



Oplæg til fordøjelsesforsøget

Fordøjelse af stivelse ved hjælp af enzymet i spyt

Fordøjelseskanalen og enzymernes miljøafhængighed.

Menneskets fordøjelseskanal kan hovedinddeles i følgende afsnit: mund, spiserør, mavesæk, tolvfingertarm, tyndtarm, tyktarm og endetarm. Bortset fra spiserøret og sidste del af endetarmen tager disse afsnit del i fordøjelsen. Alle fordøjelsesprocesserne er afhængige af *fordøjelsesenzym*er og hjælpestoffer som f.eks. mavesyre, galdesalte og bugspyt.

Enzymer, hvis hovedstruktur består af protein, fungerer bedst indenfor nogle rammer, der er defineret af omgivelserne. Disse rammer er bestemt af vigtige faktorer som temperaturen, salte, baser og syrer.

I hele menneskets fordøjelseskanal holdes temperaturen konstant omkring 37°C; men surhedsgraden (pH-værdien) varierer meget fra ca. pH=7,5 i munden, ca. pH= 1,0-2,0 i mavesækken og pH = ca. 7,0 i tolvfingertarmen og tyndtarmen.

Enzymet fra mundens spytkirtler fungerer bedst (optimalt) ved pH=7,5. Falder pH, dvs. bliver fordøjelsesindholdet mere surt, som det gør det nede i mavesækken, hvor der bl.a. udskilles ren saltsyre, så ophører spytenzymet med at virke. Det er fordi nogle af svovlbroerne, der holder sammen på enzymets proteindel, ødelægges. Enzymmolekylerne retter sig ud, de fungerer ikke længere, de er ødelagte, eller som man siger: de *er denaturerede*.

Nu overtager mavens enzym fordøjelsen. Enzymet i mavesækken er tilpasset pH= 1,0 - 2,0. Det fungerer slet ikke, hvis pH f.eks. er 7,5 som i mundhulen.

Når maden i maven er tilpas æltet ind i mavesaft (slim, enzym og saltsyre), reagerer en ringformet lukkemuskel i mavemunden. Den åbner sig, og et skvæt delvist fordøjet føde (chymus) sen-

des via mavens æltebevægelser (peristaltiske bevægelser) ind i tolvfingertarmen. Da både leveren (galdegangen) og bugspytkirtlen tømmer deres indhold ud i tolvfingertarmens første afsnit, hersker der her helt andre miljøforhold. pH er ca. 7,5 og mavesækkens enzym denatureres og saltsyren neutraliseres af bugspytet og opløste galdesalte. Nu tager nye enzymer over. Disse enzymer kommer alle fra bugspytkirtlen. Nu fortsætter nedbrydningen (fordøjelsen) af føden medens den passerer gennem tolvfingertarmen og tyndtarmen. De enkelte fødeemner ender med at være nedbrudt til deres byggesten (monomerer), der er så små, at de kan optages gennem tarmcellernes cellemembraner. Optagelsen sker ved de tre kendte processer: diffusion, osmose og aktiv transport.

Fødens sammensætning

Maden vi spiser indeholder tre hovedgrupper af organiske stoffer: Kulhydrater, proteiner og lipider (fedtstoffer).

Kulhydratfordøjelsen

Den begynder allerede i munden, hvis kulhydratet består af molekyler, der er større end disakkarider. Mundens spyt indeholder et enzym, som spaltes f.eks. stivelse (et polysakkarid) til maltose (et disakkarid). Da maden ikke opholder sig ret længe i mun-

den, og spytenzymet denatureres ved kontakt med mavesyren, nedbrydes stivelsesmolekylerne ikke fuldstændigt til disakkarid (maltose), men kun til kortere kæder af polysakkarid.

Sukker (melis, roesukker, sakkrose) og mælkesukker (laktose) er begge disakkarider og de passerer begge ufordøjede gennem munden og mavesækken.

Stivelsesfordøjelsen, dvs. fordøjelsen af polysakkarider, genoptages i tolvfingertarmen ved

hjælp af et enzym fra bugspytkirtlen. Stivelsen fordøjes ligesom i mundhulen til disakkaridet maltose (maltsukker).

Den endelige nedbrydning af kulhydraterne til monosakkarider (glukose) sker ved hjælp af et enzym fra tarmvæggen. Dvs. enzymet fra tarmvæggen nedbryder disakkarider (maltose, sakkrose, laktose) til monosakkarider som glukose, fruktose og galactose. De bindinger, der holder monosakkariderne sammen i disakka-



BIOLOGI ØVELSE

rider og disakkariderne sammen i polysakkarider kaldes *glycosidbindinger* (af alfa-typen). Hver gang én glycosidbinding brydes optages der ét vandmolekyle. Fordøjelseprocessen kaldes derfor også en *hydrolyse*. (-lyse = opløsning og hydro = vand)

Cellulose, der er et polysakkarid sat sammen med betabindinger, kan ikke fordøjes af menneskets fordøjelsesenzymer. Cellulosemolekylerne, der er langstrakte og danner fibre, kendes i deres reneste og fineste form som vat (bomuldsfibre). Fibrene har en fantastisk evne til at opsuge vand. Selv om cellulosefibre passerer ufordøjet gennem fordøjelseskanalen, spiller den vandsugende evne en stor rolle for opsugning af skadelige affaldsstoffer og afføringens konsistens. Fibrene nedsætter bl.a. gennemgangstiden for maden i tarmsystemet: maden skal helst ikke være længere tid end 1,0 til 1,5 døgn om at passagen. Kort og godt: Fibrene sikre den bedst mulige tarmfunktion. Cellulosefibre er den vigtigste bestanddel i plantecellernes cellevægge.

Proteinfordøjelsen

Fødens proteiner bliver først spaltet til mindre molekyler i mavesækken. Proteinmolekyler består af lange spiralsnoede kæder sat sammen af aminosyrer. Bindingen mellem to aminosyrer

hedder en peptidbinding. Når proteiner nedbrydes under fordøjelsen er det peptidbindingerne der brydes. Hver gang en peptidbinding brydes optages der ét vandmolekyle. Fordøjelseprocessen kaldes derfor også en *hydrolyse*. (-lyse = opløsning og hydro = vand). Enzymet i maven kræver en pH på ca. 1 - 2. Denne lave pH-værdi sikres ved at der udskilles saltsyre fra specielle celler i mavesækkens væg.

Når chymus (mavesækkens fordøjelsesprodukt) tømmes ud i tolvfingertarmen aktiveres bugspytkirtlen til at udskilles bugspytt der indeholde en neutraliserende væske (natriumbikarbonat) og to proteinspaltende enzymer. De to nye *proteaser* (dvs. proteinspaltende enzymer) nedbryder yderligere de i forvejen spaltede proteinmolekyler til endnu mindre molekyler, der kaldes *dipeptider* og *tri-peptider*.

Det sidste trin i proteinfordøjelsen er spaltningen af disse peptider til frie aminosyrer. Denne spaltning foregår i tolvfingertarmen og videre gennem tyndtarmen. Enzymerne, der klarer denne sidste spaltning, udskilles fra kirtler i tarmvæggen.

Lipidfordøjelsen

Lipidfordøjelsen ("fedtfordøjelsen") finder udelukkende sted i tolvfingertarmen. Enzymet, der nedbryder f.eks. ester-

bindingerne i et fedtmolekyle, kræver en pH = 7,0 - 7,5 og tilstedeværelse af galdesalte. Galdesaltene består af molekyler, der i den ene ende elsker at forbinde sig med vand og i den anden ende elsker at binde sig til fedt. Tiltrækningen til vand vinder som regel, og derved trækker galdesaltene molekyler fedtmolekyler ud af store fedtdråber. Herved bliver fødens fedtstoffer gjort til mindre "dråber", der lettere kan angribes af lipasen (enzymet). Denne proces, hvor fedtdråber bliver til mindre fedtdråber kaldes en emulgering. Galdesalte er derfor gode *emulgatorer*. (desværre bruges der i fødevarerindustrien en masse emulgatorer, især når man gerne vil binde vand til fedt! Vand er billigt og vejer godt til). Galdesaltene bliver produceret i leveren og de opbevares indtil de skal bruges i galdeblæren.

De fedtspaltende enzymer kommer fra bugspytkirtlen. Egentlige fedtstoffer (triglycerider) spaltes til fedtsyrer og glycerol (ét fedtmolekyle spaltes til tre fedtsyremolekyler og ét glycerolmolekyle).

Fødens optagelse

Alle fordøjelsesprodukter optages gennem tarmvæggen i tolvfingertarmen og tyndtarmen. I tyktarmen optages hovedsageligt vand og mineraler.