factoren, die het aangrijpen van de kleuring ter identificatie van de rijping rechtvaardigen. Zo heeft Kattan (33) bij een gelijktijdige proefinzet van een rijpgroene-, turning- en pink pluk geen verschil opgemerkt in de kleuringssnelheid aan het vruchtoppervlak. Voorts werd een sterke associatie door Workman (77) gevonden in het door de vrucht geproduceerde ethyleen en de kleurrijping. Beide processen verliepen grafisch uitgedrukt sigmoïdaal en vielen tot het zogenaamde canningstadium samen. Ethyleen wordt in het algemeen beschouwd als een verbinding, die de vruchtrijping inzet.

Er zijn nog wel andere fysiologische verschijnselen gesignaleerd, die met de rijping gepaard gaan, maar die heeft men slechts tot op zekere hoogte kunnen associëren met de rijping. Deze parameters zijn het meest dynamisch gebleken vóór het stadium waarin de vruchten eetrijs genoemd worden. Georgiev en Balzer (17) merkten op, dat aan de plant rijpende tomaten van het ras Zarja-komet een afname te zien geven in de zuurgraad en het gehalte aan droge stof, ruw vezel, eiwit en as. Verder is bekend, dat de vruchtrijping een verzachting van de vrucht tengevolge heeft.

Hobson (28, 29) zag binnen het ras een correlatie aanwezig tussen de toenemende vruchtverzachting en de stijgende activiteit van het polygalacturonase. Ook de ademhaling achten velen een goede parameter voor de vruchtrijping in het algemeen (70). Inderdaad is aan Workman (77) gebleken, dat behandelingen, die het proces van de vruchtkleuring vertragen dan wel versnellen, ook het optreden van het climacterium in de ademhaling van vruchten uit een rijpgroene pluk doen verlaten casu quo vervroegen. De moeilijkheid, die zich voordoet bij interpretaties op basis van de ademhaling - dit geldt eveneens voor de andere nevenverschijnselen van de vruchtrijping dan de pigmentatie - behelst de intensiteit van het proces, omdat aan de absolute waarde hiervan geen betekenis gehecht kan worden. Een ander nadeel is, dat het moment van climacterium niet gefixeerd is; het is milieu gevoelig. Workman constateerde het optreden van het climacterium in vruchten van groenrijpe pluk in het stadium tussen breaking en light pink, bij een temperatuur van  $20^{\circ}\text{C}$ . Betrouwbaar onderzoek door voorgangers noteerde het climacterium in de overgang van rijpgroen naar breaking bij  $25^{\circ}\text{C}$  en een optreden in oranje-rode vruchten wanneer de observaties bij  $12,5^{\circ}\text{C}$  werden uitgevoerd. Een verschuiving dus naar een jonger kleur stadium bij hogere temperatuur. Waarschijnlijk is het ook de temperatuursinvloed geweest, die Workman in een rijpgroene pluk het climacterium 7 dagen na de pluk deed waarnemen in 1952 en 8 tot 12 dagen na de pluk in 1953.

Een hypothese is, dat in de vrucht met ademhalingsclimacterium zal optreden wanneer er voldoende ethyleen gevormd is (34). Deze hypothese geeft wel een verklaring voor de door Workman eerder gememoreerde bevinding, dat verhoging van de temperatuur het optreden van het climacterium vervroegt. Als gevolg van de temperatuursverhoging intensiveert zich het stofwisselingsproces. Daarmede samenhangend versnelt zich ook de ethyleenvorming, hetgeen het optreden van het climacterium vervroegt. De hypothese betekent echter dan ook, dat de kleuring niet in alle gevallen een betrouwbare aanwijzing vormt voor de vruchtrijping. Vruchten van corresponderende kleurklasse zouden dan niet van gelijke fysiologische leeftijd zijn. Voortgezet onderzoek zal uitsluitel moeten geven. De Crimson tomaat lijkt voor dit doel een belangrijk object te zijn. Aan Thompson en medewerkers (65) is namelijk gebleken, dat in Crimsonfruit het lycopengehalte in de vruchtwand een maximum bereikte 9 dagen na het turning stadium (vruchten verkeren dan in het begin stadium van soft ripeness), in de loculaire fractie werd de top 12 dagen na turning bereikt. Voor de standaard canning tomaat Campbell 146 bedroegen de corresponderende tijden 12 respectievelijk 9 dagen na turning.

Na het bereiken van de maximumwaarde, nam in het pericarp van Campbell 146 het lycopeengehalte af. Gelijkzeitig hiermede, d.i. 12 dagen na turning, nam ook de lycopeenfractie in Crimson tomaten af. Het feit nu, dat in de Crimson vruchtwand de afname in lycopeen niet eerder geschiedt dan nadat het lycopeengehalte in de hokvulling het vruchtfragmentaal bepaald maximum heeft bereikt, hetzelfde geldt voor de Campbell, heeft de onderzoekers tot de veronderstelling gebracht, dat in het ras inherent steviger pericarps van Crimson tomaten, de lycopeenvorming sneller geschiedt dan de vruchtrijping. Zij suggereren, dat in corresponderende kleurstadia Crimson tomaten fysiologisch jonger zijn dan Campbell tomaten. De Crimson lijkt ideaal materiaal te zijn om de ethyleenvorming aan te volgen en benevens de andere parameters voor vruchtrijping op hun waarde te toetsen. Eerst dan kunnen we weten of Crimson vruchten inderdaad fysiologisch jonger zijn dan zij op grond van hun kleur doen vermoeden. Tot dan, moeten we de uitspraak van Thompson en medewerkers (65) slechts een "wishfull thinking" noemen. Fysiologische jongere vruchten hebben namelijk verschillende voordelen. Daar is de relatief grotere vruchtstevigheid, het hoger eiwit gehalte en niet in het minst de goede smaak. Het zuurgehalte neemt bij rijping af, het suikergehalte van aan de plant verblijvende vruchten toe, waardoor de vrucht een zoete dan wel flauwe smaak krijgt. In een enquête onder Duitse huisvrouwen, waarvan de resultaten werden vrijgegeven in "Groenten en Fruit" van 13 april 1966, werd een fris/zuurachtige smaak door 20 % van de ondervraagden als favoriet genoemd. Een zoete smaak van de vrucht werd slechts door 7 % van de vrouwen geprefereerd.

### 3. Practische aspecten van de kleuring.

#### 3.1. Evaluatie van de kleur

In 1958 werd in de V.S. door Garrett en medewerkers (16) een onderzoek gedaan naar de voorkeur van de consument voor tomaten van verschillende rijpheid. In een supermarket werden pink (kreeg de index C)-, dark pink (B)-, en eetrijpe (A) tomaten aangeboden op drie achtereenvolgende vrijdagen tegen gelijke prijs. Voorbereidende steekproeven hadden namelijk uitgewezen, dat 50 % van de wekelijkse tomaat aankopen op de vrijdag en zaterdag plaats vond.

Uit het onderzoek is naar voren gekomen, dat van de drie kleurgroepen, de eetrijpe tomaten grootste afname vonden (gemiddeld 47 % van de aankoop van tomaten), gevolgd door B (37 %) en vervolgens C (16 %). Slechts in één geval van een parallel onderzoek met veldtomaten werd minder verkocht van A. Het betrof hier een partij fel rood gekleurde vruchten. Blijkbaar associeert de consument een overmatig rode kleur met overrijpheid. De aankoop van jongere vruchten wijst op een bestaande behoefte om vruchten te bewaren voor een later gebruik.

Het betacaroteen noemt men ook wel provitamine A, omdat dit pigment in het menselijk lichaam tot vitamine A wordt omgezet middels een oxydoreductie. Door Ross (53) is een groeiend bewijs gesignaleerd van een tekort aan vitamine A, dat hij eerst noemt in omvang na het proteïnegebrek. Oogdefecten zijn het meest prominente symptoom van een tekort aan het vitamine. In gebieden met een droge tijd, zoals b.v. Maleisië en Indonesië zou als gevolg van de schaarste aan groenten, 70 % van de blindheid te wijten zijn aan voedsel dat deficient is aan vitamine A. Streeft men er in welvarende gebieden naar om rode tomaten op tafel te brengen, in de zgn. ontwikkelingslanden is de teelt van vruchten met een hoog gehalte aan betacaroteen en andere pigmenten met vitamine A activiteit, zoals gamma- en alphacaroteen en vermoedelijk ook neurosporeen, aan te bevelen. Bij selectie zal men zich dan toeleggen op hybridisatie met oranje- en groenvruchtige rassen. Tot de laatste groep behoort o.m. de soort *Lycopersicon peruvianum*, die een vrij laag gehalte aan betacaroteen bezit, maar een hoog aan vitamine C. In de bestaande commerciële rassen heeft men geen verband aangetroffen tussen de gehalten aan betacaroteen en vitamine C (36, 37).

### 3.2. Mogelijkheden van opkleuring

Het Centraal Bureau voor Statistiek noteerde voor 1965 een verwerking in de Nederlandse industrie van bijna 4000 ton tomaten, d.i. ruim 30 % meer dan het voorgaande jaar. Ongeveer 70 % van de tomaten onderging de verwerking tot puree en sap. Uit de gegevens kon niet worden opgemaakt in hoeverre onze tomaat bij de industriële verwerking betrokken is. Hoogstwaarschijnlijk zal dit aandeel klein zijn, gezien de achterstand, die een kastomaat in het algemeen heeft op de veldteelt met betrekking tot de synthese van lycopreen. Voor de tomaatverwerkende industrie één der essentiële componenten.



Darbishire (9) noteerde bij een analyse van Italiaanse-, Portugese-, Spaanse-, en Tjechische puree's 'n lycceprongemiddelde van 1420 dpm droge stof. Uit de universa van steekproeven kwamen de Portugese en Tjechische puree's het gunstigst naar voren. De Italiaanse partij telde enkele lage waarden, waaronder een geval van 980 dpm, dat visueel ook niet acceptabel was. Bij de Spaanse puree's was dat liefst driemaal het geval, zonder dat de lycopenconcentratie ver onder het gemiddelde lag. Uit dit onderzoek d.d. 1965 is gebleken, dat het lycopengehalte niet zoals onderzoek in 1950 uitwees, dermate stabiel is, dat het een vrij accurate index genoemd kan worden voor het tomaatgehalte van producten, die uit puree gemaakt zijn. In het eerste hoofdstuk van dit verslag werd de fundamentele bevinding genoemd van Decker en Uehleke, die door tomaatverschillen te incuberen in een acetaatoplossing een productieve bereiding van lycopen bewerkstelligden. Hoewel mijn eerste gedachten hiernaar uitging lijkt het bij nader inzien toch niet waarschijnlijk te zijn, dat men de laatste jaren over zou zijn gegaan tot het kunstmatig verhogen van de lycopenwaarde middels schilincubatie, met het gevolg van het wegvallen van de eerder gevonden correlatie tussen lycopen- en droge stof gehalte van de puree. Ligt hier echter niet voor de Nederlandse verwerkingsindustrie een mogelijkheid om via een kunstmatige lycopenproductie tomaten van eigen bodem te benutten, aangenomen, dat voor verwerkingsdoeleinden het lycopengehalte het knelpunt vormt. Het incuberen in mevalonaat zou dan beproefd moeten worden. Door Purcell en Thompson (49) werd hiervan op laboratoriumschaal een 80 voudig rendement gevonden ten opzichte van acetaat.

Voor het op kleur brengen van intacte tomaten, lijkt de hierboven genoemde procedure niet van praktische waarde te zijn. In dit aspect vallen andere maatregelen in de termen, zoals bemestingsformules, rassenkeuze en een goede techniek van het doen afrijpen van geplukt fruit. Wat dit laatste betreft biedt een kortstondige bestraling in het ultra-violet mogelijk zeer gunstige vooruitzichten. Fysiologisch jongere vruchten, met alle voordelen van deze, kunnen op de markt gebracht worden. Een ander agens waarmee reeds lang gemanipuleerd wordt, is de temperatuur. In de paragraaf 1.2.2.1. werd uitvoerig ingegaan op het temperatuurseffect. Door Duvekot en Langerak (13) werden in 1958 ten aanzien van de bewaring, de volgende adviezen gegeven:

rijpheidsfases van de tomaten	bewaar- temperatuur	bewaar- periode	rijpingstem- peratuur	totale be- waarduur
rijpgroen	12°C	14 dagen	18° à 19°C	ca 28 dagen
oranjegroen	10°	14 "	18° à 19°C	21 " "
oranjerood (eetrijp)	8° à 10°	7 "	18° à 19°	14 "

Het advies geeft aan de ene kant blijk van een ingenomenheid met lagere tempera-  
turen dan op basis van proefnemingen optimaal genoemd kan worden voor lycopen-  
vorming teneinde het proces van afleving te vertragen en het verlies door rot te  
beperken. Tomaten beëindigen vaker nog de qualificatie van eetbaarheid door rot,  
dat toeneemt naarmate de temperatuur stijgt, dan door verregaande verweking.  
Anderzijds getuigt het advies van een aversie voor lage bewaartemperaturen. De  
achtergrond hiervan is het zgn. lage-temperatuurbederf, een bederf, dat zich  
eerst manifesteert wanneer de vruchten uit een lage temperatuur in een warmere  
omgeving komen. Een geheel andere uitgangspunt namen Truscott en Brubacher (69)  
aan bij hun proeven anno 1963. Zij wensten lagere bewaar- en hogere rijpingstem-  
peraturen beproefd te zien. De resultaten van alle proefbehandelingen, voor zo-  
ver toegepast op zgn. "partial ripe" fruits, zijn in de volgende tabel opgenomen.

behandelings- code	bewaartempera- tuur en duur	daaropvol- gende tempe- ratuur	totale tijdsduur, eer 50 % - 90 % - 100 % van alle vruchten eet- rijp zijn (ev.geweest).	% rot op tijdstip wanneer 100 % eetrijp
Z1	21°C	21°C	4 6 7 dagen	0
V4	0°C	21°C	5 7 8	0
V1	0°C	21°C	9½ 11½ 12	2
V2	0°C	21°C	14½ 16 17½	1
V3	0°C	21°C	16 20 21	1½
W1	4,4°C	21°C	10 11½ 12	0
W2	4,4°C	21°C	15 16 17	0
W3	4,4°C	21°C	15½ 18 20	1
X1	10°C	21°C	15 17 18	1
<hr/>				
V5	0°C	12,8°C	+ 19 25 29	28
Y1	12,8°C	12,8°C	+ 19 25 29	34
X2	10°C	10°C	+ 35 38	39
cyclus van gevarieerde temperatuur				
V6	0°C	3dg 0°C - 1dg 21°C etc.	44	82
V7	0°C	5dg 0°C - 1dg 21°C etc.	43	89
W4	4,4°C	3dg 4,4°C - 1dg 21°C etc.	43	88
W5	4,4°C	5dg 4,4°C - 1dg 21°C etc.	43	94

De behandeling X1 wordt door de auteurs zowel om kleur- als smaak effect het meest geslaagd genoemd. Persoonlijk ben ik geporteerd van de behandelingen W1 en W2, en wel, afgezien van het lage percentage aan rot, om redenen van: 1e het vrij lange tijdsbestek tussen de koude behandeling en het moment waarop de vruchten eetrijp zijn; 2e de gecoprimeerde tijdsduur, waarin de vruchten het stadium van eetrijpheid bereiken; 3e de korte duur van de koude (vóór-) behandeling.

In de afzet van tomaten moet als essentieel gezien worden: een rijpings-tijd, die voldoende lang is om de duur van het transport naar en de distributie binnen het land van import te kunnen bestrijken, maar ook niet langer moet zijn. Voorts een zo laat mogelijke pluk van de vruchten ter waarborging van kwaliteitsaspecten als een goede stevigheid en smaak. Dat laatste werd proef-ondervindelijk bewezen door Truscott en Brubacher.

Koele bewaringen zijn duur, gekoelde transporten nog meer. Het ziet er daarom gunstig voor ons uit, dat van een lagere temperatuursbehandeling gedurende 1 à 2 dagen een dermate vertraging in de veroudering van de vrucht verwacht mag worden, dat transport ook tot onze verste verkooppunten kan plaatsvinden vóórdat de vruchten eetrijp zijn. Dit alles bij een gemakkelijk te handhaven temperatuur, zoals b.v. 21°C, die de gewenste lycopenvorming bovendien stimuleert. De uitbreiding van onze kennis noopt tot een herwaardering van de condities voor bewaring en rijping van onze tomaat. Wellicht is nog een argument voor revaluatie, de verandering die er in de laatste tijd in het rassensortiment is aangebracht.

Over het andere complex van maatregelen ter bewerking van goed gekleurde tomaten, de selectie, nog het een en ander. De als nieuwe canningtomaat geprezen Crimson, zou tevens een zeer goede tafel- of garneringsgroente zijn en wellicht zal aan deze qualificatie onder Nederlandse teeltomstandigheden niets veranderen.

Uit het resumé van bevindingen van het Glasshouse Crops Research Institute te Littlehampton, door Sheard (55), zijn enkele gegevens te beluisteren, die voor ons van toepassing zijn. Een positieve correlatie werd aanwezig bevonden tussen de vruchtafmeting en het optreden van pigmentatiedefecten, zoals blotchy. De vruchtafmeting laat zich uitwendig reguleren, b.v. door de temperatuur, maar ook endogeen, zoals door het inflorescentiekenmerk, een genetisch gefixeerd aantal bloesems per tros.

### 3.3. De afbraak van de kleur

In een voordracht over de fysiologische achtergrond van aflevingsverschijnselen in groenten, wijst Ulrich (71) op het actuele gevaar van kleurverlies binnen de groep van carotenische pigmenten, als gevolg van isomerisatie en oxydatie. De hoge graad van onverzadigdheid zouden de carotenen bijzonder ontvankelijk maken voor zowel enzymatische-, photochemische-, als auto-oxydaties in het donker. Hierdoor zal naast een kleurverlies een vermindering ontstaan in de graad van vitamine A activiteit van de vrucht en bovendien zal deze een onaangename smaak krijgen door de gevormde mono- en diëpoxyden.

We weten, dat tomaten bij een lange bewaring een muffe smaak ontwikkelen. Of dit smaakbederf nu inderdaad te wijten is aan de gevormde oxyden der carotenen, kon niet bevestigd worden gevonden. De verdere bespreking van dit onderwerp moet dan ook gezien worden als een zekere voorzorg om ook in dit onderdeel waakzaamheid te betonen.

In zuivere vorm zijn carotenen niet stabiel. Wanneer de kristallen aan licht en lucht worden blootgesteld, neemt de kleur zienderogen af. Aan de andere kant wordt in afgeplukte tomaten onder invloed van licht juist een meervorming van carotenoiden waargenomen. Het kan zijn, dat carotenoiden in combinatie met proteïnen, zoals in de plantencel het geval is, stabielere zijn dan in vrij vorm, maar het kan ook zijn, dat antioxidanten in de cel, de afbraak belemmeren. Over de enzymatische reacties is men nog het best geïnformeerd. Het enzymatische systeem wordt verondersteld een lipoxidase systeem te zijn, waarin een onverzadigd vetzuur geoxydeerd wordt onder enzymatische invloed tot een peroxide dat vervolgens het polyeen oxydeert (4, 15). Het vermoeden bestaat, dat de aanwezigheid van een dergelijk enzyme o.a. gebonden is aan de tegenwoordigheid van chlorophyl. In een homogenaat van het blad van de peen, constateerde Booth (4), binnen een half uur een teruglopen van het betacaroteen van 11,5 tot 8,7 mg %.

In vers uitgegraven (peen) wortels bleef het gehalte binnen het tijdsverloop van een half uur gelijk (12,0 en 11,9 mg %). Een belichting echter van de wortels gedurende een zekere tijd deed naast chlorophyl ook het enzyme ontwikkelen. Gedurende diepvriezen heeft men geen afname kunnen constateren van het betacaroteen; bij koken daarentegen heeft men bij tegenwoordigheid van chlorophyl, wel een verlies van het caroteen bemerkt, totdat de hoge temperatuur de enzymwerking uitschakelde.

Friend (15) wist oxydaties van het betacaroteen te bewerken middels een systeem van lyoxidase (overvloedig geïsoleerd uit soyabonen) en linoleaat. De antioxydanten, voor zover in de tomaat periferie aangetroffen, zijn quercitrin, dutin en naringenin. In eetrijpe tomaten werd door Pratt en Watts (47) geen antioxydantactiviteit waargenomen; door Cofer (uit 33a) een geringe activiteit, terwijl Wu en Burrell (47) bij analyses aan diverse rassen, een aanzienlijke hoeveelheid van de flavonoiden aantreffen, waaraan antioxydant-activiteit wordt toegeschreven.

### 3.4. De kleurmeting

Ogenschijnlijk verloopt de pigmentatie bij de tomaat via een oppervlakkige kleurspreiding naar een intensivering van de kleur. De werkelijkheid is, dat ook de superficiële kleuring een zekere mate van intensivering herbergt in het geel en het rood en een verzwakking in het groen. Het gehele proces van pigmentatie kan dus langs objectieve weg gestadig worden aangeduid. Er is een ruim sortiment van fotometers, functionerend op basis van het door het object gereflecteerde dan wel getransmitteerde deel van het licht van beperkte spectraal gebieden. Om enkele voorbeelden te noemen van interpretatie van de kleurmeting aan tomaten. Langerak (D.I.Langerak in voordracht voor de werkgroep Kwaliteit van de tomaat, 11/2/1966), bedient zich voor de metingen, van licht van de golflengten 480 - 550 en 620 m $\mu$ , zijnde de gebieden van maximale reflectie waargenomen bij rijp-groene-, respectievelijk doorgeslagen- en oranje vruchten en hoopt hiermede een verband te vinden tussen de meetwaarden en de rijpingsstadia (d.i. kleurstadia) van de vruchten. Vogeles (72) heeft het gezocht in een vertolking van de lichtmeting door dominante golflengten, per definitie de golflengte van het spectrale gebied, dat tezamen met wat gefixeerd licht, b.v. daglicht, de kleur van het object produceert. Een dominante golflengte werd berekend van gemiddeld 568,7 m $\mu$  voor rijp-groene tomaten, 602,6 m $\mu$  voor vruchten bij 24°C gerijpt, 602,3 m $\mu$  voor idem bij 28°C gerijpt en 583,1 m $\mu$  voor idem bij 32°C. De kleur in de dominante golflengte komt sterk overeen met de subjectief beoordeelde kleur. Aanvullingen met gegevens over de graad van chromatische zuiverheid en de helderheid van de vruchtkleur deden een interessant beeld ontstaan van het kleuringsgedrag van de vruchten.

Van heel oude datum is de kleurbepaling volgens visueel vergelijk. Liebster (35) heeft onlangs echter een toepassingsmogelijkheid van kleur kaarten gedemonstreerd, die wellicht de belangstelling voor dit type van kleurmeting in de toekomst zal doen opleven. Hier werd het systeem volgens Hickethier toegepast, dat als de meeste kleursystemen, de kleurwaarden door een driedelig getal kenmerkt. Dit getal is samengesteld uit de primaire kleuren: geel, rood en blauw. Het verschil met de bestaande systemen is, dat elke grondkleur in quantitatief opgebouwde intensiteitstrappen is verdeeld. Door nu appels uit te boren en vervolgens te doorsteken met een staaf, konden de vruchten in een sneldraaiende beweging gebracht worden. De periodieke wisseling van kleur binnen een zône van het vruchtoppervlak, deed één kleur ontstaan, die de som is van alle in die zône voorkomende kleuren. Ondanks het voorkomen dus van diverse tinten, kon een representatieve kleurmeting verricht worden. Het belangrijkste hierbij is nu, dat door de opbouw van quantitatieve verzadigingswaarden van de kleurcomponenten, Liebster met betrekking tot Cox oranje fruit uiteen kon zetten, hoe, onder invloed van diverse onderstammen, de frequentie verdeling was in het geel, rood en blauw. Van de arbitraire eenheden van de tegenwoordige primaire kleuren kon een variantieanalyse worden opgesteld en significante effecten konden worden aangewezen.

Voor de tomaat kan een dergelijk uitéénraffeling in primaire kleuren en op quantitatieve grondslag, mogelijk een nieuw hulpmiddel zijn in het onderzoek naar de fysiologische responsies in de vruchtkleur. Wellicht worden, in dit verband, moeizame analyses van de rode en gele pigmenten, die dan moeten dienen om de meetresultaten te ondersteunen, overbodig.

Om een additieve kleurmenging te bewerkstelligen zou de tomaat b.v. ingeklemd in rotatie gebracht kunnen worden. Of voor een dergelijke toepassing de spectrophotometer zonder meer bruikbaar kan zijn, zie ik (nog) niet in. Het meetsysteem volgens Hickethier zal dan uitkomst moeten brengen.

Wageningen, 12 juli 1966

CB/RV IBVT no. 8404

## REFERENTIES

1. Ayres J.C. and L.C. Peirce, Effects of packaging films and storage temperatures on the ripening of mature green tomatoes, Food Technol. 14 : 648 (1960).
2. Baker L.R. and M.L. Tomes, Carotenoids and chlorophylls in two tomato mutants and their hybrid, Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 85 : 507 (1964).
3. Bonner J., Plant Biochemistry, Ch. XXVI : 397 (1950), Acad. Press. Inc. 2<sup>nd</sup> Ed. N.Y.
4. Booth V.H., The stability of carotene in vegetable foods and forages, Qual. Plant. Mat. Veg. 3-4 : 317 (1958).
5. Boukin V.N. Notes on the study of vitamins in plants, Qual. Plant. Mat. Veg. 3-4 : 374 (1958).
6. Braverman J.B.S., The carotenoids, Ch. 3 : 18 (1963), Elsev. Publ. Cy. A'dam etc.
7. Burns E.E. and N.W. Desrosier, Maturation changes in tomato fruits induced by ionizing radiations, Food Technol. 11 : 313 (1957).
8. Dalal K.B., D.K. Salunkhe, A.A. Bol and L.E. Olson, Certain physiological and biochemical changes in the developing tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill), Jrnl. Food Sci. 30 : 504 (1965).
9. Darbishire O.B., The estimation of tomato solids by determination of lycopene, The Analyst 90 : 439 (1965).
10. Decker K. and H. Uehleke, Eine enzymatische Isomerisierung von Lycopin und B-carotin, Hoppe - Seyler's Zeitschrift f. Physiologische Chemie, 323 : 61 (1961).
11. Denisen E.L. , Carotenoid content of tomato fruits as influenced by environment and variety, I Effect of temperature and light, Iowa St. Coll. Jrnl. of Sci. 25 : 549 (1951).
12. Denisen E.L., Carotenoid content of tomato fruits as influenced by environment and variety, II Effects of plant nutrients, gas storage and variety, Iowa. St. Coll. Jrnl. of Sci. 25 : 565 (1951).
13. Duvekot W.S. en D.I. Langerak, I.B.V.T. Rpt. 1116 (1958).
14. Frank S., Carotenoids, Sci. American 194 : 80 (1956).
15. Friend J. The biochemical oxidation of betacarotene, Qual. Plant. Mat. Veg. 3-4 : 354 (1958).
16. Garrett A.W., G.R. Ammerman, N.W. Desrosier and M.L. Fields, Effect of color on marketing of fresh tomatoes, Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 76 : 555 (1960).

17. Georgiev H.P. und J. Balzer, Analytische Methoden zur Bestimmung der Reifungsstadien der Tomate, Arch. Gartenb. X : 398 (1962).
18. Goodwin T.W. and M. Jamikorn, Biosynthesis of carotenes in ripening tomatoes, Nature 170 : 104 (1952).
19. Goodwin T.W., The biogenesis of carotenoids, Jrnl. Sci. Food and Agr. 4 : 209 (1953).
20. Goodwin T.W., Carotenoids, Ann. Rev. Biochem. 24 : 497 (1955).
21. Goodwin T.W., Carotine und Carotinoide, Ed. K. Lang, Verträge und Diskussionen des 7. Symposiums in Mainz, Okt. 1961, Ch. I : 1 (1963), Dr. Steinkopff Verlag, Darmstadt.
22. Goodwin T.W., Chemistry and biochemistry of plant pigments, Ed. T.W. Goodwin, Ch. 4 : 127 (1965), Acad. Press, Lndn etc.
23. Graham T.O., High Crimson, a controversial variety, Am. Veget. Grow. 12 : 30 (1964).
24. Grob E.C., Die Biogenese der Carotine und Carotinoide, Ed. K. Lang, Verträge und Disk. des 7. Symposiums in Mainz, Okt. 1961, Ch. II : 26 (1963), Dr. Steinkopff Verlag, Darmstadt.
25. Groth B.H.A., Structure of tomato skins, New Jersey Agr. Exp. St. Bull. 228 (1910).
26. Hall C.B., The effect of short periods of high temperature on the ripening of detached tomato fruits, Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 84 : 501 (1964).
27. Hall C.B. Firmness and color of some tomato varieties during ripening and according to harvest dates, Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 84 : 507 (1964).
28. Hobson G.E. A note on the measurement of the firmness of tomato fruit, Ann. Rept. Glasshouse Crops Res. Inst. 1958-'59, p. 66.
29. Hobson G.E., Polygalacturonase in normal and abnormal tomato fruit, Biochem. Jrnl. 92 : 324 (1964).
30. Hood K.J., Day temperature affects tomatoes, Ohio Farm and Home Res. 47 : 28 (1962).
31. Kargl T.E., F.W. Quackenbush and M.L. Tomes, The carotene - polyene system in a strain of tomatoes high in delta-carotene and its comparison with eight other tomato strains, Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 75 : 574 (1960).
32. Karstens W.K.H., Plantaardige kleurstoffen, Ch. II : 15 (1943), Noorduy'n's Wetensch. Reeks, Gorinchem.
33. Kattan A.A. Changes in color and firmness during ripening of detached tomatoes, and the use of a new instrument for measuring firmness, Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 70 : 379 (1957).



34. Leopold A.C., Plant growth and development, McGraw-Hill Book Cy., N.Y. etc. (1964).
35. Liebster G., Methoden zur Farbmessung an Obstfrüchten, Die Gartenbw. 30 : 467 (1965).
36. Lincoln R.E., F.P. Zscheile, J.W. Porter, G.W. Kohler and R.H. Caldwell, Provitamin A and vitamin C in the genus *Lycopersicon*, Bot. Gaz. 105 : 113 (1943).
37. Lincoln R.E. and J.W. Porter, Inheritance of betacarotene in tomatoes, Genetics 35 : 206 (1950).
38. Lyons J.M. and H.K. Pratt, Effect of stage of maturity and ethylene treatment on respiration and ripening of tomato fruits, Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 84 : 491 (1964).
39. Manunta C., Fisiogenetica della pigmentazione nei pomodori e selezione per ricchezza in vitamina C ed in B-carotene, Qual. Plant. Mat. Veget. 3-4 : 291 (1958).
40. McCollum J.P., Effects of light on the formation of carotenoids in tomato fruits, Food Res. 19 : 182 (1954).
41. McCollum J.P., Distribution of carotenoids in the tomato, Food Res. 20 : 55 (1955).
42. McCollum J.P., Sampling tomato fruits for composition studies, Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 68 : 587 (1956).
43. McGillivray J.M., The variation in temperature of tomatoes and their color development, Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 32 : 529 (1934).
44. McKinney G., Les carotenoides des fruits, Fruits d'outre mer 17 : 341 (1962).
45. Piringer A.A. and P.H. Heinze, Effect of light on the formation of a pigment in the tomato fruit cuticle, Plant Physiol. 29 : 467 (1954).
46. Porter J.W. and R.E. Lincoln, I *Lycopersicon* selections containing a high content of carotenes and colorless polyenes, II The mechanism of carotene biosynthesis, Arch. Biochem. 27 : 390 (1950).
47. Pratt D.E. and B.M. Watts. The antioxydant activity of vegetable extracts, I Flavone aglycones, Jrnl. Food Sci. 29 : 27 (1964).
48. Purcell A.E., G.A. Thompson and J. Bonner, The incorporation of mevalonic acid into tomato carotenoids, Jrnl. Biol. Chem. 234 : 1081 (1959).
49. Purcell A.E. and G.A. Thompson, Glucose as a carbon source for carotene synthesis in tomatoes, Arch. Biochem. Bioph. 93 : 231 (1961).

50. Ramirez D.A. and M.L. Tomes, Relationship between chlorophyll and carotenoid biosynthesis in dirty red (green flesh) mutant in tomato, Bot. Gaz. 125 : 221 (1964).
51. Rick C.M. and L. Butler, Cytogenetics of the tomato, Adv. in Genetics 8 : 257 (1956).
52. Rosen A.L. Le, F.A. Went and L. Zechmeister, Relation between genes and carotenoids of the tomato, Proc. Natl. Acad. Sci 27 : 236 (1941).
53. Ross M.A., Fruit and vegetables: nutritive role in developing countries, Span 8 : 115 (1965).
54. Sayre C.B., W.B. Robinson and T. Wishnetsky, Effect of temperature on color lycopene and carotene content of detached and of vine-ripened tomatoes, Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 61 : 381 (1953).
55. Sheard G.F., Towards the perfect tomato, Span 8 : 104 (1965).
56. Smith O., Effects of light on carotenoid formation in tomato fruits, Cornell Univ. Agr. Exp. St. Memoir 187(1936).
57. Staden O.L., J. van Laar en M. Witmond, Tweede kw. verslag 1965 over de toepassing van ioniserende bestraling op tuinbouwprodukten, uitgevoerd op het I.B.V.T., Rpt. nr. 1482.
58. Takahashi T., M. Nakayama and H. Arima, Studies on the coloring of tomato fruits, IV Changes of pigment contents in bagged fruits, Jrnl. Hort. Ass. Japan 29 : 203 (1960).
59. Takahashi T. and M. Nakayama, Studies on the coloration of tomato fruits, VII Influence of nutrition on pigment contents and fruit yield, Jrnl. Jap. Soc. Hort. Sci. 31 : 151 (1962).
60. Takahashi T. and M. Nakayama, Studies on the coloration of tomato fruits, VIII Effect of storage temperature on pigment contents of fruits, 31 : 325. (1962).
61. Thompson A.E., Inheritance of high total carotenoid pigments in tomato fruits Sci. 121 : 896 (1955).
62. Thompson A.E., R.W. Hepler and E.A. Kerr, Clarification on the inheritance of high total carotenoid pigments in the tomato, Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 81 : 434 (1962).
63. Thompson A.E., R.W. Hepler, R.L. Lower and J.P. McCollum, Characterization of tomato varieties and strains for constituents of fruit quality, Univ. Ill. Agr. Exp. St. Bull. 685 (1962).
64. Thompson A.E., Crimson, a new color of tomato fruits, Ill. Res. (Ill. Agr. Exp. St.) 5 : 19 (1963).

65. Thompson A.E., M.L. Tomes, E.V. Wann, J.P. McCollum and A.K. Stoner, Characterization of Crimson tomato fruit color, Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 86 : 610 (1965).
66. Tomes M.L., F.W. Quackenbush and T.E. Kargl, Action of the gene B in biosynthesis of carotenes in the tomato, Bot. Gaz. 117 : 248 (1956).
67. Tomes M.L., F.W. Quackenbush and T.E. Kargl, Synthesis of B-carotene in the tomato fruit, Bot. Gaz. 119 : 250 (1957).
68. Tomes M.L. Temperature inhibition of carotene synthesis in tomato, Bot. Gaz. 124 : 180 (1963).
69. Truscott J.H.L. and L. Brubacher, Tomato storage, Rept. Hort. Exp. St. and Prod. Lab. Vineland St., Ont. Canada, 1963.
70. Ulrich R., La vie des fruits, Edit. Masson et Cie., Paris (1952).
71. Ulrich R., Processes physiologiques en relation avec la détérioration des produits d'origine végétale, Rev. Gen. du Froid 56 : 321 (1965).
72. Vogele A.C., Effect of environmental factors upon color of the tomato and the watermelon, Pl. Physiol. 12 : 929 (1937).
73. Wann E.V. and J. McFerran, Studies on the inheritance of red color in fruits of *Lycopersicon pimpinellifolium* Mill., Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 76 : 524 (1960).
74. Weedon B.C.L., Chemistry and biochemistry of plant pigments, Ed. T.W. Goodwin Ch. III : 75 (1965), Acad. Press. Lndn etc.
75. Wells L.W., W.J. Schelble and J.W. Porter, The enzymatic synthesis of carotenes by isolated tomato fruit plastids and spinach leaf chloroplasts, Fed. Proc. 23 : 426 (1964), nr. 1945.
76. Went F.W., A.L. Le Rosen and L. Zechmeister, Effect of external factors on tomato pigments as studied by chromatographic methods, Pl. Physiol. 17 : 91 (1942).
77. Workman M., Respiration and ripening of tomatoes with reference to ethylene effect and ethylene evolution, Ph. D. thesis; Univ. Calif. 1954.
78. Yamaguchi M., F.D. Howard, B.S. Luh and S.J. Leonard, Effect of ripeness and harvest dates on the quality and composition of fresh canning tomatoes, Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 76 : 560 (1960).