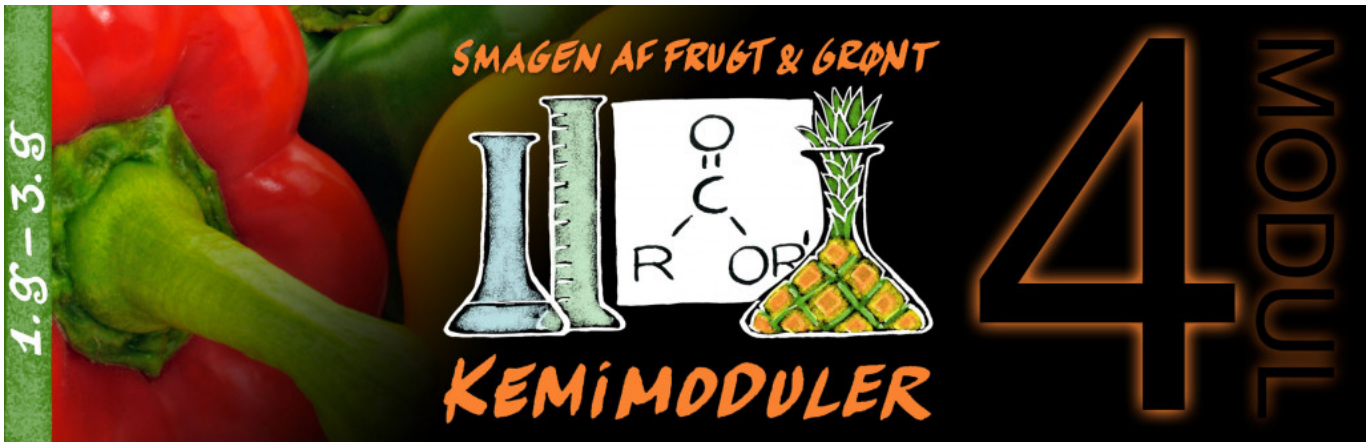
Opsamling på aromastoffer og farvestoffer i frugt og grøntsager

Forfattere: Lone Berg
Redaktør: Thomas Brahe



Introduktion:
Der arbejdes med teori om, hvad organiske farvestoffer kemisk set er. Herunder hvorfor frugt og grønt har deres særlige farver, f.eks. rød gul og grøn peberfrugt samt rødbede.

Aktivitet med dialogoplæg og billeder

1	Opsamling på aromastoffer (20 min.) Noter: • Videoer fra udførelsen af øvelsen "smagen af frugt – aromastoffer" vises i grupper. • Lærergennemgang af reaktionsmekanismen bag estersyntesen.
2	Lærergennemgang af teori om farvede forbindelser (20 min.). Konjugerede dobbeltbindinger, delokaliserede elektroner, chromofore og auxochrome grupper.
3	Gruppearbejde om naturlige farver i frugt og grøntsager (45 min.). Se nedenstående punkter for uddybning.

NORDEA FONDEN
Vi støtter gode liv

4 Gruppearbejdet tager som det første udgangspunkt i artiklen "Naturlige farver i frugt og grøntsager" fra 2004.


Grøn Viden

Havebrug nr. 157 • januar 2004

Naturlige farver i frugt og grønsager

Merete Edelenbos, Ulla Kidmose, Lars Porskjær Christensen og Rikke Nørbæk,
Afdeling for Råvarekvalitet, Forskningscenter Årslev

[Download artiklen her](#).

Arbejdsspørgsmål til artiklen "Naturlige farver i frugt og grønt":

1. Nævn de kemiske forbindelser, der er årsag til farverne grøn, gul, orange, rød, blå og violet.
2. Hvorfor bliver kartofler grønne, hvis de får lys?
3. Hvad er forskellen på klorofyl a og klorofyl b?
4. Argumenter for, at karotenoiderne er fedtopløselige. Hvor mange konjugerede dobbeltbindinger indeholder b-karoten?
5. Hvad er forskellen på xantofyller og karotener?
6. Forklar, hvorfor anthocyaniner og betanin er vandopløselige. Inddrag viden om intermolekylære bindinger.
7. Forklar, hvorfor Clara Frijs-pærerne ændrer farve.

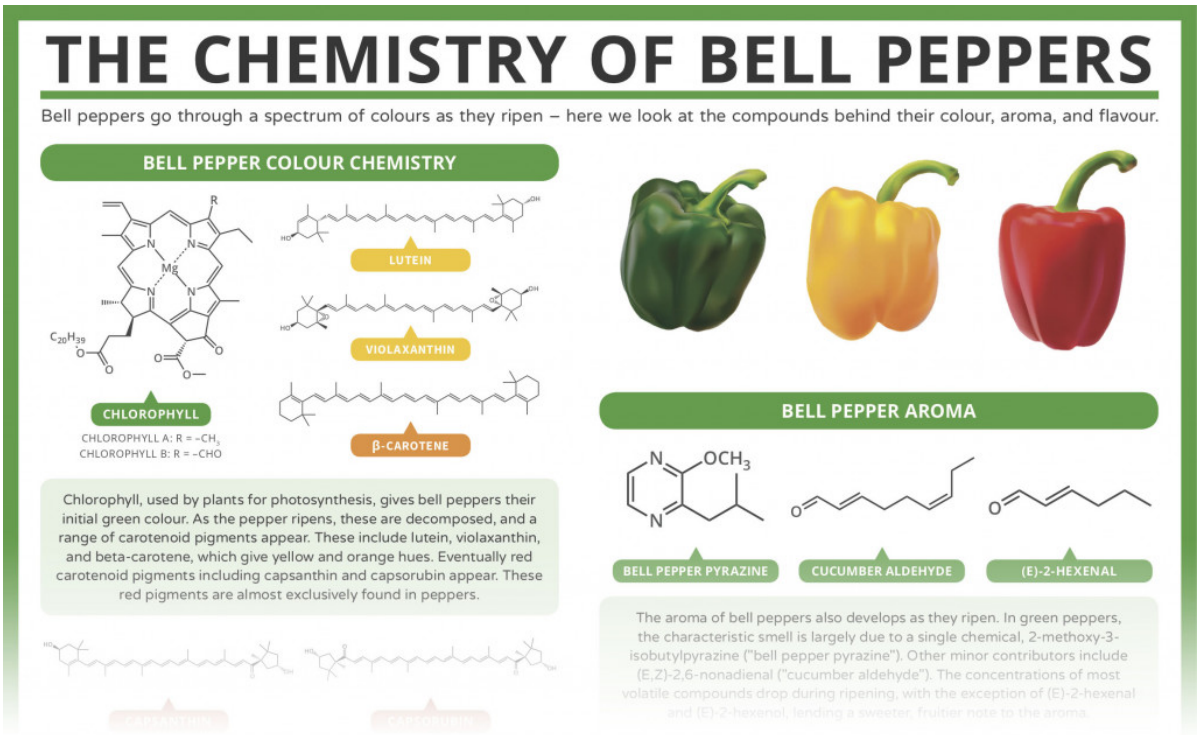


Billedet er fra artiklen "Naturlige farvestoffer i frugt og grøntsager" s. 4

8. Forklar hvad farven af anthocyaniner afhænger af.

9. Hvorfor ændres farven for grønne grøntsager sig mere end orange og røde ved tilberedning?

5 Gruppearbejdet fokuserer efterfølgende på planchen "The chemistry of bell peppers".



Download planchen her.

Noter:

- Hvilke farvestoffer og aromastoffer findes i peberfrugt efterhånden som de modnes?
- Original URL for planchen: http://www.compoundchem.com/2016/07/05/bell-peppers/).

6 Gruppearbejdet afsluttes med selvvalgt frugt eller grøntsag.

Noter:

- Eleverne skal nu vælge en frugt eller grøntsag og undersøge, hvilke farvestoffer der findes i frugten/grøntsagen.
- Strukturformlen skal angives, og det argumenteres, om farvestoffet er opløseligt i vand.
- Vil farven af frugten ændres ved tilberedning?

7 Opsamling på klassen (5 min.).

Noter:

- Eleverne skal konkludere på, hvilken betydning farven af frugt og grønt har for smagen.

Forberedelser

For eleverne gælder:

- Færdiggør dokumentarfilm, som blev påbegyndt i forrige modul ("Introduktion til aromastoffer og estere").
- Læs s. 178-182 i Basiskemi B
- Læs s. 22- 23 i Kend Kemien 2 (2. Udgave) om farvestoffer i fødevarer.
- Læs Edelenbos, Merete m.fl: Naturlige farver i frugt og grøntsager. Artiklen læses også til 5. modul i dansk.

Kopiark

Kopiark:
Naturlige farver i frugt og grønt, Grøn Viden nr. 157, 2004-2.pdf
The-Chemistry-of-Bell-Peppers.pdf

Grøn Viden

Havebrug nr. 157 • januar 2004

Naturlige farver i frugt og grønsager

Merete Edelenbos, Ulla Kidmose, Lars Porskjær Christensen og Rikke Nørbæk,
Afdeling for Råvarekvalitet, Forskningscenter Årslev



Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Danmarks JordbrugsForskning

Farven af en fødevare har meget stor betydning for, om vi som forbrugere har lyst til at købe et produkt eller sætte tænderne i det. Ofte anvender vi ubevidst farven som et udtryk for, om et produkt er friskt, om vi tror, det smager godt, og om det er sundt at spise. Svarer farven til vore forventninger, ja så er vejen banet for, at vi "tør" smage på det.

Alle fødevarer har en karakteristisk farve. Tænk blot på brun kakaomælk, sort lakrids, røde rejer, hvid yoghurt og gul ost. Den største variation i madens farve får vi imidlertid fra frugter og grønsager. Derfor bliver frugter og grønsager også ofte anvendt i madlavningen til at

Naturens egne farver

Alle frugter og grønsager har en karakteristisk farve, afhængig af deres indhold af naturlige farvestoffer eller pigmenter. Den grønne farve stammer fra **klorofyller**, de gule, orange og røde farver fra **karotenoider** eller **betalainer** og de blå, violette og røde farver fra **anthocyaniner**.

Mange spisemodne frugter og grønsager indeholder både klorofyller og karotenoider, men i "friske" produkter er vi kun i stand til at se de grønne klorofyller. Først når klorofyllerne bliver nedbrudt i takt med at produkterne "ældes" kan vi se de gule, orange og røde karotenoider. Som forbrugere forbinder vi disse farveændringer i f. eks. bladgrønsager og kiwi med dårlig kvalitet, mens vi som forbrugere kræver disse farveændringer i f. eks. bananer, appelsiner og tomater for at vi vurderer disse produkter som spisemodne. Hvide frugter og grønsager indeholder ikke farvede pigmenter, men dog ofte farveløse forstadier til pigmenter. Kartoflen er et godt eksempel. Kartofler som ligger i jorden eller bliver opbevaret mørkt, er hvide, men får de lys, bliver de grønne. Dette skyldes, at kartofler indeholder et farveløst forstadie til klorofyl, som bliver omdannet til grønt klorofyl i lys. Derfor er det vigtigt at opbevare kartofler mørkt for at forhindre grønfarvning.

Opdeling af frugter og grønsager efter farve

Grønne

Avocado, grønne æbler, grønne pærer, grønne druer, kiwi, asparges, broccoli, rosenkål, hvidkål, squash, agurker, drueagurker, forårsløg, porre, salat, ærter, grøn peber og spinat.

Gule og orange

Gule æbler, gule pærer, meloner, grapefrugter, citroner, appelsiner, mandariner, mango, fersken, nektariner, abrikoser, ananas, gule rødbeder, gule squash, græskar, gulerødder, gule og orange peberfrugter, sukkermajs, gule tomater og bananer.

Blå og violette

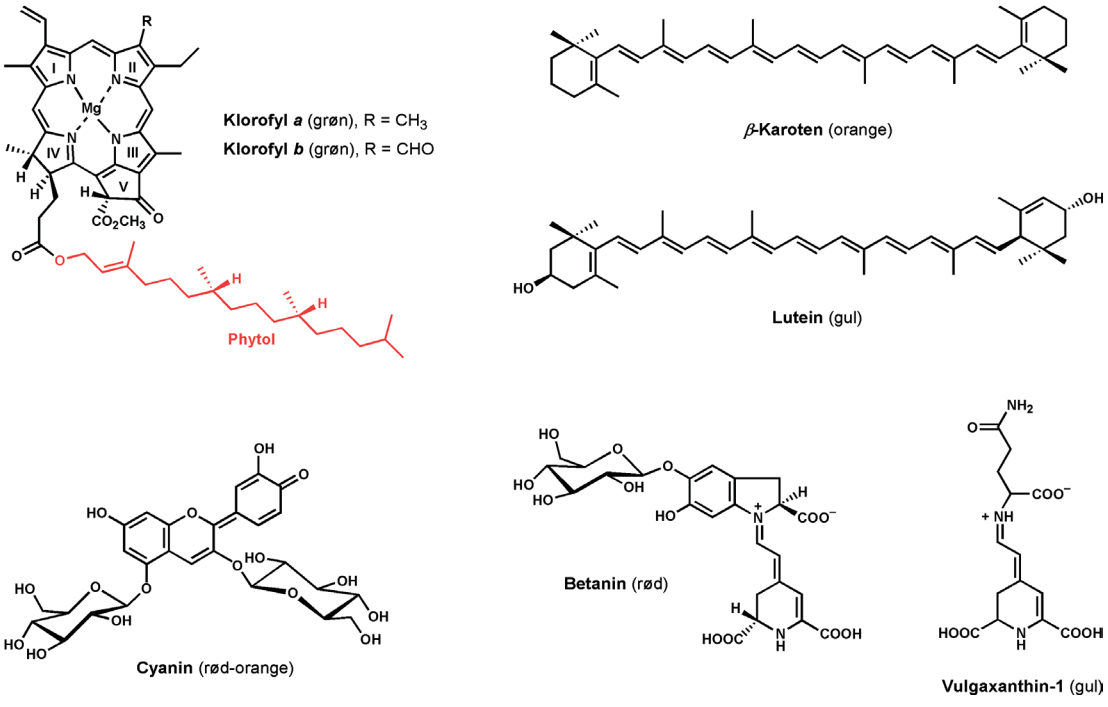
Brombær, blåbær, solbær, hyldebær, lilla druer, blommer og auberginer.

Røde

Røde æbler, kirsebær, tranebær, røde vindruer, røde grapefrugter, hindbær, jordbær, vandmeloner, rabarber, rødbeder, rødkål, røde peberfrugter, radiser, røde løg og røde tomater.

Hvide

Blomkål, hvidløg, løg, champignon, persillerod og pastinak.



*Figur 1. Kemisk struktur af klorofyl **a** og **b**, β-karoten (karoten), lutein (xantofyl), betanin (betacyanin), vulgaxanthin-1 (betaxanthin) og cyanin (anthocyanin).*

gøre et måltid appetitligt og indbydende. Det danske smørrebrød er et godt eksempel på, hvor festligt og indbydende mad kan se ud, når det er pyntet med frugter og grønsager.

I disse år er der meget stor fokus på de sundhedsmæssige aspekter ved at spise mange frugter og grønsager. I Danmark anbefaler sundhedsmyndighederne alle over 10 år at spise 6 stk. eller 600 g frugt og grønt om dagen og alle mellem 4 og 10 år at spise 400 g om dagen (www.6omdagen.dk). I USA har myndighederne tidligere anvendt et lignende sundhedsbudskab, men nu er det blevet ændret til, at man dagligt skal spise 5 enheder af frugt og grønsager fordelt på en enhed fra hver af følgende farvegrupper: grønne, gule/orange, blå/violette, røde samt hvide (www.5aday.com). I boksen er pigmenterne, der giver frugt og grønsager deres karakteristiske farver beskrevet, og desuden ses opdelingen af frugter og grønsager efter farve.

Farvestoffers struktur og stabilitet

Klorofyl består af et komplekst bundet magnesiumatom (Mg^{2+}) i en porphyrin-ring, hvor der på den ene af de fem ringe i porphyrin-strukturen sidder en lang umættet kulbrintekæde (phytol) (figur 1). Klorofyl er et relativt ustabilt farvestof, der forholdsvist let nedbrydes til andre farvede eller farveløse forbindelser. Karotenoider er en gruppe af fedtopløselige og stabile, alifatiske-alicykliske kulbrinter (figur 1). Den alifatiske kæde i karotenoiderne er karakteriseret ved, at hver anden binding er en dobbeltbinding. Det er disse konjugerede dobbeltbindinger, som giver karotenoiderne deres karakteristiske farver.

Karotenoider opdeles i xantofyller og karotener. Xantofyller indeholder ilt, mens karotener er uden ilt.

Den gul-orange farve i appelsin skyldes bl.a. xantofyllet, lutein, mens den orange farve i gulerod stammer fra α- og β-karoten. Mange grønne grønsager, som f.eks. spinat og grønkål, har et højt indhold af lutein og β-karoten, men disse karotenoider er først synlige, når de grønne klorofyller bliver nedbrudt. Den

røde farve i tomat stammer fra karotenet lycopen, mens den gule farve i majs stammer fra xantofyllet, zeaxanthin.

Anthocyaninerne som hører til flavonoiderne, er den mest udbredte gruppe af blå, violette og røde farvestoffer. Anthocyaniner består af et aglycon, et såkaldt anthocyanidin, der er glykosyleret med forskellige sukkerarter (figur 1). De enkelte glykosider kan så igen være acyleret med aromatiske syrer som f.eks. kaffesyre og/eller mindre organiske syrer som malonsyre.

Anthocyaniner er vandopløselige og omdannes let til farveløse forbindelser i plantecellernes pH-område (pH 4-6), og de burde derfor ikke spille nogen rolle som naturlige farvestoffer i frugter og grønsager. At anthocyaniner alligevel udgør en af de vigtigste grupper af naturlige farvestoffer skyldes forskellige stabiliseringsmekanismer, der bl.a. involverer deres acylgrupper og forskellige kopigmenter (typisk flavoner og flavonoler).

Farven i blå, violette og røde frugter og grønsager afhænger af koncentrationen og sammenspillet mellem anthocyaninerne, kopigmenterne og de andre farvestoffer. Den flotte røde og lilla farve i mange bær som f.eks. kirsebær, jordbær, hindbær, brombær, solbær, ribs og hyldebær skyldes anthocyaniner. Det er også anthocyaninerne, som giver aubergine, rødkål og rødløg deres røde, blå og violette farver.

Den blå farve i aubergine skyldes f.eks. et højt indhold af anthocyaninet hyacin og den violette farve et højt indhold af anthocyaninet nasunin.

Betalainer, der er røde og gule farvestoffer, kender vi på vore breddegradder fra rødbeder. Den røde farve stammer fra betanin (et betacyanin) og den gule farve fra vulgaxanthin-1 (et betaxanthin) (figur 1). Betalainer er vandopløselige og meget stabile stoffer.

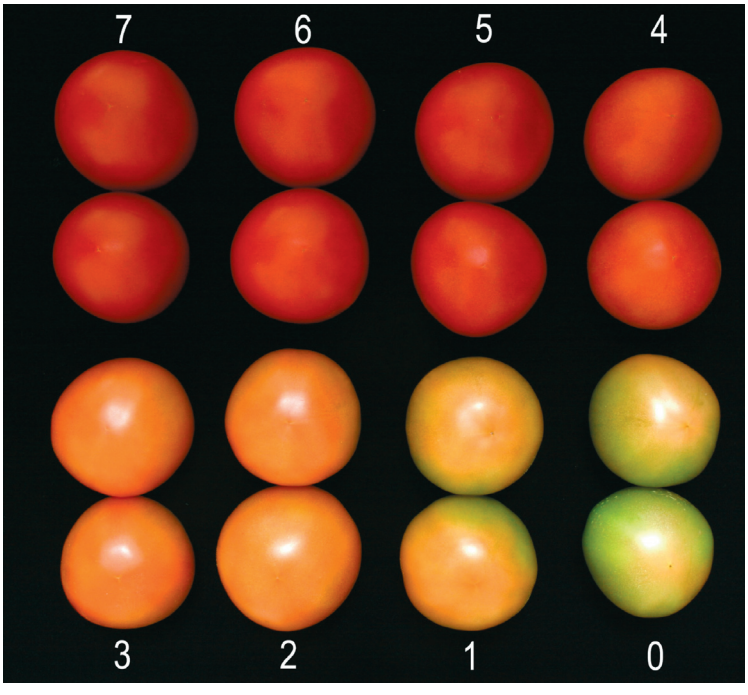
Farveændringer efter høst

Farveændringer efter høst kan være forbundet med både kvalitetsforbedring og -forringelse. I grønne grønsager, som f.eks. agurk, hovedsalat og grønne ærter, skal farven helst ligne farven på høsttidspunktet, for så ser de friske ud. I grønne, røde og gule frugter, som f.eks. grønne æbler og pærer, jordbær, appelsiner, citroner, mango, bananer og røde tomater, skal der i nogle tilfælde ske en farveændring, førend vi som forbrugere opfatter produkterne som spisemodne.

En mørkegrøn agurk ser mere frisk ud end en lysegrøn agurk, og forbrugerne går derfor ud fra, at den mørkegrønne agurk er nyhøstet, mens den anden må være høstet for flere dage siden. Dette vil oftest også være tilfældet, hvis det drejer sig om samme sort høstet på samme tidspunkt. I den mørkegrønne agurk vil indholdet af grønne klorofyller være højere end i den lysegrønne agurk, hvor de gul-orange karotenoider er mere fremtrædende. Under vækst og udvikling dannes der klorofyller i agurkerne, som så gradvist bliver nedbrudt til farveløse forbindelser. Disse nedbrydningsprocesser kaldes senescens eller aldring, og det er en helt naturlig proces, som foregår både i høstede og ikke høstede frugter og grønsager. Det er også nedbrydningen af de grønne klorofyller, som bevirker, at Clara Frijs pærerne i figur 2 ændrer farve. Den mørkegrønne pære til venstre er umoden, mens den gule til højre er overmoden. Foretrækker man en umoden, sprød og hård pære vil man som forbruger vælge den grønne pære til venstre, mens man vil vælge en gul-grøn pære (den i midten i figur 2), hvis man foretrækker en moden, saftig og blød pære.



Figur 2. Farveændring i Clara Frijs pærer under modning. I den umodne pære til venstre dominerer de grønne klorofyller. I den overmodne pære til højre er klorofyllerne nedbrudt og de gule karotenoider trådt frem.



Figur 3. Forskellige modenhedstrin i tomat. Under modning forsvinder den grønne farve og tomatens røde farve dannes og træder frem.

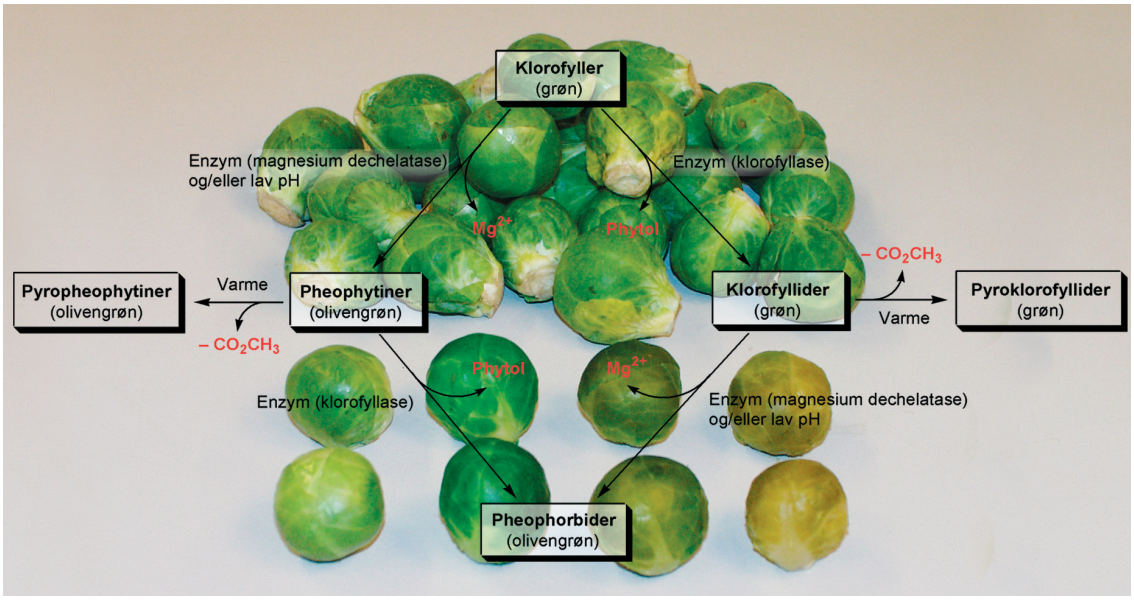
For andre produkter, som f.eks. jordbær og tomater, er der ikke samme glidende opfattelse af kvalitet. Halvgrønne jordbær og tomater opleves oftest af forbrugerne som umodne og smagsløse. Tomater, der er en smule røde (stadie 1) ved høst kan fint udvikle deres røde farve (stadie 4-6) efter høst (figur 3). Dette skyldes, at klorofyl kan nedbrydes til farveløse forbindelser, så de røde, gule og orange karotenoider kan træde frem selvom tomaten er plukket forholdsvis umoden (stadie 1). Desværre kommer tidligt høstede tomater ikke til at smage ligeså godt, som hvis de blev høstet fuldmodne (stadie 5-6). Dette skyldes, at der sker en løbende indlejring af smagsstoffer samtidig med at klorofyl bliver nedbrudt, når tomaterne sidder på planten.

For at bevare farven i frugter og grønsager efter høst er det en god ide at opbevare de fleste grønsager i køleskab i plasticpose. Dog ikke tomater, der helst skal opbevares ved stuetemperatur. Mange frugter holder sig også bedst ved lave temperaturer. Frugter og grønsager skal opbevares adskilt fra hinanden, fordi nogle frugter udskiller ætylen, et modningshormon, der fremmer nedbrydningen af klorofyl.

Farveændringer ved tilberedning

Når frugter og grønsager blancheres, koges, steges, henkoges, pasteuriseres, syltes eller tørres kan der også ske store farveændringer. Der sker især ændringer i de grønne klorofylfarver (figur 4, 5 og 6), mens de gule, orange, røde og violette farver er meget mere stabile (figur 7, 8 og 9). På figur 4 ses farven af rå, kogt og overkogt rosenkål. Den rå rosenkål til venstre har en lysere grøn farve end rosenkål kogt i 5 min (nr. 2 fra venstre). En kortvarig varmebehandling bevirker, at den grønne farve bliver mere intens, mættet og mørkere, fordi luft drives ud. Der sker kun en ganske lille ændring i klorofylsammensætningen ved en kortvarig varmebehandling, og denne ændring har ingen praktisk betydning for farven. Forlænges kogetiden vil der gradvist ske en væsentlig ændring i farven fra mørkegrøn til mere eller mindre brunlig (figur 4). Der tabes klorofyl til kogevandet, de grønne klorofyller omdannes til olivengrønne pheophytiner og pyropheophytiner og de gule karotenoider træder frem.

Friske grønne bønner ændrer også farve, når de koges og fryses eller henkoges (figur 5). Grønne bønner til frost blancheres kortvarig med vand eller damp for at inaktivere enzymerne og stabilisere grønsagerne under den efterfølgende fryseperiode. Grønne bønner til henkogning blancheres kortvarig inden autoklavering, hvilket typisk sker ved 121°C i 30 min. Under en sådan hårdhændet varmebehandling sker der en kraftig



Figur 4. Farveændring i rosenkål under kogning. Rå rosenkål til venstre og overkogt rosenkål til højre. En kortvarig varmebehandling bevirker, at farven bliver intens og mørkegrøn (nr. 2 fra venstre). På figuren ses de typiske nedbrydningsmønstre for klorofyller.

ændring i farven fra grøn til olivengrøn, fordi klorofyl nedbrydes til pheophytin og pyropheophytin.

Fermentering eller sursyltning påvirker også den grønne farve (figur 6). Den grønne klorofylfarve ændres til olivengrøn pheophorbidfarve via en enzymatisk klorofyllase reaktion efterfulgt af en ikke-enzymatisk reaktion, hvor magnesiumionen (Mg^{2+}) i klorofylskelettet fjernes. I første trin omdannes klorofyl til klorofyllid (figur 4). I næste trin nedbrydes klorofyllid til pheophorbid, fordi pH falder som følge af, at der tilsættes eddike (sursyltning) eller der dannes mælkesyre (fermentering). Ved sursyltning af rødbeder er det meget vanskeligt at se nogle væsentlige farveændringer (figur 6). Dette skyldes, at betalainer er meget stabile overfor pH-ændringer.



Figur 5. Farven af rå, frosne og henkogte grønne bønner.



Figur 6. Sursyltning af agurker og rødbeder. Den røde betalainfarve er stabil og den grønne klorofylfarve ustabil.

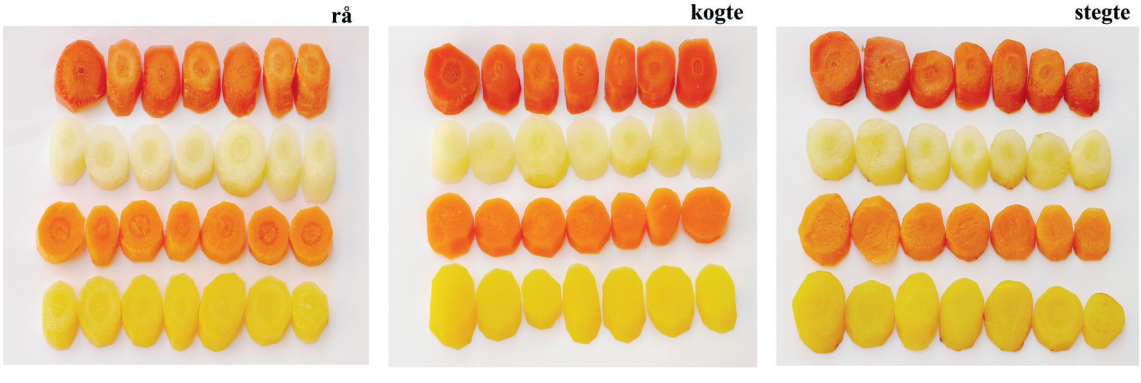
Generelt sker der kun ganske få ændringer i karotenoiderne ved tilberedning, og ofte kan disse ændringer knapt ses med det blotte øje (figur 7 og 8). En kortvarig og skånsom varmebehandling bevirker generelt, at de gule, orange og røde karotenoidfarver bliver mørkere og dybere.

Karotenoider er fedtopløselige, og derfor sker der ikke tab til kogevandet i forbindelse med kogning. Tørring kan dog resultere i farveændringer og nedbrydning af karotenoider.

Anthocyaninerne er også forholdsvist stabile ved tilberedning (figur 9), men de kan ændre farve under langtidsopbevaring og i forbindelse med fremstilling af survarer. Et godt eksempel herpå er jordbærmarmelade, som ved flere års opbevaring ved stuetemperatur kan miste sin klare røde farve og blive brunlig. Sursyltning af rødkål er et andet eksempel. I det rå rødkålshoved er anthocyaninerne blåviolette, fordi pH er højt, mens de røde nuancer træder frem i sursyltet rødkål (lavt pH).

Konklusion

- Frugter og grønsager har en karakteristisk farve, afhængig af deres indhold af naturlige farvestoffer. Den grønne farve stammer fra klorofyller, de gule, orange og røde farver fra karotenoider eller betalainer og de blå, violette og røde farver fra anthocyaniner.
- Frugter og grønsagers farvestoffer har forskellig stabilitet. Klorofyller er ustabile og nedbrydes let til farvede eller



Figur 7. Farven af gule (lutein), orange (α- og β-karoten), hvide og røde (lycopen) gulerødder ændres kun lidt under kogning og stegning.

Grøn Viden indeholder informationer fra Danmarks JordbrugsForskning.

Grøn Viden udkommer i en mark-, en husdyr- og en havebrugsserie, der alle henvender sig til konsulenter og interesserede jordbrugere.

Abonnement tegnes hos
Danmarks JordbrugsForskning
Forskningscenter Foulum
Postboks 50, 8830 Tjele
Tlf. 89 99 10 10 / www.agrsci.dk

Prisen for 2004: Markbrugsserien kr. 222, husdyrbrugsserien kr. 162 og havebrugsserien kr. 137.

Adresseændringer meddeles særskilt til postvæsenet.

Michael Laustsen (ansv. red.)
Britt-Ea Jensen (redaktør)

Lay-out: Enggaardens Tegnestue

Tryk: DigiSource

ISSN 0903-0719



Figur 8. Tomatens røde lycopenfarve ændres kun lidt under forarbejdning.



Figur 9. Farven af karotenoider og anthocyaniner ændres kun lidt i forbindelse med fremstilling af frugtprodukter.

farveløse forbindelser. Karotenoider, betalainer og anthocyaniner er forholdsvis stabile. Farven af anthocyaniner er dog afhængig af faktorer som pH, koncentrationen og sammenspillet mellem anthocyaniner og kopigmenter.

- Farven af frugt og grønsager er en vigtig kvalitetsparameter. Grønne grønsager opfattes f.eks. som friske, hvis de ligner farven på høsttidspunktet, hvorimod grønne, røde og gule frugter i nogle tilfælde skal gennemgå en farveændring for at de bliver opfattet som spisemodne.

- Farveændringer i frugt og grønsager kan ske ved senescens (aldring) og ved tilberedning, som f.eks. kogning, stegning, syltning og tørring.

Litteratur

Edelenbos, M., Christensen, L.P., Grevsen, K., 2001. HPLC determination of chlorophyll and carotenoid pigments in processed green pea cultivars (*Pisum sativum* L.) *J. Agric. Food Chem.* **49**, 4768-4774.

Kidmose, U., Edelenbos, M., Nørbæk, R., Christensen, L.P., 2002. Colour stability in vegetables. In *Colour in food* (Ed. MacDougall, D.B.), Woodhead Publ. Limited, Cambridge, UK, p. 179-232.

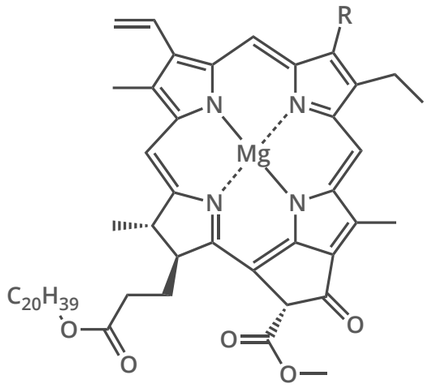
Nørbæk, R., 2002. Naturlige farvestoffer i fødevarer. *Grøn Viden* (Markbrug) **255**, 1-4.

Nørbæk, R., Christensen, L.P., Brandt, K., 2003. Kemien bag blomsters farvestoffer. *Dansk Kemi* **84**, 14-17.

THE CHEMISTRY OF BELL PEPPERS

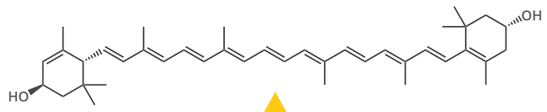
Bell peppers go through a spectrum of colours as they ripen – here we look at the compounds behind their colour, aroma, and flavour.

BELL PEPPER COLOUR CHEMISTRY

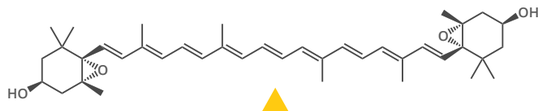


CHLOROPHYLL

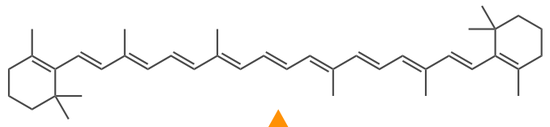
CHLOROPHYLL A: R = $-CH_3$
CHLOROPHYLL B: R = –CHO



LUTEIN

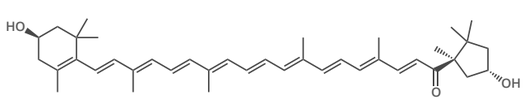


VIOLAXANTHIN

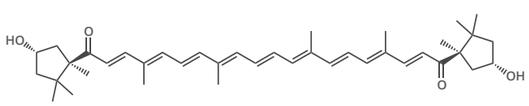


β-CAROTENE

Chlorophyll, used by plants for photosynthesis, gives bell peppers their initial green colour. As the pepper ripens, these are decomposed, and a range of carotenoid pigments appear. These include lutein, violaxanthin, and beta-carotene, which give yellow and orange hues. Eventually red carotenoid pigments including capsanthin and capsorubin appear. These red pigments are almost exclusively found in peppers.



CAPSANTHIN



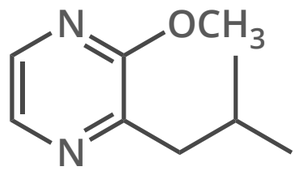
CAPSORUBIN



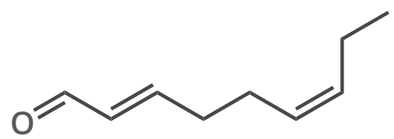




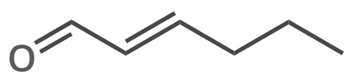
BELL PEPPER AROMA



BELL PEPPER PYRAZINE



CUCUMBER ALDEHYDE



(E)-2-HEXENAL

The aroma of bell peppers also develops as they ripen. In green peppers, the characteristic smell is largely due to a single chemical, 2-methoxy-3-isobutylpyrazine ("bell pepper pyrazine"). Other minor contributors include (E,Z)-2,6-nonadienal ("cucumber aldehyde"). The concentrations of most volatile compounds drop during ripening, with the exception of (E)-2-hexenal and (E)-2-hexenol, lending a sweeter, fruitier note to the aroma.

© COMPOUND INTEREST 2016 - WWW.COMPOUNDCHEM.COM | Twitter: @compoundchem | Facebook: www.facebook.com/compoundchem
This graphic is shared under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives International 4.0 licence.