

Hvordan får vi saftige plantebøffer?

Rehydrering af tekstureret vegetabilsk protein

Tekstureret vegetabilsk protein bruges til at fremstille plantebaserede kødanaloger. pH og ionstyrke påvirker proteiners konformation og interaktion med vandmolekyler, så vi satte os for at undersøge, hvordan pH og ionstyrke påvirker rehydrering af tekstureret vegetabilsk protein.

Af Hanne Christine Bertram
og Louise M.A. Jakobsen,
Institut for Fødevarer,
Aarhus Universitet

I de senere år er teksturerede vegetabilske proteiner (TVP'er) blevet en hovedingrediens i fremstillingen af plantebaserede kødanaloger. TVP'er fremstilles ved hjælp af en ekstruderingsproces, og de kan skabe en fiberagtig struktur, som minder om den, vi finder i kød. Vandindholdet kan variere og er afgørende for TVP'ens egenskaber. TVP'er med et lavt vandindhold har en lang holdbarhed og kan nemt opbevares. Før videre brug, hydreres TVP'er og kombineres efterfølgende med andre ingredienser for at opnå produkter såsom plantebaserede burgere. De mest almindelige kilder, der anvendes til TVP-fremstilling, er soja og ærter.

Med udgangspunkt i viden om kødproteiner

De fysisk-kemiske og funktionelle egenskaber ved TVP'er har indflydelse på deres egenskaber som ingredienser og slutproduktets kvalitet. Hydreringskapacitet, dvs. evnen til at absorbere og binde vand, er en af de vigtige funktionelle egenskaber. Hydreringskapaciteten har således betydning for både tekstur og saftighed – jo mere vand der kan bindes, jo mere vand kan også frigives under tyggeprocessen og dermed give oplevelsen af et saftigt produkt. Mens vi ved, at råmaterialernes egenskaber og de betingelser, der anvendes under ekstruderingsprocessen (vandindhold, temperatur) påvirker TVP'ernes funktionelle egenskaber, har vi kun begrænset viden om, hvordan TVP'er-



Foto: Colourbox

nes evne til at absorbere og binde vand kan påvirkes af forholdene under selve rehydreringsprocessen.

Kan vi for eksempel forvente, at pH og ionstyrke har indflydelse på rehydreringskapaciteten hos TVP'er? Vi har tidligere vist, at ved "kødproteiner", dvs. myofibrillære proteiner isoleret fra traditionelt kød, påvirker pH- og ionstyrkeforhold proteinernes evne til at svulme op og binde vand [1]. Dette har helt afgørende betydning for de funktionelle egenskaber af det endelige kødprodukt. De myofibrillære proteiner består især af myosin, og under pH-forhold tæt på myosins isoelektriske punkt (pI) (~5) er de netto elektrostatiske ladninger lave, og frastødningen derfor også lav med ledsagende lille intermolekylær afstand for vandmolekyler.

Derimod, når pH enten sænkes el-

ler øges sammenlignet med pI, stiger de netto elektrostatiske ladninger, og dermed også den elektrostatiske frastødning [2], som skaber plads til vandmolekylerne i de intermolekylære rum. Derudover ændres ladningen af de myofibrillære proteiner af ionstyrke, da bindingen af negativt ladede ioner fører til et skift i pI [2].

pH- og ionstyrke-effekt på rehydrering af tekstureret sojaprotein

Inspireret af kødvidenskaben satte vi os for at undersøge, om lignende pH- og ionstyrke-effekter som beskrevet ovenfor gør sig gældende i TVP fremstillet af sojaprotein [3]. Til dette formål blev ni forskellige bufferopløsninger fremstillet ud fra citronsyre ($C_6H_8O_7$) og dens natriumsalt ($Na_3C_6H_5O_7$). De ni buffere be-

Kilde: Wikimedia.



Figur 1. Tekstureret sojaprotein.

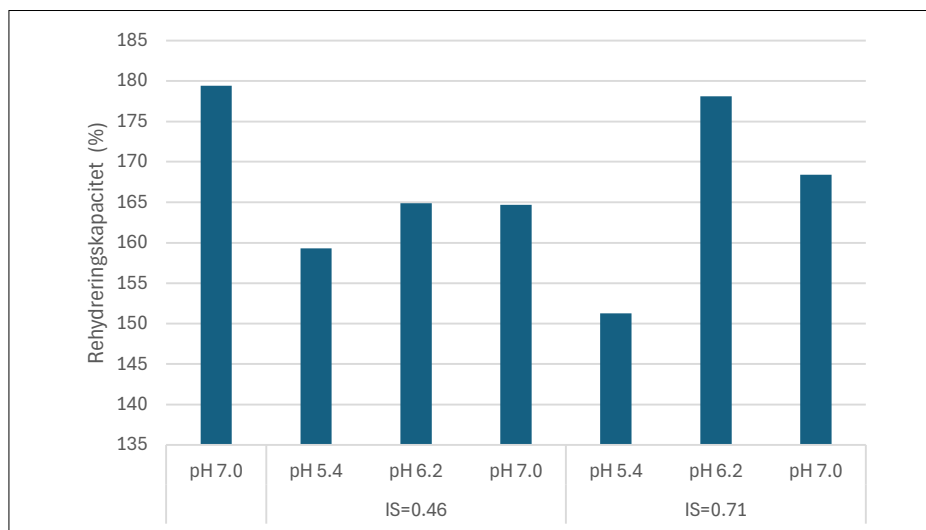
stod af kombinationer af tre pH-niveauer (pH 5,4, 6,2 og 7,0) og tre ionstyrker (0,29, 0,46 og 0,71 M). pH blev justeret med 1 M natriumhydroxid (NaOH) eller saltsyre (HCl) og ionstyrken blev indstillet med natriumklorid (NaCl). Herefter blev cirka 1 gram tørt TVP-materiale vejat og rehydreret i 50 ml buffer. Prøverne blev placeret ved 4°C og efter 24 timer blev prøverne centrifugeret for at bestemme rehydreringskapacitet, hvor følgende beregning blev anvendt:

$$\text{Rehydreringskapacitet} \left(\frac{g \text{ H}_2\text{O}}{g \text{ prøve}} \right) = \frac{Vægt_{\text{efter centrifugering}}(g) - W_{\text{inden rehydrering}}(g)}{W_{\text{inden rehydrering}}(g)} * 100$$

Vi fandt en signifikant effekt af pH på rehydreringskapaciteten, der steg ved et højere pH ($p=0,012$) (figur 3). Derimod fandt vi ikke nogen statistisk signifikant effekt af ionstyrke på rehydreringskapaciteten af det teksturerede sojaprotein ($p=0,47$).

Ved pH 6,2 og 7,0 steg rehydreringskapaciteten således, hvilket svarer til en højere grad af vandabsorption. Resultaterne tyder således på, at størrelserne af iboende porer i TVP'er kan moduleres gennem pH-værdiens virkning på elektrostatisk frastødning. Der kan spekuleres i, om rehydreringsadfærden af TVP'er reelt ligner analogien med en svamp, der absorberer vand. TVP'er har således et netværk af porer og kanaler i deres struktur. I nærvær af vand trænger væsken ind i disse porer og holdes der. Den svampelignende struktur skaber også en kapillærvirkning, som hjælper med at trække væsken længere.

Vores studie viste altså lignende pH-effekter i TVP'er som i kødproteiner. En proteinoverflade bliver negativt ladet ved pH-niveauer over det isoelektriske



Figur 3. Rehydreringskapacitet af tekstureret sojaprotein som funktion af pH og ionstyrke.

punkt (pI). Sojaproteinisolater har en pI omkring pH 4,5 [4]. Derfor kunne det i nærværende studie forventes, at proteinernes laveste overfladeladning ville være ved pH 5,4, og proteinernes højeste

overfladeladning ville være ved pH 7,0. Resultaterne viste, at disse ændringer i proteinernes overfladeladning og elektrostatisk frastødning påvirkede TVP'ernes iboende strukturer og omfanget af rehydreringskapaciteten. Ved at modificere pH-værdien af den væske, der anvendes til rehydrering af TVP'er, kan der således opnås en højere rehydrering med en forventet effekt på den oplevede saftighed.

Sojaprotein består hovedsageligt af globulinerne β -conglycinin (7S) og glycinin (11S). Under ekstruderingsprocessen udfoldes proteinerne, og glycinin (11S), der indeholder det højeste antal sulfidgrupper, bidrager til tekstureringen gennem kovalent tværbinding af sulfidgrupperne, hvilket reducerer proteinets opløselighed ved proteinaggregering [5]. Det aggregerede protein har muligvis stadig ladede proteiner på overfladen, der bidrager til en elektrostatisk frastødning [6]. Den kovalente tværbinding fra teksturering vil dog skabe strukturelle begrænsninger for hævelse gennem elektrostatisk frastødning. Det er også muligt, at

β -conglycinin (7S), som forbliver opløselig, bidrager til ikke-kovalent binding.

I vores studie fandt vi ingen effekt af ionstyrke på rehydreringskapaciteten. Vi spekulerer i, om dette kan skyldes, at de testede ionstyrkeniveauer var for høje for sojaproteiner, og at overfladeladningen allerede er neutraliseret ved 0,29 M.

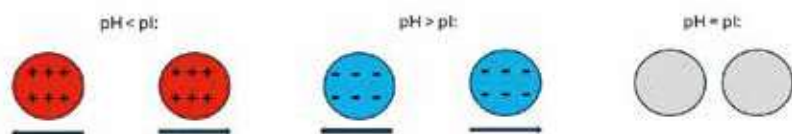
NMR-relaksometri

Lavfelts NMR-relaksometri, også kendt som time domain NMR, er en metode, der har vist sig særdeles velegnet til at undersøge vands egenskaber i fødevarer. I en artikel tidligere bragt i Dansk Kemi blev metoden beskrevet samt dens anvendelser til kvalitetskontrol af fødevarer, undersøgelser af teksturelle ændringer under frysning af fisk, hurtigbestemmelse af fedt- og proteinindhold i kødprodukter m.m. [7]. Vi har tidligere vist, at transversal relaksation (T_2) kan give nyttig information om strukturelle forhold hos kødproteiner [8]. Vi målte derfor også T_2 relaksation på de rehydrerede TVP-prøver af sojaprotein.

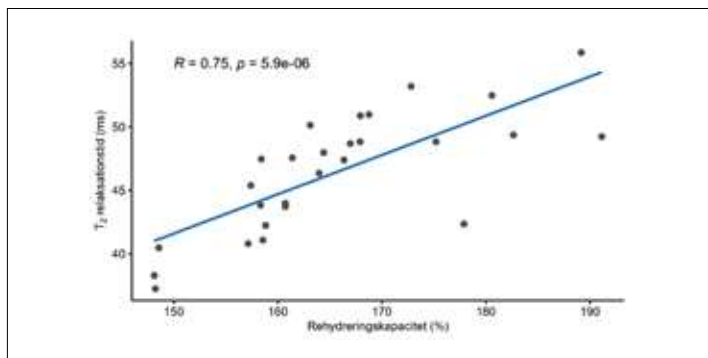
Vi fandt, at T_2 relaksationstiden var stærkt korreleret med rehydreringskapaciteten (figur 4). Ifølge Brownstein-Tarr-modellen for porøse medier afspejler længere T_2 relaksationstider større porestørrelser [9]. Vi formoder således, at sammenhængen mellem T_2 relaksationstiden og rehydreringskapaciteten i vores studie kan tilskrives, at T_2 relaksationstiden afspejler porestørrelser i TVP-strukturen svarende til, at porestørrelserne vil øges med større elektrostatisk frastødning induceret ved, at pH øges i forhold til proteinernes isoelektriske punkt.

Konklusion

Vores studie har vist, at rehydreringskapaciteten af tekstureret sojaprotein



Figur 2. Illustration af, hvordan pH påvirker proteiners nettoladning og elektrostatisk frastødning. Ved pH under det isoelektriske punkt (pI) vil nettoladningen være positiv; ved pH over det isoelektriske punkt (pI) vil nettoladningen være negativ og ved pH omkring det isoelektriske punkt (pI) vil nettoladningen være lav.



Figur 4. Korrelation mellem T_2 relaksationstid målt i tekstureret sojaprotein og rehydreringskapacitet (%).

kan moduleres gennem pH-værdien af den væske, der bruges til rehydrering. NMR relaksationsstudier indikerer, at effekterne kan tilskrives, at øget elektrostatiske frastødning, induceret af pH, påvirker den intermolekylære struktur af det teksturerede sojaprotein.

Studiet er en del af projektet CHEWNMR, der er finansieret af Aarhus Universitets Forskningsfond (Bevillingsnr. AUFF-E-2023-9-58). NMR-data i studiet blev genereret ved brug af forskningsinfrastruktur ved AU, herunder FOODHAY (Food and Health Open Innovation Laboratory, den danske roadmap for forskningsinfrastruktur).

E-mail:

Hanne Christine Bertram: hannec.bertram@food.au.dk

Referencer

- Bertram, H.C., Kristensen, M. & Andersen, H.J. (2004). Functionality of myofibrillar proteins as affected by pH, ionic strength and heat treatment – a low-field NMR study. *Meat Science*, 68(2), 249–56. doi:10.1016/j.meatsci.2004.03.004.
- Hamm, R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. *Muscle as Food*, 135–199. doi:10.1016/b978-0-12-084190-5.50009-6.
- Jakobsen, L.M.A., Fathali, N., Najbjerg, H., Bertram, H.C. (2026). Low-Field NMR Relaxometry for Elucidating the Effect of Temperature on the Rehydration Kinetics and pH and Ionic Strength on Rehydration Capacity of Texturized Soy Protein. *Magnetic Resonance in Chemistry*. 0: 1–8. doi.org/10.1002/mrc.70137.
- Lee, K., Ryu, H. & Rhee, K. (2003). Protein solubility characteristics of commercial soy protein products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(1), 85–90.
- Webb, D., Li, Y. & Alavi, S. (2023). Chemical and physicochemical features of common plant proteins and their extrudates for use in plant-based meat. *Trends in Food Science & Technology*, 131, 129–138. doi:10.1016/j.tifs.2022.11.006.
- Samard, S. & Ryu, G.-H. (2019). Physicochemical and functional characteristics of plant protein-based meat analogs. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(10), e14123. doi:10.1111/jfpp.14123.
- Veliyulin, E. (2021). Time Domain NMR – en fortræffelig metode til at bestemme fedt- og vandindhold i fødevarer. *Dansk Kemi*, 102, nr. 3, 12–14.
- Bertram, H.C., Purslow, P.P., Andersen, H.J. (2002). Relationship between Meat Structure, Water Mobility, and Distribution: A Low-Field Nuclear Magnetic Resonance Study. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 50, 824–829.
- Brownstein, K.R., Tarr, C. (1979). Importance of classical diffusion in NMR studies of water in biological cells. *Physical review A*, 19, 2446.

SKRIV TIL DANSK KEMI

Stofområder

Vi er interesserede i spændende artikler inden for alle områder af kemi.

Vi formidler viden om for eksempel:

Materialekemi • Analytisk kemi • Kemiteknik • Bioteknologi
Fødevarer kemi • Klima og miljø • Fundamental kemi

Din viden er vigtig - del den!

Dansk Kemi er til for at oplyse og begejstre om alle emner inden for kemi.

Det trykte magasin kommer ud på alle landets biblioteker og bliver sendt til 3600 abonnenter.

Indholdet bliver flittigt brugt på ungdomsuddannelser, bliver læst af industrien og udbreder viden om kemi bredt til samfundet.

Dansk Kemi er medlemsblad for Kemisk Forening og Kemiingeniørgruppen.

Dansk Kemi har eksisteret i mere end 100 år.

Kontakt redaktør Katja Salomon Johansen
på katja@techmedia.dk

Vi GLÆDER os
til DIT bidrag

Max. 8000 anslag inkl. mellemrum i Word.

Brug overskrifter og underoverskrifter.

Medsend illustrationer og billeder i 300 dpi. Brug gerne faktabokse.

Husk billedtekster og fotokreditering. Husk også e-mail-adresse til forfatter.

