

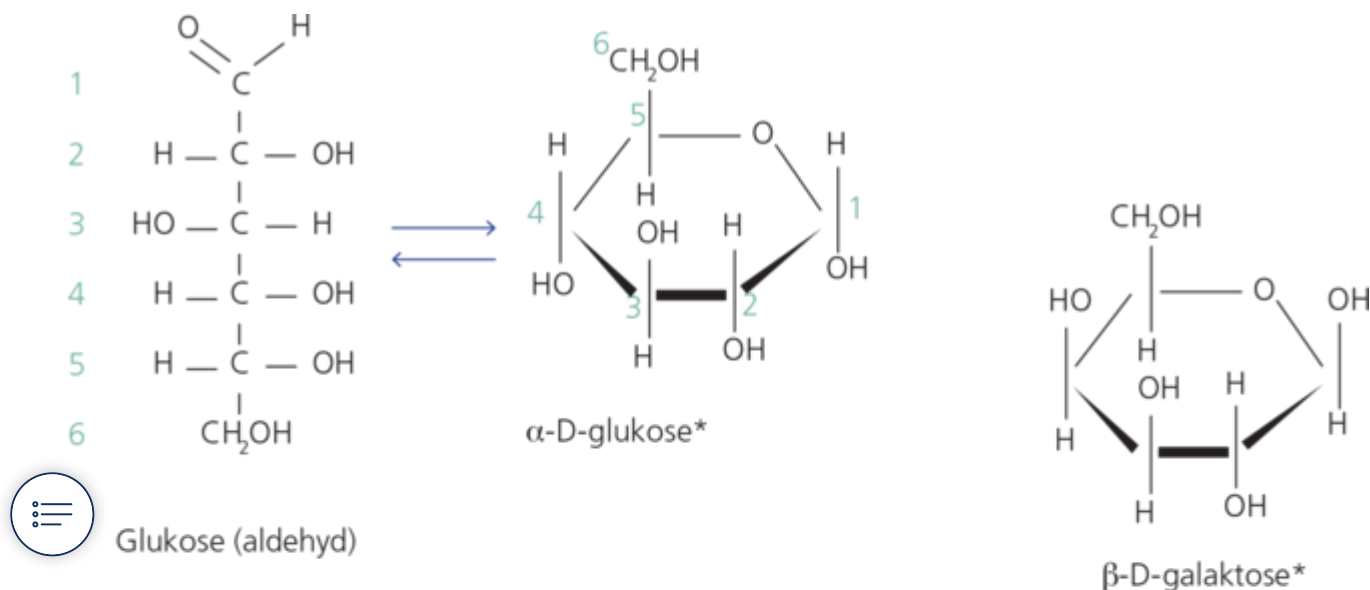


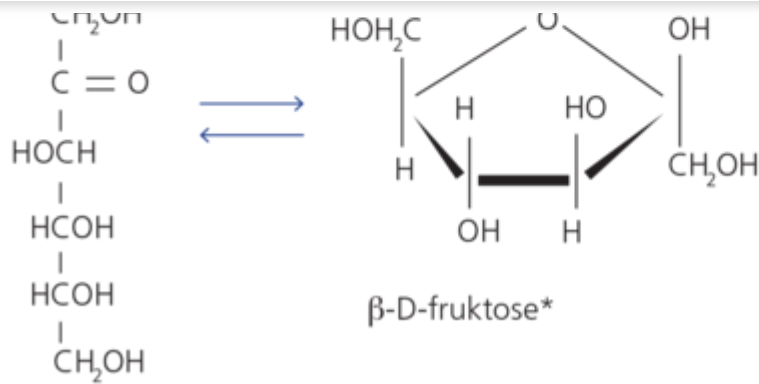
Ernæringsfysiologi > KAPITEL 3. KULHYDRATER

KULHYDRATERS KEMISKE OPBYGNING OG FUNKTIONER Aa ⋮

Kulhydrater indeholder kulstof, hydrogen og oxygen, hvilket også indikeres af navnet kulhydrat. I kulhydrater findes kulstof (C), brint (hydrogen (H)) og ilt (oxygen (O)) altid i forholdet 1:2:1. Derfor kan de almindeligste kulhydrater skrives efter bruttoformlen: $(CH_2O)_n$.

Kulhydrater benævnes efter antallet af kulstofatomer i molekylet, hvorfor trioser, tetroses, pentoser og hexoser indeholder hhv. tre, fire, fem og seks kulstofatomer. Ernæringsmæssigt er det kun hexoserne, glukose og fruktose, der er interessante, fordi det er dem, der overvejende optages og omsættes i kroppen. Kulhydrater er kemisk set en heterogen gruppe, og de indeholder alle aldehyder eller ketoner samt alkoholer (se [figur 3.1](#) med ordforklaring og ordlisten). Et kulhydratmolekyle kaldes et monosakkarid, når det ikke kan spaltes yderligere til et kulhydrat. Flere monosakkarider kan bindes til hinanden, hvorved der dannes kæder med eller uden forgrening. Disse kæder af monosakkarider inddeles efter, hvor mange monosakkarider som er bundet sammen. Således vil et disakkarid indeholde to monosakkarider, mens oligosakkarider og polysakkarider vil indeholde hhv. 3-9 og over 9 monosakkarider i molekylet ([tabel 3.1](#)).





Fructose (keton)

Figur 3.1. Glukose, fruktose og galaktose. Alifatisk struktur og ringstruktur. β henviser til, at OH-gruppen på C-atom nr. 1 i galaktose og C-atom nr. 2 i fruktose vender opad i modsætning til α -D-glukose. * α -D-glukose, β -D-galaktose, β -D-fruktose: D henviser til, at α -D-glukose drejer polariseret lys mod højre, dexter.

KULHYDRAT	UNDER-GRUPPE	MONO-SAKKARID-ENHEDER	BINDINGS-TYPE	FOR-DØJELIGHED
MONO-SAKKARIDER (1 molekyle-enhed) sukkeralkoholer	Glukose			**
	Fructose			**
	Galaktose			**
	Sorbitol			**
	Xylitol			**
DI-SAKKARIDER (2 molekyle-enheder)	Sakkarose	Glukose + fructose	α -(1,2)- β -glykosid	+
	Laktose	Glukose + galaktose	β -(1,4)-galaktosid	+
	Maltose	Glukose + glukose	α -(1,4)-glykosid	+
	Trehalose	Glukose + glukose	α -(1,1)-glykosid	+
OLIGO-SAKKARIDER (3-9 molekyle-enheder)	Maltodextriner	Glukose	α -(1,4)-glykosid	+
	Raffinose	Glukose + fructose + galaktose	Varierende	-
	Verbascose			-
	Stachyose			-
POLY-SAKKARIDER	Amylose	Glukose	α -(1,4)-glykosid	+



				+
Glykogen***		Glukose	α -(1,4)-glykosid og α -(1,6)-glykosid	+ +
Inulin		Fruktose	β -(1,2)-fruktosid ca. 50 % fordøjes, resten nedbrydes af mikroorganismer	+/-
Kostfibre (ikke-stivelse- poly- sakkarider)	Cellulose	Glukose	β -(1,4)-glykosid	-
	Hemicellulose	Varierende pentoser, hexoser og uronsyrer	Varierende	-
	Pektin	Varierende, uronsyrer dominerer	β -(1-4)-galakturonsyre	-
	Guar, slimstoffer	Varierende	Varierende	-

Tabel 3.1. De vigtigste kulhydrater i fødevarer. Kulhydraternes opbygning med enheder af monosakkarider, deres bindings- og fordøjelighed. * Fordøjelighed i tyndtarmen: + angiver fordøjelig og - angiver ufordøjelig. Monosakkarider og sukkeralkoholer absorberes ufordøjet. *** Indhold af glykogen i fødevarer er meget lille. Efter Mann J et al., 2007.

Monosakkarider

De vigtigste monosakkarider i fødevarer og i organismen er glukose, fruktose og galaktose ([figur 3.1](#)); disse er alle hexoser. Fødevarer indeholder naturligt kun meget lidt af de tre monosakkarider ([tabel 3.9](#)). Dog indeholder fx modne vindruer ca. 6,6 g fruktose og 6,8 g glukose pr. 100 g.

I en vandig opløsning og i kropsvæskerne forekommer monosakkarider i både en lige kæde og i en ringform ([figur 3.1](#)) i forholdet 1:99. Det vil sige i en ligevægt, hvor 99 molekyler ud af 100 er på ringstruktur, og ét molekyle er på den lige form. Ringen dannes mellem C-atomet og iltatomet (O) i hhv. aldehyd- eller ketongruppen ([figur 3.1](#)). Monosakkariderne kan påvises og kvantitativt bestemmes vha. deres evne til at reagere med andre stoffer, der er betinget af indholdet af aldehyd eller ketongrupper. Især aldehydgruppen oxideres let til karboxylsyre. Den frie aldehydgruppe i glukose bevirker,



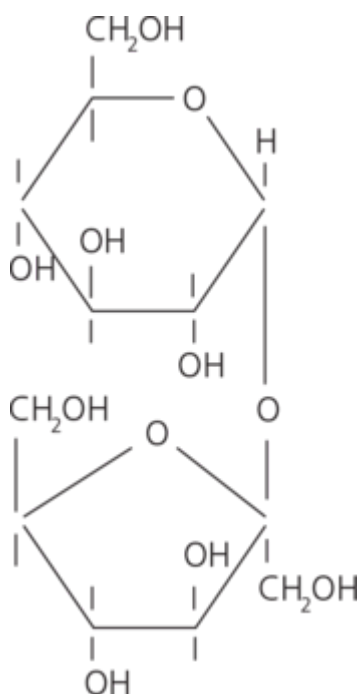
og funktion ændres. Disse ændringer i proteinernes struktur ses hos nogle patienter med diabetes (sukkersyge).

Monosakkarider kan også være pentoser, hvilket vil sige, de har fem kulstofatomer. I kroppen dannes pentoser primært ud fra hexosen glukose. Frie pentoser forekommer sjældent, men de er bestanddele af nukleinsyrerne i DNA (deoxyribonukleinsyre) i cellernes kerne (nucleus) og RNA (ribonukleinsyre). Pentoser findes desuden i ufordøjelige kulhydrater (kostfibre).

BLODGLUKOSE

Blodets indhold og koncentration af glukose kaldes også blodsukker eller mere korrekt: blodglukose.

Disakkarider



Figur 3.2. Sakkarose.

Glukose (øverst) bundet



beta-glykosid-binding.

Disakkarider består af to hexosemolekyler ([figur 3.2](#)), som ved en kemisk binding knyttes sammen under fraspaltning af vand, dvs. to H-atomer (hydrogen) og ét O-atom (ilt). Disse fraspaltes fra to alkoholgrupper i de to hexoser, hvorved der opstår en glykosidbinding mellem de to monosakkarider. Sakkarose/sukrose eller almindeligt hvidt sukker (roesukker) er sammensat af ét molekyle glukose og ét molekyle fruktose ([figur 3.2](#)). I sakkarose er de to molekylers reaktionsvillige stofgrupper, keton- og aldehydgrupperne, involverede i bindingen; derfor reagerer sakkarose ikke med protein. Laktose (mælkesukker) er sammensat af glukose og galaktose og har frie aldehydgrupper, hvorfor laktose er reaktionsvillig.

BRUNING AF BRØD OG KØD

Maillardreaktion i fødevarer er betegnelsen for den kemiske reaktion, der har fundet sted i den brune, sprøde skorpe på bøffer og franskbrød, fordi de frie aldehydgrupper i glukose har reageret med proteinerne i fødevarerne.

Denne egenskab er årsag til, at mælk let brunfarves og brænder på ved opvarmning. Maltose (maltsukker) er sammensat af to molekyler glukose og dannes ved nedbrydning af stivelse, og den findes kun i små mængder i fødevarer ([tabel 3.1](#)).

SUKKER

Almindeligt sukker er synonymt med sakkarose og sukrose.

Mon- og disakkarider smager sødt, men har varierende sødeevne ([tabel 3.2](#)). Fruktoses og de øvrige sukkerstoffers sødeegenskaber inddrages i produktionen af færdigretter



retning af øget lagring af fedt.

SUKKERART	SØDEEVNE	E-numre
SAKKAROSE	1	
fruktose	1-1,7	
glukose	0,6-0,7	
laktose	0,4	
Sukkeralkoholer	0,6	E420
sorbitol	0,9-1	E767
xylitol		
Sødestoffer	130-200	E960
acesulfam K	120-200	E951
aspartam	30-40	E952
cyklamat	300-500	E954
sakkarin	200-300	E960
stevia	400-450	E955
sukralose		

Tabel 3.2. Relativ sødeevne i sukkerarter, sukkeralkoholer og sødestoffer i forhold til sakkarose, som er = 1. Efter Sonestedt, E.

Oligosakkarider

Oligosakkarider består af 3-9 monosakkarider. Raffinose, stachyose og verbascose er delelementer af kostfibre og forekommer især i bælgrugter (se afsnit om kostfibre). De er eksempler på oligosakkarider, som ikke kan spaltes af vores fordøjelsesenzymer ([tabel 3.1](#)), men som fermenteres af mikroorganismer i tyktarmen. Fermenteringen har betydning for bakteriemiljøet i tyktarmen.

Polysakkarider

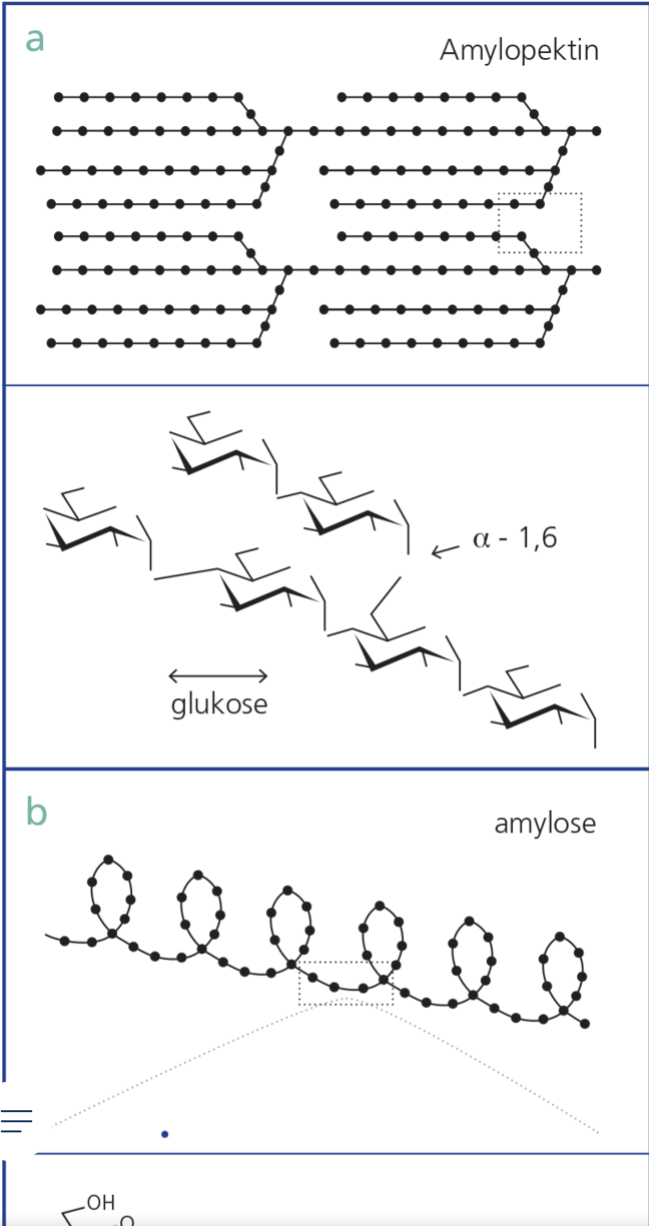
Polysakkarider er enheder af monosakkarider koblet sammen via glykosidbindinger. Polysakkarider indeholder fra ti og op til flere tusinde monosakkarider.

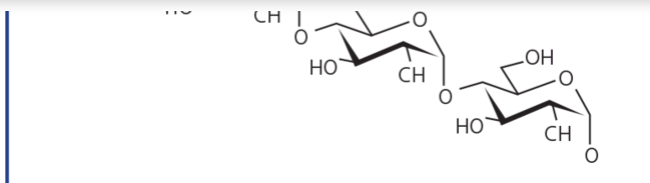
Ernæringsmæssig sammenhæng er det hensigtsmæssigt at skelne mellem forskellige typer af polysakkarider ([tabel 3.1](#)). Polysakkarider, som ikke fordøjes i tyndtarmen,

udelukkende består af glukoseenheder, sammensat på to forskellige måder. En del af stivelsen kaldes amylose og udgør totalt 15-28 % af stivelsen i fødevarer med stivelse ([tabel 3.3](#)).

LEVNEDSMIDDEL	AMYLOSE I %	AMYLOPEKTIN I %
Kartofler	20	80
Hvede	25	75
Majs	26	72
Waxy majs	0	100

Tabel 3.3. Forekomst af amylose og amylopektin i fødevarer. *Efter Hansen Å. I: Justesen L et al., 2007.*





Figur 3.3. Opbygning af amylopektin og amylose i stivelse. Efter Aktuel naturvidenskab 3/1999.

Amylose er en lang, ugrenet kæde af adskillige tusinde glukoseenheder (25-6.000 glukoseenheder), som er forbundet med α -(1,4)-glykosidbindinger og rullet op i en spiral ([figur 3.3b](#)).

Hovedkomponenten af stivelse i maden er amylopektin (72-85 %) ([tabel 3.3](#)). Amylopektin består af op til 16.000 glukoseenheder og har en stærkt forgrenet struktur af glukoseenheder med α -(1,6)-glykosidbindinger i sidegrenene ([figur 3.3a](#)). Forholdet imellem amylose og amylopektin i et stivelsesholdigt levnedsmiddel kan ændres ved planteforædling, fx *waxy* majs ([tabel 3.3](#)).

Stivelsen er planternes energidepot og lagres i stivelseskorn kaldet granula, som er synlige i mikroskop. Størrelse og form af granula varierer fra plante til plante. Ved kogning i vand optager granula vand, hvorved de svulmer op og går i stykker.

STIVELSESMOLEKYLERNE

Forgrening af stivelsesmolekylerne har stor indflydelse på, hvor hurtigt stivelsen spaltes i fordøjelsessystemet, og i hvor høj grad de spaltes.

Under opsvulmningen siver amylose ud af granula og sammenbinder de enkelte stivelseskorn, hvilket øger viskositeten. Processen kaldes *gelatinering* (forklistring) og har en central rolle for fødevarers konsistens og egenskaber ved jævning af sovs og ved brødfremstilling. Ved afkøling udkrystalliserer stivelsen igen, og viskositeten falder, et kaldes *retrogradering*. Gelatineringen af fødevaren bevirker desuden, at stivelsen gøres let tilgængelig for fordøjelsesenzymerne.



RESISTENT STIVELSE

Begrebet *resistent stivelse* omfatter stivelse, som er fysisk indpakket i planteceller med intakte cellevægge eller i hele frie stivelseskorn, fx i pasta. Desuden dannes resistent stivelse ved forarbejdning af stivelsesrige fødevarer sammen med fugtighed og varme.

På samme måde som kostfibre bliver en del af den resistente stivelse fermenteret af bakterier i tyktarmen.

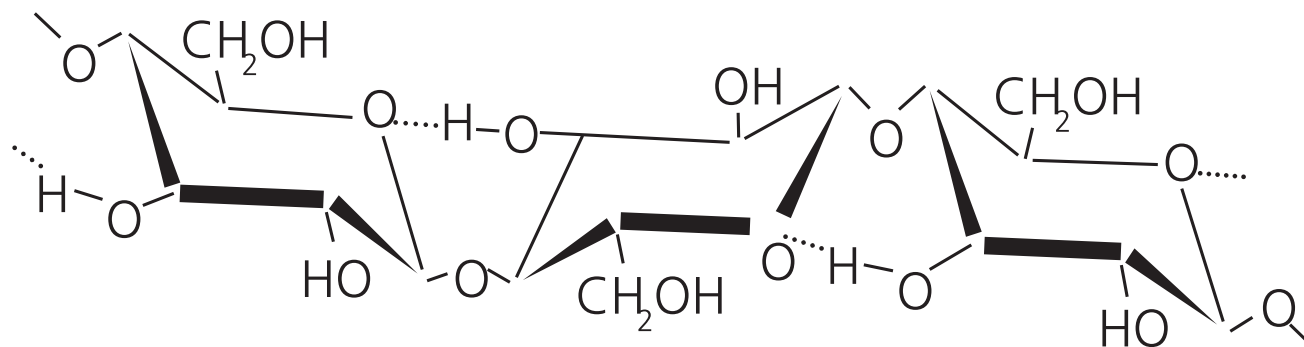
Glykogen ([tabel 3.1](#)) er glukosemolekyler bundet sammen af to forskellige glykosidbindinger, som gør molekylet stærkt forgrenet. I fødevarer findes glykogen i beskedne mængder i animalske produkter (lever og muskler), men da glykogenet også nedbrydes, efter at dyret er dødt, er indholdet meget lille. I den levende organisme findes ca. 500 g glykogen i lever og muskler ([tabel 3.4](#)). Elitesportsudøvere kan ved hård træning og kulhydratrig kost øge muskelglykogenet til næsten det dobbelte, hvilket kan forbedre deres præstation under længerevarende sportsudøvelse (over to timer).

VÆV	VÆGT	KULHYDRATDEPOT
Lever	1,8 kg	70 g (0-135 g) glykogen
Ekstracellulær væske	12 kg	10 g (8-11 g) glukose
Muskler	32 kg	450 g (300-900 g) glykogen

Tabel 3.4. Depot af kulhydrat i form af glykogen og glukose hos en hvilende mand (70 kg) på almindelig, sammensat kost. Tallene i parentes angiver variationen i befolkningen.

Glucose: Cellulosemolekylerne er lange uforgrenede kæder af glukoseenheder, som er forbundet med β -(1,4)-glykosidbindinger ([figur 3.4](#) og [tabel 3.1](#)). Kæderne af

af kostfibrene i fødevarer, bliver fermenteret af bakterier i tyktarmen.



Cellulose (β -1,4 bindinger)

Figur 3.4. Cellulose, kemisk opbygning.

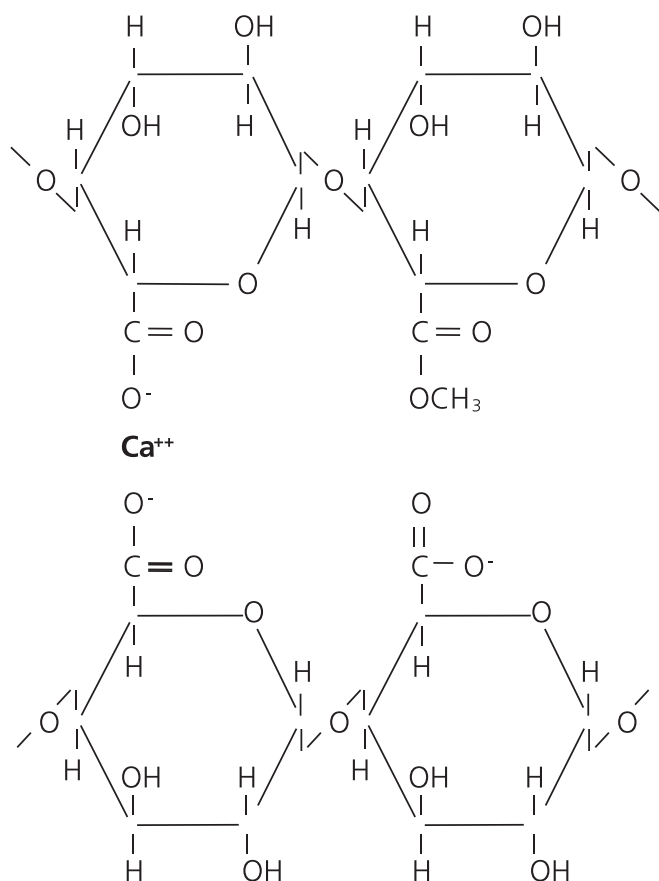
Hemicelluloser er som cellulose en del af planter cellvæg, men består af flere forskellige kulhydrater i en heterogen blanding. Hemicellulose er sammensat af både pentoser og hexoser, og hemicelluloser i grove kornprodukter er karakteriseret ved deres indhold af pentoserne xylose og arabinose. Således er indholdet af xylose og arabinose højt i groft rugbrød, som det fremgår af [tabel 3.5](#).

MONO-SAKKARIDER I KOSTFIBRE	RUGBRØD	HAVREGRYN	GRØNÆRTER	HVIDKÅL	APPELSIN
Kostfibre, i alt (gram)	7,3	7,0	5,2	3,7	2,1
Rhamnose	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0
Fukose	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Arabinose	1,9	0,8	1,1	0,8	0,3
Xylose	3,2	1,1	0,2	0,2	0,1
Mannose	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
Galaktose	0,2	0,1	0,1	0,4	0,3
Glukose	1,9	4,9	3,0	1,2	0,5
Uronsyre*	0,1	0,2	0,7	0,9	0,9

Tabel 3.5. Sammensætningen af monosakkarider, som indgår i opbygningen af kostfibre. Indhold pr. 100 g af udvalgte fødevarer (decimaler forkortet). * Indholdet af uronsyre omfatter indholdet af galaktoronsyre og glukuronsyre. *Efter Mann, J. et al. 2007.*

Hemicellulose fermenteres af bakterier i tyktarmen.

Pektiner forekommer i mange forskellige frugter, bær og grønsager, hvor de danner midtlamellen i planternes cellevægge og derved stabiliserer overfladen. Det er pektinet i umodne æbler og ribs, som udnyttes til æblegelé og ribsgelé. Når frugterne modnes, nedbrydes pektin, og cellevæggen bliver blød. Pektiner er komplekse blandinger af polysakkarider, men de dominerende monosakkarider er galakturonsyre og rhamnose. Galakturonsyren er et derivat (afledt af) af galaktose, hvor en hydroxylgruppe er erstattet med en karboxylgruppe. Galakturonsyren giver pektinet de gelédannende egenskaber. Indholdet af monosakkariderne i kostfibre vises i [tabel 3.5](#). Som det ses af [tabel 3.5](#), er mængden af uronsyre og dermed mængden af galakturonsyre specielt højt i frugt og grønt i modsætning til i korn.



Figur 3.5. Brudstykke af pektin. To kæder af galakturonsyre med hhv. frie

carboxylatgrupper og forestret med en methylgruppe. Ca^{++} forbinder kæderne.



og grønsager i vand tilsat salt erstattes calciumionerne af natriumioner. Derved frigøres pektinmolekylerne fra hinanden. Denne proces gør kartofler og grønsager bløde under kogning. Pektiner fermenteres af bakterier i tyktarmen og hører derfor til kostfibergruppen.

Lignin, den latinske betegnelse for „træstof“, findes i plantecellevæggene, hvor det har til formål at binde og holde cellevægen sammen, så den har en fast, ydre struktur. Lignin er ikke et kulhydrat, men det er en kompleks struktur af fenyylpropanenheder. Lignin findes i store mængder i hvedeklid, og det er meget modstandsdygtigt over for enzymer i mave-tarm-kanalen og bakterier i tyktarmen.

[Kommentar til indholdet? Skriv til redaktionen](#)

← Forrige

Næste

