Broccolishots!?? Sennepsolier!? Glucosinolater?



Foto: magnific.com.

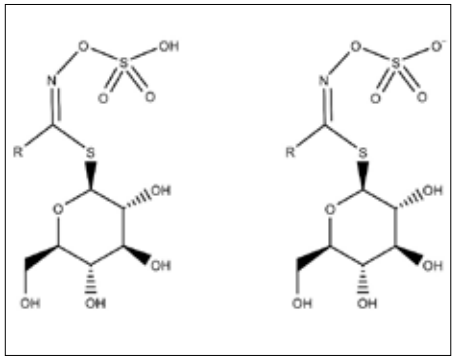
Figur 1. Hoved af broccoli, *Brassica oleracea,* som vi kender det fra detailhandelen.

En artikel i *Politiken* [1] handlede mest om ketonstofskifte (ikke vores emne her), men omtalte også muligheden af at øge sportspræstationer ved indtagelse af store mængder broccoli (figur 1), konkret i form af hvad artiklen omtalte som *broccolishots*, baseret på broccolispirer. De skulle virke i kraft af et indhold af **glucosinolater**. Ikke et umiddelbart gennemskueligt navn. Er der noget, der hedder sinolater eller inolater? Vist ikke. Ifølge Senning [2] kommer ordet af glucose og latin *sinapis*, der betyder sennep; sinapinsyre [3-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)prop-2-ensyre] forekommer i frøene af sort sennep [3].

CheBI [4] viser formler for en række glucosinolater og glucosinolsyre (engelsk glucosinolic acid), der blot har tilføjet en hydron på sulfatgruppen og altså er uladet. De to grundstrukturer er vist her i figur 2.

Strukturen forekommer lidt speciel, og vi har jagtet glucosinolater i forskellige kilder [3-9]. Ingen af dem lader sig mærke med, at der skulle være noget usædvanligt ved sulfatgruppen.

I [3] omtales forekomst af glucosinolater i kålarter, herunder rosenkål og broccoli, samt i radiser. Carl Th. [6] nævner glucosinolater som indholdsstoffer i en række krydderier: kapers (og også tallerkensmækker), peberrod og de forskellige slags sennep (sort, hvid, brun), således sinigrin i sort sennep (latin *niger*, sort) og sinalbin i hvid sennep (*albus*, hvid). Se faktaboksen på side 26 for stofnavne.



Figur 2. Grundstrukturerne. Til venstre glucosinolsyre, til højre glucosinolat. Se videre i faktaboks på side 26.

Glucosinolater blev tidligt studeret her i landet i svovlkemigruppen omkring K.A. Jensen ved Københavns Universitet, se for eksempel [7], ikke mindst med bidrag fra Anders Kjær [10]. Der er i dag en omfattende både dansk og international litteratur [3,9,11-15], som vi naturligvis ikke kan yde retfærdighed i dette lille causeri.

Sennepsolier

I organisk kemi lærte man, at **isothiocyanater**, altså forbindelser med strukturen R–N=C=S, har kælenavnet **sennepsolier**. (NB: ikke at forveksle med sennepsfrøolie [16]). Halvsystematiske navne kan konstrueres, som for eksempel allylsennepsolie for CH_2=CH–CH_2–N=C=S (helsystematisk navn 3-isothiocyanatoprop-1-en). Se faktaboksen.

Politiken-artiklen nævnte, at glucosinolat, for eksempel fra broccolishots, 'omdannes til isothiocyanat inde i kroppen, som måske kan [...] virke præstationsfremmende'. Om det sidste er tilfældet, vil vi overlade til andre at undersøge. Men hvordan kan det isothiocyanat dannes? Glucosinolaterne indeholder motivet –S–C(–R)=N–, men for at det bliver til et isothiocyanat, skal gruppen R over at sidde på N, så vi får S=C=N–R. Det – siger de forskellige kilder – er der et enzym, der tager sig af, nemlig **myrosinase** (EC 3.2.1.147, se [17,18]). Dette enzym er åbenbart nærmest allestedsnærværende i de planter, hvor glucosinolaterne findes, men sagen er bare, at det først skal lukkes ud af sit særskilte gemme ('compartment') og have adgang til glucosinolatet, før spaltningen kan finde sted. Og her er det, at det begynder at blive indviklet og meget afhængigt af, hvilken grøntsag der er tale om; hvad er temperaturen; hvordan snittes eller tørres eller formales blade eller frøkapsler osv.

Glucosinolater

Med stor variation i glucosinolater (mere end 120 ifølge [11]) er det ikke overraskende, at glucosinolatprofilen er meget forskellig i forskellige planter. I broccoli er glucoraphanin, glucobrassicin, 4-methoxyglucobrassicin og glucoiberin dominerende [12]; se navnene i faktaboksen. Bordsennep kan fremstilles af frøene fra tre forskellige arter: hvid sennep (*Sinapis alba*), brun sennep (*Brassica juncea*) eller sort sennep (*Mutarda nigra* syn. *Brassica nigra*). I hvid sennep er sinalbin dominerende, hvorimod der er sinigrin i sort og brun sennep [13]. Sinalbin omdannes af myrosinase til 4-hydroxybenzylisothiocyanat [systematisk 4-(isothiocyanatomethyl)phenol], ▶

som hurtigt omdannes til den tilsvarende benzylalkohol og thiocyanat [14] – det er grunden til, at hvid sennep er mindre skarp end brun og sort sennep.

I øvrigt er glucosinolaterne i blomkål nært beslægtede med dem i broccoli, og deres nedbrydningsprodukter bidrager til den velkendte lugt og smag af kogt blomkål.

Glucosinolater er planternes måde at afskrække planteædere fra at spise dem, idet glucosinolater ved skader på planten omdannes til isothiocyanater. Men nogle insekter (for eksempel kålsommerfugle) har udviklet mekanismer til at undgå de giftige isothiocyanater. I sommerfuglelarvens tarm dannes der i stedet for isothiocyanater tilsvarende nitriler, som udskilles med afføringen [15]. Det har på den anden side ført til et "våbenkapløb" over millioner af år, hvor planter har udviklet nye glucosinolater som respons på planteædernes evne til at omsætte de eksisterende glucosinolater [11]. Kålsommerfuglelarven kan dog stadig forlyste sig med kål, og af egen erfaring kan tilføjes, at også snegle er ret ligeglade med glucosinolater!

Tilbage til shotsene

Ifølge [3] har ovennævnte **glucoraphanin** flere mulige gunstige virkninger: på hjerte-kar-systemet; det kan inhibere vækst af den bakterie, der giver mavesår; og kan måske endda 'begrænse excessiv cellevækst' (kræfthæmmer?). Så der er måske en fremtid i broccolishotsene.

AM, TD, Nomenklaturudvalget

Glucosinolater og sennepsolier – nomenklatur

For strukturerne i figur 1 kan man konstruere navne baseret på
a. organisk-kemisk (substitutiv) nomenklatur og
b. koordinationsnomenklatur (additiv), dvs. forbindelsen anskues som en koordinationsenhed med svovl som centralatom.

Glucosinolsyre (som eksempel er antaget R = CH_3)
a. β-D-glucopyranose[(1*Z*)-*N*-(sulfooxy)ethanimidothioat]
Forbindelsen anskues som en glucoseester af en imidothiosyre, RC(=NH)SH, substitueret på nitrogen med gruppen sulfooxy, $-OSO_3H$.
b. {(1*Z*)-[1-(β-D-glucopyranosylsulfanyl)ethan-1-yliden]azanolato} hydroxidoditrioxidosvovl
Her er azanolato NH_2O^- substitueret med >C= fra ethan-1-yliden.

Glucosinolat (stadig med R = CH_3 som eksempel)
a. [(*Z*)-{1-[(β-D-glucopyranosyl)sulfanyl](ethan-1-yliden)]}nitrilo] oxy(dioxo-λ^6-sulfanolat)
Her er λ^6-sulfan, SH_6, substitueret med nitrilooxygruppen =N–O–, to oxogrupper O= og olat, altså $-O^-$.
b. {(1*Z*)-[1-(β-D-glucopyranosylsulfanyl)ethan-1-yliden]azanolato} trioxidosulfat(1–)

Glucosinolater generelt og udvalgte eksempler

Nogle navngives halvsystematisk ud fra grundstrukturen glucosinolat med angivelse af navnet for substituenten R:
sinalbin, [(4-hydroxyphenyl)methyl]glucosinolat
sinigrin, allylglucosinolat, R = allyl, CH_2=$CHCH_2$–
Andre har 'gluco' + et trivialnavn:
glucoraphanin, R = 4-(methylsulfinyl)butyl, $CH_3S(=O)CH_2CH_2CH_2CH_2$–
glucobrassicin, R = indol-3-ylmethyl
4-methoxyglucobrassicin
glucoiberin, som glucoraphanin, blot med propyl i stedet for butyl, R = $CH_3S(=O)CH_2CH_2CH_2$–

Sennepsolier, isothiocyanater

allylsennepsolie, allylisothiocyanat, CH_2=$CHCH_2$–N=C=S
sulforaphan, $CH_3S(=O)CH_2CH_2CH_2CH_2$–N=C=S

Note: Helsystematiske navne for carbohydrater kan baseres på de tilgrundliggende heterocykler, for eksempel oxan (cyclohexan med én CH_2-gruppe udskiftet med oxygen). I sådanne navne skal hele stereokemien med hydroxysubstituenter og *R*- og *S*-konfigurationer anføres eksplicit. Man kan finde oxannavne for glucosinolater hos PubChem [8]. IUPAC [19] insisterer ikke på, at man bruger sådanne navne, men anviser i carbohydratnomenklatur [19] funktionelle stamforbindelser som glucose (glucopyranose, når det er den seksleddede ringform). Det er dog stadig nødvendigt at anføre, om det er L- eller D-formen, og om det er α- eller β-anomeren (som gjort ovenfor).

Referencer

1. *Politiken*, sektion PS side 2-3, 5. juli 2026.
2. A. Senning: *Elsevier's Dictionary of Chemoetymology* [Elsevier 2007].
3. J.R. Hanson: *Chemistry in the Kitchen Garden* [RSC Publishing 2011]. Chapter 4, Green Leaf Vegetables.
4. https://www.ebi.ac.uk/chebi/CHEBI:79316 (besøgt 16. august 2026).
5. A. Senning: *The Etymology of Chemical Names – Tradition and Convenience vs. Rationality in Chemical Nomenclature* [de Gruyter 2019].
6. Carl Th. Pedersen: *Krydderier fra A til Z* [Turbine 2021].
7. K.A. Jensen, J. Conti, A. Kjær: *iso*Thiocyanates II. Volatile *iso*Thiocyanates in Seeds and Roots of Various Brassicae. *Acta Chem. Scand*. 7 (1953) 1267–1270.
8. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/ - query=glucosinolate (besøgt 16. august 2026).
9. L. Bell, O.O. Oloyede, S. Lignou, C. Wagstaff, L. Methven: Taste and Flavour Perceptions of Glucosinolates, Isothiocyanates, and Related Compounds. *Mol. Nutr. Food Research* **62** (18) 2018 (DOI: https://dx.doi.org/10.1002/mnfr.201700990; det er i øvrigt et helt bind af tidsskriftet viet til isothiocyanater).
10. M. Harding, P.O. Larsen: *Anders Kjær i Dansk Biografisk Leksikon* på lex.dk. Besøgt 16. august 2026.
11. P.P. Edger *et al.*: The butterfly plant arms-srace escalated by gene and genome duplications. *PNAS* **112**, 3862-8366 (2015). doi.org/10.1073/pnas.1503926112.
12. A.A. Redha, F. Langston, G.R. Nash, J.R. Bows, L. Torquati, M.J. Gidley, D. Cozzolino: Determination of glucosinolates in broccoli *(Brassica oleracea* var. *italica*) by combining mid-infrared (MIR) spectroscopy with chemometrics. *Int. J. Food Sci. Technol.* **58**, 5679-5688 (2023). doi.org/10.1111/ijfs.16664.
13. J. Lietsow: Biologically Active Compounds in Mustard Seeds: A Toxicological Perspective. *Foods* **10**, 2089 (2021). doi.org/10.3390/foods10092089.
14. V. Borek, M.J. Morra: Ionic Thiocyanate (SCN-) Production from 4-Hydroxybenzyl Glucosinolate Contained in *Sinapis alba* Seed Meal. *J. Agric. Food Chem*. **53**, 8650–8654 (2005). doi.org/10.1021/jf051570r.
15. U. Wittstock, N. Agerbirk, E.J. Stauber, C.E. Olsen, M. Hippler, T. Mitchell-Olds, J. Gershenzon og H. Vogel: Successful herbivore attack due to metabolic diversion of a plant chemical defense. *PNAS* **101**, 4859–4864 (2004). doi.org/10.1073/pnas.03080071.
16. L.H. Skibsted: *Sennepsfrøolie* i *Lex* på lex.dk. Hentet 16. august 2026.
17. ExplorEnz 3.2.1.147 (officiel portal for IUBMB Enzyme Nomenclature).
18. Brenda https://www.brenda-enzymes.org/enzyme.php?ecno=3.2.1.147.
19. *IUPAC Blue Book*. H.A. Favre, W.H. Powell: *Nomenclature of Organic Chemistry. IUPAC Recommendations and Preferred Names 2013* (RSC). Section P-102, Carbohydrate Nomenclature (se den bekvemme online-version af bogen, opdateret i 2023, her: https://iupac.qmul.ac.uk/BlueBook/PDF).